

**ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL ETAPA 1 DIAGNÓSTICO / SUB ETAPA 1.2
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN, ANÁLISIS TERRITORIAL E INICIO EAE
PRC SAGRADA FAMILIA
VERSIÓN 2 NOVIEMBRE 2022**

**CONSULTOR
CAMILO ESCALANTE JIMENEZ**





INDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Área de estudio.....	5
1.3. Alcances y limitaciones	6
1.4. Marco jurídico	6
2. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
2.1. Clima.....	8
2.1.1. Temperaturas.....	9
2.1.2. Precipitaciones.....	11
2.2. Hidrografía.....	13
2.3. Hidrogeología.....	14
2.3.1. Unidades hidrogeológicas, modificadas de Carta Hidrogeológica, Hoja Talca (Hauser, 1995) ..	14
2.4. Geología	16
2.5. Geomorfología	18
2.6. Volcanismo.....	19
2.7. Sismicidad.....	28
2.8. Vegetación.....	33
2.9. Clases de capacidad de uso de suelo	35
2.10. Riesgos de incendios.....	39
2.11. Catastro de riesgos comuna de Sagrada Familia.....	41
2.12. Conclusiones medio físico	41
3. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LOS RIESGOS ANALIZADOS	43
3.1. Riesgo y susceptibilidad.....	43
3.2. Remociones en masa	44
3.3. Inundaciones.....	49
3.3.1. Inundaciones por desborde de cauces	49
3.3.2. Inundación por anegamiento.....	50
3.4. Incendios.....	52
4. METODOLOGÍA	53
4.1. Inundación por desborde de cauces y anegamiento	56
4.2. Remoción en masa	56
4.3. Zonificación de la susceptibilidad	57



5. RESULTADOS DE ÁREAS DE RIESGO NATURAL Y ANTRÓPICO.....	59
6. ZONAS NO EDIFICABLES	67
7. ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL 68	
7.1. Áreas de protección del recurso de valor natural.....	68
7.2. Áreas de protección del recurso de valor cultural.....	68
8. CONCLUSIONES.....	69
9. BIBLIOGRAFÍA.....	70

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Registro Fotográfico de la Reunión de Ajuste Metodológico.....	35
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localidades del área de estudio	5
Figura 2 Distribución tipos de climas de acuerdo con clasificación climática de Köppen, Región del Maule	9
Figura 3 Hidrografía comunal	13
Figura 3 Mapa Hidrogeológico de la cuenca del río Mataquito.....	16
Figura 4 Mapa Geológico del área de estudio	18
Figura 5 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán	20
Figura 6 Nivel de alerta Complejo volcánico Laguna del Maule	21
Figura 7 Nivel de alerta Volcán Descabezado Grande	22
Figura 8 Nivel de alerta Complejo Volcánico Cerro Azul – Quizapú.....	23
Figura 9 Nivel de alerta Complejo Volcánico Tatara – San Pedro.....	23
Figura 10 Mapa de Peligros Volcánicos del Complejo Laguna del Maule	24
Figura 11 Mapa de Peligros Volcánicos del Volcán Cerro Azul – Quizapú.....	25
Figura 12 Ampliación Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami, Región del Maule.....	27
Figura 13 Sismicidad histórica entre 1900 y 2010	28
Figura 14 Fuentes y sismogénicas en un modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana).....	29
Figura 15 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto	31
Figura 16 Uso de suelo y vegetación Conaf 2019	35
Figura 17 Clases de capacidad de uso de suelo	38
Figura 18 Registro de incendios 2015 – 2016 - 2017	39
Figura 19 Zonas de amenaza identificadas de acuerdo a áreas de interface Provincia de Curicó.	40
Figura 20 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas.....	45
Figura 21 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos	45
Figura 22 Remociones en Masa de tipo Flujo	46
Figura 23 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno	57
Figura 24 Áreas de riesgo Sagrada Familia	60



Figura 25 Áreas de riesgo Lo Valdivia	62
Figura 26 Áreas de riesgo Santa Rosa	64
Figura 27 Áreas de riesgo Villa Prat	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Síntesis Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050 comuna.....	10
Tabla 2 Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050	10
Tabla 3 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), 3 estaciones área intercomunal: 01/01/1997 - 01/01/2020.....	12
Tabla 4 Vegetación y uso actual de suelo CONAF 2019.....	33
Tabla 5 Clase de suelos por superficie comuna de Rauco.....	37
Tabla 6 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad.....	58
Tabla 9 Zonas no edificables.....	67



1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la Licitación Pública Estudio: “Plan Regulador Comunal de Sagrada Familia”, se presenta a continuación los resultados del Estudio de Riesgos Naturales de la comuna, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica, permitiendo así identificar las limitantes y las potencialidades que ofrece el territorio para su desarrollo

1.1. Objetivos del estudio

El objetivo de este trabajo es generar un estudio fundado de riesgo y protección ambiental, identificando y delimitando en el área de estudio los riesgos que han de ser incorporados y/o adecuados en el estudio del Plan Regulador Comunal Sagrada familia, de acuerdo con lo señalado por el artículo 2.1.17 y 2.1.18 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Junto con ello se identificarán las áreas de protección de recursos de valor natural.

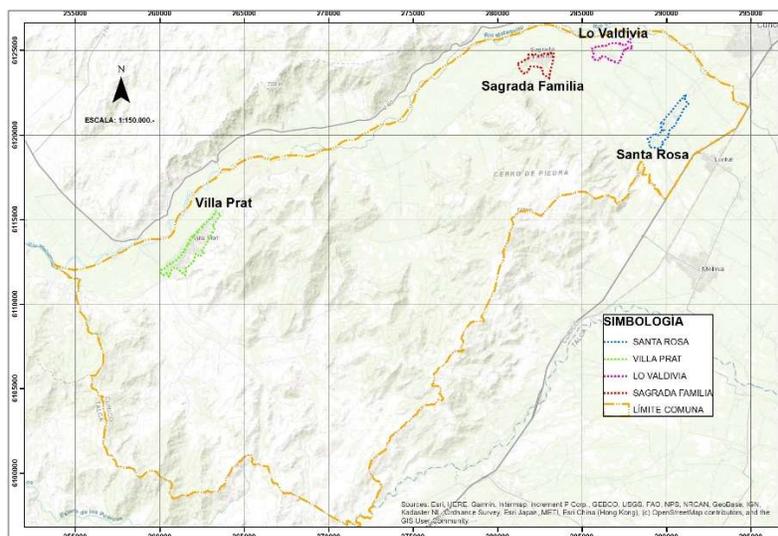
Los objetivos específicos de este estudio consisten en:

- Elaborar de un catastro, descripción y reconocimiento de los principales peligros naturales y antrópicos que pueden afectar al área de estudio, así como sus factores condicionantes y detonantes.
- Elaborar una Línea de base del medio físico y natural a través de información secundaria y primaria levantada en terreno.
- Identificar y describir los tipos de riesgos presentes en el área de estudio.
- Delimitar las áreas de riesgos consideradas en el área de estudio.

1.2. Área de estudio

El área de estudio comprende el territorio de la comuna de Sagrada Familia, Provincia de Curicó, Región del Maule, específicamente las localidades de Sagrada Familia, Villa Prat, Lo Valdivia y Santa Rosa, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 1 Localidades del área de estudio



Fuente: Elaboración propia



1.3. Alcances y limitaciones

Para este estudio se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de imágenes satelitales (Service Layer Credits: Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community) visitas a terreno y la evaluación de los distintos factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, a una escala 1:5.000 (considerando que la gran mayoría de la información geológica está a una escala mayor a 1:250.000). Se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la interpretación.

El resultado de este estudio corresponde a mapas de factores condicionantes, principalmente morfológicos y geológicos, y mapas inventarios. A partir del análisis de los anteriores, se generaron mapas de susceptibilidad para los peligros geológicos reconocidos en la zona a escala 1:5.000.

Respecto de la inundación por desborde de cauces y anegamientos se realizó una revisión de estudios hidráulicos de los principales cursos de agua de la comuna y los Instrumentos de Planificación vigentes y visitas a terreno.

1.4. Marco jurídico

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su apartado 2.1.17 “Disposiciones complementarias” indica que en los planes reguladores podrán definir áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas se denominarán “áreas de riesgo” o “zonas no edificables”, según sea el caso, de acuerdo con la siguiente descripción.

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 del presente estudio, “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un “peligro geológico”.

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

De acuerdo con la OGUC, las “áreas de riesgo” se determinarán en base a las siguientes características:

1. **Zonas inundables o potencialmente inundables:** debido a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos. De acuerdo con las definiciones utilizadas en este informe, corresponde a las áreas de riesgo por desbordes de cauces y anegamiento.
2. **Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.** Corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa



3. **Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas**

4. **Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana. Corresponde a riesgo de incendio**

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un Estudio Fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

Haciendo una agrupación de las amenazas naturales que generan la definición de zonas de riesgo según la OGUC, se reconocen: procesos de inundación y anegamiento, remociones en masa e incendios. Además de lo anterior, las Normas Chilenas de construcción incorporan las variables sísmicas, considerando que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo (de la cual sólo se hará referencia en el presente estudio). Más adelante se presenta una descripción de las amenazas antes señaladas.

Homologación de definiciones del artículo 2.1.17 de la OGUC y definiciones del informe

"ÁREAS DE RIESGO" SEGÚN EL ARTÍCULO 2.1.17. DE LA OGUC	TIPOS DE PELIGRO (según este informe)	SUSCEPTIBILIDAD
1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos	Inundaciones por desborde de cauces	MUY ALTA
		ALTA
		MODERADA
	Inundaciones por anegamiento	MUY ALTA
		ALTA
		MODERADA
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa (procesos de ladera)	MUY ALTA
3. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.	Incendios	MUY ALTA
		ALTA
		MODERADA

Fuente: Elaboración propia



Como información base normativa referida a la comuna, se consideró:

- Estudio del Plan Regulador de Sagrada Familia.
- Estudio Plan Regulador Intercomunal de Curicó.
- Cartografía Plan Regulador de Sagrada Familia 1:5.000.-
- Cartografía digital Instituto Geográfico Militar escala 1:50.000, Región del Maule.

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

Para establecer los alcances y limitaciones de un Estudio de Riesgos Naturales, es fundamental señalar que, a escala comunal, las curvas topográficas se encuentran equidistantes cada 1 metro, mientras que información geológica del área de estudio está disponible a escala 1:250.000. Lo anterior condiciona a que revisión de áreas susceptibles a procesos de remoción en masa e inundaciones a escala urbana se realizara a escala 1:5.000 (salida gráfica).

Esta base de datos inicial es relevante para el análisis morfométrico de los cauces y laderas. Es importante señalar que, para el análisis de inundaciones, existen antecedentes de medición de caudales en los principales cursos de agua de la comuna, por lo que la estimación y proyección de áreas de inundación y remociones en masa, se centra en el análisis de información existente, fotointerpretación de imágenes y métodos indirectos.

Para estudios de mayor detalle se requiere una topografía a menor escala en los cauces y laderas en el área urbana. Por lo anterior, se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la planificación territorial. Para estudios con mayor nivel de detalle, se deberán hacer estudios específicos y a escala de ingeniería de detalle (levantamientos de topografía).

Las “Áreas de Riesgo” corresponderán a zonas con distintos niveles de susceptibilidad ante un determinado proceso, evaluada como la superposición de antecedentes, no determinándose niveles de peligrosidad o probabilidad de ocurrencia en el tiempo. La definición de áreas de riesgo estará acotada al límite urbano comunal, independiente que el análisis haya incorporado áreas que quedan fuera de esta área. Respecto de Áreas de protección de recursos de valor natural, se recopilará la información del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas, para el área de la comuna (2.1.18 OGUC).

2. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Clima

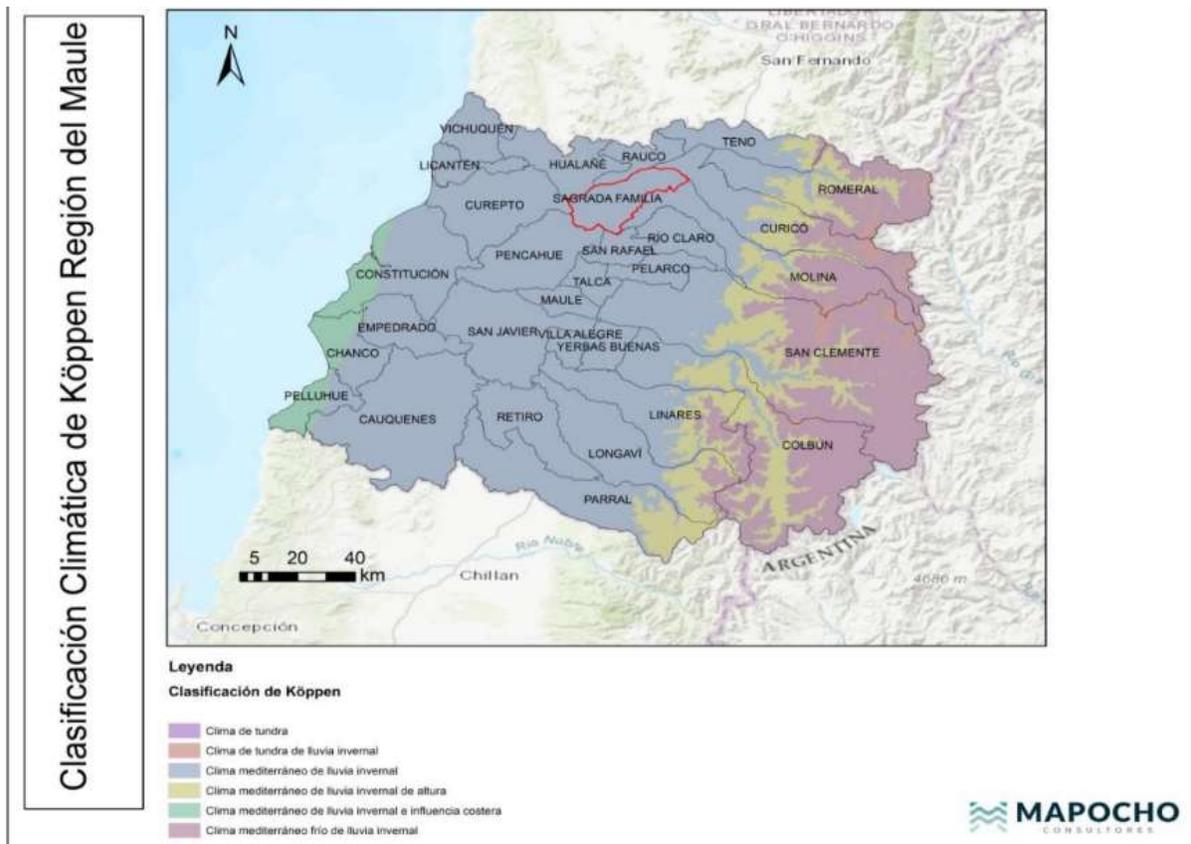
La comuna de Sagrada Familia se inserta dentro del dominio climático templado mediterráneo, que se desarrolla en la zona centro del país, el cual se caracteriza por un régimen de precipitaciones invernales y un período de sequía prolongado, con algunas variaciones de norte a sur y de cordillera a mar, principalmente influenciados por la altura y la posición del relieve; en la costa se presenta nuboso, mientras que hacia el interior debido a la sequedad experimenta fuertes contrastes térmicos y en el sector de la cordillera de Los Andes el clima se vuelve frío por efecto de la altura. La continentalidad del emplazamiento del territorio comunal de Sagrada Familia, y



su cercanía a la cordillera de la Costa, hace que solo se exprese un tipo climático, el cual de acuerdo con la clasificación de climas de Köppen corresponde al clima templado cálido con lluvias invernales (Csb)ⁱ

Este tipo climático presente en la comuna, donde la influencia oceánica es muy débil, se caracteriza por ser un clima suave, generalmente cálido y templado, donde la lluvia cae principalmente en invierno y escasamente en verano

Figura 2 Distribución tipos de climas de acuerdo con clasificación climática de Köppen, Región del Maule



Fuente: Pladeco 2020 - 2025

2.1.1. Temperaturas

De acuerdo al estudio “Normales climatológicas Región del Maule 2016”, del Ministerio del Medio Ambiente, los valores consignados en el estudio representan a las “normales” climatológicas del periodo reciente 1980-2015. Ellos fueron tomados de estaciones que disponían de series continuas de datos y que no habían sufrido cambios de instrumental o de localización durante el periodo. Esta información es complementaria a la entregada en el estudio “Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050”, encomendado por el Ministerio del Medio Ambiente.

En cuanto a los resultados de la temperatura en la comuna, se observa un aumento de la temperatura media estival de 2° e invernal de 1.6°C, de acuerdo con la proyección del escenario del año 2050.



Respecto de los resultados de las precipitaciones en la comuna, se observa una disminución de la precipitación normal anual, mayor a 114 mm, respecto de la proyección del escenario del año 2050, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1 Síntesis Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050 comuna

Temed	Tjmed	PPA
2	1,6	-114

Fuente: Elaboración

Los detalles del cambio climático se pueden observar por comuna en la siguiente tabla.

Tabla 2 Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050

COMUNA / ZONA	ID	LINEA BASE (1980 - 2010)									ESCENARIO 2050								
		TXE	TNE	TXJ	TNJ	Temed	Tjmed	PPA	PPA MIN	PPA MAX	TXE 50	TNE 50	TXJ 50	TNJ 50	Temed 50	Tjmed 50	PPA 50	PPA 50 MIN	PPA 50 MAX
Sagrada Familia		30	12,1	13,2	4,9	20	8,6	719	696	759	32,3	14,1	15	6,4	22	10,2	605	586	639
Cerros	440	30,5	12,2	13,1	5,2	20,3	8,7	745	730	764	32,9	14,2	14,9	6,7	22,3	10,3	628	615	643
Valle central	441	29,4	12	13,3	4,7	19,7	8,6	692	662	754	31,8	14	15,1	6,2	21,8	10,1	582	556	634

TXE: Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, ENERO).
TNE: Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, ENERO).
TXJ: Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, JULIO).
TNJ: Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, JULIO).
Temed: Temperatura media del período estival (Diciembre - Enero - Febrero).
Tjmed: Temperatura media del período invernal (Junio - Julio - Agosto).
PPA: Precipitación normal anual.
PPA MIN: Precipitación anual más baja en cada subcomuna.
PPA MAX: Precipitación anual más alta en cada subcomuna.

Fuente: <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>



2.1.2. Precipitaciones

El concepto central de la hidrología es el ciclo hidrológico, entendiéndose por tal al proceso completo de circulación y distribución de agua en la atmósfera, mar y tierra, siendo uno de los componentes de este ciclo las precipitaciones. Las características pluviométricas de mayor interés ecológico son: la magnitud de la precipitación, medida en mm; duración de la lluvia; la intensidad, medida en mm/h, y finalmente la frecuencia.

Precipitaciones máximas anuales en 24 h

Las precipitaciones máximas anuales en 24 h, fueron obtenidas de la Dirección General de Agua (DGA), a través de "Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea". Se consultó un periodo de 20 años (1998 a 2017), se seleccionaron 3 estaciones cercanas a esta comuna y corresponden a las estaciones Río Teno después de la junta con Río Claro, Villa Prat y Curicó

La estación Río Teno después de la junta con Río Claro, presenta registros a contar del año 1999. En esos 18 años destaca 16 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias y remoción en masa. El periodo consecutivo más prolongado corresponde a los años 1999 al 2006 (8 años).

La estación Villa Prat presenta registros a contar del año 1997 hasta 2020. En esos 23 años destaca 8 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias y remoción en masa. El periodo consecutivo más prolongado corresponde a los años 2000 al 2003 (4 años).

La estación Curicó presenta registros a contar del año 1997. En esos 20 años destaca 9 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias y remoción en masa. El periodo consecutivo más prolongado corresponde a los años 1999 al 2002 (4 años).

Los mayores registros corresponden al periodo 2000 y 2002. A contar del año 2012 existe una concentración de precipitaciones sobre 60 mm en las 3 estaciones, la cual corresponde principalmente a un aumento de la concentración (intensidad) de lluvias más que a un aumento de la precipitación anual.



Tabla 3 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), 3 estaciones área intercomunal: 01/01/1997 - 01/01/2020

RIO TENO DESPUES DE JUNTA CON CLARO			VILLA PRAT		CURICO	
AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. (mm)	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. (mm)	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. (mm)
1997			11-jun	56,4	19-jun	68,2
1998			10-sept	43,2	05-jun	35,4
1999	29-ago	107,5	29-ago	54,2	29-ago	64
2000	13-jun	165,2	13-jun	79,4	12-jun	62,3
2001	28-ago	109,3	28-ago	65	28-ago	69,5
2002	24-ago	115,8	05-ago	118,4	25-may	80,5
2003	20-jun	83	20-may	90,5	20-may	58,3
2004	09-jun	75	12-jul	44,8	25-oct	39
2005	26-ago	110,7	09-may	26,7	14-jun	53,2
2006	11-jul	155,3	11-jul	55,6	11-jul	84,2
2007	23-jul	58,5	15-feb	19,3	22-jun	45
2008	22-may	133	18-jun	27,3	19-jun	59,5
2009	14-ago	135	27-jun	40,1	12-may	66,1
2010	17-jun	65,5	14-jun	34,5	06-jul	43,7
2011	28-jul	73	16-ago	31	18-jun	36,3
2012	13-jun	87,3	05-oct	42	12-jun	48,2
2013	03-jul	47,3	06-ago	42,5	03-jul	74
2014	23-ago	54,8	02-jun	60	02-may	91
2015	06-ago	85,7	05-ago	66,2	05-ago	42
2016	14-abr	91,3	10-jul	73,5	13-jul	46,6
2017	04-oct	61,8	09-ago	50,4	25-jun	55,8
2018			01/12	0	01/12	0
2019			28/06	34,1	28/06	21,2
2020			28/06	77,8	11/06	35,2
2021						
2022						

Fuente: www.dga.cl



lagunas de Teno, situadas en serie inmediatamente al norte del volcán Planchón. Las lagunas comprenden una superficie de 9 km² a 2.567 m s.n.m.; en ellas se han construido obras de regulación con fines de regadío. El más importante tributario por el sur es el Claro, que se le une en Los Queñes, a unos 30 km del nacimiento, el cual ocurre en la zona englaciada del volcán Planchón. Un afluente de escasa importancia en la ribera derecha del Teno es río El Manzano, en el sector de La Montaña, pero que es digno de mención porque en su valle se ha hecho el estudio de un embalse regulador de las aguas del Teno trasvasadas con canal alimentador.

El río Lontué sigue una franca dirección al NO en todo su curso. Se forma en la cordillera andina de la reunión de los ríos Colorado y Patos de San Pedro, a 48 km al SE de su junta al Teno. El río Lontué recibe por su flanco derecho dos afluentes de importancia cuales son el estero Upeo que le cae a 12 km de su origen en el curso medio, y el estero Chequenlemillo que afluye a 24 km más abajo, en pleno valle central. La longitud total del río Lontué, considerado el río Colorado, alcanza a 126 km y la superficie de su hoya hidrográfica a 2510 km².

2.3. Hidrogeología

En la Depresión Central del área de estudio existe un voluminoso y complejo relleno sedimentario cuaternario, en el cual este autor diferencia 13 unidades hidrogeológicas con diferentes características de porosidad y permeabilidad y por lo tanto, con diferentes capacidades para almacenar y transmitir el agua subterránea. Las unidades de mejor comportamiento hidrogeológico corresponden principalmente a los depósitos aluviales y fluviales, mientras que las unidades de roca que afloran en el área carecen de importancia hidrogeológica presente o futura. Los depósitos que presentan las condiciones hidráulicas más favorables corresponden a secuencias clásticas gruesas (gravas, gravas arenosas y arenas, con frecuentes niveles de bolones y ripios), con buena porosidad y eficiente permeabilidad. En ellas se encuentran acuíferos libres o semiconfinados, con buen rendimiento (10 l/s/m) y niveles estáticos próximos a la superficie (3-7 m).

La principal fuente de recarga de los acuíferos regionales corresponde a infiltración directa a partir de las precipitaciones y que, de manera secundaria, contribuyen los aportes laterales de los ríos y aquellos del retorno de riego. En general, entre los 35° y 36° S, las aguas subterráneas almacenadas en el relleno sedimentario de la Depresión Central tienen características hidroquímicas, adecuadas para satisfacer demandas potables y de riego.

Es importante destacar que la región, al igual que el resto del país, carece de un adecuado plan de gestión y conservación del recurso hídrico subterráneo que tenga como objetivo controlar su evolución, tanto en cantidad como en calidad. Esto restringe la posibilidad de detectar y establecer zonas que presenten una explotación excesiva y/o severa contaminación.

2.3.1. Unidades hidrogeológicas, modificadas de Carta Hidrogeológica, Hoja Talca (Hauser, 1995)

Formación Lo Valle (KTlv)

Secuencia de rocas volcanoclásticas que integran la mayor parte del desmembrado e irregular relieve interserrano, en torno al flanco occidental del Valle Central en la región estudiada, fue asignada a la Formación Lo Valle (Thomas, 1958). En la zona del Maule está constituida por lavas andesíticas y riolíticas e ignimbritas y brechas, con escasas intercalaciones locales de tufitas y areniscas. Nasi y Thiele (1982) asignan a esta formación una edad cretácica superior paleógena.



Depósitos cineríticos (Qc)

La escasa permeabilidad superficial de esta unidad provoca el desarrollo de una densa red de drenaje. A nivel regional, constituye una gruesa secuencia en la que predomina una alternancia de capas de cenizas y tobas de lapilli. Estos depósitos se presentan, normalmente, bastante compactos, duros y bien cementados. El carácter heterogéneo de la secuencia, debido a frecuentes cambios laterales de fases, determina un comportamiento hidráulico muy complejo. Pozos adyacentes proporcionan rendimientos contrastantes, lo que impide hacer generalizaciones cuantitativas. La prevalencia de niveles arcillosos, que condicionan frecuentes cambios laterales y verticales de permeabilidad, le proporciona un carácter anisótropo a esta unidad.

Las aguas subterráneas que producen los acuíferos de esta unidad son aptas para satisfacer demandas potables, agrícolas y/o industriales. Vulnerabilidad a la contaminación baja.

Depósitos fluviales (Qf)

Sedimentos clásticos de grano, normalmente, grueso (ripios y gravas, con frecuentes niveles arenosos), marginales al actual cauce de ríos mayores: Mataquito, Claro, Maule, Lontué y Loncomilla; conforman morfologías llanas que, en partes, incorporan rasgos con forma de terrazas resultantes de la incisión del río al producirse cambios locales en el régimen fluvial.

Los acuíferos contenidos en esta unidad son de tipo libre. Están constituidos por arenas y gravas limpias, de buena selección, con escasa matriz fina y clastos resistentes, sub-redondeados a redondeados. Existen intercalaciones arcillosas de escaso espesor y continuidad lateral, las que, al restringir el movimiento subterráneo del agua, crean condiciones locales propicias para el desarrollo de acuíferos semiconfinados.

El nivel freático se sitúa generalmente muy próximo a la superficie, influenciado por la cota del río en el momento. La recarga pluvial se acentúa en acuíferos someros. La conexión río-acuífero provoca que el primero, además de constituir un factor determinante de recarga, actúa a la vez, en sectores, como elemento de descarga.

El nivel del agua en la unidad se rige por el correspondiente a las aguas del río respectivo. Vulnerabilidad a la contaminación: alta a moderada.

Depósitos fluviales en cauces actuales (Qfa)

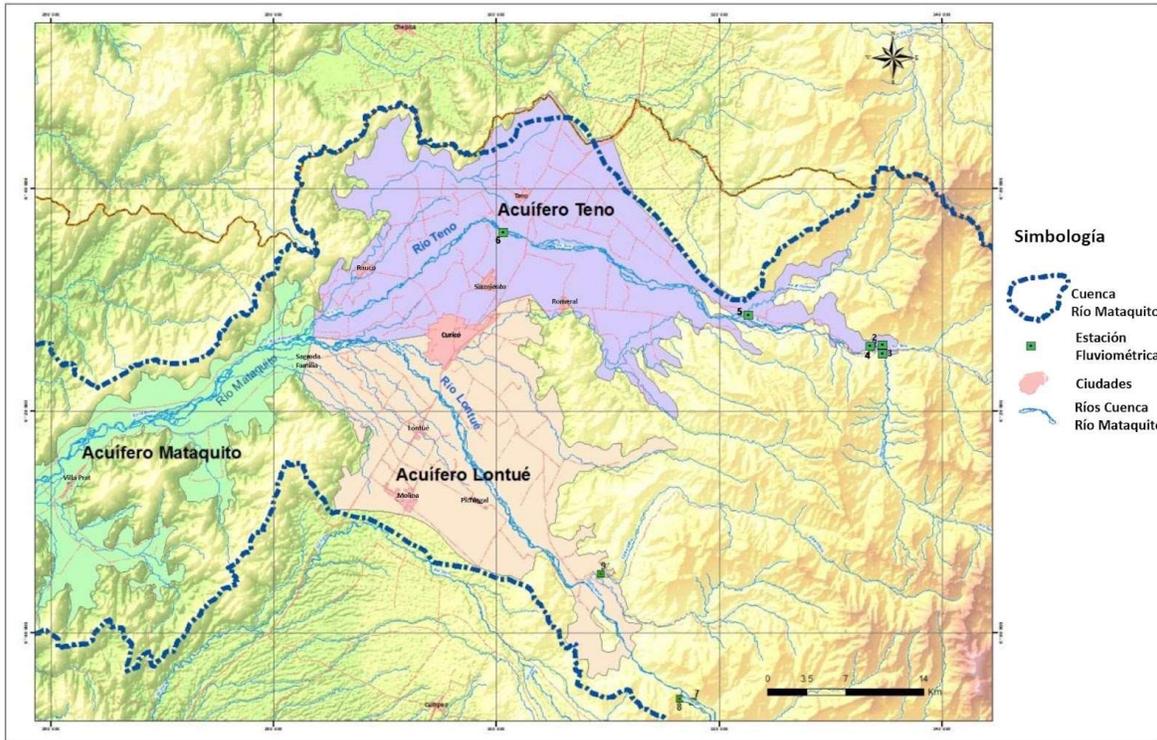
Consiste en ripios, gravas y gravas arenosas, uniformemente distribuidos a todo lo largo y ancho de la actual llanura de inundación de los ríos mayores. Localmente, en las vecindades del borde precordillerano, estos depósitos incorporan abundantes bolones; el conjunto se observa superficialmente suelto. Los clastos mayores se disponen en una escasa matriz de arenas gruesas a gravilla, conformando numerosas islas o bancos dispuestos anárquicamente a todo lo ancho y largo de los cauces, cuyo desarrollo está determinado por fenómenos torrenciales asociados a crecidas de invierno (régimen pluvial) o primavera (régimen nival andino). Sus márgenes poseen una clara expresión cuando el cauce ha logrado cierta profundización, con desarrollo de niveles aterrizados. Genéticamente, la unidad se vincula a procesos de transporte y sedimentación actual.

Constituidos, en su mayoría, por gravas arenosas y frecuentes niveles de arenas limpias, conformando estratos de buena selección, escasa compactación, favoreciendo el desarrollo de acuíferos libres. En ellos, los niveles estáticos tienden, en general, a concordar con el nivel de aguas superficiales de los cauces actuales. El normal y buen carácter físico-químico de las aguas extraídas de la unidad denota, en general, dependencia con



respecto a las aguas de escurrimiento superficial. La alta permeabilidad de los depósitos genera una eficiente interconexión hidráulica.

Figura 4 Mapa Hidrogeológico de la cuenca del río Mataquito



Fuente: Análisis de la recarga en el acuífero de Teno-Lontué, DGA, 2014

2.4. Geología

Para el área de estudio no existen trabajos geológicos de detalle, siendo la única fuente de información geológica la “Hoja Hidrogeológica de Talca”, a escala 1:100.000 (Hauser, 1995), el “Mapa Geológico de Chile” a escala 1:1.000.000, publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería durante el año 2003; y trabajos científicos a escala local. La geología de la parte centro-oriental de la Región del Maule está constituida por rocas y sedimentos, cuyo rango de edades van desde el Paleozoico hasta depósitos no consolidados producto de los procesos erosivos actuales (Hauser, 2005; SERNAGEOMIN, 2003). De manera general, el área se caracteriza por la existencia de un basamento metamórfico y cristalino paleozoico, el que se encuentra cubierto en discordancia por rocas volcánicas y sedimentarias, marinas y continentales, que van desde el triásico inferior hasta el Neógeno en el área de estudio.

Cordillera de la costa

Ki2c Cretácico Inferior-Cretácico Superior

Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocofitas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas lacustres



con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base. En Cordillera de la Costa, regiones IV, V y Metropolitana: formaciones Quebrada Marquesa y Veta Negra.

Ki2m Cretácico Inferior (Neocomiano)

Secuencias volcánicas y sedimentarias marinas: lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias, areniscas y calizas fosilíferas. En la Precordillera, región III: Estratos Cerro El Aguila; en la Cordillera Principal, región IV: Formación Los Pelambres; en la Cordillera de la Costa, regiones V y Metropolitana: Formación Lo Prado.

Kia2 Cretácico Inferior alto-Cretácico

Superior bajo Secuencias sedimentarias y volcánicas: rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones lacustres, localmente marinas. En la Precordillera y Cordillera de la Costa, regiones III a Metropolitana: formaciones Cerrillos, Viñita (occidental) y Las Chilcas.

Kiag Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo (123-85 Ma)

Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita. En la Cordillera de la Costa, regiones II a IV, al este del Sistema de Fallas Atacama-El Romeral y asociados a mineralización de Fe-Cu-Au (Candelaria) y Cu-Au (Andacollo); en la Cordillera de la Costa, regiones V a X.

Pl3t Pleistoceno

Depósitos piroclásticos principalmente riolíticos, asociados a calderas de colapso. En la Depresión Central y valles de la Cordillera Principal, regiones V a VII: Ignimbrita Pudahuel y Toba Loma Seca.

Depresión central

Qf Pleistoceno-Holoceno (Fluvial)

Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.

Q1 Pleistoceno-Holoceno (Aluvial)

Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones Metropolitana a IX: abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.



La depresión central se extiende desde los 33° S hasta los 40° S, y corresponde a una cuenca rellena por depósitos aluviales, fluviales y volcánicos (principalmente cenizas), cuyas edades van desde el Pleistoceno hasta el Holoceno, que en algunos sectores superan los 500 m de espesor de acuerdo a datos geofísicos. En el área de estudio esporádicamente sobresalen algunas cumbres de “cerros islas” con alturas entre 300 y 400 m.s.n.m. En general, la depresión central presenta pendientes muy bajas, que aumentan levemente al acercarse hacia los cerros de la cordillera de la costa y cordillera principal, debido a la influencia de los abanicos aluviales que se generan a la salida de quebradas y valles de ambas cordilleras. Finalmente, asociado a los cursos de agua que cruzan la depresión central, se forman pequeñas terrazas fluviales con muy poca profundización, generando pequeños escarpes relacionados a la erosión causada por estos cursos. En la comuna de Sagrada Familia corresponde al sector norte principalmente.

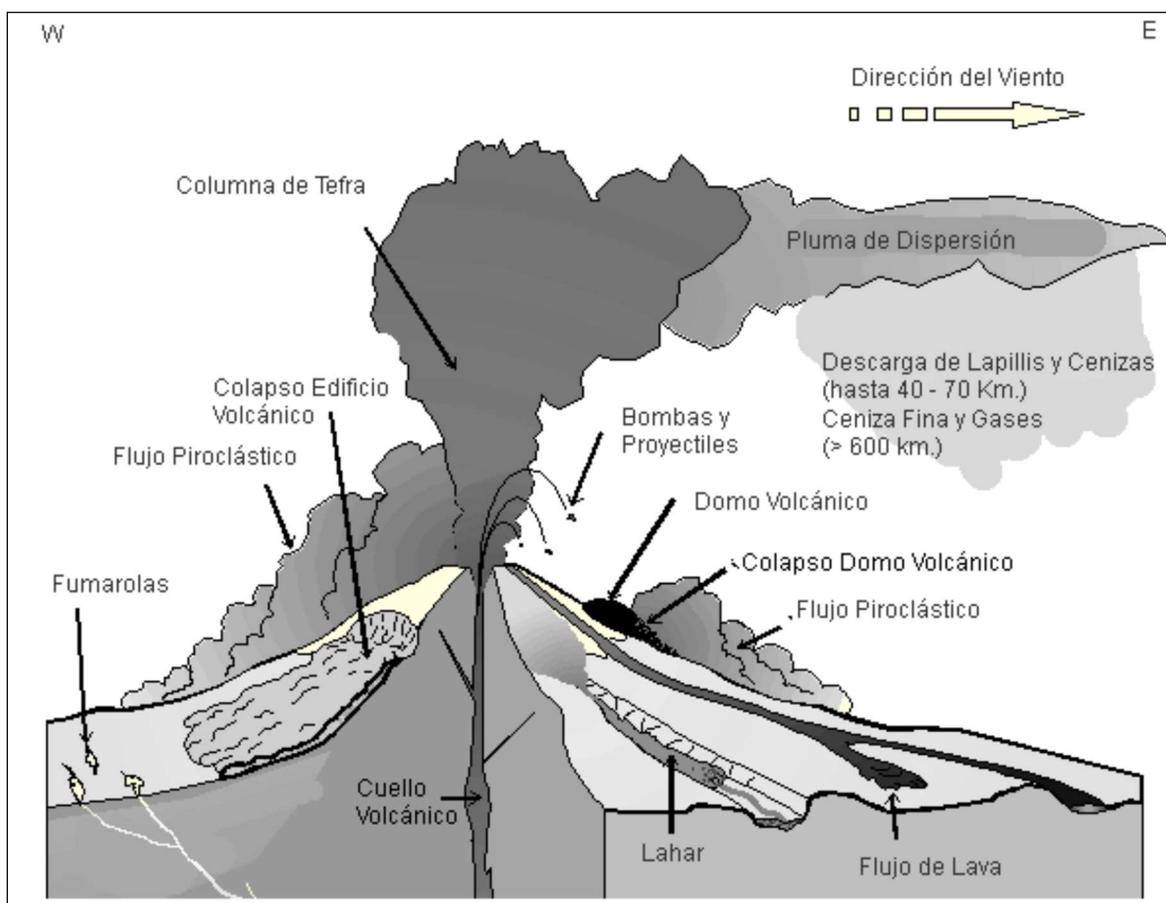
La cordillera principal está conformada por rocas estratificadas volcánicas y volcanoclásticas, cuyas edades van desde el Eoceno hasta el Mioceno Superior, cubiertas por el arco volcánico actual. Está compuesta por cerros que ubicados en promedio sobre los 2.000 m.s.n.m., donde las mayores cumbres se asocian a los principales volcanes del área de estudio (hasta los 4.090 m.s.n.m., volcán Planchón). Finalmente, las mayores pendientes del área de estudio se ubican en las riberas de los principales ríos del área de estudio.(fuera del área de estudio)

2.6. Volcanismo

El territorio continental de Chile posee 95 volcanes geológicamente activos (Lara et al, 2011). Esto quiere decir que presentan evidencias geológicas de actividad eruptiva en los últimos 10.000 años o que, sin certeza de lo anterior, presenta signos medibles de actividad (como desgasificación pasiva, microsismicidad o deformación en superficie).

Los peligros asociados a la actividad volcánica abarcan una serie de eventos y procesos que son fuente de amenaza para la población. Por un lado, durante el proceso eruptivo es frecuente la emisión de cenizas volcánicas, flujos de lava, y en ocasiones eventos más devastadores, como flujos piroclásticos o colapso de domos (ver figura a continuación). Por otro lado, un proceso eruptivo suele ir acompañado de eventos secundarios y efectos colaterales que también afectan a la población, como contaminación del agua y el medio ambiente, lahares, incendios, inundaciones, entre otros.

Figura 6 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán



Fuente: Myers y Brantley, 1995.

En el área de estudio hay un constante registro de actividad volcánica desde el Pleistoceno (2 Millones de años) hasta la actualidad, que se puede dividir en 2 grandes grupos: Actividad Prehistórica e Histórica. Dentro de la actividad prehistórica destaca la serie de estratovolcanes antiguos erosionados en alta cordillera y el depósito de ceniza asociado a la Caldera Calabozos. Los estratovolcanes antiguos erosionados son una señal de que el volcanismo ha estado activo en la zona desde fines del Plioceno hasta la actualidad. Además los depósitos de ceniza de la caldera Calabozos, denominada como “Ceniza de Loma Seca”, afloran en gran parte de la depresión central. Este depósito en realidad corresponde a tres grandes flujos piroclásticos de 800.000, 300.000 y 150.000 mil años de antigüedad, asociados al colapso de esta caldera volcánica.

Dentro de los registros de actividad histórica en el área de estudio, destacan los centros volcánicos: complejo volcánico Laguna del Maule; complejo volcánico Cerro Azul-Quizapu y complejo Volcánico Descabezado Grande. El Servicio Nacional de Geología y Minería, ha realizado una serie de cartas geológicas y mapas de peligros volcánicos, entre las que se destacan la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV), la cual permite a las autoridades contar con información oportuna para la gestión de una emergencia volcánica y toma de decisiones enfocadas en la seguridad de la población (www.sernageomin.cl). Esto incluye el establecimiento de la vigilancia en tiempo real de 45 de los 90 volcanes considerados geológicamente activos en territorio nacional, a través del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS), ubicado en la ciudad de



Temuco. A partir de la información disponible en www.sernageomin.cl, y reportes publicados, se entrega los antecedentes de volcanismo en el área de estudio.

Los volcanes antes mencionados, son parte de los volcanes monitoreados y cuentan con reportes periódicos disponibles en la web, de los cuales se resumen sus principales características.

Complejo volcánico Laguna del Maule:

Se encuentra ubicado en la región limítrofe con Argentina de la Región del Maule. Este complejo cubre alrededor de 500 km² y está formado por conos, volcanes de escudo, domos y flujos de lava.

Estudios geológicos han identificado al menos 130 centros eruptivos individuales, con un total de 36 lavas y domos post-glaciales de composiciones riolíticas y riodacíticas, emitidos desde 24 centros eruptivos diferentes. Se cree que la morfología actual de la zona es el resultado de procesos tectónicos, volcánicos y glaciares.

En términos de peligro volcánico, una supuesta reactivación implicaría emisión piroclástica, siendo los sectores ubicados hacia el este y norte del complejo los más afectados, además de la ruta internacional CH-115 y el Paso Pehuenche. Cabe destacar que la Laguna del Maule ha llamado la atención recientemente como consecuencia de una elevada tasa de inflación focalizada en su borde suroeste. Este fenómeno ha sido detectado mediante técnicas de interferometría radar, estimándose que la magnitud de la inflación acumulada, entre 2007 y 2011, es cercana a 1 metro. Como se muestra en la figura, el nivel de alerta de este volcán a la fecha del estudio es verde.

Figura 7 Nivel de alerta Complejo volcánico Laguna del Maule



Fuente: www.sernageomin.cl - 19 de marzo de 2018.

Volcán Descabezado Grande:

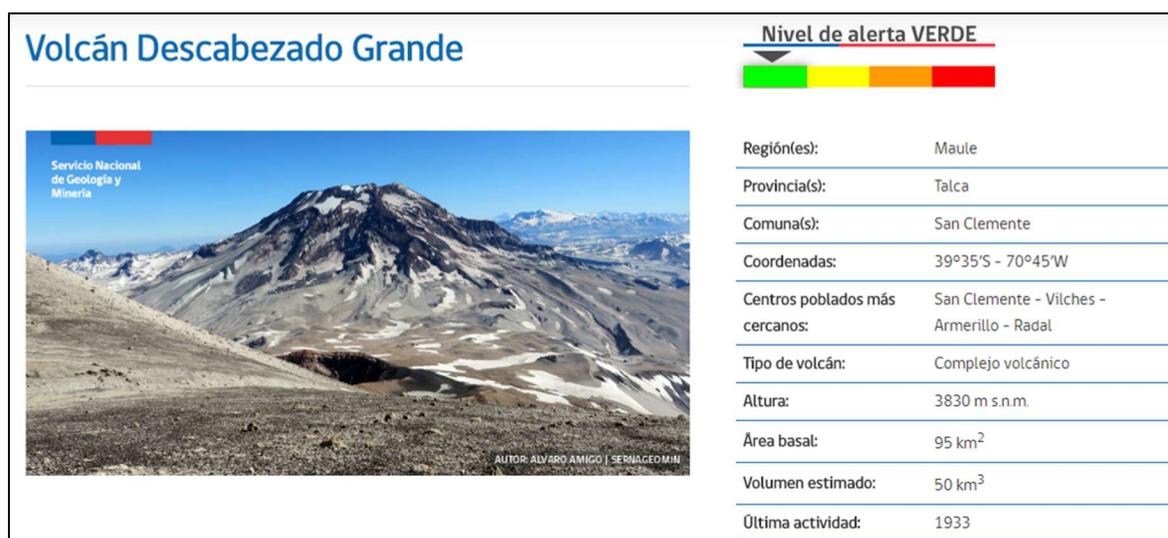
Corresponde a un estratovolcán de cima achatada con un cráter central de 1.5 km de diámetro, relleno con hielo. Está emplazado en la alta cordillera de la región de Maule, 65 km al este de San Clemente. Este volcán es activo desde hace al menos unos 300 mil años y sus productos volcánicos corresponden principalmente a lavas, tefras y aglutinados de composición andesítica a riodacítica, que han alcanzado hasta 7 km de longitud (www.sernageomin.cl).



Según registro histórico de 1932 (después de la gran erupción de su vecino volcán Quizapu), se genera el cráter “Respiradero”, de cerca de 900 m de diámetro, generando una columna de ceniza de varios kilómetros de altura y caída de piroclastos. En su estado actual, el volcán Descabezado Grande no tiene actividad, salvo pequeñas fumarolas en el cráter lateral “Respiradero” en 2009.

En caso de generar una erupción explosiva, generaría flujos de piroclastos, lluvia de tefra y lahares, con riesgo para las obras de ingeniería y pobladores de la hoya de los ríos Lontué, Blanquillo y Estero Barroso. A la fecha del presente estudio, el volcán presenta un nivel verde de alerta.

Figura 8 Nivel de alerta Volcán Descabezado Grande



Fuente: www.sernageomin.cl- 19 de marzo de 2018.

Complejo volcánico Cerro Azul-Quizapu:

Este complejo volcánico pertenece al Grupo Volcánico Descabezados, el cual forma parte del segmento norte de la Zona Volcánica Sur de Los Andes. Se encuentra emplazado en el extremo meridional de este conjunto y se compone de un estratovolcán andesítico relativamente erosionado y un cráter en su flanco norte denominado Quizapú (www.sernageomin.cl).

No existe registro eruptivo previo al año 1846, fecha en que surgió la primera actividad parásita del Cerro Azul, conocido hoy como el volcán Quizapu. Tras tres décadas de inactividad, tuvo erupciones en distintos periodos desde 1907 a 1929, hasta que en 1932 tuvo una erupción pliniana de gran envergadura, a tal punto de ser considerada una de las más violentas que han sido registradas en el siglo XX. Esta erupción causó un impacto catastrófico al medio ambiente, inutilizando hasta hoy miles de hectáreas cubiertas por tefra dacítica, principalmente en las provincias de Talca, Curicó y la Pampa argentina, en que murieron miles de animales vacunos y caprinos, además de la fauna silvestre por efecto de las cenizas. En 1967 hubo un reactivamiento con explosiones freáticas y en 1980 y 1990 solo pequeñas fumarolas (www.sernageomin.cl). A la fecha del estudio el volcán se encuentra con alerta verde.

Figura 9 Nivel de alerta Complejo Volcánico Cerro Azul – Quizapú



Fuente: www.sernageomin.cl- 19 de marzo de 2018.

Complejo Volcánico Tatará-San Pedro:

Complejo que posee casi un millón de años de historia. Existen antecedentes a escala geológica publicados en www.sernageomin.cl, dan cuenta que ante una eventual reactivación de este centro eruptivo, los peligros estarían relacionados con la emisión de coladas de lava, dispersión y caída de cenizas, generación de flujos piroclásticos de pequeña extensión y menos probablemente, la generación de flujos laháricos, producto de la fusión de nieves estacionales, la cual podría afectar los causes de los ríos Colorado, afluente del río Maule, y Melado, donde se encuentran el canal y túnel homónimos, que en la temporada estival transfieren caudal para regadío hacia la calle de Linares por el río Ancoa, además de abastecer una central hidroeléctrica de paso.

Figura 10 Nivel de alerta Complejo Volcánico Tatará – San Pedro



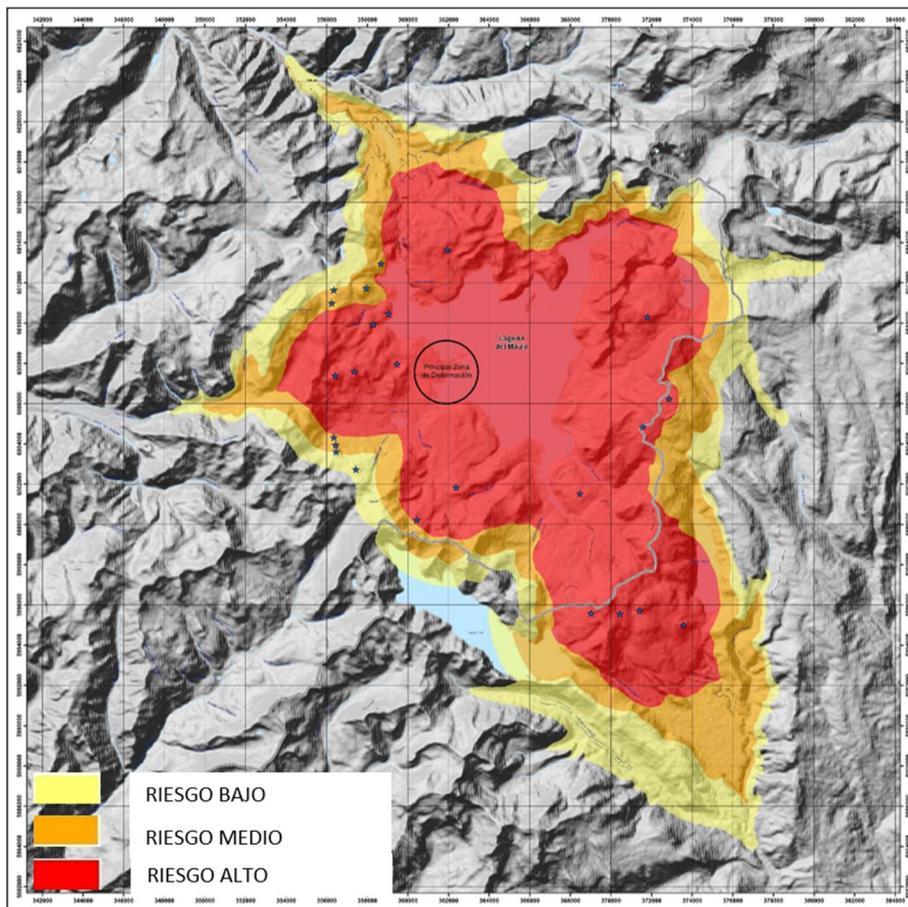
Fuente: www.sernageomin.cl- 19 de marzo de 2018.



Junto con el monitoreo de complejos volcánicos, el Sernageomin ha desarrollado una serie de mapas de peligro o amenaza volcánica, en los cuáles se identifica áreas expuestas al efecto directo e indirecto de posibles erupciones volcánicas. En ellos se distinguen cada uno de los posibles procesos durante una erupción y se propone una zonificación de las áreas de estudio.

Dentro de los Mapas actualmente publicados por el Sernageomin, destacan para el área de estudio el Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos, Complejo Volcánico Laguna Del Maule (escala 1:100.000, año 2012), mostrado en la Figura a continuación. Las zonas rojas, de Alto Peligro, representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico, independientemente de la magnitud eruptiva. Estas zonas corresponden al flanco superior del edificio volcánico y a un área limitada en torno a los principales cursos fluviales. Las zonas de Medio Peligro (color anaranjado) representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos, derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal. Estas zonas corresponden al flanco inferior del edificio volcánico y a un área limitada en torno a los principales cursos fluviales. Las zonas de Bajo Peligro (color amarillo) representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos, derivados de erupciones de magnitud alta en el edificio principal. Estas zonas corresponden a las regiones más externas del edificio volcánico y a un área limitada en torno a los principales cursos fluviales.

Figura 11 Mapa de Peligros Volcánicos del Complejo Laguna del Maule



Fuente: Sernageomin, 2012.



Al norte del área de estudio, destacan los volcanes Planchón, Peteroa y Azufre, de los cuales el más activo corresponde al Peteroa, que muestra actividades desde 1.660 hasta 1.991. Destacan la erupción de 1.762, donde ocurrieron violentas erupciones, el Colapso del Peteroa, flujos de detritos, lahares y lluvia de tefra. Las cenizas y lavas rellenaron todos los valles inmediatos, y aumentaron por dos días las aguas del Teno, precipitándose un pedazo de monte sobre el Gran río Teno. Suspendió su corriente por espacio de diez días y, estancadas las aguas, después de haber formado una dilatada laguna que existió durante unos días, se abrió por último con violencia un nuevo camino e inundó todos aquellos campos. Las erupciones posteriores (1.835, 1.837, 1.869, 1.878, 1.894, 1.937, 1.959, 1.960, 1.962, 1.967, 1.985, 1.986, 1.987, 1.991), han sido de carácter explosivo, generación de lahares con columna de tefra. Caída de cenizas en la depresión Central y Argentina sugieren que el volcán Peteroa es muy activo, y que el mayor peligro se concentra en la generación de lahares, que dada la configuración de la red hidrográfica, se movilizarán aguas abajo hacia la depresión central, por los ríos Teno y Claro de acuerdo a lo expuesto por González-Ferrán (1995).

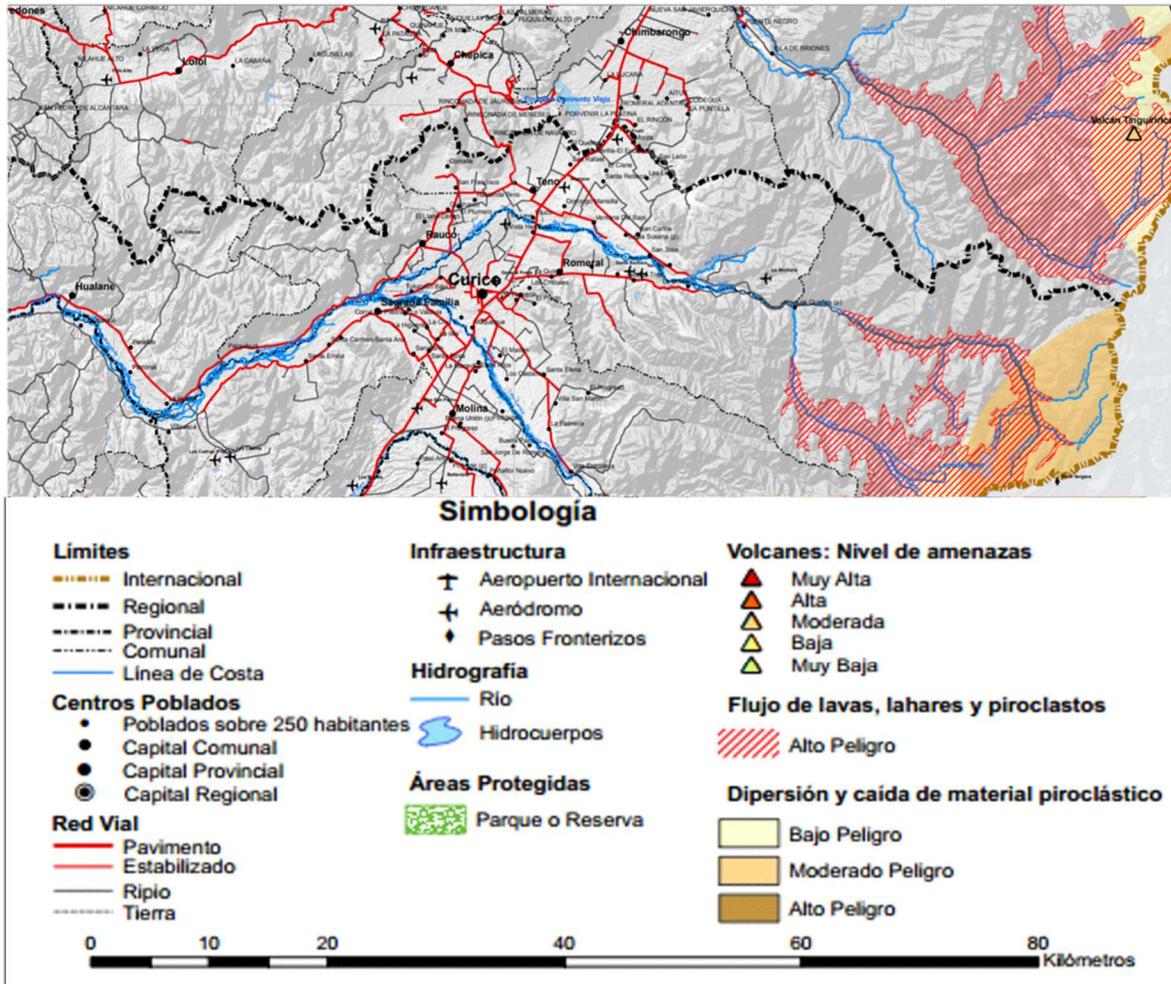
Dentro del área de estudio, el principal agente de peligro volcánico es el cordón de los Descabezados – Azul – Quizapú. El volcán Descabezado Grande ha mostrado fumarolas, sismos y violentas erupciones de cráteres parásitos. Destaca la erupción del 2 de junio de 1932, que generó una columna de tefra de 7 a 8 Km. de altura, con cenizas que alcanzaron la Depresión Central. El volcán Quizapú, ha presentado varias erupciones históricas, donde destacan la erupción de 1.846, el ciclo eruptivo de 1.907 a 1.932 que finaliza con una gran erupción en 1.932, y pequeños ciclos eruptivos posteriores.

Como antecedente adicional, posterior al sismo del 27F, el Sernageomin revisó un posible incremento de la actividad eruptiva de los volcanes Planchón-Peteroa, grupo Descabezados, entre otros en regiones aledañas. El monitoreo instrumental solo reportó un aumento parcial de la actividad fumarólica en algunos volcanes de los Andes del Sur (e.g., Villarrica, Llaima). En la región del Maule se habrían recibido información de 'destellos' o luminosidad anormal en el área cordillerana cercana a los volcanes Planchón-Peteroa y Descabezado Grande. En sobrevuelo del Sernageomin se habría reconocido una fumarola esencialmente blanca, principalmente constituida por vapor de agua. El informe permitió descartar manifestaciones de actividad perceptible.

Como complemento a lo anterior, Onemi ([enlace repositorioidigitalonemi.cl](http://enlace.repositoriodigitalonemi.cl)) realizó un Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami, Región del Maule (Provincias de Cauquenes, Curicó, Linares y Talca). Las Figuras a continuación muestran unas imágenes generales y ampliadas del mapa, en las cuáles se identifican los centros volcánicos principales del área, y las zonas de mayor riesgo contrastadas con la población, lo que servirá como base para zonificaciones en la siguiente etapa.



Figura 13 Ampliación Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami, Región del Maule



Fuente: Onemi (enlace repositorioidigitalonemi.cl)

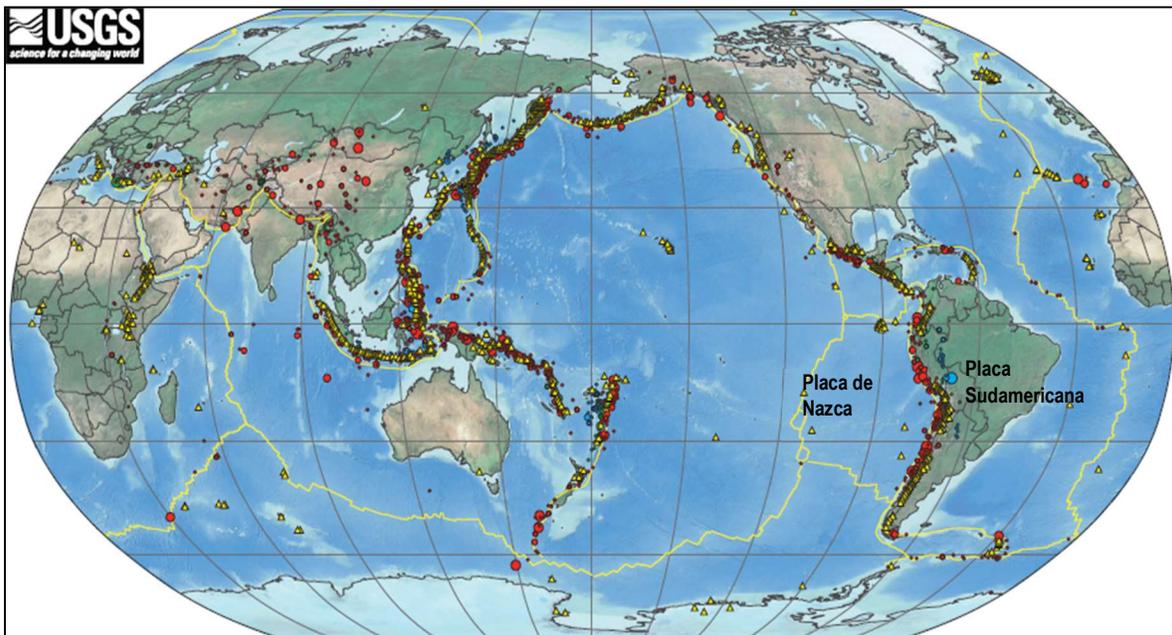
2.7. Sismicidad

Antecedentes generales y fuente sísmicas

Si bien la OGUC (en su apartado 2.1.17) no menciona los sismos dentro de las amenazas que generen zonas de construcción condicionada, es sabido que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, y que estos fenómenos son incluidos dentro de la planificación territorial a través de estudios específicos de Microzonificación Sísmica y en las Normas Chilenas de Construcción. No obstante lo anterior, a modo de referencia se presenta a continuación antecedentes de sismicidad histórica y estudios sísmicos en el área de estudio, incluyendo antecedentes de daños por terremotos pasados.

La gran mayoría de sismos en el planeta se debe al movimiento e interacción de placas tectónicas (Leyton et al., 2010), generándose una ruptura violenta por acumulación y liberación de energía. Existe una relación directa entre algunos límites de placas tectónicas y la sismicidad histórica en el planeta, como es el caso de Chile con la subducción de la Placa de Nazca bajo la placa Sudamericana (ver Figura a continuación, en la cual se muestra la relación que existe entre algunos límites de placas tectónicas y la sismicidad histórica en el planeta, entre 1900 y 2010). (Fuente USGS).

Figura 14 Sismicidad histórica entre 1900 y 2010



Fuente: National Earthquake Information Center – NEIC from USGS

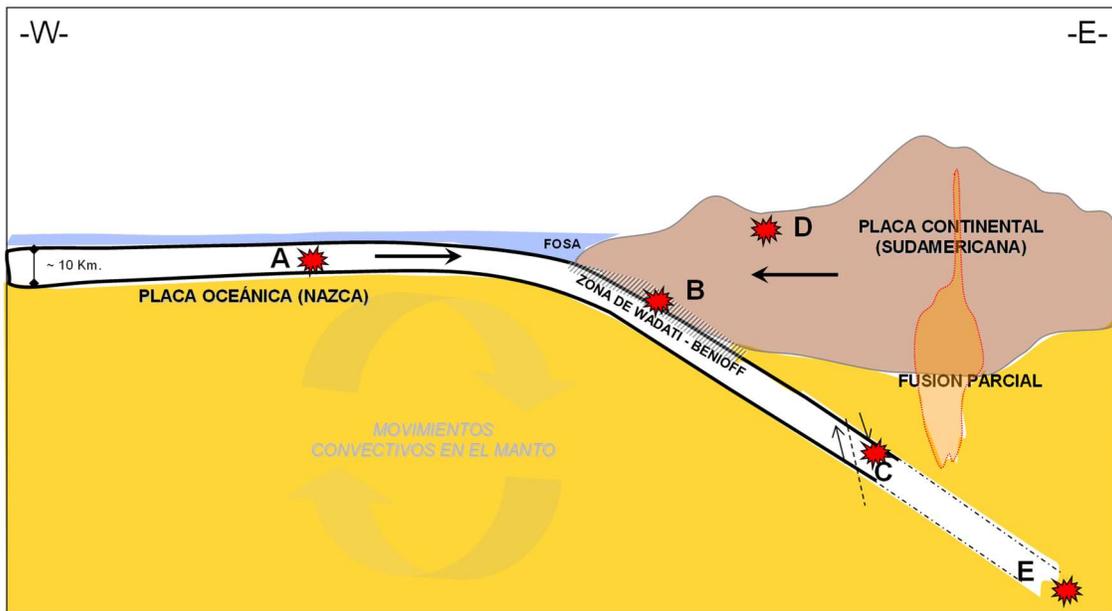
Se puede apreciar, además, que el borde occidental de Sudamérica se caracteriza por una banda de sismicidad angosta y particularmente muy activa, donde la subducción ocurre según un plano inclinado hacia el Este con inclinación que varía entre los 15° y 30° respecto a la horizontal, con un fuerte grado de acoplamiento (Madariaga, 1998) denominado zona o plano de Wadati – Benioff. La velocidad relativa de subducción entre



ambas placas es del orden de 6 a 7 cm/año¹, lo que es considerado una alta velocidad de convergencia. Además, la placa de Nazca es una placa oceánica “joven”. Estas dos características permiten una rápida acumulación de esfuerzos, consecuencia del contacto entre ambas placas, dando lugar a la alta sismicidad que caracteriza a Chile y Perú (Ruiz y Saragoni, 2005).

La liberación de tensiones y deformaciones a lo largo del plano de Wadati - Benioff, generan lo que se conoce como sismos interplaca (Madariaga, 1998) o sismos en la zona de Wadati - Benioff (tipo B de figura a continuación), y serían los más comunes en Chile. Como se aprecia en esta misma figura (que destaca con rojo las fuentes sismogénicas), la sismicidad en el margen de Chile no sólo existe en el contacto entre ambas placas tectónicas. Debido a los esfuerzos a que están sometidas la placas de Nazca y Sudamericana producto del movimiento convergente, también existen sismos en el interior mismo de las placas, conocidos como sismos intraplaca (tipo A, C, D y E de Figura).

Figura 15 Fuentes y sismogénicas en un modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana)



Fuente: Elaboración Propia

Los mecanismos de liberación de energía en los distintos tipos de sismos son complejos. En el caso de los sismos tipo A (sismos intraplaca oceánica), los materiales de la placa de Nazca (más jóvenes) se flexionan y doblan previamente al proceso de subducción, lo que genera campos extensionales (de estiramiento) los cuales reaccionan producto del choque de las placas, generando reacciones de liberación de energía de tipo “carga –

¹ Velocidad variable según distintos autores. 6.6 cm/año (Kendrick et al., 2003); 8.4 cm/año (DeMets et al., 1990); 8 cm/año (DeMets et al., 1994).



descarga". Los del tipo B (Interplaca) obedecen a asperezas y roce que se generaría entre ambas placas, viéndose impedido el movimiento hasta que los materiales se ven superados en resistencia y se rompen.

En el caso de los sismos intraplaca tipo C (también denominados sismos de profundidades intermedias) el mecanismo tiende a ser de tipo fracturamiento debido a la flexión de la placa subductante. En otras palabras, se dobla y quiebra por su propio peso (ver Figura). Esta actividad sísmica se ha observado desde los 50 kilómetros hasta los 200 kilómetros de profundidad (Leyton et al., 2010), existiendo también registros de sismos intraplaca profundos (tipo E) en la zona Norte del Chile (alrededor de los 22° Lat. Sur), entre 500 y 600 km de profundidad bajo la Argentina (Madariaga, 1998).

La sismicidad en la parte superior de la placa Sudamericana a baja profundidad (menos de 30 kilómetros) se conoce como sismos corticales (tipo D de Figura). Estos sismos serían producto del esfuerzo inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve (es decir, la placa continental, más antigua se deforma producto de las presiones que ejerce la placa oceánica). Esta acumulación de energía se libera en general asociada a fallas superficiales que pueden tener movimientos normales, inversos y de rumbo, que responden a campos de esfuerzos compresivos o extensivos.

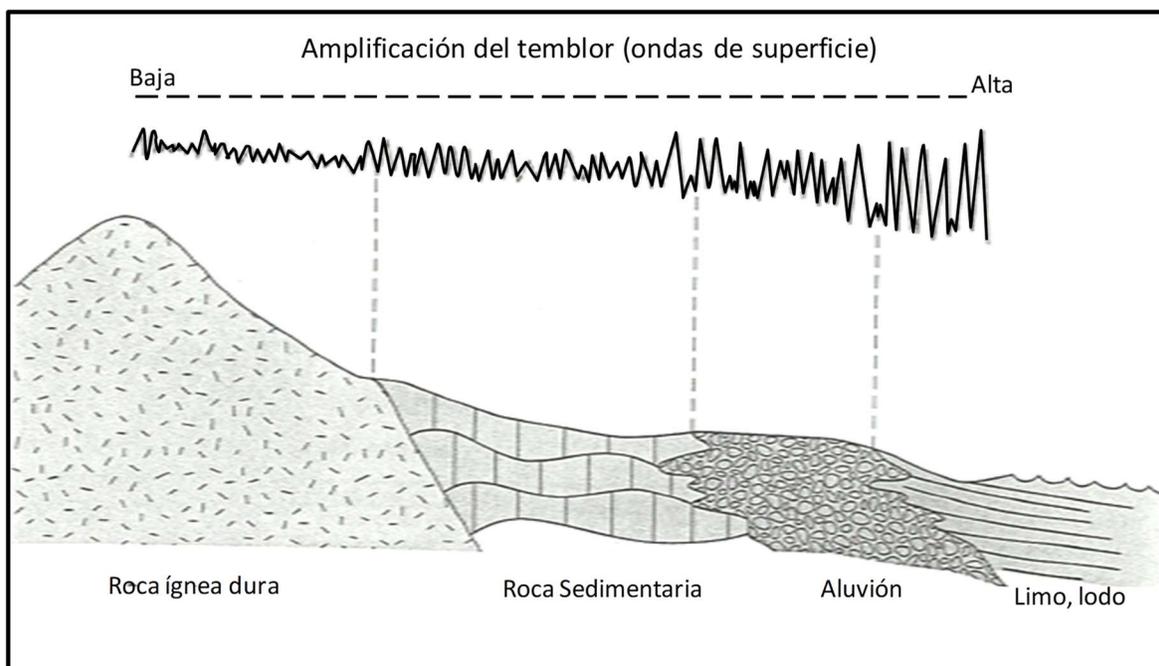
Sismicidad como peligro

Para el estudio de los sismos como un tipo de peligro de origen geológico, es necesario considerar, por un lado, aspectos relacionados con el fenómeno propiamente tal así como sus efectos secundarios. Dentro de los parámetros propios del sismo, se considera su magnitud (relacionada con el tamaño del sismo), el largo de la zona de ruptura (entendida como el área que abarca la zona en que la placa se rompe), el período de retorno (años que transcurren entre dos eventos de similares características en un área determinada), aceleraciones máximas alcanzadas, y la intensidad de un sismo, que corresponde a una escala cualitativa que describe la percepción subjetiva de las personas ante un sismo en un lugar específico y dependerá de los tipos de suelos y daños registrados.

Se sabe que la naturaleza de los materiales locales y la estructura geológica influyen en gran medida en el movimiento del suelo durante un sismo (Keller et al., 2004). Se ha observado que las condiciones locales, como tipo de suelos, topografía, profundidad del nivel freático, entre otras, pueden suponer respuestas sísmicas diferentes dentro de un entorno geográfico considerado (González de Vallejo et al., 2002) y se denomina "efecto de sitio" o "efectos locales". De esta forma, para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde se encuentra ubicado el observador, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto generándose más daño en algunos sectores que en otros (cuyo parámetro y variable de medición y ajuste es la aceleración del suelo y la Intensidad (Escala Mercalli). Esta variable depende fuertemente del sitio y/o estructura, por tanto, constituye una variable cuantificable de la "vulnerabilidad" del entorno. Una asociación del tipo de suelo respecto de la información que emerge la geología y geografía, se realizará a través de la descripción del tipo de suelo que entrega la NCh 433 of.96.

En términos geológicos es posible hacer una diferenciación general de los suelos de fundación basada en su nivel de compactación y nivel de consolidación (Keller et al., 2004), pudiendo hacerse una relación general con algunos materiales geológicos (Figura a continuación). Hay que destacar que un estudio de peligro sísmico incluye muchas aristas que no están dentro del alcance del presente estudio, sin embargo, se presentan los antecedentes recopilados a partir de estudios anteriores.

Figura 16 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



Fuente: Keller and Blodgett, 2004

Agrupando los principales peligros asociados a la actividad sísmica, se destacan:

- Generación de intensidades superiores a VII en la escala de Mercalli que originan un riesgo directo sobre las estructuras y sobre las personas
- Generación de Licuefacción del terreno.
- Generación de tsunamis de altura de inundación superior a 2 m, con un fuerte impacto sobre las poblaciones ubicadas en el borde
- Generación de remociones gatilladas por sismicidad
- Activación de fallas geológicas y/o agrietamiento del terreno
- Deformación de la superficie, incluyendo alzamiento o hundimiento de terrenos

A esto se suman una serie de consecuencias de alto impacto para la población, como colapso de infraestructura vial y habitacional, rotura de cañerías, incendios, caos, entre otras.

Antecedentes sísmicos en el área de estudio

Numerosos sismos históricos han afectado el área centro-sur de Chile. El área de estudio ha sido afectada por una serie de sismos. Se citan como ejemplo Talca 1928; Chillán 1939; Valdivia 1960 y Maule 2010.

El terremoto de Talca y Constitución, ocurrido el 1 de Diciembre de 1928 (epicentro del terremoto: latitud 35,0° S; longitud 72,0° W) tuvo una magnitud calculada de 7,9 Richter, y que de acuerdo a los antecedentes, provocó destrucción desde Valparaíso a Concepción. Otro caso emblemático de destrucción producto de un sismo en



Chile, es el ocurrido en Chillán en 1939, perteneciente a la fuente símica Intraplaca-oceánica. Ejemplos de estos sismos son los terremotos de Chillan en 1939 ($M_s=8.3$ según el Centro Sismológico Nacional y $M_s = 7.8$ según Beck et al, 1998), que sigue siendo el terremoto que mayor número de víctimas ha producido en el país. Las informaciones relacionadas con el número de víctima son contradictorias, varias fuentes no oficiales señalan que fueron entre 28000 y 30000 las personas muertas, sin embargo el número oficial de muertos registrados por la Dirección General de Estadísticas en su anuario de 1939 destaca la cifra de 5685, cifra que está distorsionada por el alto número de personas que fueron sepultadas sin identificación en fosas comunes para evitar las enfermedades producto de la descomposición de los cadáveres.

Los terremotos del 21 y 22 de Mayo de 1960 en Valdivia (Magnitud 9,5 Richter) causaron gravísimos daños en las provincias comprendidas entre Concepción y Chiloé, siendo las ciudades más afectadas las de Valdivia, Puerto Montt, Ancud, Castro y Corral. Este terremoto originó un tsunami de tales proporciones que asoló todos los puertos de esa zona produciendo enormes daños y alrededor de 1.000 víctimas. De acuerdo a la crónica, en Curanipe se sintió suave y largamente y el tsunami afectó al sector del Mariscadero en Pelluhue. En Curanipe el mar entró por el río Curanipe hasta llegar al puente y sucedió similar en el río El Parrón al extremo sur del pueblo. El tsunami se propagó por toda la cuenca del océano Pacífico causando daños y víctimas en Hawaii, Oceanía y Japón.

Terremoto del 27 de febrero de 2010 (Constitución – Concepción) y magnitud 8,8 Richter, causó extensos daños en Araucanía, Biobío, Maule, O'Higgins, Región Metropolitana y Valparaíso. Hubo 521 muertos, 12.000 heridos y un total de 1,8 millón de personas afectadas. En la escala de Mercalli Modificada, el terremoto tuvo las siguientes intensidades: Concepción IX, Chiguayante, Coronel, Lebu, Nacimiento, Penco, Rancagua, Santiago, San Vicente, Talca, Temuco y Tome VIII, desde La Ligua hasta Villarrica VII, Ovalle y Valdivia VI. Se sintió hasta Iquique y Punta Arenas.

El maremoto posterior causó daños y destruyó edificios en Concepción, Constitución, Dichato y Pichilemu. Se observaron hasta 2 metros de alzamiento en la costa cerca de Arauco. En el período entre el 27 de febrero y el 26 de abril de 2010, el USGS localizó 304 réplicas de magnitud 5 o mayor de las cuales 21 fueron de magnitud 6 o mayor.

Según el informe de asistencia elaborado por el SERNAGEOMIN (2010), se describen algunos efectos en la VII Región, como tsunami en las costas de la comuna de Vichuquén, o posible activación de fallas geológicas en Parral, o remociones en masa en San Clemente, Curicó y Molina, y Licuefacción en las riberas del Río Claro (Cumpeo).

En el reporte del SERNAGEOMIN (Efectos geológicos del Sismo Del 27 de Febrero de 2010: Observaciones geológicas en la comuna de San Clemente Región del Maule) se dan cuenta de algunas situaciones puntuales asociadas a remociones en masa y agrietamiento del terreno producto del fuerte sismo.

Licuefacción

Dentro de los fenómenos asociados a los sismos, la licuefacción de suelos es reconocida como un proceso natural mediante el cual determinados tipos de suelos saturados, no consolidados y no cohesivos (como arenas sueltas, arenas y limos mal graduados), que pierden su resistencia al corte debido a vibraciones del terreno y temporalmente se transforman a un estado licuado (se comportan como un líquido), gatillados por sismos. En este proceso el suelo experimenta una pérdida pasajera de resistencia que comúnmente hace que se produzca un desplazamiento o falla del terreno (las estructuras se hunden) y es típico de sectores con depósitos fluviales, deltas y desembocadura de ríos, donde predominan depósitos de arenas y limos no consolidados (a



profundidades menores de 15 metros) y nivel freático alto (cercano a superficie e inferior a 3 metros). Además, sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos ubicados donde antes existieron lagos o lagunas. De igual importancia es la licuefacción en rellenos antrópicos deficientemente trabajados, principalmente, sobre zonas de humedales. Dentro de los efectos de la licuefacción, se han evidenciado formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, “golpes de agua” (surgimiento de agua) y volcanes de arena, a menudo provocan que las estructuras se hundan o dañen.

Fallas Geológicas

La presencia de fallas geológicas y planos de debilidad es frecuente en los macizos rocosos. De acuerdo a los antecedentes recopilados, con el terremoto del 27F se habrían reconocidos algunos agrietamientos en el terreno en la localidad de Yiyahue, al este de Parral, Región del Maule, asociado a una posible falla geológica (SERNAGEOMIN, 2010). Si bien en la OCUJ no se especifica cómo incluir las fallas geológicas como riesgo y determinar su peligrosidad, es un tema que requiere estudios científicos profundos (como el caso de la Falla San Ramón en Santiago). La recomendación general emanada del SERNAGEOMIN es a no reconstruir viviendas ni infraestructura en las zonas de fallas, y se requerirá la evaluación de la peligrosidad de estas estructuras geológicas.

2.8. Vegetación

La vegetación y el uso actual de suelo es una variable importante desde la perspectiva de los riesgos naturales y antrópicos, por presentar porcentajes de cobertura de suelo en relación con los efectos de las precipitaciones o a la concentración de plantaciones forestales respecto de la ocurrencia de incendios.

En la comuna, de un total de 7 grupos de uso de suelos catastrados por CONAF, 3 de ellos concentran más del 82% de la superficie comunal: terrenos de uso agrícola 34%, bosque nativo 29 y pradera y matorral 19%

Un uso importante desde la perspectiva de los riesgos lo constituye la plantación joven o recién cosechada (3%), dado que su localización en pendientes sobre 15° puede ocasionar problemas de erosión.

Tabla 4 Vegetación y uso actual de suelo CONAF 2019

Uso de suelo y vegetación	Superficie hectáreas	Superficies agrupadas	%
Áreas Desprovistas de Vegetación, Cajas de Ríos, No Aplica	518,7		
Áreas Desprovistas de Vegetación, Otros sin Vegetación, No Aplica	1,4		
Áreas Urbanas e Industriales, Ciudades, Pueblos, Zonas Industriales, No Aplica	591,0	1257,7	2%
Áreas Urbanas e Industriales, Minería Industrial, No Aplica	2,3		
Áreas Urbanas e Industriales, Sin Información, No Aplica	144,3		
Bosques, Bosque Mixto, Nativo-Plantación	390,8	16090,3	



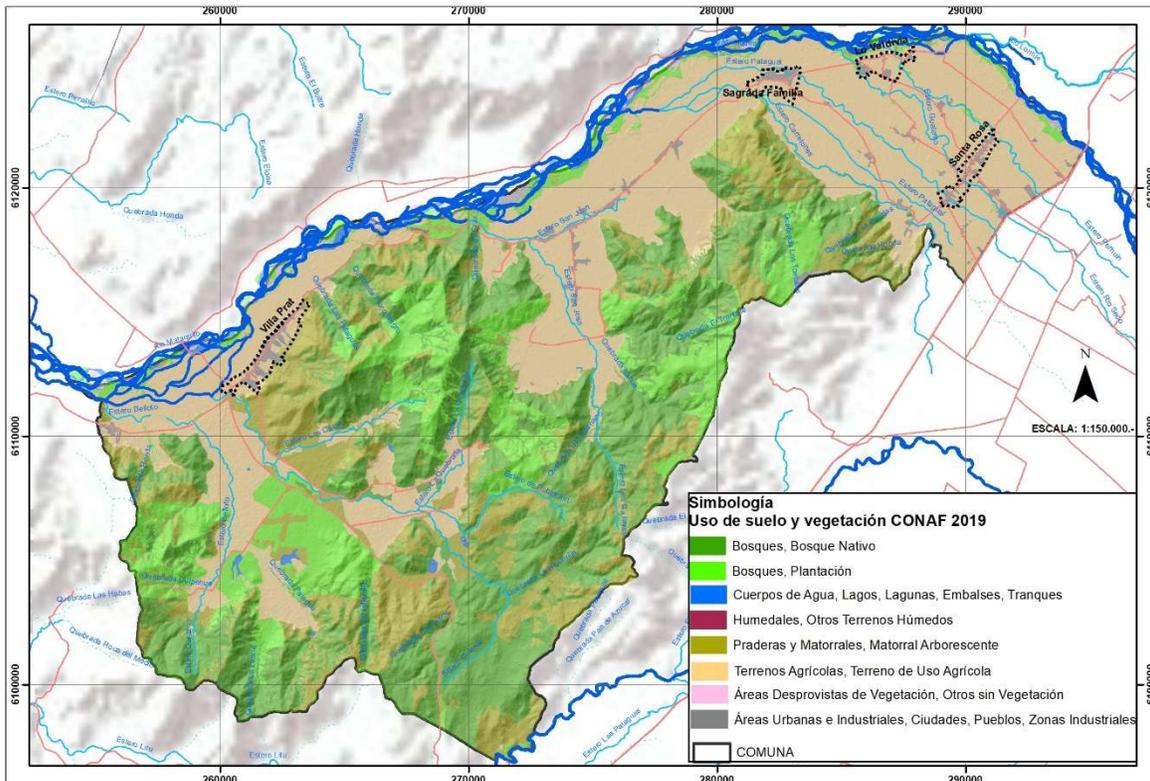
Bosques, Bosque Mixto, Nativo con Exóticas Asilvestradas	52,2		29 %
Bosques, Bosque Nativo, Renoval	15647,3		
Bosques, Plantación, Adulta	5205,8		
Bosques, Plantación, Bosque de Exóticas Asilvestradas	1581,5	8272,5	15 %
Bosques, Plantación, Joven o Recién Cosechada	1472,1		
Bosques, Plantación, Sin Información	13,0		
Cuerpos de Agua, Lagos, Lagunas, Embalses, Tranques, No Aplica	78,4		
Cuerpos de Agua, Ríos, No Aplica	589,5	672,1	1%
Cuerpos de Agua, Sin Información, No Aplica	4,3		
Humedales, Otros Terrenos Húmedos, No Aplica	9,1	9,1	0%
Praderas y Matorrales, Matorral-Pradera, No Aplica	1348,8		
Praderas y Matorrales, Matorral Arborescente, No Aplica	4746,2		
Praderas y Matorrales, Matorral con Suculentas, No Aplica	200,7	10524,5	19 %
Praderas y Matorrales, Matorral, No Aplica	3393,5		
Praderas y Matorrales, Praderas, Pradera Anual	15,3		
Praderas y Matorrales, Praderas, Pradera Perenne	792,7		
Praderas y Matorrales, Praderas, Sin Información	27,4		
Terrenos Agrícolas, Rotación Cultivo-Pradera, No Aplica	477,2		
Terrenos Agrícolas, Sin Información, No Aplica	82,3	18732,3	34 %
Terrenos Agrícolas, Terreno de Uso Agrícola, No Aplica	18172,7		
Total	55558,6	55558,6	100 %

Fuente: <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/>



Respecto de los usos de suelo y vegetación asociados a las localidades en estudio corresponden principalmente a terrenos agrícolas y en el caso específico de Villa Prat limita al oriente con matorral como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 17 Uso de suelo y vegetación Conaf 2019



Fuente: <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/>

2.9. Clases de capacidad de uso de suelo

De acuerdo con sus capacidades productivas, los suelos pueden ser clasificados en ocho distintas clases, que se diferencian de acuerdo con las limitantes y restricciones que presentan al desarrollo agrícola de los diversos cultivos existentes. De este modo, es posible identificar distintas clases de capacidades de usos que permite clasificar a los suelos en las siguientes categorías:

Clase I: Los suelos de Clase I tienen muy pocas limitaciones que restrinjan su uso. Son suelos casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena capacidad de retención de humedad y su fertilidad es buena. Los rendimientos que se obtienen, utilizándose prácticas convenientes de cultivo y manejo, son altos en relación con los de la zona. Para su uso se necesitan prácticas de manejo simples que mantengan su productividad y conserven su fertilidad natural.



Clase II: Los suelos de Clase II presentan ligeras limitaciones que reducen la elección de los cultivos o requieren moderadas prácticas de conservación. Corresponden a suelos planos con ligeras pendientes. Son suelos profundos o moderadamente profundos, de buena permeabilidad y drenaje, presentan texturas favorables, que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos que la clase anterior.

Las limitaciones más corrientes son:

1. Pendientes suaves y micro-relieve poco acentuado.
2. Profundidad menor que un suelo de Clase I.
3. Estructura y textura desfavorable.
4. Ligera humedad corregible por drenaje.

Estas limitaciones pueden presentarse solas o combinadas.

Clase III: Los suelos de la clase III presentan moderadas limitaciones en su uso y restringen la elección de cultivos, aunque pueden ser buenas para ciertos cultivos. La topografía varía de plana a moderadamente inclinada lo que dificulta severamente el regadío. La permeabilidad varía de lenta a muy rápida.

Las limitaciones más corrientes para esta Clase se refieren a:

1. Topografía moderadamente ondulada.
2. Profundidad del suelo.
3. Estructura y textura desfavorable.
4. Baja capacidad de retención de agua.
5. Humedad que limita el desarrollo radicular.

Los suelos de esta Clase requieren prácticas moderadas de conservación y manejo.

Clase IV: Los suelos de la Clase IV presentan severas limitaciones de uso y restringen la elección de cultivos. Estos suelos pueden ser cultivados, requieren cuidadosas prácticas de manejo y de conservación, más difíciles de aplicar y mantener que las de la Clase III.

Las limitaciones más usuales para esta Clase se refieren a:

1. Suelos muy delgados.
2. Topografía moderadamente ondulada y disectada.
3. Baja capacidad de retención de agua.
4. Drenaje muy pobre.

Clase V: Corresponde a los terrenos no arables. Aptos para pastoreo y forestales. Se requiere de buen manejo de la pradera y bosque.

a) Terrenos planos, demasiado húmedos o pedregosos y/o rocosos para ser cultivados. Están condicionados a inundaciones frecuentes y prolongadas o salinidad excesiva.



b) Terrenos planos o de piedmont (plano inclinado) que por factores climáticos no tienen posibilidad de cultivarse, pero poseen buena aptitud para producción de praderas naturales todo el año o parte de él. Como por ejemplo se puede mencionar: Turbas, pantanos, mallines, ñadis, etc., es decir, suelos demasiados húmedos susceptibles a ser drenados, por lo tanto cultivados. O bien suelos de valles andinos y/o costinos, en posiciones piedmont, que por razones de clima (ejemplo: pluviometría) no pueden ser cultivados.

Clase VI: Los suelos de la Clase VI corresponden a suelos inadecuados para los cultivos y su uso está limitado para pastos y forestales. Los suelos tienen limitaciones continuas que no pueden ser corregidas, tales como: pendientes muy pronunciadas, susceptibles a severa erosión, efectos de erosión antigua, pedregosidad excesiva, zona radicular poco profunda, excesiva humedad, baja retención de humedad y alto contenido de sales.

Clase VII: Asociada a pendientes muy pronunciadas, presenta restricciones más severas que la clase VI. Su uso es fundamentalmente pastoreo y forestal

Clase VIII: Corresponden a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación y protección de hoyas hidrográficas

Tabla 5 Clase de suelos por superficie comuna de Sagrada Familia

Clase	Hectáreas	%
I	493,4	1%
II	2466,4	5%
III	11548,8	21%
IV	6310,0	12%
N.C.	1944,9	4%
VI	4445,1	8%
VII	26601,6	49%
VIII	982,6	2%
Total	54792,9	100%

Fuente: CIREN 2011 EPSG:32719

Las capacidades productivas en los suelos de clases I, II y III constituyen un potencial de gran desarrollo económico para un territorio, por cuanto a partir de ellos se conforman una serie de sistemas productivos de distintas escalas. En el caso de la comuna los suelos de clases I, II y III constituyen un 26% de la superficie total catastrada y se concentran en el sector del valle central.

Los suelos clase IV (12%), si bien presentan buenas cualidades agronómicas cuentan con limitaciones para algunos cultivos, siendo más restrictiva la elección de estos. Se localizan posteriores al pie de monte, por lo tanto su limitación se asocia a mayor pendiente que los suelos I, II y III, y a la presencia de un porcentaje mayor de arcilla que interfiere en la capacidad de infiltración de agua de manera natural.

Los suelos no clasificados (NC) corresponden principalmente al lecho de inundación del de los principales cursos de aguas y a los centros poblados de la comuna. Su superficie representa un 4% de la superficie comunal.



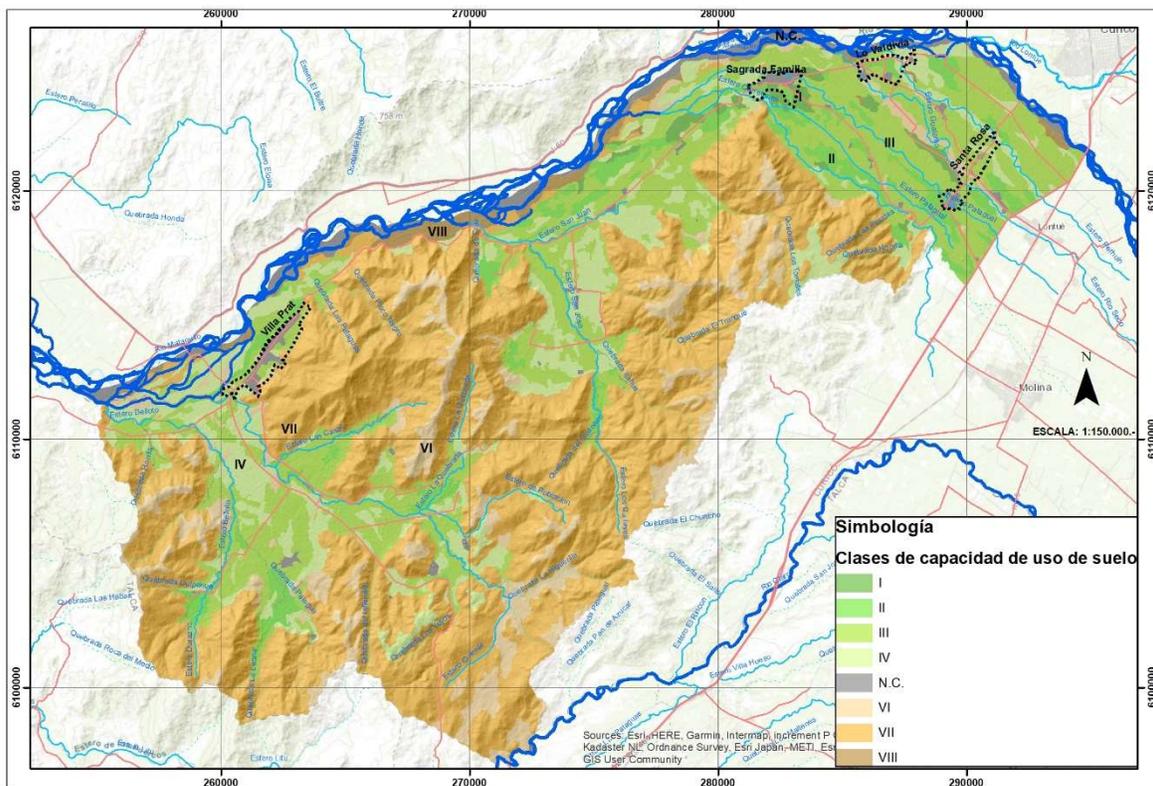
Los suelos clase VI representan un 8% de la superficie comunal y se localizan en la sección más alta de los conos de deyección, entre los suelos clase IV y los suelos clase VII. Sus capacidades agronómicas son limitadas debido a la pendiente, no permitiendo el riego por inundación.

Los suelos de clase VII, los cuales representan un 49% de la superficie total catastrada, se localizan principalmente en la Cordillera de la Costa. Su capacidad de uso de suelo se asocia con la presencia de vegetación nativa o introducida (plantaciones forestales).

Los suelos VIII se concentran principalmente en las llanuras de inundación de los principales lechos de ríos, caracterizándose por un alto contenidos de áridos de distintas dimensiones, aportados por las crecidas del río.

Si se suman las superficies de los suelos clases I, II y III, se tiene que el 26% de la superficie total comunal presenta suelos con aptitud agrícola. Si adicionalmente se suma los suelos clase IV (12%) se llega a un 38% de suelos con aptitud agrícola.

Figura 18 Clases de capacidad de uso de suelo



Fuente: CIREN 2011 EPSG:32719

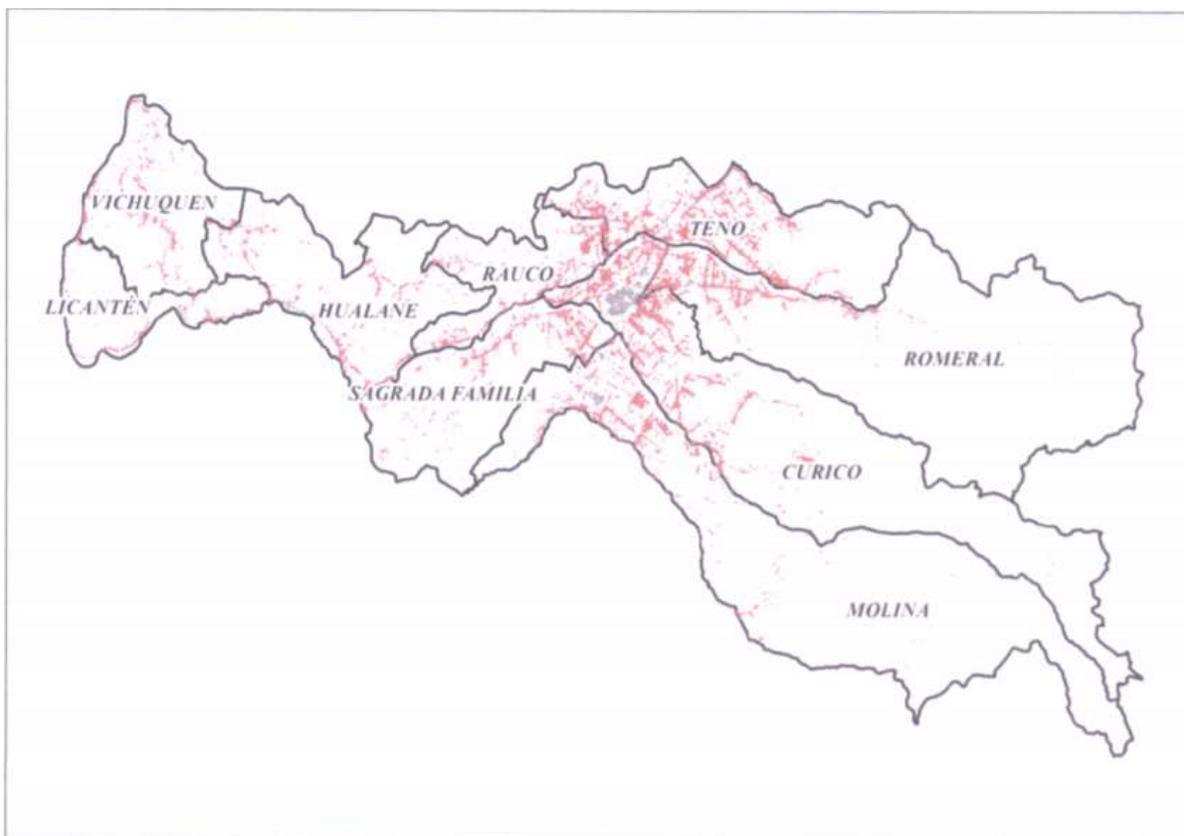


Fuente: Elaboración propia

Plan Específico de Emergencia por Variable de Riesgo-Forestal, Región del Maule

Dicho estudio realiza una “Zonificación Áreas de Amenaza”, que corresponde a zonas de áreas de amenaza por sectores geográficos donde potencialmente son propensos al inicio o propagación de un incendio forestal, tomando en consideración factores como densidad poblacional, áreas ecológicas, infraestructura crítica entre otros. A continuación, se presentan los resultados para la provincia de Curicó.

Figura 20 Zonas de amenaza identificadas de acuerdo a áreas de interface Provincia de Curicó.



Fuente: Plan Específico de Emergencia por Variable de Riesgo-Forestal, Región del Maule, 2018



2.11. Catastro de riesgos comuna de Sagrada Familia

El catastro tiene como objetivo reconocer los riesgos naturales y antrópicos existentes en el área de estudios, determinar sus causas y analizar posteriormente las posibilidades de zonificar como áreas de riesgos.

Registro de riesgos naturales y antrópicos por Desinventar Sendai² para comuna de Sagrada Familia

Siniestro	Fuente	Fecha	Comentario
Sequía	El Mercurio	1976/09/01	
Tormenta	El Mercurio	2000/06/23	Inundación de viviendas. Familias albergadas
Lluvias	El Mercurio	1999/09/12	Corte de luz
Tormenta	El Mercurio	1972/05/06	
Incendio forestal	El Mercurio	1988/02/24	Sector de El Ajial, destruidas plantaciones de pino insigne

Fuente: <https://www.desinventar.net/DesInventar/results.jsp>

2.12. Conclusiones medio físico

La comuna de Sagrada Familia se inserta dentro del dominio climático templado mediterráneo, que se desarrolla en la zona centro del país, el cual se caracteriza por un régimen de precipitaciones invernales y un período de sequía prolongado. De acuerdo con el estudio “Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050”, respecto de los resultados de la temperatura en la comuna, **se observa un aumento de la temperatura media estival de 2° e invernal de 1.6°C**, de acuerdo con la proyección del escenario del año 2050. En cuanto a los resultados de las precipitaciones en la comuna, **se observa una disminución de la precipitación normal anual, mayor a 114 mm**, respecto de la proyección del escenario del año 2050. La intensidad de las precipitaciones de acuerdo a los datos obtenidos en tres estaciones meteorológicas (DGA) consultadas (más cercanas a las localidades) **en todas se obtuvieron registros de mas de 60 mm en 24 hrs.**

La hidrografía comunal, participa en su totalidad de la cuenca del río Mataquito, siendo su cauce principal el río del mismo nombre, el que se origina de la confluencia del río Teno, que drena la porción norte del área, y del Lontué, que drena la porción sur. Dicha conjunción se produce a 12 kilómetros al oeste de Curicó; desde aquí el Mataquito serpentea por un valle ancho en dirección general al oeste hasta desembocar en mar abierto después de un recorrido de 95 kilómetros (Dirección General de Aguas, 2004).

Respecto de la hidrografía, la principal fuente de recarga de los acuíferos regionales corresponde a infiltración directa a partir de las precipitaciones y que, de manera secundaria, contribuyen los aportes laterales de los ríos y aquellos del retorno de riego. En general, entre los 35° y 36° S, las aguas subterráneas almacenadas en el relleno sedimentario de la Depresión Central tienen características hidroquímicas, adecuadas para satisfacer demandas potables y de riego.

² DesInventar Sendai es una nueva versión del software ampliamente utilizado y ampliamente probado que implementa todos los Indicadores y datos necesarios para el Monitoreo de las Metas A a D del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, que corresponden a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) paralelos. indicadores de los Objetivos 1, 11 y 13.



Las características geológicas y geomorfológicas del área de estudio se centran en la Cordillera de la Costa, compuesta por secuencias volcánicas y sedimentarias marinas localizadas en las serranías y sectores más altos de la comuna. En segundo lugar los sectores más planos del Valle Central están compuesto principalmente por depósitos fluviales, aluviales, coluviales y de remociones en masa dando lugar a un valle principal (Mataquito) y rinconadas de los principales estero y quebradas de cuencas menores.

Los usos y vegetación de suelos en la comuna, compuesto de un total de 7 grupos de uso de suelos catastrados por CONAF, 3 de ellos concentran más del 82% de la superficie comunal: terrenos de uso agrícola 34%, bosque nativo 29 y pradera y matorral 19%. Cabe destacar que el bosque nativo se encuentra asociado principalmente a las serranías de la Cordillera de la Costa.

Respecto de capacidades productivas en los suelos de clases I, II y III que constituyen un potencial de gran desarrollo económico para un territorio, por cuanto a partir de ellos se conforman una serie de sistemas productivos agrícolas y agroindustriales de distintas escalas. En el caso de la comuna los suelos de clases I, II y III constituyen un 26% de la superficie total catastrada y se concentran en el sector del valle central. Los suelos clase IV (12%), si bien presentan buenas cualidades agronómicas cuentan con limitaciones para algunos cultivos, siendo más restrictiva la elección de estos. Se localizan posteriores al pie de monte, por lo tanto su limitación se asocia a mayor pendiente que los suelos I, II y III, y a la presencia de un porcentaje mayor de arcilla que interfiere en la capacidad de infiltración de agua de manera natural

De acuerdo con el catastro georreferenciado de incendios de la Corporación Nacional Forestal, de los años 2015, 2016 y 2017 en la comuna de Sagrada Familia, se obtiene un total de 37 siniestros. Respecto de su relación con las áreas urbanas propuestas por el Plan, ningún incendio se localiza dentro de los límites urbanos propuestos, los tres más cercanos se localizan a una distancia menor a 0.5 kilómetros en el sector de Lo Valdivia. En el resto de las localidades la distancia de los siniestros supera el kilómetro al límite urbano propuesto.



3. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LOS RIESGOS ANALIZADOS

3.1. Riesgo y susceptibilidad

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 periodo de retorno de los eventos, es decir, el factor tiempo (JTC-1, 2008). La susceptibilidad depende directamente de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, como la geomorfología o factores intrínsecos de los materiales geológicos, y de factores externos que pueden actuar como desencadenantes (por ejemplo precipitaciones intensas, sismos, etc.). Para la construcción de mapas de susceptibilidad se utilizan los mapas de inventario, en los que se identifican las áreas que han sido afectadas por determinados procesos, y mapas de factores condicionantes que favorecen o entorpecen el desarrollo de estos procesos. Además, los mapas de susceptibilidad apuntan a cubrir el peor escenario posible en el área de estudio.

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

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

La vulnerabilidad corresponde al grado de pérdidas o daños potenciales de un elemento o conjunto de elementos dados, como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de magnitud determinada. Se expresa en una escala de 0 (sin daños) a 1 (pérdida o destrucción total del elemento) o entre 0% y 100% de daños (Varnes, (1984); González de Vallejo et al., (2002); JTC1, (2008)).

* 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



3.2. Remociones en masa

Los procesos que involucran la movilización de materiales (suelo, rocas o ambos) en laderas por efectos de la gravedad se denominan genéricamente remociones en masa (Cruden, 1991). Constituyen un conjunto de amenazas que resultan ser frecuentes en la naturaleza y que en algunas ocasiones generan gran daño a la población.

Para incorporar las remociones en masa en la planificación del territorio, es fundamental diferenciarlas y caracterizarlas según su tipo, velocidad del movimiento y material afectado. Esto permitiría orientar medidas correctivas adecuadas, o dimensionar su real impacto en la población.

La clasificación de los distintos fenómenos de remoción en masa se basa, por un lado, en el tipo de movimiento que presentan, y por otro lado, en la naturaleza de los materiales involucrados. Los movimientos más frecuentes son de tipo deslizamientos (superficiales y profundos), desprendimientos, volcamientos, mecanismos tipo flujo y extensiones laterales. Mientras que la naturaleza de los materiales afectados puede ser muy variable, entre rocas y suelo o combinación de ambos, incluyendo en ocasiones fragmentos de material orgánico, troncos de árboles e incluso escombros y basura.

Las clasificaciones más recientes (Hung, 2014) dan cuenta de una gran cantidad de materiales diferenciables entre sí por sus propiedades geológicas y comportamiento geotécnico (diferenciando entre rocas, detritos, suelos, regolito y otros). Dentro de la característica de cada tipo de remoción en masa, es importante considerar si presentan o no control de estructuras geológicas, el mecanismo de falla que predomina y las velocidades a las que ocurren. Existen remociones en masa extremadamente rápidas (5 m/s según la clasificación de Cruden y Varnes, 1996), como por ejemplo caídas de rocas y avalanchas, hasta movimientos extremadamente lentos (velocidad típica de 16 mm/año según la clasificación de Cruden y Varnes, 1996), como los fenómenos de reptación.

La velocidad de una remoción en masa junto al volumen del material movilizado, condicionan en gran medida la capacidad de control que existe sobre el proceso mediante obras de contención o medidas de mitigación.

Dentro de las remociones en masa más comunes en la zona central de Chile para sectores no montañosos, se reconocen desprendimientos de material (rocas, suelos o mezclas, incluyendo en algunos casos vegetación), deslizamientos (ya sea de roca o material disgregado) y los mecanismos de tipo flujo (barro y detritos). En los sectores montañosos y de la cordillera de Los Andes, se incluyen avalanchas de roca, lahares y flujos asociados a volcanismo.

Las caídas o desprendimientos de bloques de roca o masas de roca son eventos muy rápidos (González de Vallejo et al., 2002), en los cuales el material movilizado se separa del macizo rocoso que lo contiene, viéndose favorecidos por la existencia de planos de debilidad y por laderas con geometrías irregulares. El material desprendido podrá alcanzar el pie del talud mediante caída libre o una combinación de ellas. La trayectoria del material dependerá principalmente de la forma del bloque y del ángulo de pendiente del talud (Ver Figura a continuación) (Lara, 2007).

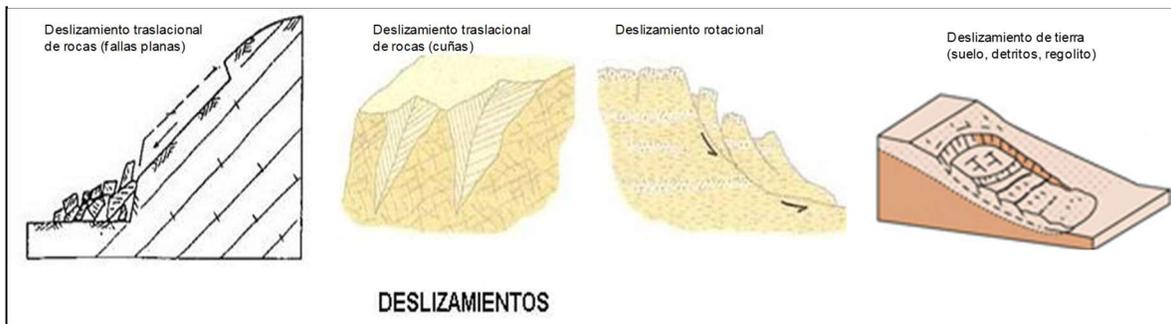
Figura 21 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los deslizamientos corresponden a movimientos de masas ladera abajo que ocurren a través de una o más superficies de cizalle predefinidas, ya sean discontinuidades del macizo rocoso o a partir de las condiciones de resistencia de los suelos que definirán su fallamiento. Los movimientos más comunes que presentan los deslizamientos son de tipo traslacionales y rotacionales (Varnes, 1978). Los primeros, tienen lugar en superficies preexistentes más o menos planas (por ejemplo, diaclasas, fallas o planos de estratificación), siendo los más comunes tipo cuñas y fallas planas. En el caso de los deslizamientos de tipo rotacionales, la superficie de rotura puede ser superficial o profunda, definida por superficies curvas y cóncavas. Los materiales en que ocurren van desde bloques de roca (tipo fallas planas o cuñas) o en materiales homogéneos de baja calidad geotécnica (como arenas, suelos, rocas muy meteorizadas, regolito, coluvios y rellenos artificiales), como botaderos de material estéril, lastre en minería, rípios de lixiviación y material de empréstito. En el caso de los deslizamientos en roca, suelen ser eventos rápidos y repentinos. Los deslizamientos (rotacionales o traslacionales) de materiales menos consolidados suelen presentar grietas en la zona de escarpe o generación, previo a su movimiento, pero su velocidad es variable (lentos a muy rápidos) y, dependiendo de las condiciones, pueden ser el inicio de otro tipo de remociones en masa más masivas (Hungar, 2014). Ver Figura a continuación.

Figura 22 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

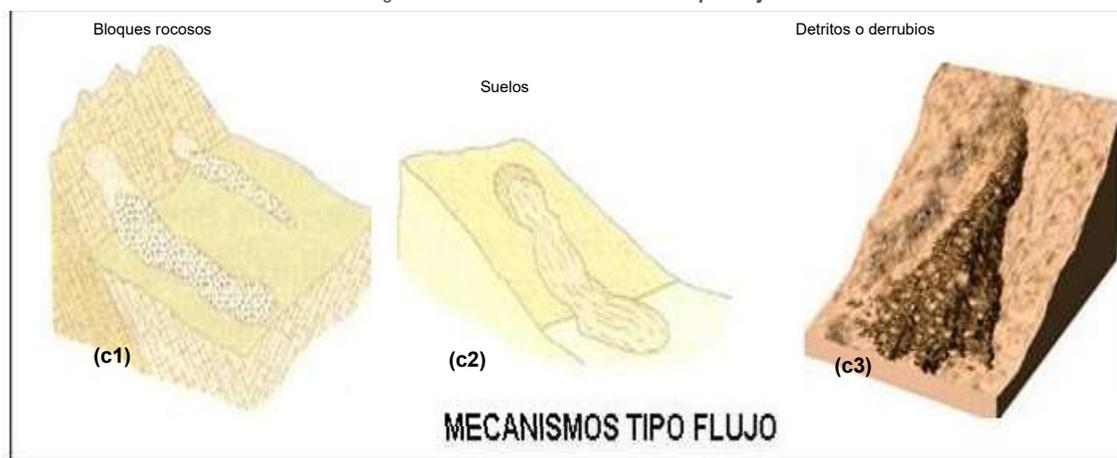


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los flujos corresponden a movimientos continuos en que el material es arrastrado y se encuentra saturado en agua (Varnes, 1978). En Chile comúnmente se les llama aluviones. Existen distintas clasificaciones para los flujos, basadas en el tipo de material movilizado (barro, detritos o fragmentos rocosos) y en la proporción de líquido y sólido que presenten (Figura a continuación). Los eventos más comunes en Chile Central son los flujos de barro y detritos, y cuya ocurrencia dependerá de la existencia de material disponible (generalmente disgregado) que pueda ser arrastrado ladera abajo, y la presencia de algún agente (comúnmente agua) que lo ponga en movimiento.

En general estos mecanismos son poco profundos en comparación con el área que pueden abarcar y pueden tener lugar en laderas con pendientes incluso menores a 10° (González de Vallejo et al., 2002). Su transporte tiende, en un principio, a ser dominado por las altas pendientes y luego a canalizarse por cauces preexistentes, mediante el cual el fluido va perdiendo velocidad y energía a medida que avanza por sobre la topografía.

Figura 23 Remociones en Masa de tipo Flujo



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Factores condicionantes y desencadenantes.

En el medio físico, existen algunos factores que favorecen la movilización de materiales. Estos se conocen como *Factores Condicionantes* y están relacionados con la naturaleza, estructura y composición del terreno (González de Vallejo et al., 2002). Por ejemplo, pendientes y topografía abrupta de un terreno, tipo y calidad de los materiales, presencia o ausencia de vegetación, presencia de agua, existencia de intervención antrópica, entre otros.

De la misma forma, existen factores que modifican la estabilidad preexistente del terreno, como construcciones, caminos, cortes, sismos y lluvias intensas, que desencadenan o gatillan la ocurrencia de un evento (González de Vallejo et al., 2002) y son conocidos como *Factores Desencadenantes*.

A continuación, se describen los factores condicionantes más comunes para distintos tipos de remociones en masa (basados en trabajos de Hauser, 1993; González de Vallejo et al., 2002; Lara, 2007; Muñoz, 2013):



Geología y geotecnia: Las características geológicas de un sector son usualmente descritas a partir de los tipos de materiales presentes (distintas litologías, sedimentos y coberturas de suelo), por la disposición que presentan (estratificación, contactos, presencia de fallas y sistemas de diaclasas). Sin embargo, para estudiar las remociones en masa no sólo es importante conocer la composición y tipo de masa sensible a ser movilizada, sino que también cómo se espera que se comporte en términos mecánicos y resistentes. Es importante considerar el grado de alteración y meteorización de los macizos rocosos, así como caracterizar su fábrica estructural (tipo, disposición y condición de las discontinuidades), y estimar u obtener valores de la resistencia de la roca intacta, del macizo y de sus discontinuidades. También es importante describir el comportamiento de los materiales ante la presencia de agua (porosidad, permeabilidad, humedad, densidad de los materiales que lo componen).

Geomorfología: Las condiciones geomorfológicas de un área estarán gobernadas por los distintos procesos que modelan la superficie, y pueden ser descritas en términos de rangos de pendientes, topografía presente, a altura de las laderas y la forma que presentan (laderas regulares o irregulares, con pendiente positiva o negativa). De esta forma, topografías escarpadas con altas pendientes propiciarán la generación de varios tipos de remociones en masa (como flujos, deslizamientos y caídas), influidos por la acción gravitatoria. Los rangos críticos de pendientes para cada tipo de remoción en masa son variables.

Hauser (1993) señala que pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas serían favorables para el desarrollo de flujos o aluviones, mientras que Sauret (1987) en Sepúlveda (1998) señala que aluviones podrían generarse en pendientes menores (que no sobrepasen los 15°). Laderas en roca con pendientes mayores a 35° serían susceptibles a que se generen deslizamientos, y en un caso sísmico, está pendiente podría ser sólo mayor que 15° (Keefer, 1984). En el caso de caídas de rocas, podrían generarse ante un sismo a partir de un macizo rocoso fracturado, meteorizado, y poco resistentes, en zonas donde los taludes son mayores o iguales a 40° (Keefer, 1984). En algunos tipos de remoción en masa, donde es relevante el espesor de suelo y cobertura vegetal, se consideran además aspectos geográficos del área, como por ejemplo orientación con respecto al norte lo que puede finalmente influir por ejemplo en el grado de humedad de la ladera y exposición al sol.

Clima y vegetación: Las condiciones climáticas influyen directamente en el grado de meteorización y erosión que tendrá un área, especialmente al verse expuesta a precipitaciones, viento, cambios de temperatura y radiación solar. Por ejemplo, la meteorización física y química de los materiales (que es más intensa en climas húmedos), genera mayores espesores de suelo y horizontes orgánicos, y traerá como consecuencia la pérdida de resistencia de los materiales. No obstante, un clima húmedo propiciará la presencia de cobertura vegetal, que además de reducir la erosión, puede en algunos casos ser una barrera natural de contención de material movilizado por remociones en masa. Otro ejemplo es el caso de las precipitaciones, que pueden ser incluidas como condicionantes dentro de la variable climática, pero que también actúan como desencadenante de algunos procesos. Para evaluar cómo el clima y la vegetación condicionan la ocurrencia de remociones en masa, se hace necesario además conocer las características particulares del área a evaluar y los fenómenos asociados.

Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas: El agua, tanto en superficie como por debajo de ella, condiciona en forma directa e indirecta la generación de remociones. La forma y distribución de sistemas de drenaje en superficie, así como características de caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por



un lado genera presiones intersticiales, lo que reduce la resistencia, aumenta los esfuerzos de corte, por el incremento del peso del terreno, genera fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002) y reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas.

Intervención antrópica: El hombre genera, de forma planificada o no, modificaciones en el medio. La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, obras de minería, etc., en muchas ocasiones deja las laderas más susceptibles a la ocurrencia de eventos, producto de diseños mal concebidos con ángulos mayores a los que es capaz de resistir en forma natural los materiales, o que no consideran el control estructural que tendrá un talud de forma natural. En algunas ocasiones el resultado son geometrías de laderas irregulares o con pendientes negativas, que finalmente causarán desestabilización. Sin embargo, también existen obras antrópicas robustas, que disminuirán la susceptibilidad ante remociones en masa, y esa consideración será incluida y abordada en el presente trabajo. Cabe señalar, que al igual que las precipitaciones, la intervención antrópica en algunos casos resulta el agente desencadenante de un evento.

A diferencia de los factores condicionantes, los factores desencadenantes corresponden a agentes activos y pueden ser considerados como factores externos que provocan o gatillan inestabilidades (González de Vallejo et al., 2002). En la mayoría de los casos, son varias causas las que finalmente contribuyen al movimiento de una ladera, aunque con frecuencia se atribuyen a sismos o precipitaciones intensas, sin embargo, deben existir las condiciones predeterminadas para su ocurrencia.

Dentro de los factores desencadenantes, los más comunes se citan:

Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas: Las precipitaciones y aportes de agua cambian las condiciones hidrológicas en los terrenos, produciendo: variación en las presiones intersticiales; cambios en el peso del terreno; cambios en los niveles de saturación; pérdida de resistencia de los materiales; aumento en la erosión de las laderas y socavamiento de terrenos. Según González de Vallejo et al. (2002), el desencadenamiento de remociones en masa, por causas meteorológicas y climáticas, está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones, lo que implica considerar la respuesta del terreno ante lluvias intensas durante horas o días, su respuesta estacional y en ciclos de sequía.

Las precipitaciones cortas e intensas serían más proclives a generar eventos superficiales, mientras que remociones más profundas serían provocadas por eventos distribuidos en largo periodo de tiempo (Aleotti, 2004 y Kim et al., 2004, en Lara, 2007). En este sentido, la cantidad de lluvias necesarias para que se desencadenen remociones en masa dependerá del tipo y condición de los terrenos, y su ubicación geográfica. En general, distintas zonas necesitarán lluvias de intensidad y/o duración distinta para que se generen remociones, existiendo así un umbral de precipitaciones característico de cada lugar (Lara, 2007). Para determinar los umbrales característicos de cada zona, se quiere contar con bases de datos idealmente continuas de precipitaciones o con alta frecuencia, que permitan la realización de análisis estadísticos para la zona de estudio (situación que no siempre ocurre) e incluir dentro del análisis la ocurrencia de fenómenos climáticos, como por ejemplo el fenómeno de El Niño, en el cual existe una tendencia al exceso de precipitaciones (inviernos con mayor días con lluvia y con precipitaciones de intensidades mayores) y de los niveles de caudales líquidos de escorrentía (García, 2000 en Lara, 2007).

Existen numerosos estudios, antecedentes históricos e información de prensa que dan cuenta de eventos de tipo flujo en la zona precordillerana y cordillerana de la zona Central de Chile. Hauser (1985) plantea una evidente relación entre la generación de aluviones en la zona central con precipitaciones anormalmente intensas (más de 60 mm/24 horas en períodos invernales). Precipitaciones de intensidad media en periodos prolongados de tiempo pueden ser consideradas como factores desencadenantes de flujos (Padilla, 2006).



Eventos de precipitaciones anormales llevan consigo también un aumento de la escorrentía superficial, que incrementa la erosión del suelo suelto, elemento importante en la generación de flujos. Es importante señalar la ocurrencia de flujos en áreas urbanas donde el material movilizado se satura en agua por causas humanas (ruptura de cañerías, entre otros).

Sismos: Los terremotos pueden provocar movimientos de todo tipo en las laderas, dependiendo de sus características y de parámetros sísmicos, como magnitud y distancia a la fuente (González de Vallejo et al., 2002). Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad (Lara 2007). Según González de Vallejo et al. (2002), los desprendimientos de bloques, deslizamientos, flujos y avalanchas de roca son las remociones en masa más frecuentes producto de un fenómeno sísmico, mientras Keefer (1984) señala que corresponderían a caídas de rocas, deslizamientos desagregados de suelos en laderas con pendientes mayores a 15° y deslizamientos de roca en laderas con pendientes mayores a 40°, y en forma secundaria, derrumbes en suelo, deslizamientos en bloques de suelo y avalanchas de tierra, estableciendo magnitudes mínimas aproximadas para la generación de cierto tipo de fenómenos de remociones en masa, en base a observaciones de eventos generados. Por ejemplo, para sismos con magnitud menor o igual a 5,3 se establece en 50 kilómetros la máxima distancia desde el foco y zonas con ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos disgregados (Keefer, 1984). De la misma forma, se establece en 10 kilómetros la máxima distancia entre el foco de un sismo con magnitud cercana a 5,5 y zonas con flujos de detritos y deslizamientos masivos. Cabe señalar que estas condiciones no contemplan amplificaciones locales o efectos de sitio que pudiese desencadenar remociones en masa.

Intervención antrópica: El hombre, como ente modificador del medio, genera una serie de cambios que en algunos casos son el principal desencadenante de remociones en masa. Los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas, producto de la impermeabilización artificial de los suelos o el desvío de cauces sin las correctas medidas paliativas, pueden generar cambios en las propiedades de los materiales y variaciones en el nivel freático. Por otro lado, la obstrucción de cauces con basura y escombros puede aumentar el material a movilizar durante un aluvión, o bien, la mala mantención de redes de alcantarillado y agua potable pueden desencadenar aluviones (por ejemplo, el aluvión en el Cerro el Litre (Valparaíso) el año 2009). La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, entre otros, sin un análisis geotécnico adecuado, puede ocasionar desestabilización, así como el poco mantenimiento de sistemas de contención, o bien la limpieza de laderas sin la guía de un especialista.

3.3. Inundaciones

3.3.1. Inundaciones por desborde de cauces

Las inundaciones propiamente tales corresponden a una consecuencia derivada de otros procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado ello a condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificiales, colectores urbanos, entre otros.

Se trata del resultado del desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela de tiempo, y la capacidad de evacuación de los cauces o sistemas de drenaje o, en otras palabras, la oferta de cauce se ve superada por la demanda de cauce. Debe tenerse en cuenta, además, que dicha demanda no está compuesta sólo por agua, sino también por los sedimentos que esta transporta y arrastra, y cuya proporción respecto del volumen hídrico, sumado a las



variaciones en la capacidad de carga del curso de agua, va a influir directamente en la ocurrencia de los desbordes.

Un hecho relevante es la recurrencia de las crecidas que presenta una cuenca fluvial dada respecto de otra. Ello está asociado, por una parte, a las características del régimen pluviométrico y térmico que registre el clima imperante y, por otra, a las características morfológicas que están presentes (alturas, forma, pendiente media, superficie), al desarrollo del sistema de drenaje (densidad, frecuencia y jerarquía de la red hídrica), y a la capacidad de retención hídrica de la cuenca, aspectos todos ellos que influyen en la torrencialidad, la velocidad de respuesta, el tiempo de concentración, y el volumen de los caudales.

Respecto de la carga sedimentaria y su relación con los desbordes, esto tiene como explicación el hecho que las variaciones de pendiente en el eje longitudinal de los cauces provocan modificaciones en la velocidad con que escurre el agua, lo que motiva la sedimentación o abandono local de la carga de sedimentos, provocando consecuentemente una reducción de la sección transversal y, por lo tanto, de la capacidad de estos cauces para contener y evacuar las aguas.

En otros casos, cuando se trata de inundaciones o "salidas de madre" en condiciones de caudales "normales" (altas aguas medias), cuya causa suele encontrarse en la reducción de la sección de los colectores en forma artificial (angostamiento por urbanización, relleno por desechos), o natural (sedimentación progresiva o colmatación por arrastre de sedimentos), o accidental (eventos que provocan obstrucción parcial o total) como son los deslizamientos de tierra, los derrumbes, la caída de árboles, el derrumbe de puentes, etc.

Estos tipos de fenómenos ocurren cuando ríos o esteros desbordan su cauce natural anegando las terrazas fluviales laterales o adyacentes, debido a la ocurren 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 cuenca correspondiente, su forma, la diferencia de cota, la presencia de rocas o sedimentos permeables.

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 desocupadas 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.

3.3.2. Inundación por anegamiento

La inundación por anegamiento se define como formas de acumulación de aguas de lluvia sobre el terreno, y oteando hacia la causalidad, por lo general en este caso también existe una situación de desbalance, la cual



se da entre el volumen de la lluvia precipitada en un determinado lapso de tiempo y la capacidad de evacuación de un suelo dado, tanto horizontal como verticalmente.

Si bien ello es cierto, existen complicaciones. Estas se derivan de los cambios en la permeabilidad, en la saturación del suelo, y en la micro-topografía de la superficie, ya sean por causas naturales o artificiales,

Los cambios en la permeabilidad del suelo pueden ser positivos o negativos. Entre las acciones positivas, es decir, que incrementan la permeabilidad está la aradura y la incorporación de materia orgánica. Los efectos negativos tienen como causa la intervención en términos de compactación y/o de cobertura con materiales impermeables, como son las construcciones, los concretos y los asfaltos, incluso la aplicación de petróleo o aceite quemado a los caminos de tierra o la adición de una cubierta de maicillo y su apisonamiento.

La saturación del suelo se refiere concretamente a dos situaciones : 1°- la existencia natural de áreas hidromórficas o con presencia semi-constante a constante de la napa en superficie, lo que impide la percolación de las aguas lluvias, puesto que un suelo con estas características se comporta como un material impermeable y, 2°- los suelos pueden sufrir saturación progresiva, más o menos rápida según su permeabilidad, ante la ocurrencia de precipitaciones prolongadas o intensas, lo cual conduce a una situación similar a la anterior. Se trata del concepto de permeabilidad efectiva.

En este caso, si un suelo dado ve superada su capacidad de infiltración y evacuación subterránea de las aguas, lo cual es común que ocurra cuando las lluvias son intensas, se generará un excedente pluviométrico que deberá permanecer en superficie por el lapso de tiempo post-lluvia necesario para que la situación se normalice.

Las variaciones en la micro-topografía se refieren a cambios en la configuración del terreno que crean desniveles y obstáculos para el drenaje superficial. Este hecho tiene una causal fundamental: el hombre. Las construcciones que este efectúa (diques, terraplenes, camellones, soleras, muros, etc.) vienen a constituirse en obstáculos para que el agua circule libremente sobre los terrenos siguiendo las diferencias de pendiente. Esto ocurre tanto en el ámbito rural como en el urbano.

En el primero de los casos, los terraplenes de las carreteras y de las vías férreas suelen cumplir el rol de diques por insuficiencia de alcantarillas transversales, generando enlagnamientos hacia aguas arriba. En las ciudades, prácticamente todas las construcciones son obstáculos al escurrimiento de las aguas lluvias, las cuales terminan por acumularse en sectores ligeramente más bajos sin posibilidad de circular ni infiltrarse.

Frente a la ocurrencia de precipitaciones, la malla de calles y avenidas de una ciudad se transforma en una "red fluvio-vial" que, siguiendo la inclinación del eje de cada una de ellas funcionando como cauces, va creando flujos que confluyen progresivamente, sumando sus aguas en dirección de los sectores topográficamente más deprimidos. Creo que con base en un levantamiento topográfico detallado de las calles de una ciudad, es posible establecer claramente de donde vienen y para donde van las aguas, y los diferentes puntos de concentración, lo cual puede servir como herramienta de decisión sobre qué hacer y donde hacer en el contexto de las medidas que deben emanar de los planes maestros de aguas lluvias.

Por otra parte, cuando los anegamientos en el área rural llegan a superar parte de los obstáculos del terreno, estas aguas comienzan a desplazarse sobre la superficie, pasando a constituir una forma de escurrimiento laminar. Como resultado de este proceso pueden presentarse nuevas situaciones :

- Pueden resultar afectados terrenos que no habían sufrido este problema;



- La suma de estas aguas provenientes de diferentes sectores, lo cual requiere de ciertas condiciones topográficas favorables, puede elevar sustantivamente la cota de anegamiento en algún sector agravando la situación;
- En su camino pueden encontrarse con un cauce y vaciarse en él, lo cual puede ser la solución para un sector, pero puede provocar problemas aguas abajo al generar un superávit hídrico en dicho cauce y su desborde.

3.4. Incendios

El origen de los incendios recae en la acción humana. El 99,7% de los incendios se inician, ya sea por descuidos o negligencias, en la manipulación de fuentes de calor, o por prácticas agrícolas o por intencionalidad, originada en motivaciones de distinto tipo, incluso la delictiva. (<http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>).

Sin embargo, en ciertas áreas del mundo, los rayos también han ocasionado incendios, contribuyendo al desarrollo de algunas formaciones vegetales, eliminando individuos sobremaduros, estimulando la semillación, abriendo espacios y creando condiciones para la regeneración natural. Pero este no es el caso de Chile, donde toda 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 y en ocasiones a las propias personas (<http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>).

El término “Incendio Forestal” se utiliza para calificar a todo fuego que, cualquiera sea su origen y magnitud y con peligro o daño para las personas, el medio ambiente o la propiedad y los bienes materiales, se propaga sin control en terrenos rurales a través de la vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta.

Existen tres tipos de incendios forestales: Superficial, Subterráneo y Aéreo, de acuerdo al estrato horizontal de la cobertura vegetal que está siendo afectado por la propagación del fuego (Plan protección contra incendios forestales comuna de San Fernando, 2016-2018, CONAF)

a) Incendio Superficial: Es aquel que se propaga consumiendo la vegetación arbustiva, herbácea y hojarasca existente sobre el piso del bosque. Es el tipo más común y por lo general se presenta en la mayoría de las propagaciones del fuego en terrenos rurales. Puede alcanzar velocidades violentas de avance cuando las condiciones son favorables (sobre 30 km/hora, en pastizales secos y presencia de vientos intensos o laderas muy inclinadas). Sin embargo, en plantaciones o bosque nativo, dependiendo de la humedad ambiental, su avance fluctúa normalmente entre 30 y 200 metros por hora.

b) Incendio Subterráneo: Es aquel que se propaga por debajo del piso del bosque, consumiendo raíces, humus y el material orgánico no incorporado al suelo mineral (muy comunes en incendios de bosque nativo, con propagación del fuego muy lenta).

c) Incendio Aéreo o incendio de copa: se caracteriza por una propagación de fuego a través del follaje de los árboles. Por lo general es violento, errático, con avances por ráfagas que frecuentemente se desplazan en direcciones imprevistas (se presentan en plantaciones de coníferas y raras veces en bosques nativos, la propagación del fuego es muy lenta, por lo general algunos metros por día).

Por su parte, el peligro de incendios forestales se identifica con las condiciones ambientales que permitirán que se inicie y propague el fuego ocasionado por alguien. La principal condición ambiental es la presencia de vegetación que pueda arder, o sea el combustible. Otras condiciones ambientales que determinan el peligro de

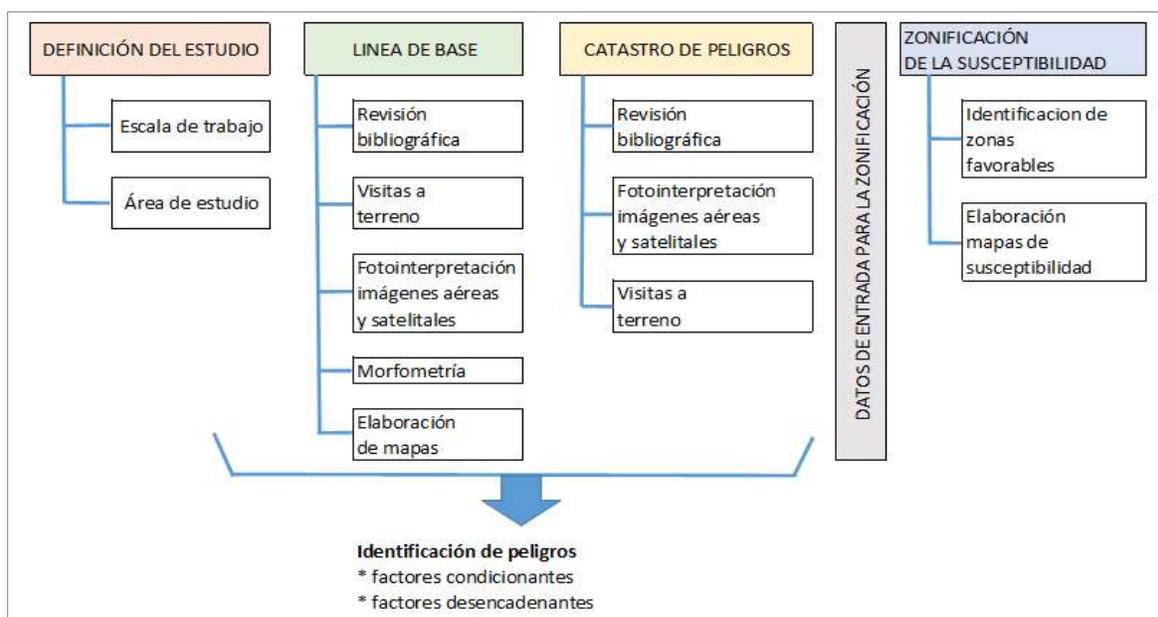


incendios forestales son las condiciones meteorológicas y la topografía. Para determinar el grado de peligro de incendios forestales, se combinan factores ambientales (fijos y variables), que determinan la probabilidad de inicio de incendios forestales y el posterior comportamiento del fuego. Entre los factores fijos, que no cambian o que lo hacen muy lentamente, están la topografía, es decir si el terreno es plano o con laderas de fuerte pendiente que favorecerá la propagación del fuego, y algunas características de la vegetación, por ejemplo, la cantidad, el tamaño de vegetación y las especies vegetales presentes.

4. METODOLOGÍA

En el marco del desarrollo del estudio del Plan Regulador comunal, ha sido necesario elaborar un estudio que permita determinar los niveles de riesgos por fenómenos naturales y los generados por la intervención humana que es posible definir a escala comunal. La escala de análisis a nivel urbano corresponde a 1:5.000.

Diagrama de flujo metodológico



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se efectúa el análisis respecto de los componentes físicos del riesgo y su evaluación en función de los objetivos del estudio. Dentro de los procesos que han sido considerados como potenciales generadores de situaciones de riesgo sobre el espacio antrópico (vinculados con el objetivo de este estudio), se han desarrollado los siguientes:

- Procesos de Crecidas y Desbordes de cauces (Inundaciones)
- Procesos de Remoción en Masa

A continuación, se presenta el desarrollo de cada uno de estos aspectos en detalle.

- **Metodología General del Estudio**



El método utilizado para la definición de riesgos corresponde a la superposición de cartas temáticas digitales utilizando como herramienta un sistema de información geográfico, obteniendo de esta forma una carta integradora de distintas variables que condicionan la ocurrencia de fenómenos naturales que se traducen en riesgo para la población.

Los pasos metodológicos aplicados se describen a continuación:

- **Definición de variables que determinan el riesgo**

Las variables que determinan los distintos tipos de riesgos (Remoción en Masa, Inundaciones, anegamiento e incendios) corresponden a distintos factores (condicionantes y desencadenantes) que por una parte son componente importante del riesgo y que a su vez se encuentran disponibles a la escala de análisis necesaria para los objetivos del estudio.

- **Elaboración de Cartas temáticas para cada variable que determina el riesgo, determinando sub-unidades espaciales.**

Para cada una de las variables o factores que determinan los distintos tipos de riesgos se elabora una carta temática que busca identificar las condiciones específicas de cada variable que permiten desencadenar distintos niveles de riesgo. Estas condiciones específicas de cada variable son especializadas y representan sub unidades al interior de cada carta temática.



- **Determinación de valores relativo para cada sub-unidad espacial**

Cada una de las sub-unidades descritas anteriormente, reciben un valor relativo a la potencialidad de generar riesgo. El valor numérico asociado a cada valor relativo ha sido extraído de diversas fuentes, principalmente Ferrando 1998) y Brignardello (1997).

- **Determinación del Peso absoluto que tiene cada variable en la ocurrencia del riesgo.**

Del mismo modo que los valores relativos establecido para cada sub- unidad al interior de las cartas temáticas, Ferrando (Op. Cit.) define pesos absolutos de los distintos factores que determinan el tipo de riesgo. Sin embargo, al no utilizarse los mismos modelos de riesgo, sino que adaptaciones relacionadas a la disponibilidad de información, se modificaron dichos ponderadores mediante herramientas de evaluación multicriterio con consulta a expertos.

- **Asociación del peso absoluto y los valores relativos que posee cada variable y sub-unidades al interior de cada carta temática.**

Como resultado del proceso anterior, se obtendrá una serie de cartas temáticas con subunidades o polígonos. Cada sub-unidad tendrá asociado un valor relativo y cada carta temática tiene asociado un peso absoluto vinculado a la importancia que tiene dicho componente en la generación del tipo de riesgo. El siguiente paso del modelo es realizar una factorización de cada sub-unidad con el peso absoluto de la carta temática a la cual corresponde, es decir, se realiza a través del SIG, la multiplicación del peso absoluto definido para la carta temática por los valores relativos asociados a cada polígono.

- **Superposición de las distintas cartas temáticas**

Finalmente, las cartas temáticas asociadas a cada tipo de riesgo serán superpuestas a través del SIG, el objetivo es realizar una suma de los valores que tendrá cada sub unidad de las distintas cartas temáticas, generando nuevas subunidades en una carta final resultante. Los valores que resulten de la suma de las distintas sub unidades serán agrupados en cuartiles que definirán (desde los rangos mayores a los menores) los distintos niveles de riesgo para la región.

A continuación, se presentan los resultados y metodología específica de cada tipo de riesgo asociado a este estudio.



4.1. Inundación por desborde de cauces y anegamiento

Inundación

Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos y cursos de agua.

Las inundaciones fluviales son procesos naturales que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, tierras fértiles donde tradicionalmente se ha desarrollado la agricultura en vegas y riberas.

La información relevante para la modelación del riesgo por inundaciones que ha sido analizada, especializada e integrada a través de un SIG (ArcGIS - Spatial Analyst) para la determinación de áreas de riesgo de inundación, corresponde a las siguientes variables:

- Pendiente en grados
- Elevación del terreno cada 0.5 mts
- Curvatura (plano, cóncavo y convexo)
- Geomorfología de cauce (Terrazas)

Inundación por anegamiento

Corresponde a sectores morfológicamente muy planos (menor a 3°), deprimidos, con mal drenaje, que según el catastro han sido afectados previamente por anegamiento (compilada en el catastro o información obtenida en terreno) Estos bajos topográficos tienen una diferencia de altura de entre 20 cm y 1 m con respecto al nivel base promedio de su entorno.

4.2. Remoción en masa

El riesgo de remoción en masa considera los deslizamientos y flujos de detritos, rocas y barro. Las áreas asociadas a este tipo de riesgo se definen en función de antecedentes históricos y recientes de ocurrencia, de valores de pendiente en relación con umbrales potenciales de desencadenamiento de procesos, del grado de erosión geológica geomorfológica detectado y en parte evidenciado por hechos tectónicos y acumulación de sedimentos, y de la variable vegetación como factor de protección del suelo. A continuación, se presenta una clasificación y caracterización de los tipos de remoción en masa:

Diversos autores señalan que uno de los principales factores que determina la generación de remociones en masa es la pendiente de las laderas (Esaki, et al., 2005; Giraud & Shaw, 2007). Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles, se utilizó la información compilada a partir de diversas fuentes que han generado catastros de deslizamientos en distintos lugares del mundo. Esaki et al.(2005) y Giraud y Shaw (2007), así como otros catálogos de deslizamientos, indican que la mayor frecuencia de deslizamientos en el mundo se observa sobre pendientes de 25° a 35° de inclinación (Figura 23), relacionado principalmente al ángulo de fricción interno del material, siendo también frecuentes entre los 15° y 25° y sobre los 35° de pendiente. Luego, las pendientes del terreno pueden ser utilizadas como criterio para una clasificación general del territorio frente a potenciales deslizamientos.

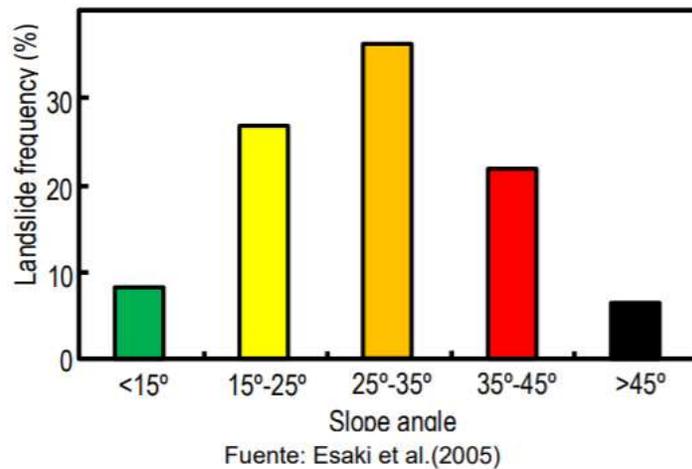


Con base en lo anterior, para el análisis de susceptibilidad de remociones en masa se consideran las pendientes entre 15° y 25° como moderadamente susceptibles, las pendientes entre 25° y 35° altamente susceptibles y las pendientes sobre los 35° como zonas de muy alta susceptibilidad.

Finalmente, a partir de todo lo anteriormente expuesto, se determinaron las siguientes categorías de susceptibilidad de deslizamientos y caídas de roca

- **Muy Alta:** sectores con pendientes mayores a 35° o sectores que presentan condiciones geomorfológicas de inestabilidad
- **Alta:** laderas con pendientes entre 25° y 35°
- **Moderada:** laderas con pendientes entre 15° y 25°

Figura 24 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Cálculo de pendientes

El cálculo de las pendientes de acuerdo a los parámetros antes mencionados se realizar a través de un Sistema de información geográfica, donde a través de una modelación 3d, se generarán mapas de pendientes en versión raster con pixeles de 1m x 1m. Una vez realizadas la jerarquización se transformarán a formato SHP y Cad para ser considerados en el Plan.

4.3. Zonificación de la susceptibilidad

Para definir los criterios que permitan incorporar los peligros 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 la siguiente tabla se resumen los factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y los elementos metodológicos con los que se asignó la distribución espacial de la susceptibilidad, los que son descritos precedentemente.



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 un 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 si otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas. Por otra parte, mientras la magnitud de un evento sea más intensa, se producirán daños mayores, pero los daños serán más importantes en la medida que mayor sea la susceptibilidad del territorio. En consecuencia, se recomienda que, mientras mayor sea la susceptibilidad de un área específica, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

Tabla 6 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad

Peligro	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
Inundaciones por desborde de cauce	- Características morfológicas de la red de drenaje	- Lluvias intensas	- Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Observaciones de terreno - Estudios hidráulicos existentes
Inundaciones por anegamiento	- Morfología - Malas condiciones de drenaje	- Lluvias	- Imágenes satelitales - Catastro de humedales - Estudios hidráulicos existentes
Remociones en masa (procesos de ladera)	- Pendientes - Material que compone la ladera (geología) - Exposición de laderas - Formaciones vegetales	- Sismos - Lluvias intensas - Viento	- Pendiente del terreno - Catastro de remociones en masa
Incendios	- Pendientes - Formaciones vegetales	- Altas temperaturas - Vientos	- No susceptible
Sismicidad	- Características de los depósitos	- Sismos	- No susceptible
Volcanismo (caída de ceniza)	- Distancia a los centros eruptivos - Morfología del terreno - Dirección del viento	- Erupciones	- No susceptible

Fuente: Elaboración propia

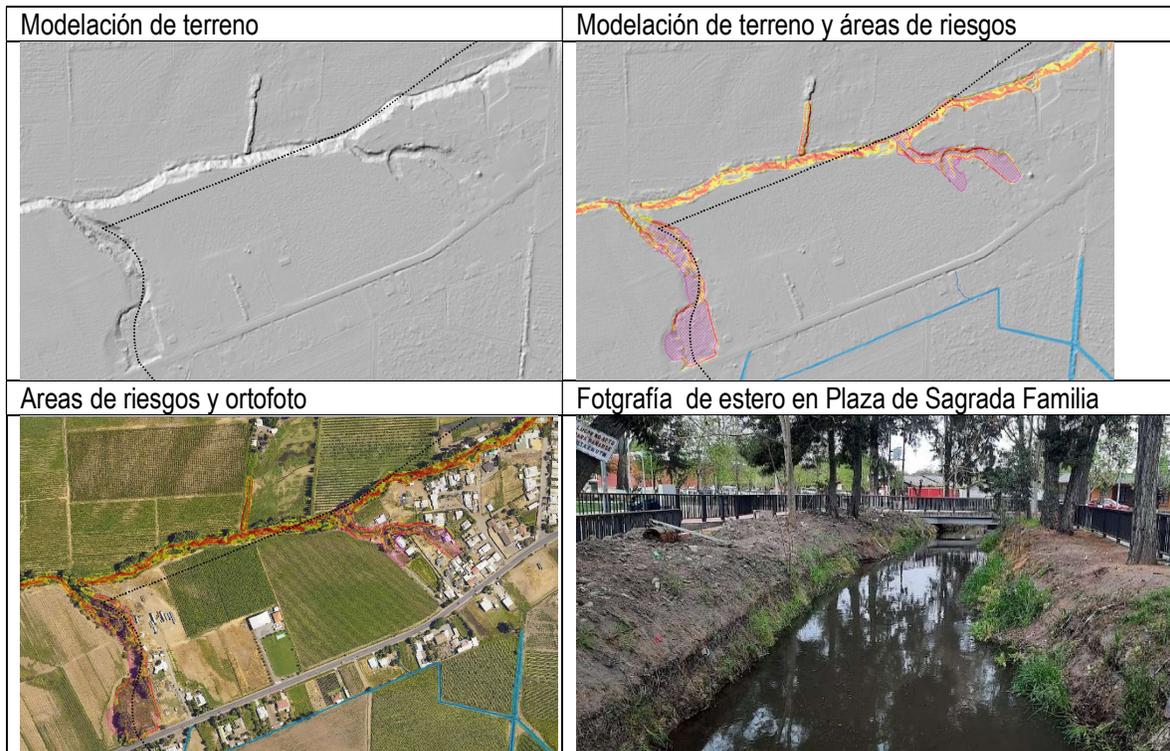


5. RESULTADOS DE ÁREAS DE RIESGO NATURAL Y ANTRÓPICO

A partir de la superposición de información y análisis de los antecedentes, se identificaron áreas de riesgo (o zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de alguna amenaza), que permitirá actualizar el Plan Regulador comunal, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica.

Sagrada Familia

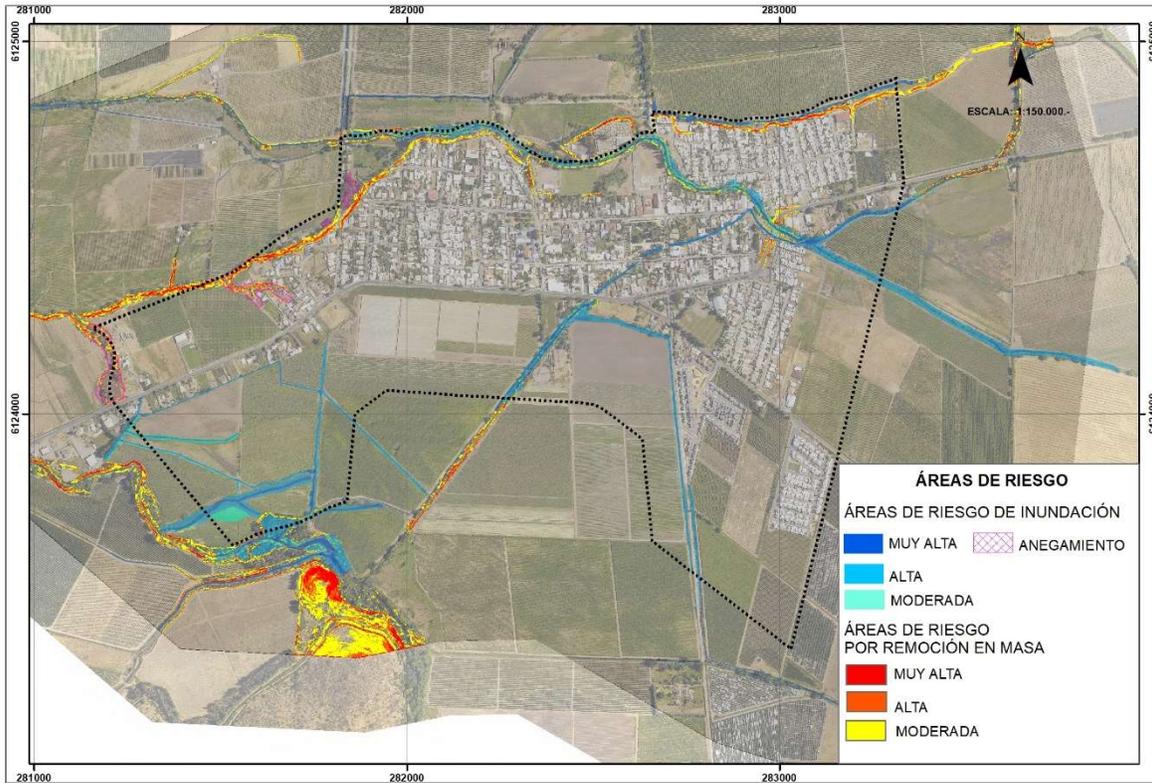
En esta localidad, de acuerdo a las modelaciones realizadas se determinaron áreas de riesgos de Inundación por desborde de cauces en los cursos de aguas principales, áreas con riesgos de anegamiento, en sectores deprimidos y/o paleo cauces, y remociones en masa correspondientes a taludes y cambio de terrazas, como se puede apreciar en la siguiente figura.



A continuación, se presentan las áreas de riesgos para la localidad de Sagrada Familia.



Figura 25 Áreas de riesgo Sagrada Familia

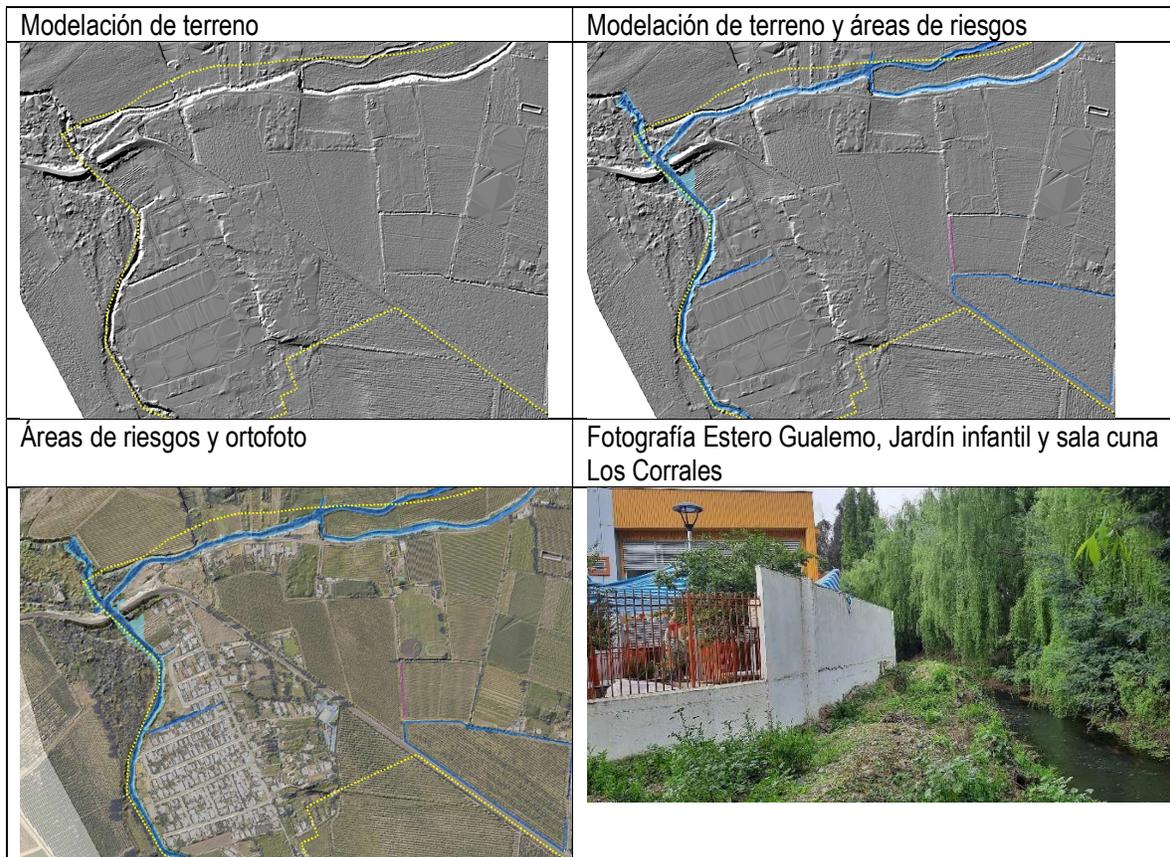


Fuente: Elaboración propia



Localidad de Lo Valdivia

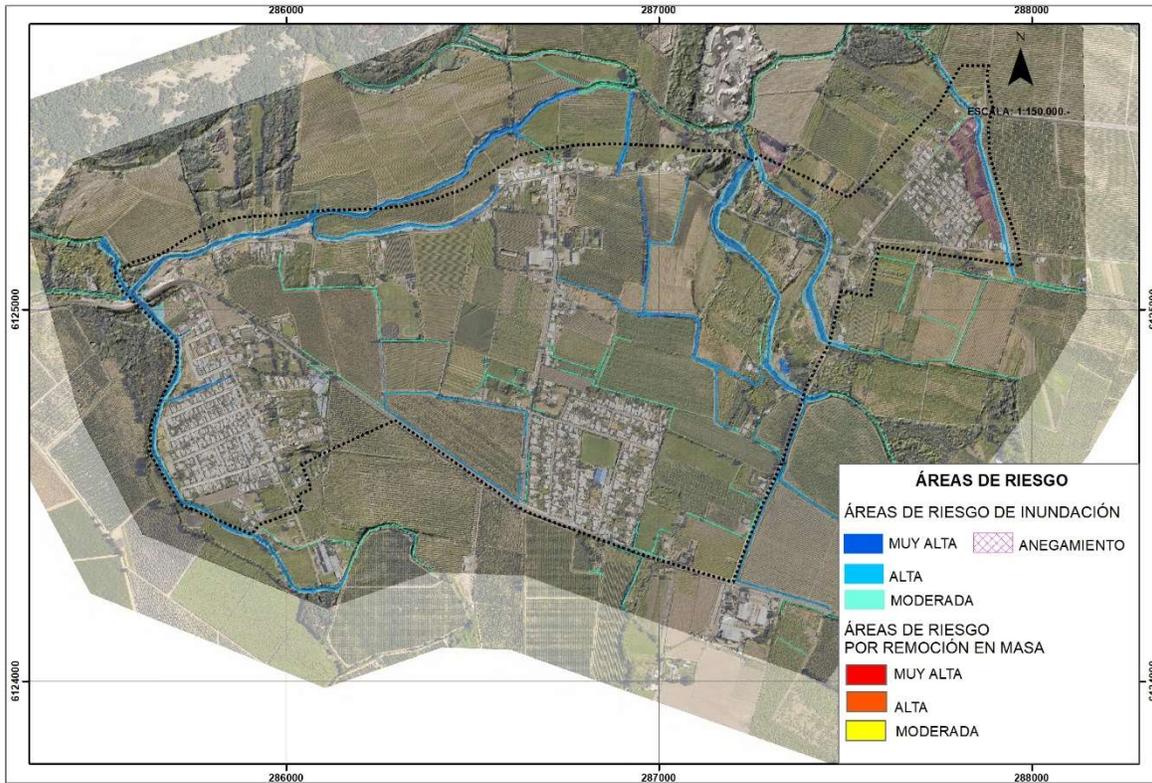
En dicha localidad los principales riesgos los constituyen los desbordes de cauces de los esteros principales y áreas de riesgos por anegamiento, correspondiente a sectores deprimidos respecto del entorno. Las remociones en masas en esta localidad son menores (ver anexo cartografía)



A continuación, se presentan las áreas de riesgos para la localidad de Lo Valdivia.



Figura 26 Áreas de riesgo Lo Valdivia



Fuente: Elaboración propia



Santa Rosa.

En dicha localidad los principales riesgos los constituyen los desbordes de cauces de los esteros principales y áreas de riesgos por anegamiento, correspondiente a sectores deprimidos respecto del entorno. Las remociones en masas en esta localidad son menores por ser una localidad eminentemente plana (ver anexo cartografía)

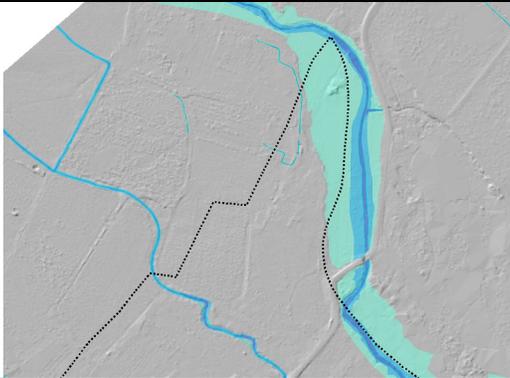
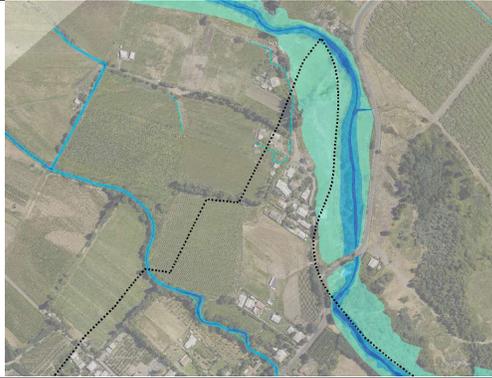
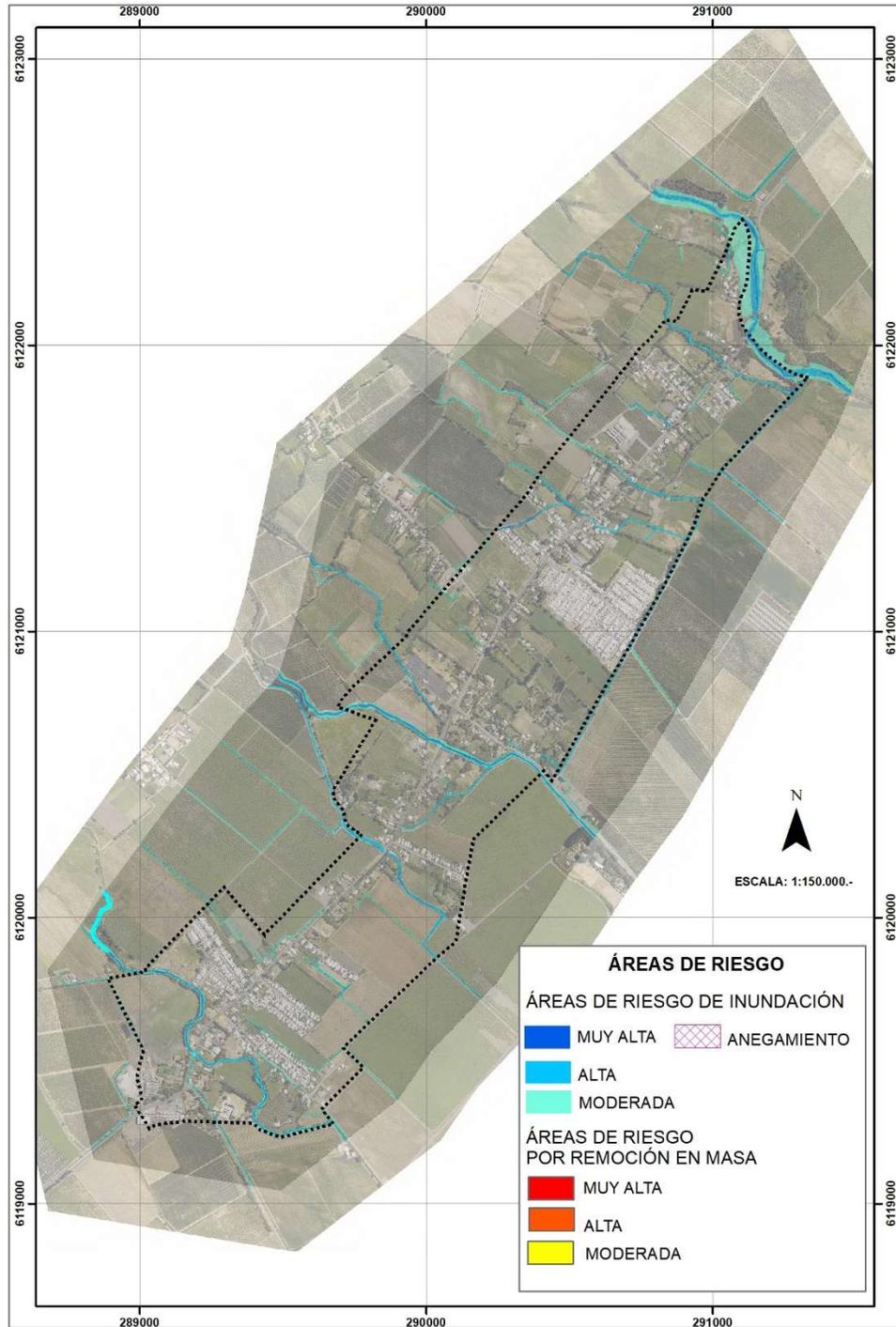
Modelación de terreno 	Modelación de terreno y áreas de riesgos 
	Fotografía estero Patagual 



Figura 27 Áreas de riesgo Santa Rosa



Fuente: Elaboración propia



Villa Prat

En esta localidad, de acuerdo a las modelaciones realizadas se determinaron áreas de riesgos de Inundación por desborde de cauces en los cursos de aguas principales, áreas con riesgos de anegamiento, en sectores deprimidos y/o paleo cauces, y remociones en masa correspondientes a taludes, cambio de terrazas y laderas con pendientes sobre 15° como se puede apreciar en la siguiente figura.

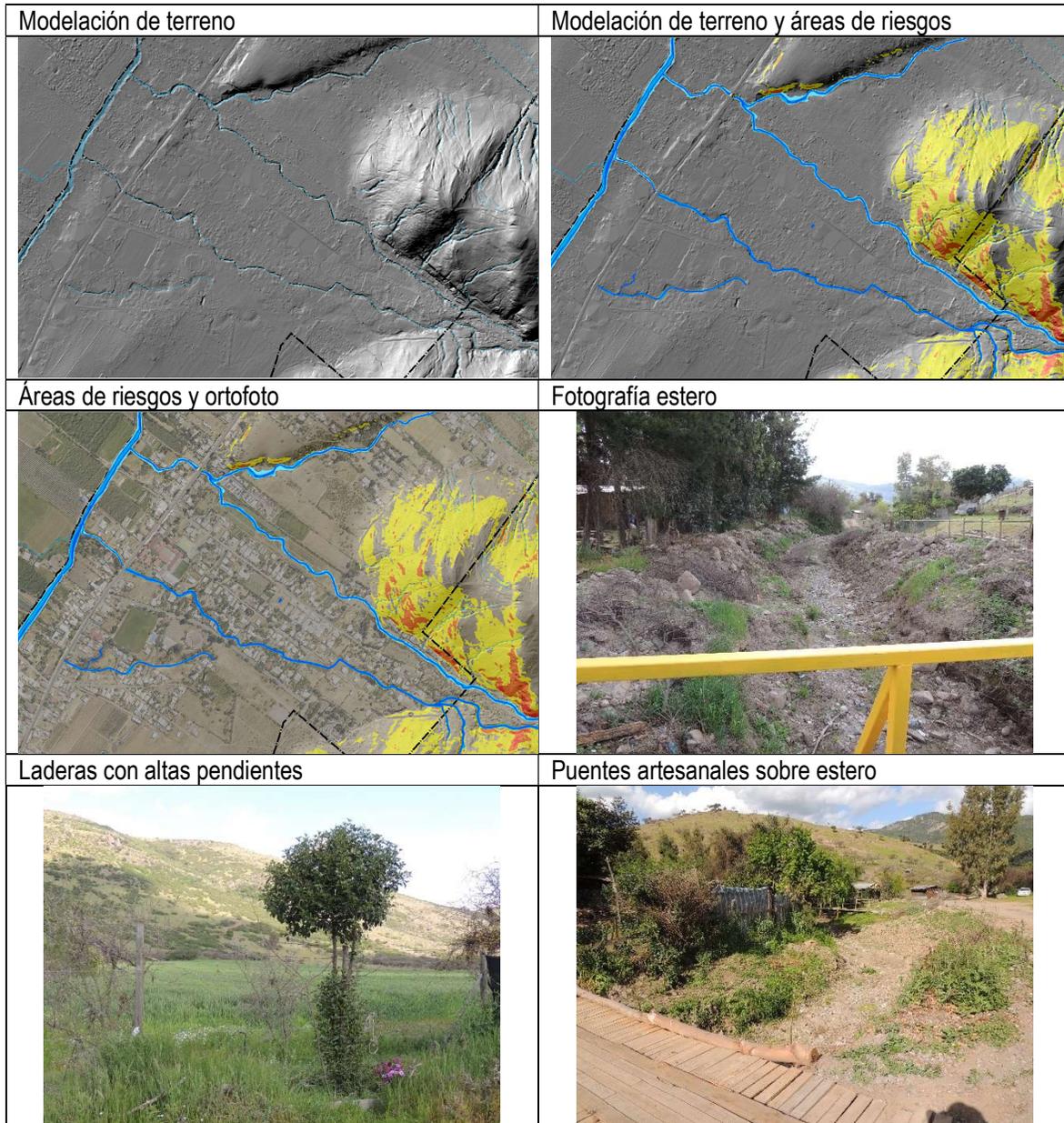
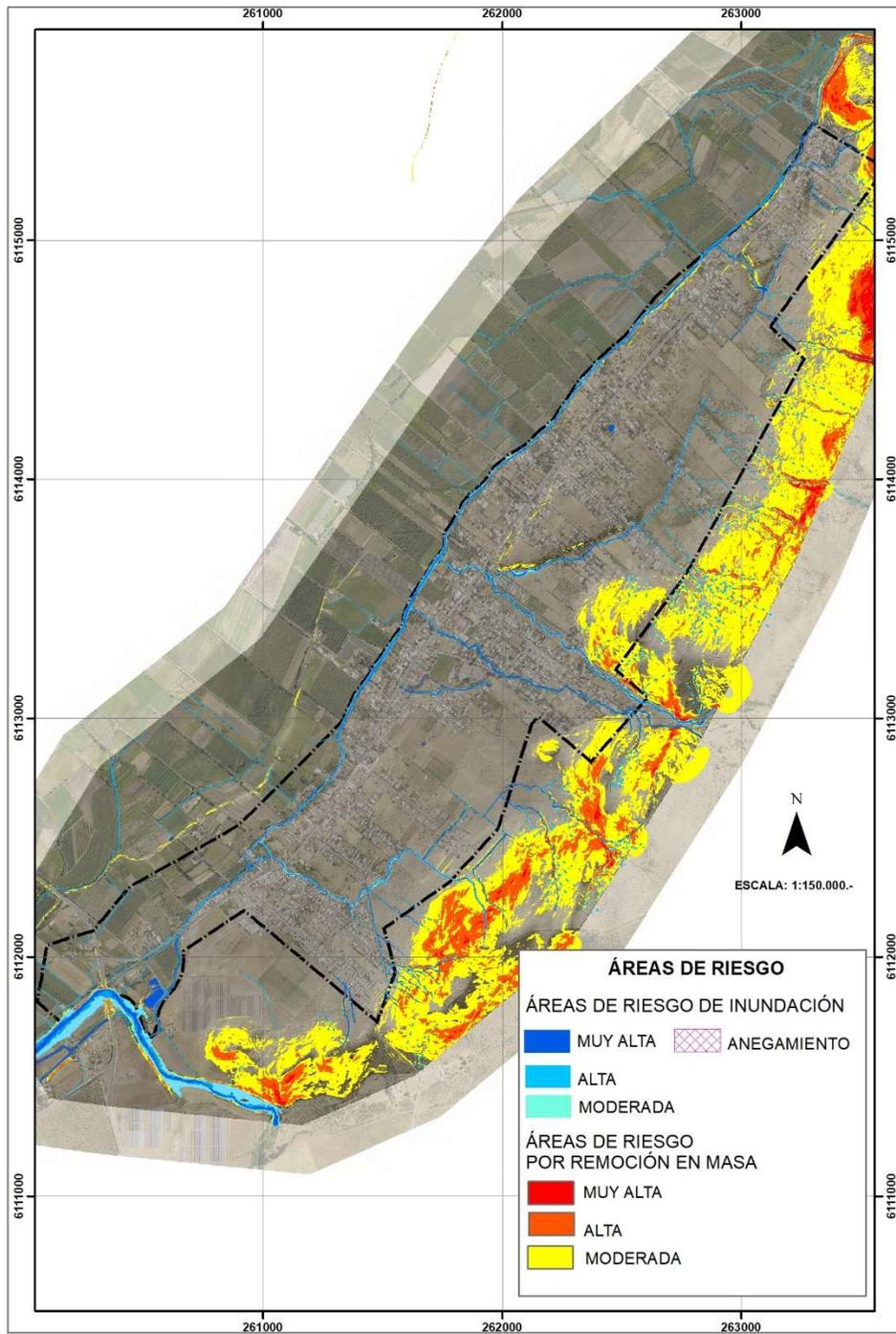




Figura 28 Áreas de riesgo Villa Prat



Fuente: Elaboración propia



6. ZONAS NO EDIFICABLES

Las zonas no edificables se encuentran normadas por el ordenamiento jurídico vigente, y en ellas sólo se podrán autorizar actividades transitorias siempre que éstas se ajusten a la normativa que las rige. En el territorio del Plan se identifican las siguientes zonas no edificables:

Tabla 7 Zonas no edificables

TEMA	ORDENAMIENTO JURIDICO
Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos	artículo 56 del D.F.L. No 1 de Minería, de 1982, y en los artículos 108° al 111° del Reglamento SEC: NSEG 5En.71, "Instalaciones de Corrientes Fuertes"
Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos	Código de Aguas, D.F.L. No.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.	Código Aeronáutico, aprobado por Ley No 18.916, de 1990, del Ministerio de Justicia, D.O. del 18/02/1990.
Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles	Ley General de Ferrocarriles, D.S. No 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.
Fajas de resguardo de los Caminos Públicos Nacionales	artículo 56 de la LGUC, y según lo señalado en los Artículos 36 y 40 del DFL 850 (MOP) del 12 de septiembre de 1997, D.O. del 25 de febrero de 1998
Resguardo de las infraestructuras energéticas de oleoductos, gasoductos, poliductos	D.S. No 160 de 2008 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 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."
Fajas o terrenos de protección de cursos naturales de agua, manantiales y quebradas, terrenos, de acuerdo a la Ley de Bosques	Ley de Bosques, Decreto Supremo N° 4.363 del Ministerio de Tierras y Colonización, de 1931 (D.O. del 31/7/31), y fajas de terrenos colindantes a los cauces de ríos cuya delimitación se encuentra sujeta a lo previsto en el D.S. N° 609, de 1978 (D.O. del 24/1/79)
Faja de 25 metros en torno a las áreas de inhumación, no edificable con viviendas	Reglamento General de Cementerios, D.S. N° 357 de 1970, del Ministerio de Salud (D.O. del 18/06/70), y demás normas pertinentes
disposición de residuos domiciliarios no peligrosos (vertederos)	Resolución N° 02444 del Ministerio de Salud (1980)
Fajas no edificables en torno a Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas	su ancho y condiciones de ocupación serán determinados en los respectivos servicios competentes.

Fuente: Elaboración propia



7. ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL

7.1. Áreas de protección del recurso de valor natural.

En el área urbana no existen áreas protección del recurso de valor natural bajo resguardo legal de acuerdo con el Listado actualizado de áreas protegidas del Ministerio del Medio Ambiente

7.2. Áreas de protección del recurso de valor cultural

En el área urbana no existen áreas protección del recurso de valor cultural bajo resguardo legal de acuerdo con el Listado actualizado del Consejo de Monumento Nacionales.



8. CONCLUSIONES

Las áreas de riesgos en las localidades en estudio se centran en: áreas de riesgos por remociones en masa y áreas de riesgos de inundación por desborde de cauces y anegamiento.

Las áreas de riesgos por remociones en masa se presentan principalmente en Villa Prat y Sagrada Familia. En Villa Prat las remociones en masa están asociadas a laderas con altas pendientes (mayores 15°) con escasa o baja cobertura arbustiva y con un intensivo uso de pastoreo, en visita a terreno fue posible observar numerosas regueras y erosión en laderas aguas arriba del límite urbano propuesto, que si bien están fuera del área de estudio pueden generar el arrastre de sedimento a las quebradas y esteros que cruzan la localidad generando problemas de sedimentación de cauces. En Villa Prat las remociones en masa son de menor intensidad y se encuentra asociadas principalmente a los cambios de nivel entre las terrazas que componen la localidad (entre 8 y 10 metros de desnivel), así como también a laderas de cauces actuales y paleocauces (antiguos cauces actualmente no activos). En las localidades de Santa Rosa y Lo Valdivia por ser terrenos planos y de cambios de nivel de las terrazas menos pronunciados no se evidencia posibilidades de remociones en masa de mayor magnitud.

Las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento se detectaron en todas las localidades y se asocian principalmente a los esteros que las cruzan. En Sagrada Familia en sagrada familia existen sectores de anegamiento correspondientes a sectores deprimidos o a antiguos cauces (no activos), en dichos sectores es posible que en invierno se activen y puedan acumular aguas lluvias por tiempos mas prolongados. En Villa Prat se catastraron numerosas quebradas que bajan de las serranías y cruzan la localidad, en dichos cauces fue posible observar bancos de sedimentación (maicillo y regolitos) provenientes de sectores de erosión aguas arriba, dicha situación puede propiciar el desborde de estos cauces en eventos meteorológicos de alta intensidad. En las localidades de Santa Teresa y Lo Valdivia los puentes sobre los cauces principales presenta una altura adecuada a los cauces no generando estrangulamientos y permitiendo el normal escurrimiento en periodos de crecidas

Respecto de los incendios catastrados se encuentran fuera de los límites urbanos de las localidades. No existe un Plan de Riesgo Forestal de la Comuna de Sagrada Familia y de acuerdo con el visor de ONEMI la probabilidad de incendios es baja para las localidades en estudio.

Recomendaciones.

En las áreas inundables de los cauces principales de esteros y quebradas se sugiere usos de suelos que permitan el libre desplazamiento de sus aguas en caso de crecidas y a su vez resguardar los ecosistemas asociados a dichos cauces, usos de suelos como áreas verdes, parques o corredores verdes podrían favorecer la mantención de los cauces. Excluir en lo posible equipamientos de salud, educación y seguridad

Respecto de las áreas asociadas a remociones en masa los usos deberían propender a la baja densidad y baja ocupación de suelo.



9. BIBLIOGRAFÍA

- González-Ferrán, O., 1995. Volcanes de Chile. Instituto Geográfico Militar, 640 pág.
- Araya-Carcedo, F.; Olcina J. 2002. Riesgos Naturales. Editorial Ariel S.A., 1512 pp.
- Barrientos, S.; Kausel, E. 1993. Características de la Sismicidad Superficial en la Zona Central de Chile; Proceedings 6as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Universidad de Chile, Santiago 9-13 Agosto, 1993, v.1, p. 3-9.
- Belmonte, J. 1997. Análisis del Contacto Sismogénico Interplaca a lo Largo de Chile. Santiago: Tesis de Magíster, Depto. de Geofísica. Universidad de Chile, 148 pp.
- Barrientos, S. (1994). Large Events, Seismic Gaps and Stress Diffusion in Central Chile, Tectonics of the Southern Central Andes, Ed. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Cornell (1968). Engineering Seismic Risk Análisis, Bull. Seism. Society of America, vol. 58.
- Crisafulli, F. & Villafañe, E. (2002). Espectros de Respuesta y de Diseño, Guía de Estudio, Ingeniería Sismoresistente, Facultad de Ingeniería, U. Nacional de Cuyo.
- DeMets, C., Gordon, R.G., Argur, D.F. & Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, Geophys. Res. Lett., 21, 2191-2194.
- Dmowska, R. & Lovison, L., (1988). Intermediate term Seismic Precursors for some coupled Subduction Zones, Pageoph, 126, 643-664.
- Escobar, F.; Guzman, R.; Vierina, C., 1977. Avance geológico de las Hojas Rancagua – Curicó – Talca – Linares – Chanco, Concepción y Chillán. Escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG). Inédito.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson. 744pp
- Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), Gobierno de Chile, Junio 2011. Registro de Propiedad Intelectual N°: 205-409. I.S.B.N.: 978-956-8468-34-7
- Keller, E.; Blodget, R. 2004. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.
- Leyton, F.; Ruiz, S.; Sepúlveda, S. 2010. Reevaluación del peligro sísmico probabilística en Chile Central. Andean Geology. Versión on-line. ISSN 0718-7106. V. 37, n° 2. Julio 2010, 21 pp.
- Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255 Sismicidad de Chile. Sismicidad en Chile, Física de la Tierra, Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica, 10, Eds. E. Buforn y A. Udías.
- Moreno P Daniela 2015, Recarga Artificial de Acuíferos En La Cuenca del Río Maule: Determinación de Sectores Favorables y Evaluación Económica. Tesis de grado, Depto. de Geología. Universidad de Chile, 121 pp.
- Myers, B. y Brantley, S., 1995, Hazardous Phenomena at Volcanoes: USGS Open-File Report 95-231



Norma Chilena Oficial. Diseño Sísmico de Edificios. NCh433.Of.1996. Instituto Chileno de Normalización y modificaciones 2010 y 2011.

Ruiz, S. y G.R. Saragoni. 2005. "Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo". IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, p. 16-19.

SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000.

SERNAGEOMIN. Efectos Geológicos Del Sismo Del 27 De Febrero 2010: Evaluación Preliminar Y Propuesta De Actividades Futuras (Inf-Nac-01) Abril 2010

SERNAGEOMIN. Preliminar de Peligros Volcánicos Complejo Volcánico Laguna Del Maule (escala 1:100.000, año 2012). Álvaro Amigo R. Daniel Bertin U. Escala 1: 100.000

SERNAGEOMIN. Preliminar de Peligros Volcánicos Volcán Cerro Azul – Quizapu (Escala 1: 100.000, año 2012), 71°04' 5°20' TALCA Álvaro Amigo R. Daniel Bertin U. Gabriel Orozco L.

SERNAGEOMIN. Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile.

Susa, D.L. & Comte, D. (2004). Evaluación del Peligro Sísmico Asociado a Sismos de Tipo Interplaca en Chile y Sur de Perú Utilizando una Distribución Bi-Paramétrica de Weibull, Tesis, Dpto. Ing. Civil, U. de Chile.

Rojas, Octavio, Mardones, María, Arumí, José Luis, & Aguayo, Mauricio. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. Revista de geografía Norte Grande, (57), 177-192

Otras Fuentes:

- www.csn.uchile.cl/ Centro Sismológico nacional. Sismos y sismicidad en Chile.
- www.bcn.cl/siit/nuetropais/
- <https://www.researchgate.net/publication/265293026>. Estudio Comparativo De Los Efectos De Los Terremotos De Chillan De 1939 Y De Talca De 1928.

Diagnóstico del comportamiento del río Mataquito en crecidas entre la confluencia de los ríos Teno y Lontué y su desembocadura, VIII Región: informe final. Ricardo Edwards G. Ingenieros; Dirección de Vialidad. Dpto. de Obras Públicas

Niemeyer F., Hans. Hoyas hidrográficas de Chile, Septima Región. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas (Chile), Dirección General de Aguas.

Dirección General de Aguas (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Mataquito. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas (Chile).

ⁱ Pladeco Sagrada Familia 2020 - 2025