

PLAN REGULADOR INTERCOMUNAL DE TALCA

SEREMI MINVU REGIÓN DEL MAULE



INFORME DE RIESGOS

Edición 1

Septiembre 2019

Desiderio Alejandro Velis Cabello
Geógrafo
Especialista en riesgos



Fuente Imágenes portada: Registro URBE 2018

ÍNDICE

1	ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES Y PROTECCIÓN AMBIENTAL.....	7
1.1	Introducción	7
1.2	Objetivos del estudio	7
1.3	Área de estudio	8
1.4	Alcances y limitaciones	8
1.5	Marco jurídico	9
2	Línea de base medio físico y natural	12
2.1	Clima	12
2.2	Hidrografía.....	17
2.3	Hidrogeología	20
2.4	Geología	24
2.5	Geomorfología.....	28
2.6	Volcanismo	30
2.7	Sismos.....	40
2.8	Relaves mineros.....	46
2.9	Vegetación y usos de suelo	48
2.10	Clases de capacidad de uso de suelo.....	49
2.11	Áreas Protegidas	54
3	Antecedentes teóricos y visitas a terreno	62
3.1	Remociones en masa.....	62
3.2	Inundaciones y anegamiento	68
3.3	Incendios	69
3.4	Volcanismo	70
3.5	Relaves.....	72
3.6	Visitas a terreno.....	73
4	Metodología.....	76
4.1	Inundación y desbordes	77
4.2	Remoción en masa.....	79
4.3	Incendios	90
4.4	Volcanismo	93
4.5	Relaves.....	94
5	Áreas de riesgo	95
5.1	Remoción en masa.....	96
5.2	Riego volcánico	98

5.3	Inundaciones por desborde de cauces y anegamientos.....	99
5.4	Áreas de riesgos por incendios	103
5.5	Áreas de riesgos por tranques de relaves	105
6	Conclusiones.....	108
7	Anexos	111
7.1	Análisis de antecedentes históricos	118
8	Referencias.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Área de estudio	8
Figura 2 Cuenca del Río Maule.....	19
Figura 3 Mapa Hidrogeológico de la cuenca del río Maule.....	23
Figura 4 Mapa Geológico del área de estudio	28
Figura 5 Principales Rasgos Geomorfológicos del área de Estudio.....	29
Figura 6 Carta de pendientes en grados área de Estudio	30
Figura 7 Nivel de alerta Complejo volcánico Laguna del Maule	32
Figura 8 Nivel de alerta Volcán Descabezado Grande.....	33
Figura 9 Nivel de alerta Complejo Volcánico Cerro Azul – Quizapú.....	34
Figura 10 Nivel de alerta Complejo Volcánico Tatara – San Pedro.....	34
Figura 11 Mapa de Peligros Volcánicos del Complejo Laguna del Maule.....	36
Figura 12 Mapa de Peligros Volcánicos del Volcán Cerro Azul – Quizapú	37
Figura 13 Ampliación Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami, Región del Maule	39
Figura 14 Sismicidad histórica entre 1900 y 2010	40
Figura 15 Fuentes y sismogénicas en un modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana)	41
Figura 16 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto	43
Figura 17 Depósitos de relave área de estudio	46
Figura 18 Área de colapso tranque de relaves Las Palmas	47
Figura 19 Catastro de vegetación y usos de suelo	49
Figura 20 Clases de capacidad de uso de suelo	53
Figura 21 Reserva Nacional Altos de Lircay	55
Figura 22 Santuario de la Naturaleza El Morrillo	56
Figura 23 Bienes Nacionales Protegidos comuna de San Clemente	57
Figura 24 Alstroemerias de San Rafael	59
Figura 25 Bosques del Colorado y Bramadero	60
Figura 26 Cerros de Cumpeo.....	60
Figura 27 Pichamán	61
Figura 28 Matorral Esclerófilo de Vaquería.....	61
Figura 29 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas.....	63
Figura 30 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos.....	64
Figura 31 Remociones en Masa de tipo Flujo.....	64
Figura 32 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán.....	71
Figura 33 Partes de un deposito de relave general	72
Figura 34 Muestra registro fotográfico terreno febrero 2018	74
Figura 35 Campaña terreno febrero 2018.....	75
Figura 36 Rangos de pendiente en grados.....	85
Figura 37 Exposición de laderas y valoración.....	86
Figura 38 Valoración vegetación y uso de suelos.....	87
Figura 39 Composición geológica y valoración.....	88
Figura 40 Resultado modelación remoción en masa.....	89
Figura 41 Áreas de riesgo por remoción en masa	97
Figura 42 Áreas de riesgo volcánico	98
Figura 43 Áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces.....	100
Figura 44 Áreas de riesgo de inundación por anegamiento	102

Figura 45 Áreas de riesgo por incendios	104
Figura 46 Área de colapso tranque de relaves Las Palmas	105
Figura 47 Áreas de riesgo por tranque de relave Las Palmas.....	107
Figura 48 Áreas de riesgo por tranque de relave Chépica	107
Figura 49 Causas generadoras de incendios forestales 2015.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Síntesis Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050 intercomuna	13
Tabla 2 Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050	13
Tabla 3 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), 5 estaciones área intercomunal: 01/01/1997 - 01/01/2017	16
Tabla 4 Catastro de depósitos de relaves en Chile 2016	46
Tabla 5 Vegetación y uso actual de suelo	48
Tabla 6 Clase de suelos por superficie en la Intercomuna	51
Tabla 7 Listado de áres protegidas Región del Maule.....	54
Tabla 8 Clase de suelos por superficie en la Intercomuna	57
Tabla 9 Sitio prioritarios estrategia biodiversidad en la intercomuna.....	58
Tabla 10 Estado actual de sitio prioritarios estrategia biodiversidad en la intercomuna.	58
Tabla 11 Valoración de las variables de riesgo por inundaciones.....	78
Tabla 12 Valores absolutos según rangos.....	79
Tabla 13 Clasificación y caracterización de las remociones en masa.....	79
Tabla 14 Valores Absolutos Según Rango	81
Tabla 15 Valoración de Pendientes	82
Tabla 16 Valoración de exposición de laderas	83
Tabla 17 Valoración de vegetación.....	84
Tabla 18 Valoración formaciones geológicas área intercomunal	84
Tabla 19 Valoración y ponderación de variable de pendientes	85
Tabla 20 Valoración y ponderación de variable de exposición de laderas.....	86
Tabla 21 Valoración y ponderación de formaciones vegetales	87
Tabla 22 Valoración y ponderación formaciones geológicas.....	88
Tabla 23 Valoración de pendientes.....	90
Tabla 24 Tipo de combustibles y valor asignado	91
Tabla 25 Valoración de accesibilidad.....	92
Tabla 26 Homologación entre “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 de la OGUC y la nomenclatura utilizada en este estudio.....	95
Tabla 27 Catastro de desastres desde 1980, SERNAGEOMIN	111
Tabla 28 Registro de alerta roja ONEMI	111
Tabla 29 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones	114
Tabla 30 Registro de incendios forestales temporada 2015.....	115
Tabla 31 Causa Generadora Registro de incendios forestales temporada 2015.....	116

1 ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

1.1 Introducción

En el contexto de la Licitación Pública Estudio: “Plan Regulador Intercomunal de Talca, PRIT”, se presenta a continuación los resultados del Estudio de Riesgos Naturales de la Intercomuna, 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.

1.2 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 Intercomunal de Talca, 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.

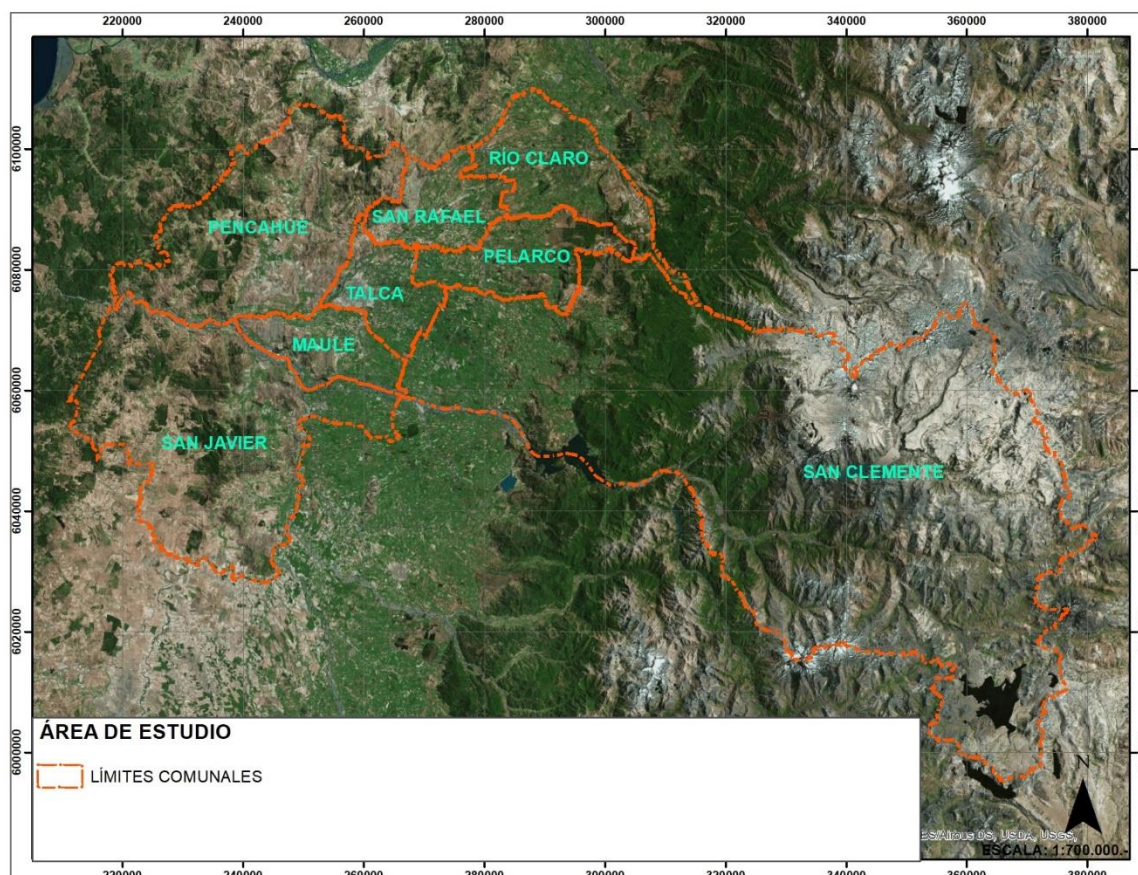
Los objetivos específicos de este estudio consisten en:

- 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.

1.3 Área de estudio

El área de estudio comprende a la totalidad los territorios de las comunas de Talca, San Clemente, Maule, San Javier, Pencahue, San Rafael, Río Claro y Pelarco

Figura 1 Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

1.4 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 1:50.000 (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 1:50.000.

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 intercomuna, del Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Talca, los Instrumentos de Planificación vigentes y visitas a terreno.

1.5 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.

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

- Plan Regulador Comunal de Talca (D.O.26.10.2011),
- Plan Regulador Comunal de San Clemente (D.O.09.04.1970). En abril de 2019 contraloría regional del Maule tomó razón de la resolución emanada del Gobierno Regional, quedando de esta manera aprobado el plan regulador comunal de San Clemente
- Plan Regulador Comunal de San Javier (D.O.07.11.2016).
- Plan Regulador Intercomunal de Colbun – Machicura (D.O. 20.02.1987)
- Estudio de los planes reguladores de Maule, Penciahue, San Rafael, Río Claro, Pelarco y San Clemente.
- 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 intercomunal, las curvas topográficas se encuentran equidistantes cada 50 metros, 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 intercomunal se realizara a escala 1:50.000 (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 intercomuna, 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 Intercomunal, independiente que el análisis haya incorporado áreas que quedan fuera de la intercomuna. 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 intercomuna (2.1.18 OGUC).

2 LÍNEA DE BASE MEDIO FÍSICO Y NATURAL

2.1 Clima

El clima en el área de estudio se caracteriza por la existencia de un verano predominantemente seco; un invierno húmedo, generalmente cubierto de nubes, lluvioso y frío; y una primavera y otoño de carácter transicional. La cordillera de la costa impide que la acción moderadora del mar se haga sentir en la depresión central, generando una significativa amplitud de temperaturas anuales, situación que es común en la mayor parte de la depresión central entre la región Metropolitana y la región del Biobío. Pese a esto, los grandes valles, como el del río Mataquito y del Maule, proporcionan vías ocasionales para que durante el día las brisas marinas puedan acceder hacia el este.

La precipitación media anual en la cuenca del río Maule es del orden de 1000 mm, con valores que oscilan entre 800 mm y 1200 mm al oeste de la cordillera de los Andes. Hacia el este, internándose en la cordillera, las precipitaciones medias anuales aumentan, llegando a los 3000 mm en torno a la Laguna del Maule.

En sectores puntuales de la hoya del río Maule, se han registrado precipitaciones diarias anormalmente altas, que alcanzan valores de 241 mm a 334 mm en 24 horas (Ramírez, 1974). Este tipo de precipitaciones puntuales, anormalmente intensas, provocan bruscos incrementos en el caudal del río Maule, pudiendo llegar a ser diez veces su caudal medio normal en algunos sectores, con el consecuente aumento significativo de carga sedimentaria.

En la ciudad de Talca la temperatura media anual es de 14.7° C y las precipitaciones alcanzan los 735 mm.

Temperatura

De acuerdo al estudio “Normales climatológicas regiones 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 Intercomuna, se observa un aumento de la temperatura media anual de 1.5° a 2.1°C, de acuerdo a la proyección del escenario del año 2050.

Respecto de los resultados de las precipitaciones en la Intercomuna, se observa una disminución de la precipitación normal anual, mayor a 150 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 intercomuna

Temed	Tjmed	PPA
2,1	1,5	-158,8

Fuente: Elaboración URBE

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

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

		LINEA BASE (1980 - 2010)									ESCENARIO 2050								
COMUNA / ZONA	ID	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
San Javier		29,2	12,5	13,5	5,2	19,8	8,9	832	761	1022	31,4	14,4	15,1	6,7	21,7	10,4	701	642	860
Cerros	463	29,7	12,6	13,5	5,6	20,1	9,1	922	839	1095	31,9	14,5	15,1	7,1	22	10,6	777	707	922
Valle central	464	28,6	12,3	13,5	4,8	19,5	8,7	742	684	949	30,9	14,3	15,1	6,3	21,5	10,1	626	576	798
Maule		28,8	12,1	13,3	4,3	19,4	8,3	737	703	831	31,1	14,1	15	5,8	21,5	9,8	620	591	698
Valle central	474	28,8	12,1	13,3	4,3	19,4	8,3	737	703	831	31,1	14,1	15	5,8	21,5	9,8	620	591	698
Pelarco		29,5	11,5	12,1	4	19,5	7,7	1148	1034	1308	32	13,5	13,9	5,5	21,6	9,2	968	871	1104
Cerros	475	29,8	11,5	12,1	4,1	19,6	7,7	1208	1157	1274	32,3	13,6	13,9	5,6	21,8	9,3	1018	975	1075
Precordillera	476	29,4	11,2	11,7	3,9	19,3	7,4	1316	1241	1390	31,9	13,3	13,5	5,4	21,5	9	1112	1048	1175
Valle central	477	29,3	11,7	12,6	4	19,5	7,9	920	704	1259	31,8	13,7	14,3	5,5	21,6	9,4	774	590	1063
Pencahue		28,9	12,3	13,8	5,6	19,6	9,2	752	716	796	31,1	14,2	15,5	7,1	21,5	10,7	634	602	672
Cerros	478	29,2	12,4	13,8	6	19,8	9,4	779	753	801	31,4	14,3	15,5	7,5	21,7	10,9	657	633	675
Valle central	479	28,5	12,2	13,8	5,2	19,4	9	725	678	792	30,8	14,2	15,5	6,7	21,4	10,5	610	570	669
Río Claro		29,6	11,4	12,1	4	19,5	7,7	1099	985	1341	32,1	13,4	13,9	5,5	21,6	9,3	928	831	1135
Cerros	480	29,8	11,4	12,1	4,1	19,6	7,7	1163	1163	1163	32,3	13,4	13,9	5,6	21,7	9,3	982	982	982
Precordillera	481	29,4	11,2	11,7	3,9	19,3	7,4	1295	1102	1581	31,9	13,3	13,5	5,4	21,5	9	1095	930	1341
Valle central	482	29,6	11,7	12,6	4,1	19,6	7,9	840	690	1281	32	13,7	14,4	5,6	21,7	9,5	708	582	1082
San Clemente		25,4	9,1	9,5	1,7	16,4	5,3	1602	1205	2159	28	11,2	11,3	3,2	18,6	6,9	1363	1018	1856
Cerros	483	29,5	11,6	11,9	3,9	19,5	7,5	1354	1236	1416	32	13,6	13,7	5,4	21,7	9,1	1141	1044	1194
Cordillera	484	15,9	3,3	3,7	-3,5	9,1	0,1	2201	1601	3211	18,6	5,4	5,5	-1,9	11,4	1,7	1896	1358	2804
Precordillera	485	27,1	10	10	2,6	17,6	6	1717	1257	2131	29,8	12,1	11,8	4,1	19,9	7,6	1459	1060	1837
Valle central	486	29,2	11,6	12,2	3,8	19,4	7,6	1134	727	1879	31,7	13,7	14	5,3	21,5	9,2	955	610	1590

		LINEA BASE (1980 - 2010)									ESCENARIO 2050								
COMUNA / ZONA	ID	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
San Rafael		29,8	12,2	13,3	4,9	19,9	8,6	733	728	757	32,1	14,2	15	6,4	22	10,1	616	612	636
Cerros	487	30,3	12,4	13,4	5,4	20,3	8,9	761	761	761	32,6	14,4	15,1	6,9	22,3	10,4	640	640	640
Valle central	488	29,2	12	13,1	4,4	19,6	8,3	705	694	752	31,6	14	14,9	5,9	21,7	9,8	591	583	632
Talca		29,6	12,3	13,3	4,8	19,9	8,7	739	729	770	31,9	14,3	15	6,3	21,9	10,2	620	612	647
Cerros	489	30,2	12,5	13,5	5,4	20,3	9	761	761	761	32,5	14,5	15,2	6,9	22,3	10,5	640	640	640
Valle central	490	29	12,1	13,2	4,3	19,5	8,3	716	698	779	31,3	14,1	14,9	5,8	21,6	9,8	600	584	653

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).

Timed: 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>

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), para las estaciones de Penciahue, Río Claro en Rauquén, San Rafael, Talca UC y Vilches Alto.

La estación Penciahue presenta registros a contar del año 1998. En esos 20 años destaca 12 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 2003 (5).

La estación Río Claro en Rauquén presenta registros a contar del año 1999. En esos 19 años destaca 10 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 2004 al 2006 (3).

La estación San Rafael presenta registros a contar del año 1998. En esos 20 años destaca 5 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 2001 al 2003 (3).

La estación Talca UC presenta registros a contar del año 1998. En esos 20 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 2012 al 2015 (4).

La estación Vilches Alto presenta registros a contar del año 1998. En esos 20 años destaca 19 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 1998 al 2016 (19).

Los mayores registros corresponden a los años 1999 y 2002. A contar del año 2012 existe una concentración de precipitaciones sobre 60 mm en las 5 estaciones, la cual corresponde principalmente a un aumento de la concentración (intensidad) de lluvias más que a un aumento de la precipitación anual. Los años 2006 y 2012 se registraron simultáneamente precipitación sobre 60 mm en las 5 estaciones.

Tabla 3 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), 5 estaciones área intercomunal: 01/01/1997 - 01/01/2017

	PENCAHUE		RIO CLARO EN RAUQUEN		SAN RAFAEL		TALCA U.C.		VILCHES ALTO	
AÑO	FECHA	MAX 24	FECHA	MAX 24	FECHA	MAX 24	FECHA	MAX 24	FECHA	MAX 24
1998	11/05	36,20			10/09	52,30	10/09	46,20	09/04	171,30
1999	04/09	88,00	04/09	99,80	04/09	56,60	04/09	69,10	29/08	112,50
2000	22/06	65,50	09/09	58,60	13/06	58,50	22/06	51,00	26/06	150,50
2001	13/06	69,00	28/08	62,00	25/08	64,50	28/08	56,00	28/08	140,50
2002	23/08	62,40	15/05	49,60	05/08	64,50	14/03	52,30	14/03	178,50
2003	20/05	67,00	20/05	49,50	20/05	64,00	20/05	32,50	20/01	94,50
2004	12/04	56,00	12/04	67,10	12/04	56,20	12/04	86,00	12/04	303,50
2005	26/06	67,00	26/06	61,00	26/06	53,20	09/06	47,50	22/11	109,30
2006	07/06	64,00	07/06	76,20	07/06	63,50	11/07	68,00	11/07	142,50
2007	12/07	46,50	15/02	44,70	15/02	43,00	15/02	41,60	16/07	67,50
2008	19/05	77,50	19/05	66,00	19/05	55,00	19/05	52,00	21/05	156,50
2009	14/08	63,20	14/08	58,50	14/08	52,50	14/08	69,20	14/08	142,50
2010	13/06	46,50	17/06	35,80	13/06	45,50	17/06	35,30	17/06	110,50
2011	16/06	56,00	18/06	69,00	18/06	49,30	16/08	35,70	11/08	104,50
2012	26/05	85,50	26/05	70,50	26/05	60,30	26/05	60,00	19/12	92,50
2013	27/06	47,50	27/06	56,00	05/07	46,20	27/06	63,50	10/08	104,00
2014	02/05	65,00	02/05	66,00	02/05	50,00	02/05	66,80	03/06	125,50
2015	11/07	78,00	11/07	63,60	11/07	52,50	11/07	67,50	07/08	105,50
2016	10/07	55,80	10/07	41,30	10/07	52,00	10/07	40,50	23/04	130,00
2017	06/05	20,60	17/05	36,30	17/05	38,50	17/05	19,30	17/05	50,00

Fuente: www.dga.cl

2.2 Hidrografía

La cuenca del río Maule tiene una superficie aproximada de 21.000 km, siendo la cuarta más importante en extensión a nivel nacional, cubriendo además de la región del Maule parte de la región del Biobío.

Alimentada por un régimen hidrológico nivo-pluvial, la cuenca del río Maule presenta en sus zonas altas y medias un régimen completamente nival, lo que conlleva a un gran aumento de caudal en los meses de primavera, producto de los deshielos cordilleranos. En las zonas bajas presenta un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones.

El río Maule nace en el extremo norponiente de la laguna del Maule, corre por 6 km al norte y luego hacia el noreste por un lecho angosto y encajonado por altas montañas. A 31 km de su nacimiento se le une el río Puelche y a partir de ese punto toma rumbo definitivo al norponiente, que mantendrá hasta su desembocadura después de recorrer 240 km. A 90 km de su origen, el Maule expande su cauce para atravesar, en un recorrido de 80 km, la llanura aluvial central y penetrar en la cordillera de la Costa, donde se le une por el norte el río Claro, uno de los más importantes de sus tributarios.

A partir de esa junta corre confinado por cerros de la cadena costera y sólo en sus 10 últimos kilómetros se ensanchan en un estuario que en su boca tiene cerca de 900 m de ancho. En esta travesía por la cordillera de la Costa, el Maule recibe escasos afluentes, que solo llevan aguas en la época de lluvias; el principal es el estero Los Puercos, que drena el amplio valle de Pencahue. En cambio, los más importantes tributarios provienen de la cordillera andina, aunque muchos de ellos se le unen en la depresión intermedia.

El río Maule recibe tributarios de envergadura entre los que se cuenta el río Puelche y el río Cipreses, efluente de la laguna de la Invernada de 5 km².

El río Maule aumenta considerablemente su caudal a 75 km de su nacimiento, al recibir el río Melado como afluente por el sur. El río Melado mantiene un rumbo de sur a norte y constituye un típico valle interandino longitudinal. En su recorrido de 7 km queda flanqueado a su izquierda por el cordón Melado, que ostenta cumbres sobre 2.500 msnm, y lo separa de las cuencas de los ríos Longaví, Achibueno y Ancoa (subtributarios del propio Maule). El río Guaiquivilo, tributario al río Melado, nace de la confluencia de los ríos Cajón de Troncoso y Paraleo. El primero drena un amplio sector fronterizo mientras que el segundo desagua en la Laguna Dial situada a unos 70 km aguas arriba de esa junta.

De la cadena del río Melado descienden hacia el río Guaiquivilo numerosos arroyos que profundizan los cajones glaciales, escindiendo las montañas. Por la ribera derecha, el más importante afluente del río Melado es el río San Pedro o La Puente, que se genera en un glaciar relacionado al volcán San Pedro o Las Yeguas. A partir de esa junta, el río deja de llamarse Guaiquivilo para tomar el nombre de Melado.

El río Maule atraviesa la mayor parte de la llanura aluvial del valle central sin recibir tributarios. Los ríos generados en la cordillera de Los Andes aquí corren más bien

paralelos a su curso y son captados por el río Loncomilla, que drena toda la cuenca sur, y por el Claro, que colecta las aguas del sector norte.

El afluente más importante del río Maule, es el río Loncomilla, el cual se le une por el sur, cerca de San Javier. Su cauce, ancho y de baja pendiente, se sitúa paralelo junto al flanco oriental de la cordillera de la Costa. Este río se forma a partir de la confluencia de los ríos Longaví y Perquilauquén, que proceden del oriente y sur respectivamente. Recorre 36 km pausadamente, pudiendo ser navegado hacia el norte por lanchas planas o de escaso calado. Por su ribera poniente recibe como afluentes solo dos esteros de poca monta, mientras que por su ribera oriente recibe dos ríos importantes, los ríos Achibueno y Putagán, aparte de otros menores.

El río Longaví tiene sus cabeceras en un cordón andino de orientación norte-sur de unos 2.000 m de altitud media. Su principal afluente, el río Blanco, drena el faldeo suroriental del nevado de Longaví o Lonquén, de 3.230 m de elevación. En la hoya del Longaví se construyó, en la primera mitad del siglo, el embalse Bullileo, de 60 millones m³ de capacidad, y en la segunda mitad, el embalse Digua, que se alimenta a través de un canal del río Longaví.

El río Perquilauquén, cuyo cauce se extiende por 190 km que drena una hoya de 2.080 km², presenta una trama de drenaje muy compleja, ya que desagua un sector de precordillera andina (aparte de la depresión intermedia) y una porción de la cordillera de la Costa. Esta última comprende una intrincada red hidrográfica, que se canaliza por el río Cauquenes y se vacía hacia el oriente, en el valle central.

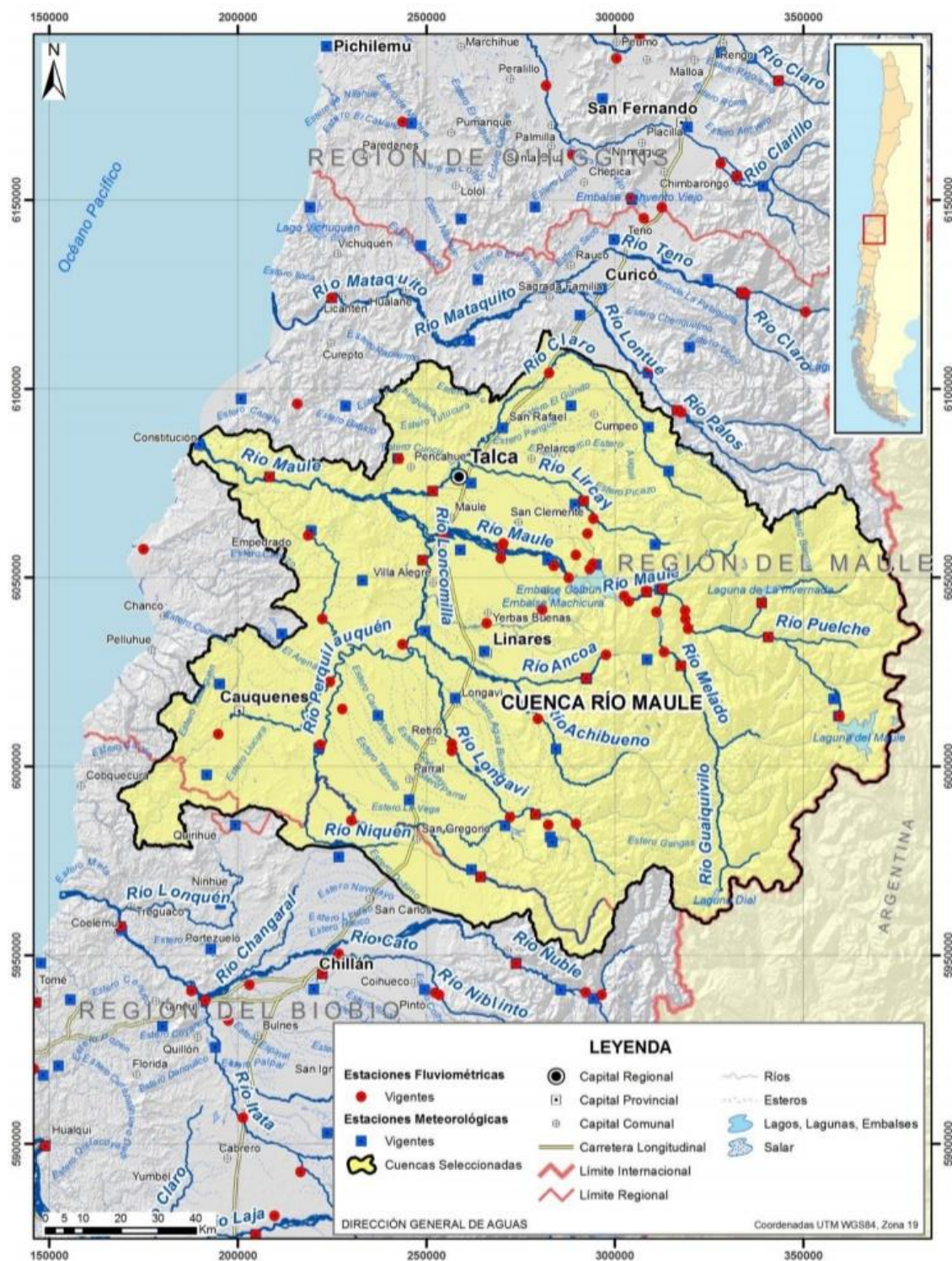
Otro afluente del río Perquilauquén y que también drena parte de la cordillera de la costa es el río Purapel, que confluye a solo dos kilómetros aguas abajo de la junta del río Cauquenes. Este río cubre un área orientada según la tectónica local de NW a SE de 800 km².

El afluente más importante de la ribera derecha del río Loncomilla es el río Achibueno, tanto que algunos autores consideran que el río Loncomilla se forma a partir de su junta. Su curso superior se desarrolla al occidente del cordón Melado, también confinado por elevadas montañas de Los Andes, y nace en la laguna homónima al pie oriental del nevado Longaví. En este primer tramo recibe, especialmente por su flanco derecho, varios torrentes que descienden de esa cordillera.

El sector norte de la hoya del río Maule es drenado por el río Claro, cuyo curso superior corre paralelo al río Lontué, afluente del río Mataquito, del cual le separan apenas 8 km. Su red de captación en la cordillera es de tipo dendrítico, con múltiples ramificaciones dominadas por el volcán Descabezado Grande.

Una notable característica de la trayectoria de este río es su brusco cambio de rumbo en las proximidades de Molina, variando en 90° hacia el SW, rumbo que conserva hasta su junta al río Maule, bordeando el pie oriental de la cordillera de la Costa. En esta trayectoria recoge afluentes importantes, como el estero Pangue y el río Lircay.

Figura 2 Cuenca del Río Maule



Fuente: Información Hídrica de las Cuencas Priorizadas, Fichas Temáticas Dirección General de Aguas, Región del Maule, 2016.

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.

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 aterrazados. 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.

Abanico fluvial Auquil-Astillero (Qafa)

Al oriente de Pelarco, el relleno sedimentario está constituido por una compleja secuencia de materiales en los que predominan los ripios y gravas arenosas, con frecuentes bloques y bolones heterocomposicionales. Estos depósitos se superponen y/o intercalan con bancos de areniscas de grano medio a grueso, cuyos clastos son de carácter volcánico (andesitas y/o basaltos); se presentan en estratos macizos que en algunos lugares tienen estratificación cruzada. Las capas arenosas están bien cementadas. Exposiciones puntuales en segmentos de los esteros Auquil y Lo Vargas permiten estimar una potencia de 30 a 40 m para estos sedimentos.

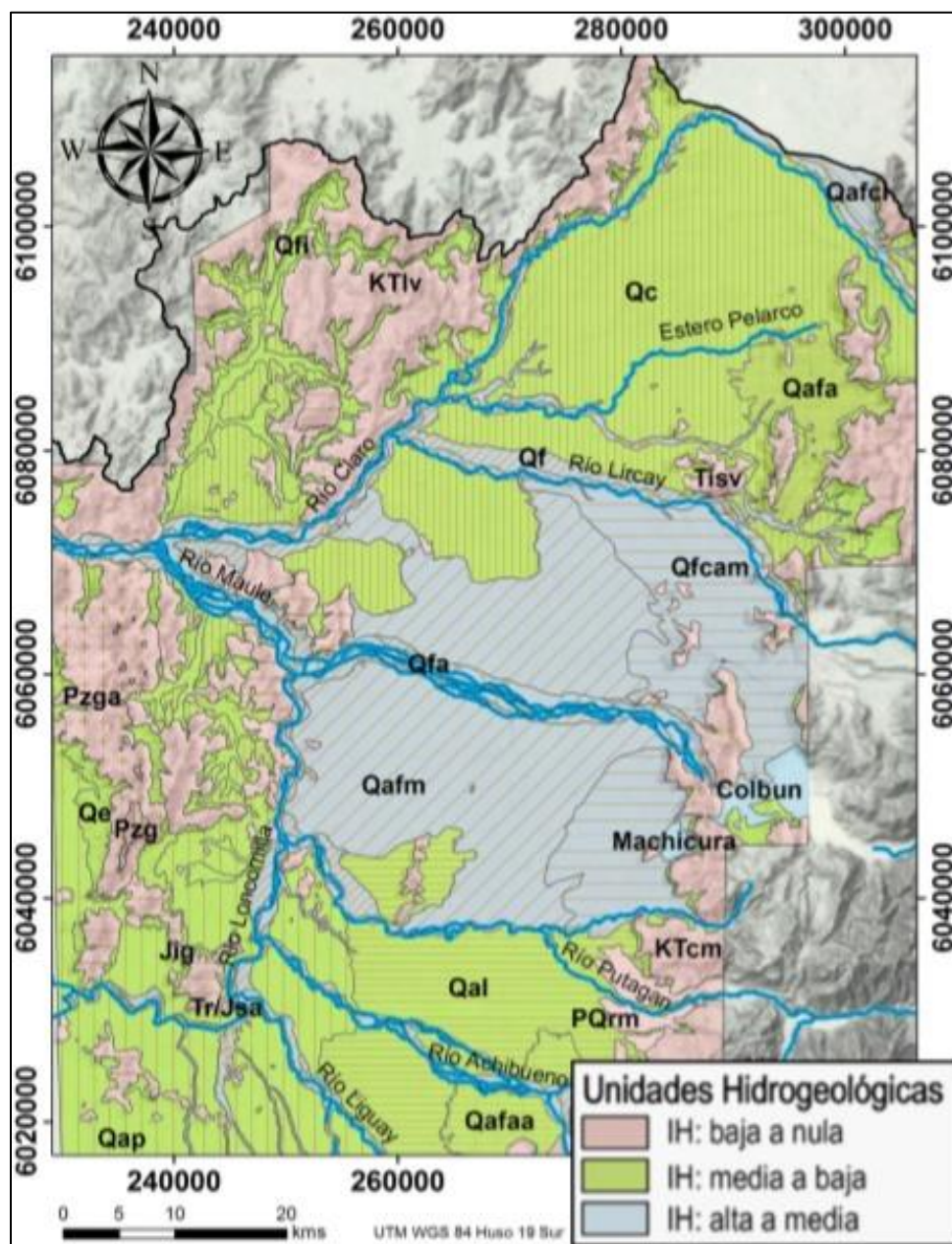
Los materiales detríticos de esta unidad provienen de la intensa erosión de macizos rocosos pre-andinos, de los relieves circundantes a las cabeceras de las hoyas de los esteros Auquil y Lo Vargas (Cordón del Astillero) y de aportes intermitentes de arenas negruzcas, derivadas de actividad volcánica de tipo explosivo en centros andinos (Peteroa-Quizapu-Grupo Descabezados). Morfológicamente, la unidad adopta el modelado de abanico, formado por verdaderos flujos, cuyas partes distales o frentes poseen rasgos lobulares. El avanzado grado de meteorización que presentan los clastos de esta unidad, sugiere una vinculación genética con procesos sedimentarios pre-holocenos.

La mayoría de las norias están excavadas en materiales que conforman una compleja secuencia de depósitos, cuya elevada compacidad y gran cantidad de finos intersticiales no favorecen el desarrollo de acuíferos de interés. Estos depósitos se caracterizan por su mala selección y permeabilidad generalmente baja. Vulnerabilidad a la contaminación moderada.

Depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule. (Qfcam)

Secuencias de ripios, gravas y gravas arenosas, con frecuentes bolones heterocomposicionales, bastantes alterados, ocasionales intercalacionales lenticulares limoarcillosas junto a potentes bancos cireníticos con significativas variaciones laterales en permeabilidad.

Figura 3 Mapa Hidrogeológico de la cuenca del río Maule



Fuente: modificado de Hauser, 1995

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

Las secuencias metamórficas paleozoicas, que afloran principalmente en el borde occidental de la cordillera de la Costa, se dividen en dos grupos principales: la serie occidental, que corresponde principalmente a esquistos, metabasitas y serpentinitas afectadas por un metamorfismo de alto grado; y la serie oriental, compuesta de pizarras, filitas y metaareniscas afectadas por un metamorfismo de bajo grado. Estas metamorfitas paleozoicas se encuentran intruidas por granitoides de edad carbonífero – pérmico (328 – 235 Ma), que corresponden principalmente a granitos, granodioritas y tonalitas.

Los granitoides del carbonífero–pérmico se encuentran cubiertos en discordancia de erosión por secuencias sedimentarias marinas y transicionales, asignadas al triásico superior - jurásico inferior, que corresponden principalmente a areniscas, conglomerados, limonitas y calizas. Las unidades representativas son las formaciones El Cisne, Crucero de Los Sauces y estero de La Higuera (Corvalán, J., 1976), así como los estratos del sector Huerta del Maule-Villaseca y los de Pocillas-Coronel (Moreno, H. et al, 1976). Estas rocas se encuentran intruidas por dioritas, gabros y monzodioritas del jurásico inferior. Tanto el basamento paleozoico, como las rocas jurásicas se encuentran cubiertas en discordancia de erosión por secuencias de lavas, sedimentitas marinas de plataforma y continentales del Cretácico.

Los afloramientos del Cretácico que se reconocen en la cordillera de la costa corresponden a la formación La Lajuela, la que se extiende en una franja norte – sur en el borde occidental de la cordillera de la Costa. La formación La Lajuela cubre en discordancia de erosión al basamento granítico, desde el norte del río Mataquito hasta la latitud de Linares. Esta formación se compone de andesitas principalmente, con potentes intercalaciones sedimentarias de calizas, lutitas, areniscas y conglomerados, donde las calizas y rocas volcánicas han sido generadas por procesos de alteración hidrotermal que han generado a su vez depósitos de caolín (arcilla) en la región. Se estima un espesor de 13.000 m, y de acuerdo a la fauna fósil encontrada se sugiere una edad valanginiana superior, pero diversos autores han sugerido extenderla hasta el hauteriviano. (Charrier y Lillo, 1973, Thiele y Nasi, 1982). Más al norte, se ha reportado que esta formación es

cubierta en discordancia angular de erosión por la formación Lo Valle, asignada al maastrichtiano (Nasi y Thiele, 1982).

Las rocas metamórficas e intrusivas paleozoicas, así como las rocas sedimentarias y volcánicas mesozoicas, y los cuerpos intrusivos, se encuentran erosionados por los cauces fluviales actuales, parcialmente consolidados del Neógeno Superior, que se reconocen en la depresión central.

Los depósitos de origen fluvial corresponden a gravas, arenas, limos y arcillas. La petrografía de los materiales clásticos se relaciona con las distintas unidades litológicas, nombradas anteriormente. Son los principales materiales de relleno en los valles de la cordillera de la costa, y se caracterizan por formar niveles de terrazas a lo largo del río Maule. En menor grado, se reconocen depósitos coluviales, que corresponden a bloques, gravas y en menor cantidad arenas, que se acumulan principalmente en conos de deyección a la salida de pequeñas quebradas, produciendo acumulaciones detríticas en la base de cerros.

Cordillera principal

La cordillera principal se caracteriza por afloramientos de rocas volcánicas y volcanoclásticas que forman un cordón de rocas estratificadas, diques y cuerpos subvolcánicos entre los 33° y 37° S, que cubren en discordancia a las formaciones cretácicas reconocidas más al norte en la alta cordillera.

Dentro de estas unidades destaca la formación Colbún (Eoceno – Oligoceno), que corresponde a lavas básicas a intermedias, rocas piroclásticas ácidas, e intercalaciones sedimentarias continentales (fluviales, aluviales y lacustres), formando lentes de hasta 500 m de espesor. Esta formación se encuentra plegada y es afectada por un pervasivo metamorfismo de muy bajo grado. El espesor del conjunto se estima en ~ 3.000 m, aun cuando se acepta que éste aparece aumentado por las numerosas intrusiones de filones-manto y lacolitos andesíticos. Esta formación se encuentra cubierta por la formación Cola de Zorro, que se caracteriza por lavas intermedias a ácidas, con intercalaciones volcánicas continentales.

En el margen oriental del área de estudio, la secuencia de rocas que van del Eoceno hasta el Mioceno superior están cubiertas por los centros volcánicos de edad Pleistocena - Holocena, que corresponden al arco volcánico activo actual. En las cercanías del área de estudio destacan tres grupos volcánicos activos: la primera ubicada entre el límite norte de la región y la zona de Talca, está conformada por los volcanes Peteroa, Santa Elena y Planchón; la segunda unidad localizada en el sector cordillerano central de la región, está conformada por los volcanes Descabezados y Quizapú; en tanto que la tercera unidad está compuesta por los volcanes asociados a la Caldera de la Laguna del Maule (por ejemplo, San Pedro, Pellado y Longaví). Asociado a estos volcanes se reconocen lavas de composición basáltica a riolítica, que cubren a rocas de la formación Colbún o Cola de Zorro y/o rellenan los valles actuales, así como depósitos piroclásticos

(cenizas y tobas principalmente, asociadas a flujos piroclásticos o depósitos de caída), que cubren a formaciones más antiguas o rellenan los valles.

Tanto el arco volcánico activo, como las rocas asociadas a la formación Colbún y Cola de Zorro, corresponden a la actual superficie de erosión, por lo que se reconocen valles de origen fluvial (forma de V) o de origen glacial (forma de U), dependiendo en que sector de la cordillera uno se encuentre. Asociados a estos procesos de erosión se reconocen depósitos de origen fluvial-aluvial, coluvial, glacial y de remociones en masa.

Los depósitos de origen fluvial-aluvial, corresponden a bloques, gravas, arenas, limos y arcillas. La petrografía de los materiales clásticos se relaciona con las distintas unidades litológicas nombradas anteriormente, es decir, de origen volcánico. Son los principales materiales de relleno en los valles de la cordillera, y se caracterizan por formar importantes niveles de terrazas en el río Maule. Los depósitos coluviales, corresponden a bloques, gravas y en menor cantidad arenas, que se acumulan principalmente en conos de deyección a la salida de pequeñas quebradas, produciendo importantes acumulaciones detríticas en la base de cerros, los que posteriormente son removilizados. Los depósitos glaciales corresponden a bloques en una matriz arenosa, asociados a morrenas marginales y acumulaciones de detritos provenientes de glaciales de roca que se pueden encontrar en la mayoría de las cabeceras de los esteros por sobre la cota de 2.500 m.s.n.m., en circos glaciares y nichos en las altas cumbres.

Finalmente, los depósitos de remoción en masa reconocidos corresponden principalmente a flujos de barro y/o detritos que rellenan los valles principales, así como lahares producto del derretimiento de hielos asociados a erupciones volcánicas. Estos depósitos corresponden a bloques y gravas, en una matriz de arena, limo y ceniza volcánica, con muy mala selección y una distribución caótica a lo largo del depósito.

Depresión central

En la depresión central se reconocen principalmente secuencias de relleno asociadas a los ríos Maule, Lircay, y Claro, los que conforman abanicos aluviales de valle asociados a cada uno de estos ríos. Estos depósitos se caracterizan por estar conformados por sedimentos de tamaño grueso (principalmente bloques y gravas), con lentes de arenas, limos y arcillas, los que en ocasiones se encuentran dispuestos en una estratificación cruzada. Estos depósitos se caracterizan por una topografía plana, que se ve interrumpida por terrazas de erosión en las cercanías de los cauces de los ríos principales, debido a la disección que por ellos fueran objeto a causa de cambios en el nivel de base.

La petrografía de los materiales clásticos se relaciona con las unidades litológicas encontradas aguas arriba, es decir, principalmente de origen volcánico. La mayoría de estos depósitos conforma una secuencia vertical homogénea y una reducción de la granulometría hacia el sector distal (occidental de la depresión intermedia), lo cual implica una mayor predominancia de las fracciones más finas, resultando en un sedimento bien seleccionado, pero débilmente compactado, lo cual determina una alta porosidad y buena permeabilidad, lo que permite un adecuado drenaje de las aguas superficiales.

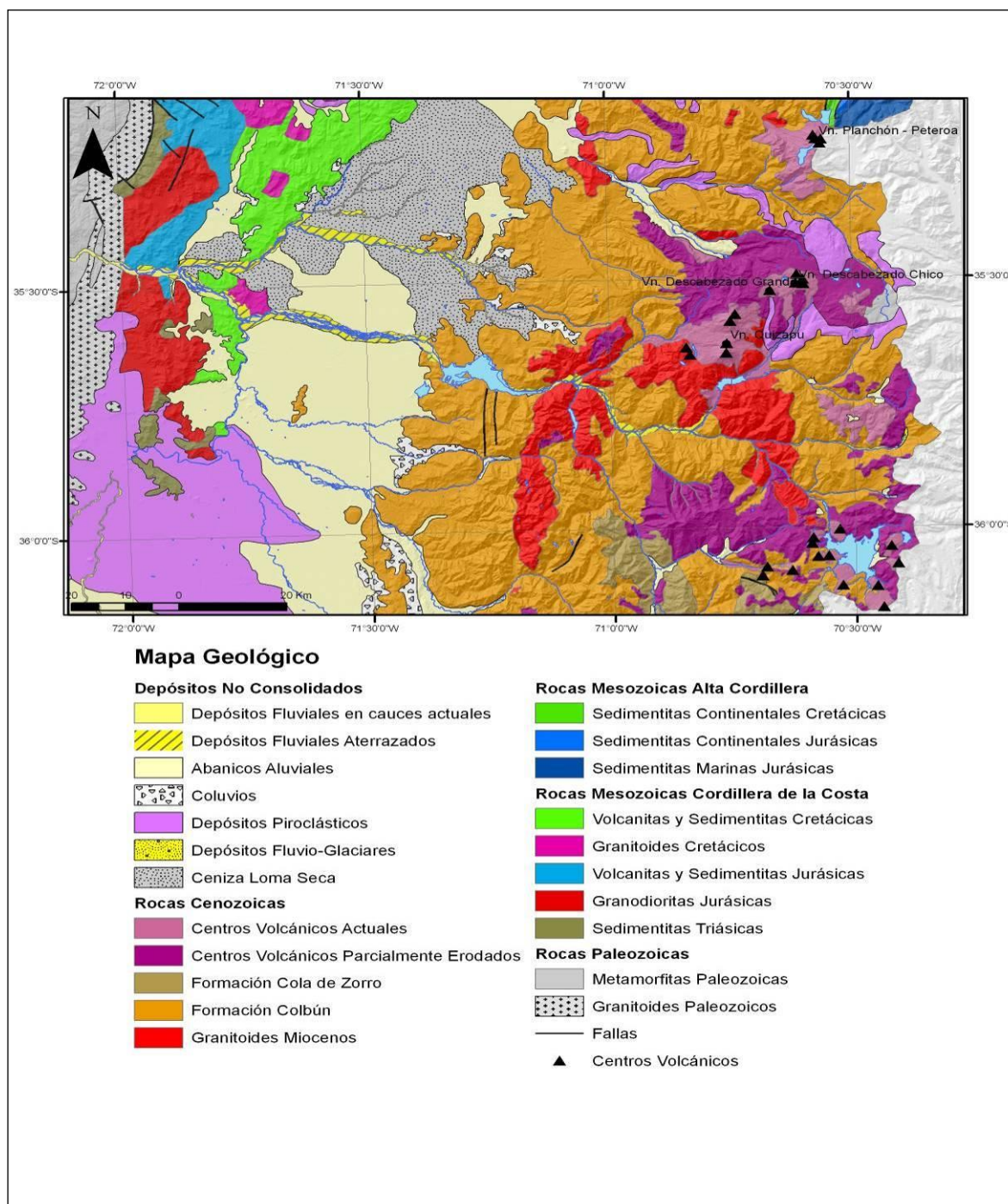
Otro constituyente principal del relleno de la depresión central, corresponden a depósitos de origen volcánico, esto es, depósitos de lahares y ceniza volcánica. Dentro de los afloramientos de ceniza volcánica destacan los depósitos cineríticos, asociados a la llamada “Ceniza de Loma Seca”, extensos depósitos laharicos y de flujos piroclásticos de carácter ácido, de edad pleistocena (800.000 a 150.000 años), generadas por la Caldera Calabozos, ubicada donde actualmente se ubican los volcanes Descabezados y Quizapu.

Estos materiales alcanzan una amplia distribución en el área de estudio. Se presenta constituyendo un extenso llano interfluvial entre los ríos Claro, Lircay y Maule, así como en los terrenos en que se emplaza la ciudad de Talca, entre el río Lircay y el Estero Piduco, y entre el estero Calicanto y el cordón de cerros de Ovejería Negra. Corresponden a depósitos cineríticos que se presentan en afloramientos de gran continuidad. Poseen una escasa permeabilidad superficial, debido a lo cual se ha desarrollado sobre ellos una densa red de drenes menores, alimentados por acumulación de lluvias invernales. Su trazado tiene una estructura semi paralela en función de la pendiente dominante dentro de este llano monoclinal, la que varía de WSW en su sección norte a WNW en la sur. Todo ello conduce el drenaje superficial en forma convergente hacia el río Claro. Los flujos que transportaron estos sedimentos cineríticos penetraron en las partes bajas de los relieves orientales de la Cordillera de La Costa, ahogando el fondo de valles menores y rinconadas, generando topografías llanas de mínima pendiente a horizontales, y una marcada reducción de la permeabilidad.

Los depósitos laharicos corresponden a clastos subangulosos de 5 a 50 cm en una matriz de abundante lapilli, ceniza y fragmentos de escoria. Los depósitos piroclásticos corresponden a potentes acumulaciones de ceniza y lapilli volcánicos, con clastos de pómez, obsidiana y lavas. Estos depósitos se encuentran atravesados por venillas de silicie de desgasificación, lo que sugiere que fueron depositados “en caliente”. De acuerdo con Marangunic et al (1979), estos depósitos estarían asociados a una erupción volcánica que habría generado una nube ardiente que habría alcanzado la depresión central. Finalmente, en los alrededores de Talca y en las cercanías del río Claro, aflora una secuencia de areniscas tobáceas derivadas de las ignimbritas, no las ignimbritas primarias, transportadas por procesos erosivos.

En general, tanto los depósitos aluviales de valle, la ceniza loma seca y los depósitos laháricos, se encuentran disectados por los depósitos fluviales actuales y antiguos o aterrizados, cuya principal diferencia en terreno se observa en los distintos niveles de terrazas en el área de estudio. En general corresponden a sedimentos, gravas redondeadas y arenas finas a gruesas, con escasa matriz de limos y arcillas, que forman o formaron parte del lecho de escurrimiento actual de las aguas. Consisten en bancos de rodados y arenas, o ambos, dispuestos aleatoriamente según la dinámica de la corriente, tanto en el lecho menor como en el lecho mayor. Morfológicamente se distribuyen en forma de bancos dispuestos irregularmente, con escaso nivel de aterrazamiento. En el caso de ríos de bajo encauzamiento y trayectoria sinuosa (Ej.: río Claro), se suelen presentar importantes desbordes anuales, los que provocan daño y destrucción a la agricultura y a obras de infraestructura locales.

Figura 4 Mapa Geológico del área de estudio



Fuente: Modificado a partir de Hauser (1995) y SERNAGEOMIN (2003).

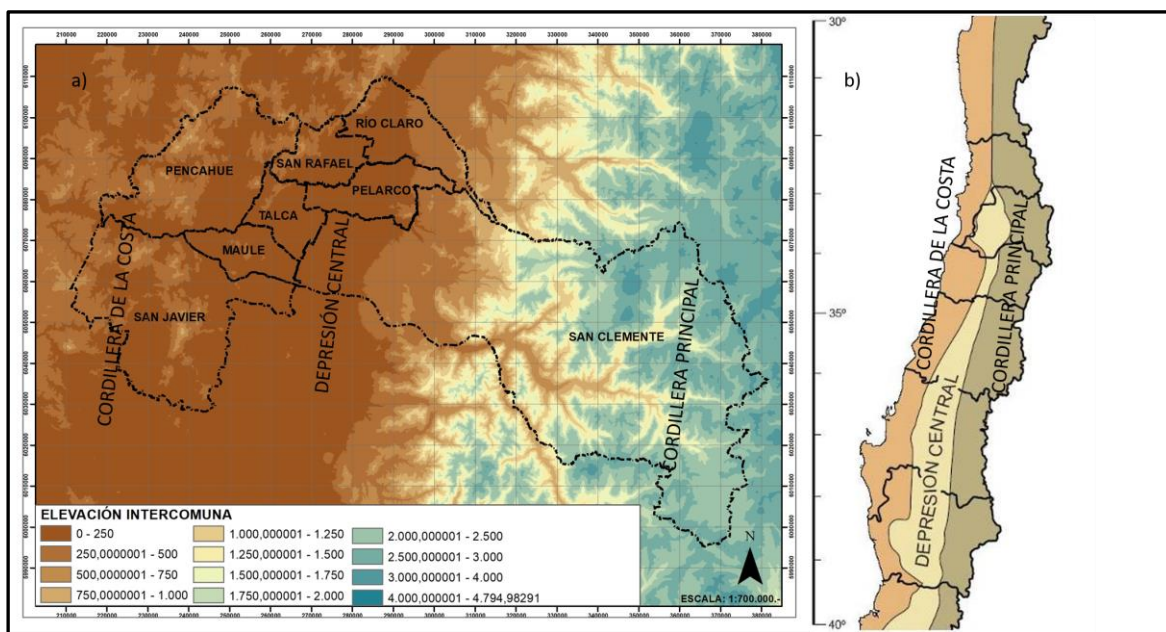
2.5 Geomorfología

El segmento andino chileno, al sur de los 33° S, muestra 4 unidades morfoestructurales principales, dispuestas en franjas orientadas norte – sur. De oeste a este estas son:

planicies litorales, cordillera de la costa, depresión central y cordillera principal (que comparten Chile y Argentina). En el área de estudio, las principales morfoestructuras son la cordillera de la costa, la depresión central y la cordillera principal.

La cordillera de la costa se presenta como un cordón montañoso y accidentado, ubicado en la parte central del área de estudio y con una orientación general norte – sur. Está compuesta por cerros, que en el área de estudio rara vez sobrepasan los 600 m.s.n.m. y cuyas pendientes se concentran entre los 10° y 20°, rara vez sobrepasando los 30°. Está formada principalmente por granitoides y metamorfitas del Paleozoico Superior en su flanco occidental y rocas mesozoicas en su flanco oriental, como indica la cartografía geológica disponible. Las mayores cumbres se sitúan en la parte central del área de estudio, principalmente en granitoides del Carbonífero – Pérmico ubicados en el sector occidental de la comuna de Pencahue. El sistema cordillerano configura una sucesión regular de quebradas y valles, las cuales son las vías naturales de evacuación de aguas hacia el mar. En general, en quebradas y valles tienden a formarse abanicos aluviales, de forma lobular y de baja pendiente.

Figura 5 Principales Rasgos Geomorfológicos del área de Estudio



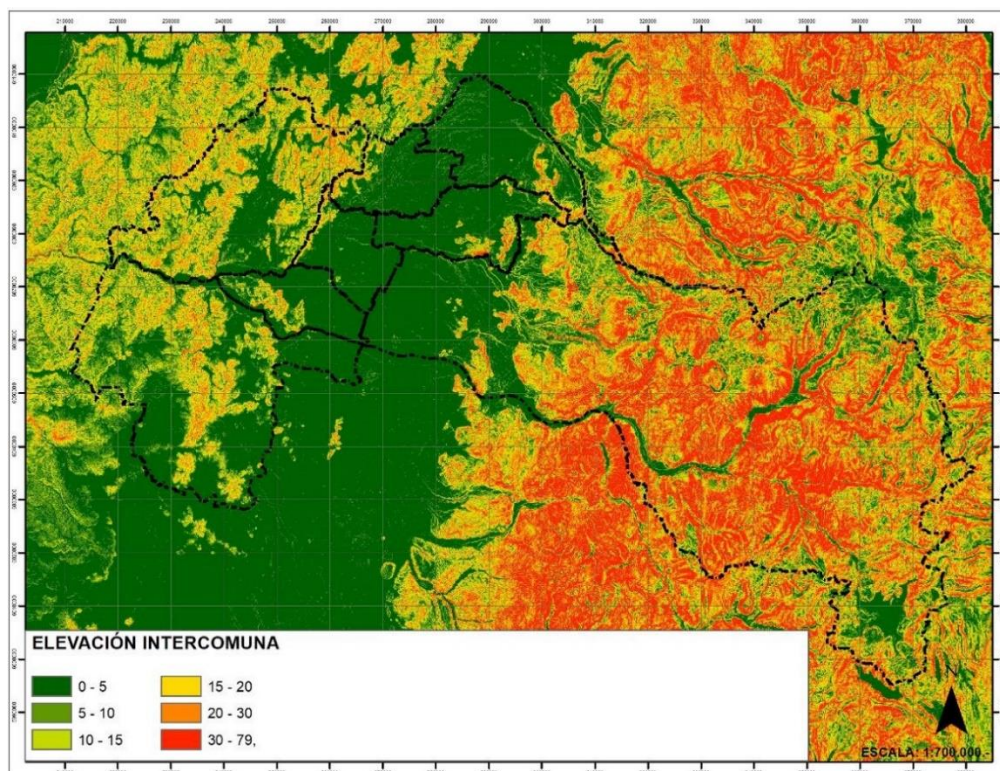
Fuente: a) Carta de elevaciones, Elaboración URBE a partir de Shuttle Radar Topography Misión (SRTM) para mayor detalle ver Farr et al. (2007); b) Modificado de SERNAGEOMIN (2003)

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.

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.

Figura 6 Carta de pendientes en grados área de Estudio



Fuente: Elaboración URBE a partir de Shuttle Radar Topography Misión (SRTM), para mayor detalle ver Farr et al. (2007)

2.6 Volcanismo

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 Tatara-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 Tatara – San Pedro.

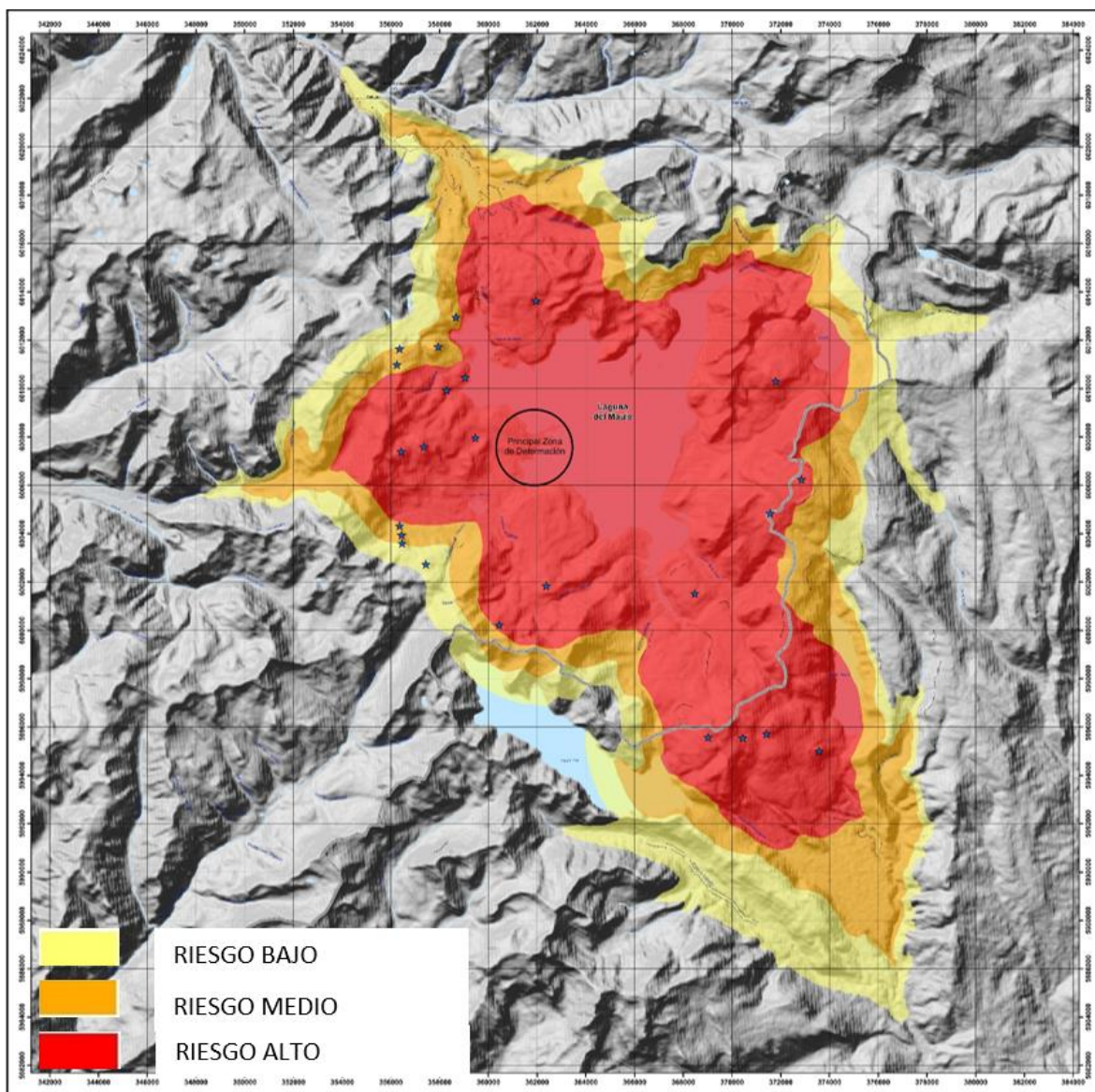


Fuente: www.sernageomin.cl- 19 de marzo de 2018.

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



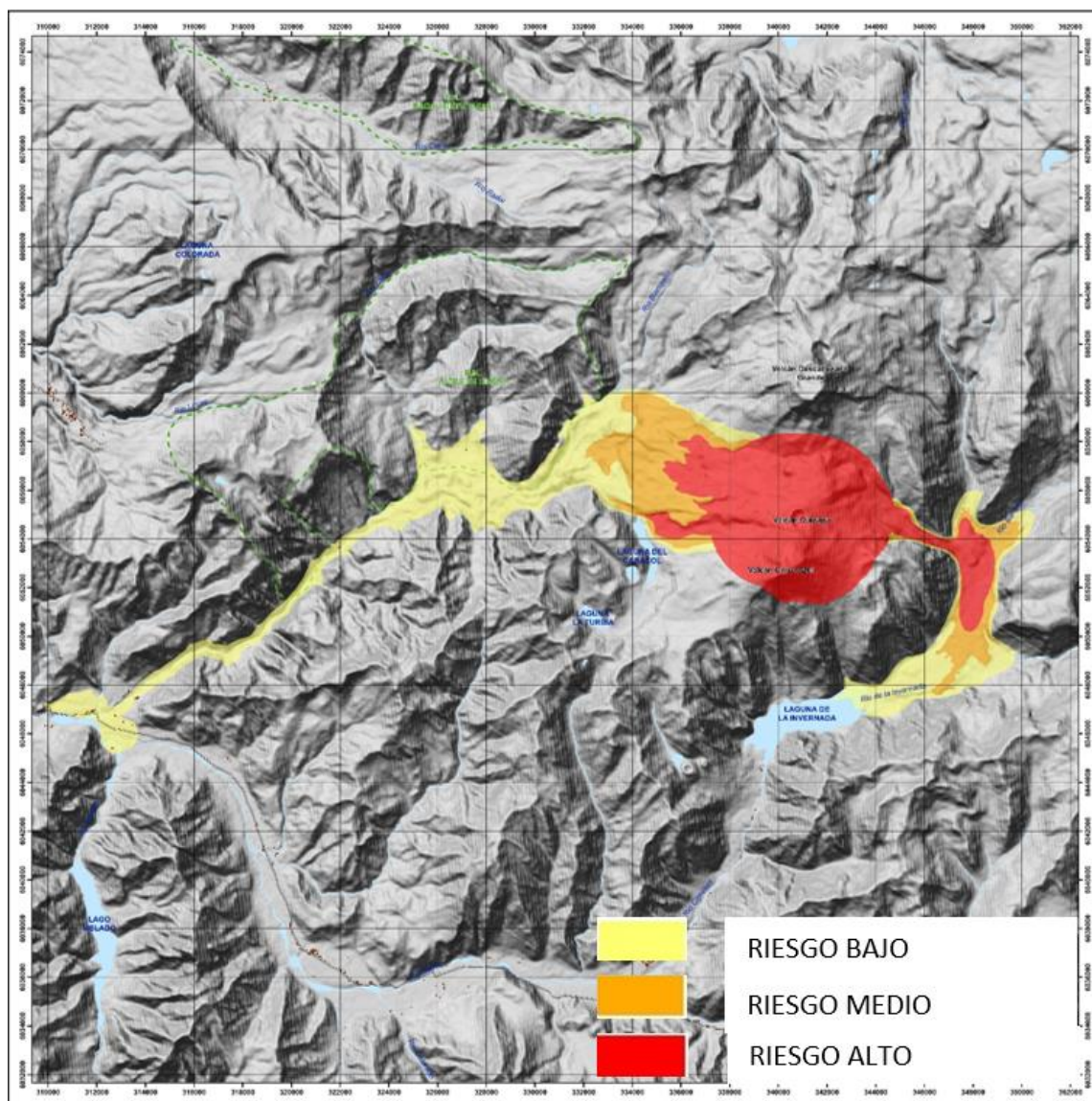
Fuente: Sernageomin, 2012.

Para el área de estudio, también destaca el Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos Volcán Cerro Azul – Quizapú (Escala 1: 100.000, año 2012). En este caso, las zonas de Alto Peligro representan sectores más susceptibles de ser afectado por procesos proximales, como lavas, proyecciones balísticas y flujos piroclásticos, derivados de erupciones de mediana magnitud en el edificio principal. Respecto al registro geológico, incorpora tanto la totalidad de las emisiones de lava, proyecciones balísticas y depósitos de flujo piroclástico por colapso de columnas eruptivas (flujos de escorias y pómez), como la mayoría de los depósitos de flujo piroclástico por colapso de domos (flujos de bloques y ceniza).

Las zonas con Peligro Medio representan el sector más susceptible de ser afectado por procesos medios a distales, como depósitos de flujos piroclásticos, flujos y avalanchas de detritos, derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal. Respecto del registro geológico, incorpora los segmentos distales de los depósitos de flujo piroclástico por colapso de domos (flujos de bloques y ceniza), la mayoría de los depósitos de avalanchas y flujos de detritos.

Las zonas con Bajo Peligro representan el sector más susceptible de ser afectado por procesos distales, como flujos y avalanchas de detritos, derivados exclusivamente de erupciones de alta magnitud en el edificio principal. Respecto del registro geológico, incorpora los segmentos distales de la mayoría de los depósitos de avalanchas y de flujos de detritos observados.

Figura 12 Mapa de Peligros Volcánicos del Volcán Cerro Azul – Quizapú



Fuente: Sernageomin, 2012.

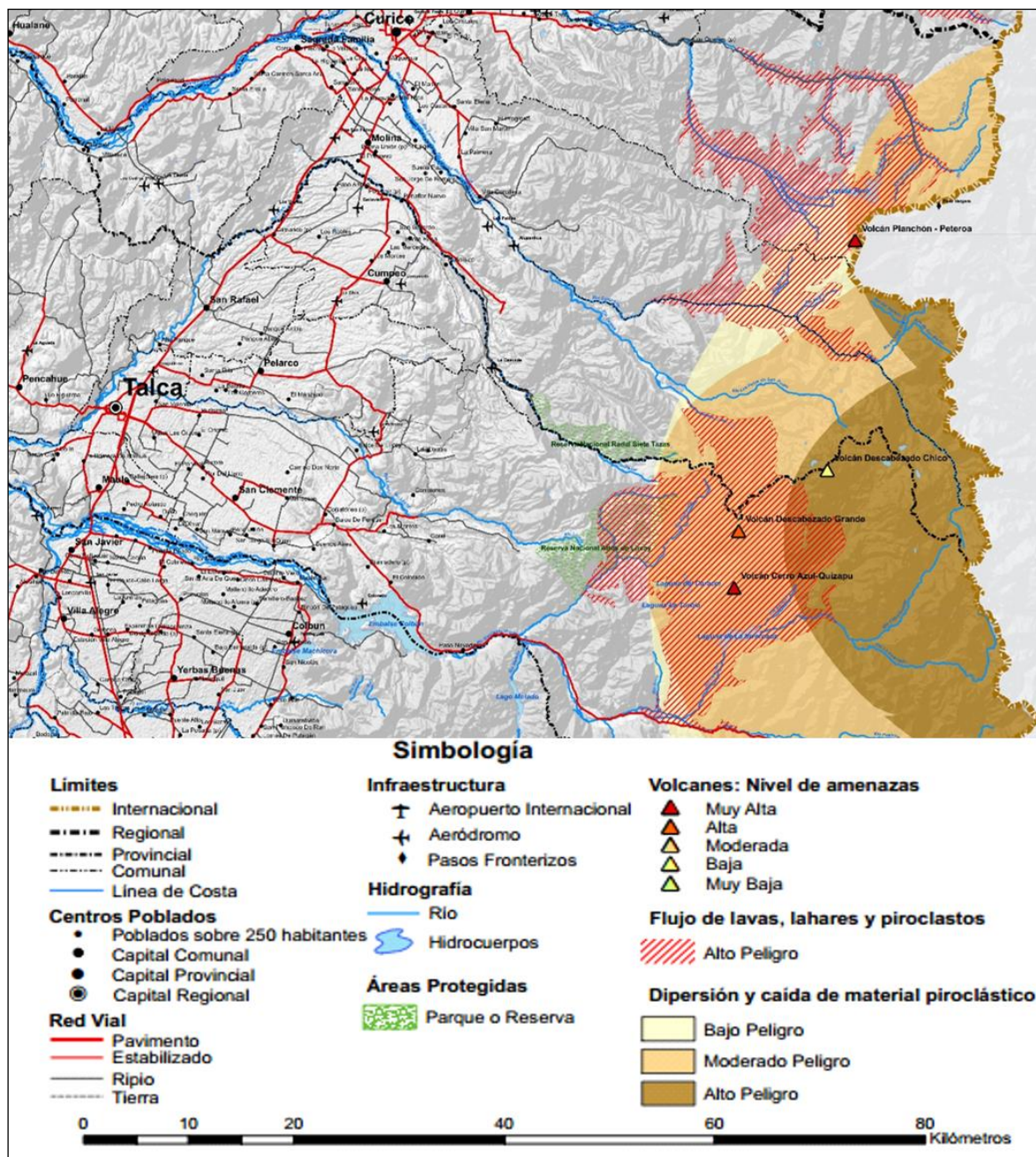
Al norte del área de estudio, destacan los volcanes Planchón, Peteroa y Azufre, de los cuales el más activo corresponde al Peteroa, que muestra actividades desde 1.660 hasta 1.991. Destacan la erupción de 1.762, donde ocurrieron violentas erupciones, el Colapso del Peteroa, flujos de detritos, lahares 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 inundo 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 repositoriodigitalonemi.cl](http://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](http://enlace.repositoriodigitalonemi.cl))

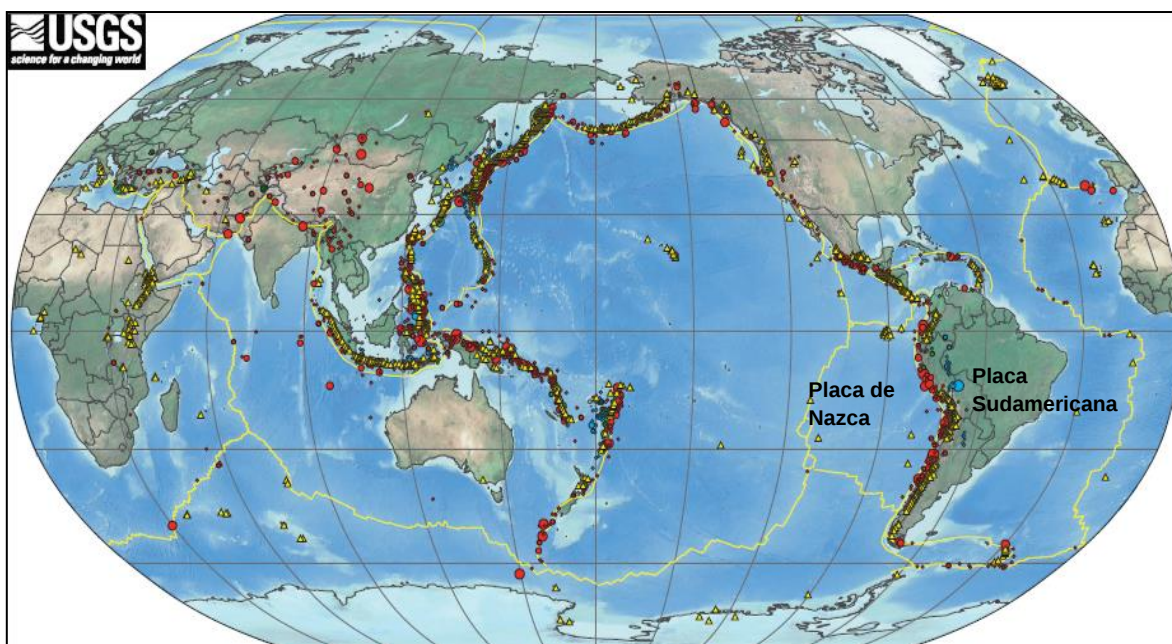
2.7 Sismos

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



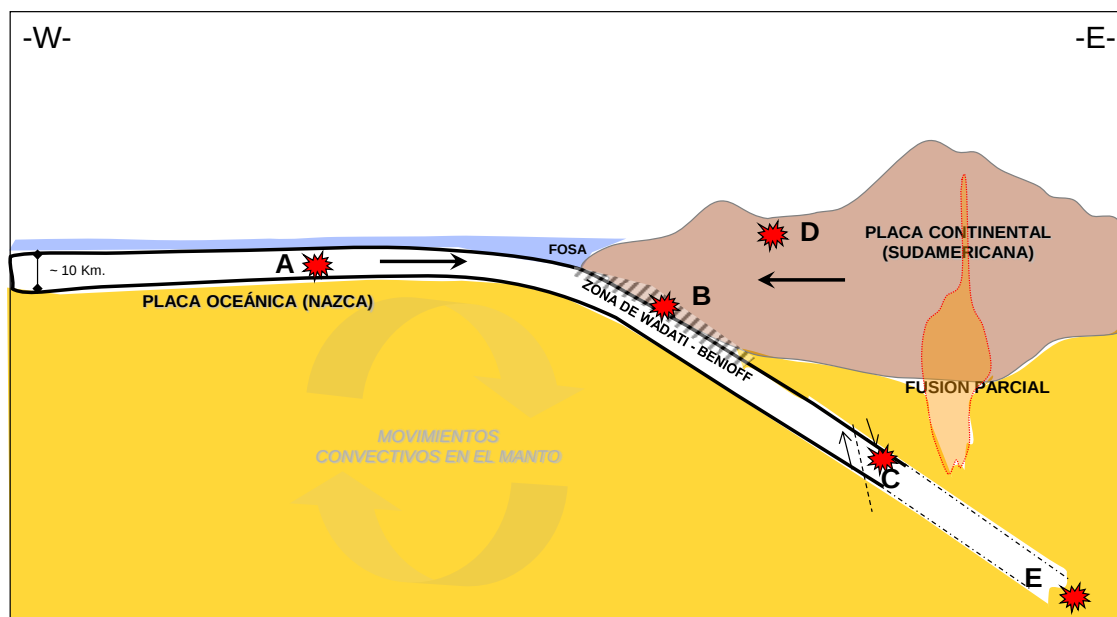
Fuente: National Earthquake Information Center – NEIC from USGS

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 las 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 URBE

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).

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 – 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

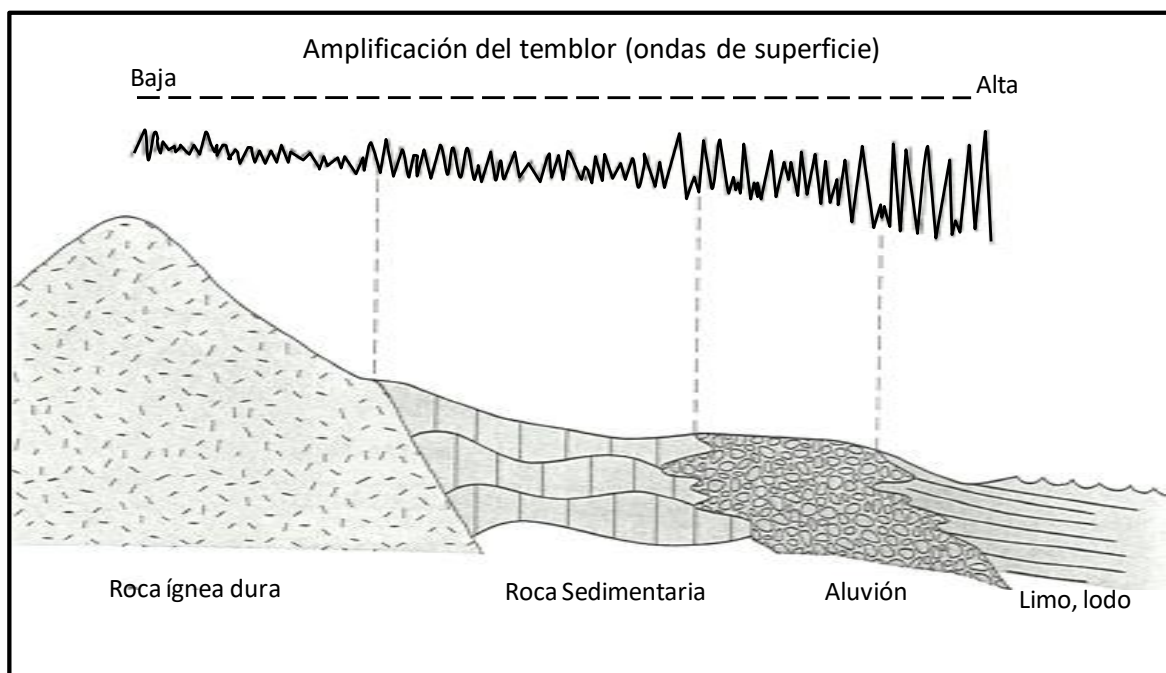
Para el estudio de los sismos como un tipo de peligro de origen geológico, es necesario considerar, por un lado, aspectos relacionados con el fenómeno propiamente tal así como sus efectos secundarios. Dentro de los parámetros propios del sismo, se considera su magnitud (relacionada con el tamaño del 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 17). 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 sísmica 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 OGUC 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 Relaves mineros

Un relave corresponde al residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación. Este residuo, también conocido como cola, es transportado mediante canaletas o cañerías hasta lugares especialmente habilitados o tranques, donde el agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito estratificado de materiales finos (arenas y limos).

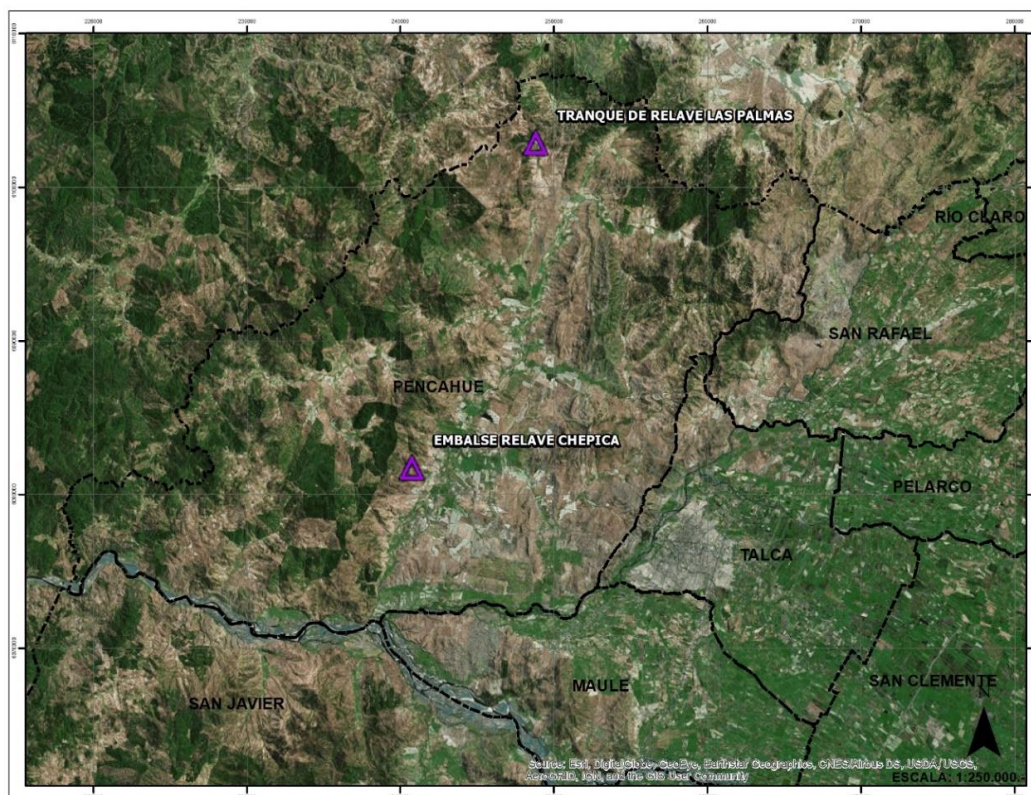
En la intercomuna actualmente existen 2 depósitos de relaves registrados en SERNAGEOMIN, ambos localizados en la comuna de Penciahue, de los cuales solo uno se encuentra en estado activo como se aprecia en la siguiente tabla

Tabla 4 Catastro de depósitos de relaves en Chile 2016

EMPRESA	FAENA	DEPOSITO	TIPO DEPOSITO	RECURSO	ESTADO DEPOSITO	RESOLUCION FECHA	N° RESOLUCION
SCM TAMBILLOS	LAS PALMAS	LAS PALMAS	TRANQUE DE RELAVE	COBRE-ORO	NO ACTIVO	10-01-1997	16
MINERA POLAR MINING CHILE LTDA.	CHEPICA	CHEPICA	EMBALSE	ORO-COBRE	ACTIVO	03-03-2004	559

Fuente: SERNAGEOMIN.CL

Figura 17 Depósitos de relave área de estudio



Fuente-. Catastro de depósitos de relaves en Chile 2016, SERNAGEOMIN

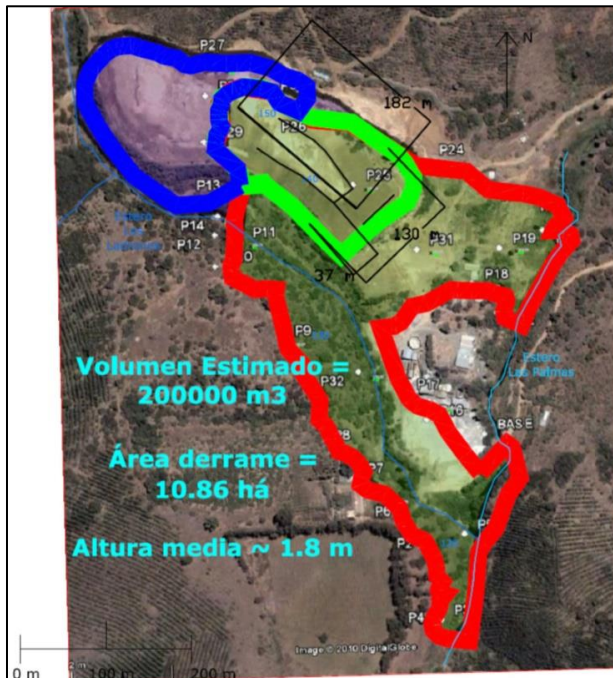
Tranque de relave Las Palmas

Perteneciente a la empresa SCM Tambillos, se encuentra cerrado y presenta un colapso gatillado por el terremoto del 27F del año 2010.

Se estimó que 2,44 hectáreas de tranque de relave colapsaron en 10,86 hectáreas de terreno aledaño, bloqueando dos cauces, correspondientes a la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas. El área de la zona noroeste del tranque no colapsó, pero presenta serios riesgos de derrumbe. El volumen total colapsado representa aproximadamente 200.000 m³: las obstrucciones de los cauces se estiman en 23.000 m³ para las dos zonas del Estero Las Palmas y en 42.000 m³ para la Quebrada Los Ladrones. El material colapsado está compuesto principalmente por relave y, en parte, por la cobertura de suelo, dispuesta originalmente sobre el relave para el proceso de cierre. Localmente, el material derrumbado contiene objetos arrastrados durante el evento, incluyendo mangueras, máquinas, y restos de estructuras.

La caracterización química del relave demostró que contiene concentraciones elevadas de plomo, cinc, hierro, manganeso. Como criterio de contrastación se empleó las concentraciones que gatillan acciones de remediación para suelos de uso industrial en EE.UU., Canadá, Gran Bretaña, Suecia, Alemania, y Bélgica, y en particular el percentil 50 de estos valores (DICTUC, 2010).

Figura 18 Área de colapso tranque de relaves Las Palmas



Fuente: Evaluación preliminar de contingencia en tranque de relaves Las Palmas; DICTUC 2010

Actualmente este tranque de relave se encuentra cerrado y cubierto con una geomembrana de HPDE que encapsula el relave. Sin embargo, de acuerdo con las fiscalizaciones realizada por el ministerio del medio ambiente en enero y abril de 2018, en la primera inspección se constató 5 roturas de la geomembrana y en la segunda inspección se dio cuenta de la extracción de una superficie de 30 x 3 mts

2.9 Vegetación y usos de suelo

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 a los efectos de las precipitaciones o a la concentración de plantaciones forestales respecto de la ocurrencia de incendios.

En la Intercomuna, de un total de 21 uso de suelos catastrados por CONAF, 4 de ellos concentran más del 67% de la superficie intercomunal: terrenos de uso agrícola 23%, matorral 17%, terrenos sobre límite vegetacional 15% y plantaciones 11%.

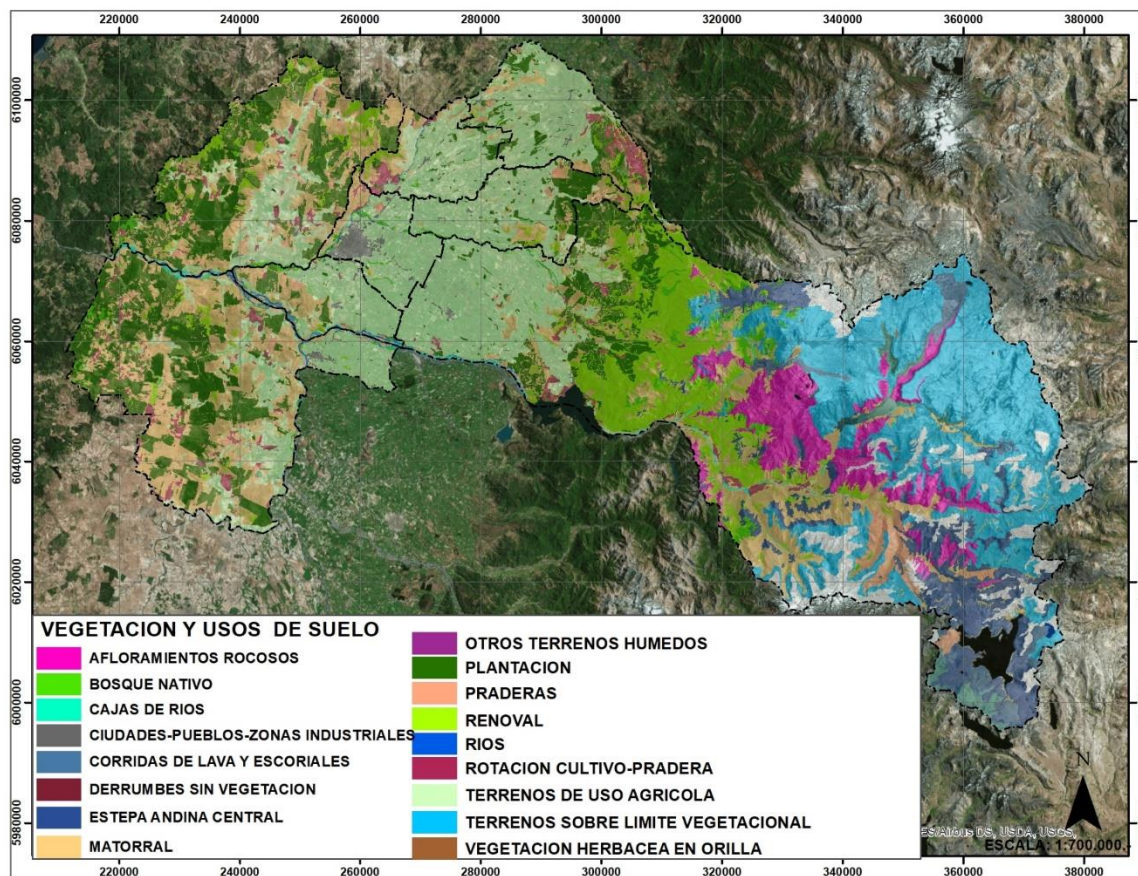
Un uso importante desde la perspectiva de los riesgos lo constituye la plantación joven o recién cosechada (5%), dado que su localización en pendientes sobre 15° puede ocasionar problemas de erosión.

Tabla 5 Vegetación y uso actual de suelo

Vegetación Y Uso De Suelo	Superficie Has.	%
Afloramientos Rocosos	38528,9	5%
Bosque Nativo-Exóticas Asilvestradas Abierto	13579,1	2%
Cajas de Ríos	3546,1	0%
Ciudades-Pueblos-Zonas Industriales	5613,7	1%
Corridas de Lava y Escoriales	9311,8	1%
Derrumbes sin Vegetación	8,8	0%
Estepa Andina Central	41061,1	5%
Lagos-Lagunas-Embalses-Tranques	9088,9	1%
Matorral	137509,7	17%
Minería Industrial	3,6	0%
Nieves	29334,4	4%
Otros Terrenos Húmedos	14,8	0%
Otros Terrenos sin Vegetación	8413,4	1%
Plantación	89383,2	11%
Praderas	18560,7	2%
Renoval Abierto	67709,8	8%
Ríos	3847,0	0%
Rotación Cultivo-Pradera	16374,6	2%
Terrenos de Uso Agrícola	183776,1	23%
Terrenos Sobre Limite Vegetacional	123187,0	15%
Vegetación Herbácea En Orilla	66,0	0%
Total	798918,8	100%

Fuente: CONAF 2009

Figura 19 Catastro de vegetación y usos de suelo



Fuente: Conaf 2009

2.10 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 6 Clase de suelos por superficie en la Intercomuna

Clase	Hectáreas	%
I	5100,9	1%
II	48556	11%
III	82919,5	19%
IV	74520,3	17%
N.C.	16774,3	4%
VI	49995,1	11%
VII	160474,2	36%
VIII	2178,6	0%
Total	10163,5	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 Intercomuna los suelos de clases I, II y III constituyen un 31% de la superficie total catastrada y se concentran en el sector del valle central.

Los suelos clase IV (17%), 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 intercomuna. Su superficie representa un 4% de la superficie intercomunal.

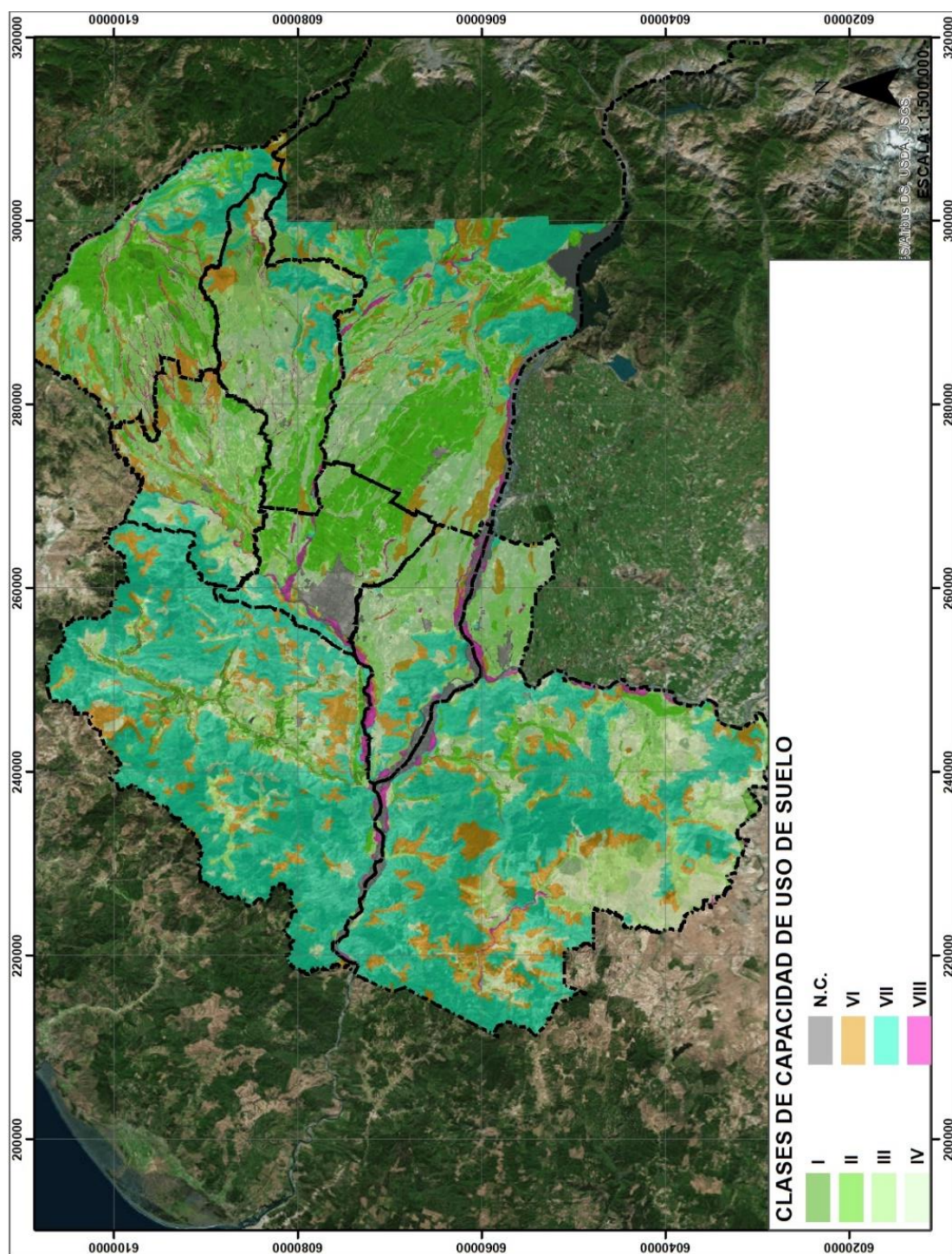
Los suelos clase VI representan un 11% de la superficie intercomunal y se localizan en la sección más alta de los conos de deyección, entre los suelos clase IV y los suelos clase VII. Sus capacidades agronómicas son limitadas debido a la pendiente, no permitiendo el riego por inundación.

Los suelos de clase VII, los cuales representan un 36% de la superficie total catastrada, se localizan principalmente en la Cordillera de la Costa y pre cordillera andina. 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 31% de la superficie total intercomunal presenta suelos con aptitud agrícola. Si adicionalmente se suma los suelos clase IV se llega a un 48% de suelos con aptitud agrícola.

Figura 20 Clases de capacidad de uso de suelo



Fuente: CIREN 2011 EPSG:32719

2.11 Áreas Protegidas

De acuerdo con la revisión de la información oficial del Ministerio de Medio Ambiente, la Región del Maule cuenta con las siguientes áreas protegidas:

Tabla 7 Listado de áreas protegidas Región del Maule

CODIGO	CATEGORIA	NOMBRE	DECRETO	F. PUBLICACIÓN	F. FORMULACIÓN	
WDPA-038	Parque Nacional	Radial Siete Tazas (PN)	Decreto 15	2008-08-06	2008-03-27	Decreto 89
WDPA-078	Reserva Forestal	Federico Albert	Decreto 257	1981-07-18	1981-05-25	
WDPA-084	Reserva Nacional	Altos de Lircay	Decreto 59 EXENTO	1996-06-24	1996-06-11	
WDPA-082	Reserva Nacional	Laguna Torca (RN)	Decreto N° 43	2017-06-06	2016-12-19	Decreto 128
WDPA-083	Reserva Nacional	Los Bellotos del Melado	Decreto 18	1995-03-17	1995-01-20	
WDPA-079	Reserva Nacional	Los Queules	Decreto 12 EXENTO	1995-04-03	1995-03-14	
WDPA-080	Reserva Nacional	Los Ruiles	Decreto 102	2018-08-31	2017-09-29	Decreto 94
WDPA-081	Reserva Nacional	Radial Siete Tazas (RN)	Decreto 15	2008-08-06	2008-03-27	Decreto 89
WDPA-155	Santuario de la Naturaleza	Alto Huemul	Decreto 572	1996-10-23	1996-10-09	
WDPA-163	Santuario de la Naturaleza	Cajón del río Achibueno	Decreto 35	2015-12-14	2015-09-07	
WDPA-142	Santuario de la Naturaleza	Humedal de Reloca	Decreto 1613 EXENTO	2005-11-23	2005-10-28	
WDPA-177	Santuario de la Naturaleza	Humedales Costeros de Putú-Huenchulla mi	Decreto N°55	2018-02-27	2017-12-04	
WDPA-143	Santuario de la Naturaleza	Laguna Torca (SN)	Decreto 128	1986-03-11	1985-10-17	
WDPA-145	Santuario de la Naturaleza	Predio El Morrillo	Decreto 879 EXENTO	2005-07-15	2005-06-30	Decreto 229 EXENTO
WDPA-144	Santuario de la Naturaleza	Rocas de Constitución	Decreto 1029 EXENTO	2007-08-01	2007-05-25	

Fuente: <http://bdnrap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=AP>

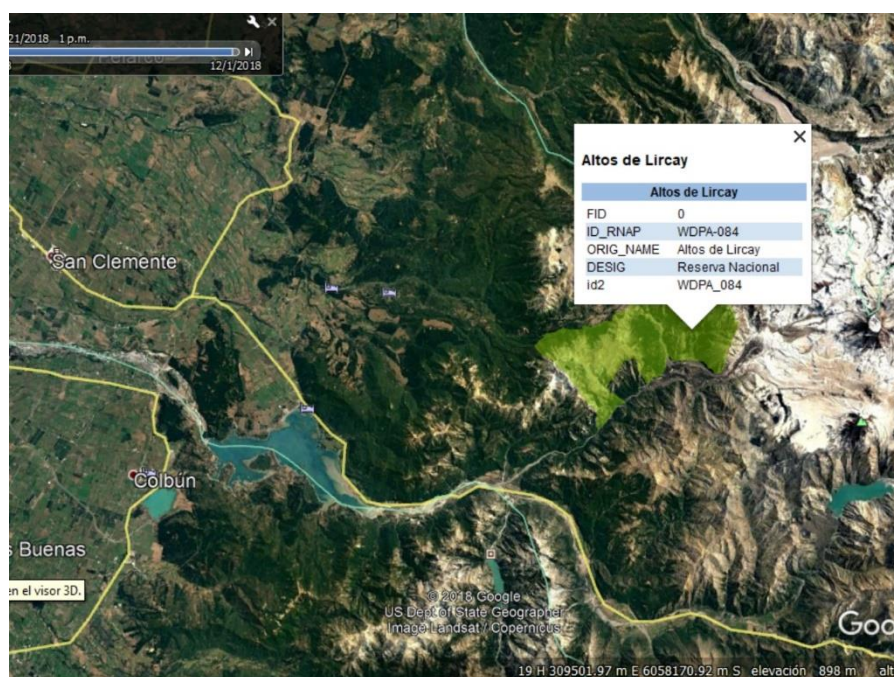
Altos de Lircay

La unidad Altos de Lircay está ubicada en la Región del Maule, provincia de Talca, comuna de San Clemente. Destaca por la protección de las especies como el pudú, el puma y la loica. En lo que a flora se refiere está el hualo y huala, clasificadas como Vulnerables.

Corresponde a un área protegida de categoría de Reserva Nacional (Decreto 59 EXENTO Ministerio de Agricultura publicado en Diario Oficial 24/06/1996).

Superficie 11.597 hectáreas (<http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=0>)

Figura 21 Reserva Nacional Altos de Lircay



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=0>

Predio El Morrillo

El predio denominado El Morrillo, ubicado a 70 km. Al oriente de la ciudad de Talca, en la precordillera andina de la localidad de Vilches Alto, comuna de San Clemente, provincia de Talca, VII Región del Maule, posee un alto valor ambiental que se refleja en las siguientes características: riqueza y singularidad de la biodiversidad, aporte a la conectividad (corredor biológico) de las Reservas Radal 7 Tazas (al norte) y Altos de Lircay (al sur) y un alto endemismo a nivel regional. Dicho predio posee una rica diversidad del género *Nothofagus* (7 especies: roble, raulí, ñirre, coigüe, hualo, huala y lenga, lo que representa el 80% del total de las especies a dicho género) y corresponde a uno de los Sitios Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad a nivel regional.

Corresponde a un área protegida de categoría de Santuario de la Naturaleza (Decreto 879 EXENTO Ministerio de Educación publicado en Diario Oficial 15/07/2005).

Superficie 1.100 hectáreas (<http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=0>)

La importancia de esta área protegida radica en un alto valor ambiental que se refleja en la singularidad de la biodiversidad, aporte a la conectividad (corredor biológico de las RN Radal Siete Tazas, al norte, y Altos de Lircay, al sur) y un alto endemismo a nivel regional. (<http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=0>)

Figura 22 Santuario de la Naturaleza El Morrillo



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=0>

Bien Nacional Protegido

Los Bienes Nacionales Protegidos (BNP) constituyen un subsistema del Sistema de Áreas Protegidas de Chile, consignado en la Política Nacional de Áreas Protegidas, y cuyo instrumento de protección consiste en la auto destinación y posterior concesión a terceros para proyectos con fines de conservación y desarrollo sustentable, incluido en el año 2004, en el listado de categorías oficiales de protección territorial para efectos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. (http://www.bienesnacionales.cl/?page_id=1604)

Bienes Nacionales Protegidos corresponde, entonces, a un subsistema de propiedad pública y administración privada de áreas de conservación, a través de un proceso de toma de decisiones participativo que permite la incorporación de privados a la

administración de áreas y al manejo sustentable de los recursos patrimoniales fiscales contenidos en los predios protegidos. (http://www.bienesnacionales.cl/?page_id=1604)

En la intercomuna se registraron 2 Bienes Nacionales Protegidos, en la comuna de San Clemente:

Tabla 8 Clase de suelos por superficie en la Intercomuna

Nombre	Comuna	Superficie (ha)	Decreto
Laguna del Maule	San Clemente	2.198,12	Decreto exento 254 Ministerio de Bienes Nacionales D.O. 19/10/2006
Potrero Lo Aguirre	San Clemente	460,28	Decreto exento 776 Ministerio de Bienes Nacionales D.O. 04/02/2009

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=0>

Figura 23 Bienes Nacionales Protegidos comuna de San Clemente

Laguna del Maule



Potrero Lo Aguirre



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=0>

Sitios Prioritarios para la conservación

Los sitios prioritarios corresponden a espacios geográficos terrestres, de aguas continentales, costeros o marinos de alto valor para la conservación, identificados por su aporte a la representatividad ecosistémica, su singularidad ecológica o por constituir el hábitat de especies amenazadas, por lo que su conservación es prioritaria en el marco de la Estrategia Nacional de Biodiversidad.

A la fecha existen 64 Sitios Prioritarios a nivel nacional, cuya denominación, además, tiene efectos para el sistema de evaluación de impacto ambiental. En el caso del territorio intercomunal no existen sitios prioritarios con efecto en el sistema de evaluación de impacto ambiental.

El territorio intercomunal existe un total de 5 Sitios prioritarios de conservación de la biodiversidad, sin efectos en el sistema de evaluación de impacto ambiental y no son parte de los 5 sitios de primera prioridad regional ni de los 11 sitios de segunda prioridad regional.

Tabla 9 Sitio prioritarios estrategia biodiversidad en la intercomuna.

Código	Nombre	Superficie (ha)	Comuna
SP2-046	Alstroemerias de San Rafael	562,64	San Rafael
SP2-215	Bosques del Colorado y Bramadero	14.534,53	San Clemente / Colbún
SP2-052	Cerros de Cumpeo	8.378,32	Río Claro / Molina
SP2-051	Pichamán	9.607,82	Pencahue / Constitución / San Javier
SP2-225	Matorral Esclerófilo de Vaquería	1.283,05	San Javier

Fuente: Ministerio de medio ambiente [http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-
rnap/#/busqueda?p=1255](http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-
rnap/#/busqueda?p=1255)

Actualmente estos sitios prioritarios han resguardado indistintamente los ecosistemas presentes en el área protegida o prioritaria. En la siguiente tabla se contrasta el ecosistema a proteger con el uso actual, en ella se observa como sitios prioritarios más cercanos al valle central han sido absorbidos por actividades agrícolas y forestales.

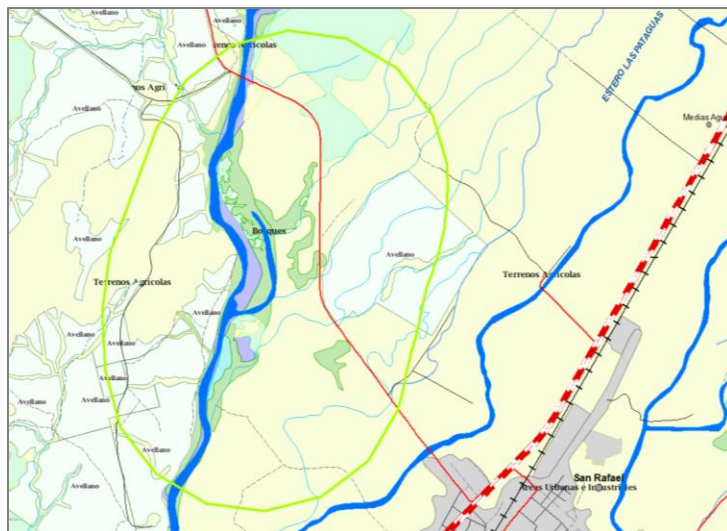
Tabla 10 Estado actual de sitio prioritarios estrategia biodiversidad en la intercomuna.

Nombre	Ecosistemas presentes en el área protegida o prioritaria	Uso actual
Alstroemerias de San Rafael	Bosque espinoso mediterráneo interior de Acacia caven y Lithrea caustica	Principalmente terrenos agrícolas y plantaciones de avellano. No conserva ecosistema prioritario
Bosques del Colorado y Bramadero	Bosque caducifolio mediterráneo andino de Nothofagus glauca y N. obliqua Bosque caducifolio mediterráneo andino de Nothofagus obliqua y Austrocedrus chilensis Bosque caducifolio mediterráneo interior de Nothofagus obliqua y Cryptocarya alba Bosque esclerófilo mediterráneo andino de Lithrea caustica y Lomatia hirsuta	Principalmente bosques, en sector norte existe uso agrícola, plantaciones de manzano y en su límite poniente plantaciones de manzanos, perales y cerezos. Conserva aproximadamente solo el 70% del ecosistema prioritario

Cerros de Cumpeo	Bosque esclerófilo mediterráneo andino de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Lomatia hirsuta</i>	Bosque en su estado natural aproximadamente 50%, terrenos agrícolas, plantaciones de frutales (avellanos, cerezos y manzanos), y plantaciones de bosques (eucaliytus y pinus radiata). Conserva aproximadamente solo el 50% del ecosistema prioritario
Pichamán	Bosque caducifolio mediterráneo costero de <i>Nothofagus glauca</i> y <i>Persea lingue</i>	Bosque en su estado natural aproximadamente 60% y plantaciones de bosques (eucaliytus y pinus radiata). En el territorio intercomunal conserva aproximadamente solo el 50% del ecosistema prioritario
Matorral Esclerófilo de Vaquería	Bosque espinoso mediterráneo interior de <i>Acacia caven</i> y <i>Lithrea caustica</i>	El 100% del sitio prioritario se encuentra con bosques y praderas naturales. Conserva el ecosistema prioritario

Fuente: Elaborado en base a: INFOR Programa de Actualización de Plantaciones Forestales 2016 R07, CIREN Catastro Productores Frutícolas R07 2016 y CONAF Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra (R07_2013)

Figura 24 Alstroemerias de San Rafael



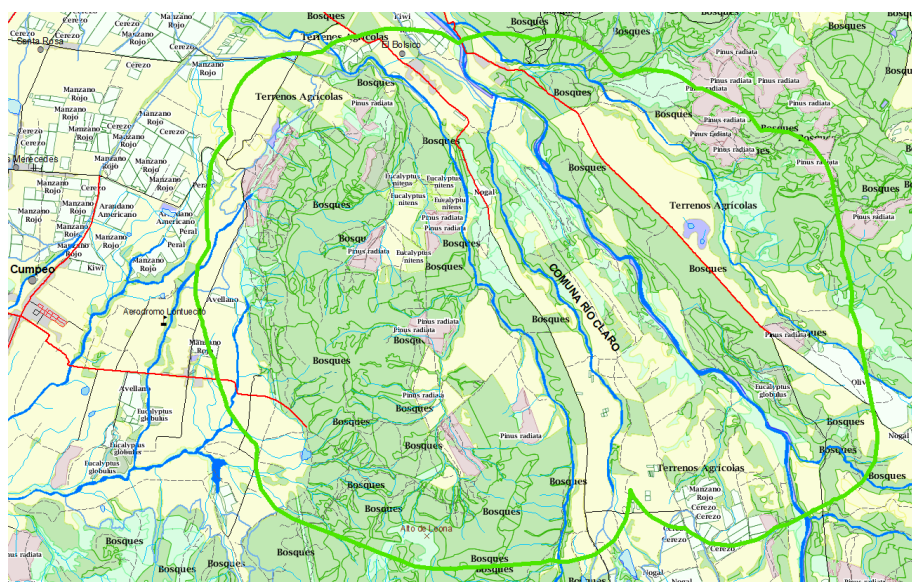
Fuente: Elaborado en base a: INFOR Programa de Actualización de Plantaciones Forestales 2016 R07, CIREN Catastro Productores Frutícolas R07 2016 y CONAF Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra (R07_2013)

Figura 25 Bosques del Colorado y Bramadero



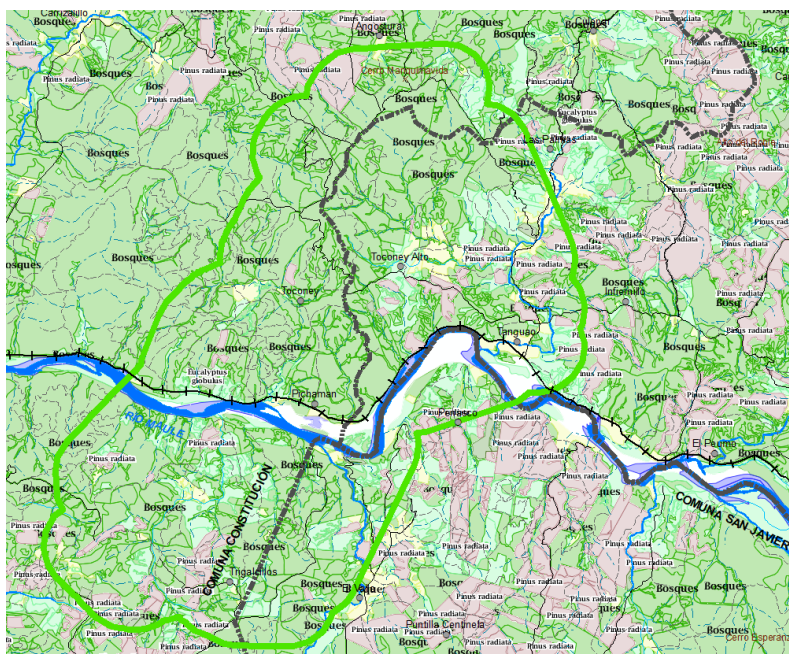
Fuente: Elaborado en base a: INFOR Programa de Actualización de Plantaciones Forestales 2016 R07, CIREN Catastro Productores Frutícolas R07 2016 y CONAF Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra (R07_2013)

Figura 26 Cerros de Cumpeo



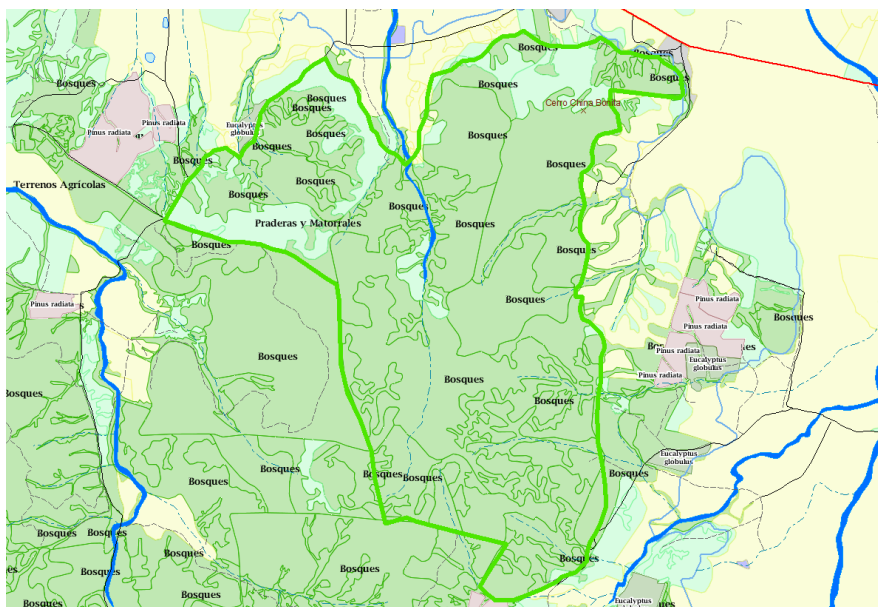
Fuente: elaborado en base a: INFOR Programa de Actualización de Plantaciones Forestales 2016 R07, CIREN Catastro Productores Frutícolas R07 2016 y CONAF Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra (R07 2013)

Figura 27 Pichamán



Fuente: elaborado en base a: INFOR Programa de Actualización de Plantaciones Forestales 2016 R07, CIREN Catastro Productores Frutícolas R07 2016 y CONAF Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra (R07_2013)

Figura 28 Matorral Esclerófilo de Vaquería



Fuente: elaborado en base a: INFOR Programa de Actualización de Plantaciones Forestales 2016 R07, CIREN Catastro Productores Frutícolas R07 2016 y CONAF Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra (R07_2013)

3 ANTECEDENTES TEÓRICOS Y VISITAS A TERRENO

3.1 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 (Hungry, 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.

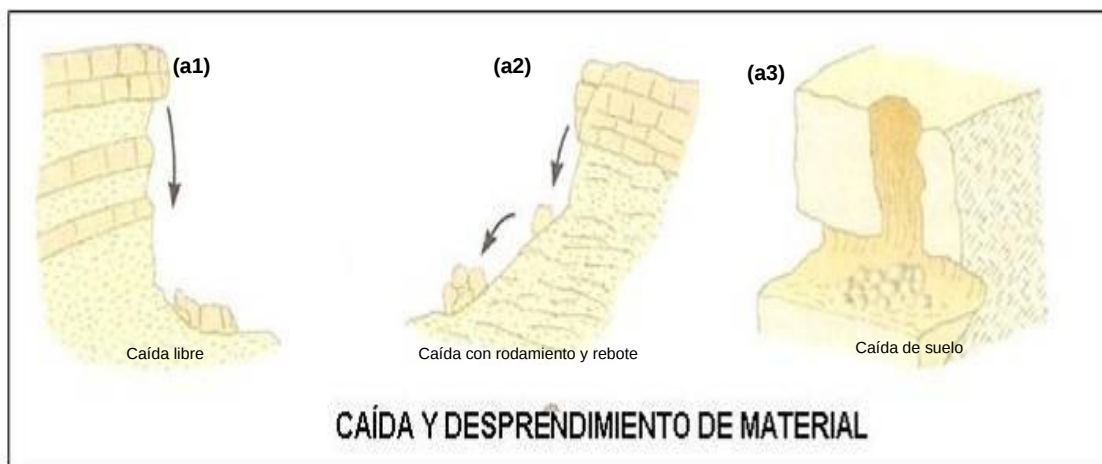
La velocidad de una remoción en masa junto al volumen del material movilizado, condicionan en gran medida la capacidad de control que existe sobre el proceso mediante obras de contención o medidas de mitigación.

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 29) (Lara, 2007).

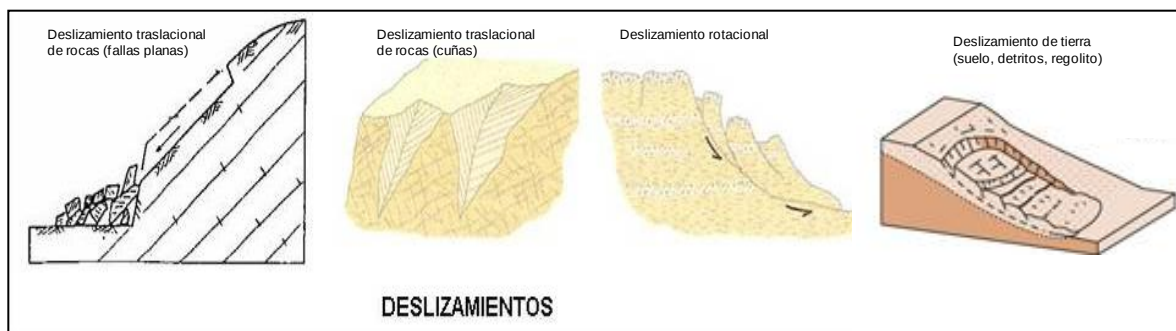
Figura 29 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



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 (Hungr, 2014). Ver Figura a continuación.

Figura 30 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

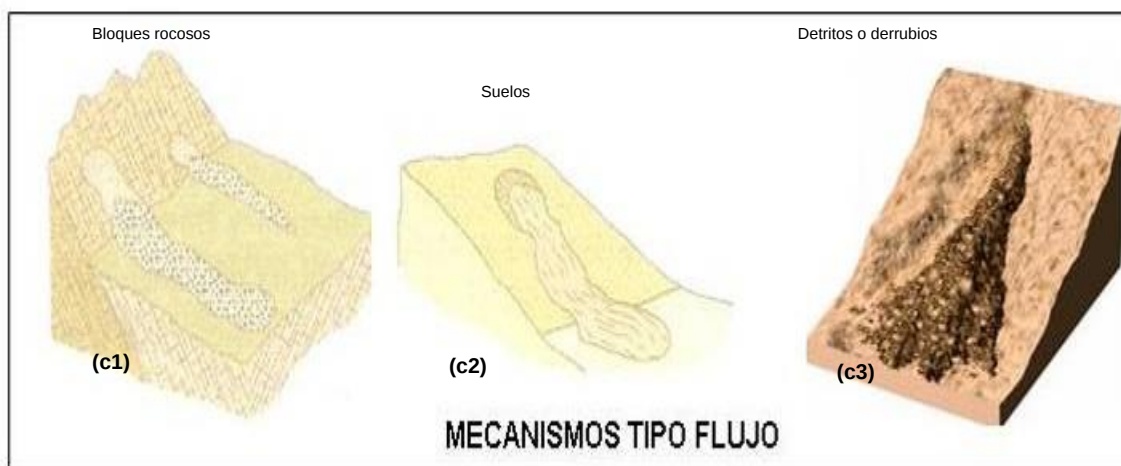


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

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 31 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 movilizadas, 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, esta 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 periodos 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.

3.2 Inundaciones y anegamiento

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.²

3.3 Incendios

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

² Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

(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).

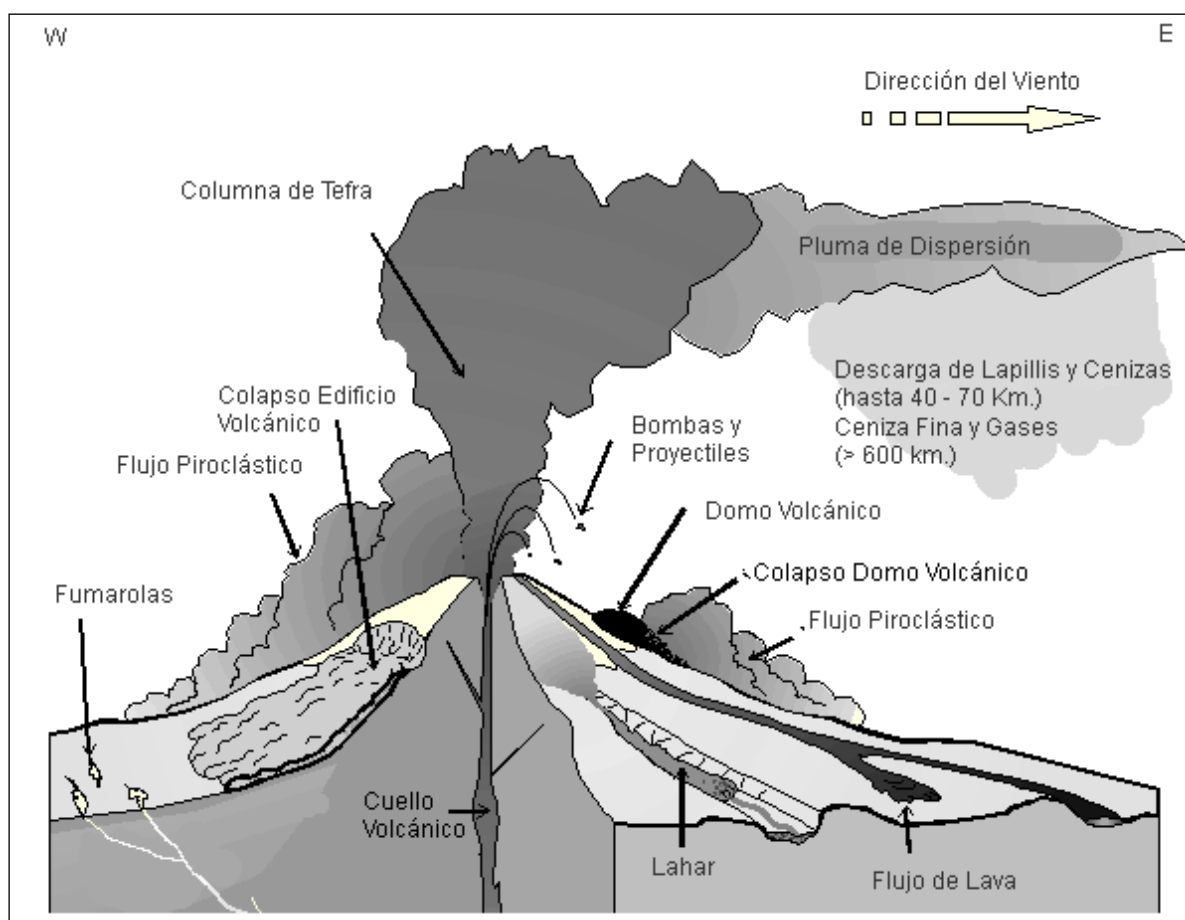
Por su parte, el peligro de incendios forestales se identifica con las condiciones ambientales que permitirán que se inicie y propague el fuego ocasionado por alguien. La principal condición ambiental es la presencia de vegetación que pueda arder, o sea el combustible. Otras condiciones ambientales que 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. Entre los factores variables, que sí se modifican en el tiempo, incluso a lo largo del día, están el tiempo atmosférico y el contenido de humedad de la vegetación.

3.4 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 32 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán

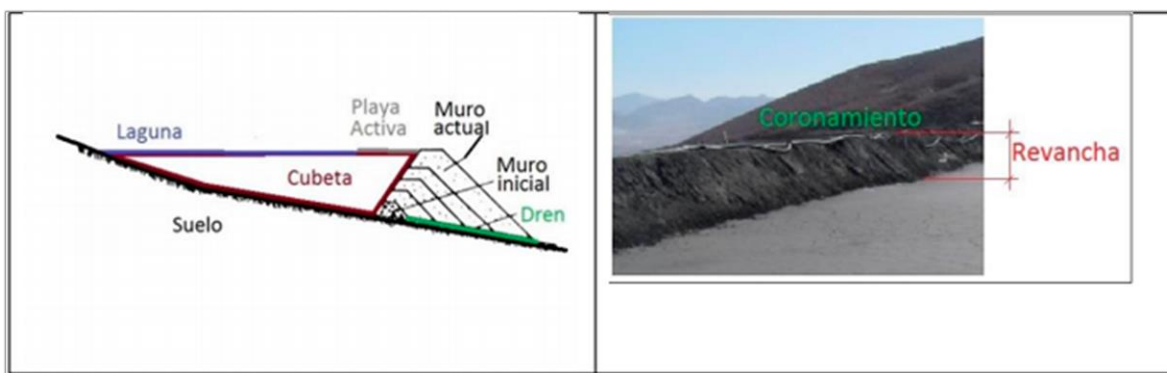


Fuente: Myers y Brantley, 1995.

3.5 Relaves

De acuerdo con la definición el servicio nacional de geología y minería (SERNAGEOMIN) un relave corresponde a: *“un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material (roca) del yacimiento que se explota. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar (algo menos de 1%). Una vez que ese material (la roca) ha sido finamente molido y concentrado por procesos de flotación, se obtiene un material (el concentrado) con una concentración más alta de cobre (entre 20 y 30%), que se puede vender como Concentrado o procesar hasta cobre metálico puro. El resto del material (muy pobre en cobre) se denomina “relave”, y se debe depositar de forma segura y ambientalmente responsable”*

Figura 33 Partes de un deposito de relave general



Fuente: <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-relaves.php>

Actualmente, existen varios tipos de depósitos de relaves, que varían según la cantidad de agua que acompaña al relave (es decir, la densidad del relave), y según la forma de contener la depositación. De esta forma existen los siguientes tipos:

a) Tranque de Relave:

Depósito en el cual el muro es construido por la fracción más gruesa del relave, compactado, proveniente de un hidrociclón (operación que separa sólidos gruesos de sólidos más finos, mediante impulsión por flujo de agua). La parte fina, denominada Lama, se deposita en la cubeta del depósito.

b) Embalse de relave:

Es aquel depósito donde el muro de contención está construido de material de empréstito (tierra y rocas aledañas) y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. También se llaman embalses de relaves aquellos depósitos ubicados en

alguna depresión del terreno en que no se requiere construcción de un muro de contención.

c) Relave Espesado:

Depósitos en el que la superficie es previamente sometida a un proceso de sedimentación, en equipo denominado Espesador, que favorece la sedimentación de los sólidos (de manera similar a la limpieza de agua de ríos para hacer agua potable), con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida, la que puede ser re-utilizada para reducir el consumo hídrico de fuentes de agua limpia. El depósito de relave espesado se construye de forma tal que impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del sitio autorizado, y contar con un sistema de piscinas de recuperación de agua remanente que pudiese fluir fuera del depósito.

d) Relave Filtrado:

Es similar al espesado. Se trata de un depósito en que el material contiene aún menos agua, gracias al proceso de filtrado, para asegurar así una humedad menor a 20%. Esta filtración es también similar a la utilizada en Agua Potable.

e) Relave en pasta:

Corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundante partículas finas y bajo contenido de agua, de modo que la mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.

f) Otros tipos:

Existen otros tipos de depósitos de relaves, como por ejemplo los depósitos en minas subterráneas, en rajos abandonados, entre otros.

3.6 Visitas a terreno.

Las visitas a terreno en las distintas etapas del proyecto tienen como finalidad en primer lugar el reconocimiento del territorio y sus relaciones, en segundo lugar el registro de procesos geomorfológico antiguos y recientes, conversaciones informales con los habitantes de los distintos sectores de la intercomuna y en tercer lugar revisar el producto de las modelaciones realizadas (áreas de riesgos) en terreno, de esta manera se puede ajustar las ponderaciones de los factores y acercarlos a la realidad territorial.

Las visitas a terreno comenzaron en el mes de febrero de 2018, se recorrió gran parte del territorio intercomunal, centros poblados y sectores de interés. Desde la perspectiva de los riesgos naturales, se realizaron algunos hallazgos como los que se muestran a continuación.

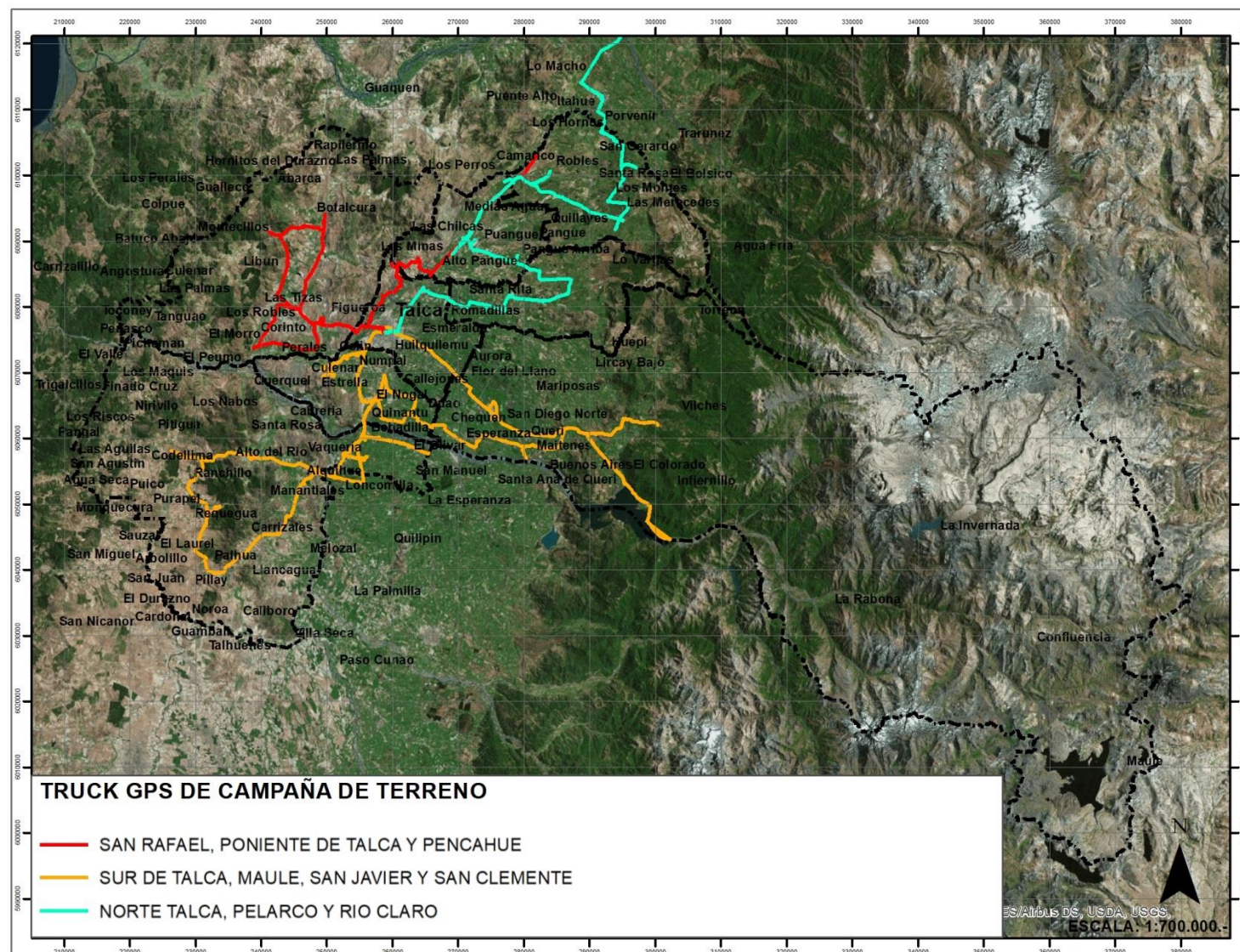
Figura 34 Muestra registro fotográfico terreno febrero 2018



Actualmente se está planificando una visita a terreno para chequear las modelaciones de las áreas de riesgos, este terreno se realizará con apoyo a la carta y GPS.

En la siguiente figura se sintetizan 3 días de recorrido en el área de estudio con apoyo de GPS (truck), señalando las comunas de cada recorrido.

Figura 35 Campaña terreno febrero 2018



Fuente: Elaboración propia

4 METODOLOGÍA

En el marco del desarrollo del estudio del Plan Regulador Intercomunal, ha sido necesario elaborar un estudio que permita determinar los niveles de riesgos por fenómenos naturales que es posible definir a escala intercomunal. La escala de análisis a nivel intercomunal corresponde a 1:50.000.

A continuación, se efectúa el análisis respecto de los componentes físicos del riesgo y su evaluación en función de los objetivos del estudio. 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 corresponden a distintos factores 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 espacializadas y representan sub unidades al interior de cada carta temática. Por ejemplo, uno de los factores que determina el riesgo de inundación es la Carta hidrológica, la cual define: ríos, esteros, canales, etc. En este caso, los ríos presentan mayor potencialidad de ser afectados por inundaciones que los esteros o quebradas, ya que constituyen drenes de mayor jerarquía.

- **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 contrastación de los resultados del modelo y los riesgos catastrados en terreno.

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

Como resultado de proceso anterior, se obtendrá una serie de cartas temáticas con sub unidades 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 (álgebra de mapas, a través de Spatial Analyst) 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, con el objetivo de 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 y desbordes

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, espacializada e integrada a través de un SIG (Arc GIS – Spatial Analyst) para la determinación de áreas de riesgo de inundación, corresponde a las siguientes variables:

- Pendiente
- Jerarquía de Drenaje

- Condición Hidrodinámica de las Cuencas Fluviales
- Drenaje o permeabilidad del Suelo

El siguiente cuadro presenta una síntesis de las variables incorporadas en el análisis, así como los valores asignados por categoría y los respectivos ponderadores.

Tabla 11 Valoración de las variables de riesgo por inundaciones

Jerarquía Drenaje	Nivel De Riesgo	Valor	Ponderador
Río	Muy Alto	4	0,1
Quebrada Principal	Bajo	2	0,1
Quebrada Secundaria	Bajo	2	0,1
Lago o Laguna	Nulo	0	0,1
Embalse	Nulo	0	0,1
Pendiente	Nivel de Riesgo	Valor	Ponderador
0 a 2	Alto	4	0,4
2 a 5	Bajo	3	0,4
5 a 10	Muy Bajo	1	0,4
Más de 10	Nulo	0	0,4
Contexto Hidrodinámico	Nivel de Riesgo	Valor	Ponderador
Cursos de Agua con nacientes sobre los 3000 msnm	Moderado	2	0,2
Cursos de Agua con nacientes entre 2000 y 3000	Alto	3	0,2
Cursos de Agua con nacientes bajo los 2000 msnm	Bajo	1	0,2
Drenaje o permeabilidad Suelo	Nivel de Riesgo	Valor	Ponderador
Excesivo	Nulo	0	0,3
Bueno	Bajo	1	0,3
Imperfecto	Moderado	2	0,3
Moderado	Moderado	2	0,3
Pobre	Alto	3	0,3
Muy Pobre	Muy Alto	4	0,3

Fuente: Luigi Andre Brignardello en base a Araya y Borgel (1976), Andrade y Castro (1981), Hauser (1993) y Jaque (1995)

De esta manera, el modelo de riesgo por inundaciones o crecidas fluviales queda esbozado de la siguiente manera:

$$RI = (J*0.1) + (P*0.4) + (C*0.2)+(D*0.3)$$

Considerando que los valores mínimos y máximos que pueden resultar de la aplicación de esta relación corresponden a 0.2 y 3.8 respectivamente, se establecen los siguientes límites a los rangos resultantes de una distribución exponencial del universo valórico. Paralelamente, se les asigna un nuevo Peso Relativo atendiendo a su posterior superposición, con los resultados de la evaluación de los niveles de riesgo.

Tabla 12 Valores absolutos según rangos.

Rango	Va	Nivel De Riesgo
0.2 a 1.1	1	Riesgo bajo
1.1 a 2.0	2	Medio
2.0 a 3.8	3	Alto

Fuente: Elaboración Propia

Mediante este proceso se genera la Carta de Riesgos por Inundaciones, en función de los factores considerados.

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 a umbrales potenciales de desencadenamiento de procesos, del grado de erosión geológico - 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:

Tabla 13 Clasificación y caracterización de las remociones en masa

Remociones Gravitacionales	Características	Energía Potencial Relativa	Remociones Aluvionales	Características	Energía Cinética
Derrumbes	En rocas desclasadas sobre cornisas y laderas de fuerte pendiente (acantilados) las masas rocosas en paquetes se desprenden y caen al vacío en un movimiento rápido de desplome	Muy Alta	Flujos de barro	Grandes volúmenes de agua se encauzan por un talweg a gran velocidad, en dirección a la pendiente, acarreando gran cantidad de sedimentos finos o moderadamente gruesos	Muy Alta
Deslizamientos	Las rocas en paquetes se desprenden y resbalan en	Alta	Flujo de Detritos	Grandes volúmenes de agua de desplazan en	Alta

Remociones Gravitacionales	Características	Energía Potencial Relativa	Remociones Aluvionales	Características	Energía Cinética
	celeridad sobre un superficie lisa de gran pendiente			sentido de la pendiente a gran velocidad, transportando sedimentos moderadamente gruesos y otros clastos	
Corrimientos	Las masas rocosas de diferente granulometría se desprenden y resbalan sobre la ladera de fuerte pendiente, rotando al mismo tiempo respecto del eje de la horizontal	Moderada	Flujo de escombros	Grandes volúmenes de masas embebidas en agua se desplazan en dirección de la pendiente con celeridad, transportando materiales de gruesa granulometría, incluyendo bloques y materiales orgánicos	Moderada
Desmoronamientos	Las rocas fuertemente meteorizadas en una cornisa se van desprendiendo según su masa y competencia	Baja	Solifluxión	En pendientes moderadas se desplaza el regolito en forma lenta en dirección de la pendiente al embeberse de agua.	Baja

Fuente: Brignardero en base a Hauser 1993, Jaque 1995, Sheko 1998, Stralher y Stralher 1989

La información relevante para la modelación del riesgo de remoción en masa o riesgo morfodinámico que ha sido analizada, espacializada e integrada a través de un SIG (ArcGIS – Spatial Analyst) para la determinación de áreas de riesgo de inundación, corresponde a las siguientes variables:

- Pendientes en grados
- Exposición de laderas
- Cubierta vegetal
- Caracterización geológica

De esta manera, el modelo de remoción en masa queda esbozado de la siguiente ecuación:

$$RM = ((PEND*0,6)+(EXP*0,1)+(VEG*0,2)+(GEO*0,1))$$

Considerando que los valores mínimos y máximos que pueden resultar de la aplicación de esta relación corresponden a 0.2 y 3.8 respectivamente, se establecen los siguientes límites a los rangos resultantes de una distribución lineal del universo valórico. Paralelamente, se les asigna un nuevo Peso Relativo atendiendo a su posterior superposición, con los resultados de la evaluación de los niveles de riesgo por remoción en masa.

Tabla 14 Valores Absolutos Según Rango

RANGO	VA	NIVEL DE RIESGO
0.7 a 1.5	1	Riesgo Bajo
1.5 a 2.3	2	Medio
2.3 a 4.0	3	Alto

Fuente: Elaboración Propia

En consideración a las diferencias de intensidad de los procesos de remociones en masa en la Cordillera de los Andes respecto de la Cordillera de la Costa, se determinó dejar como áreas de riesgo de remoción en masa en la Cordillera de los Andes a los niveles Alto y Medio y Bajo (considerando que la probabilidad de alcance es mayor por la mayor diferencia de altura en laderas). En tanto, en la Cordillera de la Costa y cerros islas se considero como riesgo de remoción en masa los niveles Alto y Medio (considerando que la probabilidad de alcance es menor por la menor diferencia de altura en laderas)

En las siguientes tablas se resumen las variables y sus respectivos niveles de riesgos y ponderación de acuerdo al modelo de remoción en masa.

Pendientes

De acuerdo a bibliografía específica en modelaciones de riesgos naturales, se consideraron las valoraciones de “Fragilidad de Laderas para Chile central”, la cual está asociada a los procesos de remoción en masa expresados en la siguiente tabla:

Tabla 15 Valoración de Pendientes

Pendientes	Erosión	Desmoronamientos	Corrimientos	Deslizamientos	Derrumbes	Valor
0 - 5	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	0
5 - 20	Moderado a Fuerte	Libre	Libre	Libre	Libre	1
20 - 35	Moderado a Leve	Moderado a Fuerte	Moderado	Leve a Moderado	Leve	2
35 - 55	Fuerte	Fuerte	Moderado a Fuerte	Moderado a Fuerte	Moderado a Fuerte	3
> - 55	Fuerte a Moderado	Fuerte a Moderado	Fuerte	Fuerte	Fuerte	4

Fuente: Luigi Andre Brignardello en base a Araya y Borgel (1976), Andrade y Castro (1981), Hauser (1993) y Jaque (1995)

Los resultados de la cata de pendientes para el territorio intercomunal arrojan el siguiente resultado:

Exposición de laderas

La exposición de laderas se relaciona principalmente con los efectos de la explosión del sol respecto la pendiente de la ladera, así es posible diferenciar solana y hombría, que el contexto del área de estudio puede significar mayor o menor cubierta vegetal, influyendo esta última directamente en los procesos erosivos, así también la presencia de humedad que interviene en los procesos de meteorización de formaciones rocosas. En general las laderas de exposición Norte se asocian a laderas de solana, con una mayor radiación solar, disminución de la humedad y formaciones vegetales de tipo matorrales abiertos y cactáceos, estas condiciones sumadas a una pendiente pronunciada hacen a estas laderas más vulnerables a los procesos de remoción en masa.

Tabla 16 Valoración de exposición de laderas

Exposición	Erosión	Desmoronamientos	Corrimientos	Deslizamientos	Derrumbes	Valor
N - NE	Moderada a Fuerte	Moderada a Fuerte	Moderada a fuerte	Moderado a fuerte	Moderado a fuerte	4
NE - E	Leve a Moderada	Moderada	Moderado	Moderado	Moderado a leve	3
E - SE	Leve	Leve a Moderada	Leve a moderado	Moderado	Leve	2
SE - S	Leve	Leve	Leve	Moderado a leve	Leve	1
S - SW	Leve	Leve	Leve a moderado	Leve a Moderado	Leve a moderado	2
SW - W	Leve a Moderada	Leve a Moderada	Moderado	Moderado a fuerte	Moderado	3
W - NW	Moderada a Fuerte	Moderada	Moderado a Fuerte	Fuerte	Moderado a fuerte	4
NW - N	Fuerte	Moderado a Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte	4

Fuente: Luigi Andre Brignardello en base a Araya y Borgel (1976), Andrade y Castro (1981), Hauser (1993) y Jaque (1995)

Vegetación

La vegetación del área Intercomunal, está compuesta principalmente por plantaciones de bosques, aproximadamente 43% de la superficie intercomunal, seguida de las formaciones de praderas con un 9% y terrenos agrícolas con un 8%. Las formaciones vegetales son de gran importancia para evitar la erosión hídrica por precipitaciones (impacto de la gota de agua lluvia sobre superficie de terreno) y en la contención de laderas, disminuyendo la erosión laminar, lineal y formación de cárcavas, con el consiguiente arrastre de material no consolidado y puesta de éste en los cursos de agua principales.

Los tipos de formaciones vegetales infieren en área de cobertura y desarrollo de sus raíces, así las formaciones boscosas presentan mayor superficie de cubrimiento y mayor desarrollo reticular, previniendo así, de mejor manera, los procesos erosivos. Los matorrales, por su parte, presentan una menor superficie de cubrimiento y desarrollo reticular que los bosques, pero de igual forma son de mucha importancia en la contención de laderas.

Respecto de los terrenos agrícolas, su nivel de mitigación de los factores ambientales respecto de los procesos erosivos es de nivel moderado a alto, lo cual está relacionado con la pendiente de los terrenos, los tipos de cultivos (anuales o permanentes) y las labores de labranza. Los renovales, por tratarse de un repoblamiento por siniestro

(incendio) o por corta de vegetación, presentan un nivel de cubrimiento menor que los bosques, por ende, su potencial resguardo a la erosión es menor.

La siguiente tabla muestra una agrupación de los tipos vegetales en la Intercomuna, en relación al cubrimiento de superficie y desarrollo de sus raíces como agentes de control de los factores climáticos en los procesos erosivos.

Tabla 17 Valoración de vegetación

Tipo de Formación	Valor
Afloramiento Rocoso	4
Bosques (Nativo Y Exótico)	1
Matorral	2
Pradera	3
Renoval	3
Agrícola	2
Vegas	2

Fuente: Elaboración Propia

Geología

Las características geológicas del área de estudio se presentan diferenciadoras, desde el punto de vista de su composición geológica y su relación con los procesos erosivos.

Tabla 18 Valoración formaciones geológicas área intercomunal

(Geo) Geología	Nivel De Riesgo	Valor
Secuencias sedimentarias	Muy Alto	4
Secuencias volcanosedimentarias.	Alto	3
Secuencias volcánicas	Alto	3
Rocas metamórficas	Moderado	2
Rocas intrusivas	Moderado	2

Fuente: Elaboración Propia

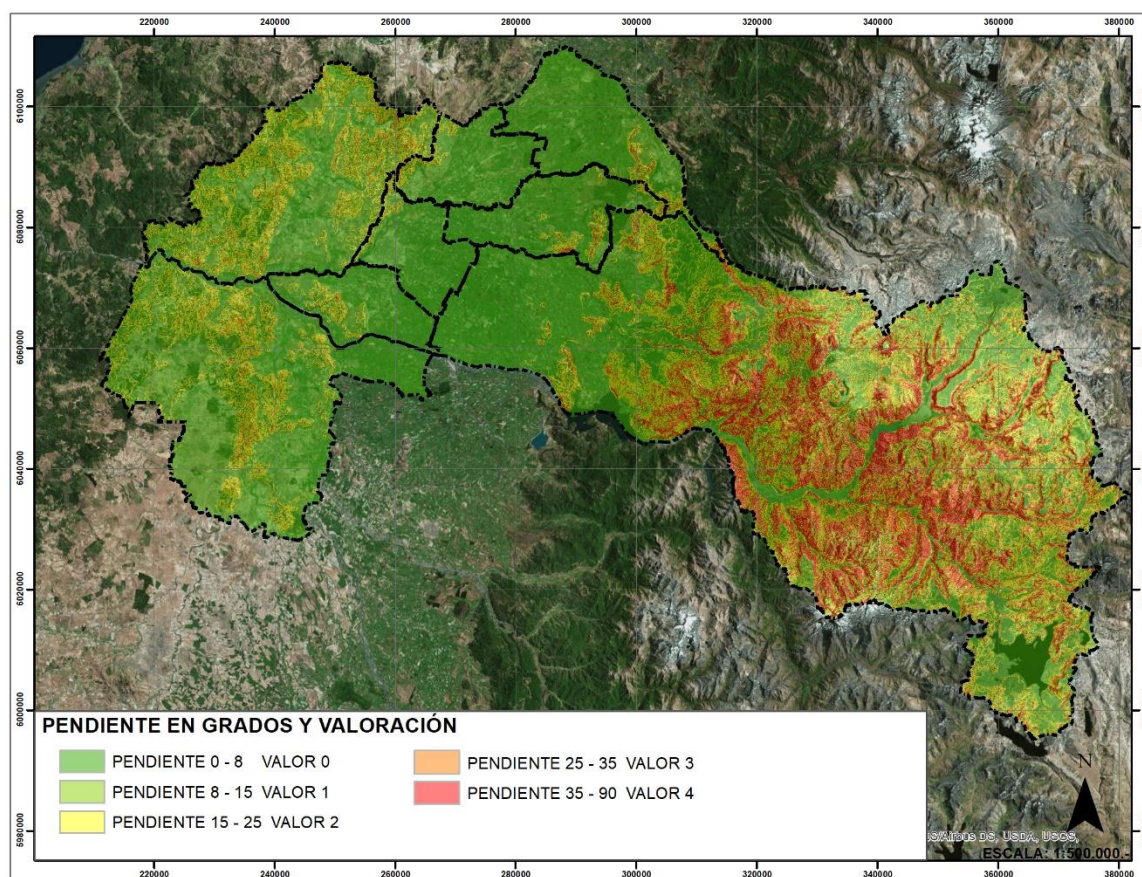
En las siguientes tablas y figuras se resumen las variables y sus respectivos niveles de riesgos y ponderación de acuerdo al modelo de remoción en masa.

Tabla 19 Valoración y ponderación de variable de pendientes

(Pend) Pendientes	Nivel De Riesgo	Valor	Ponderador
0 - 8	Nulo	0	0,6
8-15	Bajo	1	0,6
15 - 25	Moderado	2	0,6
25 - 35	Alto	3	0,6
> - 35	Muy Alto	4	0,6

Fuente: Modificado de “Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfico” Luigi Brignardello, PUC 1997.

Figura 36 Rangos de pendiente en grados



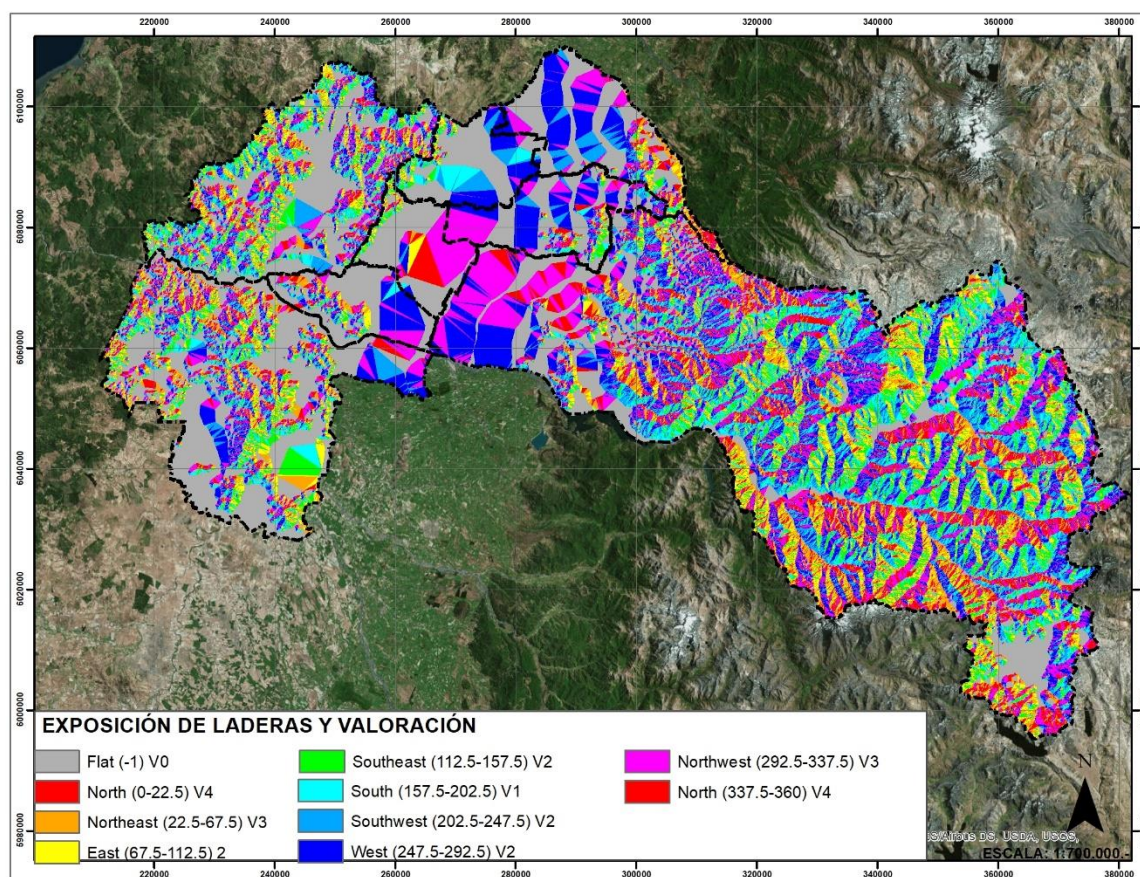
Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Valoración y ponderación de variable de exposición de laderas

(Exp) Exposición	Nivel De Riesgo	Valor	Ponderador
N - Ne	Muy Alto	4	0,1
Ne - E	Alto	3	0,1
E - Se	Moderado	2	0,1
Se - S	Bajo	1	0,1
S - Sw	Moderado	2	0,1
Sw - W	Alto	3	0,1
W - Nw	Muy Alto	4	0,1
Nw - N	Muy Alto	4	0,1

Fuente: Modificado de “Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfico” Luigi Brignardello, PUC 1997.

Figura 37 Exposición de laderas y valoración



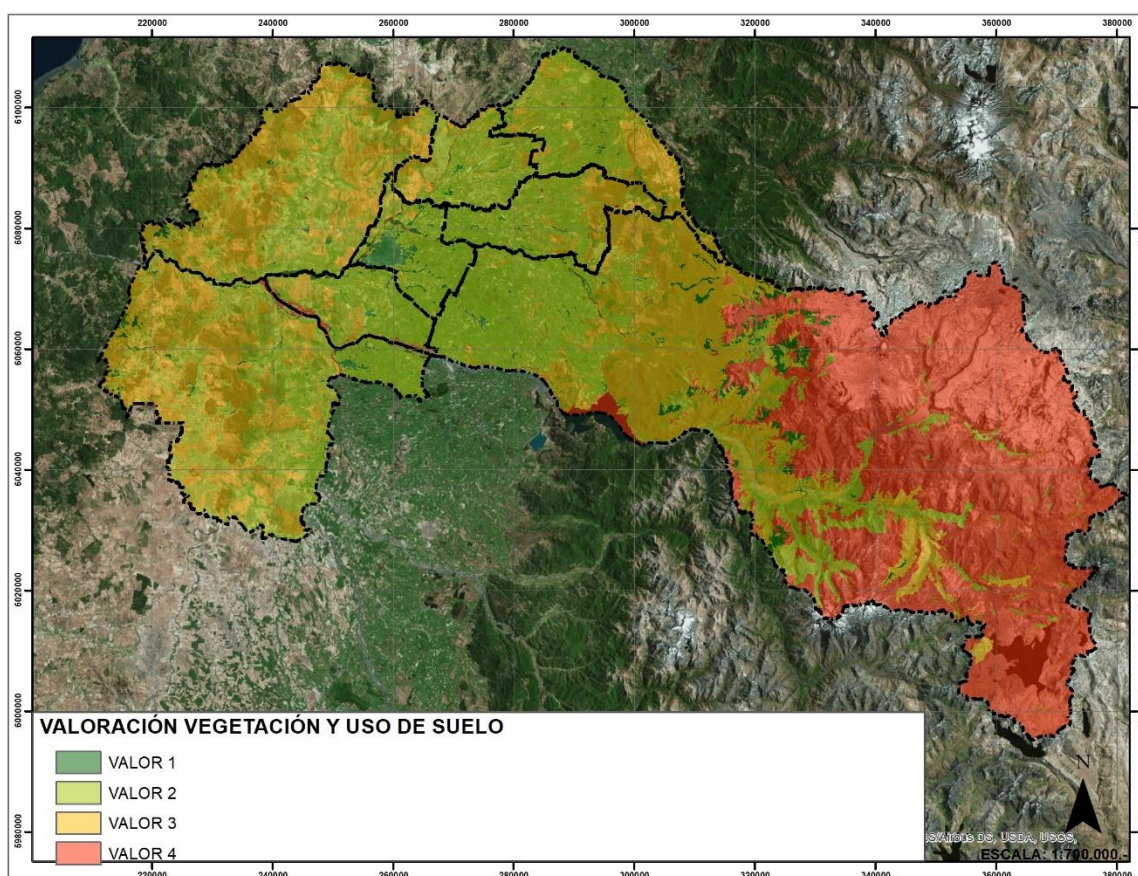
Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Valoración y ponderación de formaciones vegetales

(Veg) Vegetación	Nivel De Riesgo	Valor	Ponderador
Afloramiento Rocoso	Muy Alto	4	0,2
Bosques (Nativo Y Exótico)	Bajo	1	0,2
Matorral	Moderado	2	0,2
Pradera	Alto	3	0,2
Renoval	Alto	3	0,2
Terreno De Cultivo	Alto	2	0,2
Vega	Moderado	2	0,2

Fuente: Modificado de "Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfico" Luigi Brignardello, PUC 1997.

Figura 38 Valoración vegetación y uso de suelos



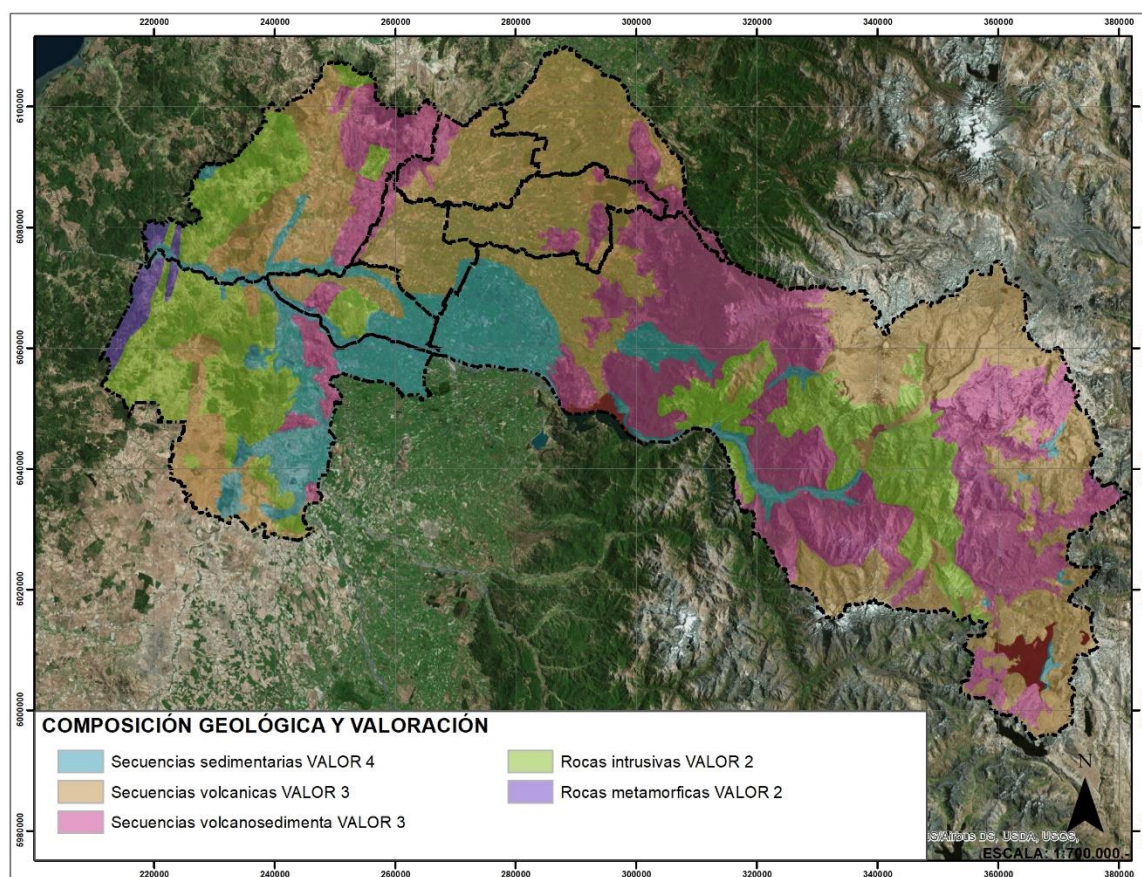
Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Valoración y ponderación formaciones geológicas

(Geo) Geología	Nivel De Riesgo	Valor	Ponderador
Secuencias sedimentarias	Muy Alto	4	0,1
Secuencias volcano sedimentarias.	Alto	3	0,1
Secuencias volcánicas	Alto	3	0,1
Rocas metamórficas	Moderado	2	0,1
Rocas intrusivas	Moderado	2	0,1

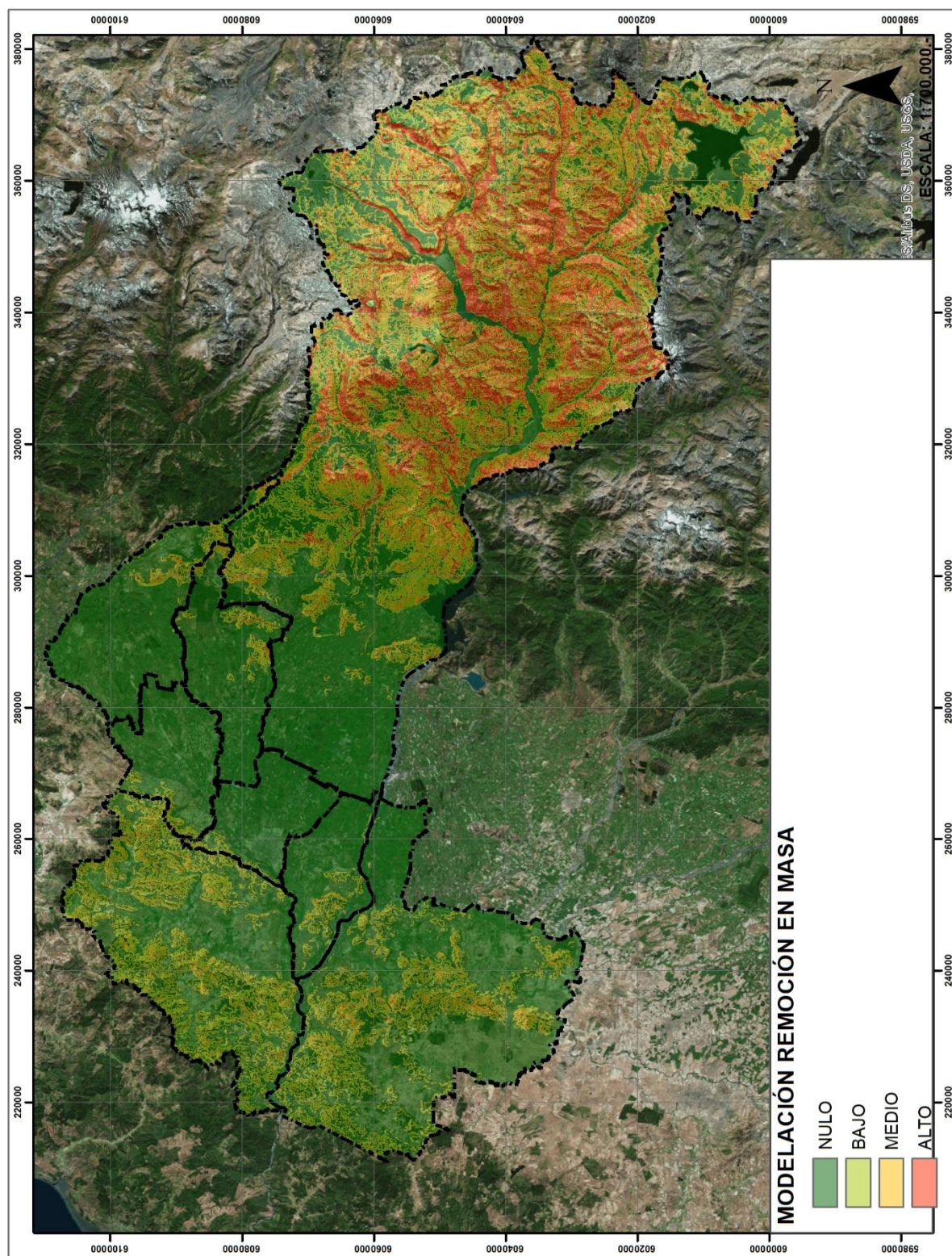
Fuente: Modificado de “Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfico” Luigi Brignardello, PUC 1997.

Figura 39 Composición geológica y valoración



Fuente: Elaboración propia

Figura 40 Resultado modelación remoción en masa



Fuente: Elaboración propia

4.3 Incendios

Metodológicamente los incendios fueron analizados a través de las siguientes variables de peligro

Áreas conflictivas

Estas áreas han sido denominadas así porque presentan gran resistencia al combate, esto se observa en lugares de relieve accidentado en los cuales se generan microclimas que influyen directamente en el régimen de los vientos.

Viento

El clima está compuesto por una serie de variables, como la temperatura del aire, humedad relativa, precipitaciones y viento entre otras. En incendios forestales, según lo citado en la literatura, el viento es la variable meteorológica de mayor importancia en el comportamiento del fuego, gatillando comportamientos extremos e impredecibles en los incendios forestales, en ocasiones con dirección definida y otras errática: a mayor velocidad del viento, mayor es la propagación lineal; acuesta las llamas y las acerca al combustible cercano; un viento intenso, seco y cálido predispone al combustible a una posterior y rápida ignición (Maldonado, 2013).

La información utilizada en este estudio fue extraída del Explorador de Energía Eólica del Ministerio de Energía (<http://ernc.dgf.uchile.cl/explorador/eolico2/>). Esta herramienta entrega resultados de una simulación numérica de las condiciones del viento y densidad del aire, de manera gráfica y cómoda para el usuario. Con esta información es posible realizar una evaluación preliminar del recurso eólico en un determinado lugar.

Pendiente (inclinación del terreno)

La pendiente es el factor topográfico de mayor importancia en el comportamiento del fuego. Esta variable influye en el desarrollo de la columna de convección porque mientras más inclinada es la ladera, será mayor la velocidad de propagación del fuego que asciende por ella. (Julio,1998). La inclinación del terreno según juicio experto fue clasificada en tres rangos de complejidad, su valor de menor a mayor se observa en la siguiente tabla:

Tabla 23 Valoración de pendientes

Rango de Pendientes (%)	Nivel de complejidad
0-10	Bajo
11-50	Medio
51-100	Alto

Fuente: Plan protección contra incendios forestales comuna de San Fernando, 2016-2018, CONAF

Combustible

El combustible es toda la vegetación que puede entrar en combustión, pudiendo ser pastos, especies arbóreas, arbustivas, nativas, exóticas, desechos de explotación agrícola o forestal etc. Su mayor o menor punto de ignición depende del tipo de combustible, de su contenido de humedad, continuidad vertical, horizontal, cantidad, exposición y compactación entre otros. Por ejemplo, los incendios de coníferas se desarrollan más lentamente, sin embargo, el daño que puede ocasionar a nivel del suelo es mayor por las características del combustible muerto que se acumula en el piso del bosque.

De todas las variables de peligro analizadas en este estudio, el combustible es el único que puede ser manejado previo a la ocurrencia de un incendio forestal. Esta ventaja puede ser utilizada en los planes de ordenamiento territorial, con medidas preventivas tales como la construcción de cortafuegos, podas y eliminación de residuos, especialmente en zonas de interfaz urbano rural/forestal y en predios agrícolas y forestales.

En este estudio, la información de esta variable fue obtenida del Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, CONAF 2009. La clasificación de la mayor o menor complejidad de los distintos tipos de combustibles forestales fue realizada por personal técnico de la Corporación. (Plan protección contra incendios forestales comuna de San Fernando, 2016-2018, CONAF)

Tabla 24 Tipo de combustibles y valor asignado

Tipos de combustibles	Grado de complejidad
Matorral	Muy Alto
Matorral arborescente	Muy Alto
Matorral con suculentas	Muy Alto
Matorral con praderas	Muy Alto
Praderas	Muy Alto
Plantaciones	Alto
Bosques mixtos y nativos	Medio
Terrenos uso agrícola	Bajo
Rotación cultivo pradera	Bajo

Fuente: Plan protección contra incendios forestales comuna de San Fernando, 2016-2018, CONAF

Accesibilidad

La accesibilidad a las masas forestales es una variable que condiciona el número y distribución de los agentes potenciales de ignición (Martínez, et al., 2005). Las vías de comunicación suponen un vector de entrada al terreno forestal, facilitando el acceso a excursionistas, senderistas, cazadores, agricultores, etc., de modo que se potencia la posible aparición de causas de ignición, ya sean derivadas de una negligencia o de una intencionalidad.

La forma de estimarlo suele variar entre el cálculo de la longitud y densidad de vías de comunicación, la distancia media a las vías de comunicación, o la generación de áreas de influencia alrededor de las mismas (de Vicente López, 2012). Hernández-Leal, et al. (2006), o Lampin (2003) consideran relevantes a efectos de riesgo de incendios, distancias inferiores a los 20 metros, desde la carretera o vía de comunicación. Sin embargo, suele ser más común el empleo de mayores distancias, a la hora de discriminar el peligro de ignición proveniente de las vías de comunicación; González-Calvo, et al. (2007) y Badia (2000) resaltan distancias entre los 250 y los 1000 metros, como relevantes.

En base a lo mencionado, se decide emplear un indicador de accesibilidad basado en la cercanía a las vías de comunicación como factor desencadenante en la ignición de incendios. Se ha optado por analizar la estadística georreferenciada de incendios forestales del año 2015, se realizó un análisis de proximidad, específicamente de “cercanía” o “Near”, los resultados obtenidos arrojan que 83 puntos de 263 (31%) se localizan a menos de 200 mts de distancia de algún camino de la red vial intercomunal (vialidad mop), 71 puntos (27%) se localizan a una distancia entre 200 mts y 500 mts de la red vial, 55 puntos (21%) a una distancia entre 500 mts y 1 kilómetro y 54 puntos a una distancia mayor a 1 km. En consecuencia, a lo expuesto, se ha utilizado como criterio los siguientes parámetros (aproximadamente un 80% de los incendios).

Tabla 25 Valoración de accesibilidad

Peligro	Distancia al eje red vial	Análisis de cercanía (2015)
Alto	0 a 200	83 casos (31%)
Medio	201 a 500	71 casos (27%)
Bajo	501 a 1000	55 casos (21%)

Fuente: Elaboración propia

4.4 Volcanismo

Metodológicamente, las áreas de riesgo volcánico corresponden a la superposición de las áreas de riesgos identificados en los siguientes estudios:

- Mapa Preliminar de peligros volcánicos Complejo volcánico Laguna del Maule. Región del Maule. Informe inédito, Subdirección Nacional de Geología. Programa de Riesgo Volcánico. Escala 1:100.000.
- Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos Volcán Cerro Azul – Quizapú (Escala 1:100.000, año 2012)
- Peligros Volcánicos de Chile (escala 12.000.000). L. Lara y otros.
- Peligros Volcánicos de la Zona Central de Chile, En Edición, Escalas 1250.000 y 12.000.000. G. Orozco y otros

En este estudio se ha considerado las áreas de riesgo alto, medio y bajo, correspondientes a los flujos de lahares y piroclastos. No se ha considerado las modelaciones de caída de cenizas en las 4 estaciones del año, debido a que la probabilidad de ocurrencia es baja, la afectación a los centros poblados mayores en la intercomuna sería solo en otoño y la acumulación de cenizas correspondería a escasos centímetros.

4.5 Relaves

Según se indica en el Artículo 14, Capítulo Primero del D.S. 248, que reglamenta la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relave, se requiere de un analizado dinámico, basados en las propiedades dinámicas de los suelos, donde debe ser incluido un cálculo de desplazamiento (distancia peligrosa). Estos estudios son solicitados desde el año 2008 en adelante, por lo que en la Intercomuna no contamos con dicho estudio.

Artículo 85.- En el permiso para ejecutar labores mineras dentro de una ciudad o población, en cementerios, en playas de puertos habilitados y en sitios destinados a la captación de las aguas necesarias para un pueblo; a menor distancia de cincuenta metros (50 m), medidos horizontalmente, de edificios, caminos públicos, ferrocarriles, líneas eléctricas de alta tensión, andariveles, conductos, defensas fluviales, cursos de agua y lagos de uso público, y a menor distancia de doscientos metros (200 m), medidos horizontalmente, de obras de embalse, estaciones de radiocomunicaciones, antenas e instalaciones de telecomunicaciones, a que se refiere el artículo 17 N° 1 de la Ley N° 18.248, Código de Minería, los requisitos para su otorgamiento y los contenidos técnicos y formales necesarios para acreditar su cumplimiento, serán los que se señalan en el presente artículo³.

Considerando que los relaves en la intercomuna son anteriores al año 2008, y por ende no cuentas con el cálculo de distancia peligrosa. Se considera el distanciamiento 200 mts medidos horizontalmente desde el perímetro de cada relave

³ D.S. N°95 de 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

5 ÁREAS DE RIESGO

Dentro de las amenazas descritas en el capítulo anterior, algunas de ellas están presentes en la Intercomuna. A partir de la superposición de información y análisis de los antecedentes, se identifican áreas de riesgo (o zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de alguna amenaza), lo que permitirá actualizar y/o modificar el Plan Regulador Intercomunal PRIT, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica.

Es importante señalar que, dados los alcances del presente estudio, así como la escala de trabajo, existirán peligros reconocidos que serán zonificables y otros no. Como peligros no zonificables se considerarán aquellos que requerirían estudios de mayor detalle para poder determinar su distribución (licuefacción), o que quedan fuera de los alcances definidos para el presente trabajo. Por el contrario, como peligros zonificables se incluirán aquellas amenazas en que se puede categorizar la susceptibilidad y por lo tanto determinar una categorización de la misma. A medida que se realice una descripción de las amenazas identificadas para la comuna, se indicará si estos son o no zonificables, indicando los criterios utilizados y áreas susceptibles según corresponda.

Tabla 26 Homologación entre “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 de la OGUC y la nomenclatura utilizada en este estudio.

“Áreas de riesgo” según artículo 2.1.17 de la OGUC	Tipo de peligro	Susceptibilidad
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.	Corresponde a: - Áreas de riesgo por desbordes de cauces y anegamiento.	- Alta
Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas,	Corresponde a: - Remociones en masa	- Alta - Media - Baja
Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas,	Corresponde a - Áreas de riesgo Volcánico	- Alta
Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.	Corresponde a - Áreas de riesgo por incendios - Áreas de riesgo por tranques de relave	- Alta - Media

Fuente: Elaboración propia en base a Art 2.1.17 OGUC

5.1 Remoción en masa

A partir de los términos de referencia del estudio, objetivos planteados y escala de la información base disponible, se entregan áreas con alta susceptibilidad a la generación de remociones en masa en el área Intercomunal escala 1:50.000. Estas áreas son el resultado del análisis y superposición de la información base del área de estudio, complementada con visitas a terreno y la generación de una línea base del medio físico.

Dentro de la información analizada, se incluyeron factores geomorfológicos (topografía, pendientes, alturas, forma de las laderas, etc.) así como informes geológicos y caracterización de las unidades presentes en términos de comportamiento. En paralelo, se realizó un levantamiento de los movimientos en masa presentes en las áreas urbanas de la intercomuna y visitas a terreno orientadas a validar la información geológica y geomorfológica del área, así como identificar los procesos ocurridos con anterioridad.

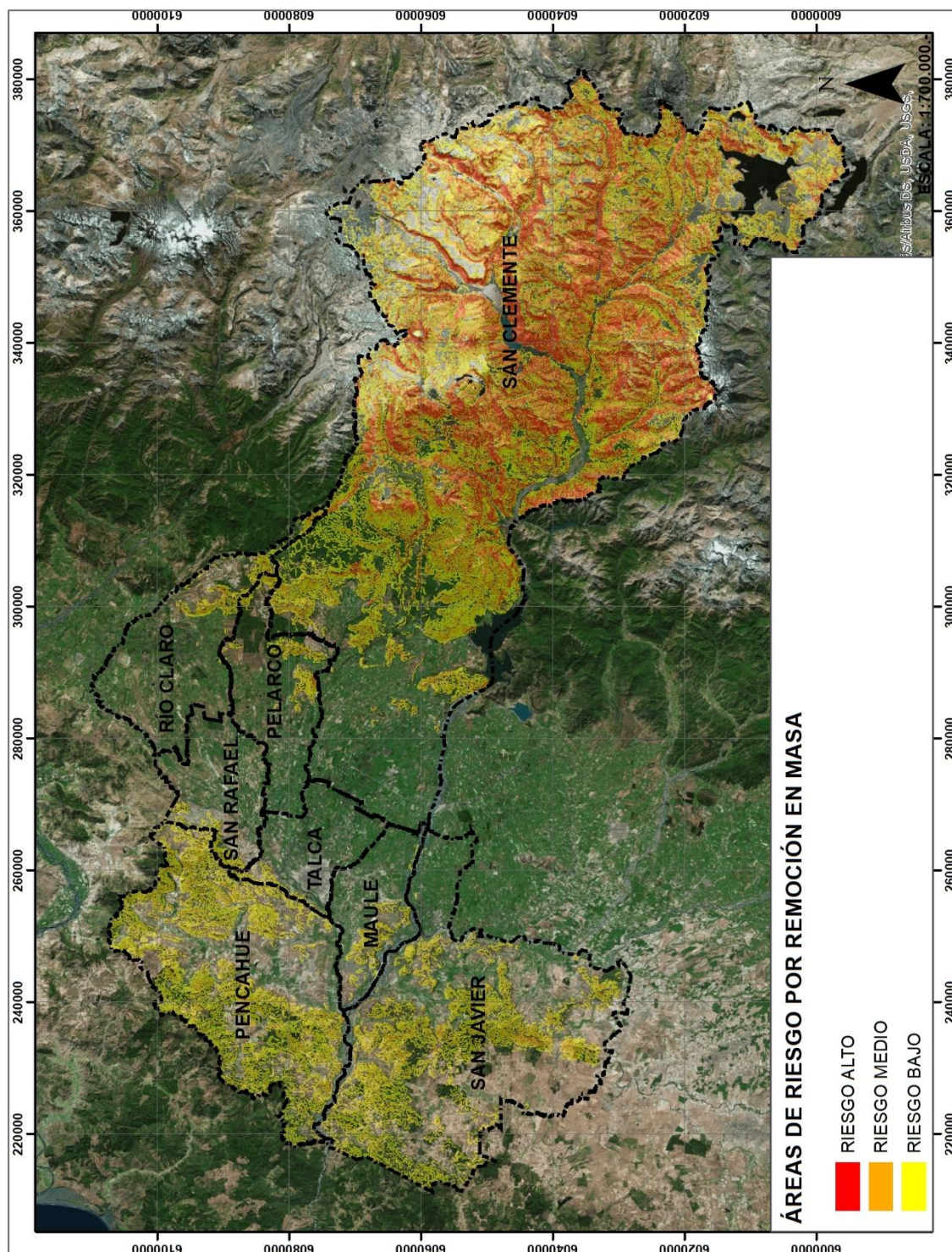
A partir del análisis, se puede determinar que los factores condicionantes claves en la generación de remociones (considerando caídas de rocas, deslizamientos superficiales de suelo y flujos), son las pendientes de las laderas. Para el análisis, se consideran rangos basados en estudios anteriores⁴ y validaciones realizadas en terreno (expuestos anteriormente), definiendo como zonas con alta susceptibilidad a la generación de remociones en masa, terrenos con pendientes mayores a 20°. La definición de las áreas se realizó en forma de digitalización manual en SIG, proceso en el cual se fue evaluando en forma paralela otros condicionantes, como la presencia o ausencia de vegetación y su grado de influencia en la generación de remociones; orientación de la ladera con respecto al sol; altura y presencia de afloramientos rocosos o materiales disponibles a ser movilizados; presencia de obras antrópicas o laderas intervenidas (cortes artificiales); humedad y presencia de agua.

La definición de las áreas se realiza siguiendo formas suaves, armónicas y acorde con el relieve, lo que en ocasiones particulares lleva a incorporar terrenos con pendientes menores a 20°. La definición de áreas de riesgos incluye además la posibilidad de que terrenos (planos) se vean afectados por remociones en masa provenientes de sectores más altos (susceptibilidad de recibir un movimiento de masa).

En el área de estudio predomina, en términos geológicos, la presencia de rocas intrusivas con distintos grados de meteorización y rellenos sedimentarios. Como se explicó con anterioridad, definir un límite exacto entre el suelo residual y roca madre es complejo, dada la variabilidad con que se presenta la meteorización en profundidad. Por este motivo, se evalúa la susceptibilidad en toda el área de estudio, considerando como materiales disponibles tanto rocas como suelos.

⁴ Brignardello Luigi, PUC 1997. Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfico” 20 pág
Hauser, A. 2000. Remociones en masa en Chile. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN, Boletín N° 59

Figura 41 Áreas de riesgo por remoción en masa



Fuente: Elaboración propia

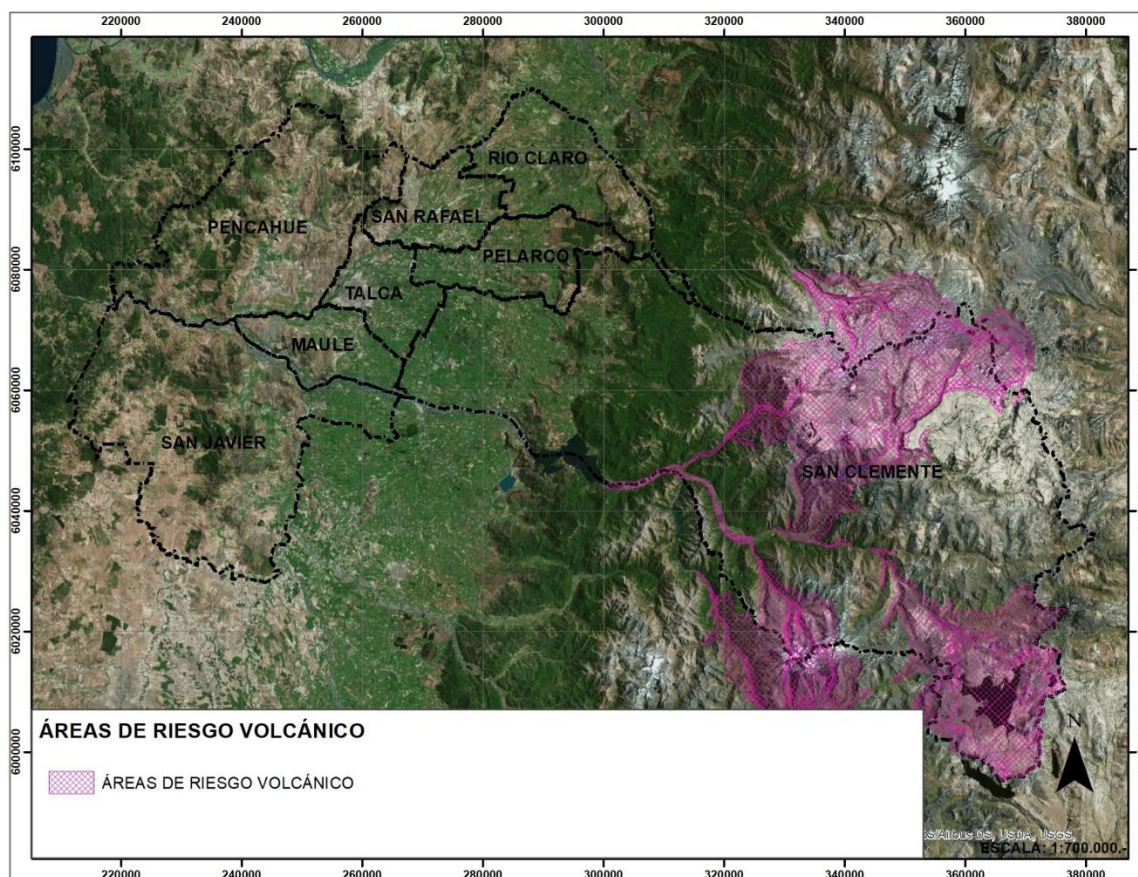
5.2 Riesgo volcánico

Las áreas de riesgo volcánico identificadas en la siguiente figura corresponden a la superposición de las áreas de riesgos identificados en los siguientes estudios:

- Mapa Preliminar de peligros volcánicos Complejo volcánico Laguna del Maule. Región del Maule. Informe inédito, Subdirección Nacional de Geología. Programa de Riesgo Volcánico. Escala 1:100.000.
- Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos Volcán Cerro Azul – Quizapú (Escala 1: 100.000, año 2012)
- Peligros Volcánicos de Chile (escala 12.000.000). L. Lara y otros.
- Peligros Volcánicos de la Zona Central de Chile, En Edición, Escalas 1250.000 y 12.000.000. G. Orozco y otros

En este estudio se ha considerado las áreas de riesgo alto, medio y bajo, correspondientes a los flujos de lahares y piroclastos. No se ha considerado las modelaciones de caída de cenizas en las 4 estaciones del año, debido a que la probabilidad de ocurrencia es baja, la afectación a los centros poblados mayores en la intercomuna sería solo en otoño y la acumulación de cenizas correspondería a escasos centímetros.

Figura 42 Áreas de riesgo volcánico



Fuente: SERNAGEOMIN

5.3 Inundaciones por desborde de cauces y anegamientos

Inundación por Desborde de Cauces

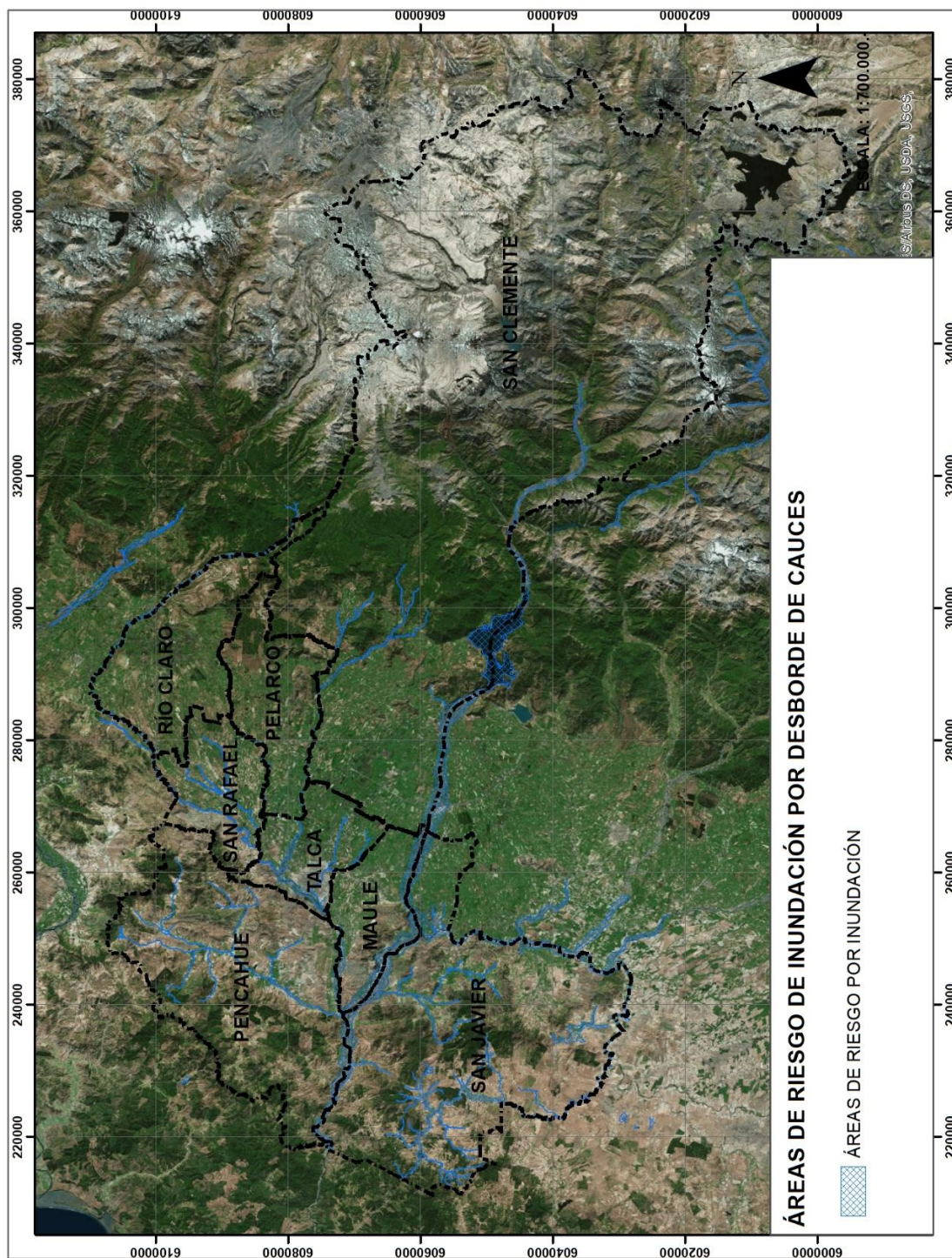
Como su nombre lo indica, estos tipos de fenómenos ocurren cuando ríos o esteros desbordan su cauce natural, anegando las terrazas fluviales laterales o adyacentes, debido a la ocurren caudales extremos. Estos fenómenos se producen generalmente debido a eventos de precipitaciones líquidas intensas y/o 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. Corresponde a 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.

Figura 43 Áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces



Fuente: Elaboración propia

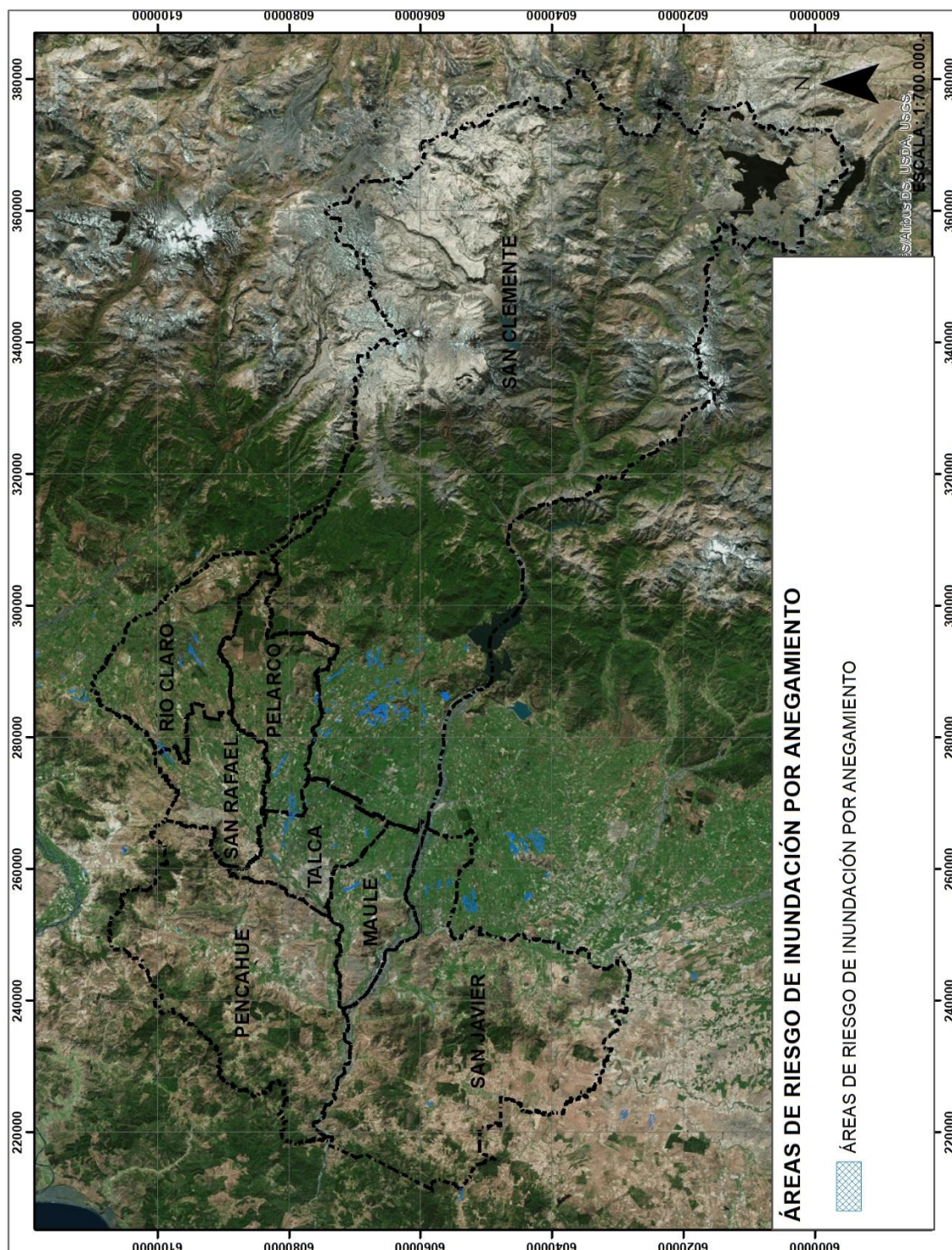
Inundación por Acumulación de Aguas Lluvias en Zonas Llanas, o Anegamiento

Este tipo de inundaciones se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas. Este tipo de inundaciones se asocia a cauces abandonados (antiguos brazos de río), la zona de desembocadura de algunas quebradas, las que son “embalsadas” por caminos y obstrucciones antrópicas.

Estas barreras no permiten que el río escurra fácilmente hacia el mar, sino solo de forma subterránea, provocando el ascenso de los niveles freáticos y la formación de zonas pantanosas y humedales. Sólo en eventos de pluviosidades extremas, el caudal transportado por las quebradas tiene la suficiente fuerza para romper esta barrera, atravesándola y provocando inundaciones por desborde de cauces.

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

Figura 44 Áreas de riesgo de inundación por anegamiento

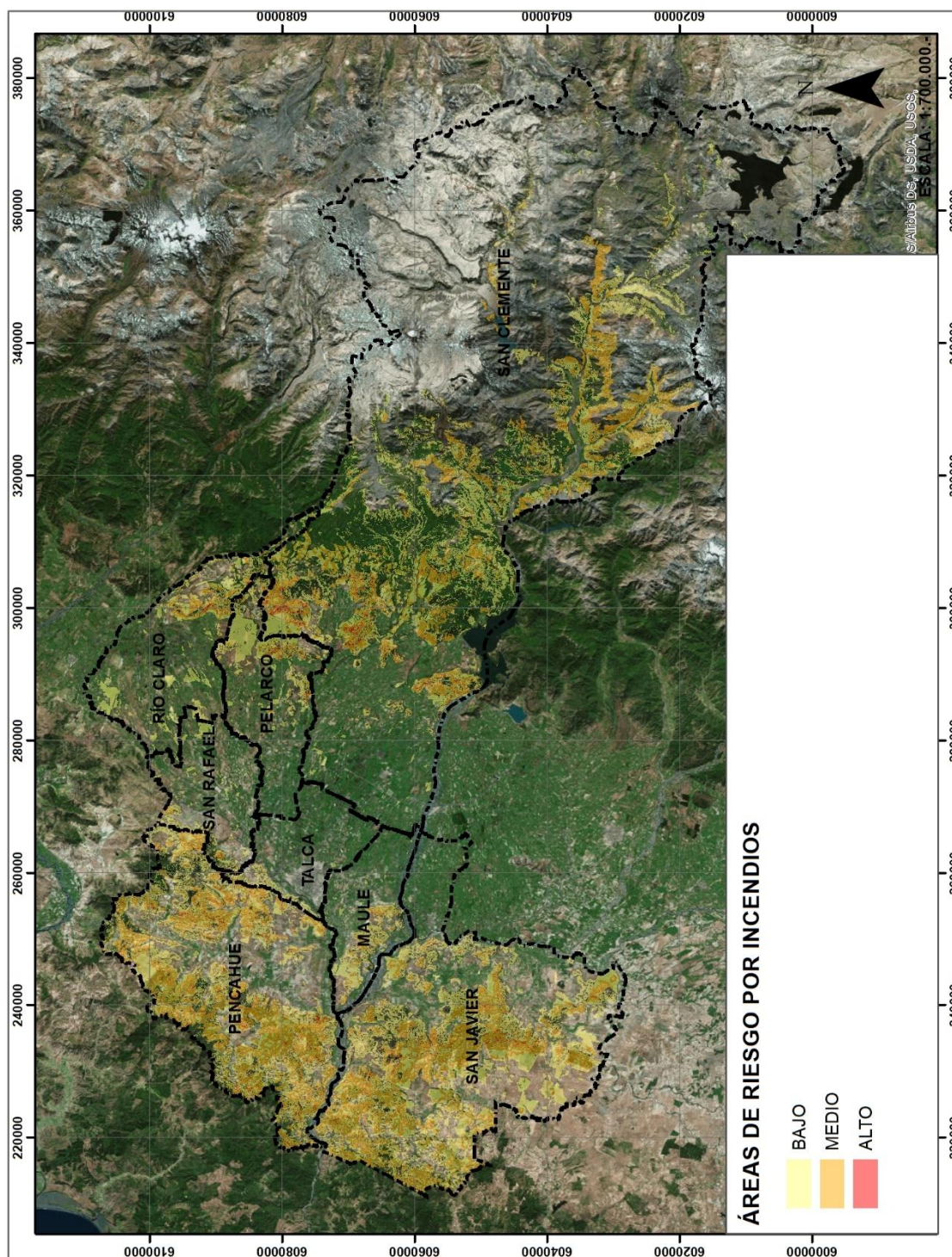


Fuente: Elaboración propia

5.4 Áreas de riesgos por incendios

La delimitación de las áreas de riesgo de incendio considero como variables de base las condiciones meteorológicas estivales favorables para la ignición y propagación de incendios como la baja humedad y vientos de alta intensidad. Las variables de pendiente, combustible (vegetación) y accesibilidad. La variable de accesibilidad se relacionó con la estadística georreferenciada del catastro de incendios del año 2015 respecto de causalidad y distancia a la red de caminos de la intercomuna. Los resultados de la modelación arrojan que, el sector poniente concentra la mayor extensión de áreas de riesgo de incendios debido principalmente a la concentración de plantaciones forestales y la existencia de bosque nativo, sumado a una red de caminos locales y senderos forestales lo que genera condiciones propicias para la generación de incendios ya sea por intencionalidad, el tránsito de persona o vehículos, o por las mismas faenas agrícolas y forestales del sector. Otro sector de importancia corresponde a las cajas de los ríos principales de la intercomuna, que contienen bosques, plantaciones y acceso de personas y vehículos con fines recreaciones y/o laborales generando condiciones para la ignición.

Figura 45 Áreas de riesgo por incendios



Fuente: Elaboración propia

5.5 Áreas de riesgos por tranques de relaves

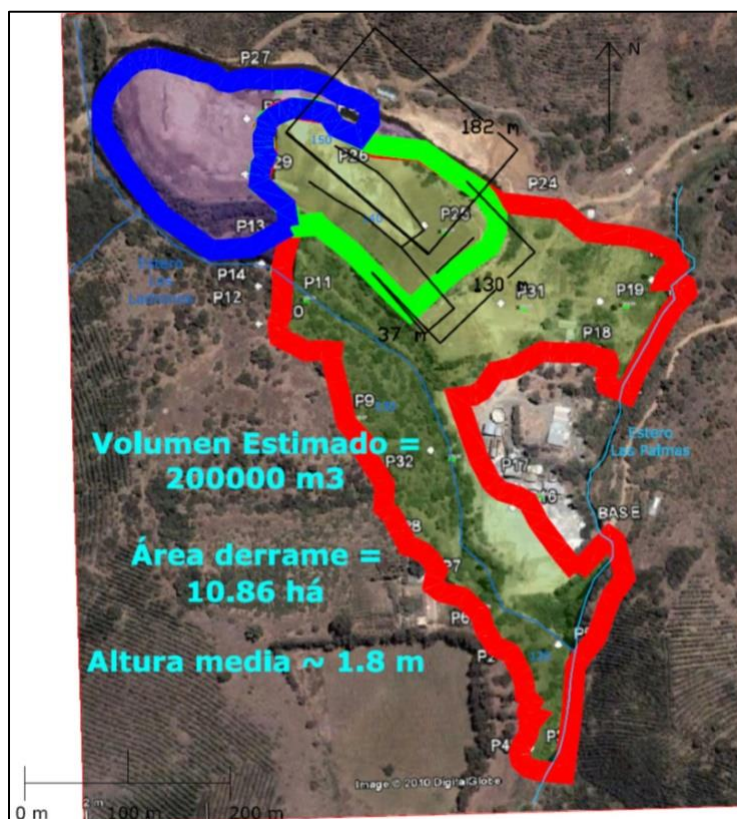
En la intercomuna actualmente existen 2 depósitos de relaves registrados en SERNAGEOMIN, ambos localizados en la comuna de Pencahue.

Tranque de relave Las Palmas

Perteneciente a la empresa SCM Tambillos, se encuentra cerrado y presenta un colapso gatillado por el terremoto del 27F del año 2010.

Se estimó que 2,44 hectáreas de tranque de relave colapsaron en 10,86 hectáreas de terreno aledaño, bloqueando dos cauces, correspondientes a la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas. El área de la zona noroeste del tranque no colapsó, pero presenta serios riesgos de derrumbe. El volumen total colapsado representa aproximadamente 200.000 m³: las obstrucciones de los cauces se estiman en 23.000 m³ para las dos zonas del Estero Las Palmas y en 42.000 m³ para la Quebrada Los Ladrones. El material colapsado está compuesto principalmente por relave y, en parte, por la cobertura de suelo, dispuesta originalmente sobre el relave para el proceso de cierre. Localmente, el material derrumbado contiene objetos arrastrados durante el evento, incluyendo mangueras, máquinas, y restos de estructuras.

Figura 46 Área de colapso tranque de relaves Las Palmas



Fuente: Evaluación preliminar de contingencia en tranque de relaves Las Palmas; DICTUC 2010

La caracterización química del relave demostró que contiene concentraciones elevadas de plomo, cinc, hierro, manganeso. Como criterio de contrastación se empleó las concentraciones que gatillan acciones de remediación para suelos de uso industrial en EE.UU., Canadá, Gran Bretaña, Suecia, Alemania, y Bélgica, y en particular el percentil 50 de estos valores (DICTUC, 2010).

Actualmente este tranque de relave se encuentra cerrado y cubierto con una geomembrana de HPDE que encapsula el relave. Sin embargo, de acuerdo a las fiscalizaciones realizadas por el ministerio del medio ambiente en enero y abril de 2018, en la primera inspección se constató 5 roturas de la geomembrana y en la segunda inspección se dio cuenta de la extracción de una superficie de 30 x 3 mts

En consideración al colapso ocurrido en el año 2010, a la concentración elevada de plomo, cinc, hierro y manganeso, y a los resultados obtenidos por la fiscalización del ministerio de medio ambiente durante el año 2018, se considera del área del tranque de relaves Las Palmas y su perímetro como potencialmente peligroso para la salud.

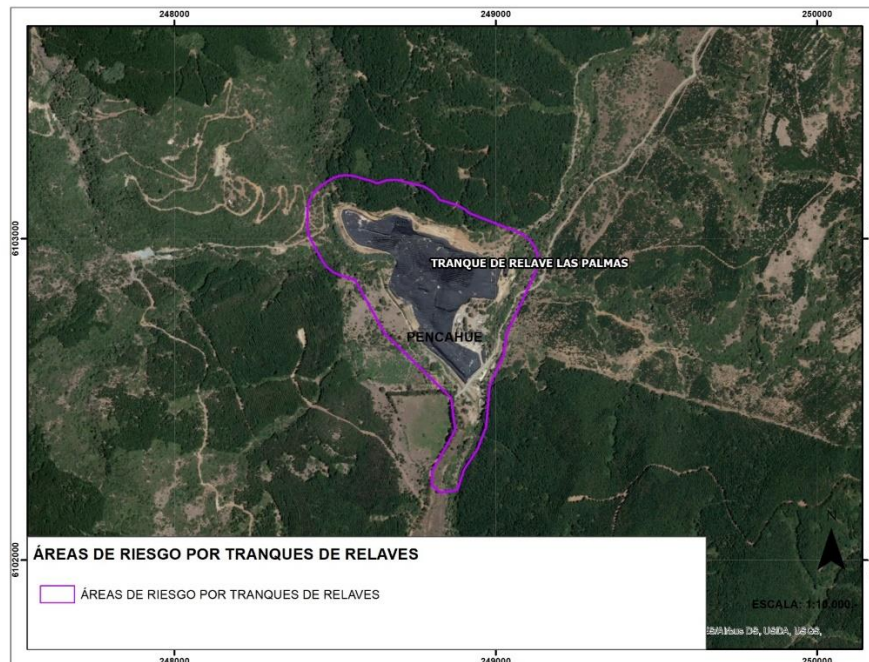
Según se indica en el Artículo 14, Capítulo Primero del D.S. 248, que reglamenta la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relave, se requiere de un analizado dinámico, basados en las propiedades dinámicas de los suelos, donde debe ser incluido un cálculo de desplazamiento (distancia peligrosa). Estos estudios son solicitados desde el año 2008 en adelante, por lo que en la Intercomuna no contamos con dicho estudio.

Artículo 85.- En el permiso para ejecutar labores mineras dentro de una ciudad o población, en cementerios, en playas de puertos habilitados y en sitios destinados a la captación de las aguas necesarias para un pueblo; a menor distancia de cincuenta metros (50 m), medidos horizontalmente, de edificios, caminos públicos, ferrocarriles, líneas eléctricas de alta tensión, andariveles, conductos, defensas fluviales, cursos de agua y lagos de uso público, y a menor distancia de doscientos metros (200 m), medidos horizontalmente, de obras de embalse, estaciones de radiocomunicaciones, antenas e instalaciones de telecomunicaciones, a que se refiere el artículo 17 N° 1 de la Ley N° 18.248, Código de Minería, los requisitos para su otorgamiento y los contenidos técnicos y formales necesarios para acreditar su cumplimiento, serán los que se señalan en el presente artículo⁵.

Considerando que los relaves en la intercomuna son anteriores al año 2008, y por ende no cuentan con el cálculo de distancia peligrosa. Se considera el distanciamiento 200 mts medidos horizontalmente desde el perímetro de cada relave, quedando graficados de la siguiente manera.

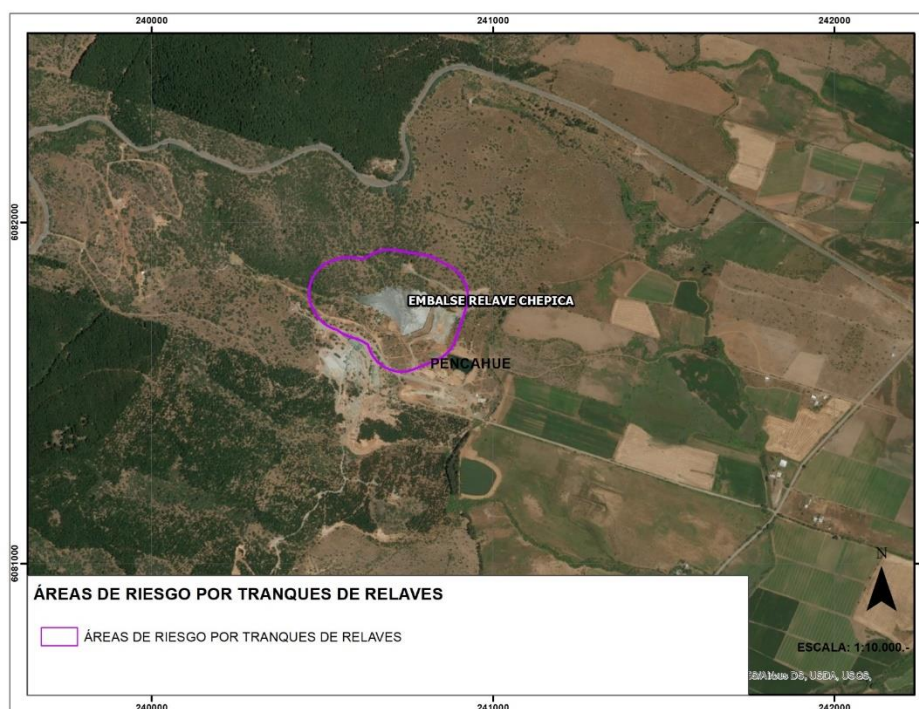
⁵ D.S. N°95 de 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

Figura 47 Áreas de riesgo por tranque de relave Las Palmas



Fuente: Elaboración propia

Figura 48 Áreas de riesgo por tranque de relave Chépica



Fuente: Elaboración propia

6 CONCLUSIONES

Potenciales y restricciones

Las potencialidades del territorio intercomunal, desde la perspectiva del medio físico y natural tiene relación con:

El clima en el área de estudio se caracteriza por la existencia de un verano predominantemente seco, un invierno húmedo, generalmente cubierto de nubes, lluvioso y frío y una primavera y otoño de carácter transicional. Ésta marcada estacionalidad permite una agricultura intensiva y extensiva de alimentos y frutos mediterráneos, tanto de consumo nacional como de exportación. El invierno lluvioso garantiza parte de la disponibilidad de agua para el consumo residencial y agropecuario.

La geomorfología del área intercomunal tiene como potencial para los asentamientos humanos una depresión intermedia de gran envergadura, que ha sido conformada por rellenos de origen fluvio aluvional y volcánico sedimentario, lo cual ha generado, en terrenos de baja pendiente, la formación de suelos de excelente calidad agronómica (Suelo clase I, II, III y IV), que sustentan las actividades económica vinculadas a la agricultura.

Las restricciones del territorio intercomunal tienen relación principalmente con los riesgos naturales.

Geomorfológicamente, el sector de la Cordillera de Los Andes es el más complejo desde la perspectiva de los riesgos naturales y, por ende, para su habitabilidad. Las condiciones climáticas bajo la cota 1000 son generalmente de precipitaciones en estado líquido y sus temperaturas máximas y mínimas varían de acuerdo con la gradiente térmica (por efecto de altura). Se estima que la temperatura disminuye 1°C cada 154 metros de altura o 6.5° cada 1000 metros de altura.

De acuerdo con la información recopilada respecto de las modelaciones de erupciones de los complejos volcánicos de la Región del Maule, se obtiene que los alcances de las áreas de riesgos en el área intercomunal presenten mayor intensidad hasta la cota 1000. Si bien existen sectores donde el riesgo de lahares llega a la cota 500 msnm, estos se circunscriben a los lechos o cauces de los principales ríos (área de Colbún)

Los procesos de Remociones en masa tienen en la pendiente su principal variable, sumado al efecto orográfico de las precipitaciones (aumentan en relación a la altura) generan condiciones propicias para la ocurrencia de procesos de remociones en masa de alta energía cinética (pudiendo mover grandes volúmenes de material no consolidado). En este sentido la vegetación cumple un rol protector de las laderas, cambiando su composición y abundancia en relación a la altitud (disminuye sobre la cota 1000).

Si bien las inundaciones presentan mayor ocurrencia en la depresión central, en el sector precordillerano y cordillerano dependerán de la altura de la isoterma cero. En general sobre la cota mil se produce un efecto combinado de inundaciones y remociones en

masa, llamados flujos. Estos presentan líquidos y sólidos desplazándose a favor de la pendiente, debido al angostamiento de los valles de los cauces sobre la cota 1000 (cajón). Los lechos fluviales presentan un alto arrastre de material en sus cauces, modificando las terrazas inundables en cortos periodos de tiempo.

En la depresión central, la principal restricción está dada por las inundaciones por desborde de cauces, como por anegamiento. Existe una amplia red de cursos de agua de distintas escalas, los cuales, en general, mantienen direcciones oriente poniente y posteriormente norte a sur, por el control estructural que realiza el alzamiento de la Cordillera de la Costa. Dado las intensas precipitaciones en inviernos, estos cauces aumentan sus caudales e inundan las terrazas inmediatamente adyacentes. Por otro lado, dada la baja pendiente existente en la depresión central y el invierno lluvioso, en sectores deprimidos y de baja permeabilidad existe acumulación de aguas lluvias por un periodo de tiempo mayor a lo normal.

Geológicamente el sector poniente de la intercomuna cuenta con características mineralógicas que permiten la extracción de minerales de cobre, oro y plata en pequeña y media a escala, principalmente los sectores de las Palmas y Chépica en la comuna de Péncahue, si estas instalaciones no cumplen con la legislación vigente se transforman en un riesgo para su entorno.

Recomendaciones

Respecto de las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y en especial las asociadas a río y esteros se sugiere que desde la perspectiva de la planificación dichas áreas de riesgos sean incorporadas como áreas verdes intercomunales o parques de manera de no incentivar la ocupación residencial en dichos sectores. Este uso es compatible con el comportamiento de los cauces y sus terrazas inundables, y asegura el normal funcionamiento ecosistémico de los cauces (flora y fauna).

Respecto de las remociones en masa, las localizadas en precordillera y cordillera andina son las que revisten mayor peligro para los asentamientos humanos debido a la torrencialidad de las precipitaciones, alta pendiente, existencia y formación de bloques de rocas de gran tamaño, entre otros factores, hacen que la localización de asentamientos humanos y la ejecución de obras efectivas de mitigación de riesgos sea compleja y de alto costo en estos sectores. En base a lo anterior se sugiere que en los sectores precordilleranos y Cordillera de los Andes desde la perspectiva de la planificación mantengan su condición de ruralidad.

En el sector poniente de la intercomuna, en sectores de cordillera de la costa, las remociones en masa serían de menor escala, los deslizamientos de rocas son más escasos y puntuales y las pendientes más moderadas, por ende, el peligro para los asentamientos humanos sería menor, las obras de mitigación podrían ser más efectivas. En este sector se podrían proponer áreas residenciales o de extensión urbana teniendo en consideración la cercanía a riesgos para su localización.

Respecto de los incendios forestales, se concentran principalmente en sectores de la cordillera de la costa y la pre cordillera. Las causas generadoras son principalmente de origen antrópicas ya sea de actividades recreativas o actividades productivas, encuentran en los sectores antes señalados condiciones de disponibilidad de combustibles (vegetación anual y arbustiva), condiciones atmosféricas estaciones favorables (altas temperaturas, baja humedad y vientos) y condiciones topográficas favorables (pendientes), estas condiciones hacen que en general los sectores de la cordillera estén expuestos a incendios principalmente en verano (diciembre y enero) casi como una condición natural, por lo anterior se sugiere que los asentamientos humanos existentes y proyectados en estos sectores cuenten con alternativas de accesibilidad (más de un acceso), se localicen en sectores planos (hasta 15° de pendiente) elementos que podrían ser considerados en la planificación de estos territorios.

Las áreas de riesgo volcánico se localizan principalmente en el sector de la Cordillera de los Andes, hasta la cota 1000 msnm aprox. En este sector se potencia las áreas de riesgo por la suma de riesgos de remoción en masa. La acumulación de detritos producto de las erupciones genera bancos de escombros posibles de ser removidos por flujos de lahares o remociones en masa posteriores. En consecuencia, con lo anterior en esta área se sugiere evitar su ocupación con zonas urbanas

Las áreas de riesgo por relaves mineros, de acuerdo a su localización en las subcuencas, proyectarían su colapso (independientemente de su causa generadora) aguas abajo del tranque, el alcance dependerá de la altura del muro, del volumen de relave depositado (al momento del colapso) y la cantidad de agua de la mezcla. En el caso del colapso del tranque de relaves de las Palmas, la distancia del flujo al pie del relave fue de 500 mts. Alrededor de estas instalaciones minera se sugiere que se mantengan en su estado rural, no promoviendo los asentamientos humanos aguas debajo de los tranques de relave.

7 ANEXOS

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

Tabla 27 Catastro de desastres desde 1980, SERNAGEOMIN

Fecha	Fuente	Observación
27 de febrero de 2010	SERNAGEOMIN, Registro de principales desastres en Chile desde 1980	Terremoto (del Maule) 8.8 causa el derrumbe del tranque de relaves Las Palmas, comuna de Penciahue, lo que provoca la muerte de una familia de 4 personas y la destrucción de la vivienda que habitaban
12 de julio de 2015	SERNAGEOMIN, Registro de principales desastres en Chile desde 1980	Remoción en masa (caída de rocas) en la quebrada Los Queñes, región del Maule. (fuera de área de estudio)

Fuente: Registro de principales desastres en Chile desde 1980, SERNAGEOMIN

Tabla 28 Registro de alerta roja ONEMI

Fecha	Fuente	Observación
19 de marzo de 2016	ONEMI	De acuerdo con la información proporcionada por CONAF, activos se encuentran los incendios forestales “La Montaña Matín”, en la comuna de Vichuquén, el cual consume una superficie de 10 hectáreas de vegetación y “Las Paredes”, en la comuna de San Rafael , el cual consume una superficie de 5,0 hectáreas de vegetación.
28 de mayo de 2012	ONEMI	Alrededor de 25 personas en ocho vehículos, se encuentran aisladas en el sector del Valle de La Plata en la ruta Paso Internacional Pehuenche – Laguna del Maule, producto de un deslizamiento de tierra en algunos sectores de la vía antes nombrada. Las personas estarían refugiadas en un campamento de una empresa que realiza trabajos en el sector. Personal del GOPE de Talca intentó hacer contacto con los afectados, pero no fue posible debido al deslizamiento y al corte del puente el Toro.

Fecha	Fuente	Observación
07 de diciembre de 2015	ONEMI	Se levanta Alerta Roja para la comuna de San Clemente por Incendio Forestal Extinguido se encuentra el incendio forestal “Quebrada La Tordilla” (ex “Clarillo”), que consumió una superficie de 13 hectáreas de matorral, pastizal y arbolado; ubicado en el sector precordillerano de la comuna de San Clemente. Producto de este evento no se registró daño a viviendas
15 de enero de 2016	ONEMI	Se levanta Alerta Temprana Preventiva para las comunas de San Clemente, Colbún, Yerbass Buenas, Maule, San Javier, Penciahue y Constitución por vertimiento del Embalse Colbún De acuerdo con la información proporcionada por la Empresa Eléctrica Colbún S.A., se señala que en la actualidad el embalse Colbún no tiene previsto ni planificado nuevos vertimientos para los próximos meses, dada la situación hidrológica actual. Cabe señalar, que no se reportaron situaciones de emergencias derivadas de esta condición.
05 de marzo de 2013	ONEMI	Se declara Alerta Amarilla para la Comuna de San Clemente por incendio forestal En atención al incendio forestal activo “Curillínque”, ubicado en la Ruta 115, sector Las Minas, comuna de San Clemente, el cual afecta una superficie de arbolado natural, matorral y pastizal, la Intendencia de la Región del Maule, de acuerdo a la información técnica proporcionada por CONAF y en coordinación con ONEMI Regional
25 de julio de 2013	ONEMI	Se declara Alerta Roja para la comuna de San Clemente por incendio forestal Activo se mantiene el incendio forestal “Hijuela 2”, que afecta una superficie de 125 hectáreas de arbolado natural, matorral y pastizal en la comuna de San Clemente. Se desarrolla en una topografía abrupta con sequedad del combustible vegetal y viento puelche con ráfagas sobre los 15 km/h, lo que ha favorecido su propagación y rápido avance, amenazando viviendas del sector y bosque nativo
21 de septiembre de 2014	ONEMI	Comuna de San Clemente 2.108 clientes fueron afectados por un corte de suministro eléctrico, ocurrido entre las 14:50 y las 23:52 horas de ayer, en

<i>Fecha</i>	<i>Fuente</i>	<i>Observación</i>
		diversos sectores de la comuna. El motivo de la falla fue la caída de un árbol sobre el tendido eléctrico, luego de un deslizamiento de tierra. No se registraron situaciones de emergencia derivadas de esta condición. Trabajó en la reposición del servicio personal de la empresa eléctrica Emelectric.
25 de junio de 2017	ONEMI	ONEMI y organismos técnicos actualizan balance por sistema frontal En la Región del Maule, las principales afectaciones se han registrado debido a la salida de canales de regadío, que han generado inundaciones en caminos principales e interiores. Producto de esta situación, se reportan 329 viviendas afectadas, las que se encuentran en evaluación. Se mantienen 4 albergues en las comunas de San Clemente, Linares, San Rafael y San Javier, permaneciendo 23 personas albergadas.
20 de enero de 2015	ONEMI	Se levanta Alerta Roja para la comuna de San Javier por incendio forestal De acuerdo a lo informado por la Dirección Regional de CONAF Maule, controlado se encuentra el incendio forestal “Canelillo Valdés”, el cual afecta una superficie de 13.833 hectáreas de pino, matorral y pastizal, sin embargo aún podrían existir puntos calientes en el área afectada.

Fuente: www.onemi.cl

Tabla 29 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones

Fecha	Fuente	Observación
25.06.2017	www.biobiochile.cl	Carabineros auxilia a vecinos y mascotas afectadas por inundaciones en Talca Hasta ahora una de las ciudades más afectadas por el sistema frontal es Talca. La Población Carlos González, Villa la Foresta, Villa Puertas del Sur, Villa Jardín del Este, Doña Antonia y Carlos Carlos Trupp, son algunos de los sectores más perjudicados, dejando una cantidad indeterminada de viviendas inundadas. De acuerdo a lo informado por Carabineros, la lluvia además provocó complicaciones en la ruta CH-115 en San Clemente, específicamente en el kilómetro 24 del sector San Luis, por lo que llamaron a conducir con precaución.
27.06.2017	www.redmaule.com	En la región el sistema frontal intenso del pasado fin de semana provocó el desborde de diversos canales, provocando el anegamiento de más de 400 casas Pencahue: Se mantienen 2 viviendas afectadas producto de anegamientos en calle Peumo y sector Lo Figueroa, producto al desborde de un estero. Talca: Transitable con precaución se encuentra la Ruta K-520, producto de anegamiento en la vía. San Rafael: Se reportan 14 personas damnificadas y 4 viviendas con daños en evaluación, producto de inundación a raíz de los desbordes del río Alto Pangué, y los canales de los sectores Pangué Arriba, Bajo La Peña y Pelarco Viejo. Las personas damnificadas fueron trasladadas a las sedes sociales de sus sectores habilitados como albergues. Maule: 30 viviendas con daños en evaluación, producto de anegamientos en distintos sectores de las poblaciones La Floresta, Doña Antonia, Puertas del Sur, Carlos González, Villa Francia y Colín, debido a desborde del canal Duao Zapata.

Fecha	Fuente	Observación
		Respecto a las 37 personas albergadas en sedes sociales, se informa que ya retornaron a sus domicilios. San Clemente: A raíz del desborde de canales en diversos sectores de la comuna, se reportan viviendas afectadas debido a anegamientos. Adicionalmente, se registra 01 vivienda destruida en el sector Bajo Perquín, debido a una remoción en masa. A raíz de lo anterior, 21 personas se mantienen albergadas en la Escuela Santa Elena y la sede social de Bajo Perquín, habilitadas como albergues.

Fuente: artículos de prensa y publicaciones de estudio técnicos

Tabla 30 Registro de incendios forestales temporada 2015

CODCOM	NOMBRE COMUNA	NUMERO	%	SUPERFICIE	%
07101	TALCA	82	31%	167,9	1%
07105	MAULE	49	19%	444,3	3%
07106	PELARCO	16	6%	327,8	2%
07107	PENCAHUE	17	6%	62,7	0%
07108	RÍO CLARO	15	6%	11,7	0%
07109	SAN CLEMENTE	23	9%	86,1	1%
07110	SAN RAFAEL	13	5%	67,1	0%
07406	SAN JAVIER	48	18%	15181,7	93%
		263	100%	16349,2	100%

Fuente: Conaf

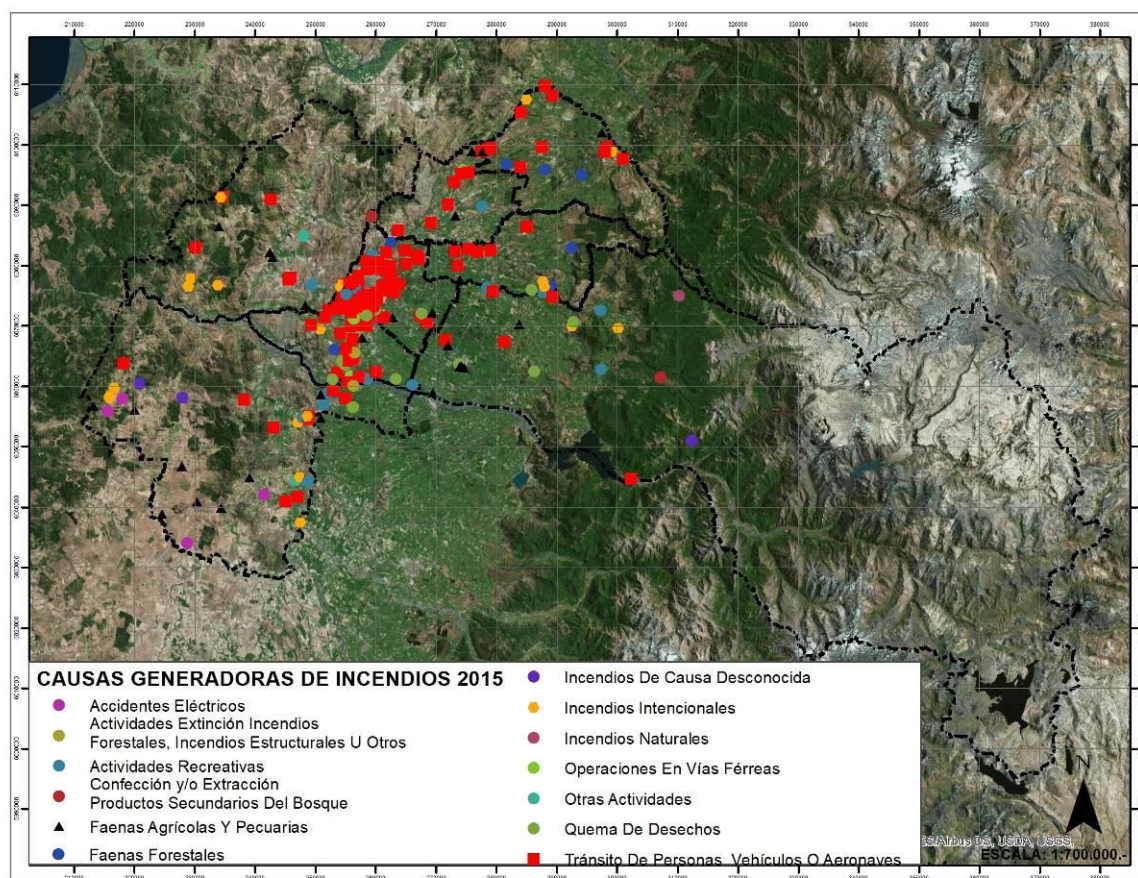
Respecto del registro de incendio de 2015, publicado durante el año 2016, se puede observar, respecto del número de ocurrencia de incendio, que las comuna de mayor concentración corresponden a Talca (31%), Maule (19%) y San Javier (18%). En consideración a la magnitud, expresado en la superficie total quemada, la comuna de San Javier concentra el 93% de la superficie quemada de la intercomuna, seguida de la comuna de Maule 3% y Pelarco 2%.

Tabla 31 Causa Generadora Registro de incendios forestales temporada 2015

CAUSA GENERADORA	NUMERO	%	SUPERFICIE	%
Accidentes Eléctricos	4	2%	19,2	0%
Actividades Extinción Incendios Forestales Incendios Estructurales U Otros	2	1%	0,6	0%
Actividades Recreativas	23	9%	53,6	0%
Confección y/o Extracción Productos Secundarios Del Bosque	3	1%	1,4	0%
Faenas Agrícolas y Pecuarias	32	12%	100,1	1%
Faenas Forestales	11	4%	114,7	1%
Incendios de Causa Desconocida	4	2%	1065,6	7%
Incendios Intencionales	24	9%	13905,1	85%
Incendios Naturales	1	0%	0,1	0%
Operaciones en Vías Férreas	5	2%	4,0	0%
Otras Actividades	3	1%	4,4	0%
Quema de Desechos	19	7%	658,6	4%
Tránsito de Personas Vehículos o Aeronaves	132	50%	422,0	3%
	263	100%	16349,2	100%

Fuente: Conaf

Figura 49 Causas generadoras de incendios forestales 2015



Fuente: Conaf 2015

En relación con las fuentes generadoras, el “Tránsito de Personas Vehículos o Aeronaves”, es responsable del 50% de los incendios forestales en la comuna, seguido de “Faenas Agrícolas y Pecuarias” con 12% y “Actividades Recreativas” e “Incendios Intencionales” 9%.

Respecto de la relación causa generadoras y superficie quemada, se obtiene que el 85% de la superficie quemada corresponde a “Incendios Intencionales”, seguido de “Incendios de Causa Desconocida” 7% y “Quema de Desechos” 4%.

7.1 Análisis de antecedentes históricos

Respecto de las remociones en masa, no se encontraron registros de ocurrencia significativa de este tipo de riesgos, esto principalmente porque gran parte del territorio intercomunal es plano a semiondulado y los asentamientos humanos se localizan principalmente en estos sectores (Valle central).

Respecto de los riesgos de inundaciones y anegamientos, existen abundantes registros de prensa de las inundaciones, existiendo lugares recurrentes en los sectores urbanos, dado las características pluviométricas, geomorfológicas y suelos de baja permeabilidad en los sectores urbanos y periurbanos.

Los incendios forestales se localizan principalmente en el sector poniente de la intercomuna, en la transición de la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa, siendo en esta última los de mayor superficie siniestrada y en la primera el mayor número de registros, esta situación se da por la concentración de actividades agrícolas y la concentración de población, que generan incendios tanto por tránsito como por intencionalidad. En el sector de la precordillera existe al igual que la Cordillera de la Costa una importante masa boscosa natural y de plantaciones (combustible) y actividades agrícolas y turísticas que implican tránsito de personas como causas generadoras.

8 REFERENCIAS

- 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 Analysis, 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.; Blodgett, 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. Bufo 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. Arenas, M.; Mourgues, A. Amenazas y Vulnerabilidad de Sitios Geoturísticos en áreas protegidas: El caso del Parque Nacional Radal Siete Tazas y los efectos del terremoto del Maule (8,8 Mw) en febrero de 2010.

SERNAGEOMIN. Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: observaciones geológicas en la comuna de San Clemente Región de Maule (INF-MAULE-08). 22 de marzo de 2010

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.