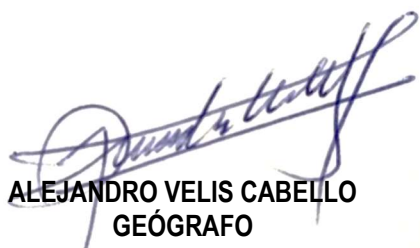




I. MUNICIPALIDAD DE REQUÍNOA

**ESTUDIO FUNDADO DE RIEGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE REQUINOA
SEPTIEMBRE 2021**



**ALEJANDRO VELIS CABELLO
GEÓGRAFO**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Introducción	4
1.2. Objetivos del estudio	4
1.3. Área de estudio.....	4
1.4. Alcances y limitaciones	5
1.5. Marco jurídico	6
2. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
2.1. Clima y meteorología	8
2.1.1. Temperatura	9
2.1.2. Precipitaciones.....	10
2.2. Hidrografía.....	12
2.2.1. Hidrogeología.....	14
2.3. Geomorfología	15
2.3.1. Geomorfología Regional	15
2.3.2. Geomorfología Local.....	17
2.4. Geología	19
2.4.1. Geología Regional	19
2.4.2. Geología Local.....	21
2.5. Suelos.....	23
2.5.1. Clases de capacidad de uso de suelo	24
2.6. Vegetación y usos de suelo.....	27
2.6.1. Inventario de humedales ministerio de medio ambiente	28
2.7. Volcanismo.....	29
2.7.1. Peligro Volcánico	29
2.8. Sismos.....	32
2.8.1. Sismos y Licuefacción de Suelos.....	32
3. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LOS RIESGOS ANALIZADOS	34
3.1. Riesgo y susceptibilidad.....	34
3.2. Remociones en masa	35
3.3. Inundaciones.....	40
3.3.1. Inundación por desborde de cauce.....	40
3.3.2. Inundación por anegamiento.....	41
3.4. Incendios.....	43

4. METODOLOGIA.....	44
4.1. Inundación por desborde de cauces y anegamiento	46
4.2. Remoción en masa	46
4.3. Zonificación de la susceptibilidad	47
5. RESULTADOS DE ÁREAS DE RIESGO NATURAL Y ANTRÓPICO	49
6. ZONAS NO EDIFICABLES	53
7. ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL	
54	
7.1. Áreas de protección del recurso de valor natural.	54
7.2. Áreas de protección del recurso de valor cultural	54
8. CONCLUSIONES	55
9. BIBLIOGRAFÍA	60

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

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

1.2. 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 la Actualización Plan Regulador Comunal de Requínoa, 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 y cultural.

Los objetivos específicos de este estudio consisten en:

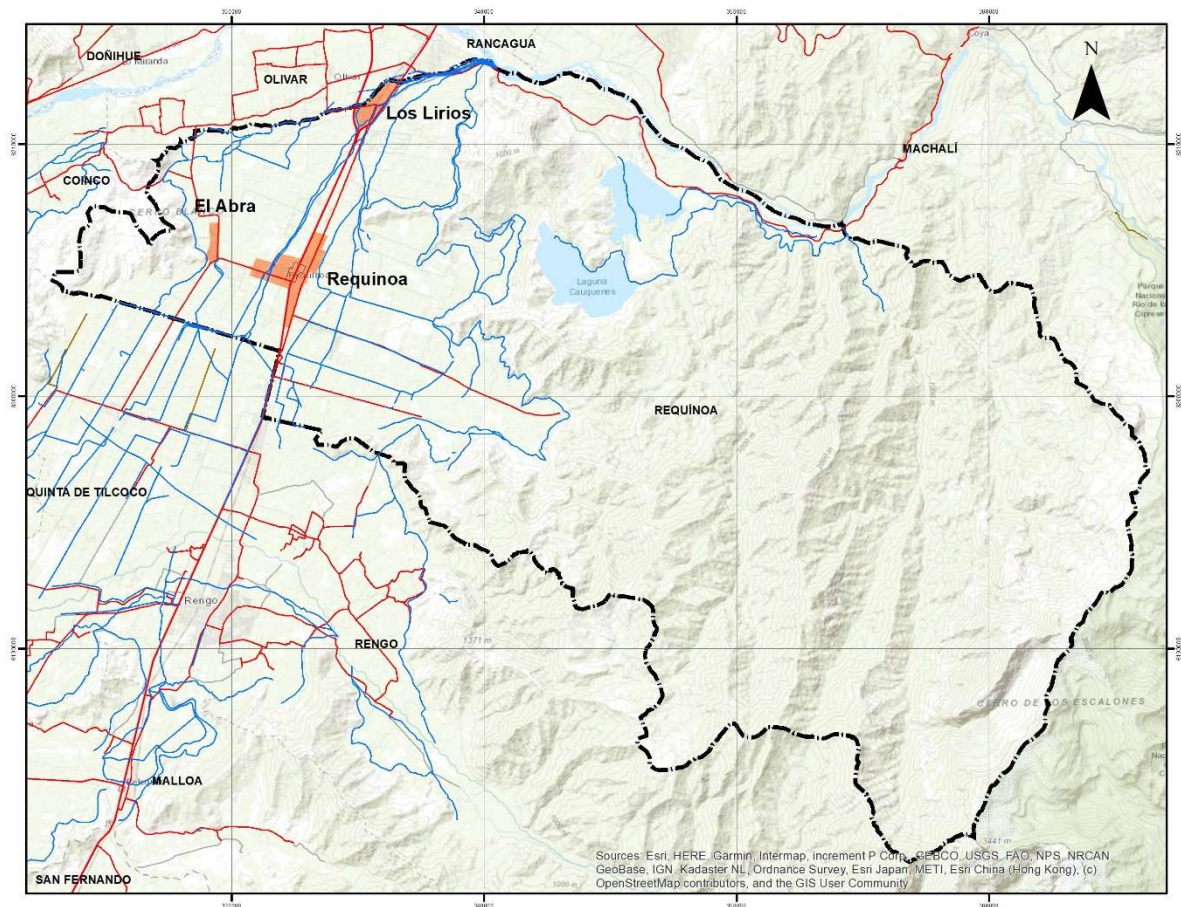
- Elaborar de un catastro, descripción y reconocimiento de los principales peligros naturales y antrópicos que pueden afectar al área de estudio, así como sus factores condicionantes y detonantes.
- Elaborar una Línea de base del medio físico y natural a través de información secundaria y primaria levantada 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 3 localidades de la comuna de Requínoa, Provincia de Cachapoal, de la Región de O'Higgins.

Las localidades en estudios corresponden a: Requínoa, El Abra y Los Lirios, como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 1 Área de estudio



Fuente: Elaboración Propia, en base a PRI Río Claro

1.4. Alcances y limitaciones

Para este estudio se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de fotografías aéreas, visitas a terreno y la evaluación de los distintos factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, a una escala 1:5.000 (considerando que la gran mayoría de la información geológica está a una escala mayor a 1:100.000). 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, geológicos y mapas de inventarios. A partir del análisis de los anteriores, se generaron mapas de susceptibilidad para los peligros geológicos reconocidos en la zona a escala 1:5.000.

1.5. Marco jurídico

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su artículo 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” (OGUC). 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”. (OGUC)

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

- **1.-“Zonas inundables o potencialmente inundables**, Debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos” (OGUC). 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”** (OGUC), 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” (OGUC), no zonificados en este estudio
- **4.-“Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana”**. (OGUC)

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, cuando corresponda.

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 y Remociones en Masa. 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 comuna, se consideró “El Plan Regulador Intercomunal de Río Claro”, aprobado mediante la Resolución N°70 del 05-02-2010, publicado en el Diario Oficial el 24-12-2010 y “El Plan Regulador Comunal Requínoa” que considerara las siguientes promulgaciones:

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE REQUÍNOA
PARTE I DIAGNÓSTICO COMUNAL Y ELABORACIÓN IMAGEN OBJETIVO
INFORME ETAPA II “ANÁLISIS, ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO”

Plan Regulador Comunal de Requinoa

Instrumento / Escala	Localidad	Resolución o Decreto	Publicación Diario Oficial
Plan Regulador Comunal	Requinoa – El Abra	Resolución N° 14	24-08-2000
Plan Regulador Comunal	Los Lirios-Sector El Golf	Decreto Alcaldicio N°144	11-02-2004
Plan Regulador Comunal	Los Lirios	Resolución N° 110	23-09-1987

“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”. (OGUC)

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 5 metros, mientras que información geológica del área de estudio está disponible a escala 1:100.000. Lo anterior condiciona la revisión de áreas susceptibles a procesos de remoción en masa e inundaciones a escala comunal se realizará a escala 1:5.000 (salida gráfica).

Las “Áreas de Riesgo” corresponderán a zonas con distintos niveles de susceptibilidad ante un determinado proceso, evaluada como la superposición de antecedentes, no determinándose niveles de peligrosidad o probabilidad de ocurrencia en el tiempo. La definición de áreas de riesgo estará acotada al límite urbano Intercomunal, independiente que el análisis haya incorporado áreas que quedan fuera de la comuna. 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. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los antecedentes del área de estudio responden al objetivo de “Elaborar una Línea de base del medio físico y natural a través de información secundaria y primaria levantada en terreno”, que permita reconocer en el territorio comunal respecto de las potencialidades y/o restricciones que presentan sus elementos o la combinación de ellos, para la elaboración de las áreas de riesgos y el reconocimiento de áreas bajo protección oficial que debieran ser incorporadas en el presente estudio.

2.1. Clima y meteorología

El clima predominante a escala regional corresponde al clima templado mediterráneo, el cual presenta variaciones por efecto de la topografía local. En la costa se presenta nuboso, mientras que hacia el interior debido a la sequedad experimenta fuertes contrastes térmicos. Las precipitaciones son mayores en la costa y en la Cordillera de los Andes, debido al relieve que no deja entrada a los vientos húmedos oceánicos.

En el litoral, que recibe la influencia oceánica predomina el clima templado nuboso, caracterizado por una mayor humedad y abundante nubosidad. En el sector de la depresión intermedia predomina un clima templado de tipo mediterráneo cálido con una estación seca de seis meses y un invierno lluvioso. A medida que se asciende por la cordillera, las temperaturas descienden bajo los cero grados en los meses de invierno. Sobre los 3.500 metros de altura se pasa al clima frío de altura con predominio de nieves eternas.

En la comuna de requinoa de acuerdo al Atlas Agroclimático de Chile, Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y del Maule (2017)¹, se identifican en la comuna los siguientes distritos

Distrito 6-2: Rancagua

- Templado cálido supratemal con régimen de humedad semi árido (Csb2Sa)
- Altitud media aproximada: 522 msnm

La temperatura varía entre un máximo de enero de 29,7 °C (máx de 31,3 °C y mín de 27,6 °C dentro del distrito) y un mínimo de julio de 3,9 °C (máx de 4,4 °C y mín de 3,2 °C dentro del distrito). Tiene un promedio de 234 días consecutivos libres de heladas. En el año se registra un promedio de 15 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 9 meses. Registra anualmente 1.777 días grado y 714 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio.

La precipitación media anual es de 567 mm y un período seco de 7 meses, con un déficit hídrico de 1.072 mm/año. El período húmedo dura 4 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 169 mm.

Distrito 4-7-1: San Gabriel

- Templado cálido supratemal con régimen de humedad semi árido (Csb2Sa).
- Altitud media aproximada: 1.227 msnm

La temperatura varía entre un máximo de enero de 27,5 °C (máx de 32 °C y mín de 20,5 °C dentro del distrito) y un mínimo de julio de 3,3 °C (máx de 4,8 °C y mín de 1,3 °C dentro del distrito). Tiene un promedio de 191 días consecutivos libres de heladas. En el año se registra un promedio de 25 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 9 meses. Registra anualmente 1.387 días grado y 968 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio.

¹ U de Chile. Atlas Agroclimático de Chile - Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y del Maule

La precipitación media anual es de 652 mm y un período seco de 7 meses, con un déficit hídrico de 1.098 mm/año. El período húmedo dura 4 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 183 mm.

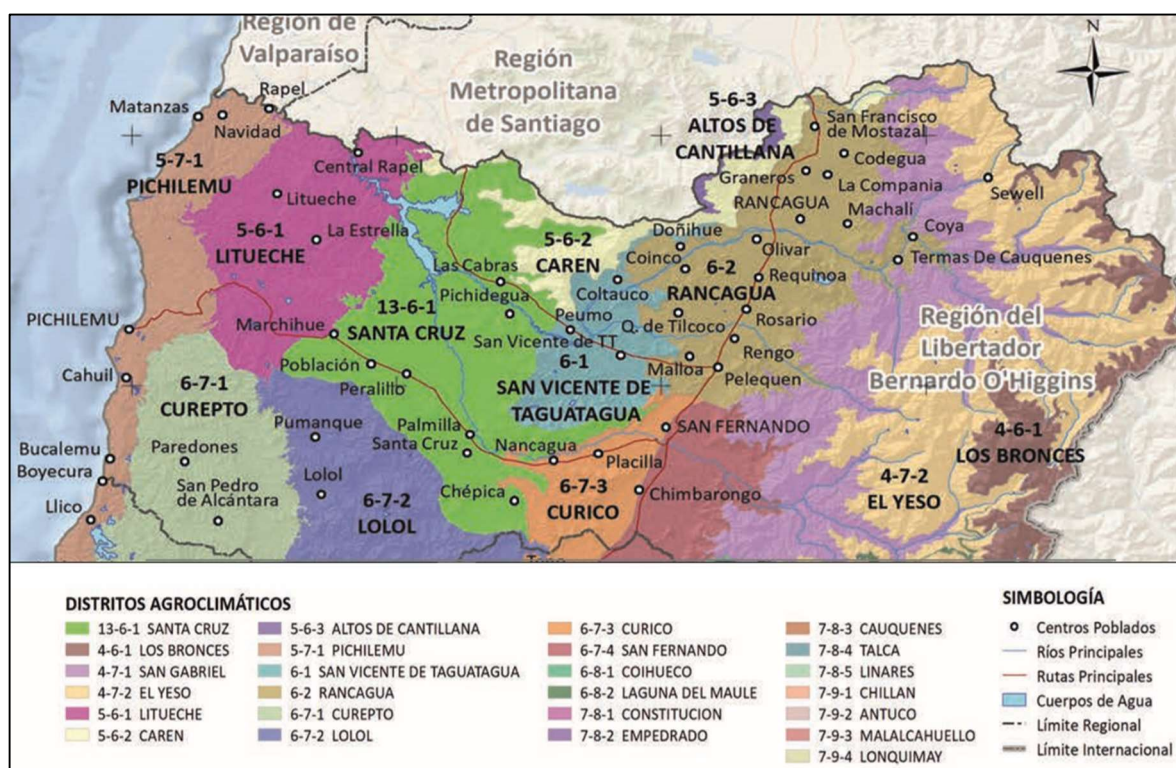
Distrito 4-7-2: El Yeso

- Tundra (ET)
- Altitud media aproximada: 2.631 msnm

La temperatura varía entre un máximo de enero de 13,9 °C (máx de 24 °C y mín de 7,3 °C dentro del distrito) y un mínimo de julio de -3,9 °C (máx de -0,3 °C y mín de -8,2 °C dentro del distrito). Tiene un promedio de 0 días consecutivos libres de heladas. En el año se registra un promedio de 291 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 0 meses. Registra anualmente 135 días grado y 1.800 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio.

La precipitación media anual es de 747 mm y un período seco de 7 meses, con un déficit hídrico de 953 mm/año. El período húmedo dura 4 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 285 mm.

Figura 2 Distritos Agroclimáticos Regiones de O'Higgins y del Maule



Fuente: Atlas Agroclimático de Chile - Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y del Maule

2.1.1. Temperatura

De acuerdo con 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, para la comuna de Requínoa se presentan los siguientes resultados

En cuanto a los resultados de temperatura en la comuna se observa un aumento de la “Temperatura media del período estival (diciembre - enero - febrero) de 2° Celsius respecto de la proyección del escenario del año 2050.

Respecto de los resultados de las precipitaciones en la comuna, se observa una disminución de la precipitación normal anual de aproximadamente 100 mm respecto de la proyección del escenario del año 2050, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1 Línea Base (1980 - 2010) - Escenario 2050

COMUNA	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
Requinoa	559	27,1	10,3	11,7	3,3	17,8	7,1	697	616	802	29,5	12,4	13,6	4,9	19,9	8,8	596	525	687
TXE: Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, ENERO).																			
TNE: Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, ENERO).																			
TXJ: Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, JULIO).																			
TNJ: Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, JULIO).																			
Temed: Temperatura media del período estival (diciembre - enero - febrero).																			
Tjmed: Temperatura media del período invernal (junio - julio - agosto).																			
PPA: Precipitación normal anual.																			
PPA MIN: Precipitación anual más baja en cada subcomuna.																			
PPA MAX: Precipitación anual más alta en cada subcomuna.																			

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

2.1.2. Precipitaciones

El concepto central de la hidrología es el ciclo hidrológico, entendiéndose por tal 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 horas

Las precipitaciones máximas anuales en 24 hrs, 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 (2000 a 2020), para las estaciones de Rancagua (Cachapoal – DCP), Rengo y Popeta (comuna de Rengo). La comuna de Requinoa no contaba con estaciones en su territorio, por lo cual se consultaron las tres más cercanas.

En la siguiente tabla se detallan los registros de los 20 años consultados, destacándose valores sobre 60 mm en la primera década consultada. Cabe destacar que, HAUSER (1985 y 1997) establece que las lluvias con un umbral de 60 mm/día, generadas en períodos estivales en la zona preandina de la Región Metropolitana, y las lluvias entre 10 mm y 30 mm en la ciudad de Antofagasta, son de crucial importancia para la generación de eventos de remoción en masa, ya que esto se asocia con las características mecánicas tanto de los suelos como de las rocas que experimentan resquebrajamiento por ausencia de lluvias, generándose un

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE REQUÍNOA
PARTE I DIAGNÓSTICO COMUNAL Y ELABORACIÓN IMAGEN OBJETIVO
INFORME ETAPA II “ANÁLISIS, ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO”

microfracturamiento superficial propicio para la generación de flujos ante la presencia de lluvias repentinas e intensas

Tabla 2 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas estaciones de Rancagua, Rengo y Popeta (2000-2020)

AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PP (mm) RANCA GUA (CACHAPOAL - DCP)	MAXIMA EN 24 HS. PP (mm)RENGO	MAXIMA EN 24 HS. PP (mm) POPETA
2000	09/09	85,00	80,00	50,00
2001	18/07	60,00	71,80	50,00
2002	25/05	95,50	70,00	50,00
2003	20/05	57,50	50,00	50,00
2004	13/04	77,00	62,00	50,00
2005	27/06	52,50	50,00	52,00
2006	13/10	74,00	50,00	50,00
2007	16/02	29,20	20,50	25,00
2008	15/08	66,50	89,00	50,00
2009	19/06	52,00	62,00	50,00
2010	06/07	32,50	39,00	36,00
2011	18/06	36,00	52,00	48,00
2012	26/05	58,50	35,00	55,00
2013	28/05	31,00	32,50	48,00
2014	03/06	31,50	32,00	44,00
2015	06/08	42,00	52,00	48,00
2016	17/04	44,60	51,10	53,00
2017	04/10	30,50	38,50	47,50
2018	05/07	50,50	44,50	46,00
2019	12/06	24,50	29,00	44,50

Fuente: www.dga.cl

Conclusiones

De acuerdo con los antecedentes recopilados, se evidencia el efecto del cambio climático en el área comunal. Esto se ve reflejado en una disminución paulatina de las precipitaciones total anual, que según la proyección realizada al año 2050 esta disminuiría aproximadamente en 100mm menos que el promedio de 1980-2010. Sin embargo, de acuerdo con la estadística de las precipitaciones máximas en 24 hrs, seguirán existiendo concentración de precipitaciones en 24 hrs con valores sobre 60 mm, considerados como de riesgo (inundación, anegamiento y/o remoción en masa).

Respecto de las temperaturas, estas aumentarían en 2° Celsius tanto en época estival como invernal. La relación entre la proyección de precipitaciones y temperatura genera un escenario climático similar al de la zona semi árida.

2.2. Hidrografía

Requínoa se inserta entre la subcuenca del río Cachapoal por el norte, y la cuenca del Río Claro de Rengo por el sur. La comuna está compuesta por un sistema hídrico importante, el sector del valle es cruzado por numerosos canales y caudales menores². Predominantemente la superficie de esta comuna la compone el sector cordillerano, por lo cual cuenta con una riqueza de afluentes y ríos numerosos. En este sector además se encuentran cuerpos de agua como: el embalse Cauquenes y la laguna del mismo nombre. (Aliaga, 2017).

Los ríos presentes en el sector han desempeñado un importante rol para favorecer la capacidad de acumulación de agua subterránea de la cuenca y ser, además, agentes modeladores y, en parte, los responsables del relleno sedimentario de la cuenca (Alfaro et al., 2017).

El río Cachapoal es el principal curso de agua superficial en el área, y escurre en dirección noroeste, luego este-oeste en la Depresión Central y suroeste en el sector sur. La forma sinuosa de este sistema fluvial refleja las variaciones que ha tenido el desplazamiento del cauce en el tiempo. Por otra parte, en el sector norte se identifica un depósito aluvial y fluvial menor, asociado a los depósitos de los esteros Codegua y La Cadena. Varias ciudades y poblados como Rancagua, Graneros, La Compañía, Machalí, Olivar y Doñihue, entre otras, se abastecen de agua potable y de riego en gran porcentaje, con agua subterránea obtenida del bombeo de pozos de extracción, por lo que es vital reconocer y proteger este recurso. Los depósitos aluviales y fluviales que rellenan la cuenca del río Cachapoal (en el área entorno a Rancagua y Requínoa), constituyen las principales unidades que permiten el almacenamiento y transmisión de los recursos de agua subterránea. La recarga proviene principalmente de los deshielos cordilleranos y de la infiltración de las precipitaciones locales y regionales.

Respecto de las subsubcuencas que se encuentran en la comuna, identifican 5 y estas se distribuyen en función de los ríos Cachapoal por el Norte y Río Claro de Rengo por el Sur.

Tabla 3 Subsubcuencas comuna de Requínoa

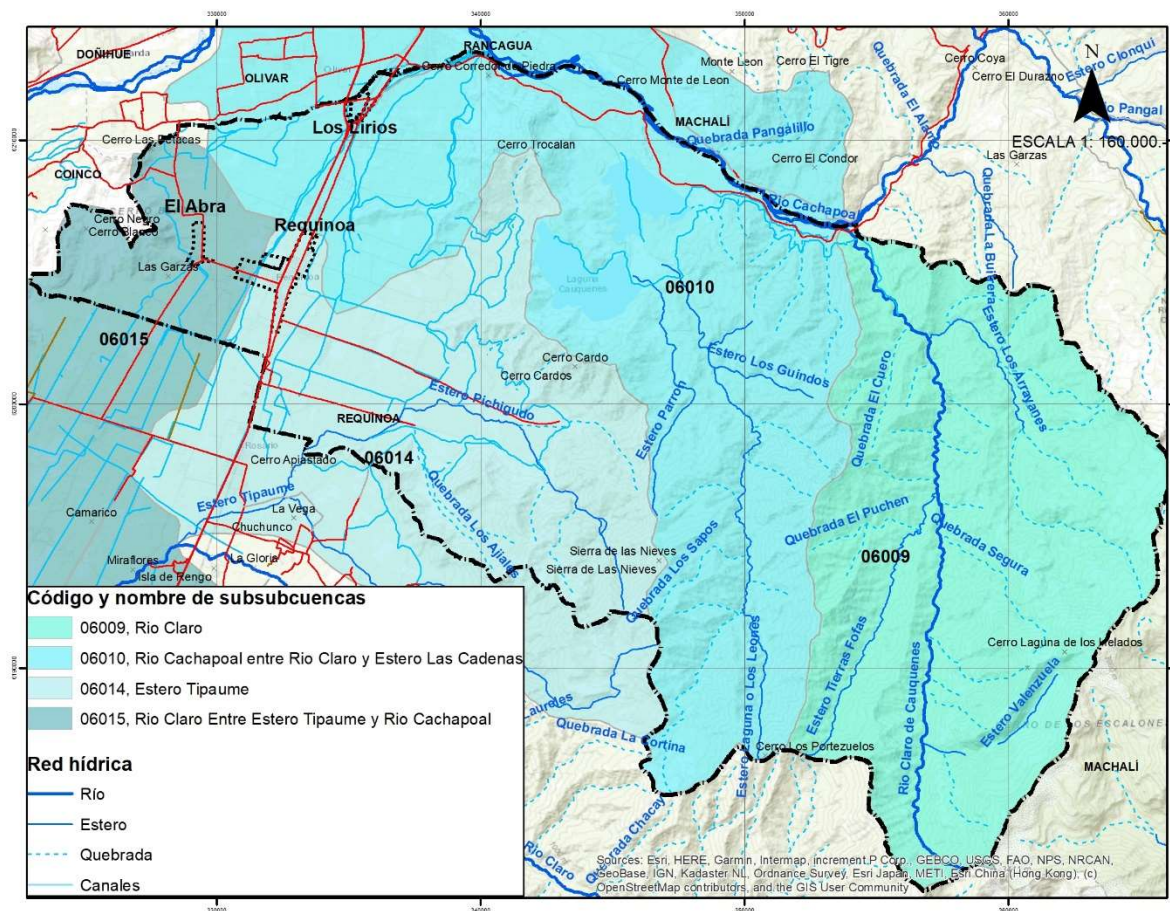
Código	Nombre	Superficie en km
06009	Río Claro	225,8
06010	Río Cachapoal entre Río Claro y Estero Las Cadenas	394,1
06014	Esteros Tipaume	230,7
06015	Río Claro Entre Estero Tipaume y Río Cachapoal	336,8

Fuente: DGA

² Plan de Desarrollo Comunal de Requínoa 2009-2013

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE REQUÍNOA
PARTE I DIAGNÓSTICO COMUNAL Y ELABORACIÓN IMAGEN OBJETIVO
INFORME ETAPA II "ANÁLISIS, ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO"

Figura 3 Hidrografía comuna de Requinoa



Fuente: DGA

Respecto de los caudales de los principales cursos de agua de la comuna, solo existen registros de la estación Río Claro en Campamento, dicha estación solo cuenta con datos en el año 1986, en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, de acuerdo a los datos obtenidos se presentan los caudales medio mensuales y caudales instantáneos máximos para el periodo consultado como se observa en las siguientes tablas

Tabla 4 Caudales medios mensuales (m³/s) periodo: 01/12/1980 - 01/12/1989

AN O	EN E	FE B	MA R	AB R	MA Y	JU N	JU L	AG O	SE P	OC T	NO V	DI C
1986	□	□	0,03	□	1,04	□	1,46	□	□	□	□	□

Fuente: DGA

Tabla 5 Altura limnográfica y caudal instantáneo periodo: 02/12/1985 - 01/12/1989

Altura	Caudal m ³ /seg	Hora	Fecha
2	36.1	08:00	20/04/1986
1.9	30.6	18:00	26/05/1986
1.55	15.4	08:00	28/05/1986

Fuente: DGA

2.2.1. Hidrogeología

Formaciones acuíferas y propiedades hidráulicas.

Analizando la literatura existente de la zona (Mapa Hidrogeológico, DGA 1986) se puede señalar que existen estudios que definen la información de propiedades hidráulicas, espesores, etc., en los sectores estudiados pero en forma más general asociando sectores que señalan la descripción hidrogeológica en base a las cuencas hidrológicas más importantes de las zonas estudiadas

Cachapoal Sur :

Incluye el sector del valle central al sur del río Cachapoal y al norte de la localidad de Requínoa y el desarrollo del valle del 15 Cachapoal aguas abajo de la confluencia con el estero La Cadena hasta su encuentro con el río Claro de Rengo. El espesor del relleno es superior a los 130 m., formado por estratos de distinta permeabilidad. El acuífero principal en esta zona se ubica más superficialmente en relación a como se presenta en el valle central.

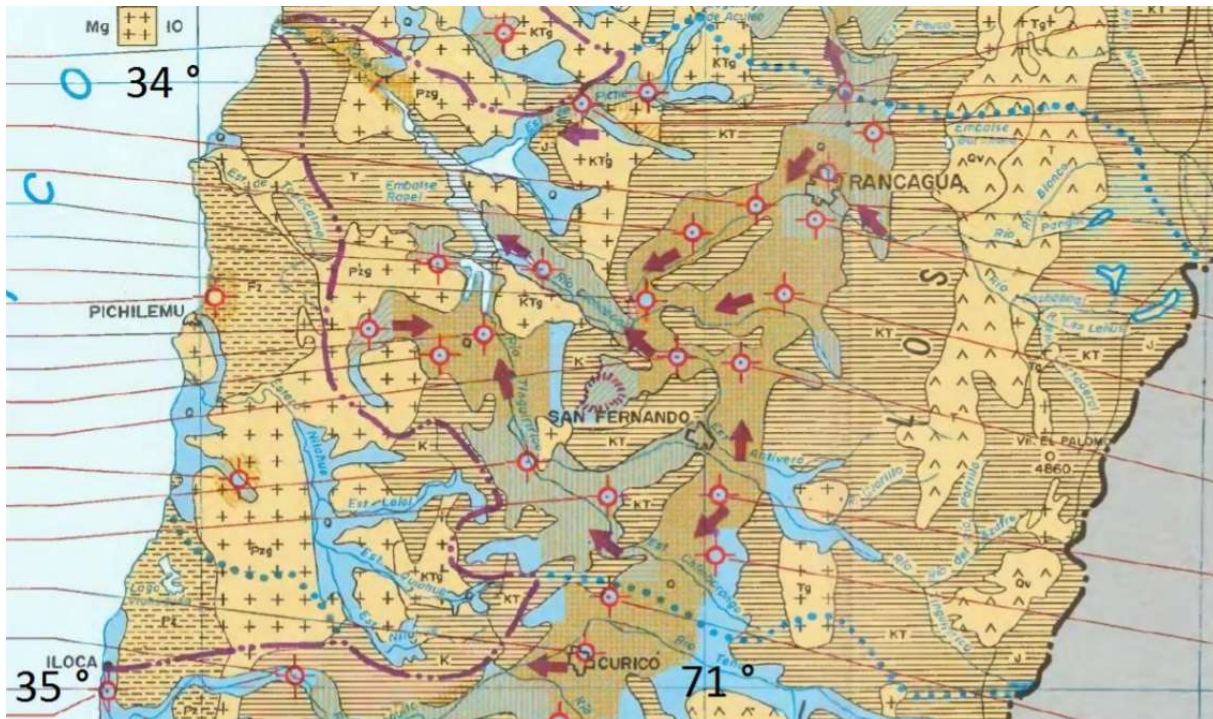
Esta zona presenta los mayores valores de transmisibilidad, entre 5.000 y 10.000 m²/día, en una franja en dirección en dirección norte-sur al poniente de la Carretera Panamericana, disminuyendo a entre 1000 y 5000 m²/día hacia el extremo occidental del valle central. Al oriente de la Carretera Panamericana, la disminución es gradual, variando desde 5.000 a 10.000 m²/día en el sector de la Carretera, al centro del valle, hasta menos de 500 m²/día en el límite de valle. En la segunda sección del Cachapoal en tanto, la mayor parte del valle presenta transmisibilidades comprendidas entre 1.000 y 5.000 m²/día salvo una franja paralela al río al sur de éste, entre la cabecera y la localidad de Doñihue, donde las transmisibilidades están comprendidas entre 5.000 m²/día.

Río Claro – estero Zamorano

En el valle central el espesor total de los rellenos se desconoce, se desconoce, pero se estima que debe ser superior a los 50 m. El acuífero en general es freático, presentando en algunos sectores algunos grados de confinamiento. Hacia el poniente la situación es la misma variando presumiblemente sólo el espesor del relleno el que de acuerdo a los sondeos de la zona podría ser inferior a los 50 m.

En el valle del río Claro en general las transmisibilidades están comprendidas entre 1.000 y 5.000 m²/día. Los menores valores se encuentran en torno a Rengo alcanzando entre 500 y 1.000 m²/día y menos de 500 m²/día en la franja oriental del valle. Los mayores valores (entre 5.000 y 10.000 m²/día) se encuentran en la parte central del valle entre Requínoa y Rosario prolongándose hasta Quinta de Tilcoco donde se alcanzan incluso transmisibilidades superiores a 10.000 m²/día.

Figura 4 Extracto de Mapa Hidrogeológico, DGA Escala 1:1.000.000.-



Fuente: Hauser 1990

2.3. Geomorfología

2.3.1. Geomorfología Regional

De Este a Oeste, en la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins se reconoce la unidad geomorfológica Cordillera de los Andes (o Cordillera Andina), la cual presenta en esta región una altitud que varía entre los 3.000 a 4.000 m s.n.m. y un ancho aproximado de 50 kilómetros, además presenta un marcado volcanismo, el cual se manifiesta en que las mayores alturas corresponden a conos volcánicos, tales como el Tinguirica (4.620 m s.n.m.) y El Palomo (4.860 m s.n.m.) (Fuente: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region6/relieve.htm>).

Hacia el este, la altura de los cordones montañosos disminuye, configurando la unidad morfológica Precordillera Andina (o Borde Preandino), cual presenta cordones de cerros de menor altitud, con alturas medias entre los 1.700 y 2000 m s.n.m., y profundizaciones producto de ríos y valles, como el río Cachapoal (Hauser, 1990).

La Depresión Central limita al oeste con el borde oriental de la Cordillera de la Costa, y al este, con Precordillera Andina. Presenta un ancho medio de 30 km y se extiende en dirección norte-sur unos 60 km, entre la Angostura de Paine y los Cerros de Pelequén (Aliaga, 2016). Estas serranías transversales corresponderían a prolongaciones hacia el oeste de la Cordillera de la Costa que interrumpen parcialmente la Depresión Central (Hauser, 1990). La Depresión Central presenta una típica morfología llana, con pendiente decreciente hacia el oeste (Hauser, 1990) y se encuentra rellenada principalmente por sedimentos de origen fluvio-glacio-volcánico (Godoy et al., 2009), pudiendo diferenciarse entre zonas de Llano Central con sedimentos Glacio-Volcánicos y un Llano Central de sedimentos fluviales o aluviales.

Hacia el oeste, se ubicada la Cordillera de la Costa, atravesada por Cuencas Intramontanas, y que corresponde a una continua cadena de cerros, de dirección norte-sur, paralela al margen litoral. Presentaría en la región un desarrollo bastante regular, y cuyos ríos drenan al océano Pacífico y tendrían un fuerte control estructural

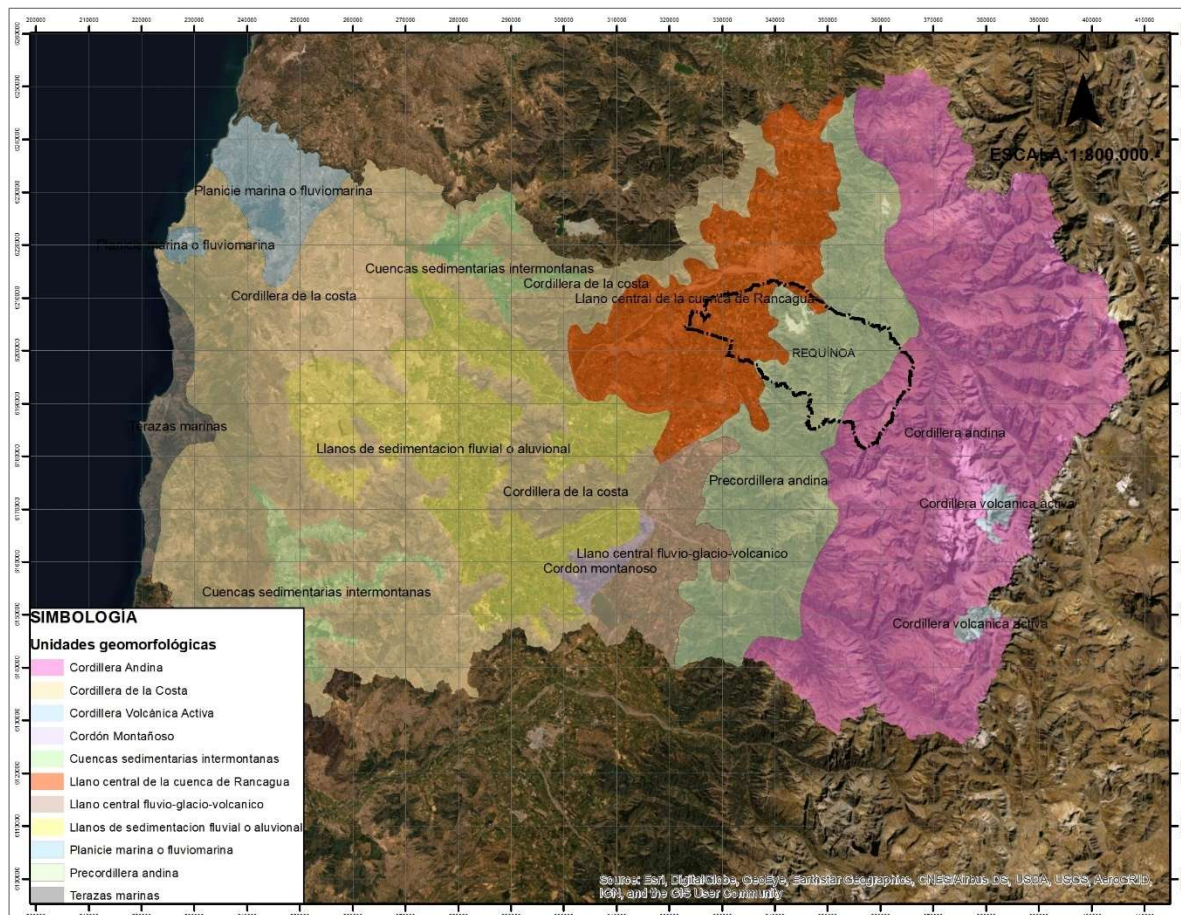
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE REQUÍNOA
PARTE I DIAGNÓSTICO COMUNAL Y ELABORACIÓN IMAGEN OBJETIVO
INFORME ETAPA II “ANÁLISIS, ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO”

(Hauser, 1990). En la zona costera, las unidades geomorfológicas presentes son de tipo Terrazas Marinas y Planicies Fluvio Marinas.

Las alturas promedio tanto de las ciudades como pueblos, varían entre 600 m s.n.m. en Machalí, y 300 m s.n.m. en Doñihue (Aliaga, 2016), estando los poblados del Valle Central de la comuna de Requínoa entre los 400 y 500 m s.n.m.

La Figura a continuación muestra las unidades morfologías a escala regional.

Figura 5 Unidades morfologías a escala regional



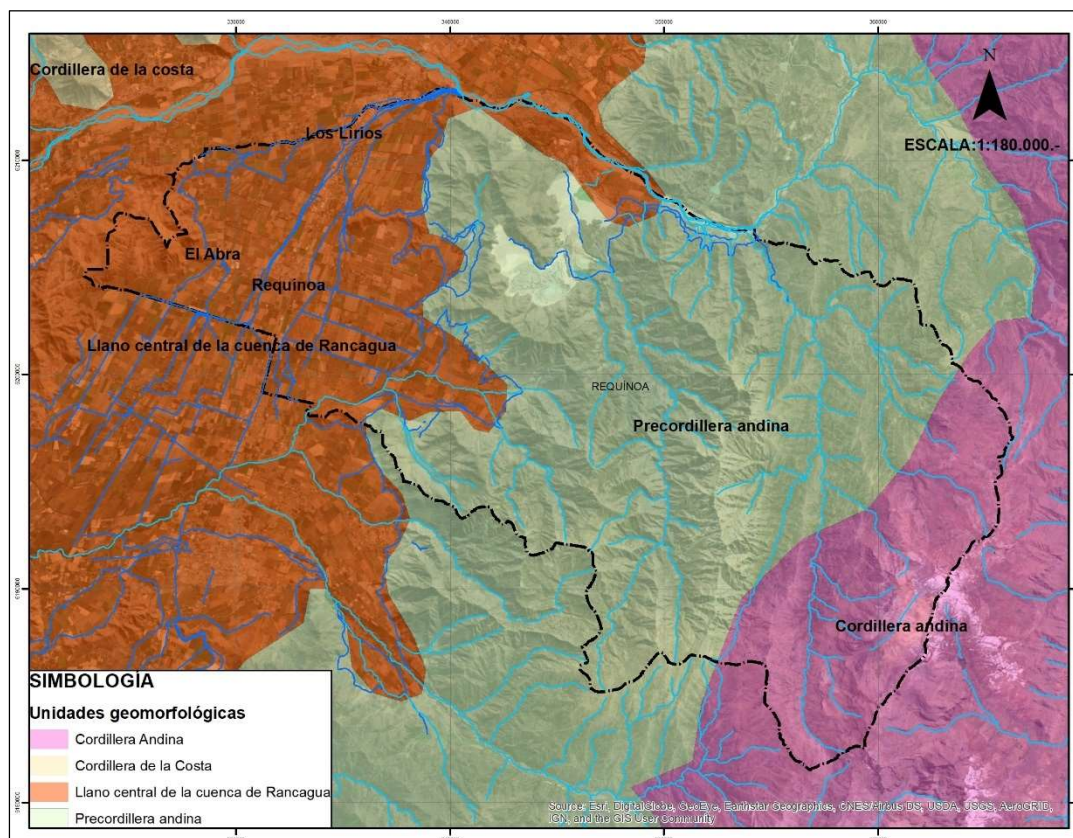
Fuente: Laboratorio de Geografía Universidad de La Frontera. Basado en Borgel 1983
http://labgeo.ufro.cl/fichas/chile_geo/ficha06geo.html

2.3.2. Geomorfología Local

Como se muestra en la Figura anterior, en la Comuna de Requínoa se identifican principalmente las unidades geomorfológicas denominadas Depresión Intermedia o Valle Central, y la Precordillera Andina, que constituyen el mayor porcentaje de territorio comunal. También una porción menor al este de la Comuna podría ser asociarse al inicio de la Cordillera de Los Andes.

Por la topografía e hidrografía de la unidad Precordillera Andina (mostrada con mayor detalle en Figura a continuación), hay presencia de ríos y montañas que serían parte importante del patrimonio natural de la Comuna de Requínoa, formándose atractivos turísticos, como es el caso del paso de Senderos de Chile, emplazado en la Precordillera Andina de la comuna de Requínoa, que tiene entre sus principales atractivos espacios naturales y la belleza de su paisaje (Fuente: PLADEC -2014-2020). Según esta misma fuente de información, los límites naturales de la comuna de Requínoa son: al norte con el canal de Río Seco desde la Puntilla; nororiente del cerro las Petacas hasta el río Cachapoal; desde el canal del río Seco hasta el canal alimentador del Embalse El Sauzal; al este desde el Río Cachapoal hasta las líneas de cumbres que limita por el oriente de la Hoya del Río Claro Cauquenes; al sur la línea cumbre, desde el Cerro los Helados hasta la Puntilla poniente del Cerro el Aplastado, sobre el estero Pichiguao, pasando por los cerros Alto del Capillo, Protezuelo, las Tres Comadres, Maravilla, Paragua, Camiana y el Aplastado; al oeste la línea de cumbre, desde el Cerro Coinco hasta la puntilla nororiente del Cerro las Petacas, sobre el Canal del Río Seco, pasando por los Cerros Copequén, Blanco, Negro y las Petacas.

Figura 6 Unidades Geomorfológicas Comuna Requínoa



Fuente: Laboratorio de Geografía Universidad de La Frontera. Basado en Borgel 1983
http://labgeo.ufro.cl/fichas/chile_geo/ficha06geo.html

El territorio comunal es drenado principalmente por el río Cachapoal y, en menor medida, por el río Claro.

El territorio comunal que se encuentra en la Depresión Intermedia, presenta sedimentos de origen fluvio - glaciovolcánico, con un alineamiento externo occidental, que pivotea desde Sewell con los cerros que enmarcan las termas de Cauquenes (2463 m s.n.m.), continuando al este de Rengo con la sierra de las nieves (1859 m s.n.m.). (PLADECO 2014-2020)

Una de las cumbres más sobresalientes de la Precordillera en la parte septentrional de la Comuna de Requínoa, corresponde al Cerro Panul (1005 m s.n.m.), situado al poniente de la Laguna de Cauquenes. Al Sur de dicha laguna se ubica el Cerro Retamal con una altitud de 1.263 m.s.n.m. Al Sur oriente de la comuna de Requínoa destacan los cerros: El Pollo (1.685 m), El Fierro (2.238 m), El Piuchén (2.120 m) y Las Lámparas (2.282). (PLADECO 2014 – 2020)

Las localidades pobladas de la Comuna se encuentran dentro de la Depresión Central (ver Figura anterior), dentro de las que se destacan: Requínoa, El Abra y Los Lirios (inmersas en la Depresión Central), hacia el oeste de la Comuna, y Bella Vista, La Pimpinela y El Peumal de Totihue, hacia el este de la comuna, ubicadas en la transición entre la Depresión Central y la Precordillera Andina, en el entorno al río Claro y su afluentes los Esteros Puchigudo (Pichiguao) y Los Canelos.

Las localidades pobladas que se ubican dentro de la Depresión Central, presentan la típica morfología llana característica de esta unidad. Como antecedente, las altitud de Requínoa en su área urbana, fluctúa entre los 390 y 435 m s.n.m., mientras que El Abra (o Rincón del Abra) entre los 408 y 480 m s.n.m., y Los Lirios se emplazaría entre los 470 y 490 m s.n.m.

En la Figura a continuación (obtenida de vista 3D de Google_earth) se muestran las particularidades de las localidades destacadas.

Figura 7 Vista localidades pobladas comuna de Requínoa



Fuente: Imagen Google_earth

Como se muestra en las Figuras, estas localidades están mayormente en zonas llanas de la Depresión Central, con presencia de cerros de menor altura hacia el oeste (El Abra y Rincón del Abra) y cumbres entre los 720 y 560 m s.n.m. (alcanzando hasta 300 metros de altura respecto al nivel base de las localidades).

Hacia el Este de la comuna, las localidad poblada de Pimpinela se sitúa entre los 405 y 445 m s.n.m., estando rodeada por cerros de moderada pendiente y altura (hasta 1.200 m s.n.m.) , cuyas hoyas drenan hacia los Esteros Los Canelos – Pichiguao. Mientras que Bellavista se ubica entre los 370 y 385 m s.n.m., y Totihue (El Peumal de Totihue) entre los 386 y 372 m s.n.m. La siguiente Figura señala escurrimientos del cordón montañoso

Figura 8 Vista localidades pobladas comuna de Requinoa



Fuente: Imagen Google_earth

Geomorfológicamente la localidad de Pimpinela se encuentra en sectores más sensibles a recibir aportes o acarreo de material, así como aquellas que están cerca de los esteros (Bellavista y El Peumal de Totihue) están en zonas más sensibles a cambios en los regímenes hídricos

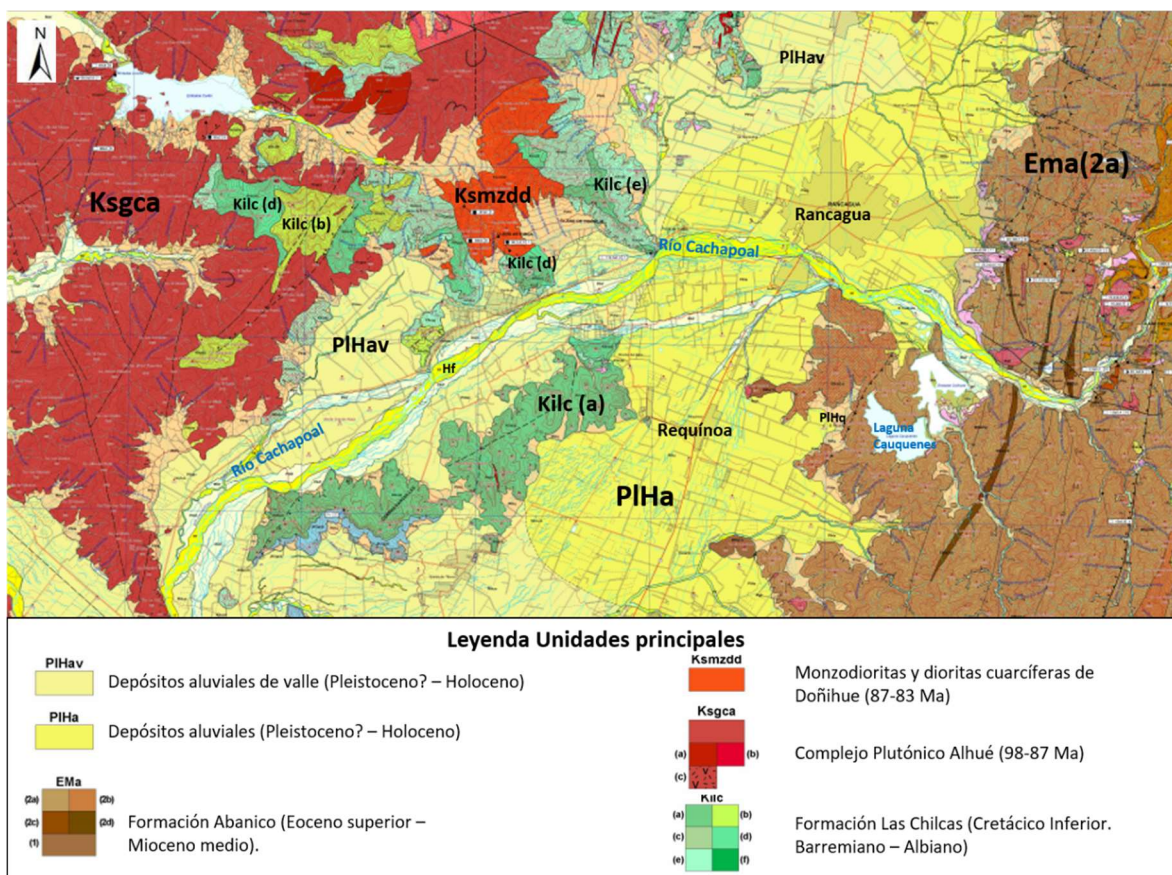
2.4. Geología

2.4.1. Geología Regional

A partir de la Carta Geológica Rancagua – San Vicente de Tagua Tagua desarrollada por Godoy et al. (2009), el Mapa de la “Geología para el Ordenamiento Territorial Área de Rancagua”, Región del Libertador Bernardo O’Higgins del Sernageomin (Alfaro, et al. 2017) se presenta la descripción geológica regional y local del área de estudio.

La Figura a continuación (a partir de Godoy et al., 2009), muestra la geología la Depresión Central rellena con depósitos sedimentarios del Pleistoceno?-Holoceno (como las Unidades PIHa y PIHav), que separa las rocas del Mesozoico que afloran al oeste en la Cordillera de la Costa, como las unidades del Cretácico Formación Las Chilcas (Kilc) y rocas intrusivas (Ksgca y Ksmzdd), de las rocas del Cenozoico que afloran al este (Cordillera de los Andes), donde predomina la Formación Abanico (Ema) del Eoceno superior-Mioceno medio.

Figura 9 Unidades Geológicas VI Región



Fuente: Imagen del Mapa Geológico Carta Geológica Rancagua – San Vicente de Tagua Tagua escala 1:100.000.-

Con mayor detalle, desde hacia el oeste, en la Cordillera de la Costa aflora el Complejo Plutónico Alhué (Ksgca) entre 98 y 87 Ma (Cretácico Superior), compuesto por una serie de tonalitas, granodioritas y dioritas cuarcíferas y en menor proporción. En el flanco oriental de la cordillera de la Costa, se reconoce la Formación Las Chilcas (Kilc), de edad Cretácica Inferior, y compuesta por una secuencia volcánica y sedimentaria principalmente de origen continental.

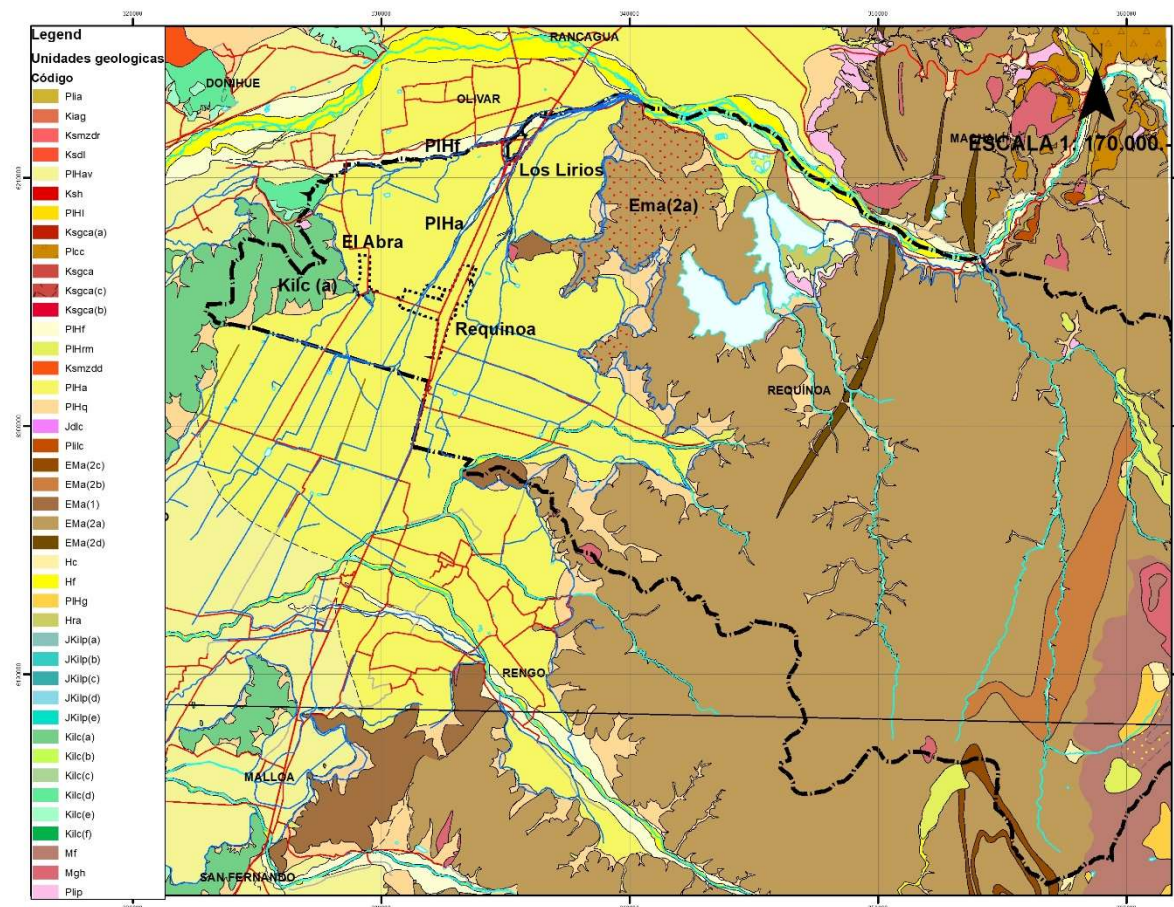
Hacia el este, en aflora la Formación Abanico (Ema), de edad Eoceno Superior-Mioceno, en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes (dispuesta en la unidad geomorfológica Precordillera Andina). En el área de estudio corresponde a una secuencia de lavas de composición andesítica a basáltica, con intercalaciones de rocas piroclásticas y sedimentarias, que se encuentra intruída por la unidad Stocks, Filones y Filones-Manto, del Mioceno (Godoy et al., 2009).

Depósitos sedimentarios no consolidados cubren gran parte de la Depresión Central, e incluyen depósitos aluviales (PIHa), depósitos aluviales de valle (PIHav), además de depósitos fluviales modernos que se depositan a lo largo de los cauces actuales (Hf).

2.4.2. Geología Local

A partir de la Carta Geológica Rancagua – San Vicente de Tagua Tagua (Godoy et al., 2009), y el Mapa de la “Geología para el Ordenamiento Territorial Área de Rancagua” (Alfaro et al., 2017), se describe la geología del área de estudio, mostrándose en la Figura a continuación.

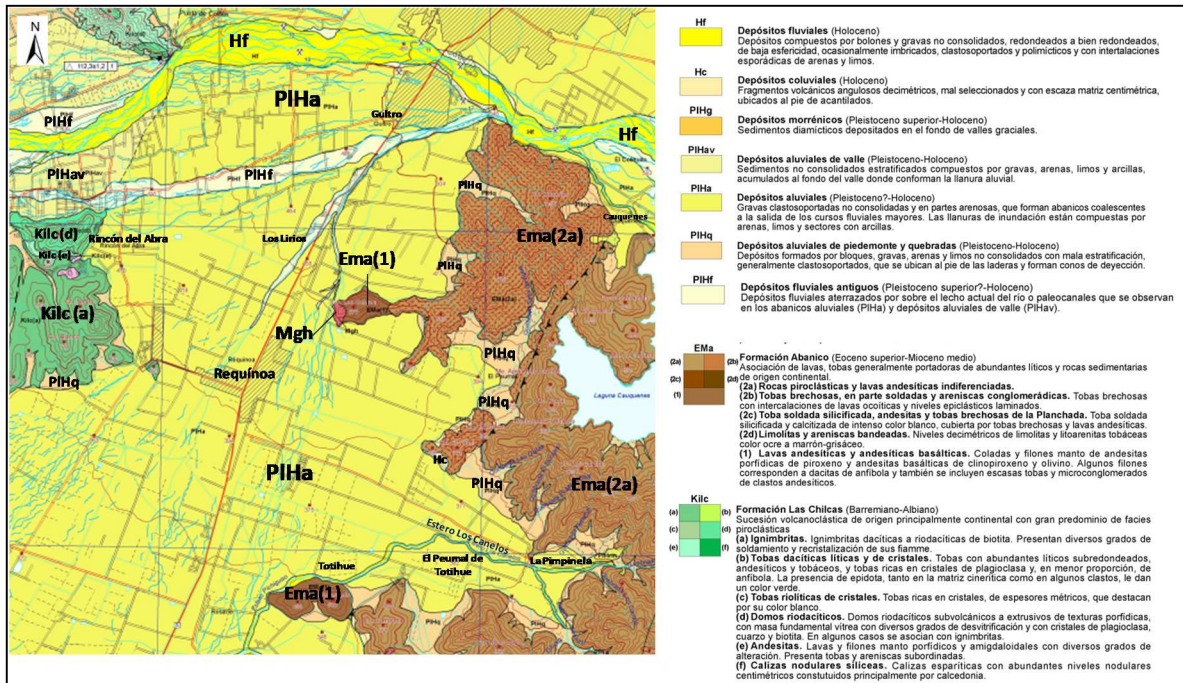
Figura 10 Geología comuna Requinoa



Fuente: Imagen del Carta Geológica Rancagua – San Vicente de Tagua Tagua (Godoy et al., 2009) escala 1:100.000.-

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE REQUÍNOA
PARTE I DIAGNÓSTICO COMUNAL Y ELABORACIÓN IMAGEN OBJETIVO
INFORME ETAPA II “ANÁLISIS, ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO”

Figura 11 Geología comuna Local



Fuente: Imagen del Geología para el Ordenamiento Territorial Área de Rancagua” (Alfaro et al., 2017) escala 1:100.000.-

De más antiguo a más joven, se reconocen rocas volcánicas de la Formación Las Chilcas (Kilc (a) de Figura anterior) en los cerros al oeste de El Abra y Rincón El Abra, reconociéndose según la información consultada las facies Kilc (a) correspondientes a ignimbritas y la unidad Kilc (d) correspondiente a Domos riolíticas.

Hacia el este, y formando parte de la unidad Precordillera Andina, aflora a Formación Abanico, en sus facies Ema(2a) correspondiente a Rocas piroclásticas y lavas andesíticas y Ema (1) correspondientes a lavas andesíticas basálticas al sur de Totihue. Al este de Requinoa, un cuerpo intrusivo menor (Mgh) perteneciente a un grupo de Stocks, filones y diques dioríticos, dacíticos y andesíticos del Mioceno.

Como se aprecia en la Figura anterior, también se reconocen depósitos sedimentarios No Consolidados, mayormente relleno de la Depresión Central se identifican Depósitos Aluviales PIHa (Pleistoceno-Holoceno), y que corresponden a sedimentos acumulados que se presentan poco consolidados, estratificados, compuestos por bolones, gravas, arenas, limos y arcillas. Conforman amplios abanicos en la Depresión Central, y terrazas ubicadas en ambas riberas del río Cachapoal y el estero Codegua. Los contactos entre los distintos miembros de esta unidad, han sido inferidos según la granulometría de los primeros 30 m de suelo, obtenida de la estratigrafía básica (Aliaga, 2016), el que describe tipos litológicamente distintos de los depósitos aluviales: PIHa1 (asociados al río Cachapoal) y PIHa2: asociados a los esteros La Cadena y Codegua. Estos depósitos cubren gran área en la Depresión Central, y conforman los suelos de las localidades de Requinoa, Los Lirios, El Abra y Rincón del Abra, Totihue, Rinconada de Totihue y La Pimpinela.

Como antiguos depósitos del río Cachapoal, en la Figura se identifican depósitos denominados Depósitos Fluviales antiguos (PIHf) también del Pleistoceno-Holoceno, y que corresponden a gravas clastos portadas, cuyos clastos estarían imbricados y granodecrecientes, formando al menos dos altos niveles aterrizados en las laderas de los valles de los ríos Coya y Cachapoal. Incluye además bancos de arenas decimétricos.

En menor proporción, pero presentes en la mayoría de la base de las pequeñas quebradas, se reconocen Depósitos Aluviales de Piedemonte y Quebradas (PIHq), del Pleistoceno-Holoceno correspondientes a sedimentos ubicados al pie de las laderas, en quebradas y cursos de agua menores o efímeros, que forman conos de deyección. Están compuestos por bloques, gravas, arenas y en menor cantidad por limos no consolidados. Las partes al inicio del abanico presentan mayor granulometría que las partes distales del depósito. En algunos casos incluyen depósitos de flujos de detritos. Estos depósitos se encuentran aledaños a las localidades de El Rincón de Totihue y La Pimpinela.

Depósitos Aluviales de Valle (PIHav), también del Pleistoceno-Holoceno, y que corresponden a sedimentos acumulados en las partes más bajas de la Depresión Central, y se diferencian de los PIHa gracias a modelos de elevación digital (en Godoy et al., 2009). Se conforman principalmente por gravas, arenas, limos y arcillas. No se reconocen localidades pobladas de la comuna de Requínoa en esta unidad.

Entre los depósitos más recientes del área de estudio, se reconocen Depósitos Fluviales (Hf), asociados a la llanura de inundación actual del río Cachapoal y los esteros Codegua y La Cadena, compuestos por bolones y gravas no consolidadas, redondeados a bien redondeados, de baja esfericidad, ocasionalmente imbricadas, clasto soportado, polimícticos y con intercalaciones esporádicas de arenas y limos.

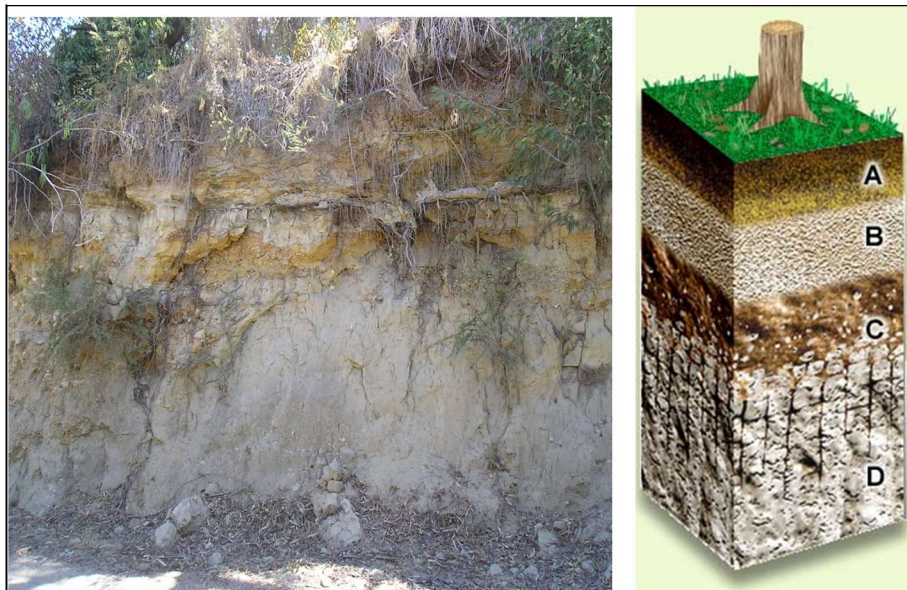
En la Figura anterior, también se reconocen, en menor proporción, Depósitos Coluviales (Hc) del Holoceno, compuestos por fragmentos angulosos de rocas, decimétricos, mal seleccionados, ubicados principalmente al pie de acantilados.

2.5. Suelos

Los suelos, junto con el agua, cubren gran parte de la superficie terrestre de nuestro planeta, y su presencia es fundamental. Los suelos son una mezcla de materia mineral, materia orgánica, aire y agua, y se originan por la descomposición y desagregación de rocas en superficie. Cuando el producto de la descomposición de las rocas permanece en el lugar de origen se les llama suelos residuales. Cuando esto no ocurre, se les llama suelos transportados.

El actuar de agentes ambientales, genera desagregación de la roca, en un proceso llamado meteorización. Este proceso genera distintos horizontes de roca meteorizada o “suelo”, según se muestra en la Figura (Horizonte A: descomposición de materia orgánica; Horizonte B: zona de acumulación de arcillas y óxidos de hierro; Horizonte C: capa inferior del suelo, sobre la roca sólida no meteorizada. Se compone de trozos de rocas sueltas, ligeramente meteorizados; Horizonte D: Roca madre).

Dependiendo de factores ambientales (clima, vegetación, relieve, entre otros) y características propias de los materiales (dureza, presencia de grietas y fracturas, etc.), se generarán o no los distintos horizontes, y con potencias variables.



Fuente: <http://www.efn.uncor.edu>. Fotografía obtención propia 2018

En el caso del área de estudio, se reconocen tanto suelos residuales como suelos transportados, predominando estos últimos debido a la naturaleza de los depósitos que rellenan el valle.

Desde una escala provincial, podemos definirlos como suelos de origen aluvial ligeramente profundos, de topografía plana, con o sin microrelieves, dentro del abanico aluvial asociado al río Cachapoal. Son suelos de color pardo grisáceo muy oscuro a pardos, de textura franco arcillo limosa a franco limosa. El drenaje de los suelos es bueno, la permeabilidad es rápida y el escurrimiento superficial lento. La capacidad de uso de suelo predominante en la superficie del valle central de la comuna corresponde a clase III, es decir, tienen aptitud agrícola, y requieren de prácticas moderadas de conservación y manejo (Aliaga, 2017).

2.5.1. 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: 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. En uso se necesitan prácticas de manejo simples para mantener su productividad y conservar su fertilidad natural.

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.

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.

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.

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: 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, alto contenido de sales.

Clase VII: Son suelos con limitaciones muy severas que la hacen inadecuada para los cultivos. Su uso fundamental es forestal y para pastos resistentes.

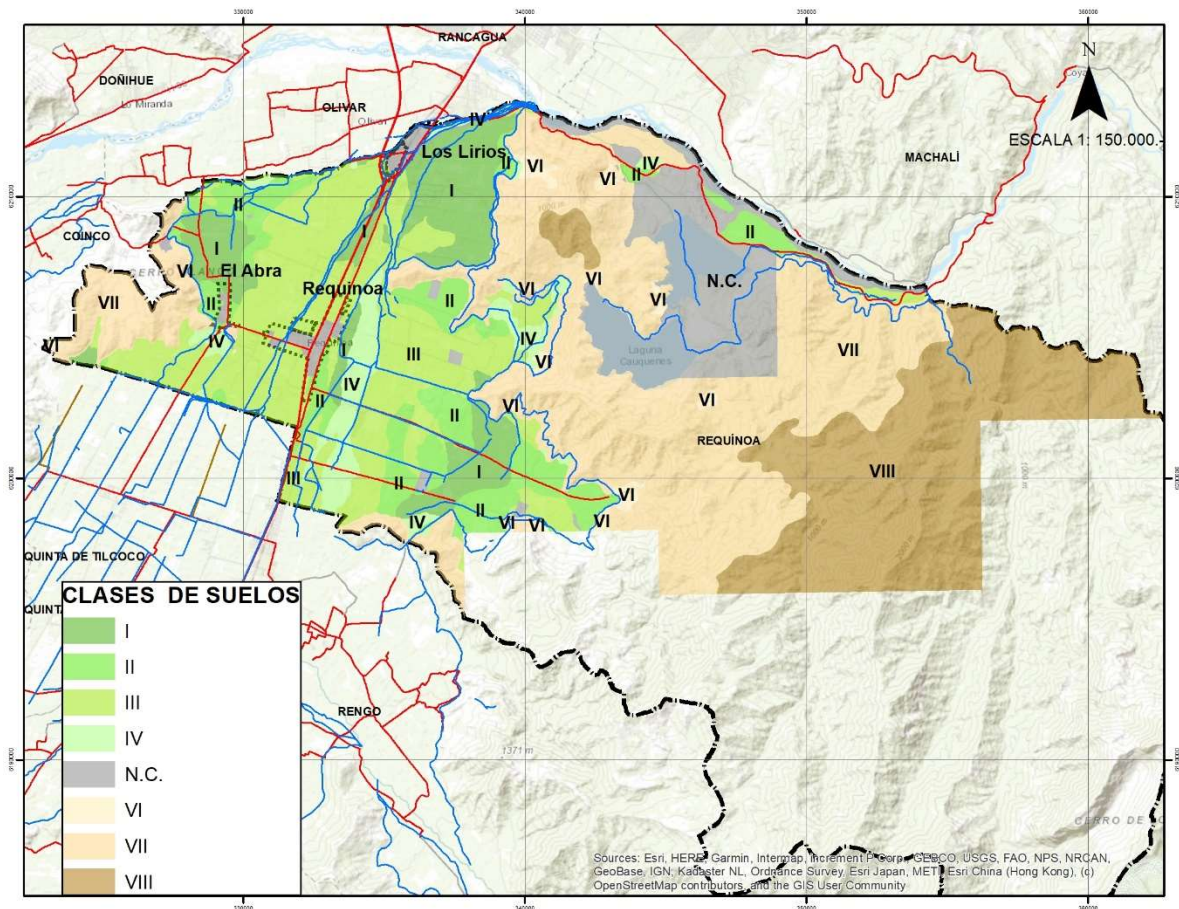
Clase VIII: Corresponden a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación y protección de hoyas hidrográficas

Tabla 6 Superficie clases de suelo Requinoa

CLASE	HECTAREAS	%
I	3129,3	9,18%
II	3142,4	9,22%
III	6762,2	19,84%
IV	1365,4	4,01%
N.C.	4186,3	12,28%
VI	475,7	1,40%
VII	12857,6	37,72%
VIII	2170,4	6,37%
TOTAL	34089,3	100,00%

Fuente: Ciren 2010

Figura 13 Clases de suelo comuna de Requinoa



Conclusiones

Los suelos de importancia agronómica clases I, II y III, se localizan en la unidad geomorfológica del Valle Central, representan un 38% de la superficie total catastrada y sumado a los suelos clase IV llegan al 42% de los suelos catastrados de la comuna. De las restantes clases de suelo destaca en superficie la clase VII con un 37% de la superficie catastrada y corresponde a las serranías de la cordillera de la costa en el sector poniente de la comuna y a las serranías de la precordillera en el sector oriente.

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

En la comuna de un total de 13 usos de suelos catastrados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), 3 de ellos concentran más del 75% de la superficie comunal, ellos son Bosque Nativo con un 46%, seguido de Terrenos de uso agrícola con 19% y Nieves con 15%.

Un uso importante desde la perspectiva de los riesgos lo constituye la plantación joven o recién cosechada (1%) dado que su localización en pendientes sobre 15° puede ocasionar problemas de erosión.

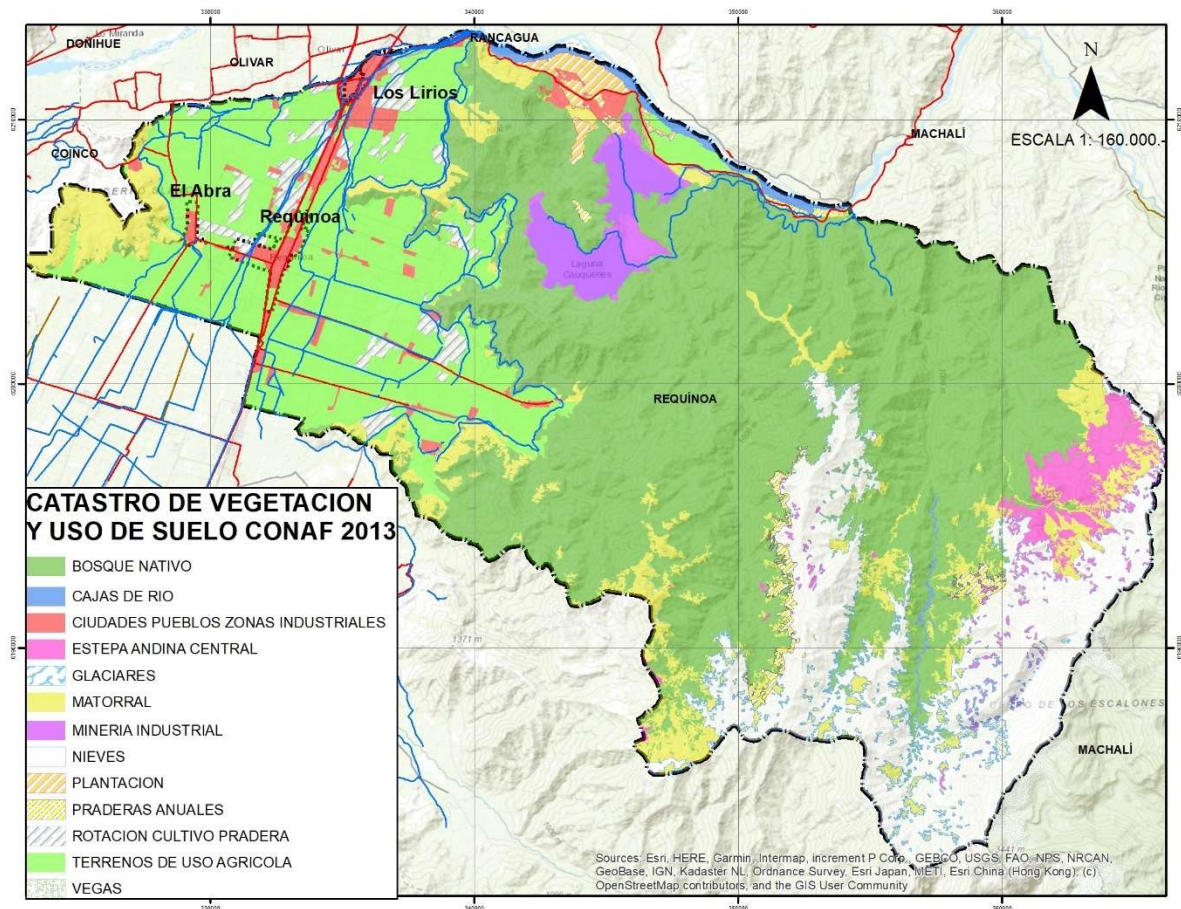
En general las localidades en estudio se encuentran rodeadas de “Terrenos de uso agrícola”, localizados en terrenos preferentemente planos, siendo parte importante de la base productiva comunal.

Tabla 7 Catastro de vegetación y uso de suelo Conaf 2013

USO DE TIERRAS	HECTAREAS	%
BOSQUE NATIVO	30992,2	46%
CAJAS DE RIO	485,8	1%
CIUDADES PUEBLOS ZONAS INDUSTRIALES	1602,5	2%
ESTEPA ANDINA CENTRAL	1584,9	2%
GLACIARES	3,4	0%
MATORRAL	5848,1	9%
MINERIA INDUSTRIAL	1694,7	3%
NIEVES	9954,9	15%
PLANTACION	560,3	1%
PRADERAS ANUALES	582,3	1%
ROTACION CULTIVO PRADERA	1360,7	2%
TERRENOS DE USO AGRICOLA	12620,5	19%
VEGAS	100,6	0%
TOTAL	67390,9	100%

Fuente: Conaf

Figura 14 Catastro de vegetación y uso de suelo Comuna de Requinoa

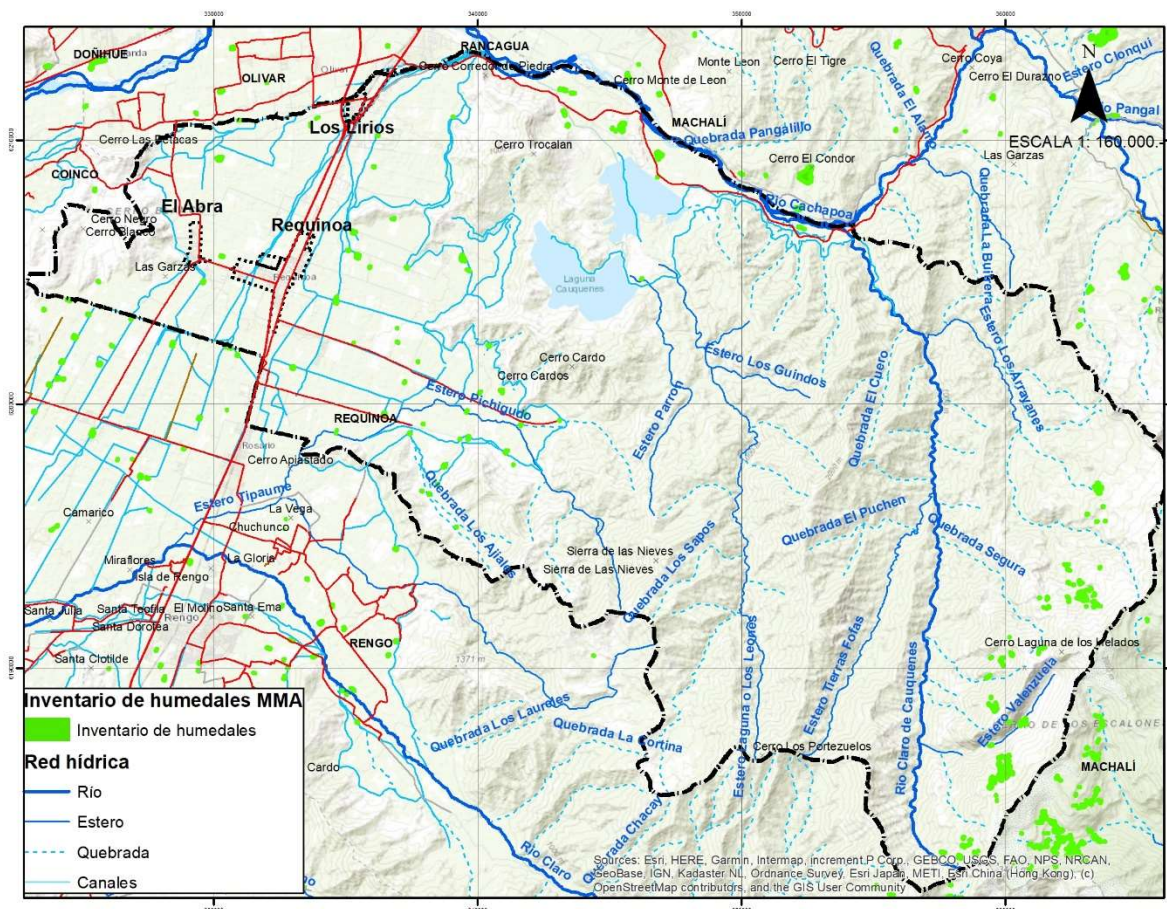


Fuente: Conaf

2.6.1. Inventario de humedales ministerio de medio ambiente

Del inventario de humedales elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente, se obtiene que, en la comuna de Requinoa, se localizan principalmente en el sector precordillerano, sector sur del Río Cachapoal y en menor medida en el sector del valle central. Cabe considerar que no se localizan humedales de acuerdo con el presente inventario en las áreas urbana y de extensión urbana, como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 15 Inventario de humedales Ministerio de Medio Ambiente



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

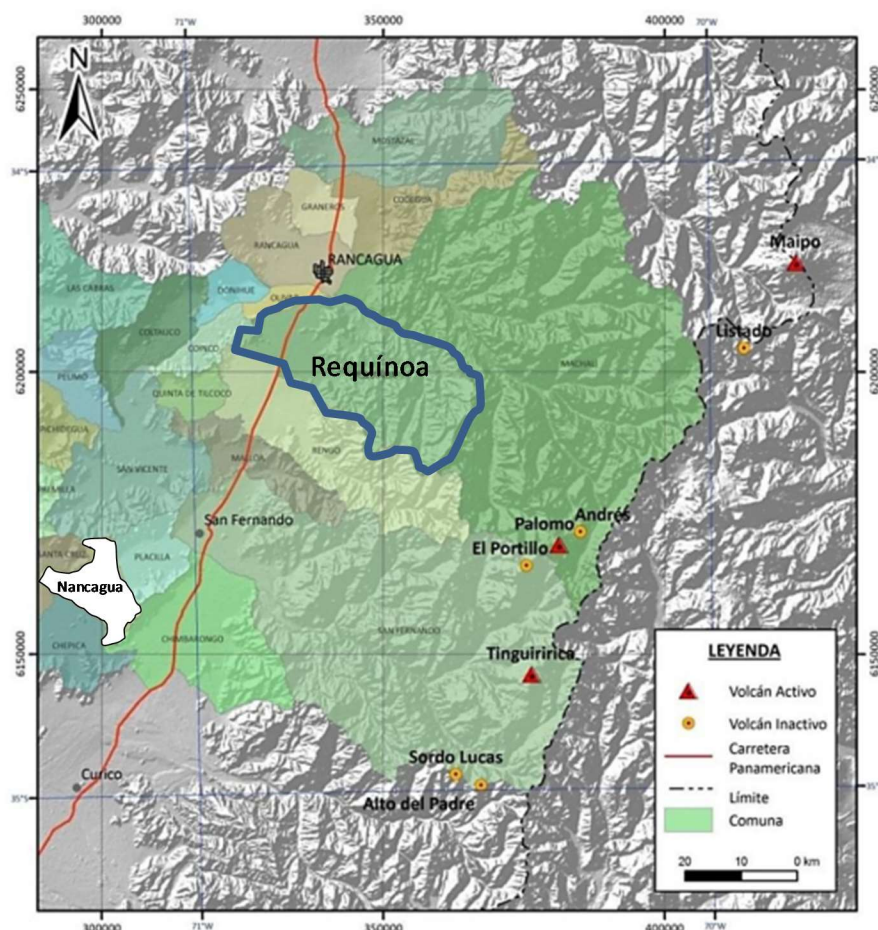
2.7. Volcanismo

2.7.1. Peligro Volcánico

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. 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.

De acuerdo a la información geológica, en la región se encuentran los complejos y centros volcánicos Andrés, Palomo, El Portillo y Tinguiririca (PROT. 2012), de los cuales se consideran activos el Volcán Palomo y el complejo Volcánico Tinguiririca. La Figura a continuación muestra la ubicación referencial de los volcanes en la comuna, destacándose la comuna de Requinoa.

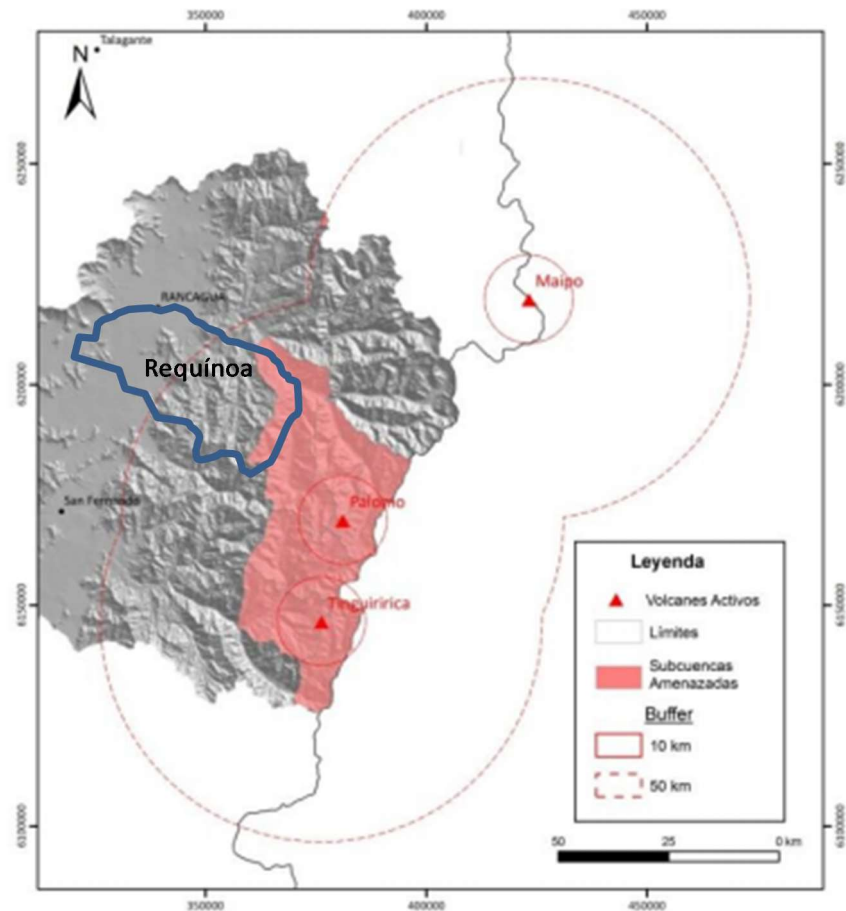
Figura 16 Imagen del Mapa ubicación de los volcanes del área de estudio



Fuente: PROT, 2012

En el estudio del peligro volcánico del PROT (2012), se evalúan los distintos productos de un evento eruptivo, así como los eventos asociados, definiéndose en cada caso límites y zonas con niveles de peligro. A partir del estudio de peligros volcánicos desarrollado para el PROT, la comuna de Requínoa se observa que la parte distal al este (lejos de los centros poblados) se encontraría potencialmente afectada por volcanismo.

Figura 17 sub cuencas amenazadas por peligro volcánico



Fuente: PROT, 2012.

El estudio del PROT 2012, considera asociados al proceso eruptivo en sí en zonas proximales a los volcanes, y la evaluación de posibles eventos de tipo lahares en las zonas más distales, con un buffer de 50 kilómetros (Figura anterior). En ambos casos, la comuna se encuentra potencialmente afectada por lahares en su parte este, y hasta el límite de la zona precordillerana en Requínoa. El SERNAGEOMIN, a través del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) monitorea la actividad del volcán Tinguiririca, el cuál posee un registro históricos (crónicas mencionan actividad eruptiva en 1779 y 1830), además de la última erupción que habría ocurrido en 1917, momento a partir del cual ha presentado una constante actividad fumarólica en la muralla NW del cráter de la cima del Tinguiririca. (<https://www.sernageomin.cl/volcan-tinguiririca>). Los resultados expuestos permiten sostener que la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins está sólo moderadamente expuesta a los peligros volcánicos. En efecto, los volcanes de la región resultan más propensos a iniciar erupciones de baja magnitud y excepcionalmente de magnitud moderada, con baja probabilidad de escenarios asociados a erupciones mayores. En esas condiciones, los peligros declarados se concentran en la zona proximal (radio de ca. 12 km) y consisten básicamente en el escurrimiento de lavas, dispersión de piroclastos balísticos en el radio interno de 3-5 km y generación de lahares.

2.8. Sismos

2.8.1. Sismos y Licuefacción de Suelos

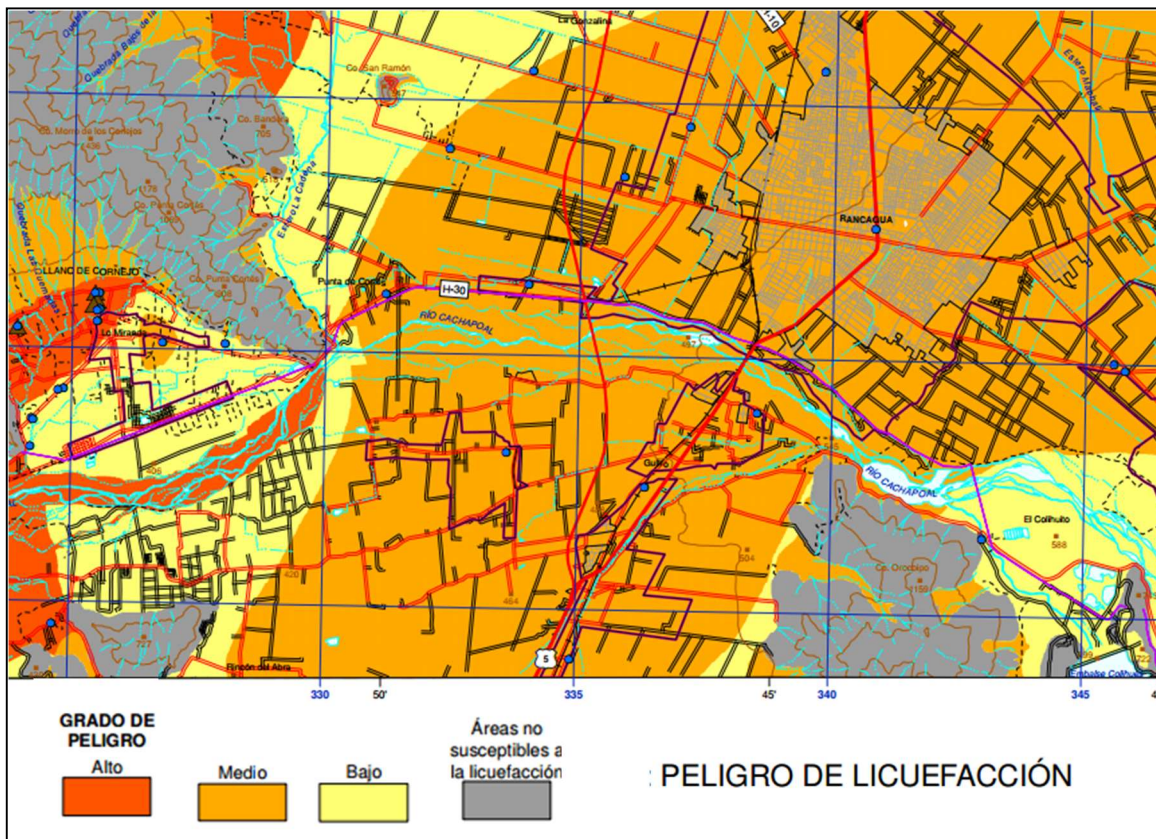
Si bien los Sismos no se consideran como amenaza dentro de la OGUC (artículo 2.1.17), y en las Normas Chilenas de Construcción se incorporan parámetros de peligro sísmico, dada la importancia que estos tienen en fenómenos colaterales (como la licuación de Suelos), se hace referencia a ellos.

La Región del Libertador General Bernardo O'Higgins ha sido afectada tanto por sismos con epicentros lejanos como por sismos con epicentros en su territorio. El sismo de mayor magnitud en ésta región ocurrió cerca del Embalse Rapel, en marzo de 1985, y tuvo una magnitud $M_s=7.5$. Numerosos sismos mayores a 5 grados Richter se registraron el año 2010, probablemente asociados al gran terremoto ocurrido en febrero de ese año en la costa de la Región del Maule.

Fenómenos de licuefacción se registraron durante el terremoto del Maule de 2010. La licuefacción es un fenómeno que ocurre cuando suelos poco profundos, saturados de agua y no cohesivos, son sometidos a vibraciones, generalmente asociadas a terremotos, perdiendo la resistencia al corte y comportándose como un fluido (Alfaro et al., 2017). La licuefacción se genera, principalmente, en sedimentos finos, como arenas y limos saturados de agua y ubicados, usualmente, cerca de ríos, bordes marinos o lacustres u otros cuerpos de agua, o bien, en aquellos sectores donde existe un nivel freático muy superficial. La licuefacción también sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos ubicados donde antes existieron lagos o lagunas (en Alfaro et al., 2017). Producto de la licuefacción se generan grandes daños (a edificios, líneas vitales y obras de infraestructura en general).

Fenómenos de Licuefacción después del terremoto del 27F 2010, se observaron principalmente en el margen occidental de la depresión Central, rinconadas de Graneros, Doñihue y Lo Miranda. Hacia el este se observaron desplazamientos laterales en Machalí. Debido al tipo de suelo y al estado somero del nivel freático en el margen oeste de la depresión Central, en especial en las localidades de Llanos de las Ánimas, Chancón, Loma Larga, cajón Santa Elena y Doñihue, el peligro de licuefacción es alto y mayor que en el resto de la zona de estudio (Ver Figura a continuación, del Mapa de Peligro de Licuefacción de Suelos del estudio del Sernageomin Geología para el Ordenamiento Territorial de la VI Región (Alfaro et al., 2017).

Figura 18 Imagen del Mapa de Peligro de Remociones en Masa.



Fuente: Alfaro et al. 2017. Geología para el Ordenamiento Territorial área Rancagua.

Como se observa en la Figura, la parte de la Comuna de Requínoa que cubre el estudio (como Los Lirios, Rincón del Abra y Requínoa) se encuentran en zonas con Moderado Peligro de Licuefacción, disminuyendo a bajo a los pies de los cerros (al este y oeste) y hasta zonas no susceptibles a la licuefacción, como las zonas rocosas (cerros al oeste y al este). El estudio del Sernageomin “Geología para el Ordenamiento Territorial área Rancagua” se recomienda tener especial cuidado en el tipo de edificaciones críticas (hospitales, puentes, obras hidráulicas mayores, etc.), y aquellos sectores con mala respuesta sísmica se deberá contar con estudios geológico-geotécnicos del terreno que permitan establecer el comportamiento dinámico del suelo y la aplicación de medidas de mejoramiento del subsuelo.

3. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LOS RIESGOS ANALIZADOS

3.1. Riesgo y susceptibilidad

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

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

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

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

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

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

3.2. Remociones en masa

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

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

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

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

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

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

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

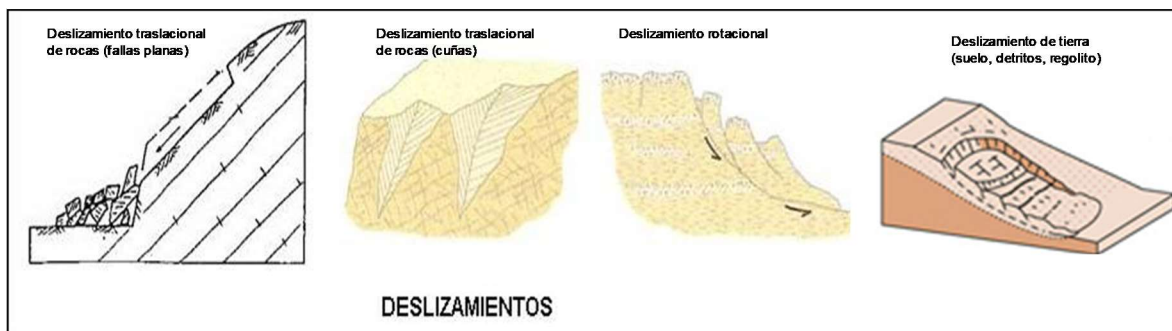
Figura 19 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



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 (Hungry, 2014). Ver Figura a continuación.

Figura 20 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

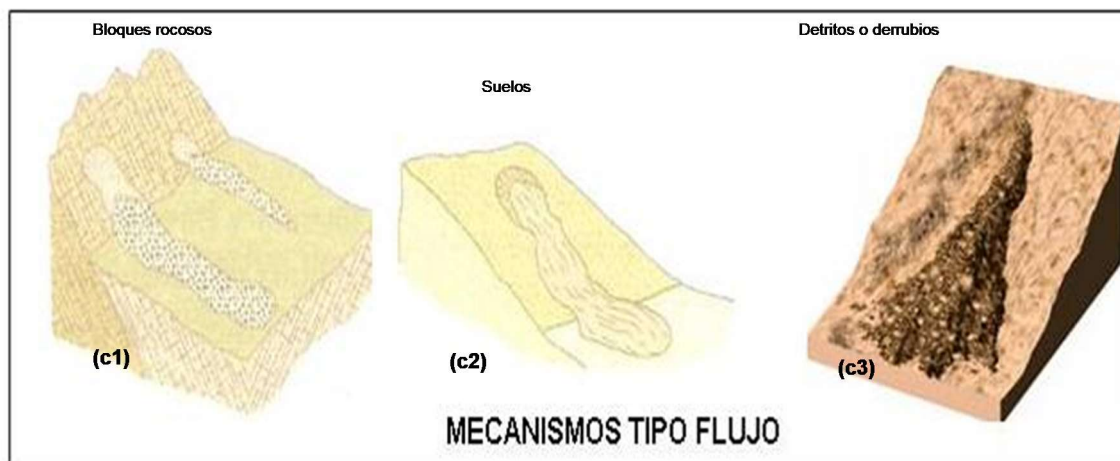


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

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 por un lado de 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 21 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, se consideran los siguientes (basados en trabajos de Hauser, 1993; González de Vallejo et al., 2002; Lara, 2007; Muñoz, 2013):

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

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

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

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

Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas: El agua, tanto en superficie como por debajo de ella, condiciona en forma directa e indirecta la generación de remociones. La forma y distribución de sistemas de drenaje en superficie, así 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 y 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 cambia 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; 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.

3.3. Inundaciones

3.3.1. Inundación por desborde de cauce

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 morfométricas que están presentes (alturas, forma, pendiente media, superficie), al desarrollo del sistema de drenaje (densidad, frecuencia y jerarquía de la red hídrica), y a la capacidad de retención hídrica de la cuenca, aspectos todos ellos que influyen en la torrencialidad, la velocidad de respuesta, el tiempo de concentración, y el volumen de los caudales.

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

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

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

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

Perennes : ríos o esteros con cuencas que abarcan grandes áreas y que tienen sus cabeceras en zonas cordilleranas. Aunque no presenten necesariamente una escorrentía superficial continua, se consideran como perennes dado que la mayoría del flujo escurre en el acuífero ubicado bajo la superficie. Estos presentan cauces de gran extensión, bien definidos, con diferentes niveles de terrazas fluviales, y fácilmente identificables a partir del análisis estereoscópico de fotos aéreas. Las terrazas más altas generalmente desocupadas por actividades agrícolas o asentamientos humanos.

Intermitentes : Esteros y quebradas de escurrimiento temporal como consecuencia directa de precipitaciones intensas. En general, algunas de estas quebradas pueden presentar amenaza por fenómenos de remociones en masa del tipo flujos de detritos, existiendo una estrecha relación entre estos fenómenos e inundaciones por escorrentía torrencial de gran velocidad. Como se explicará posteriormente, los flujos de detritos, al perder su carga sólida, van transformándose paulatinamente en inundaciones torrenciales. Normalmente no existen estaciones fluviométricas en estos cauces, por lo que la estimación de caudales máximos se debe hacer con modelos matemáticos y estadísticas de precipitaciones máximas de gran intensidad.

3.3.2. Inundación por anegamiento

La inundación por anegamiento se define como formas de acumulación de aguas de lluvia sobre el terreno, y oteando hacia la causalidad, por lo general en este caso también existe una situación de desbalance, la cual se da entre el volumen de la lluvia precipitada en un determinado lapso de tiempo y la capacidad de evacuación de un suelo dado, tanto horizontal como verticalmente.

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

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

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

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

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

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

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

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

- Pueden resultar afectados terrenos que no habían sufrido este problema;
- La suma de estas aguas provenientes de diferentes sectores, lo cual requiere de ciertas condiciones topográficas favorables, puede elevar sustantivamente la cota de anegamiento en algún sector agravando la situación;
- En su camino pueden encontrarse con un cauce y vaciarse en él, lo cual puede ser la solución para un sector, pero puede provocar problemas aguas abajo al generar un superávit hídrico en dicho cauce y su desborde.

3.4. Incendios

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

Sin embargo, en ciertas áreas del mundo, los rayos también han ocasionado incendios, contribuyendo al desarrollo de algunas formaciones vegetales, eliminando individuos sobremaduros, estimulando la semillación, abriendo espacios y creando condiciones para la regeneración natural. Pero este no es el caso de Chile, donde toda la vegetación es sensible al fuego y en la cual el daño no sólo es su quema y destrucción, sino que, además, afecta al suelo, a la fauna, al aire, al ciclo del agua y, en general, al entorno del ser humano y en ocasiones a las propias personas (<http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>).

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

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

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

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

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

Por su parte, el peligro de incendios forestales se identifica con las condiciones ambientales que permitirán que se inicie y propague el fuego ocasionado por alguien. La principal condición ambiental es la presencia de vegetación que pueda arder, o sea el combustible. Otras condiciones ambientales que determinan el peligro de incendios forestales son las condiciones meteorológicas y la topografía. Para determinar el grado de peligro de incendios forestales, se combinan factores ambientales (fijos y variables), que determinan la probabilidad de inicio de incendios forestales y el posterior comportamiento del fuego. Entre los factores fijos, que no cambian o que lo hacen muy lentamente, están la topografía, es decir si el terreno es plano o con laderas de fuerte pendiente que favorecerá la propagación del fuego, y algunas características de la vegetación, por ejemplo, la cantidad, el tamaño de vegetación y las especies vegetales presentes.

4. METODOLOGIA

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

El Plan regulador vigente, reconoce las siguientes áreas de riesgos, siendo ZR3, la de interés para el desarrollo de este estudio.

- Área de riesgos PRC Vigente
 - ZR3 Resguardo de acueducto y Canales de Regadío
 - ZNV Nudo Vial a estudiar
 - ZR6 Zona Futura Seccional a Requínoa

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

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

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

- **Metodología General del Estudio**

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

Los pasos metodológicos aplicados se describen a continuación:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Superposición de las distintas cartas temáticas**

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

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

4.1. Inundación por desborde de cauces y anegamiento

Inundación

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

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

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

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

Inundación por anegamiento

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

4.2. Remoción en masa

El riesgo de remoción en masa considera los deslizamientos y flujos de detritos, rocas y barro. Las áreas asociadas a este tipo de riesgo se definen en función de antecedentes históricos y recientes de ocurrencia, de valores de pendiente en relación con umbrales potenciales de desencadenamiento de procesos, del grado de erosión 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:

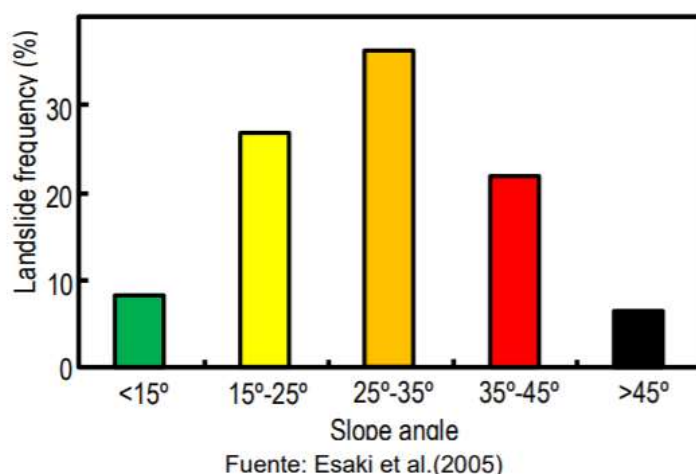
Diversos autores señalan que uno de los principales factores que determina la generación de remociones en masa es la pendiente de las laderas (Esaki, et al., 2005; Giraud & Shaw, 2007). Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles, se utilizó la información compilada a partir de diversas fuentes que han generado catastros de deslizamientos en distintos lugares del mundo. Esaki et al. (2005) y Giraud y Shaw (2007), así como otros catálogos de deslizamientos, indican que la mayor frecuencia de deslizamientos en el mundo se observa sobre pendientes de 25° a 35° de inclinación (Figura 5.2-1), relacionado principalmente al ángulo de fricción interno del material, siendo también frecuentes entre los 15° y 25° y sobre los 35° de pendiente. Luego, las pendientes del terreno pueden ser utilizadas como criterio para una clasificación general del territorio frente a potenciales deslizamientos.

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

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

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

Figura 22 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Cálculo de pendientes

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

4.3. Zonificación de la susceptibilidad

Para definir los criterios que permitan incorporar los peligros naturales dentro de la zonificación urbana, es necesario tener claros los criterios utilizados en la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. En este sentido, en la siguiente tabla se resumen los factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y los elementos metodológicos con los que se asignó la distribución espacial de la susceptibilidad, los que son descritos precedentemente.

Es muy relevante comprender que la categorización de susceptibilidad se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno dado en un área determinada, pero corresponde a una categorización cualitativa, de carácter relativo, y no cuantitativa.

Pese a que el concepto de susceptibilidad no contempla la cuantificación de períodos de retorno, ni probabilidades de ocurrencia, sí estipula niveles que indican de manera relativa la frecuencia con que ocurre un cierto fenómeno. En este sentido, las zonas de ‘muy alta’ susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir un evento del peligro analizado, las zonas de ‘alta’ susceptibilidad serán aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y las de ‘moderada’ susceptibilidad se asocian a eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero si otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas. Por otra parte, mientras la magnitud de un evento sea más intensa, se producirán daños mayores, pero los daños serán más importantes en la medida que mayor sea la susceptibilidad del territorio. En consecuencia, se recomienda que, mientras mayor sea la susceptibilidad de un área específica, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

Tabla 8 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad

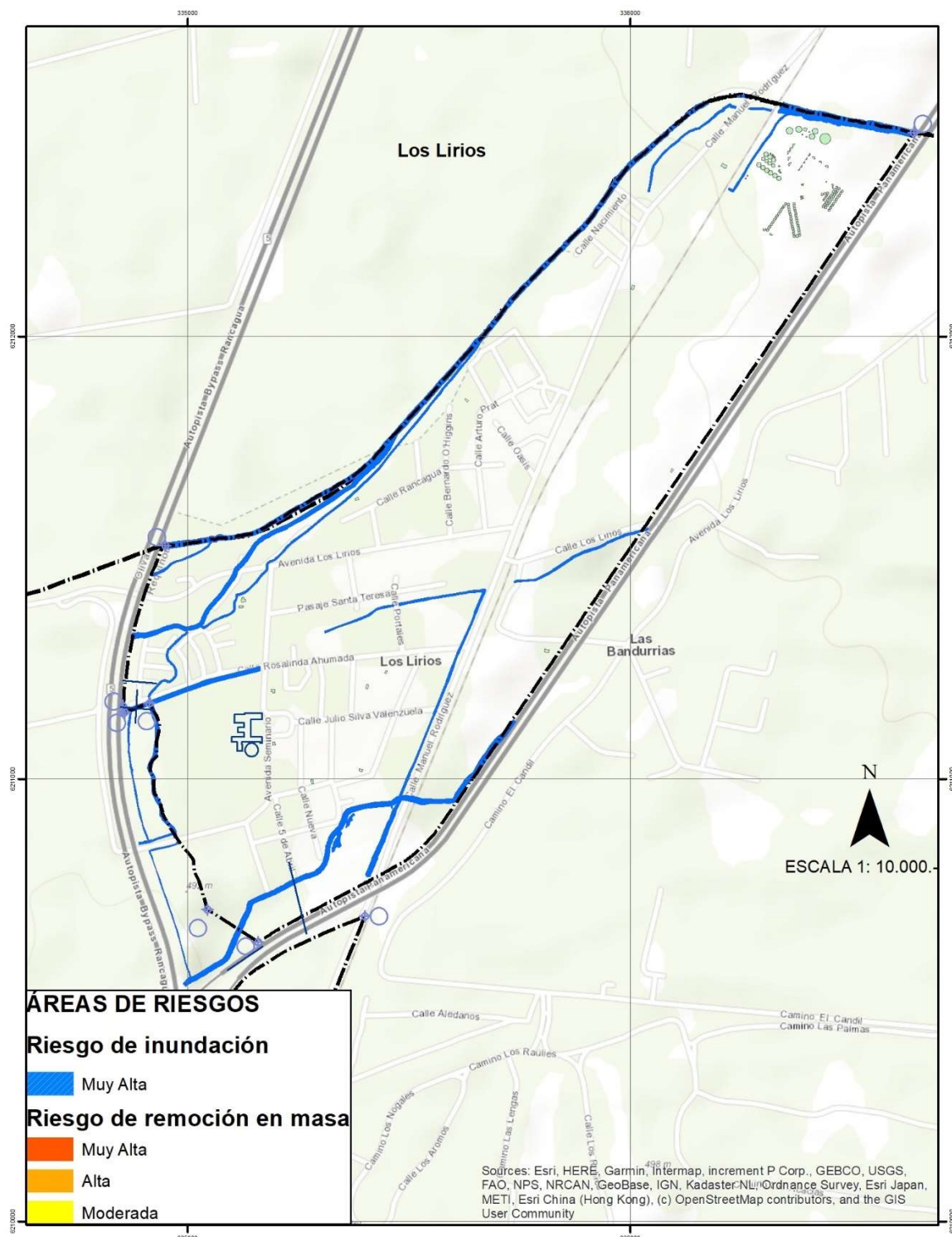
Peligro	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
Inundaciones por desborde de cauce	- Características morfológicas de la red de drenaje	- Lluvias intensas	- Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Observaciones de terreno - Estudios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

Fuente: Elaboración propia

5. RESULTADOS DE ÁREAS DE RIESGO NATURAL Y ANTRÓPICO

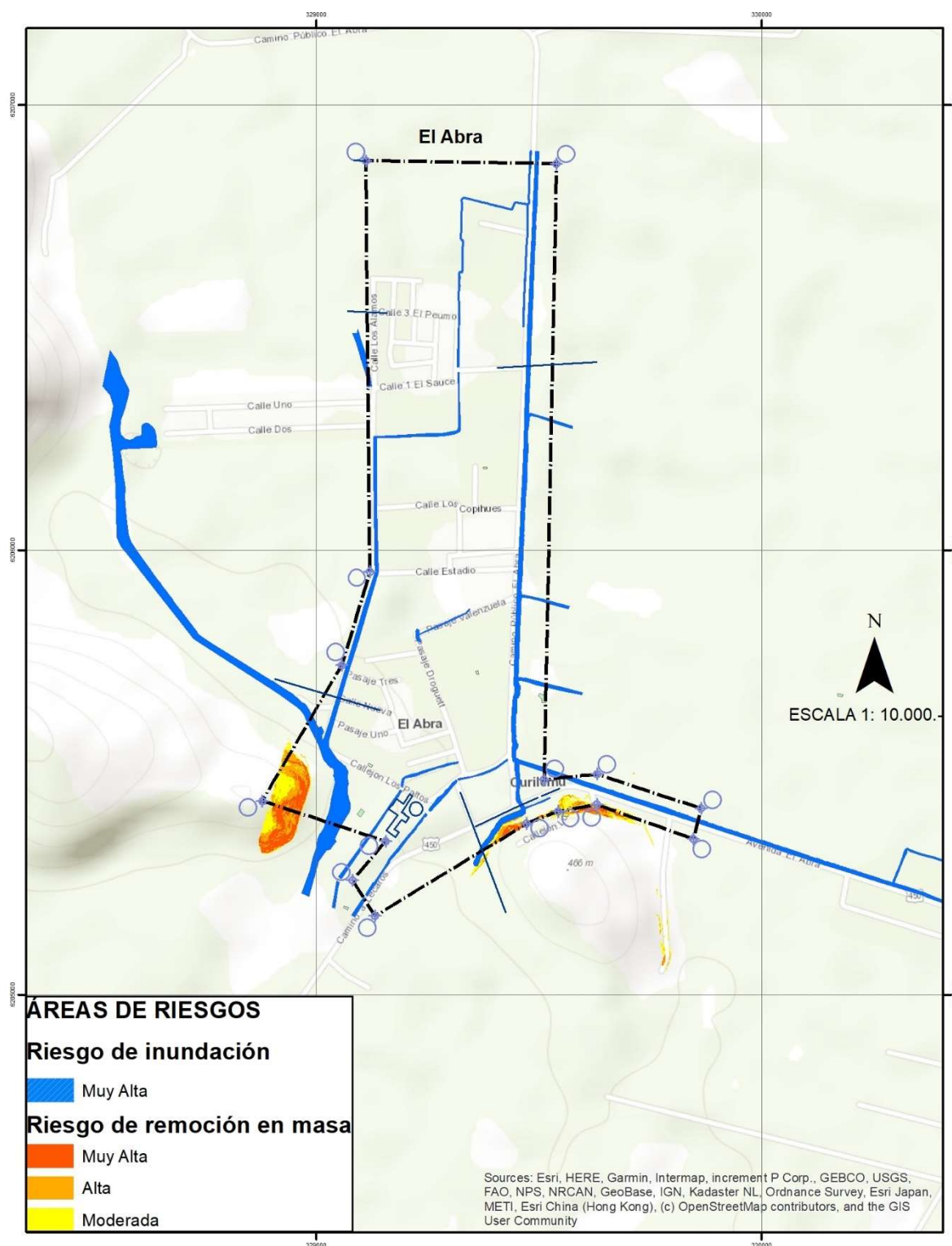
A partir de la superposición de información y análisis de los antecedentes, se identificaron áreas de riesgo (o zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de alguna amenaza), que permitirá actualizar el Plan Regulador comunal, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso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

Figura 23 Áreas de riesgo Localidad de Los Lirios



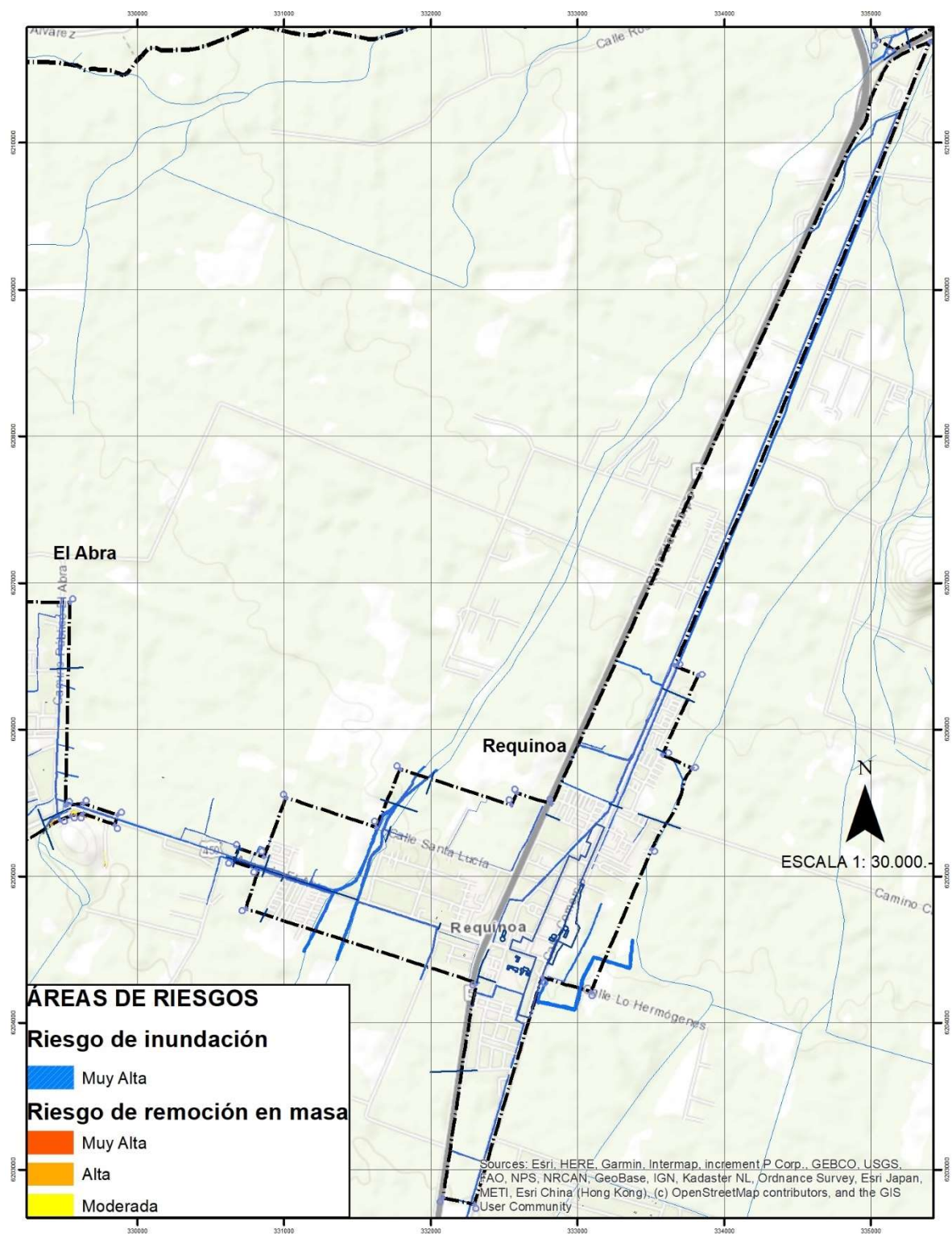
Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Áreas de riesgo Localidad de El Abra



Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Áreas de riesgo Localidad de Requinoa



Fuente: Elaboración propia

6. ZONAS NO EDIFICABLES

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

Tabla 9 Zonas no edificables

TEMA	ORDENAMIENTO JURIDICO
Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos	artículo 56 del D.F.L. No 1 de Minería, de 1982, y en los artículos 108° al 111° del Reglamento SEC: NSEG 5En.71, “Instalaciones de Corrientes Fuertes”
Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos	Código de Aguas, D.F.L. No.1.302, de 1990.
Territorios afectados por las superficies limitadoras de obstáculos que determine la Dirección de Aeronáutica Civil en los terrenos aledaños a Aeropuertos o Aeródromos.	Código Aeronáutico, aprobado por Ley No 18.916, de 1990, del Ministerio de Justicia, D.O. del 18/02/1990.
Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles	Ley General de Ferrocarriles, D.S. No 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.
Fajas de resguardo de los Caminos Públicos Nacionales	artículo 56 de la LGUC, y según lo señalado en los Artículos 36 y 40 del DFL 850 (MOP) del 12 de septiembre de 1997, D.O. del 25 de febrero de 1998
Resguardo de las infraestructuras energéticas de oleoductos, gasoductos, poliductos	D.S. No 160 de 2008 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, D.O. del 7 de Julio de 2009, que aprobó el Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento, Refinación, Transporte y Expendio al público de combustibles líquidos derivados del petróleo.”
Fajas o terrenos de protección de cursos naturales de agua, manantiales y quebradas, terrenos, de acuerdo a la Ley de Bosques	Ley de Bosques, Decreto Supremo N° 4.363 del Ministerio de Tierras y Colonización, de 1931 (D.O. del 31/7/31), y fajas de terrenos colindantes a los cauces de ríos cuya delimitación se encuentra sujeta a lo previsto en el D.S. N° 609, de 1978 (D.O. del 24/1/79)
Faja de 25 metros en torno a las áreas de inhumación, no edificable con viviendas	Reglamento General de Cementerios, D.S. N° 357 de 1970, del Ministerio de Salud (D.O. del 18/06/70), y demás normas pertinentes
disposición de residuos domiciliarios no peligrosos (vertederos)	Resolución N° 02444 del Ministerio de Salud (1980)
Fajas no edificables en torno a Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas	su ancho y condiciones de ocupación serán determinados en los respectivos servicios competentes.

Fuente: Elaboración propia

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

7.1. Áreas de protección del recurso de valor natural.

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

7.2. Áreas de protección del recurso de valor cultural

En el territorio del Plan se identifican 1 Monumento Histórico, reconocido por el Consejo de Monumentos Nacionales, los que se detalla a continuación.

Tabla 10 Área de valor cultural

Nombre	Categoría	Decreto	Año
CASAS PATRONALES DEL FUNDO LOS PERALES	Monumento histórico	Decreto N° 351	1995

Fuente: CMN

8. CONCLUSIONES

Las áreas de riesgos de remoción en masa, se localizan en la Localidad de El Abra y corresponde a sectores con pendientes sobre 15° , en laderas de los cerros circundantes. En estos sectores se sugiere uso de suelo de área verde o en su defecto uso residencial de baja densidad.



La siguiente fotografía muestra el sector de las serranías con altas pendientes y con susceptibilidad de procesos de deslizamientos y caída de rocas



Respecto de las áreas de inundación, corresponden en las tres localidades a desbordes de cauces por aumento de caudal o por la obstrucción de los mismos. Cabe señalar que los cauces que intersectan las localidades corresponde a infraestructura de riego, con regulación de caudal y con uso en época estival. Estos cursos de agua deben cerrar sus tomas de agua en el mes de mayo y ser activadas en el mes de septiembre. En invierno estos cauces cumplen la función de evacuar las aguas lluvias del valle. En estos sectores de inundación, que corresponden a su cauce principal y a su terraza adyacente se sugiere un uso de suelo de área verde, que es compatible con las funciones que prestan y con los servicios de limpieza anual que en ellos se realiza.

En el sector de El Abra, existe una importante red de canales de regadío cuya mantención y limpieza permite apoyar la evacuación de las aguas lluvias, como se muestra en la siguiente imagen, esta presenta un cauce despejado y con mantención.



En el caso de Los Lirios, cuenta con una importante red de canales con orientación norte sur y oriente poniente, estos últimos incorporados en el sistema de áreas verdes, permitiendo su mantención y normal funcionamiento.



Respecto de la localidad de Los Lirios, en su limite sur y poniente es surcada por el estero rio seco, su cauce pronunciado y pendiente permiten un fluido drenaje.



En sectores más deprimidos de la localidad y que cuentan con urbanización existes colectores de aguas lluvias para evacuar el agua acumulada en el sector como se aprecia en la siguiente figura.



9. BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, A.; Falcón, M.F.; Arenas, M.; Garrido, N.; Espinoza, M.C.; Gajardo, A.; Cervetto, M.; Valdés, A.; Aliaga, G.; Opazo, E.; Ramírez, P.; Neira, H.; Carrasco, R. 2017. Geología para el Ordenamiento Territorial: área de Rancagua, región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, No. 29: 109 p., 9 mapas escala 1:100.000, 1 CD con anexos. Santiago.

Aliaga, G. 2016. Caracterización Geoquímica de los Suelos en la Cuenca de Rancagua (34°S – 34.5°S y 70°30'O – 71°O). Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 146 p.

Araya-Carcedo, F.; Olcina J. 2002. Riesgos Naturales. Editorial Ariel S.A., 1512 pp.

Beck, S.; Barrientos, S.; Kausel, E.; Reyes, M. 1998. “Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone”, Journal of South American Earth Sciences, 11, 2, pp. 115-129.

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.

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.

Charrier, R.; Lillo, F. 1973. Geología Regional y Geoquímica del drenaje de las Provincias de O'Higgins y Colchagua. Instituto de Investigación de Recursos Naturales. Santiago – Chile. 81p.

Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75.

Falcón, M.; Ramírez, P. 2012. Generación de Mapas de Licuefacción a partir del sismo de febrero de 2010. Servicio nacional de Geología y Minería.

Falcón, M.; Ramírez, P. 2012. Licuefacción en Chile: lecciones del sismo del Maule del 27 de febrero de 2010. Servicio nacional de Geología y Minería.

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

Fock, A.; Lara, L. 2006. Deslizamientos holocenos en la cuenca del Cachapoal Chile central. In Congreso Geológico Chileno, No. 11, Actas 2: 47-50. Antofagasta.

Godoy, E., Schilling, M., Solari, M., Fock, A. 2009. Geología del Área Rancagua San Vicente de Tagua Tagua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica. 118: 50 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson. 744pp.

Keller, E.; Blodget, R. 2004. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.

Hauser A, 1985. Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. Revista Geológica N°24 1985, p.75-92.

Hauser, A. 1990. Carta Hidrogeológica de Chile. Hoja Rancagua. VI Región. Servicio Nacional de Geología y Minería. 76 p., 1 Mapa Escala 1:250.000.

Hauser, A. 2000. Remociones en masa en Chile. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN, Boletín N° 59.

Hungr, O.; Evans, S.; Bovis, M.; Hutchinson, J. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides (2014) 11:167–194.

Lara, L.; Orozco, G.; Amigo, A.; Silva, C. 2011. Peligros Volcánicos de Chile. Carta Geológica de Chile N°13 escala 1:2.000.000. Serie Geología Ambiental. Servicio Nacional de Geología y Minería. IUSNN 0717-7305.

Lara, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 212 p.

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. 21 pp.

Lomnitz, C. 1959. Investigaciones gravimétricas en la región de Chillán. Santiago. Instituto de Investigaciones Geológicas. 6pp.

Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255 Sismicidad de Chile.

ONEMI. 2009. Informe Consolidado N°1. Sismo destructivo del 03 de marzo de 1985. División de Protección Civil. Unidad de Riesgos de Origen Natural. 21pp.

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.

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

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

SERNAGEOMIN. Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile.

SERNAGEOMIN. 2010. Efectos Geológicos del sismo del 27 de febrero 2010. Evaluación preliminar y propuesta de actividades futuras. INF-NAC-01. 16 pp.

SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000.

Servicio Nacional de Geología y Minería. 2013. Geología para el Ordenamiento Territorial y la Gestión Ambiental en el área de Rancagua, Región del Libertador Bernardo O'Higgins. SERNAGEOMIN, Informe Registrado IR-13, 98 p., 18 mapas escala 1:100.000. Santiago.

Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT). Diciembre 2012. Informe Etapa II – Componente Riesgos. Gobierno de Chile. División de Planificación y Ordenamiento Territorial.

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

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

Otras Fuentes:

- www.csn.uchile.cl/ Centro Sismológico nacional. Sismos y sismicidad en Chile.
- www.bcn.cl/siit/nuetropais/
- <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>
- Pauta para estudio de suelos. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Gobierno de Chile 2011.
- <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/areas-protegidas/>