



**ESTUDIO FUNDADO DE RIEGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE SANTA CRUZ
VERSIÓN PRELIMINAR 2023**



**ALEJANDRO VELIS CABELLO
GÉOGRFO**

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	6
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.....	13
2.2.1. Hidrogeología.....	18
2.3. Geomorfología	24
2.3.1. Geomorfología Regional	24
2.3.2. Geomorfología Local.....	26
2.4. Geología	27
2.4.1. Geología Regional	27
2.4.2. Geología Local.....	28
2.5. Suelos.....	31
2.5.1. Clases de capacidad de uso de suelo	31
2.6. Vegetación y usos de suelo.....	34
2.6.1. Inventario de humedales ministerio de medio ambiente.....	35
2.7. Volcanismo.....	36
2.7.1. Peligro Volcánico	36
2.8. Sismos.....	39
2.8.1. Sismos y Licuefacción de Suelos.....	39
3. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LOS RIESGOS ANALIZADOS	40
3.1. Riesgo y susceptibilidad.....	40
3.2. Remociones en masa	41
3.3. Inundaciones.....	46
3.3.1. Inundación por desborde de cauce.....	46
3.3.2. Inundación por anegamiento.....	47
3.4. Incendios.....	48

4. METODOLOGIA.....	50
4.1. Inundación por desborde de cauces y anegamiento	52
4.2. Remoción en masa	52
4.3. Zonificación de la susceptibilidad	53
5. RESULTADOS DE ÁREAS DE RIESGO NATURAL Y ANTRÓPICO.....	55
6. ZONAS NO EDIFICABLES	56
7. ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL	
57	
7.1. Áreas de protección del recurso de valor natural.	57
7.2. Áreas de protección del recurso de valor cultural	57
8. CONCLUSIONES	58
9. BIBLIOGRAFÍA.....	59

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En el contexto de la Licitación Pública Estudio: “Actualización Plan Regulador Comuna de Santa Cruz”, 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.

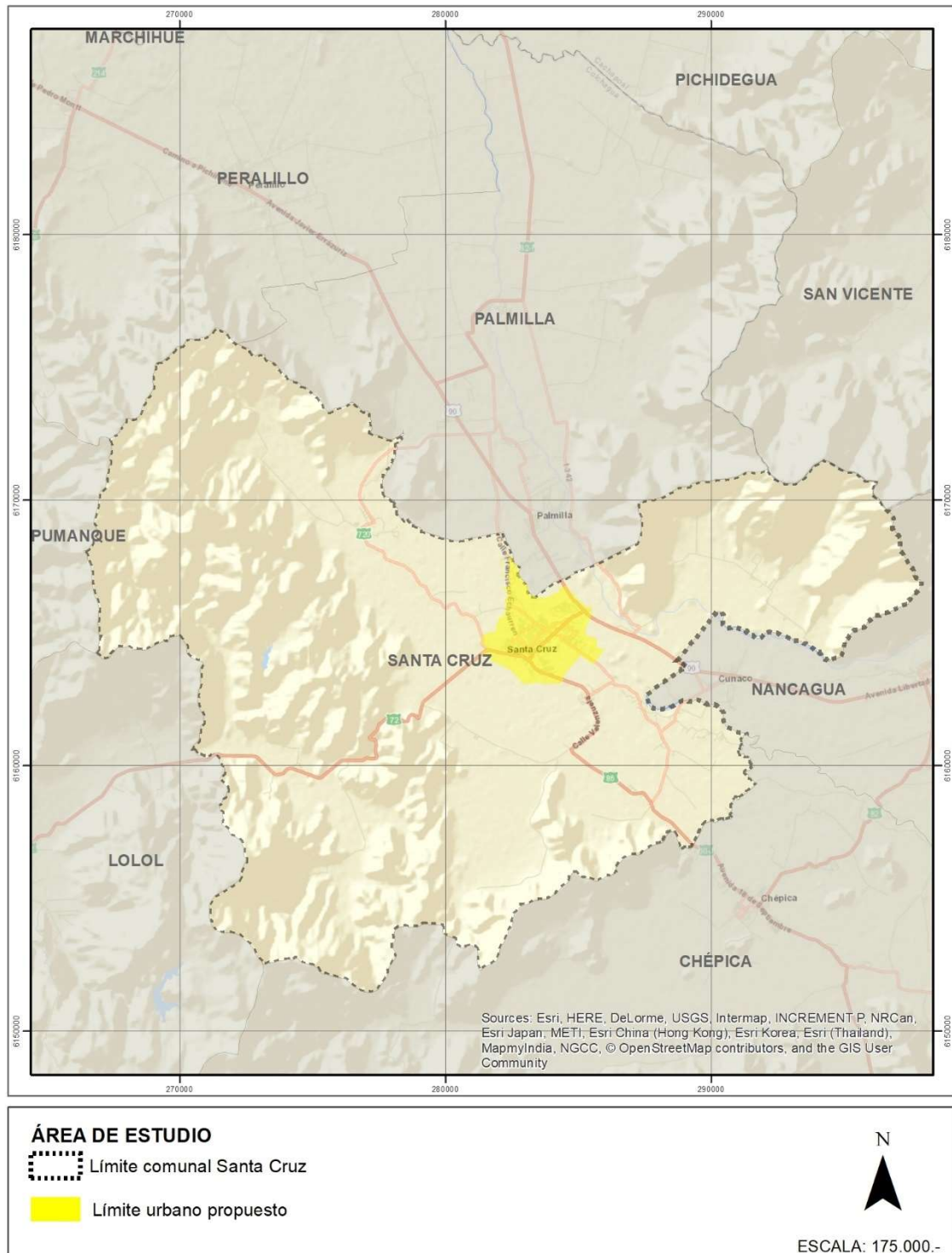
Los objetivos específicos de este estudio consisten en:

- 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 la Ciudad de Santa Cruz, Provincia de Colchagua, de la Región de O’Higgins. Considerando el área urbana propuesta en el estudio Plan Regulador Intercomunal de Tinguiririca, as 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

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.

"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 Santa Cruz 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 13-6-1: Santa Cruz

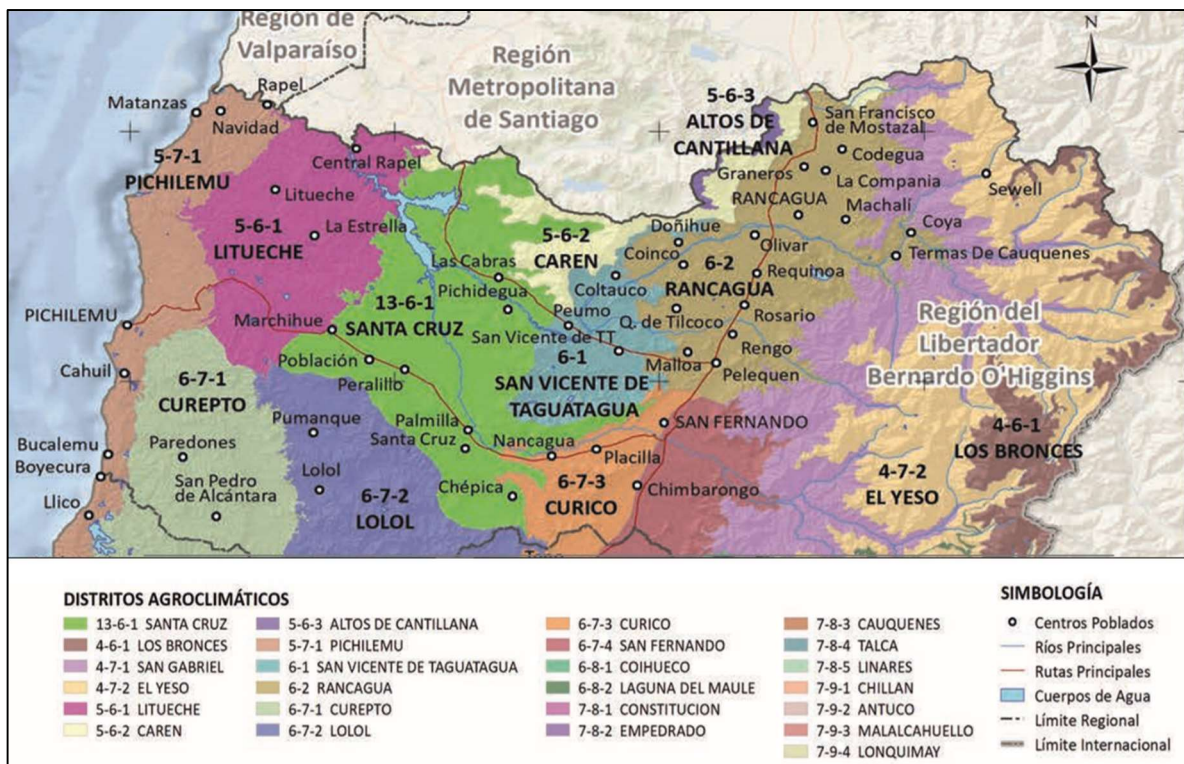
- Templado cálido supratermal con régimen de humedad semi árido (Csb2Sa)
- Altitud media aproximada: 522 msnm

La temperatura varía entre un máximo de enero de 30.2 °C (máx de 32 °C y mín de 29,2 °C dentro del distrito) y un mínimo de julio de 4.8 °C (máx de 5.7 °C y mín de 4.1 °C dentro del distrito). Tiene un promedio de 263 días consecutivos libres de heladas. En el año se registra un promedio de 8 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 9 meses. Registra anualmente 1.873 días grado y 544 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio.

La precipitación media anual es de 562 mm y un período seco de 7 meses, con un déficit hídrico de 1.076 mm/año. El período húmedo dura 4 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 157 mm.

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

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 Santa Cruz 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	PPA	TXE	TNE	TXJ	TNJ	Temed	Tjmed	PPA	PPA 50	PPA 50
								MIN	MAX		50	50	50	50	50	50	50	MIN	MAX
Santa cruz	413	27,1	10,3	11,7	3,3	17,8	7,1	697	MIN	MAX	50	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.

Las precipitaciones del área de estudio fueron obtenidas del Estudio de Preinversión Mejoramiento Pasadas Urbanas Ruta 90 (ex I-50) Región del Libertador Bernardo O'Higgins y complementadas con antecedentes de la estación Millahue (DGA)

Los datos pluviométricos, analizados en el citado estudio, corresponden a precipitaciones máximas en 24 horas anuales de la estación de Pichidegua. Esta estación fue escogida por encontrarse aledaña a la zona de estudio, siendo representativa de las condiciones pluviométricas de la zona de estudio.

El emplazamiento geográfico de la estación utilizada en este estudio puede observarse en la siguiente tabla. Los datos de las precipitaciones máximas para 24 horas se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 2 Ubicación estación pluviométrica

Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud m.s.n.m.	Período Información
Pichidegua	34°17'	71°24'	110	1979-2011

Fuente: Elaboración Propia en base a datos de la DGA

Tabla 3 Precipitaciones Máximas en 24 hrs estación Pichidegua

Año	Precipitación Máxima en 24 horas [mm]	Año	Precipitación Máxima en 24 horas [mm]
1979	66,00	1996	34,00
1980	78,00	1997	81,00
1981	50,00	1998	32,00
1982	60,00	1999	69,50
1983	50,00	2000	131,90
1984	54,00	2001	76,50
1985	39,00	2002	101,00
1986	95,00	2003	84,00
1987	73,00	2004	42,00
1988	26,00	2005	52,30
1989	50,00	2006	64,80
1990	55,00	2007	41,00
1991	54,00	2008	65,00
1992	96,00	2009	61,00
1993	48,00	2010	42,00
1994	70,00	2011	37,00
1995	44,00		

Fuente: Estudio de Preinversión Mejoramiento Pasadas Urbanas Ruta 90 (ex I-50) Región del Libertador Bernardo O'Higgins

Respecto de las precipitaciones máximas en 24 hrs, del periodo de 33 años de análisis tenemos que existen 16 años en los cuales las precipitaciones máximas en 24 hrs son superiores a 60 mm, considerado como un elemento detonante de desbordes de cauces naturales en la zona central del país. Este tipo de fenómeno se asocia a la alternancia de los fenómenos meteorológico del "Niño" y "La Niña", los principales causantes de los eventos de inundaciones.

Precipitaciones máximas anuales en 24 horas

Para complementar la información de las precipitaciones máximas anuales en 24 hrs, se obtuvieron datos 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 40 años (1982 a 2022), para la estación de Millahue (Cachapoal bajo) en la comuna de Santa cruz

En la siguiente tabla se detallan los registros de los 40 años consultados, destacándose valores sobre 60 mm en las primeras décadas consultadas. 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 resecaamiento por ausencia de lluvias, generándose un microfracturamiento superficial propicio para la generación de flujos ante la presencia de lluvias repentinas e intensas

Tabla 4 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas estaciones de Millahue (1982-2022)

AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)
1982	26/06	105,00
1983	20/06	76,00
1984	03/07	99,00
1985	02/07	53,00
1986	16/06	90,50
1987	14/07	91,50
1988	19/06	40,00
1989	22/08	98,00
1990	16/07	67,00
1991	18/06	80,00
1992	05/05	120,00
1993	26/06	85,00
1994	26/04	88,00
1995	29/04	87,00
1996	11/06	57,00
1997	21/06	112,00
1998	10/09	50,00
1999	30/08	80,00
2000	13/06	126,00
2001	28/08	100,00
2002	25/05	109,80
2003	14/06	69,00
2004	12/07	108,00
2005	26/08	70,00
2006	05/06	105,00
2007	12/07	49,00
2008	21/05	77,00
2009	05/09	79,90
2010	17/06	55,00
2011	13/04	75,00
2012	26/05	143,40
2013	03/07	87,50
2014	02/05	58,60

AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)
2015	06/08	77,30
2016	13/07	61,30
2017	22/06	57,40
2018	28/05	70,00
2019	11/06	50,00
2020	18/06	85,00

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 arida.

2.2. Hidrografía

Debido al clima de la zona, la actividad agrícola requiere de riego entre los meses de septiembre a mayo, siendo los meses de mayor demanda de agua : diciembre, enero y febrero.

Para este efecto, se construyó una extensa red de canales de regadío que captan sus aguas principalmente desde el río principal de la cuenca, a saber: río Tinguiririca y su afluente el estero Chimbarongo. Este último cauce cuenta en su cabecera con el embalse "Convento Viejo", el cual regula las aguas de ese cauce y es alimentado principalmente con las aguas del Río Cordillerano de la VII Región Teno.

La distribución de las aguas de riego es administrada por la Junta de Vigilancia del río Tinguiririca y la Junta de vigilancia del estero Chimbarongo.

Los canales principales y troncos están organizados en Asociaciones de Canalistas.

A continuación se mencionan los canales del área:

Canales Del Río Tinguiririca De La Ribera Izquierda en Dirección Aguas Abajo

A-Canal Tronco Unificado Rinconada – Manantiales Y San José San José De Peñuelas

B-La Isla

C-Turbino

I-Canal Peral

J-Canal Polloni-Cervatillo Y Zamorano-Jaramillo

K-Santo Domingo

M-Bolbarán

N-Nancagua

Ñ-Unificado Cunaco- San Gregorio

Pa-Canal Palmilla

Da1ch- Descarga De Canal Del Estero Chimbarongo.

Cm-Canal Los Maquis

Canales Del Río Tinguiririca De La Ribera Derecha en Dirección Aguas Abajo

D-Calabozo

F-Parcela Uno

G-Comunero Cáceres

H-Comunero Pedro Donoso

O-Molino De Yaquil

P-Hacienda De Yaquil

Ap1-Toma Apalta N°1

Ap2-Toma Apalta N°2

Md-Millahue Y Demasías

Cmh-Canal Manzano-Higuerillas

Hcm-Canal Huicano

Estero Chimbarongo- Ribera Izquierda

1-Molino San Luis

2-Salinas Y Cerro

3-San Antonio Y El Cuadro

5-Auquinano

6-Comunidad

8-Santa Cruz Y Población

9-Canal Colchagua

10-Canal Los Cardos

Estero Chimbarongo- Ribera Derecha

4-San José De Toro

7-Sucesión Cabello

Se elaboró en base a las planchetas de los siguientes catastros elaborados por la Oficina Ricardo Edwards e ingenieros para la Dirección General de Aguas : "Estudio de Actualización de Catastro de Usuarios de agua para la regularización de sus derechos : Estero Chimbarongo Tributario del río Tinguiririca y "Catastro de Usuarios del Río Tinguiririca y sus Afluentes" y de los planos de trazado de canales y área del embalse Convento Viejo II, el cual se obtuvo en la Biblioteca de la Dirección de Obras Hidráulicas, MOP.

Diagnóstico de la Disponibilidad del Recurso Hídrico.

Debido al clima de la zona, la actividad agrícola requiere de riego entre los meses de septiembre a mayo, siendo los meses de mayor demanda de agua: diciembre, enero y febrero.

a) Aguas superficiales.

La disponibilidad del recurso de aguas superficiales, cabe señalar que la del río Tinguiririca quedó sin disponibilidad para nuevos derechos de aguas superficiales, cuando se otorgó la merced de aguas de todos los sobrantes del río Rapel, para utilizarlos en la construcción del embalse de generación hidroeléctrica del mismo nombre. Esta merced fue otorgada por Resolución DGA N° 323 de 1969. Cabe señalar que antes de la construcción el embalse, el río Tinguiririca era afluente del río Rapel.

Esta situación cambiará en el futuro debido a las siguientes situaciones:

- Implementación de riego tecnificado: El cambiar de riego tradicional, ya sea mediante surcos o tendido, a riegos tecnificados por aspersión, goteo, micro-jet, etc. causa un aumento en la eficiencia del uso del agua tal que, permite aumentar hasta el doble la superficie regada.
- Construcción del embalse Convento Viejo Etapa II, el cual aumentará el recurso hídrico para regar ciertos sectores del Valle. Tal como se mencionó, la disponibilidad de recurso hídrico superficial del área, variará al ejecutarse la Segunda Etapa del Embalse Convento Viejo, ya que se tendrá agua disponible para regar 19.000 nuevas hectáreas en los sectores de Rinconadas, Las Toscas y El Huique. Estos antecedentes están consignados en el documento de presentación a CONAMA del Estudio de Impacto Ambiental del Embalse.

b) Aguas subterráneas

La Dirección General de Aguas (DGA) ha estado estudiando la disponibilidad de Recurso Hídrico Subterráneo en los acuíferos que presentan aumentos de demanda, con la finalidad de sectorizar y determinar en dichos sectores, los caudales máximos de otorgamientos de aguas subterráneas y cuando corresponda cerrar el área para el otorgamiento de nuevos derechos de aguas subterráneas.

En el caso de la cuenca del río Rapel, la cual incluye el área en estudio, la DGA elaboró el Informe S.D.T n° 229 de junio de 2006, que corresponde a la aplicación de un Modelo Hidrogeológico. La cuenca es subdividida en sub-acuíferos, los cuales presenta diferentes situaciones de disponibilidades de recursos hídricos.

El modelo de simulación hidrogeológico, entrega en sus conclusiones el caudal para el cual se presente las siguientes condiciones:

- Que los descensos generalizados del nivel de la napa causen el agotamiento del acuífero, tal que imposibiliten la extracción de aguas subterráneas en dichas zonas.
- Que en un plazo de 50 años, el volumen almacenado del acuífero disminuya en más de 5%.
- Que la explotación cause disminución superior al 10% de los caudales de estiaje de 85% de probabilidad de excedencia en los cursos superficiales que afecte.

Conforme al Artículo 31 de la resolución DGA N° 341, del 2005, que establece las normas de exploración y explotación de aguas subterráneas, cualquiera de las condiciones señaladas precedentemente es causal para declarar el área de restricción.

Los resultados del Informe S.D.T n° 229 para el área en cuestión son los siguientes:

El sector está dividido en dos sub acuíferos: Tinguiririca Inferior, cuyo límite es al Poniente el embalse Rapel y al Oriente la localidad de Santa Cruz. El otro acuífero es denominado Tinguiririca Superior y comprende toda el área del Plan Intercomunal aguas arriba del sub acuífero Tinguiririca Inferior.

Conforme a lo señalado en el Informe S.D.T n° 229, existe disponibilidad para otorgar derechos de aguas subterránea en ambos sectores, pero por valores totales inferiores a 1 m³/seg.

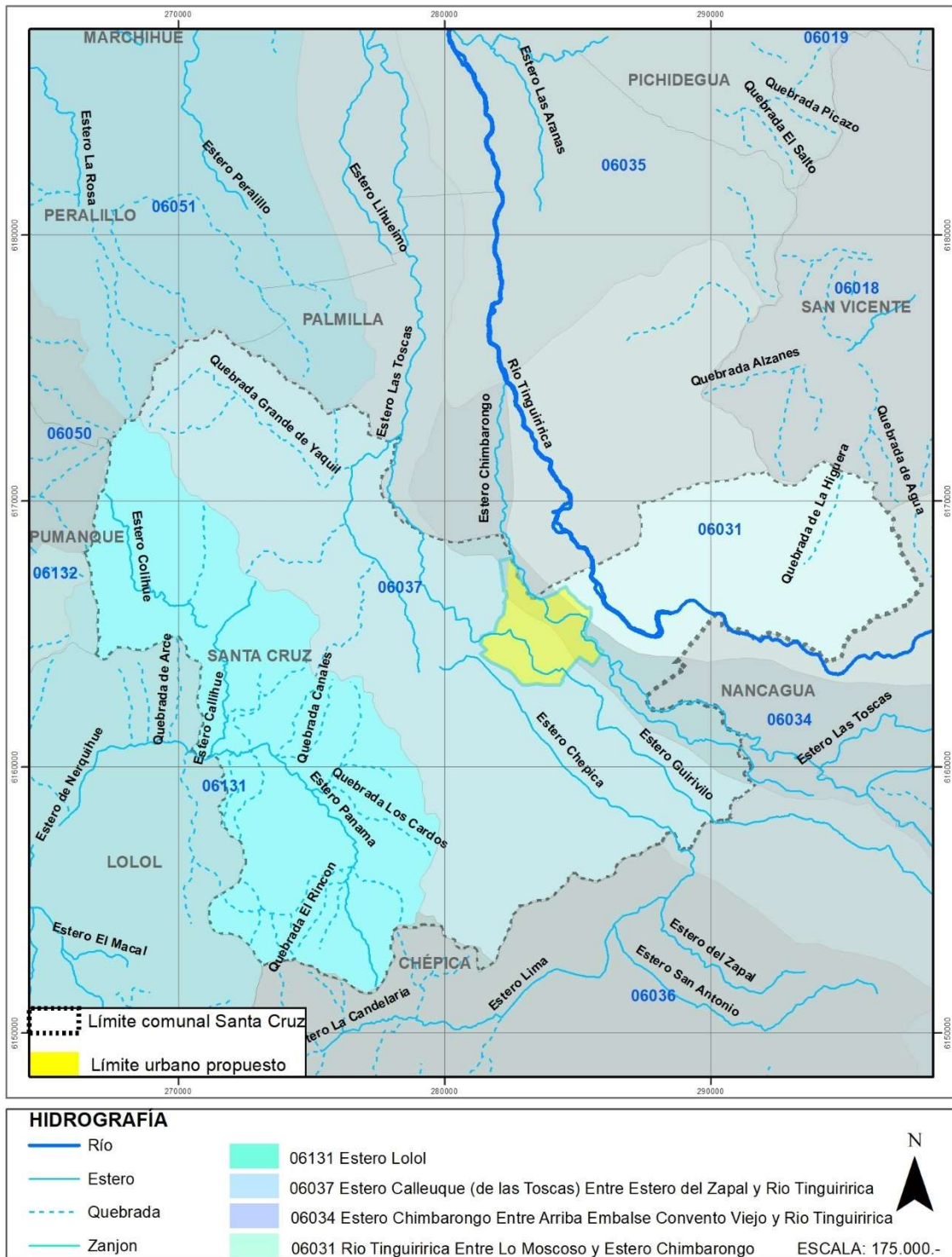
Respecto de las subsubcuencas que se encuentran en la comuna, identifican 4 y estas se distribuyen en función de los cursos de agua principales

Tabla 5 Subsubcuencas comuna de Santa Cruz

Código	Nombre	Superficie en km
06131	Estero Lolol	393,4
06037	Estero Calleuque (de las Toscas) Entre Estero del Zapal y Rio Tinguiririca	311,9
06034	Estero Chimbarongo Entre Arriba Embalse Convento Viejo y Rio Tinguiririca	202,9
06031	Rio Tinguiririca Entre Lo Moscoso y Estero Chimbarongo	197,4

Fuente: DGA

Figura 3 Hidrografía comuna de Santa Cruz



Fuente: DGA

2.2.1. Hidrogeología

Características Generales de la Red Hídrica en el Área de Estudio

La cuenca en que se inserta el Área de Estudio corresponde a la cuenca del Río Rapel, conformado por la subcuencas aportantes de los ríos Cachapoal y Tinguiririca.

El río Tinguiririca se desarrolla en la cordillera de los Andes de la confluencia de los ríos Las Damas y del Azufre, provenientes desde el norte de la cuenca alto andina; a este confluyen los ríos Portillo y San José, asociados a áreas englacadas de la Sierra El Brujo. En la sección de media montaña, en el sector de Puente Negro se incorpora al caudal del Tinguiririca las aguas de la cuenca andina del río Claro, conformando un nivel de terrazas altas conocidas como Isla de Briones. Además de estos cursos principales, existen esteros de origen andino del sector de media montaña, tal es el caso de los esteros Antivero y Chimbarongo.

El estero Chimbarongo, afluente del Tinguiririca, presenta un canal unificado, algo más regularizado sobre todo hacia el sector de la confluencia en que se presenta incidido por en sus terrazas aluviales. El estero Chimbarongo nace en las vertientes del flanco andino que enfrentan el valle, presenta un canal unificado, con algunas difluencias principalmente en sectores planiformes de la depresión carentes de terrazas incididas.

Tal como señalado en párrafos anteriores, la red de drenaje conforma un sistema interactivo y dinámico que resulta muy difícil de compartimentar en unidades administrativas. En este sentido, más que analizar la red a través de las comunas por las cuales drena, se realizará el análisis de cómo cambian los patrones de drenaje y la dinámica de los lechos en función de las variaciones de substrato y de ambiente morfológico.

El ambiente morfológico de la depresión intermedia implica un cambio en el escurrimiento superficial del los cursos fluviales. El río Tinguiririca diseña los territorios comunales de Placilla, Nancagua, Santa Cruz y Palmilla, definiendo el límite nor oriente de Peralillo.

El Estero Chimbarongo, con un marcado patrón meandrante muy homogéneo en todo su curso, salvo por la presencia localizada de difluencias menores; atravesando la comuna de Santa Cruz, hasta confluir en el Río Tinguiririca en la comuna de Palmilla.

Fluviometría

a) Estación bajo Los briones Río Tinguirica

Esta estación se encuentra en el río Tinguiririca, aguas arriba de la confluencia del río Claro, a 518 m s.n.m.

Tal como en la siguiente tabala, esta estación muestra un régimen mixto, pero con mayor influencia nival que pluvial.

En años húmedos, los mayores caudales se producen entre noviembre y enero, producto de deshielos, sin embargo en junio y julio se observan caudales muy importantes, debido a lluvias invernales.

En años secos, disminuye notablemente la influencia pluvial, observándose bajos caudales desde abril a septiembre, momento en el que comienzan a aumentar considerablemente los caudales debido a la influencia nival

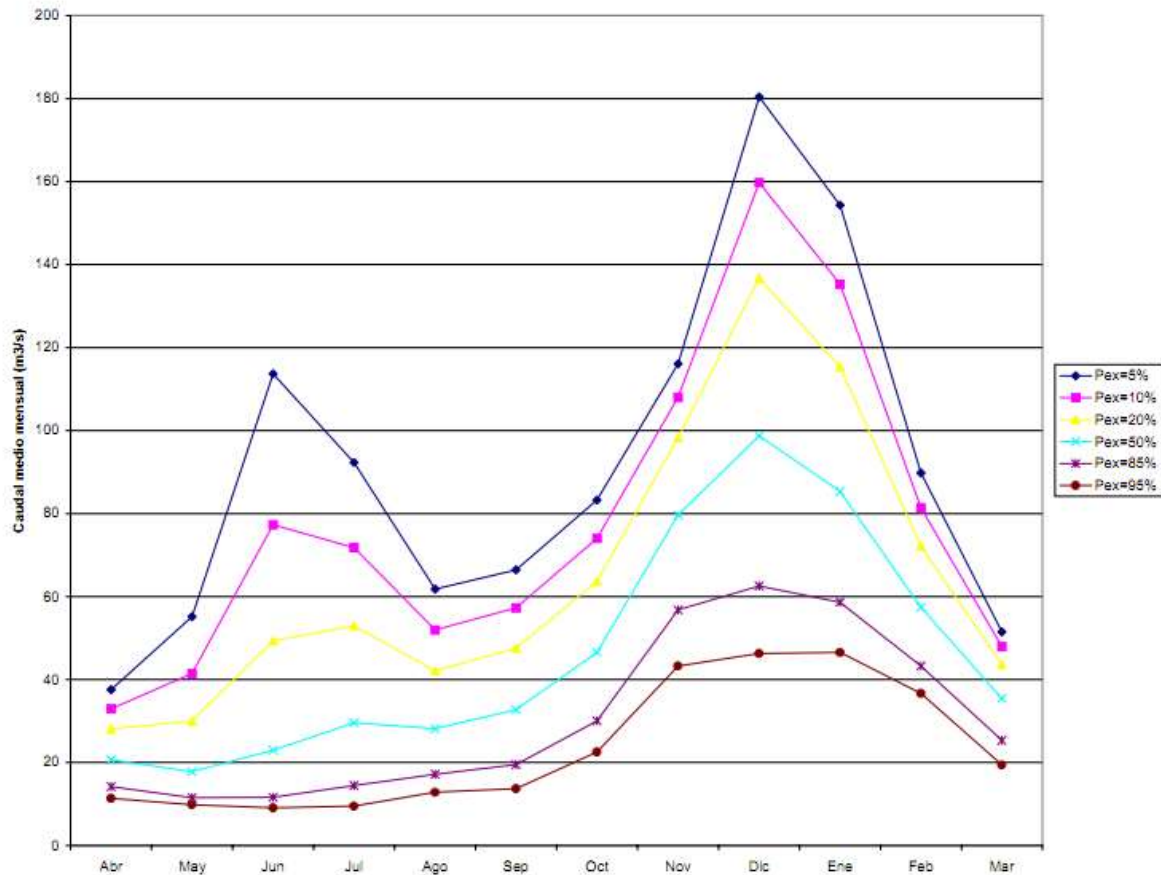
Tabla 6 Estación Bajo los Briones Río Tinguirica (m3/s)

ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE SANTA CRUZ
INFORME ETAPA II "DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS, CONSTRUCCIÓN IMAGEN OBJETIVO"

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	37.587	55.14	113.705	92.306	61.78	66.455	83.258	116.096	180.402	154.34	89.809	51.475
10	32.939	41.413	77.326	71.788	51.93	57.267	74.036	108.052	159.753	135.26	81.349	47.936
20	28.072	29.989	49.379	52.943	42.08	47.583	63.694	98.309	136.705	115.37	72.162	43.648
50	20.68	17.803	22.955	29.585	28.15	32.726	46.551	79.689	98.729	85.329	57.39	35.453
85	14.194	11.507	11.59	14.447	17.16	19.49	30.055	56.753	62.558	58.642	43.284	25.36
95	11.378	9.843	9.076	9.482	12.83	13.667	22.548	43.281	46.293	46.533	36.674	19.431
Dist	L2	L3	L3	L2	L2	L3	G2	N	G2	G	L2	N

Fuente: Diagnostico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca Río Rapel (DGA, 2004)

Figura 4 Curva de variación estacional bajo los Briones Río Tinguiririca



Fuente: Diagnostico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca Río Rapel (DGA, 2004)

Cabe mencionar que esta estación se encuentra en la comuna de san Fernando, es la estación agua arriba, más cercana a Santa Cruz, la otra estación corresponde a los Olmos en la comuna de Palmilla, pero es aguas abajo de Santa Cruz

b) Estación Estero Chimbarongo en Comuna de Santa Cruz

Se encuentra en el estero Chimbarongo, cercana a la ciudad Santa Cruz, antes de la junta con el Río Tinguiririca, a 225 m.s.n.m.

En la siguiente Tabla y figura se observa que esta estación presenta un régimen mixto, ya que presenta sus mayores caudales en los meses de Julio y Diciembre, producto de lluvias invernales y deshielos primaverales.

En años húmedos los mayores caudales se presentan entre junio y septiembre, producto de lluvias invernales, sin embargo entre noviembre y diciembre se producen aumentos de caudales significativos, debido a deshielos. En años secos la influencia nival pierde importancia con respecto a la pluvial. Los mayores caudales se presentan entre junio y septiembre, mientras que los menores ocurren entre enero y abril.

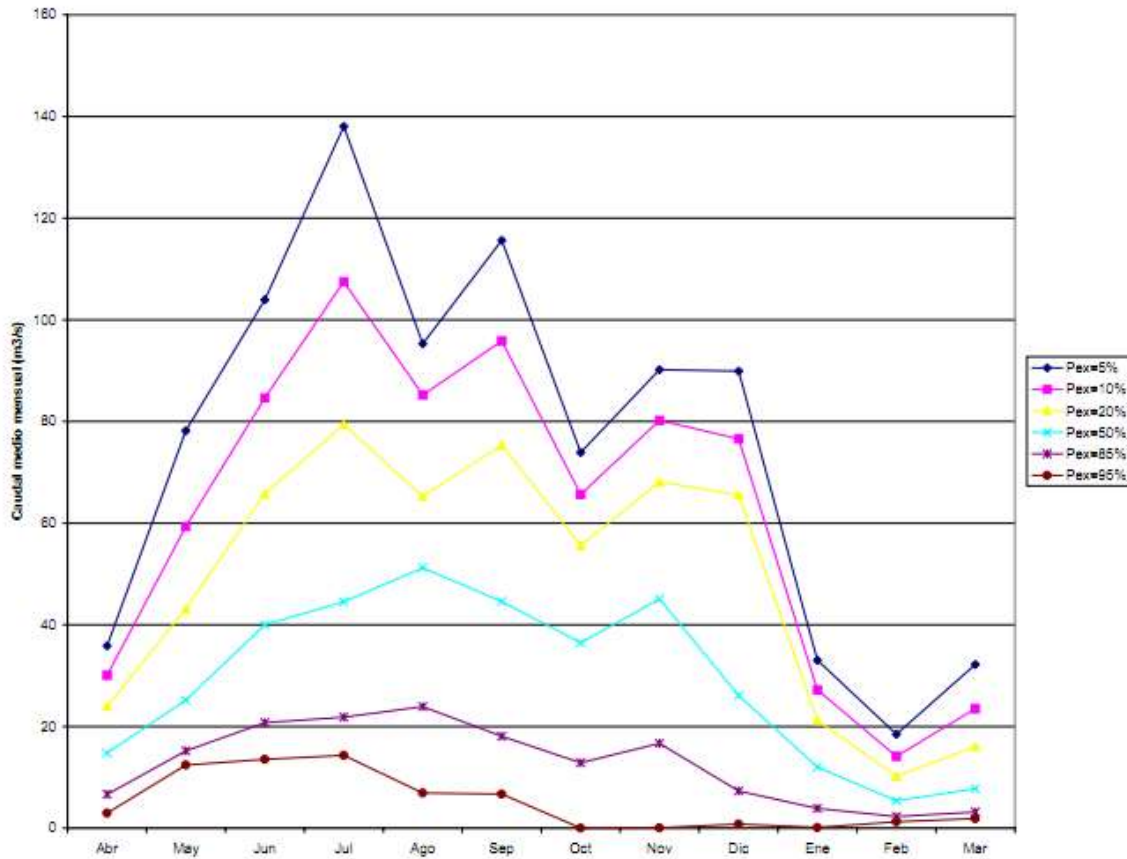
ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE SANTA CRUZ
 INFORME ETAPA II "DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS, CONSTRUCCIÓN IMAGEN OBJETIVO"

Tabla 7 Estación Estero Chimbarongo en Santa Cruz (m3/s)

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	35.876	78.205	103.966	138.04	95.3	115.611	73.934	90.189	89.9	33.044	18.453	32.193
10	30.052	59.375	84.637	107.5	85.2	95.874	65.654	80.23	76.6	27.225	14.144	23.498
20	23.979	43.223	65.751	79.409	65.3	75.365	55.624	68.166	65.6	21.158	10.208	16.048
50	14.808	25.187	39.996	44.512	51.2	44.592	36.457	45.11	26.1	11.995	5.372	7.743
85	6.66	15.2	20.742	21.819	23.9	18.064	12.847	16.711	7.3	3.856	2.278	3.155
95	2.964	12.378	13.528	14.353	6.9	6.736	0.001	0.031	0.8	0.162	1.276	1.862
Dist	G	L3	L3	L2	P3	L3	N	N	G	G	L3	L2

Fuente: Diagnostico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca Río Rapel (DGA, 2004)

Figura 5 Curva de variación estacional estero Chimbarongo en Santa Cruz



Fuente: Diagnostico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca Río Rapel (DGA, 2004)

Este régimen característico de los ríos y esteros de la zona central, determina un ambiente ripariano compuesto por un pedregal asociado a vegetación ribereña de la familia salix (familia de los sauces), adaptada a las condiciones variables del torrente. Dicha vegetación junto con albergar una variada avifauna, protege los márgenes del río en tanto afirma el suelo frente a eventuales crecidas del río, restándole fuerza al torrente.

El mantenimiento y recuperación de la vegetación de borde resulta relevante, no sólo a fin de resguardar los procesos agrícolas que se desarrollan en el entorno, sino también para mantener la continuidad lineal del ecosistema ripariano. Dicho ambiente, constituye una oportunidad única, en cuanto a asociar un sistema natural que integre la totalidad del Valle del Tinguiririca de manera transversal, pudiendo constituirse en un atractivo natural. De esta forma, junto con proteger la flora y fauna de borde río, se estaría protegiendo los terrenos productivos aledaños pudiendo generarse un corredor verde asociado al Tinguiririca.

Calidad del Recurso Hídrico

En términos generales, la calidad del Agua de la zona de estudio, es aceptable, especialmente para riego. El Diagnóstico del Plan Regional de Desarrollo Urbano de la VI Región, las califica como aceptables.

Por otra parte, el Diagnóstico y Plan de Gestión de la Calidad del Agua del Río Tinguiririca y Estero Zamorano, en su caracterización del área, toma la información provista por la Dirección General de Aguas (DGA); arrojando los siguientes resultados:

En el Área de Estudio, la Dirección General de Aguas opera en la actualidad 4 estaciones de calidad de aguas superficiales. En la Tabla siguiente se muestra la información asociada a estas estaciones de medición

Tabla 8 Estaciones Fluviométricas, calidad del Agua

Nombre Estación	Comuna	Periodo de Medición	Tipo Estación
Río Tinguiririca Bajo Briones	San Fernando	1985-vigente	Base
E. Chimbarongo en Pte. Huemul	Chimbarongo	1994-vigente	Impacto
E. Chimbarongo en Pte. Los Maquis	Peralillo	1994-vigente	Base
Río Tinguiririca en Los Olmos	Peralillo	1985-1989/1993-vigente	Impacto

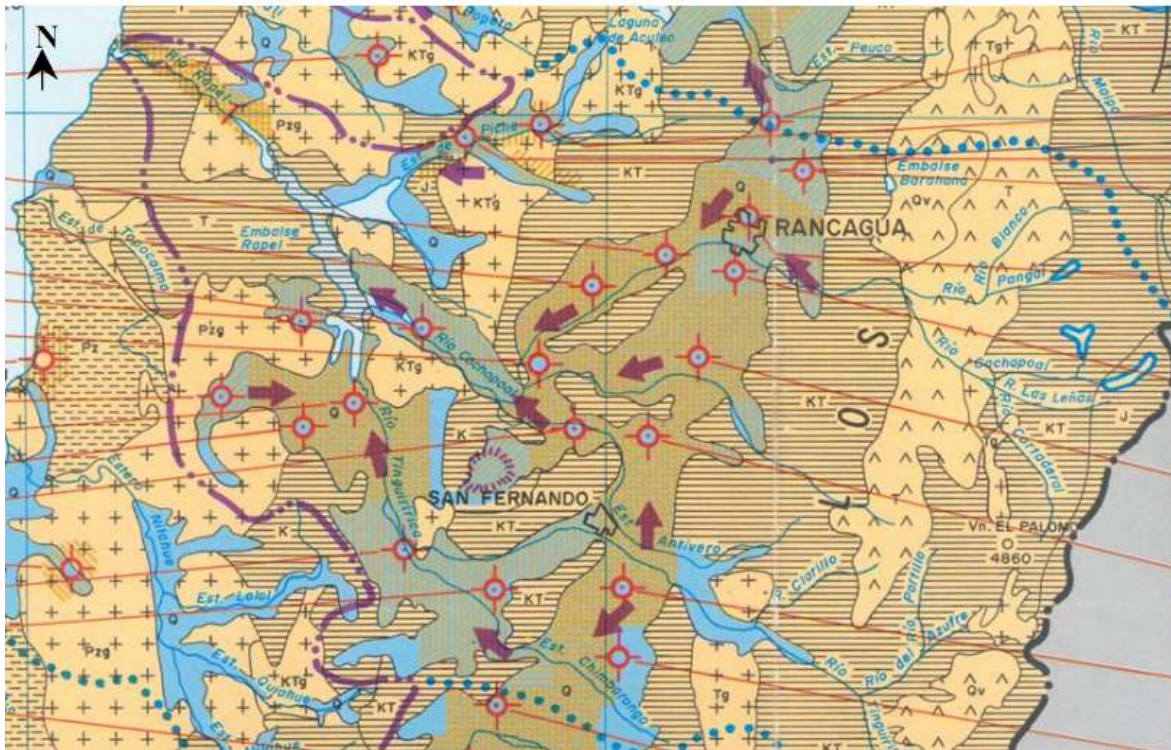
Fuente: DGA en Diagnóstico y Plan de Gestión de la Calidad del Agua del Río Tinguiririca y Estero Zamorano

El Área de Estudio no acusa grandes problemas en la calidad de sus aguas a excepción del Aluminio, Hierro y Manganeso que sobrepasan las normas de Riego o Agua Potable.

Vulnerabilidad de los Acuíferos

Corresponden a las zonas que presentan vulnerabilidad a la contaminación antrópica de los acuíferos, por característica de los estratos y profundidad de los acuíferos, entre otros. Estas corresponden a Zonas en que los acuíferos presentan una alta vulnerabilidad, debido al escaso tiempo de viaje que tienen los contaminantes en llegar desde la superficie hasta el acuífero, y a la poca capacidad de atenuación, esto es, no alcanzan a ser disueltos adecuadamente, propiciando su contaminación. Las zonas con mayor vulnerabilidad de sus acuíferos se asocian principalmente al valle aluvial, en aquellos sectores que hoy presentan agricultura intensiva

Figura 6 Características Hidrogeológicas de la cuenca del río Rapel



Fuente; Diagnostico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca Río Rapel (DGA, 2004)

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 Tinguiririca (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).

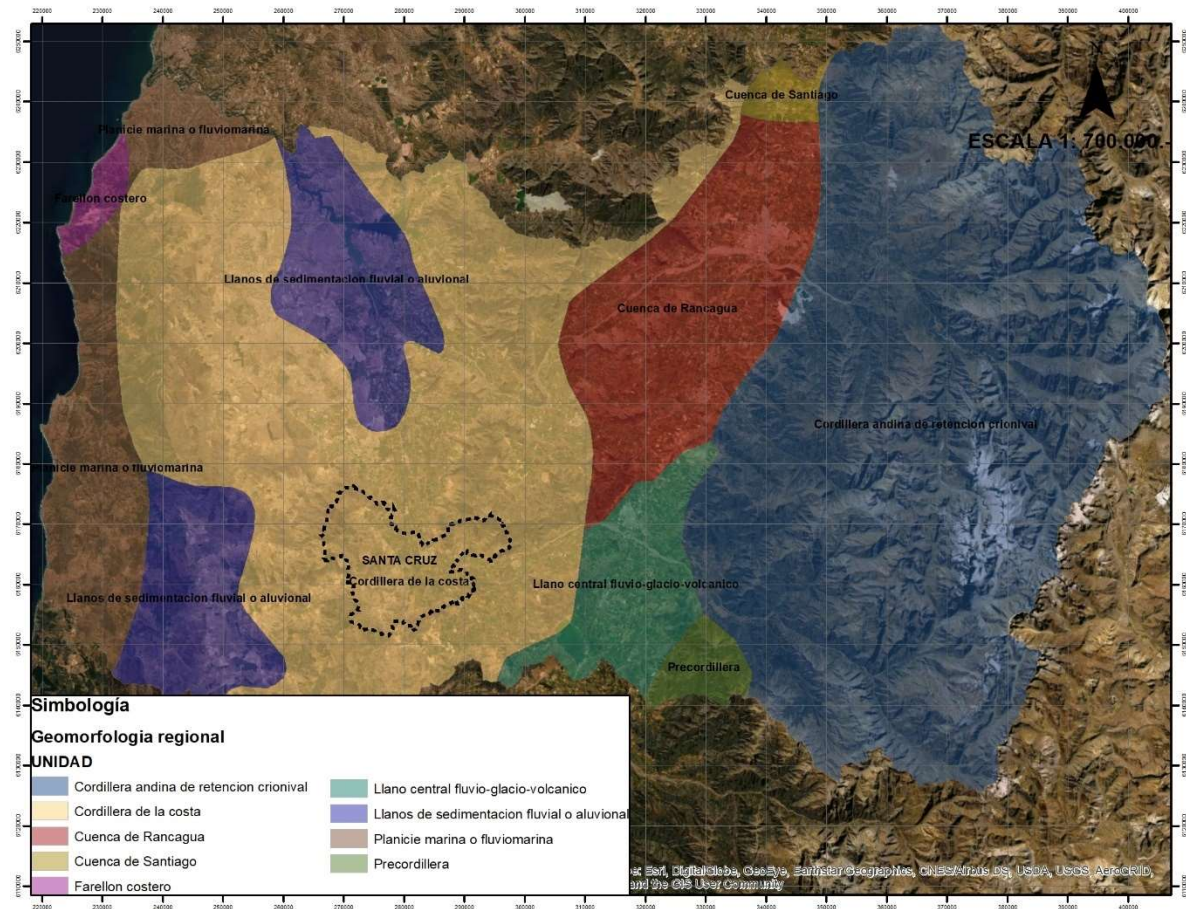
La Depresión Central limita al oeste con el borde oriental de la Cordillera de la Costa, y al este, con Precordillera Andina. Presenta un ancho medio de 30 km y se extiende en dirección norte-sur unos 60 km, entre la Angostura de Paine y los Cerros de Pelequén (Aliaga, 2016). Estas serranías transversales 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 rellena 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 (Hauser, 1990). En la zona costera, las unidades geomorfológicas presentes son de tipo Terrazas Marinas y Planicies Fluvio Marinas.

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

Figura 7 Unidades morfológicas 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

El territorio comunal que se encuentra en la Cordillera de la Costa, presenta sedimentos del periodo cuaternario de secuencia sedimentarias en los sectores planos (sector central de la comuna) y serranías en el sector nororiente y sur poniente de periodo Cretácico

Planicie Aluvial

Corresponden a ambientes depositacionales antiguos y recientes, los cuales presentan escasas pendientes y que se han formado debido a la depositación de materiales sedimentarios en las cuencas, valles y terrazas del río Tinguiririca.

Las áreas del territorio comunal comprenden la unidad de planicie aluvial del río Tinguiririca y de su cono de deyección distal que se extiende hasta las cercanías de los cordones montañosos. En esta llanura aluvial, en la comuna de Santa Cruz, el Estero Chimbarongo ha disecado el lecho del valle aluvial del Tinguiririca, a través de cauces con importantes niveles de terraplenamiento y con un patrón meandrante.

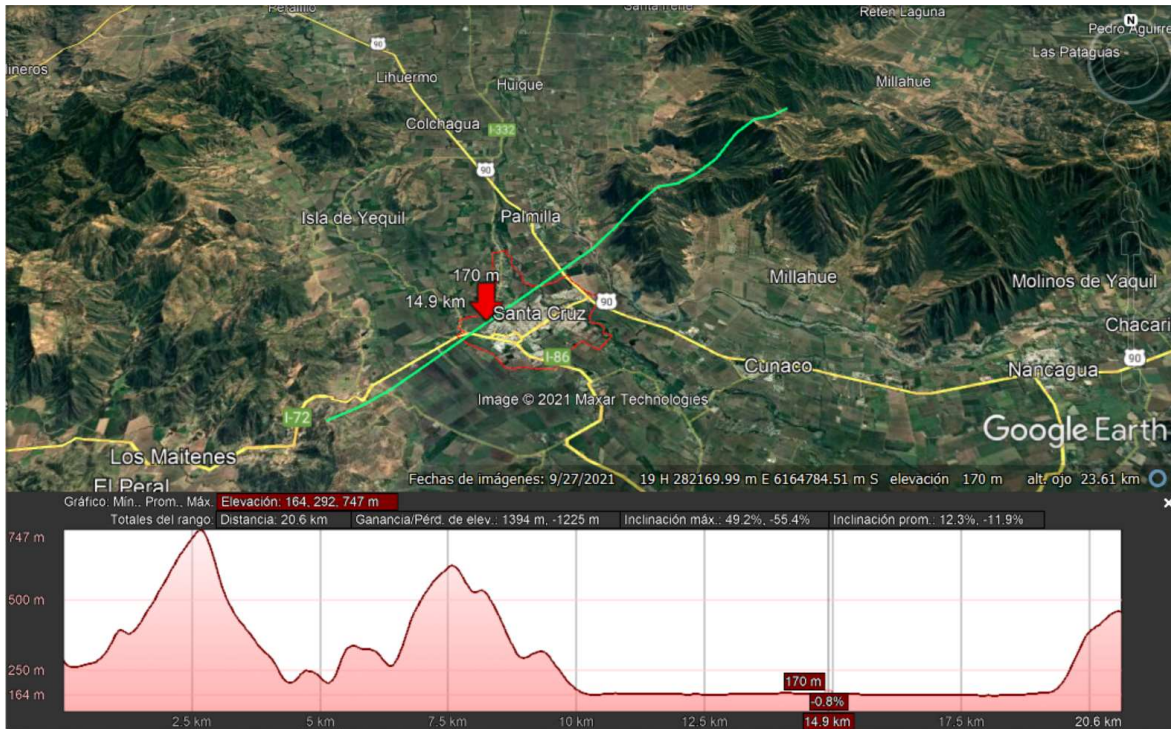
Figura 8 Unidades Geomorfológicas Comuna Santa Cruz



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

La altura promedio de esta planicie ronde los 170 msn y un ancho promedio de 8 km, como se puede apreciar en la Figura a continuación (obtenida de vista 3D de Google_earth) se muestran las particularidades de la ciudad de Santa Cruz

Figura 9 Vista de la ciudad de Santa Cruz



Fuente: Imagen Google_earth

2.4. Geología

2.4.1. Geología Regional

Abarcando la cordillera de la Costa y las zonas de serranías, se reconocen franjas longitudinales (de oeste a este) de rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico. En la depresión intermedia, se identifican franjas longitudinales de rocas intrusivas, volcánicas con intercalaciones continentales y marinas (Jurásico a Cretácico), disminuyendo su edad hacia el este, donde predominan rocas volcánicas del cenozoico. Los principales centros volcánicos de la zona se ubican en el sector oriental (cordillera principal), que se presenta plegada e integrada por rocas meso-cenozoicas intruidas a su vez por granitoides del Mioceno. En la zona cordillerana ($70^{\circ}2' S$) se reconocen centros volcánicos activos (que han manifestado alguna actividad en los últimos 10 mil años, o presente evidencias de actividad medible). Estos son los complejos volcánicos Andrés, Palomo, El Portillo y Tinguiririca, entre las ciudades San Fernando y Chépica (PROT. 2002).

Las unidades cuaternarias de la zona de estudio corresponden principalmente a depósitos fluviales, aluviales, coluviales que se emplazan fundamentalmente a lo largo de los valles

2.4.2. Geología Local

Llano Central Fluvio – Glacio – Volcánico

Las unidades llanas que conforman el Valle Central corresponden principalmente a unidades de depósitos fluviales y fluvio – aluvionales, que conforman un potente relleno sedimentario asociado a procesos cuaternarios que tanto litológica como geomorfológicamente presentan gran similitud (Sernageomin, 1990). El Valle central, intensamente regado y bajo condiciones de clima y suelo óptimas, ha favorecido desde muy temprano una activa ocupación humana. Sin embargo, el hombre ha ejercido su influencia depredatoria, desplazando la vegetación nativa para la agricultura y en especial, con una precaria protección de las orillas de los ríos, los que desprovistos de su vegetación ribereña, por erosión lateral, tienden a convertir el territorio aledaño en pedregales inútiles para el uso agrícola.

Dentro del Llano Central, los ríos provenientes de la Cordillera de los Andes han orientado sus lechos en distintas posiciones, de acuerdo a la potencia y desarrollo de los campos aluviales que ellos mismos han construido en el tiempo, a partir del material que acarrearán desde la cordillera.

Unidades Geológicas

a) Depósitos no Consolidados (Q)

Son de diverso origen y litología; genéticamente se asocian a procesos cuaternarios por sus características de permeabilidad porosidad y transmisibilidad. En la zona se encuentran confinados por las estribaciones andinas y serranías. Responden a material acarreado de la cordillera de los Andes, ya sea por glaciales, erupciones volcánicas y principalmente por los ríos.

a. 1) Depósitos Gravitacionales (Qg)

Se engloban en esta unidad los sedimentos resultantes de la fragmentación superficial de macizos rocosos que, por efecto principalmente gravitacional y en parte hídrico, experimentaron remoción y posterior depositación. Se incluyen aquellos depósitos detríticos que, normalmente, reciben denominaciones de escombros de falda, coluvio, conos de deyección, etc. Morfológicamente, la unidad se observa asociada al relleno de quebradas provistas de fuerte empinamiento (25°-35° en sus ejes hidráulicos).

Estos depósitos están constituidos por una mezcla caótica de fragmentos de variada composición y tamaño, englobados en una matriz fina, limo-arcillosa.

a. 2) Depósitos Fluviales Asociados a Cauces Actuales (Qfa)

Está representado por diversos cauces (esteros Chimbarongo, Las Toscas), que se disponen formando bancos de materiales clásticos que conforman el cauce actual. Sin embargo, en gran parte de la zona, los cursos se presentan bien conformados por una sección que diseña los depósitos fluvio aluviales del Llano del Tinguiririca.

Los depósitos corresponden, casi exclusivamente, a gravas y arenas, con marcado predominio de estas últimas, hacia las porciones alejadas del borde preandino, e incorporan frecuentes bancos arenosos.

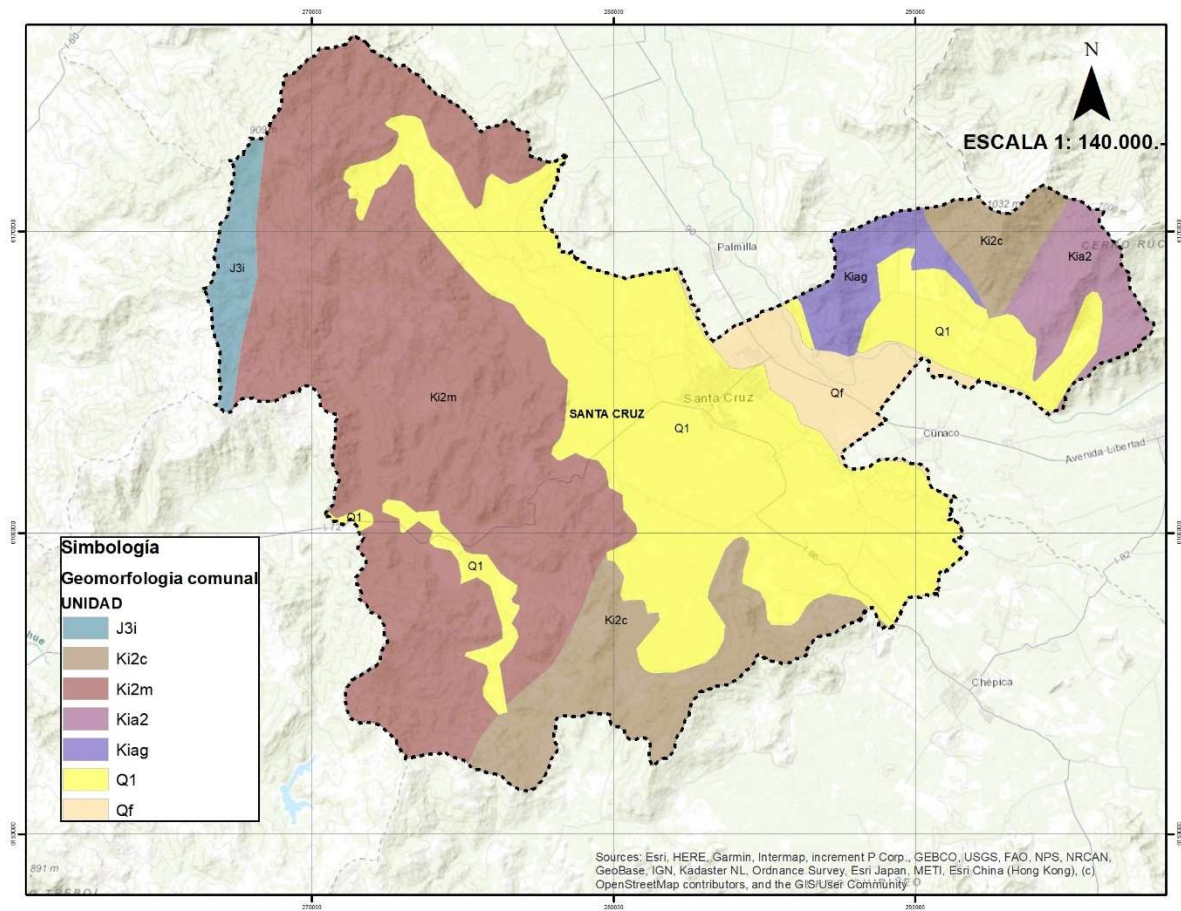
Ilustración 5: Cauce estero Chimbarongo



Fuente: Terreno junio 2012

En la imagen se pueden observar los periodos de con distintas granulometrías, que corresponden a episodio aluvionales de distintas intensidades. La imagen también demuestra el área de ataque del flujo de agua en las crecidas del estero, provocando un talud de alta probabilidad de derrumbe, tanto por su pendiente como por el socavamiento lateral.

Figura 10 Geología comuna Santa Cruz



Fuente: SERNAGEOMIN 1:1.000.000.-

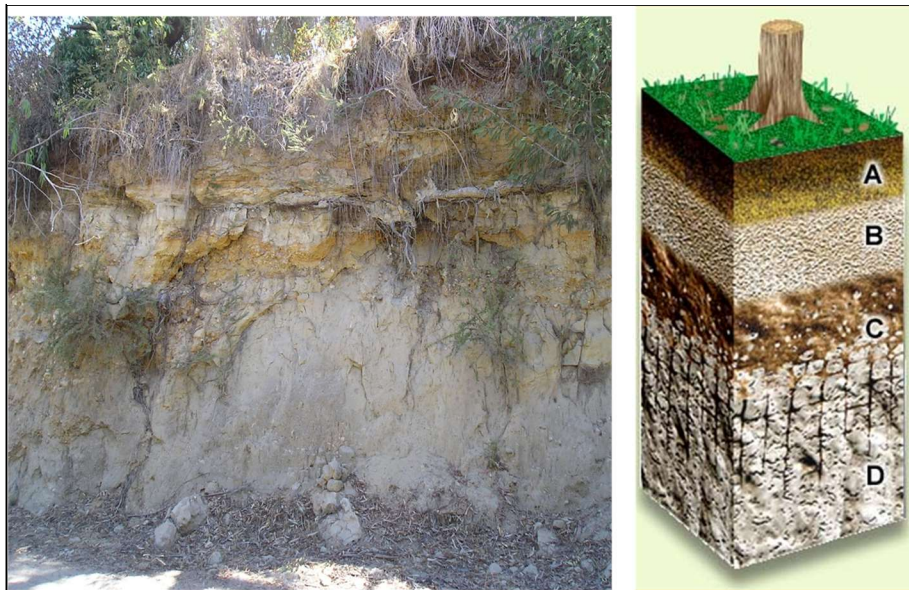
2.5. Suelos

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.

Figura 11 Perfil horizontes de suelos



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.

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.

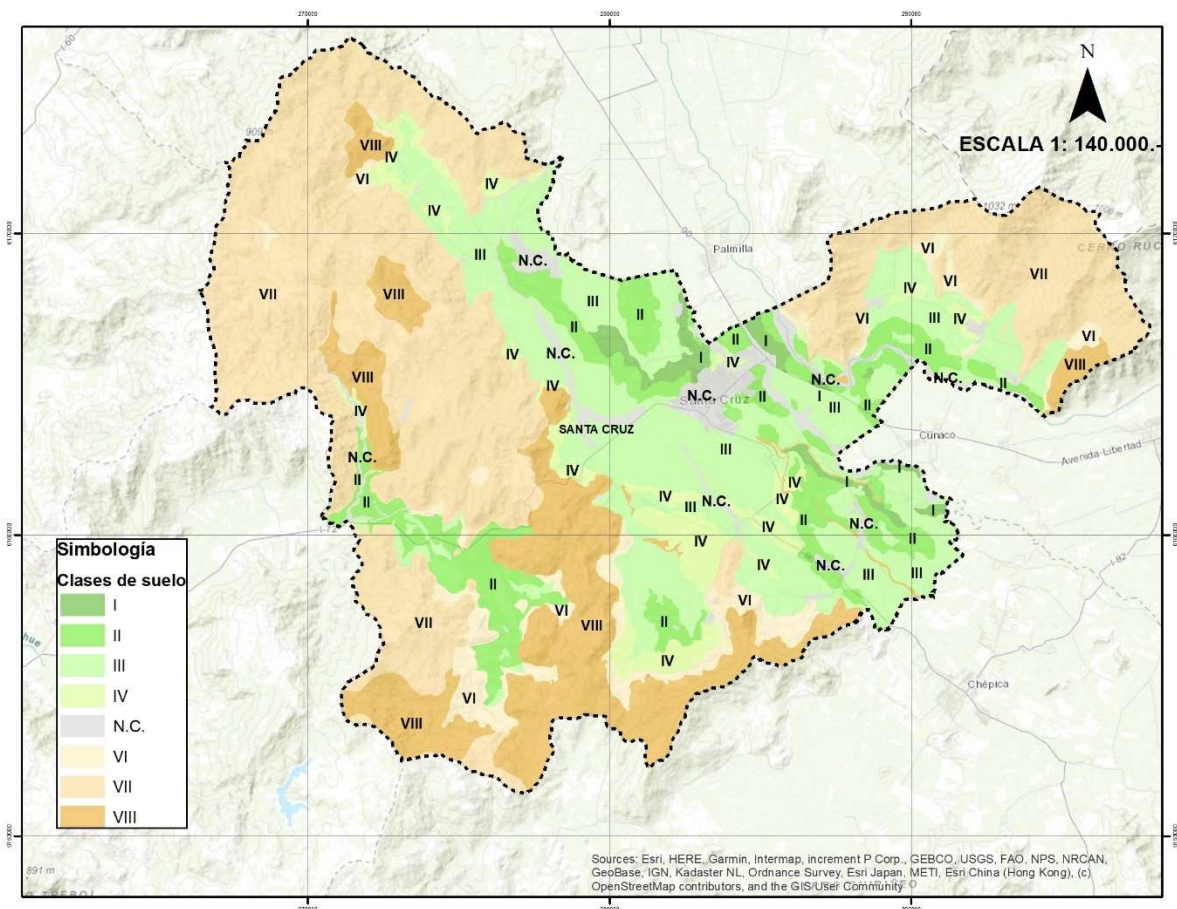
Clase VIII: Corresponden a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación y protección de hoyas hidrográficas

Tabla 9 Superficie clases de suelo Santa Cruz

CLASE	HECTAREAS	%
I	607,0	2%
II	3768,7	10%
III	8703,3	22%
IV	1883,5	5%
N.C.	1570,0	4%
VI	1848,6	5%
VII	15169,5	39%
VIII	5825,0	15%
TOTAL	39375,6	100%

Fuente: Ciren 2010

Figura 12 Clases de suelo comuna de Santa Cruz



Fuente: CIREN 2010

Conclusiones

Los suelos de importancia agronómica clases I, II y III, se localizan en la unidad geomorfológica del Valle Planicie, representan un 34% de la superficie total catastrada y sumado a los suelos clase IV llegan al 39% de los suelos catastrados de la comuna. De las restantes clases de suelo destaca en superficie la clase VII con un 39% de la superficie catastrada y corresponde a las serranías de la cordillera de la costa en el sector surponiente de la comuna y a las serranías en el sector nororiente.

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 19 usos de suelos catastrados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), 3 de ellos concentran más del 70% de la superficie comunal, ellos son Bosque Nativo renoval abierto 27%, seguido de rotación de cultivos y praderas 28,9% y Terrenos de uso agrícola con 14%

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.

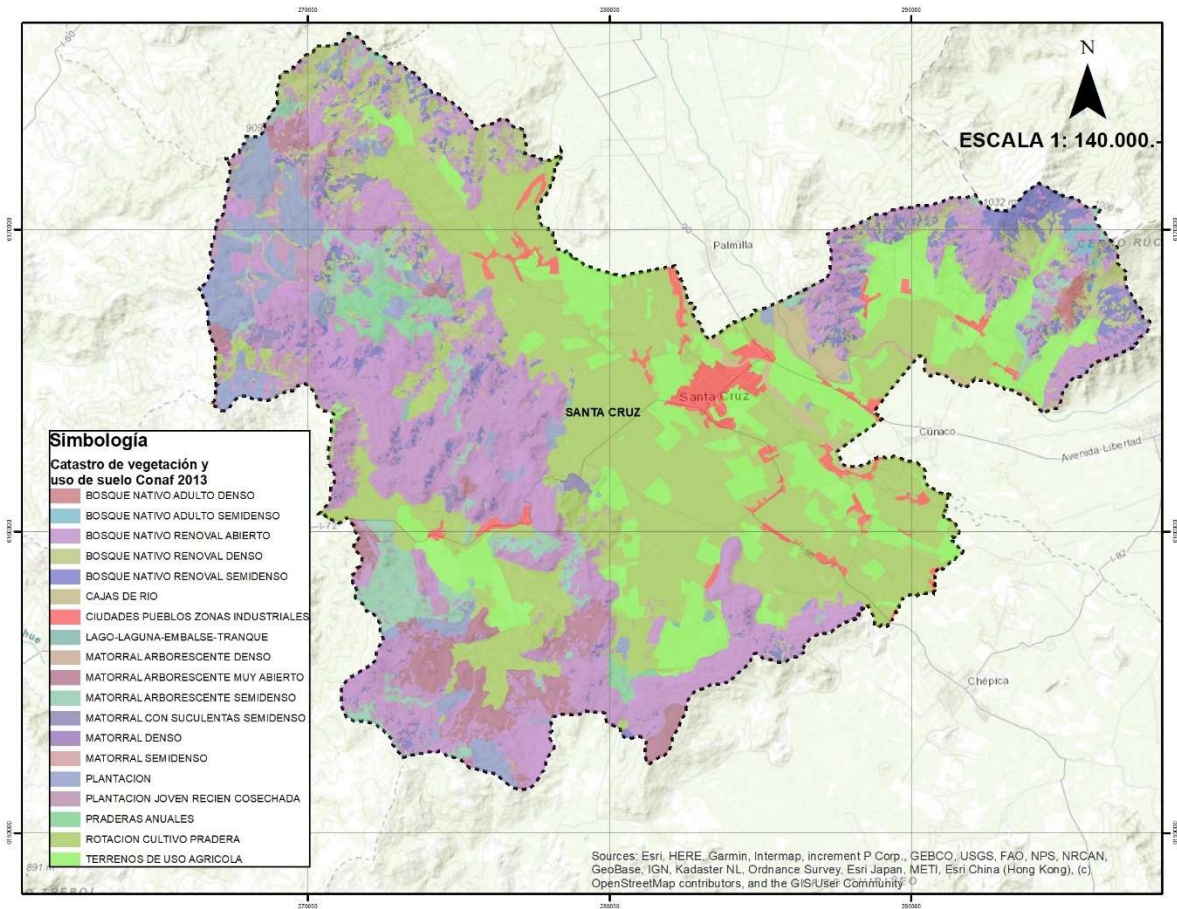
En general las localidades en estudio se encuentran rodeadas de "Terrenos de uso agrícola", localizados en terrenos preferentemente planos, siendo parte importante de la base productiva comunal.

Tabla 10 Catastro de vegetación y uso de suelo Conaf 2013

USO	SUPERFICIE	%
BOSQUE NATIVO ADULTO DENSO	91,9	0,2%
BOSQUE NATIVO ADULTO SEMIDENSO	93,3	0,2%
BOSQUE NATIVO RENOVAL ABIERTO	10752,9	27,3%
BOSQUE NATIVO RENOVAL DENSO	2361,2	6,0%
BOSQUE NATIVO RENOVAL SEMIDENSO	1592,0	4,0%
CAJAS DE RIO	549,8	1,4%
CIUDADES PUEBLOS ZONAS INDUSTRIALES	1036,7	2,6%
LAGO-LAGUNA-EMBALSE-TRANQUE	40,5	0,1%
MATORRAL ARBORESCENTE DENSO	6,3	0,0%
MATORRAL ARBORESCENTE MUY ABIERTO	1406,5	3,6%
MATORRAL ARBORESCENTE SEMIDENSO	1525,1	3,9%
MATORRAL CON SUCULENTAS SEMIDENSO	151,6	0,4%
MATORRAL DENSO	0,0	0,0%
MATORRAL SEMIDENSO	1,0	0,0%
PLANTACION	1879,4	4,8%
PLANTACION JOVEN RECIEN COSECHADA	478,2	1,2%
PRADERAS ANUALES	500,7	1,3%
ROTACION CULTIVO PRADERA	11381,0	28,9%
TERRENOS DE USO AGRICOLA	5527,6	14,0%
TOTAL	39375,6	100,0%

Fuente: Conaf

Figura 13 Catastro de vegetación y uso de suelo Comuna de Santa Cruz

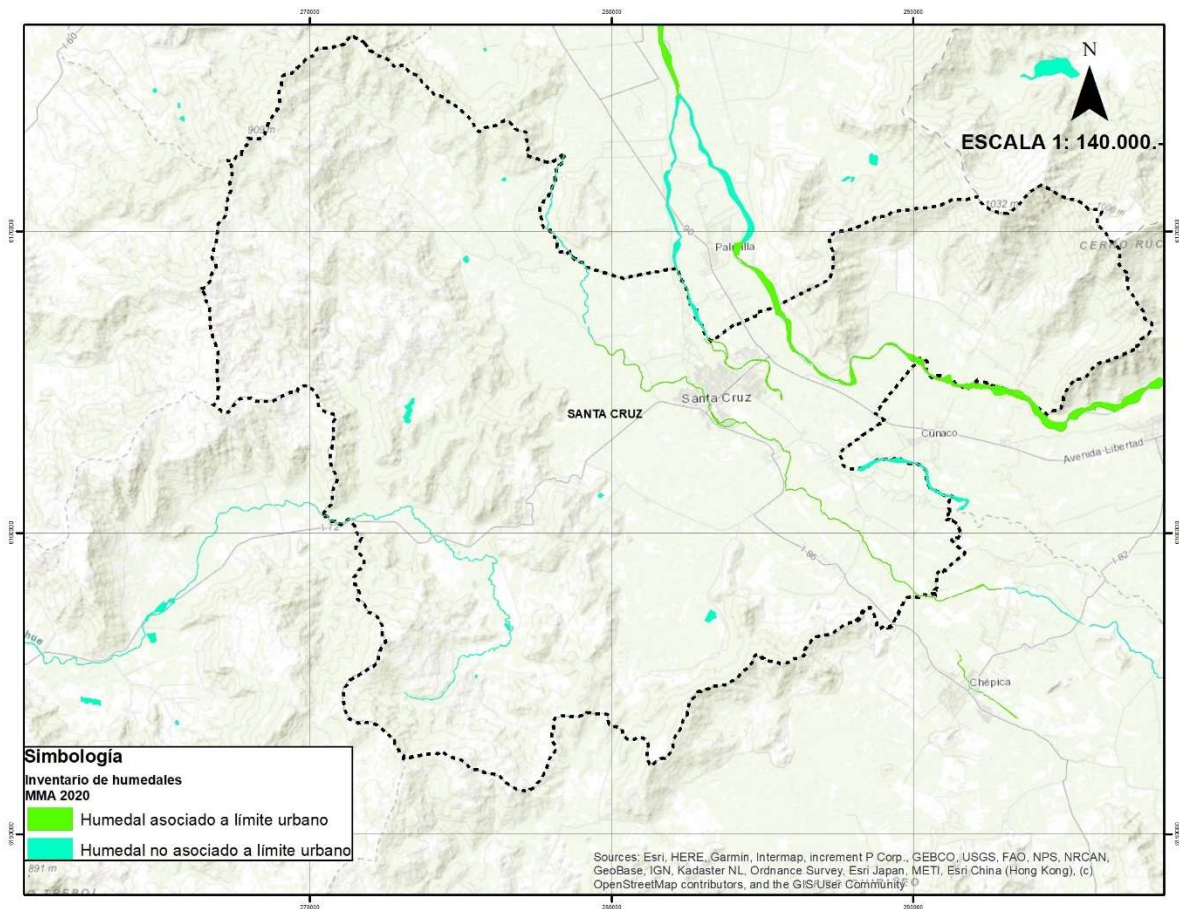


Fuente: Conaf

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 Santa Cruz, se localizan principalmente en el sector de cordillera de la costa. Cabe considerar que 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 14 Inventario de humedales Ministerio de Medio Ambiente



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

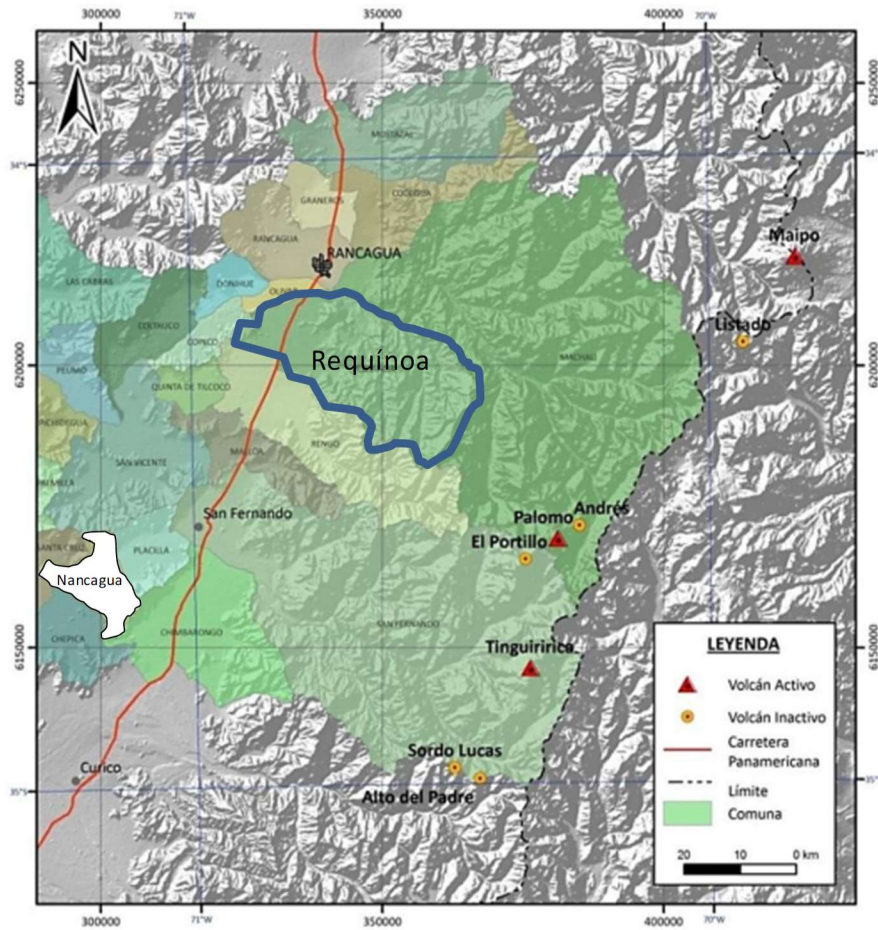
2.7. Volcanismo

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 Requínoa.

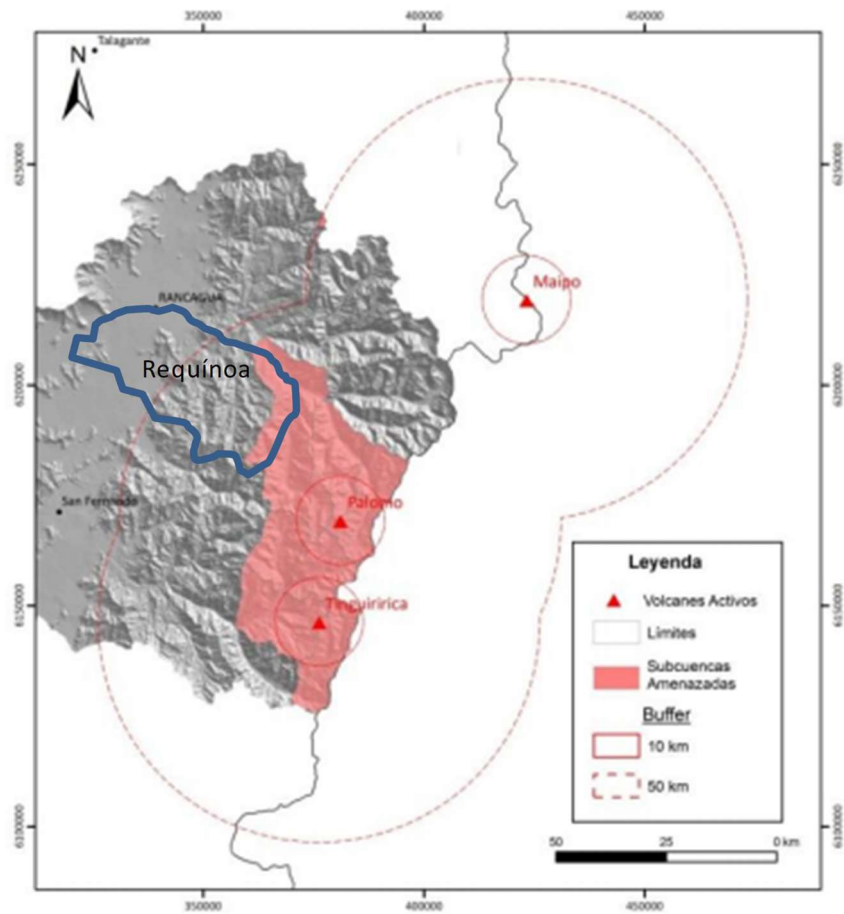
Figura 15 Imagen del Mapa ubicación de los volcanes del área de estudio



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 Santa Cruz se observa que la parte distal al este (lejos de los centros poblados) se encontraría potencialmente afectada por volcanismo.

Figura 16 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).

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).

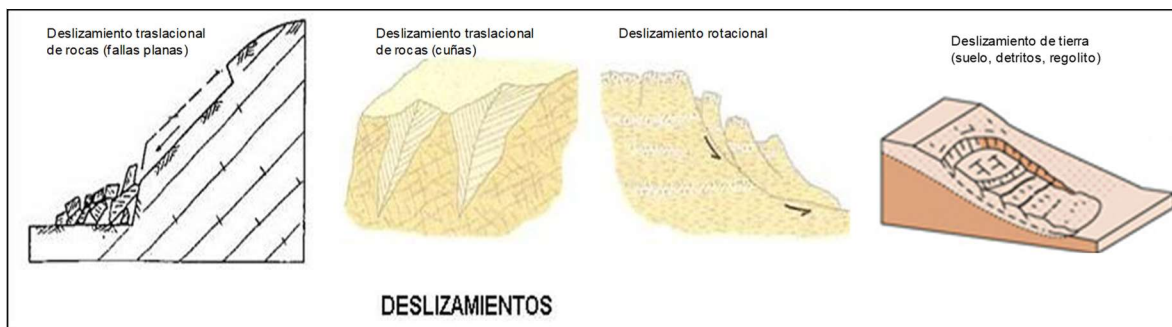
Figura 17 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



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 18 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

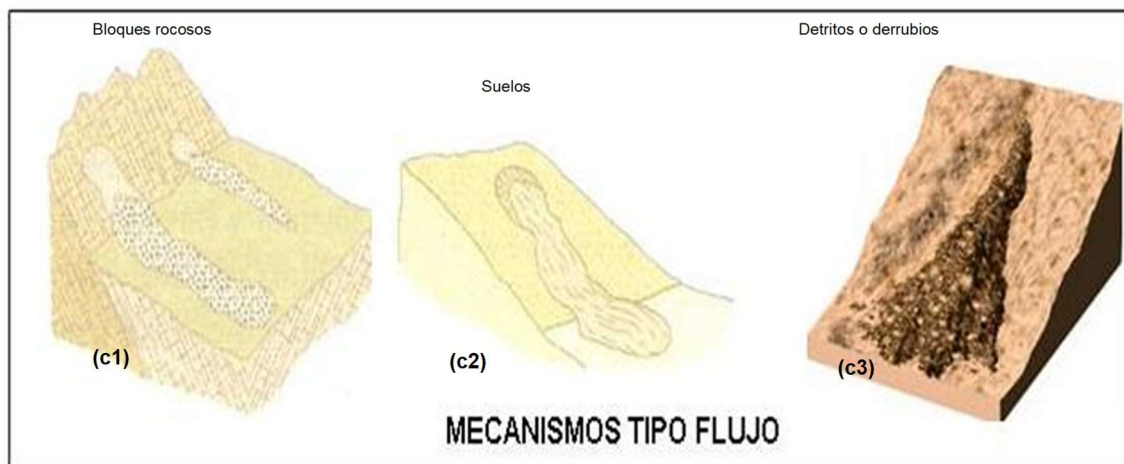


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

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 19 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 enlagnamientos hacia aguas arriba. En las ciudades, prácticamente todas las construcciones son obstáculos al escurrimiento de las aguas lluvias, las cuales terminan por acumularse en sectores ligeramente más bajos sin posibilidad de circular ni infiltrarse.

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

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

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

3.4. Incendios

El origen de los incendios recae en la acción humana. El 99,7% de los incendios se inician, ya sea por descuidos o negligencias, en la manipulación de fuentes de calor, o por prácticas agrícolas o por intencionalidad, originada

en motivaciones de distinto tipo, incluso la delictiva. (<http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>).

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

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

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

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

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

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

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

4. 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.

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 geológica geomorfológica detectado y en parte evidenciado por hechos tectónicos y acumulación de sedimentos, y de la variable vegetación como factor de protección del suelo. A continuación, se presenta una clasificación y caracterización de los tipos de remoción en masa:

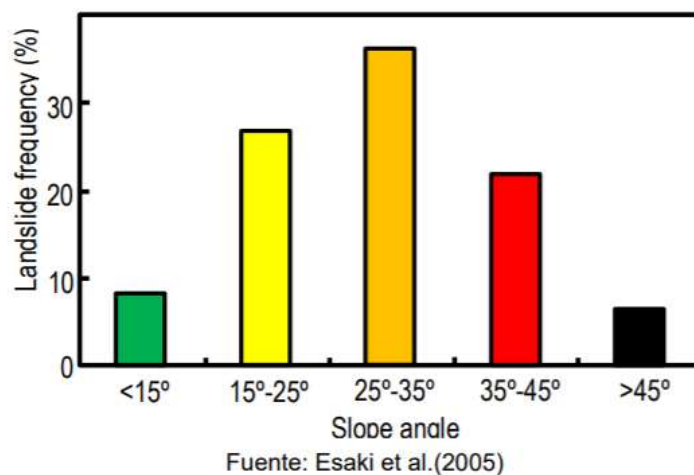
Diversos autores señalan que uno de los principales factores que determina la generación de remociones en masa es la pendiente de las laderas (Esaki, et al., 2005; Giraud & Shaw, 2007). Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles, se utilizó la información compilada a partir de diversas fuentes que han generado catastros de deslizamientos en distintos lugares del mundo. Esaki et al. (2005) y Giraud y Shaw (2007), así como otros catálogos de deslizamientos, indican que la mayor frecuencia de deslizamientos en el mundo se observa sobre pendientes de 25° a 35° de inclinación (Figura 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 20 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Cálculo de pendientes

El calculo de las pendientes de acuerdo a los parámetros antes mencionados se realizar a través del 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 11 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad

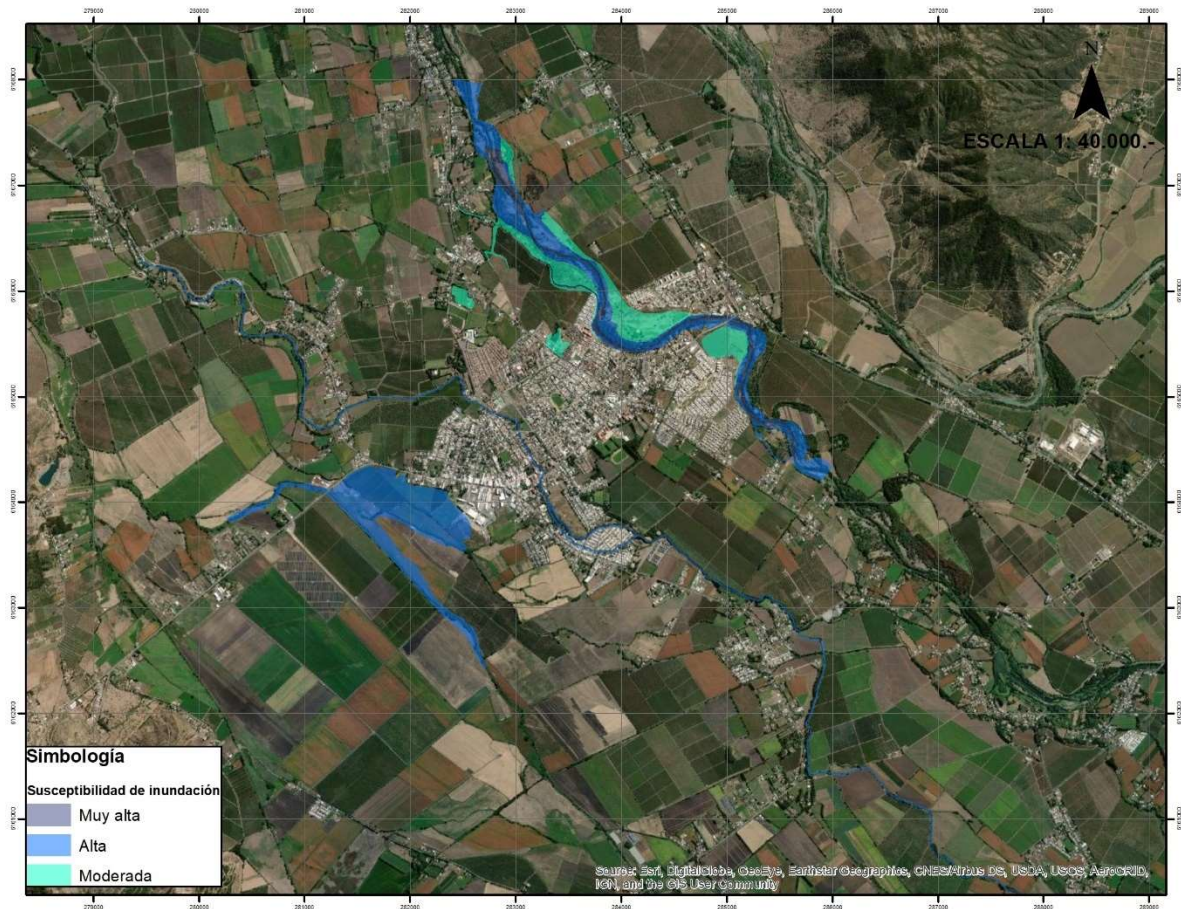
Peligro	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
Inundaciones por desborde de cauce	- Características morfológicas de la red de drenaje	- Lluvias intensas	- Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Observaciones de terreno - Estudios 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 21 Áreas de riesgo Ciudad de Santa Cruz



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 12 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 no se identifican Monumento Histórico, reconocido por el Consejo de Monumentos Nacionales.

Tabla 13 Área de valor cultural

Nombre	Categoría	Decreto	Año

Fuente: CMN

8. CONCLUSIONES

El principal riesgo natural, para el área urbana de la comuna de Santa Cruz, radica en áreas de inundación por desborde del cauce natural del Estero Chimbarongo y por inundaciones por acumulación de aguas lluvias en sectores deprimidos o encapsulados por obras civiles, que impiden la normal evacuación de las aguas lluvias.

Respecto de los estudios realizados en el Estero Chimbarongo, se hace hincapié en dos puntos fundamentales:

- 1.- Seguir con las obras de contención (enrocados), aguas debajo de las obras existentes, de manera de resguardar el área urbana de eventos extremos (precipitaciones mayores a 100 ml en 24 hrs.)
- 2.- No depositar escombros y material no consolidado en riberas del cauce del Estero Chimbarongo, ya que estos escombros son arrastrados agua debajo provocando la alteración del cauce natural y aumentado la probabilidad de desborde del cauce natural.
- 3.- Respecto de las obras civiles (nuevas y existentes), tales como caminos y puentes, considerar las respectivas obras de drenaje que permitan un normal escurrimiento superficial de los terrenos deprimidos en el área urbana, propensos a la acumulación de aguas lluvias.

Los riesgos identificados en el territorio, constituyen una limitación al desarrollo de la ciudad de Santa Cruz, para construcción de viviendas y otros usos. No obstante, de acuerdo al artículo 2.1.17 de la OGUC las áreas de riesgos que establece el P.R.C, pueden ser levantadas con estudio firmado por profesional especialista que establezca las medidas de mitigación necesarias para la urbanización

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.
- 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.

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

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/>