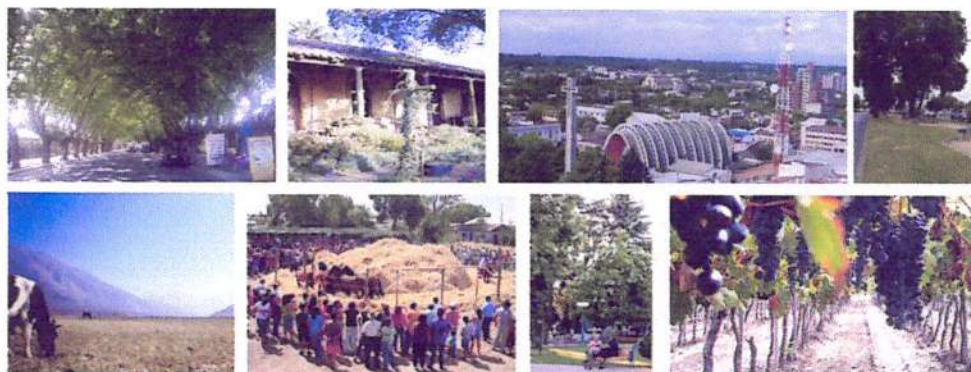


ACTUALIZACIÓN
**PLAN REGULADOR INTERCOMUNAL DE
CHILLÁN Y CHILLÁN VIEJO – PRICH**



**Memoria explicativa
Estudio Especial del Plan**

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

Marzo 2023

FIRMA DE PROFESIONAL RESPONSABLE

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alejandro Velis Cabello', written over a horizontal dotted line.

Alejandro Velis Cabello, Geógrafo
Profesional responsable Estudio Fundado de Riesgos

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Introducción.....	7
1.2. Objetivos del estudio.....	7
1.3. Área de estudio	7
1.4. Alcances y limitaciones	8
1.5. Marco jurídico.....	8
2. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
2.1. Clima	11
2.2. Hidrografía	15
2.3. Geomorfología.....	18
2.4. Geología	30
2.5. Suelos	34
2.6. Vegetación y usos de suelo.....	38
2.7. Volcanismo	39
2.8. Sismos.....	44
2.9. Antecedentes de inundaciones y anegamientos.	50
2.10. Definición de áreas de riesgos.....	59
3. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LOS RIESGOS ANALIZADOS	61
3.1. Riesgo y susceptibilidad	61
3.2. RODADOS Y ALUVIONES.....	61
3.3. Inundaciones.....	67
3.4. ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA	69
4. METODOLOGIA.....	71
4.1. Inundación	72
4.2. Rodados y aluviones.....	75
4.3. actividad o intervención humana.....	82
4.4. Zonificación de la susceptibilidad	86
5. RESULTADOS DE ÁREAS DE RIESGO NATURAL Y ANTRÓPICO	88
5.1. Rodados y aluviones.....	88
5.2. Inundaciones por desborde de cauces y anegamientos	89
ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA	90
5.3. Síntesis.....	91
6. ZONAS NO EDIFICABLES.....	92
7. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL	94
7.1. Áreas de protección de recursos de valor natural.....	94
7.2. Áreas de protección de recursos de valor cultural.....	94

8. CONCLUSIONES	96
8.1.Recomendaciones de planificación	96
9. BIBLIOGRAFÍA.....	99
10. ANEXOS	102
10.1. Catastro histórico de peligros geológicos	102
10.2. Análisis de antecedentes históricos.....	106
10.3. Figuras	106

Índice de figuras

Figura 1	Área de estudio	7
Figura 2	Variación de las Precipitaciones Históricas de la ciudad de Chillán	12
Figura 3	Contexto geomorfológico regional	20
Figura 4	Contexto geomorfológico intercomunal	21
Figura 5	Geomorfología sector oeste – PRI Chillán	22
Figura 6	Fotografías 1, 2 y 3. Lomaje entorno Confluencia	23
Figura 7	Fotografías 4 y 5	23
Figura 8	Carta Geomorfológica del sitio de la ciudad de Chillán	24
Figura 9	Geomorfología Sector sureste – PRI Chillán	26
Figura 10	Fotografías 6, 7 y 8. Lomaje sector sureste	26
Figura 11	Fotografías 9 y 10. Formas planas y deprimidas	27
Figura 12	Geomorfología entorno al río Chillán	27
Figura 13	Terrazas fluviales sobre superficie de disección fluvial y patrón de drenaje único meandriforme, oriente ciudad de Chillán	28
Figura 14	Fotografías 11 y 12. Formas planas y deprimidas	28
Figura 15	Fotografías 13, 14, 15 y 16. Formas planas y deprimidas	29
Figura 16	Geomorfología Sector NE – PRI Chillán	29
Figura 17	Fotografías 17, 18, 19 y 20. Puente Cato, río Cato	30
Figura 18	Geología regional	31
Figura 19	Geología intercomunal	32
Figura 20	Interpretación Perfil Gravimétrico área Chillán	33
Figura 21	Perfil horizontes de suelos	34
Figura 22	Distintos tipos de suelos	35
Figura 23	Distribución tipos de suelos según sus Capacidades de Uso	37
Figura 24	Nivel de alerta CVNCh	40
Figura 25	Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán	41
Figura 26	Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán y área de estudio intercomunal	42
Figura 27	Peligro regional de acumulación de piroclastos de caída del complejo volcánico Nevados de Chillán	43
Figura 28	Modelo de subducción	45
Figura 29	Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto	46
Figura 30	Mapa de Susceptibilidad a la Licuefacción en Chile Central 1:5.000.000	49
Figura 31	Zonas de protección de drenaje y Zona forestal de degradación de suelo PRICH 2007	51
Figura 32	Áreas de riesgo por inundación y anegamiento PRC Chillán	53
Figura 33	Áreas de riesgo por anegamiento PRC Chillán Viejo	55
Figura 34	Sistema Estero Rio Viejo inundaciones Tr= 100 y Tr= 25 años	56
Figura 35	Sistema Estero Las Toscas inundaciones Tr= 100 y Tr= 25 años	56
Figura 36	Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región	57
Figura 37	Cálculo de Tr por sectores	58

Figura 38	Área inundable TR 100 años sector sur de Chillán Viejo y Chillán	58
Figura 39	Áreas de inundación Confluencia río Ñuble y río Cato Tr= 100 años	59
Figura 40	Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas	62
Figura 41	Remociones en Masa de tipo Deslizamientos	63
Figura 42	Remociones en Masa de tipo Flujo	64
Figura 43	Pendientes y su valoración	78
Figura 44	Exposición de laderas y su valoración	79
Figura 45	Formaciones vegetales y su valoración	80
Figura 46	Geología y su valoración	81
Figura 47	Pendientes y su valoración	83
Figura 48	Vegetación y tipo de combustible	84
Figura 49	Análisis de cercanía de incendios a red vial	85

Índice de tablas

Tabla 1	Línea Base (1980 - 2010) - Escenario 2050	12
Tabla 2	Promedios de Precipitaciones por períodos	13
Tabla 3	Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Canal de la Luz, periodo consultado: 01/01/1997 - 01/01/2017	13
Tabla 4	Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Chillán Viejo, periodo consultado: 01/01/1997 - 01/01/2017	14
Tabla 5	Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Nueva Aldea, periodo consultado: 01/01/1997 - 01/01/2017	14
Tabla 6	Clase de suelos por superficie	36
Tabla 7	Vegetación y uso actual de suelo	38
Tabla 8	Valoración de las variables de riesgo por inundaciones	73
Tabla 9	Valores absolutos según rangos	73
Tabla 10	Clasificación y caracterización de las remociones en masa	75
Tabla 11	Valores Absolutos Según Rango	76
Tabla 12	Valoración de Pendientes	76
Tabla 13	Valoración de exposición de laderas	77
Tabla 14	Valoración de vegetación	77
Tabla 15	Valoración formaciones geológicas área intercomunal	78
Tabla 16	Valoración y ponderación de variable de pendientes	78
Tabla 17	Valoración y ponderación de variable de exposición de laderas	79
Tabla 18	Valoración y ponderación de formaciones vegetales	80
Tabla 19	Valoración y ponderación formaciones geológicas	81
Tabla 20	Valoración de pendientes	82
Tabla 21	Tipo de combustibles y valor asignado	83
Tabla 22	Valoración de accesibilidad	85
Tabla 23	Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad	86
Tabla 24	Criterios de definición de las áreas de riesgo según el artículo 2.1.17. de la OGUC para cada peligro estudiado	87

Tabla 25 Ordenamiento jurídico para zonas no edificables	92
Tabla 26 Humedal Urbano	94
Tabla 27 Monumentos Históricos	94
Tabla 28 Zona Típica	95
Tabla 28 Criterios de zonificación en áreas de riesgo	98
Tabla 29 Catastro de desastres desde 1980, SERNAGEOMIN	102
Tabla 30 Registro de alerta roja ONEMI.....	102
Tabla 31 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones	102
Tabla 32 Registro de incendios forestales temporada 2015.....	103

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En el marco de la "Actualización Plan Regulador Intercomunal de Chillán y Chillán Viejo, PRICH", se presenta a continuación los resultados del Estudio Fundado de Riesgos de la Intercomuna, conforme el artículo 2.1.7. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), y cumpliendo con el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica, permitiendo así identificar las limitantes y las potencialidades que ofrece el territorio para su desarrollo.

Los resultados de este estudio sirven de base para la formulación del respectivo Plan Regulador Intercomunal (PRI), permitiendo definir áreas restringidas al desarrollo urbano, denominadas "áreas de riesgo", en base a lo establecido en el artículo 2.1.17. de la OGUC.

1.2. Objetivos del estudio

El objetivo de este estudio corresponde a la identificación y delimitación de las áreas susceptibles de ser afectadas por un peligro natural, de acuerdo con las definiciones expuestas en el artículo 2.1.17. de la OGUC. A saber:

- 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.
- Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
- Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

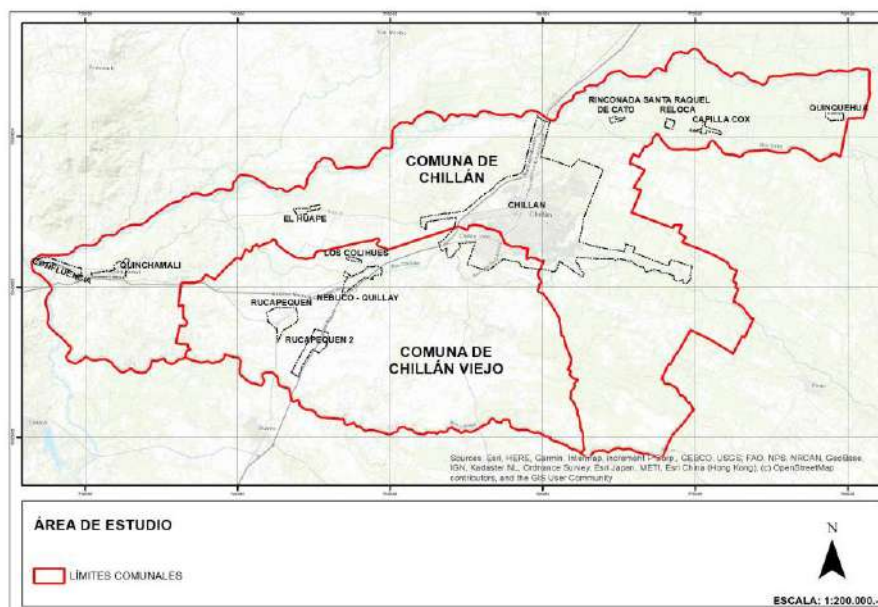
Para lograr el objetivo propuesto, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Elaborar un catastro, descripción y reconocimiento de los principales peligros naturales y antrópicos que pueden afectar a la intercomuna, 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 la intercomuna.
- Delimitar las áreas de riesgos consideradas en el área de estudio.

1.3. Área de estudio

El área de estudio comprende a la totalidad los territorios de las comunas de Chillán y Chillán Viejo, Provincia de Ñuble.

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 1:50.000 (considerando que la gran mayoría de la información geológica está a una escala mayor a 1:250.000). Se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la interpretación.

El resultado de este estudio corresponde a mapas de factores condicionantes, principalmente morfológicos, 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 1:50.000.

Respecto de la inundación por desborde de cauces y anegamientos se realizó una revisión de estudios hidráulicos de los principales cursos de agua de la intercomuna, del Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, los Instrumentos de Planificación vigentes y visitas a terreno.

1.5. Marco jurídico

La OGUC en su artículo 2.1.17. "Disposiciones complementarias" indica que los planes reguladores podrán definir áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas, se denominarán "áreas de riesgo" o "zonas no edificables" según sea el caso de acuerdo con la siguiente descripción.

Por "áreas de riesgo", se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole, suficientes para subsanar o mitigar tales efectos. En el marco del presente estudio, "áreas de riesgo" son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un "peligro geológico".

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

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

- **1.-Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.**

Conforme al numeral 1 del inciso séptimo del artículo 2.1.17. de la OGUC, dicha característica corresponde a los peligros geológicos de inundaciones terrestres e inundaciones litorales. En relación con las inundaciones litorales, el área de estudio no es susceptible de ser afectado por este peligro, por lo que no se considera. Así, en mérito de las definiciones recurridas en este estudio, **corresponde a las áreas de riesgo por desbordes de cauces y anegamiento.**

- **2.-Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.**

Conforme al numeral 2 del inciso séptimo del artículo 2.1.17. de la OGUC, esta característica trata de los peligros geológicos de remociones en masa que ocurren en exposición de laderas con pendientes, y dada la inestabilidad de los materiales que las forman; analizados separadamente como: caída de rocas, deslizamientos de materiales y flujos de detritos. De acuerdo con las

definiciones utilizadas en este estudio, **corresponde a las áreas de riesgo por rodados y aluviones.**

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

Conforme al numeral 3 del inciso séptimo del artículo 2.1.17. de la OGUC, sobre esta característica se analizan conceptualmente los procesos endógenos internos de la tierra, es decir, sismicidad y volcanismo; los cuales no son objeto de definición gráfica por parte del presente estudio.

- **4.-Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.**

Conforme al numeral 4 del inciso séptimo del artículo 2.1.17. de la OGUC, corresponde definir la susceptibilidad, vulnerabilidad, peligrosidad y riesgos provocados por la presencia de la actividad humana en el territorio, es decir, se trata de materias que no involucran peligros geológicos, sino que más bien trata como la intervención del hombre pudiese originar una mala respuesta de la base geológica frente a la peligrosidad. De acuerdo con las definiciones utilizadas en este estudio, **corresponde al área de riesgo por incendio.**

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un Estudio Fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley N° 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; remociones en Masa e incendios. Además de lo anterior, las Normas Chilenas de construcción incorporan las variables sísmicas, considerando que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo (de la cual sólo se hará referencia en el presente estudio). Más adelante se presenta una descripción de las amenazas antes señaladas.

Como información base normativa referida a la intercomuna, se consideró "El Plan Regulador Intercomunal de Chillán - Chillán Viejo", aprobado mediante la Resolución N°14 el 11-01-2007, publicado en el Diario Oficial el 30-06-2007; "El Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo", aprobado mediante el Decreto N°4.505 el 20-07-2012, publicado en el Diario Oficial el 20-08-2012; El Plan Regulador Comunal de Chillán fue aprobado mediante la Resolución N°8 el 20-04-1989, publicado en el Diario Oficial el 27-06-1989 y modificaciones posteriores (2016).

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

Para establecer los alcances y limitaciones de un Estudio Fundado de escala intercomunal, es fundamental señalar que, las curvas topográficas se encuentran equidistantes cada 5 metros, mientras que la información geológica del área de estudio está disponible a escala 1:250.000. Lo anterior condiciona la revisión de áreas susceptibles a procesos relacionados con remoción en masa e inundaciones a escala intercomunal, la que se realizará a escala 1:50.000 (salida gráfica).

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

Para estudios con mayor nivel de detalle, se deberán hacer estudios específicos y a escala de ingeniería de detalle (levantamientos de topografía).

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

2. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1. CLIMA

En la intercomuna predomina un clima, según Peña y Romero (1983), bajo el predominio de influencias anticiclónicas alternadas, en la variante de climas y períodos secos estivales. Según esta clasificación este clima posee períodos de mal tiempo que se desprenden de las condiciones anticiclónicas propias de invierno, en la medida que las células de alta presión se desplazan hacia el norte, mientras que durante la época de verano se producen días cálidos, con condiciones de buen tiempo lo que genera una estación seca prolongada, producto de la influencia anticiclónica cálida que desciende hasta los 40°LS en verano.

Según la clasificación climática de Henríquez (1990) nos señala que este clima presenta un déficit de agua de moderado (B1B' 1S2a') a grande en la estación de verano (B1B' aS2a') y se caracteriza por ser un sector de pendientes suaves a levemente onduladas, de suelos franco-arcillosos, sometidas a cultivos anuales donde el déficit de agua es de 23 cm. La estación seca se manifiesta durante cinco meses, de diciembre hasta abril.

La DGA (2004) se distingue dos tipos de bioclimáticos, dentro de los cuales destacan en el caso de la cuenca del río Chillán el Mediterráneo pluviestacional - oceánico, que influye en casi toda el área de la cuenca, en que la amplitud térmica anual es inferior a 20°C.

Temperatura

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

En cuanto a los resultados de la temperatura en la Intercomuna se observa un aumento de la temperatura máxima y media anual mayor a 2º Celsius respecto de la proyección del escenario del año 2050.

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

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

COMUNA	ID	TXE	TNE	TXJ	TNJ	Temed	Tjmed	PPA	PPA MIN	PPA MAX	TXE 50	TNE 50	TXJ 50	TNJ 50	Temed 50	Tjmed 50	PPA 50	PPA 50 MIN	PPA 50 MAX
Chillán	559	27,8	11,5	12,3	3,8	18,7	7,7	1088	872	1325	30,1	13,4	13,8	5,3	20,7	9,1	920	738	1120
Chillán Viejo	560	27,7	11,7	12,5	3,9	18,7	7,8	1019	918	1206	30	13,6	14	5,3	20,7	9,2	862	776	1020

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.

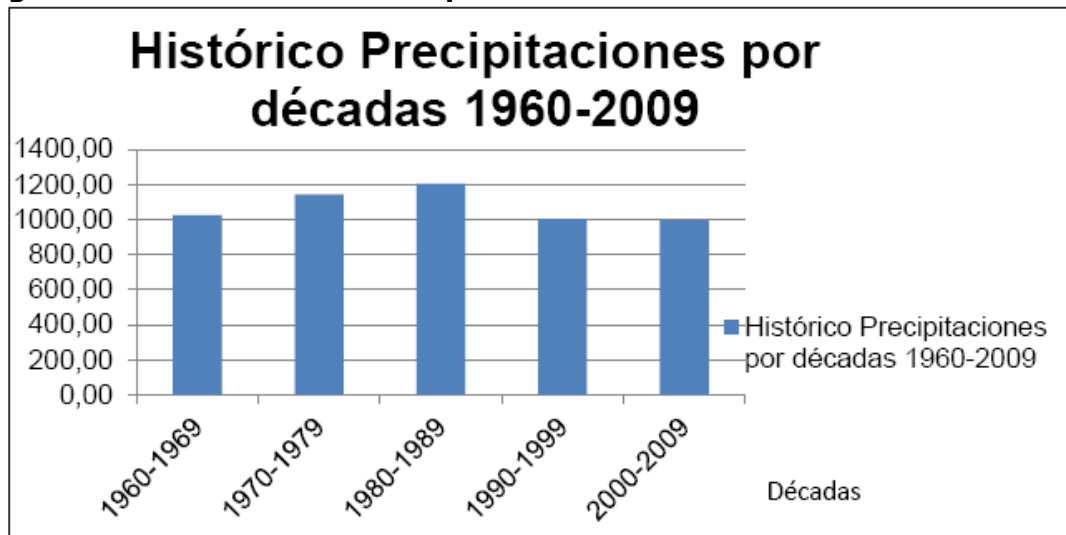
Fuente: <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl>

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.

Se obtuvieron datos desde la estación meteorológica Bernardo O’Higgins a cargo de meteorología de Chile, ubicada en Chillán en 36° 27’ LS y 72° 06’ de longitud oeste, representando datos de precipitaciones de la ciudad de Chillán. Las grandes precipitaciones históricas nos indican que la década con mayor pluviometría corresponde al período 1980- 1989 tiempo en que se registraron precipitaciones promedio de 1.204 mm de agua caída (ver gráfico N°1), mientras que, si desglosamos las precipitaciones por año, se obtuvo que los años que registran mayores precipitaciones corresponden a los años 1972, 1975, 1980, 1982, 1984, 1986, 1987 1999 y 2006.

Figura 2 Variación de las Precipitaciones Históricas de la ciudad de Chillán



Fuente: Elaboración propia en base a Meteorología de Chile (2012)

Revisando los datos de la cantidad de agua caída mensual, se observa que los meses que concentran mayor cantidad de precipitaciones son los meses invernales de Mayo a Agosto, deduciendo que la ocurrencia potencial de mayores inundaciones estaría localizada durante estos meses de invierno.

Los regímenes pluviométricos anuales de la cuenca son predominantemente bimodales, concentrando los máximos montos de pluviosidad en los meses de mayo a Julio, siendo este último el mes más lluvioso. Las menores precipitaciones se manifiestan generalmente de diciembre a marzo, destacando enero como el mes más seco (Henríquez, 1990).

Tabla 2 Promedios de Precipitaciones por períodos

Décadas	Promedio de Pp
1960-1969	1023,75
1970-1979	1140,99
1980-1989	1204,65
1990-1999	1004,35
2000-2009	998,43

Fuente: *Elaboración Propia en base a Meteorología de Chile*

Precipitaciones máximas anuales en 24 horas

Las precipitaciones máximas anuales en 24 hrs, fueron obtenidas de la Dirección General de Agua (DGA), a través de "Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea", se consultó un periodo de 20 años (1997 a 2017), para las estaciones de Canal de la Luz, Chillán Viejo y Nueva Aldea.

La estación Canal de la Luz presenta registros a contar del año 2008. En esos 8 años destaca 2 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias, ocurrido los años 2009 y 2015.

La estación Chillán Viejo presenta registros a contar del año 1997. En esos 20 años destaca 13 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias, ocurrido en el año 1997,1999, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009 y de 2012 a 2015.

La estación Nueva Aldea presenta registros a contar del año 1997. En esos 20 años destaca 11 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias, ocurrido en los años 1997,1999, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008, 2009 y del 2013 al 2015.

Los mayores registros corresponden a los años 1997 y 2002. A contar del año 2012 existe una concentración de precipitaciones sobre 60 mm en las tres estaciones. Esta situación corresponde principalmente a un aumento de la concentración de lluvias más que a un aumento de la precipitación anual.

Tabla 3 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Canal de la Luz, periodo consultado: 01/01/1997 - 01/01/2017

Año	Fecha	Máxima en 24 hs. Precipitación (mm)
2008	01-sept	24,4
2009	17-jun	92,8
2010	06-feb	52,8
2011	12-abr	38,5
2012	08-nov	51,3
2013	20-oct	49
2014	29-mar	53,9
2015	11-jul	63,6
2016	10-jul	44,3

Fuente: *www.dga.cl*

Tabla 4 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Chillán Viejo, periodo consultado: 01/01/1997 - 01/01/2017

Año	Fecha	Máxima en 24 hs. Precipitación (mm)
1997	22-abr	147
1998	10-sept	44
1999	02-may	86
2000	29-jun	52
2001	16-jul	87
2002	26-feb	136
2003	21-may	58
2004	11-abr	82
2005	26-jun	116
2006	11-jul	102
2007	16-jul	52
2008	19-may	97
2009	17-jun	112
2010	17-jun	47
2011	18-jun	58
2012	08-nov	60,3
2013	27-jun	63,8
2014	30-abr	64
2015	11-jul	63
2016	25-may	47,5

Fuente: www.dga.cl**Tabla 5 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), Estación Nueva Aldea, periodo consultado: 01/01/1997 - 01/01/2017**

Año	Fecha	Máxima en 24 hs. Precipitación (mm)
1997	22-abr	152
1998	07-may	48,5
1999	02-may	67
2000	05-ago	58
2001	12-jun	78
2002	23-ago	155
2003	16-nov	66
2004	19-jun	62
2005	26-jun	118
2006	18-abr	67
2007	16-jul	45
2008	18-may	103
2009	27-jun	135
2010	05-may	45
2011	13-jul	50
2012	11-jun	50
2013	26-jun	62
2014	30-abr	68,1
2015	15-ago	73
2016	22-abr	40,2

Fuente: www.dga.cl

Conclusiones

De acuerdo con los antecedentes recopilados, se evidencia el efecto del cambio climático en el área intercomunal. Esto se ve reflejado en una disminución paulatina de las precipitaciones total anual, que según la proyección realizada al año 2050 esta disminuiría aproximadamente a 800 mm, 200mm menos que el promedio de los últimos 10 años. 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 rodados y aluviones).

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 central.

2.2. HIDROGRAFÍA

La red hidrográfica se caracteriza por la existencia de una variada red de cursos, que en su conjunto vienen a formar parte de la gran cuenca del río Itata (Cáceres, et al. 1989). La ciudad de Chillán y Chillán Viejo están insertas morfológicamente en el cono de los depósitos aluviales del sistema hídrico Ñuble-Itata. Específicamente, se ubica al norte del río Chillán, en un plano de depósitos carente de obstáculos físico-topográficos de importancia. La pendiente existente es del orden del 0,4% en sentido sureste-noroeste.

El Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo (2002) caracteriza a la hidrografía del área de estudio: los ríos Ñuble, Cato y Chillán son de origen pluvionival, caracterizados por grandes caudales en los meses de invierno. La hoya del río Ñuble es de 5.092 km². Este río nace al pie del paso Buraleo, al oriente de los Nevados de Chillán, y desarrolla su curso superior en dirección Noroeste, recibiendo a 40 km de su origen su principal afluente, el río Los Sauces, que descarga sus aguas por la ribera derecha, después de un recorrido de 155 km, el río Ñuble se junta en el borde oriental de la Cordillera de la Costa con el río Itata, en Confluencia. En su primer tramo, hasta la junta con el río Los Sauces, el río Ñuble corre en un cajón muy estrecho de márgenes quebradas, característica que se conserva hasta salir al llano central. Luego, además de los nombrados, recibe aportes de esteros de escaso caudal, aunque después del cruce de la carretera Panamericana, desemboca por la ribera izquierda, procedente de la precordillera, el río Cato. En parte, este último constituye el límite norte de la cuenca aportante a la zona urbana, alimentando una única bocatoma, correspondiente al canal de La Luz. A sólo 10 km de su junta con el río Itata, afluye al Ñuble, también por la ribera izquierda, otro importante cauce, el río Chillán, que nace en la falda poniente de los nevados de Chillán. Este río corresponde al límite sur de la cuenca aportante y de él nacen una serie de canales de riego que la cruzan.

De esta forma, la cuenca hidrográfica se caracteriza por el eje fluvial principal, que es el río Chillán, que fluye de oriente a poniente tributando al río Itata, orientado de sur a norte, y que más tarde adquiere rumbo sureste-noroeste a partir de la localidad de Confluencia (Henríquez, 1990). Uno de los principales afluentes del río Itata corresponde al río Ñuble, que cruza al norte de la ciudad de Chillán, siendo de régimen mixto; por el sur aparece el río Chillán, cuya cabecera se enclava en el sector externo del volcán Nevados de Chillán por lo que su régimen es de carácter pluvionival. El río Chillán constituye un curso hídrico de segundo orden tributario del sistema Ñuble-Itata (Monrroy, 1988). El río Chillán inscribe al sur un estrecho valle al interior de esta plataforma. Sus sedimentos constitutivos son preferentemente areniscas tobáceas, limonitas y conglomerados, con intercalaciones de arcillolitas y tobas (Gajardo, 1981).

A pesar de su reducida superficie (1.418,2 ha) por el radio urbano escurren tres cauces de agua; al norte se observan los canales de la Luz Cato y derivado Oro Verde; en el área central del estero Las Toscas de Chillán y en el margen centro sur el estero Las Lechuzas. En el oriente, como afluente se agrega a estos cauces, el estero Camarones.

El Plan Maestro de Evacuación de Aguas Lluvias Chillán y Chillán Viejo (2002) entrega una caracterización de los principales cursos de agua que atraviesan la cuenca del río Chillán: en la zona rural se extiende mayoritariamente entre el río Cato y el área urbana actual y está considerada como la zona de expansión de mayor extensión de la ciudad de Chillán. Los patrones de drenaje de ambas componentes están basados en infraestructuras diferentes, en el área urbana actual se pueden distinguir sistemas de drenaje que entregan la mayor parte de las aguas lluvias al río Chillán, en un sector localizado al sur-poniente de la ciudad. Otra parte importante de esta área de estudio drena hacia la cuenca del estero Colliguay, cauce que se forma al poniente del área de estudio.

El río Chillán, por su parte, alimenta una serie de bocatomas de canales que escurren por el área aportante en dirección suroriente-norponiente, regando en ella los predios respectivos.

Durante el período de mayo a agosto, estos canales no riegan en general, y sus bocatomas permanecerán cerradas, sirviendo de este modo de receptores de las aguas lluvia en la cuenca aportante, pasándolas a través de la ciudad por los esteros Las Toscas, Las Lechuzas (o Maipón), y otros que hacen de receptores de estos canales.

La descripción de los cursos hídricos presentes en la cuenca río Chillán-estero Peladillas, está en parte a cargo de INDGENSA (2002) a través del encargo de estudio por la Dirección General de Aguas (DGA) y se presenta a continuación:

Ríos

Río Ñuble: Este río es el principal afluente del río Itata. De alimentación fluvio- nival, nace a 2000 m de altura y corresponde al límite de la cuenca del río Chillán.

Río Chillán: Principal río de la cuenca de estudio. Se alimenta preferentemente de precipitaciones y de deshielos, y es mantenido por diversos esteros que atraviesan la comuna de Chillán y Chillán Viejo. Su nacimiento está ubicada a los 2300 m de altura, cercano a los Nevados de Chillán.

Río Ñiblinto: Este río pertenece a la cuenca del río Chillán, siendo parte de los ríos que alimentan al río Cato. Nace a 1000 m de altura aproximadamente.

Río Cato: Su nacimiento está ubicada a 1250 m de altura.

Esteros

Estero Las Lechuzas: Nace dentro del perímetro urbano y es drenado por aguas que provienen de los recursos liberados por canales situados al sureste de la ciudad, dando origen a dos canales en el sector de Las Cancas. Este estero es un cauce natural afluente del estero Las Toscas. En su trazado de sur a norte por el límite de las comunas de Chillán y Chillán Viejo, de unos 2.800 m, recibe aportes de diversos colectores de aguas lluvias que drenan poblaciones aledañas. Durante la temporada de riego conduce las aguas entregadas por los canales que sirven el sector suroriente de la ciudad y, en la temporada de invierno, conduce aguas lluvias que entregan al estero Las Toscas. A este estero llega, por su ribera derecha, un pequeño cauce o brazo que se le junta a unos 750 m aguas abajo del comienzo del estero.

Estero Camarones: Nace al este de la ciudad, cercano a avenida Argentina, donde afluye al estero Las Toscas de Chillán. Corresponde a un cauce natural afluente del estero Las Toscas. Drena el sector suroriente de Chillán con un trazado de oriente a poniente, íntegramente por la zona urbana. Considerando como inicio del cauce el sector en donde éste presenta una sección más definida (en población Los Volcanes) hasta la descarga en el Estero Las Toscas, el recorrido es de unos 1.700 m.

Estero Culenar: Este curso de agua nace a los 210 m de altura.

Estero Chingue: Su nacimiento está ubicada sobre los 200 m de altura.

Estero Bureo: Este estero nace a 600 m de altura y fluye hacia el río Cato alimentándolo.

Estero Pullamí: Este curso de agua alimenta también al río Cato, su nacimiento está localizada a 300 m de altura.

Estero Cadacada: Este estero de alimentación pluvial, nace sobre los 200 m de altura y alimenta al principal río de la cuenca en estudio.

Estero Boyén: Su nacimiento está ubicada a 380 m de altura aproximadamente, de alimentación pluvial fluye hacia el río Chillán.

Estero Pichilluanco: Este curso de agua fluye al estero Boyen y este a su vez al río Chillán; su nacimiento está ubicada por sobre los 300 m de altura.

Estero Lluanco: Nace a 300 m de altura y sus aguas drenan hacia el estero Quilmo, quien a su vez fluye hacia el río Chillán.

Estero Quilmo: Su nacimiento está localizada a 200 m de altura. Su alimentación es del tipo pluvial, registrando su máximo caudal durante los meses de invierno y primavera. Este estero drena sus aguas alimentando al río Chillán.

Estero Colliguay: Nace a 100 m de altura y es uno de los tributarios que posee el río Ñuble.

Estero Las Toscas: Nace a los 140 m de altitud y recorre toda la ciudad de Chillán, de alimentación pluvial, fluye hacia el río Chillán. Es un cauce natural que se origina en el límite oriente a aproximadamente a 2,5 km al nororiente de la ciudad de Chillán, en donde existe una compuerta frontal de conexión con el Canal de La Luz. Este cauce atraviesa diagonalmente la ciudad desde el nororiente a sur-poniente, pasando por el límite sur del centro antiguo de Chillán hasta la descarga en el río Chillán, que se produce aproximadamente a la altura del empalme vial del acceso sur con la ruta 5 Sur. Es el principal cauce de evacuación de aguas lluvias y en su recorrido urbano, de más de 12 km, recibe aportes del estero Camarones y del estero Las Lechuzas, así como también de un gran número de descargas directas de colectores de aguas lluvias.

Estero Maipón: Nace a 110 m de altura y sus aguas fluyen hacia el estero Las Toscas y este fluye a su vez al río Chillán.

Estero Peladillas: Es un estero de poca extensión, su nacimiento se encuentra sobre los 1200 m de altura. Alimenta al río Chillán y también al río Cato.

Estero Pincura: Nace a 350 m de altura.

Estero Llipincura: No se tiene información sobre su nacimiento.

Estero río Viejo: es un cauce natural con trazado de oriente a poniente, un poco más al norte y prácticamente paralelo al río Chillán, del cual es afluente. Este cauce drena el sector sur y recibe derrames de riego de los canales Huambalí y Santa Rosa. En su inicio coincide con el canal Huambalí desde el cruce con el Canal Defensa Sur, en su recorrido recibe aportes de colectores de aguas lluvias, por descargas directas a su cauce o a través de los cauces de riego afluentes.

Canales

Canal de la Luz Cato: atraviesa el borde norte de la ciudad en dirección general este-oeste. Da origen a cinco canales al interior del área urbana. Principalmente corresponde a un cauce de riego que se origina en la ribera izquierda del río Cato, a unos 16 km al oriente de la ciudad de Chillán, en la comuna de Coihueco. Las aguas de este canal se captan por intermedio de una bocatoma de carácter temporal. Aproximadamente a 2,5 km al nororiente de Chillán, donde el canal posee una compuerta frontal de cierre total, que en la época invernal desvía aguas hacia el estero Las Toscas. Este canal atraviesa por el sector norte de la ciudad, en dirección oriente a

poniente, con un trazado zigzagueante por el costado de calles y por sitios urbanos, hasta cruzar la ruta 5 sur saliendo por el costado sur del camino a Confluencia y Tomé. En su recorrido urbano, de más de 10 km, recibe aportes de canales o acequias secundarias que evacúan aguas lluvias, así como descargas directas de colectores de aguas lluvias.

Canal Emboque: Ingresa al área urbana en su fase terminal en calle Alonso de Ercilla. Este canal nace en la ribera derecha del río Chillán, a unos 5 km. al oriente de la ciudad y sólo entra en el radio urbano en su parte terminal, por avenida Los Guindos.

Canal Lantaño Chico: es un cauce de riego que cruza el área de estudio por el sector norte, a la que ingresa por el extremo nororiental y descarga en una quebrada que desemboca en el río Ñuble. En total este cauce comprende una longitud de unos 6.300 m hasta el río Ñuble.

Canal Defensa Norte y Sur: El canal de Defensa Norte se ubica a unos 7 km. al oriente de la ciudad y el Defensa Sur a unos 1,5 km. al oriente de avda. Los Puelches. Estos canales cumplen con la función de proteger la ciudad de las aguas que los canales de riego captan en la temporada de invierno, evacuando las aguas captadas hacia los ríos Cato y Chillán, respectivamente. Ambos canales se encuentran fuera del radio urbano. El canal Defensa Norte no tiene influencia directa sobre la ciudad, en tanto que el canal Defensa Sur, no obstante tener suficiente capacidad, en ocasiones ha desbordado inundando las zonas vecinas a las poblaciones Sarita Gajardo y Santa Filomena. Tiene un trazado de sur a norte, recorriendo más de 6 Km hasta su descarga en el cauce de confluencia de los esteros El Chingue y Culenar, que a su vez desembocan en el río Cato.

Canal de La Colonia: derivado del Canal de la Luz, Canal Lantaño Chico y sus derivados y Canal de Alivio al río Ñuble, además de canales menores de derrames. Estos canales no tienen incidencia en la infraestructura de evacuación de aguas lluvia del área urbana actual. Sin embargo, si participan en el drenaje actual de la zona de expansión norte.

Conclusiones

La hidrografía intercomunal cuenta con una importante red de drenaje que fluye de oriente a poniente y corresponde a tributarios de Río Ñuble. Los principales tributarios del Río Ñuble corresponden, de norte a sur, al Río Cato, El Río Chillán y Río Larqui (ver Figura 10.3.1 del punto 10.3. de los ANEXOS).

El Río Cato presenta un lecho en general encauzado con sectores con curvas norte sur en la que es posible observar sectores de depositación y socavación de baja escala, en el sector de su desembocadura con el Río Ñuble, por la pérdida de pendiente su caja se hace más ancha conformando terrazas de inundación.

El Río Chillán si bien tiene una naciente con mayor altura, su paso por la intercomuna es con baja pendiente, producto de eso es posible observar en gran parte de su recorrido sectores de depositación y cambios en su dirección predominante, existe una curva en 90° aprox. con orientación norte sur (Sector sur de la Comuna de Chillán), este cambio de dirección tiene una longitud de 2 km donde vuelve a su orientación oriente a poniente, desde este sector hasta la desembocadura del Estero Maipo vuelve a perder pendiente generando un cauce con terrazas de baja altura, de la Ruta 5 hasta la desembocadura en el Río Ñuble la pérdida de velocidad del flujo genera islas temporales en su lecho ocasionado la división del cauce principal.

Respecto del Río Laqui, la geomorfología de serranías en gran parte su paso por la intercomuna encauza su lecho, si bien existen terrazas en sectores donde hay aportantes, estas terrazas se encuentran a mayor altura (en general sobre 10 mts).

2.3. GEOMORFOLOGÍA

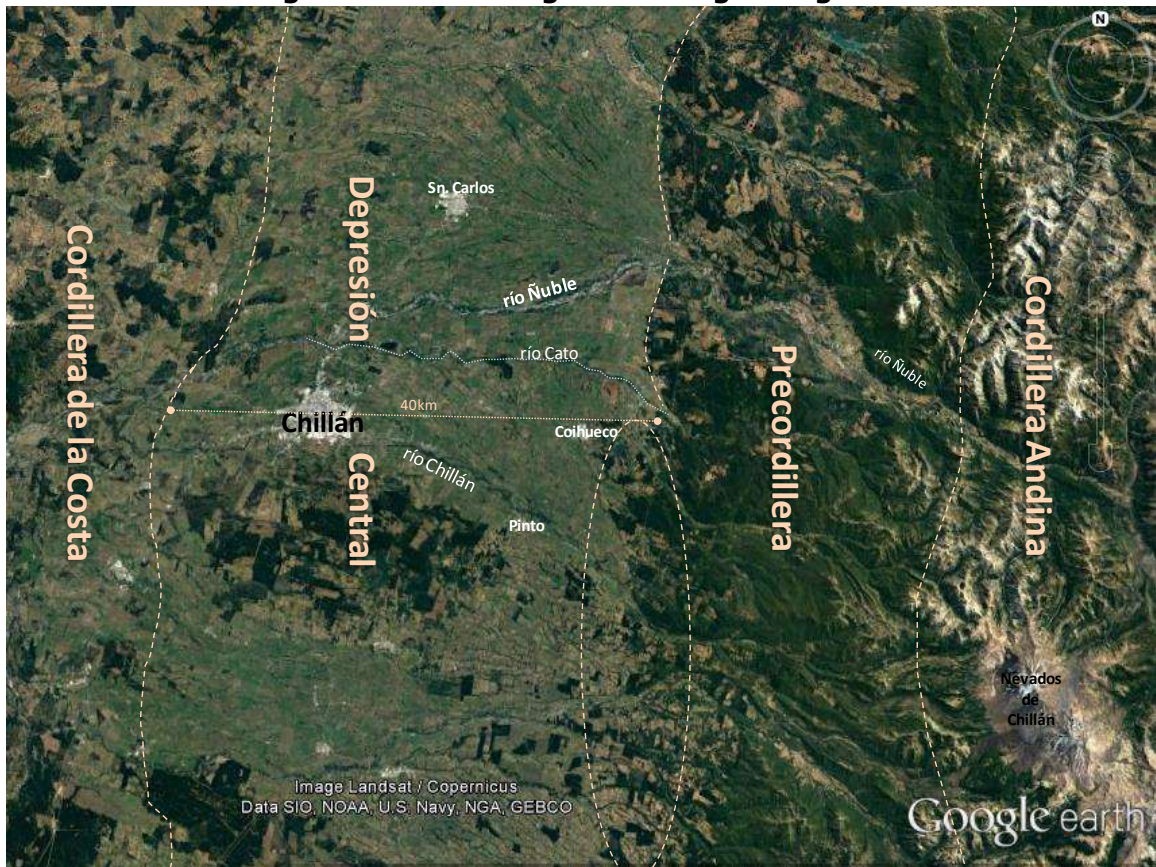
Geomorfología Regional

A nivel regional, se distinguen cinco unidades morfológicas mayores, que de oriente a poniente son: Cordillera Andina; "La Montaña" o Precordillera; Depresión Central; Cordillera de la Costa y Planicies Litorales¹ (Gajardo, 1981; Borgel, 1982), distribuidas en general con una dirección norte-sur.

La Cordillera de Los Andes o Cordillera Andina se caracteriza por presentar un relieve abrupto con fuertes pendientes. Las alturas promedio son de 2.000 m.s.n.m., destacando algunas cimas que corresponden a conos volcánicos, tales como Chillán (3.212 m.s.n.m.), Antuco (2.985 m.s.n.m.), Copahue (2.965 m.s.n.m.) y Callaqui. (3.164 m.s.n.m.), entre otras. En la Cordillera Andina nacen las dos grandes hoyas hidrográficas de la Región (Itata y Biobío), siendo la primera la relevante para el área de estudio. Los ríos mayores y cauces que drenan hacia el oeste generan incisiones en el macizo cordillerano (como lo son los ríos Longaví, Perquilauquén, Ñuble, Chillán, Diguillín, entre otros). Esta unidad morfológica adquiere gran relevancia como fuente acumuladora de nieve que alimenta a importantes cursos fluviales de la cuenca.

La unidad llamada "La Montaña" o Precordillera representa una transición entre la Cordillera de los Andes y la Depresión Central. Su altura fluctúa entre los 400 y 600 m.s.n.m., angostándose hacia el sur, y está profundamente erosionada por los principales cursos de agua, generando notorios valles producto del modelado fluvial. Al norte del río Cato, el límite entre esta Unidad y la Depresión Central constituye un límite fácilmente reconocible, mientras que, al sur de este río, la transición entre la Depresión Intermedia y la Precordillera es gradual (Gajardo, 1981). La Figura a continuación destaca lo señalado.

¹ La unidad geomorfológica de "Planicies Litorales", se localiza fuera del área de estudio.

Figura 3 Contexto geomorfológico regional

Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

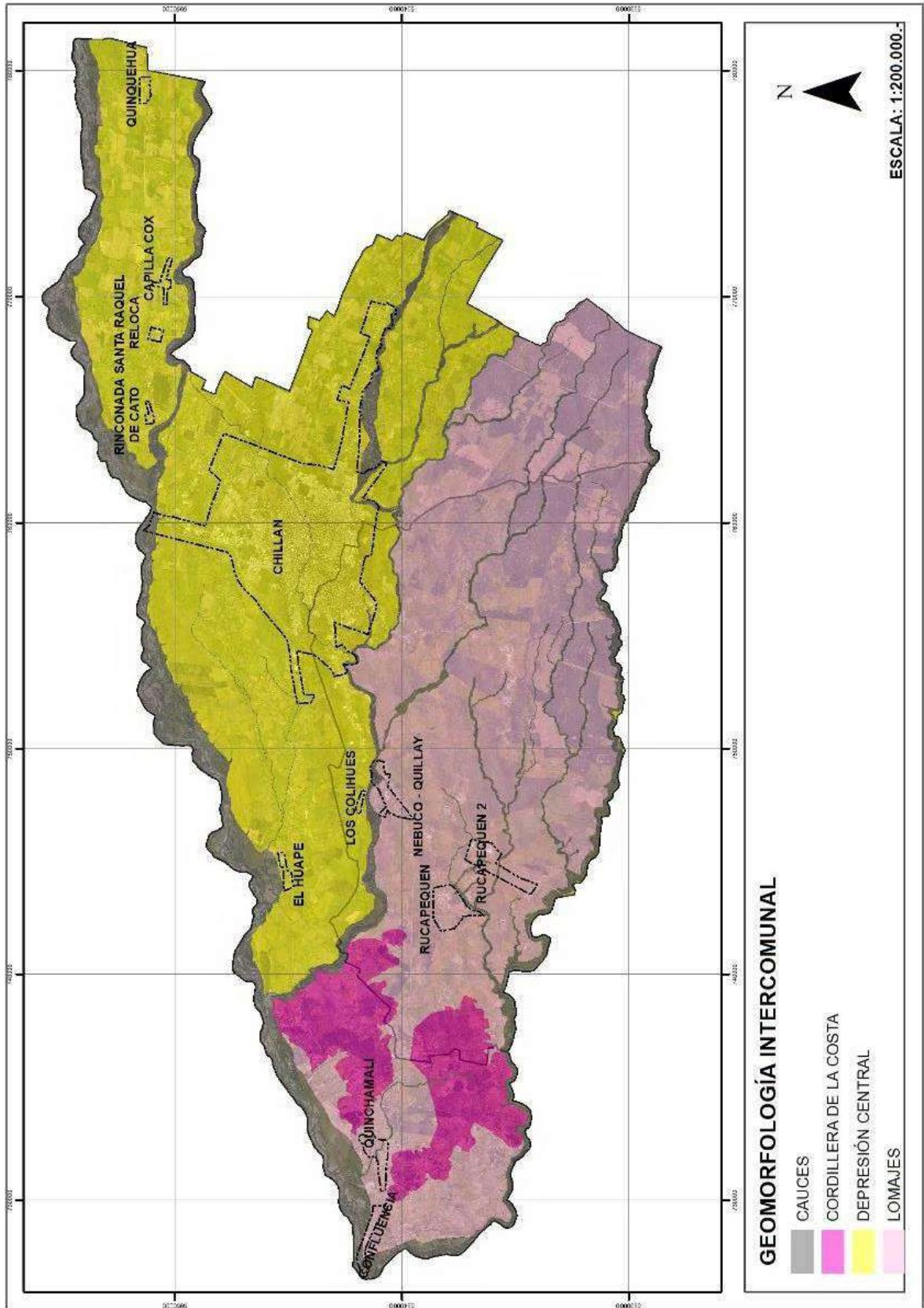
La Depresión Central constituye llanura amplia con una altura media de 150 m.s.n.m., y que hacia el sur de la región (río Biobío) se va haciendo más ondulosa. En la zona de Chillán, la Depresión Central alcanza su máxima amplitud (unos 40 kilómetros de ancho, destacado en la Figura anterior). En este tramo los valles longitudinales tienen amplio desarrollo, y se caracterizan por tener una topografía uniforme, extendiéndose hacia el oeste hasta hacer contacto con la Cordillera de la Costa.

A nivel regional, la Cordillera de la Costa se presenta, al norte, baja y ondulada, con alturas promedio inferior a 400 m y con cuencas interiores como la de Quirihue (al noroeste de Chillán), mientras que, al sur, la Cordillera de la Costa (cordillera de Nahuelbuta) se presenta como macizo imponente de más de 1500 m.s.n.m.

Geomorfología área intercomunal

El área de estudio se emplaza en la unidad geomorfológica de la Depresión Central (o Depresión Intermedia), con una topografía plana o ligeramente ondulada. Esta característica se aprecia en los distintos poblados y localidades mostrados referencialmente en la siguiente Figura). Como límites naturales del área, se destacan el río Itata (por el sur y que continúa hacia el oeste), y cuyos afluentes principales son el río Ñuble y el río Chillán, todos ellos presentes en el área de estudio (el río Ñuble por el norte; el río Chillán en el centro). Existen otros cursos de agua y esteros locales que atraviesan la ciudad, descritos más adelante.

Figura 4 Contexto geomorfológico intercomunal



Fuente: Elaboración propia

Las características geomorfológicas del área de estudio se obtuvieron a partir de la descripción realizada por distintos autores y estudios anteriores, dentro de los que se destacan el estudio de Mardones (1990), Borgel (1982) y el Informe Final del Plan maestro de aguas lluvias cuenca río Chillán (Prisma, 2009), complementadas con visitas a terreno realizadas en noviembre y diciembre de 2017.

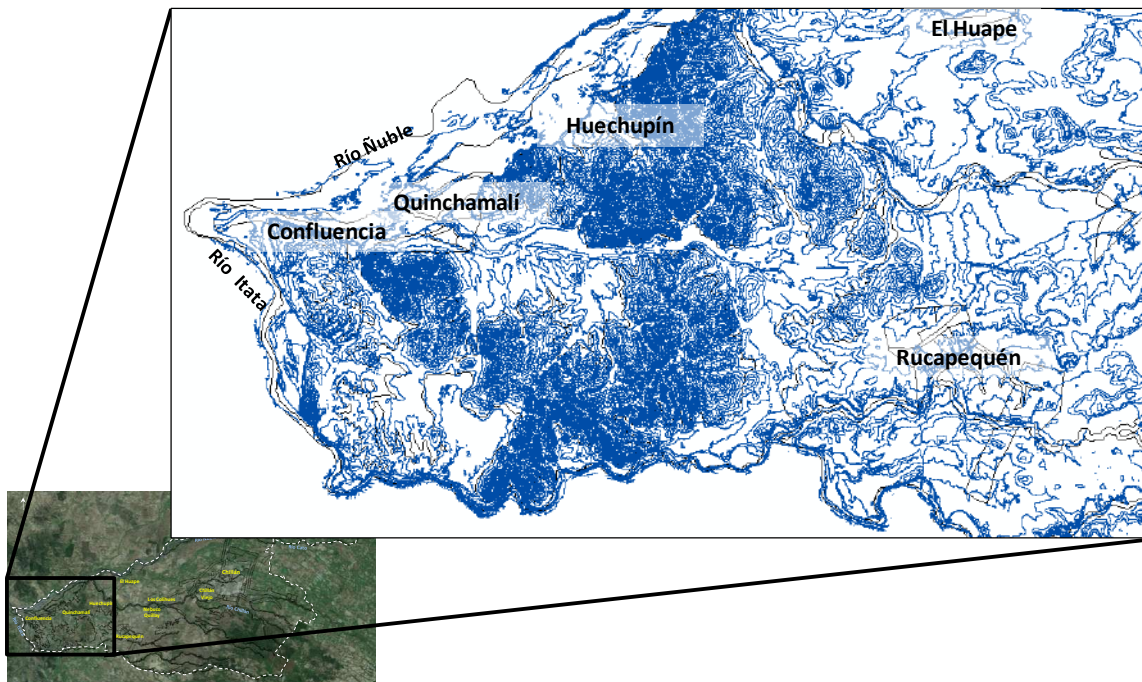
En términos generales, los depósitos que rellenan los valles corresponderían a materiales transportados desde la Cordillera Andina por los ríos (Chillán y Ñuble) y

cuyo origen sería de tipo volcánico y torrencial (más que glacial como ocurre en otros valles más al sur de Chile). La presencia de la Cordillera de la Costa habría actuado como barrera natural que permitió la acumulación de los materiales provenientes de la Cordillera Andina y de la Precordillera (este), emplazándose por lo general los depósitos más gruesos hacia el este (piedemonte) variado a más finos hacia el oeste, generándose el depósito de sedimentos finos (limo-arcillosos) producto de anegamientos y abundantes paleocanales.

Dentro del área de estudio, se pueden reconocer algunas diferencias geomorfológicas de oeste a Este, y que serán descritas a continuación. La Topografía utilizada para el análisis, así como para las visitas a terreno se obtuvo a partir de curvas cada 5 metros.

Hacia las localidades de Confluencia, Quinchamáli y Huechupín (oeste del área de estudio), se observa un lomaje onduloso y suave, correspondiendo a cerros compuestos por cuerpos de rocas intrusivas, y que marcan el inicio a la Cordillera de la Costa hacia el Oeste. Las alturas máximas de los cerros alcanzan los 225 m.s.n.m., y en las partes llanas del valle 50 m.s.n.m. (ver Figura a continuación).

Figura 5 Geomorfología sector oeste – PRI Chillán



Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth

Las pendientes de las laderas de los cerros (obtenidas a partir de la elaboración de Modelos de Elevación Digital (DEM) a partir de la triangulación de las curvas cada 5 metros), varían entre 5° y 15°, con laderas suaves y con escasos afloramientos rocosos. La cobertura vegetal es parcial, su aspecto rojizo se debe a composición litológica de los cerros (rocas intrusivas) sometidos a meteorización mecánica, dando un aspecto de maicillo a los suelos del sector.

En las Fotografías a continuación, se muestran los cerros que bordean la localidad de Confluencia y alrededores, dando cuenta de su aspecto. Si bien este cordón de cerros representa una elevación menor, destacan por sobre la geomorfología plana que caracteriza el área de estudio.

Figura 6 Fotografías 1, 2 y 3. Lomaje entorno Confluencia

Fuente: Obtención propia 2018

En la parte central del área de estudio (sectores de El Huape, Rucapequén, Nebuco-Quillay, Los Coihues, Chillán Viejo y Chillán) predominan las formas planas y llanas, que caracterizan la Depresión intermedia. Como ejemplo, se muestran fotografías e imágenes Google Earth, Street View.

Figura 7 Fotografías 4 y 5

Fuente: Obtención propia



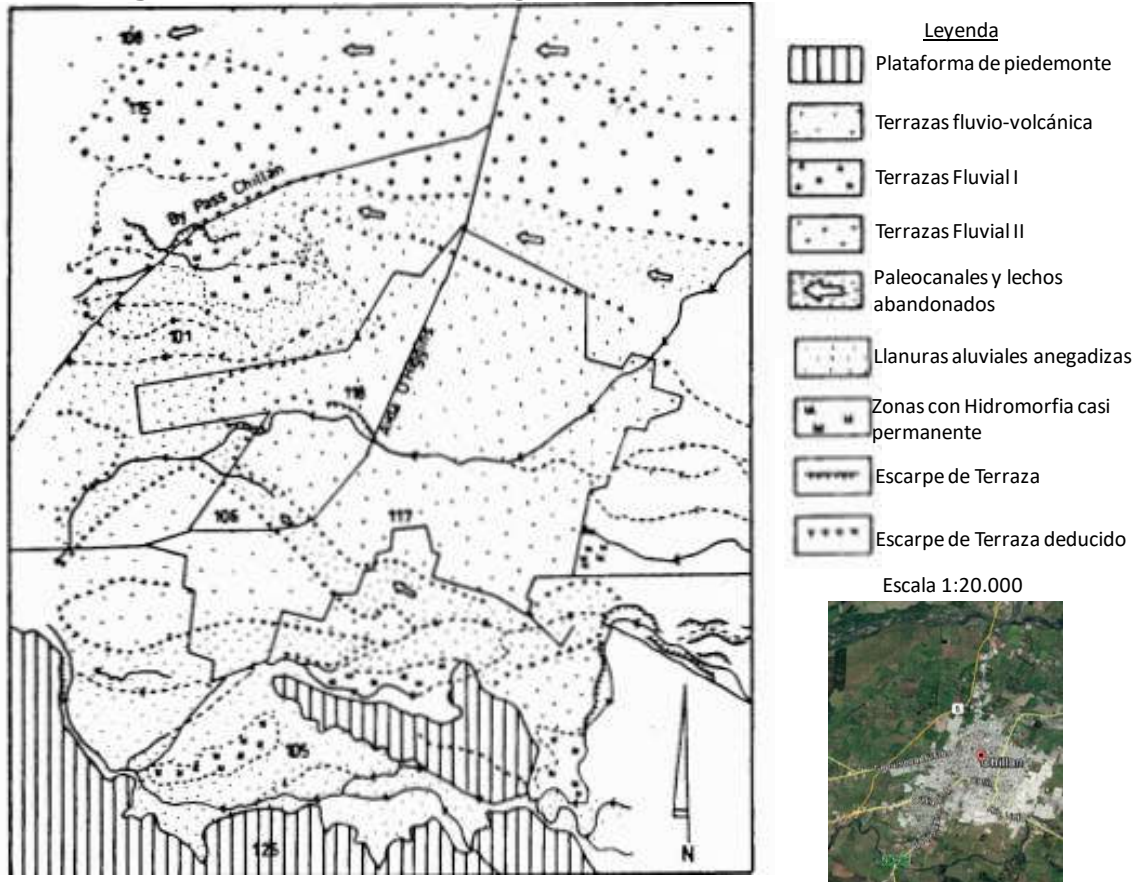
Fuente: Google_Earth Street View

Fuente: Obtención propia y Google Earth, Street View

Las variaciones geomorfológicas identificadas dentro de los valles, se asocia a los tipos y orígenes de los materiales transportados por los ríos (Chillán, Ñuble y otros cauces), los cuales presentan una variación granulométrica y geomorfológica en sentido longitudinal y transversal a su eje, emplazándose por lo general los depósitos más gruesos hacia el este, variando a más finos hacia el oeste, reconociéndose además la presencia de sedimentos finos (limo-arcillosos) producto de anegamientos y abundantes paleocanales y cauces abandonados, presencia de terrazas fluviales, fluvio-volcánicas y llanuras aluviales.

Mardones (1990) realiza una completa caracterización geomorfológica basándose en ortofotos IGM 1:25.000 y SAF 1:30.000 que permiten describir la distribución de estas unidades en el entorno a Chillán, lo que fue complementado en dicho estudio con los sondeos prospectados en las distintas etapas de la expansión urbana (aportando información sobre los depósitos de suelo y sedimentos bajo la ciudad); información de pozos de agua, para determinar la profundidad y variación estacional del nivel freático e información de la respuesta sísmica de los terrenos con los grandes terremotos que han afectado la ciudad. De acuerdo con la referencia citada, en Chillán se reconocen las siguientes unidades morfológicas: plataformas de piedemonte, terrazas fluvio-volcánicas; paleocanales; terrazas fluviales y fluvio-glaciares mostradas en Figura 8.

Figura 8 Carta Geomorfológica del sitio de la ciudad de Chillán



Fuente: Mardones, 1990

Haciendo referencia a la Figura anterior, las Plataformas de Piedemonte incluyen a los terrenos ubicados a los pies de los macizos montañosos y altos topográficos, concentrando los abanicos y conos aluviales provenientes de las partes altas del relieve. Estas zonas constituyen naturalmente un límite geográfico, siendo evadidas por campos de cultivo y uso urbano de suelo. En el área de estudio, se reconoce Plataformas de Piedemonte a los pies de ambos cordones montañosos (Andino y de la Costa). En este último, en ocasiones las Plataformas impiden el normal escurrimiento de la cuenca hacia el Oeste. En la Figura anterior, se observan en la parte sur y el oeste de la ciudad.

En el caso específico de la ciudad de Chillán, se emplaza casi en su totalidad en la unidad de Terrazas Fluviovolcánicas, las cuáles presentan algunas diferencias en su composición y granulometría, dejando como consecuencias algunas variaciones topográficas en el terreno (Mardones 1991) cita como ejemplo de esta situación en calle Sotomayor, al norte del Canal de la Luz (Población Santa Elvira). Según Mardones (1990) en la terraza más hacia el norte, los depósitos estarían asociados a un Lahar, presentando matriz fina de ceniza, con bajos niveles de alteración y homogéneos en granulometría (limos y lapillis), compactados e impermeables. Según los antecedentes, esta unidad tuvo un mejor comportamiento sísmico en 1939, asociado posiblemente a la ausencia de una napa freática cercana a superficie. La misma autora describe la composición de la terraza como arenas gruesas de origen volcánico, con trozos de

gravillas basálticas, trozos de escoria y lavas con aspecto anguloso. Esta terraza subyace todo el sector norte y noreste de la ciudad.

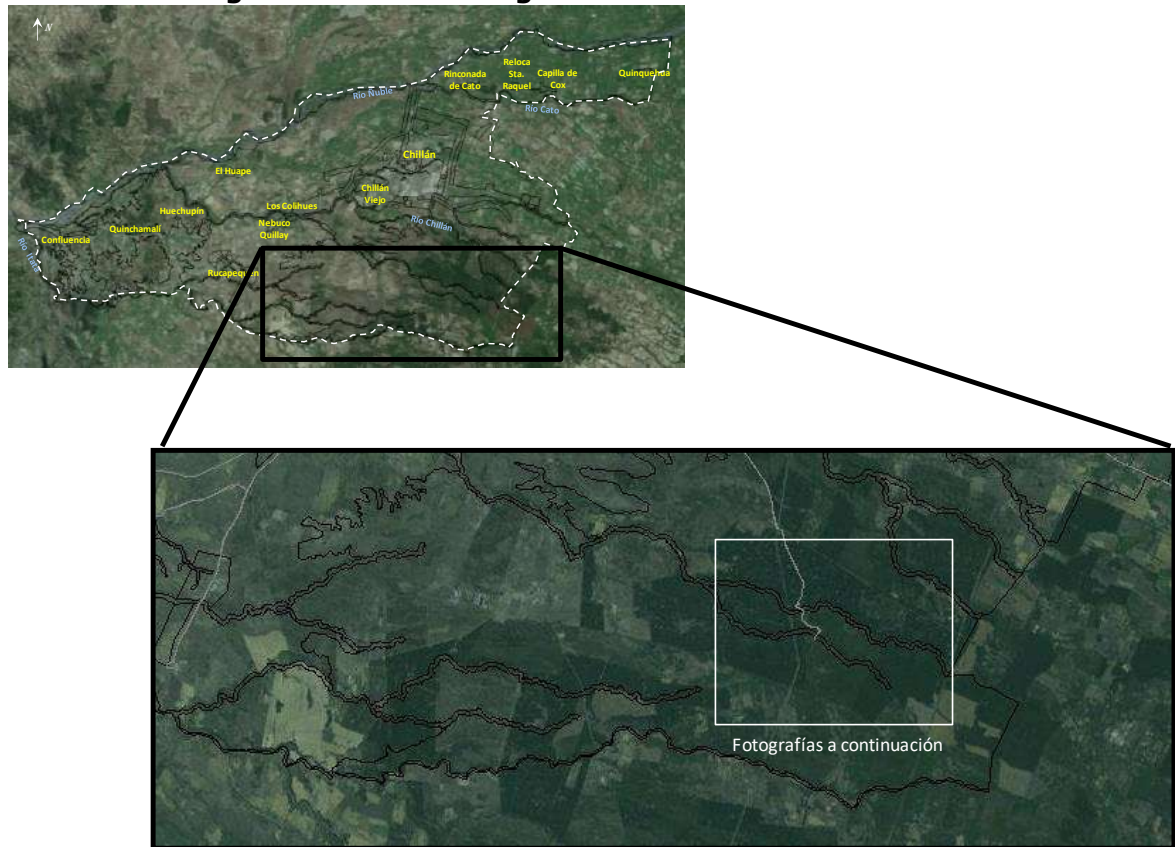
Según Mardones (1990) en calle Collin con 18 de Septiembre (al sur en estero Las Toscas, en el centro de la ciudad), se reconocen dos mantos fluviovolcánicos. El manto superior (de 1,5 m de potencia) estaría compuesto por arenillas cementadas, mientras que el manto inferior está compuesto por material de mayor granulometría, tipo grava con buena selección y aspecto de material fluvial. Ambos mantos presentarían diferencias de permeabilidad. Al sur-poniente de la ciudad (en el sector Los Puelches) la autora describe la presencia de bloques de basalto en superficie de 1,5 m de diámetro. Esta unidad presentaría altos índices de "hidromorfia" (término usado en edafología o estudio de suelos, para unidades que sufren condiciones de saturación permanente o temporal), generando zonas sensibles a sufrir inundaciones. También en río Viejo se reconocería una terraza plana, a ambos lados del río Chillán, de origen fluviovolcánico. También se reconocerían dos capas, siendo la primera (de unos 3 m de espesor) más fina, cementada e impermeable que la inferior.

Dentro de las unidades morfológicas y sedimentarias reconocidas (y mostradas en la Figura anterior) se reconocen Terrazas Fluviales y Llanos Fluviales. Las Terrazas identificadas como Terraza 1 y 2 (en la Figura) se sitúan al norte de la ciudad, asociadas al río Ñuble. Hacia el oriente, los sedimentos y la morfología están asociados principalmente a cauces superficiales actuales, generando llanos inundables (posiblemente asociados a sedimentos de tipo laháricos en la base). Su composición es de una mezcla de gravas redondeadas y arenas de origen fluvial. En general estos depósitos tienen alta permeabilidad, permitiendo el escurrimiento de aguas libremente, Como se mencionó anteriormente, hacia el oeste de Chillán, confluyen la mayor parte de drenes que ven afectado su normal escurrimiento por el inicio de la Cordillera de la Costa, generando llanuras inundables. Composicionalmente se trataría de sedimentos fluviales granulares, bien estratificados, incluyendo limolitas, limolitas arcillosas y areniscas con altos niveles de impermeabilidad y alto grado de hidromorfia (situación que ocasionaría frecuentes anegamientos). Según Mardones (1990) en el barrio Chillancito se reconocería una terraza fluvial antigua con suelos permeables, y un nivel freático (techo de una zona saturada) a 1m de profundidad. Se reconocerían gravas gruesas hasta los 5m de profundidad, con bloques de diámetros variables entre 5 a 6 cm, y algunos bloques de 20 a 30 cm compuestos por lavas, escorias, andesitas, tobas y granito. La autora señala la presencia a los 4 m de profundidad de un banco de origen lahárico que retendría aguas subterráneas.

Finalmente, los Paleocanales reconocidos y descritos por la autora, dan cuenta de antiguos cursos de los ríos, como es el caso de un lecho abandonado al norte de Chillán, asociado a un antiguo cauce del río Cato, conteniendo sedimentos de origen fluvial, con predominio de arenas, y mezcla de arenas, limos y arcillas. Similar situación se reconocería al norte de las poblaciones Arturo Prat, Surco y Semilla, y Villa El Roble, donde se identifica un antiguo curso del Estero Las Toscas (cuando drenaba directamente al río Ñuble). Hacia el sur de la ciudad, se reconocen dos cursos abandonados del río Chillán, y cuyos sedimentos (arenas, limos y arcillas) generan la presencia de suelos impermeables. El reconocimiento de estos canales abandonados y paleocanales resulta complejo en terreno, producto de la cobertura propia de las zonas urbanas. No obstante, es un antecedente importante que considerar.

Hacia el sureste del área de estudio (destacado en Figura a continuación) se reconoce un sector que varía gradualmente desde formas llanas a un lomaje suave (utilizado actualmente con fines forestales), y que representa el inicio de la Precordillera hacia el este. Esta variación geomorfológica, coincide con el cambio en las unidades geológicas hacia el Este, variando desde los sedimentos de valles actuales de ríos y arrastre cordillerano (Formación Mininco) hacia la unidad de rocas volcánicas de la Formación La Montaña, lo que se refleja, además, en la coloración y composición de los suelos del sector.

Figura 9 Geomorfología Sector sureste – PRI Chillán



Fuente: Imagen intervenida de Google Earth

Las Fotografías a continuación muestran una vista general de los lomajes y cauces atravesados hacia el sector sureste.

Figura 10 Fotografías 6, 7 y 8. Lomaje sector sureste



Fuente: Obtención propia 2018

Durante las visitas a terreno realizadas al sector sureste, se pudo constatar sectores deprimidos, con una amplia variabilidad en la composición de los sedimentos, algunos de ellos mostrando evidencias de acumular agua en superficie, siendo parte importante de los antecedentes para el análisis de riesgo por inundaciones.

Figura 11 Fotografías 9 y 10. Formas planas y deprimidas

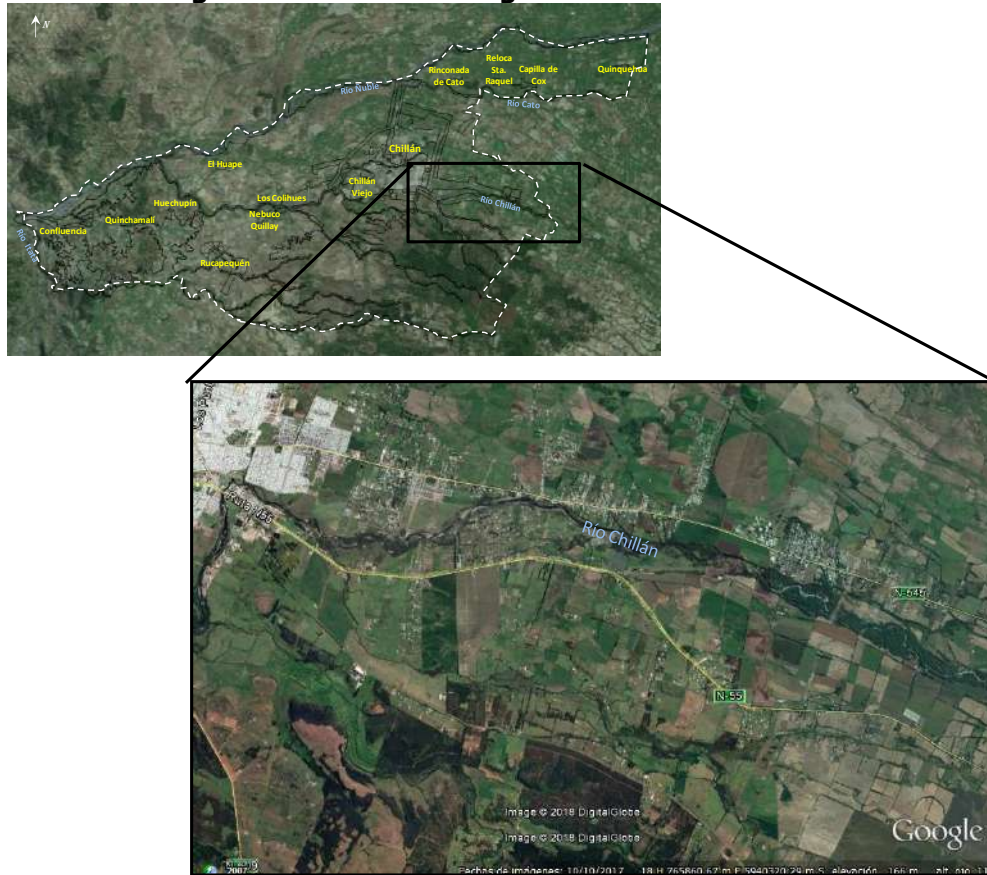


Fuente: Obtención propia 2018

Hacia el este de la ciudad de Chillán, accediendo por las rutas N-545 y N-55 paralelas al río Chillán, se reconoce el modelado típico de valle central, caracterizado por una topografía suave, casi plana, formado por un relleno detrítico originado por procesos de acarreo y depósito de materiales de distinto origen retrabajados por los ríos, y evidenciando formas típicas asociadas a la dinámica de crecidas y erosión de los cauces.

La ruta N-545 va por la ribera norte y accede a las localidades de El Emboque y Las Mariposas, y la segunda (N-55) accede a la comuna de Pinto. De acuerdo con los antecedentes (específicamente el Diagnóstico Plan Maestro de Cauces Cuenca río Chillán, VIII región. Informe Final. Prisma Ingeniería Limitada. Abril 2009), provistos para el presente estudio por el mandante, las crecidas en la cuenca del río Chillán, han ocasionado importantes problemas en zonas ribereñas (como daños por inundaciones y/o erosión), mencionándose El Emboque y zonas al oriente de la ciudad de Chillán, como lugares claves a analizar en la dinámica de inundaciones.

Figura 12 Geomorfología entorno al río Chillán



Fuente: Imagen intervenida de Google Earth

Hechos como la extracción de áridos, o la ocupación de las planicies inundables de dichos cauces por asentamientos urbanos, infraestructura vial y cultivos, así como el extenso desarrollo agrícola bajo riego existente en la cuenca (especialmente en el río Chillán) y las numerosas bocatomas, de alguna manera contribuyen a agravar el problema de las inundaciones (Fuente: Estudio Prisma, 2009). El estudio cita procesos

de embancamientos, asociados a la tasa de sedimentos que arrastra la cuenca, lo que está relacionado con la cobertura vegetal y las prácticas en el uso de la tierra.

El río Chillán, en su mayor parte, desarrolla un cauce único meandriforme, generalmente de sinuosidad media con densidad de canales secundarios de un drenaje bajo que le permite manifestar un balance positivo en sus terrazas fluviales, lo que es representado en la siguiente Figura.

Figura 13 Terrazas fluviales sobre superficie de disección fluvial y patrón de drenaje único meandriforme, oriente ciudad de Chillán



Fuente: Diagnóstico Plan Maestro de Cauces Cuenca río Chillán, VIII región. Informe Final. Prisma Ingeniería Limitada. Abril 2009

A su vez, las conclusiones del citado estudio dan cuenta que, en situación de crecidas extraordinarias, el río Chillán presenta una alta energía potencial debido especialmente a la presencia de canales que podría activarse, y la suma de tales características generan un riesgo de inundación hacia la ribera norte en donde el patrón de uso de suelo es residencial.

Las Fotografías a continuación muestran el actual cauce del río Chillán intervenido en sus riberas (caso del Balneario Municipal), ya sea por reacomodo de material fluvial o generación de diques para pozas con fines turísticos.

Figura 14 Fotografías 11 y 12. Formas planas y deprimidas



Fuente: Obtención propia 2018

Una particularidad geomorfológica se destaca en el Puente El Diablo, que atraviesa el río Chillán. Como se aprecia en las Fotografías a continuación, se reconocen distintas terrazas y plataformas erosivas asociadas a cambios en los regímenes de caudales del río, generando una profundización del cauce, además de intensa erosión. Los bordes del cauce se presentan como paredes verticales e incluso con pendientes invertidas, generando zonas muy sensibles a desmoronarse. La presencia de afloramientos rocosos y desniveles (tanto por causas naturales como por intervención de hombre) genera zonas más sensibles a inundaciones.

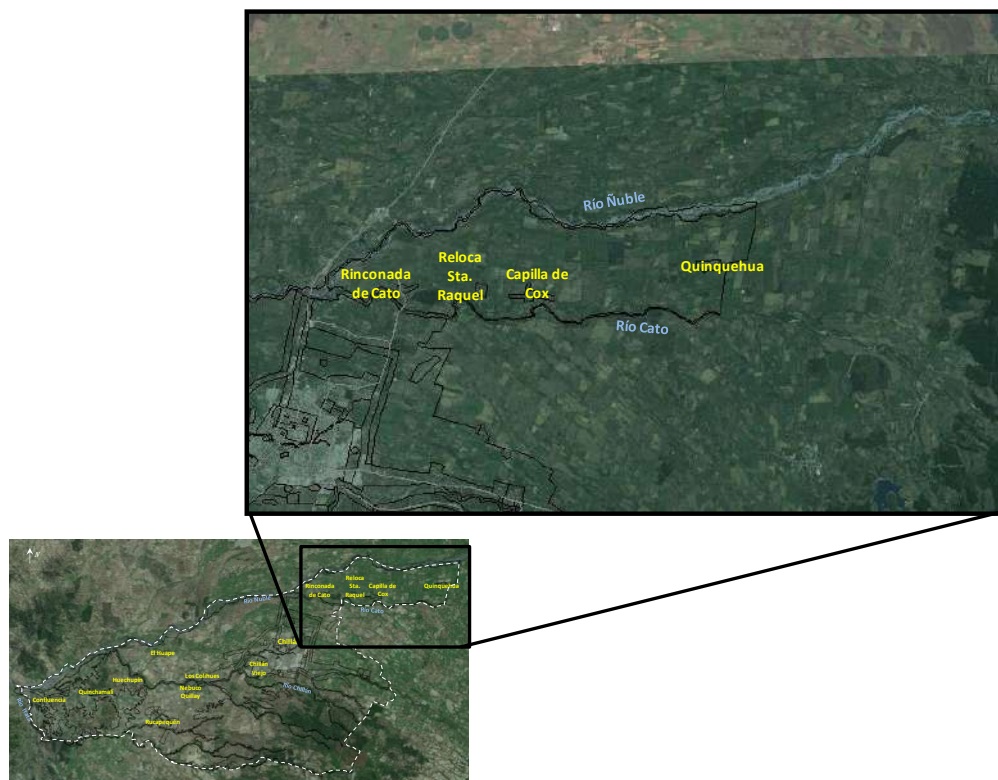
Figura 15 Fotografías 13, 14, 15 y 16. Formas planas y deprimidas



Fuente: Obtención propia 2018

Finalmente, hacia el noreste del área de estudio, donde se encuentran las localidades de Rinconada de Cato, Reloca – Santa Raquel, Capilla de Cox y Quinquihua (Figura a continuación). El sector se caracteriza su morfología plana, ascendiendo paulatinamente hacia el este y caracterizada por los depósitos y modelado de los ríos Ñuble (por el norte) y Cato (por el sur).

Figura 16 Geomorfología Sector NE – PRI Chillán



Fuente: Imagen intervenida de Google Earth

Este sector se caracteriza también por representar una amplia variedad de sedimentos asociados a la dinámica de los cauces en el tiempo, y cuyos orígenes se asocian a procesos fluviales, lagunares, glaciares y volcánicos, incluyendo areniscas tobáceas, limonitas y conglomerados, con intercalaciones de arcillolitas y tobas. Las formas reconocidas también se asocian a la dinámica fluvial y torrencial en el tiempo, como

distintas terrazas fluviales, escarpes de terrazas, paleocanales abandonados y llanuras aluviales.

Las fotografías a continuación muestran ejemplos de condiciones descritas con anterioridad, como, por ejemplo, la forma y distribución de sedimentos en un meandro del río Cato (superior derecha), o el comportamiento en términos de permeabilidad de los sedimentos (volcánicos y fluviales) dispuestos en el valle. La fotografía inferior derecha muestra cómo existen sedimentos más o menos permeables.

Figura 17 Fotografías 17, 18, 19 y 20. Puente Cato, río Cato



Fuente: Obtención propia 2018

Conclusiones

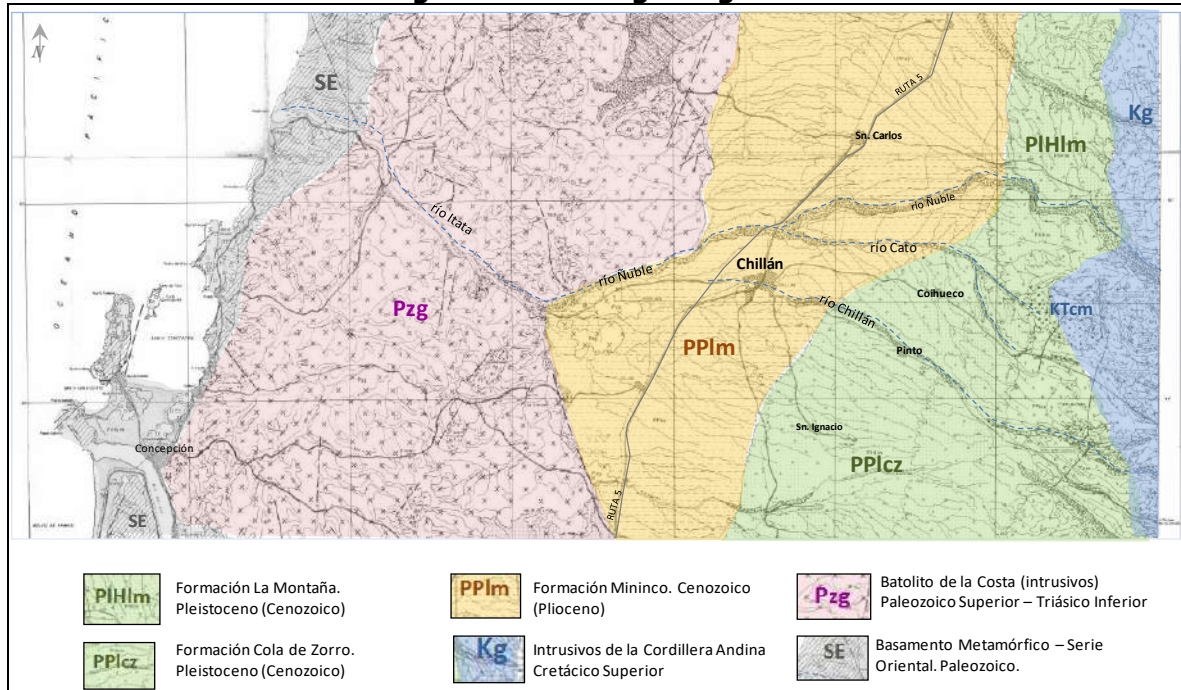
En síntesis, el área de estudio está conformada por 4 unidades geomorfológicas reconocibles, siendo la principal en extensión La Depresión Central con el 60% de la superficie de la intercomuna, seguida de las unidades de Lomajes y de Cauces con un 15% cada una y la Cordillera de la Costa con 10% de la superficie intercomunal. La Depresión Central corresponde a la unidad geomorfológica que concentra el mayor número de asentamientos y de población.

2.4. GEOLOGÍA

La información geológica del área de estudio es escasa. Dentro de las publicaciones e información recopilada, se destacan el Mapa Geológico Preliminar de Chile N°4. Hoja Concepción – Chillán. Escala 1:250.000 (Gajardo, 1981. Instituto de Investigaciones Geológicas). Ver Figura a continuación. Esta información fue complementada con antecedentes en publicaciones de Brüggén (1950); Muñoz Cristi (1950 y 1956) y Lomnitz (1959), resumidos en el Diagnóstico Plan Maestro de Cauces Cuenca río Chillán (Prisma, 2009).

A escala regional, y coincidente con las unidades geomorfológicas descritas, las unidades geológicas se disponen en franjas longitudinales con orientación aproximada norte-sur, reconociéndose el basamento Metamórfico hacia el oeste (SE); los cuerpos intrusivos de la Cordillera de la Costa (Pzg); las Formaciones que conforman el relleno del Valle Central (PPIm; PPIcz y PIHIm) y las unidades litológicas del macizo andino (Kg).

Figura 18 Geología regional



Fuente. Imagen intervenida del Mapa Geológico Preliminar 1:250.000. IIG 1981.

El área de estudio se emplaza en el llamado Valle Central, que consiste en una llanura glacio-fluvial de 30 a 40 km de ancho, que se extiende entre las terrazas marginales de la cordillera de Los Andes y de la Costa, donde ésta última corresponde prácticamente a una peniplanicie (casi planicie) cuya altura media es de aproximadamente 300 m.s.n.m. y en donde las rocas se encuentran profundamente meteorizadas. Se infiere a través de estos estudios que la cordillera de los Andes se presenta como una unidad fisiográfica destacable por su altitud (2.800 m.s.n.m.), lo cual se expresa a través de la alimentación aportada a las cuencas hidrográficas del área.

Geológicamente, la unidad PzG (Batolito de la Costa) se distribuye en una franja continua y conforman en gran parte la Cordillera de la Costa. Litológicamente se compone por rocas plutónicas (tonalitas y granodioritas) con una edad asignada entre el Paleozoico superior y Triásico inferior (Gajardo, 1981). Como se mencionó anteriormente, los afloramientos rocosos y lomaje en el entorno a las localidades de Confluencia, Quinchamalí y Huechupín, forman parte de los cuerpos de rocas intrusivas del Batolito de la Costa, fuertemente meteorizados y cuyo impacto en los suelos del sector se describirá más adelante.

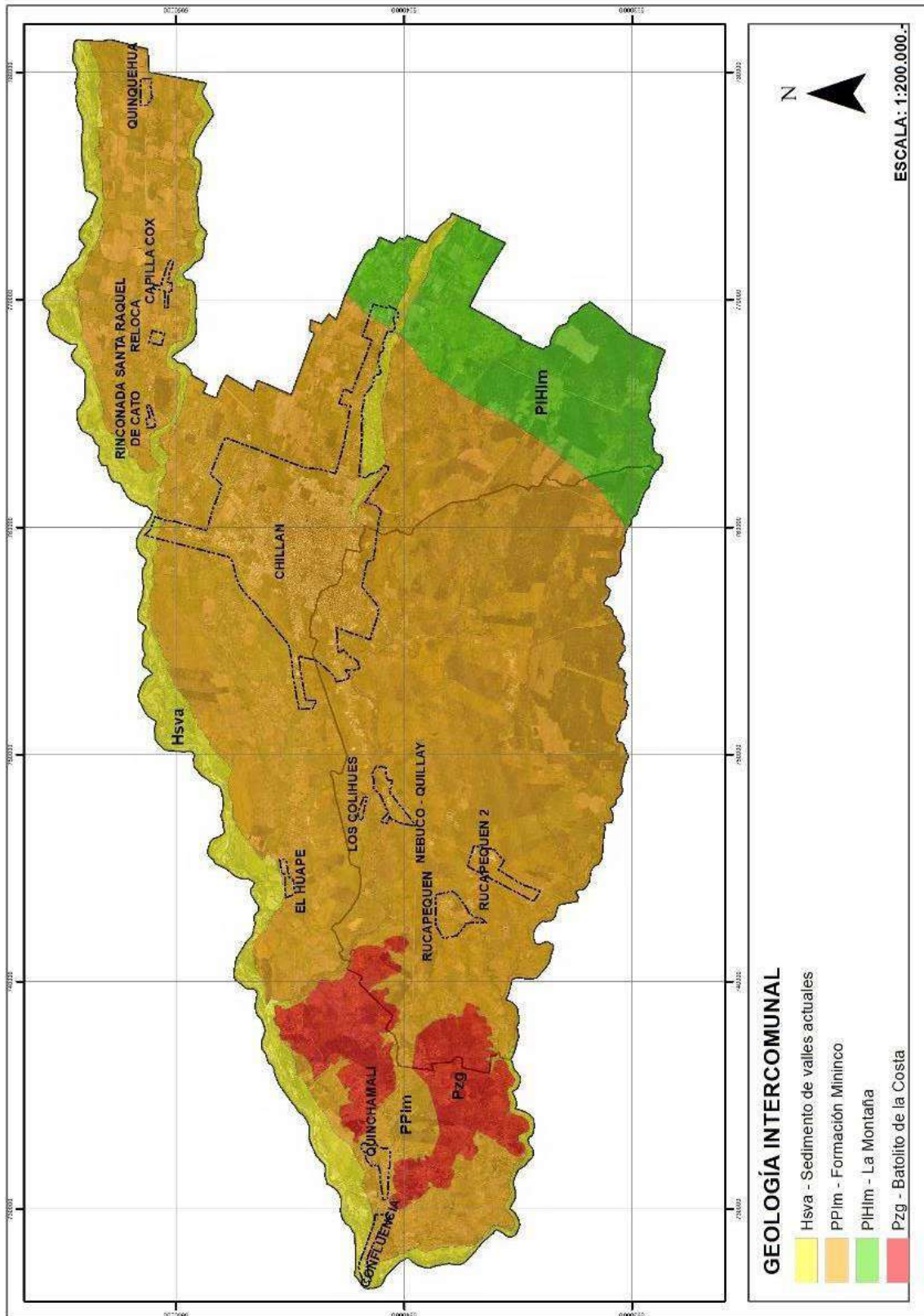
Siguiendo hacia el Este, la Formación Mininco (PPlm) se distribuye en gran parte de la Depresión Central, observándose sus afloramientos principalmente en valles de los ríos y cortes de carreteras y caminos. Su composición comprende sedimentitas lagunares y fluviales, incluyendo areniscas tobáceas, limonitas y conglomerados, con intercalaciones de arcillolitas y tobas. El aporte en las areniscas proviene de macizos de composición volcánica andesítica, incluyendo cenizas. La edad de esta Formación estaría atribuida al Plioceno.

Hacia el Este, entre la Depresión Central y la Cordillera Andina, se reconocen las Formaciones Cola de Zorro (PPlcz) y La Montaña (PIHlm). La primera se reconoce al sureste de la zona de estudio, y estaría compuesta por el conjunto de rocas volcánicas de composición andesítica (lavas y piroclastos). A partir de dataciones radiométricas, la Formación Cola de Zorro tendría una edad asignable al Plioceno Superior – Pleistoceno Inferior. La Formación La Montaña (PIHlm) fue originalmente definida por Muñoz Cristi en 1960 como "Formación Morrena de la Montaña", y que consisten en sedimentos glaciales y glaci-lacustres (depósitos morrénicos, de escasa compactación y presencia de sedimentos arcillosos).

Hacia la Cordillera Andina, aparecerían cuerpos intrusivos (Kg) de edad cretácica superior, y que extenderían de forma discontinua en el macizo cordillerano.

La Figura a continuación muestra la distribución de las unidades geológicas en el área de estudio a partir del Mapa Geológico 1:250.000 (Gajardo, 1981. IIG) y de ajustes menores realizados con información de terreno.

Figura 19 Geología intercomunal



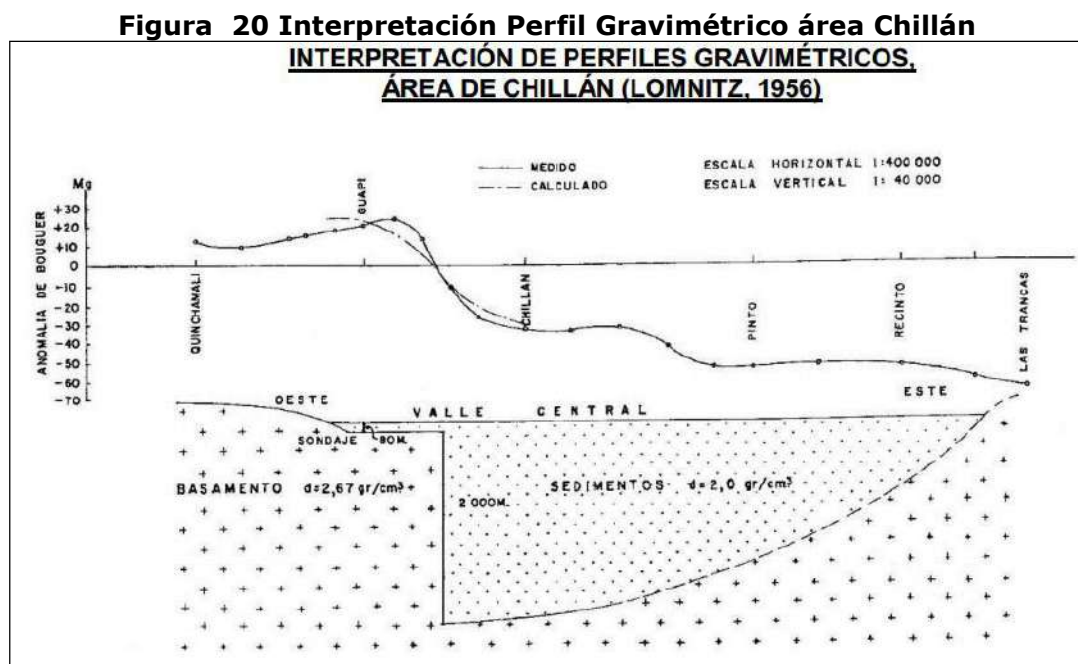
Fuente. Elaboración propia a partir del Mapa Geológico Preliminar 1:250.000. IIG 1981.

Como se muestra en la Figura, las unidades más relevantes para el área de estudio lo constituyen la Formación Mininco (PPIIm), que incluye a los sedimentos de valles actuales (asociados a los principales ríos) y los respectivos aportes de estos provenientes de la Cordillera Andina y zona de piedemonte. Los sedimentos de Valles actuales corresponden a materiales no consolidados, representados por gravas, ripios

y arenas, rellenando ríos y esteros. Cuando los ríos atraviesan la Depresión Central, pierden su capacidad de transporte y predomina la sedimentación de estos depósitos, cubriendo las unidades preexistentes, como la Formación Mininco. Hacia el Este, entre la Depresión Central y la Cordillera Andina, se reconocen las Formaciones Cola de Zorro (PPicz) y La Montaña (PIHlm). La primera se reconoce al sureste de la zona de estudio, y estaría compuesta por el conjunto de rocas volcánicas de composición andesítica (lavas y piroclastos).

En términos de Geología Estructural, se reconocerían fallas y fracturamientos en el batolito de la Costa. En la Depresión Central, la prolongación de estas estructuras se encontraría cubiertas por los depósitos sedimentarios que rellenan el valle. Mediciones gravimétricas conducidas por Lomnitz (1956), con el objeto de determinar la posición y el relieve del basamento en el área de Chillán y complementar los conocimientos hidrogeológicos del área.

Según los resultados de dicho estudio descubrieron una falla casi vertical hacia el borde oriental de la Cordillera de la Costa (oeste de Chillán), que se encontraba recubierta por los sedimentos del Valle Central. Se trataría de una estructura marginal que indica una gran falla casi vertical y que alcanza los 2.000 m de amplitud, entre Guapi y Chillán. Los máximos valores de variaciones de gravedad se encuentran en los sedimentos del valle central, justamente en la zona aledaña de la ciudad de Chillán, indicando máxima sedimentación (4 a 10 km al poniente de Chillán). Ver Figura a continuación.



Fuente. Investigaciones gravimétricas en la región de Chillán. Lomnitz, C. 1959.

El estudio citado arroja valores de profundidad de los sedimentos a partir de la perforación de sondajes (como ejemplo, sondajes realizados en la zona de Guapi, se alcanzó la granodiorita a los 80 m de profundidad; al oriente de Chillán se atravesaron cerca de 300 m de sedimentos sin llegar a la roca del basamento, encontrándose arcillas de posible origen marino). La disposición de la falla indicada se relacionaría con algunos rasgos fisiográficos y ejercería un control estructural en los ríos del Valle.

Conclusión

Como conclusión de acuerdo a los antecedentes presentados, la geomorfología del área queda representada por la presencia de un valle central, caracterizado por una topografía suave, casi plana, de orientación norte-sur, localizado entre las cordilleras de Los Andes y de la Costa, que se encuentra formado por un relleno detrítico originado por procesos de acarreo y depósito de materiales fluviales o glaciales que pueden haber sido retrabajados por ríos, además de depósitos provenientes de erupciones volcánicas eventuales desde la precordillera y cordillera. El depósito detrítico que compone el valle central se caracteriza por presentar materiales

permeables y semipermeables compuestos de rocas ígneas y metamórficas saturados de agua con espesores del orden de 400 m que dan origen a un acuífero o embalse subterráneo. Según el estudio de INGENDESA (1994), el nivel de saturación se encontraría entre los 2 a 5 m de profundidad y correspondería a un relleno de materiales detríticos del graben que originó la formación del valle central (Lomnitz, 1959).

En términos de geología económica, destaca la presencia de arcillas plásticas de variada composición distribuidas inter estratificadas en la Formación Mininco y en la Formación La Montaña. En esta última se reconoce al menos un yacimiento (ubicado en Los Boldos, al sureste de Chillán) y cuyas arcillas plásticas fueron utilizadas para la fabricación artesanal de tejas, ladrillos y alfarería).

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 21 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.

Los primeros (hacia el oeste) se generan producto de la meteorización y descomposición in situ de rocas ígneas intrusivas de la unidad PZg, mientras que, en el resto del área de estudio, predominan materiales y sedimentos de origen fluvial, glacial

y volcánico que han sido acarreados o arrastrados a la zona final de depósito, estableciéndose profundidades de la cuenca que varían entre 80 m cerca de Guapi y sobre 300 m al oriente de Chillán (Lomnitz, 1956).

Desde el punto de vista geotécnico, y de acuerdo con los antecedentes, los suelos que rellenan el valle tienen una composición y granulometría muy variable, lo que influye por ejemplo en la permeabilidad y comportamiento sísmico, tal como describe Mardones, 1990 para la ciudad de Chillán.

Las Fotografías a continuación muestran ejemplo de tipos de suelos en el área de estudio. Las Fotografías superiores (izquierda y derecha) e Inferior derecha muestran suelos residuales producto de la descomposición in situ de las rocas intrusivas de la unidad Pzg, mientras que la fotografía inferior izquierda muestra suelos transportados de origen combinado volcánico y fluvial.

Figura 22. Distintos tipos de suelos



Fuente: Obtención propia 2018

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

Clase I: tienen muy pocas limitaciones que restrinjan su uso. Son suelos casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena capacidad de retención de humedad y su fertilidad es buena. Los rendimientos que se obtienen, utilizándose

prácticas convenientes de cultivo y manejo, son altos en relación con los de la zona. En uso se necesitan prácticas de manejo simples para mantener su productividad y conservar su fertilidad natural.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 6 Clase de suelos por superficie

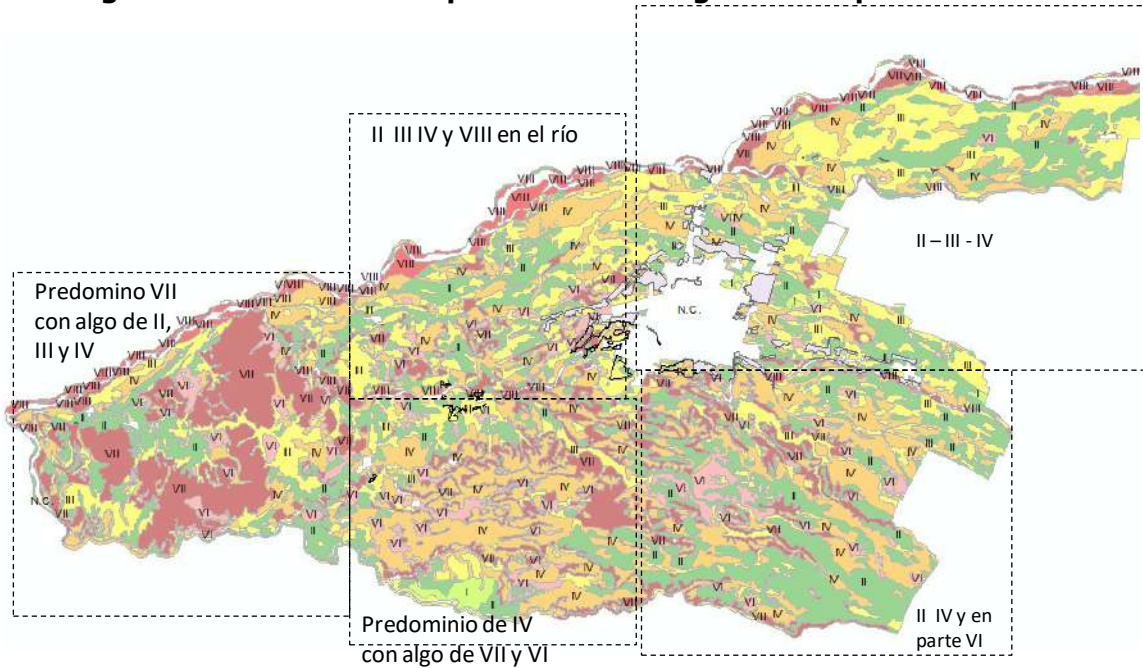
CLASE	HECTAREAS	%
I	490,2	0,6%
II	17169,9	22,4%
III	15877,0	20,7%
IV	18792,9	24,5%
N.C ² .	5812,7	7,6%
VI	3713,5	4,8%
VII	12881,9	16,8%
VIII	2170,4	2,8%
TOTAL	76908,4	100%

Fuente: CIREN 2014

² No catastrado.

La Figura a continuación muestra la distribución de suelos a partir de la información de CIREN, 2014.

Figura 23 Distribución tipos de suelos según sus Capacidades de Uso



Fuente: CIREN 2014

Conclusiones

La distribución de los suelos está directamente relacionada con el origen de estos y los procesos de modelado y arrastre mencionados anteriormente, así como por la composición de los materiales que los originan.

Asociando la distribución de suelos según sus capacidades de uso (CIREN, 2014) en el área de estudio, se ve una tendencia similar a las variaciones geomorfológicas descritas en capítulos anteriores, así como a la composición que presentan.

Las capacidades productivas los suelos de clases I, II y III, constituyen un potencial de gran desarrollo económico para un territorio, por cuanto a partir de ellos se conforman una serie de sistemas productivos de distintas escalas. En la Intercomuna, los suelos de Clase I casi no están presentes (0,6%), no obstante, los suelos de clases II y III se reconocen en toda el área, especialmente en el sector de los valles de los cauces principales (con mayor presencia en el centro norte y este).

Los suelos clase IV si bien presentan buenas cualidades agronómicas, cuentan con limitaciones para algunos cultivos, siendo más restrictiva la elección de estos. Representan el 24,5% de la distribución en el área de estudio, y también están presentes en toda la Intercomuna, con mayor presencia en el centro sur y valles al noreste).

Los suelos clase VI, representan un 4,8% de la superficie comunal, se localizan en la sección más alta de los conos de deyección entre los suelos clase IV y los suelos clase VII, no identificándose una concentración preferencial en el área de estudio. Sus capacidades agronómicas son limitadas debido a la pendiente, no permitiendo el riego por inundación.

Los suelos de clase VII, los cuales representan un 16,8% de su superficie total, se localizan principalmente en la Cordillera de la Costa (suelos amaillados asociados a descomposición de rocas intrusivas), su capacidad de uso de suelo se asocia con la presencia de vegetación nativa o introducida (plantaciones forestales).

Los suelos VIII se concentran principalmente en las llanuras de inundación del río Ñuble, caracterizándose por un alto contenido de áridos de distintas dimensiones, aportados por las crecidas del río.

Si se suman las superficies de los suelos clases I, II y III, se tiene que el 67,6% de la superficie total comunal presenta suelos aptitud agrícola. Si adicionalmente se suma los suelos clase IV se llega a un 75,2% de suelos con aptitud agrícola.

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 Intercomuna de un total de 25 usos de suelos catastrados por la Corporación Nacional Forestal³ (CONAF), 3 de ellos concentran más del 50% de la superficie comunal, ellos son rotación de cultivo en pradera con un 42%, seguido de plantaciones con 16% y terrenos agrícolas con 10%.

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

Tabla 7 Vegetación y uso actual de suelo

Uso actual	Superficie	%
B. Nativo-Exóticas Asilvestradas Semidenso	207,4	0%
B. Nativo- Plantación Semidenso	3,7	0%
Bosque Nativo-Plantación Denso	16,9	0%
Bosques Exóticas Asilvestradas	4570,8	6%
Cajas de Ríos	1598,2	2%
Ciudades-Pueblos-Zonas Industrial.	3238,3	4%
Lago-Laguna-Embalse-Tranque	17,2	0%
Matorral Abierto	3443,8	4%
Matorral Arborescente Semidenso	232,7	0%
Matorral Arborescente Abierto	450,4	1%
Matorral Muy Abierto	275,3	0%
Matorral Pradera Abierto	1856,5	2%
Matorral Pradera Muy Abierto	64,0	0%
Matorral Pradera Semidenso	224,6	0%
Matorral Semidenso	1177,7	2%
Otros Terrenos Húmedos	17,6	0%
Plantación Joven-Recién Cosechada	4037,4	5%
Plantación	12271,4	16%
Praderas Perennes	1204,9	2%
Renoval Abierto	69,1	0%
Renoval Denso	92,0	0%
Renoval Semidenso	76,5	0%
Ríos	1274,0	2%

³ Actualización del catastro de usos de suelo y vegetacional a nivel regional para todo el país. A continuación, se detallan los años de actualización y la escala para cada región. Arica y Parinacota 2015 1:50.000 Tarapacá 1997 1:250.000 Antofagasta 1997 1:250.000 Atacama 1997 1:250.000 Coquimbo 2003 1:50.000 Valparaíso 2013 1:30.000 Metropolitana 2013 1:30.000 O'Higgins 2013 1:30.000 Maule 2009 1:50.000 Biobío 2008 1:50.000 La Araucanía 2014 1:50.000 Los Ríos 2014 1:50.000 Los Lagos 2013 1:50.000 Aysén 2011 1:50.000 Magallanes 2005 1:50.000 / 1:100.000 /1:250.000.

Rotación Cultivo-Pradera	32679,2	42%
Terrenos de Uso Agrícola	7947,4	10%

Fuente: CONAF 2008

Conclusiones

De los principales usos catastrados, 3 de ellos concentran más del 50% de la superficie comunal, ellos son rotación de cultivo en pradera con un 42%, seguido de plantaciones con 16% y terrenos agrícolas con 10%. Las nuevas técnicas de riego, los cambios respecto del clima, disminución de precipitaciones y aumento de temperatura, favorecería la tendencia que terrenos de rotación de cultivos pasen a terrenos agrícolas con riego tecnificado y que sectores de plantaciones de bosque pasen a rotación de cultivo en pradera, esta situación se observa en el cambio de producción agrícola hacia cultivos de frutales como cerezos y berries (arándanos principalmente).

2.7. VOLCANISMO

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

Los peligros asociados a la actividad volcánica abarcan una serie de eventos y procesos que son fuente de amenaza para la población. Por un lado, durante el proceso eruptivo es frecuente la emisión de cenizas volcánicas, flujos de lava, y en ocasiones eventos más devastadores, como flujos piroclásticos o colapso de domos. 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.

En la Región del Biobío, se reconocen 4 centros volcánicos activos, ubicados todos en la Cordillera Andina (de norte a sur: Nevados de Chillán; Antuco; Copahue y Callaqui). El Servicio Nacional de Geología y Minería, ha realizado una serie de cartas geológicas y Mapas de Peligros Volcánicos, entre las que se destacan el Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (2016) y el Mapa Preliminar de Peligros del Volcán Antuco (2012).

El Complejo Volcánico Nevados de Chillán (CVNCh) es el complejo volcánico más relevante para la zona de estudio, y está integrado por 13 estratovolcanes alineados en una orientación noroeste-sureste. Debido al desarrollo de la actividad económica en la zona y a su frecuente actividad eruptiva histórica, es un volcán que exhibe un alto riesgo potencial en los Andes del sur de Chile, y existen variadas publicaciones específicas desde donde se extrajo información (Sernageomin: Jornadas de Difusión y Diálogo sobre el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Provincia de Ñuble-Región del Biobío Comunas de Pinto y Coihueco, martes 2de febrero de 2016; Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán). Su actividad comenzó a manifestarse hace unos 650.000 años atrás, con la erupción de extensas coladas de lava andesíticas subglaciales, continuando durante el Pleistoceno Medio, con diversos mega pulsos efusivos andesíticos, subaéreos y subglaciales, principalmente hacia el oeste. Durante el Pleistoceno Superior el CVNCh habría desarrollado diversos centros de emisión alrededor del sector central que, para entonces, probablemente estuvo ocupado por un potente glaciar. Hace unos 40 mil años atrás, fueron emitidas ignimbritas, posiblemente asociadas a la generación de calderas. Posteriormente, el complejo ha evolucionado en forma separada (subcomplejos Cerro Blanco y Las Termas), los cuales han emitido contemporáneamente magmas geoquímicamente distintos entre sí.

Ya en el Holoceno (a partir de unos 9 mil años atrás), existen evidencias de actividad explosiva incluyendo erupciones con desarrollo de flujos piroclásticos. Los lahares son el peligro de mayor potencial de ocurrencia, especialmente en el Subcomplejo Cerro Blanco, el cual presenta la mayor acumulación de hielo y nieve, como aconteció durante la erupción más reciente (período 1861-1865), desde el cono adventicio Santa

Gertrudis. En el Subcomplejo Las Termas, que presenta un gran desarrollo turístico y potencial geotérmico, y concentra toda la actividad eruptiva del CVNCh, con la formación de los volcanes Nuevo y Arrau, como consecuencia de una posible reactivación del volcán Democrático ancestral. Aunque la actividad eruptiva histórica del CVNCh ha sido relativamente menor en comparación con otros volcanes del sur de Chile, como el Llaima o el Villarrica.

Según las investigaciones de cronistas documentadas, el CVNCh habría tenido episodios eruptivos (algunas fechas extraídas del Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, se registran episodios en 1751, la cual tuvo un carácter explosivo y se produjo en el actualmente denominado volcán Chillán; en 1861, con el ciclo eruptivo que dio origen al volcán Santa Gertrudis, generándose lahares encauzados por el río Ñuble; entre 1891 y 1898 hubo erupciones explosivas que destacaron en el volcán Chillán (el que antiguamente se denominaba volcán Viejo); agosto de 1906, inicio de los ciclos eruptivos más prolongados y que dio origen al volcán Nuevo; explosiones esporádicas se detectaron en diversos años hasta 1946; a partir de julio de 1973, comenzó a desarrollarse el actual volcán Arrau, gemelo pegado al volcán Nuevo; Desde 1980 se registraron explosiones intermitentes hasta 1987; explosión vulcaniana menor, ocurrida en septiembre de 2003 (Naranjo y Lara, 2004), dio origen al denominado cráter Chudcún, ubicado entre ambos volcanes. Testimonios locales (no oficiales) darían cuenta de una nueva explosión en el cráter Chudcún en marzo de 2004; y según los reportes en www.sernageomin.cl, el 2016 se habría detectado sismicidad sobre la línea base y pulsos débiles relacionados con el sistema hidrotermal).

El Servicio Nacional de Geología y Minería, ha realizado una serie de cartas geológicas y Mapas de Peligros Volcánicos, entre las que se destacan La Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV) permite a las autoridades contar con información oportuna para la gestión de una emergencia volcánica y toma de decisiones enfocadas en la seguridad de la población (www.sernageomin.cl). Esto incluye el establecimiento de la vigilancia en tiempo real de 45 de los 90 volcanes considerados geológicamente activos en territorio nacional, a través del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) ubicado en ciudad de Temuco. El CVNCh es monitoreado desde el año 2012. A partir de la información disponible en www.sernageomin.cl y los reportes publicados, en la actualidad el CVNCh se encuentra en nivel de Alerta Naranja como se muestra en la Figura 24. Los principales peligros volcánicos asociados al CVNCh corresponden a lahares, flujos de detritos y coladas de lava, canalizados por los valles principales: estero Renegado, estero Shangri-La, río Chillán, estero San José, río Santa Gertrudis, río Gato y río Las Minas. La generación de lahares configura el mayor peligro potencial para la población aledaña al volcán, dado su cercanía a los cauces y la cantidad nieve y hielo en las cumbres del complejo. Caída de ceniza determinada por la dirección dominante del viento (www.sernageomin.cl).

Figura 24 Nivel de alerta CVNCh

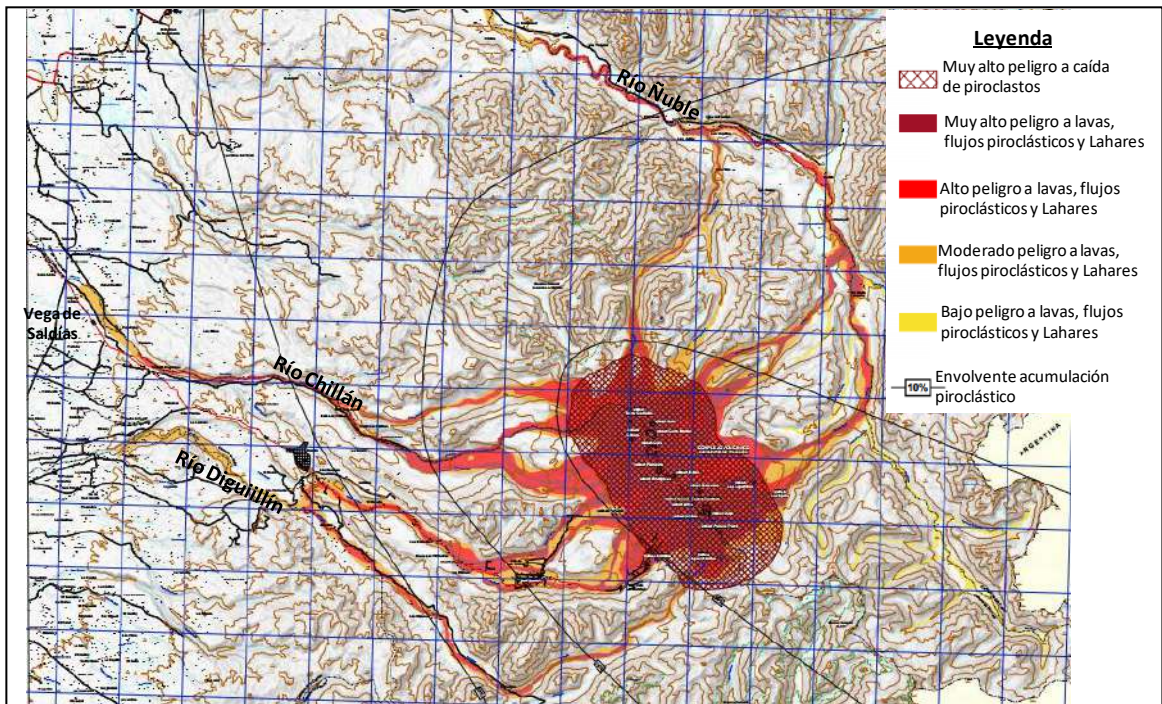


Fuente: <http://www.sernageomin.cl/complejo-volcanico-nevados-de-chillan/>

En la Carta Geológica de Chile N° 28 del Sernageomin (Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán) escala 1:75.000 del año 2016, se definen zonas potencialmente afectadas por peligros volcánicos, como lahares, flujos piroclásticos y de lava. Según la misma fuente, se han encontrado extensas coladas de lava prehistóricas y varias coladas históricas asociadas a depósitos laháricos, especialmente hacia el oeste del volcán, donde se ubican diversos asentamientos humanos. Las evidencias de depósitos laháricos producidos por la fusión de hielo y nieve en el pasado histórico, son indicadores elocuentes del peligro latente de futuras erupciones, especialmente si ocurren durante el invierno y/o primavera.

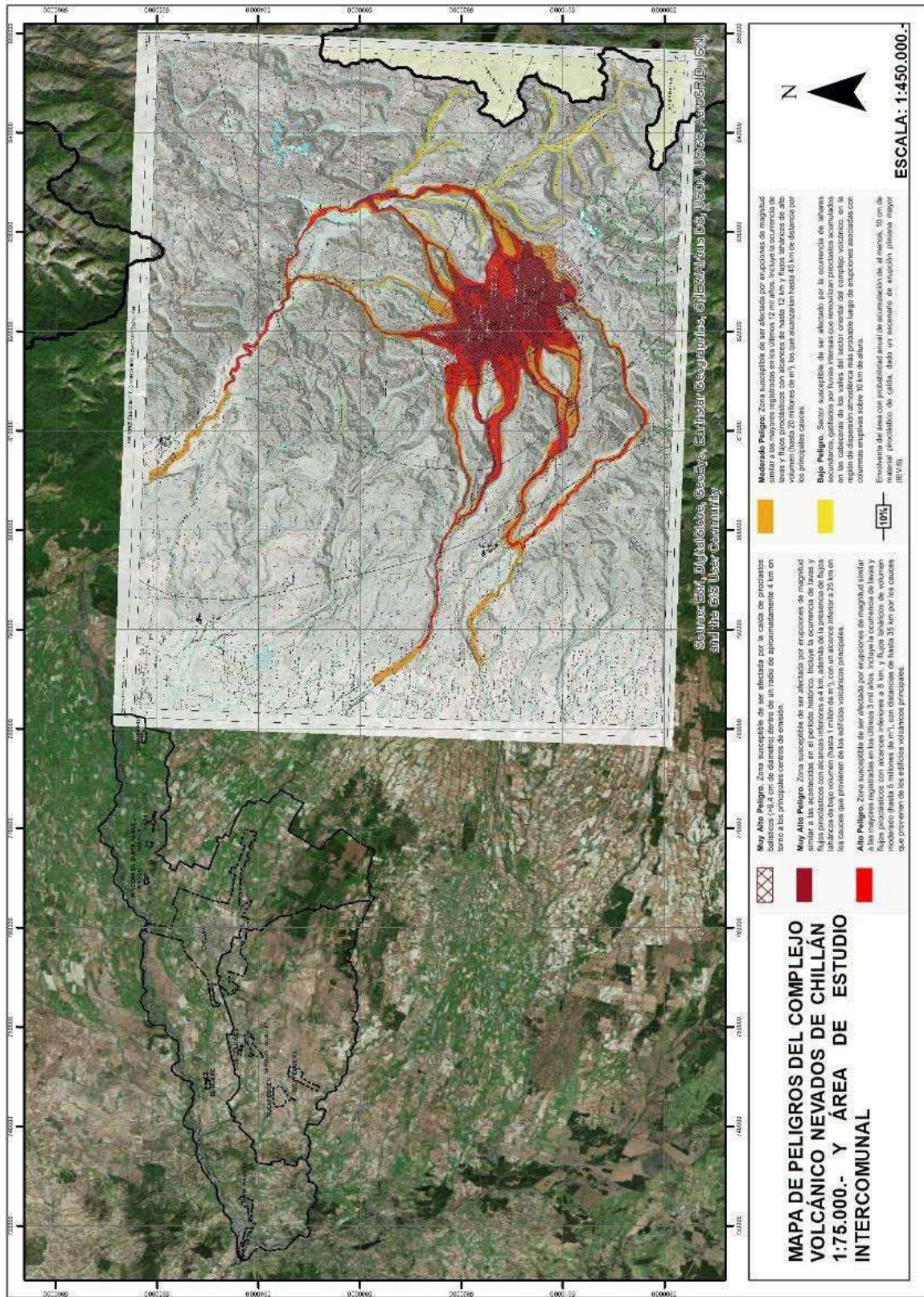
La Figura a continuación muestra una imagen del mapa con los resultados del estudio del Sernageomin escala 1:75.000, y representa de forma integrada los peligros volcánicos proximales relacionados con procesos superficiales (flujos laháricos, corrientes de densidad piroclástica y flujos de lava), y de transporte aéreo (proyección balística y caída piroclástica).

Figura 25 Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán



Fuente: Imagen obtenida de Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (Orozco, 2016)

Figura 26 Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán y área de estudio intercomunal



Fuente: Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (Orozco, 2016)

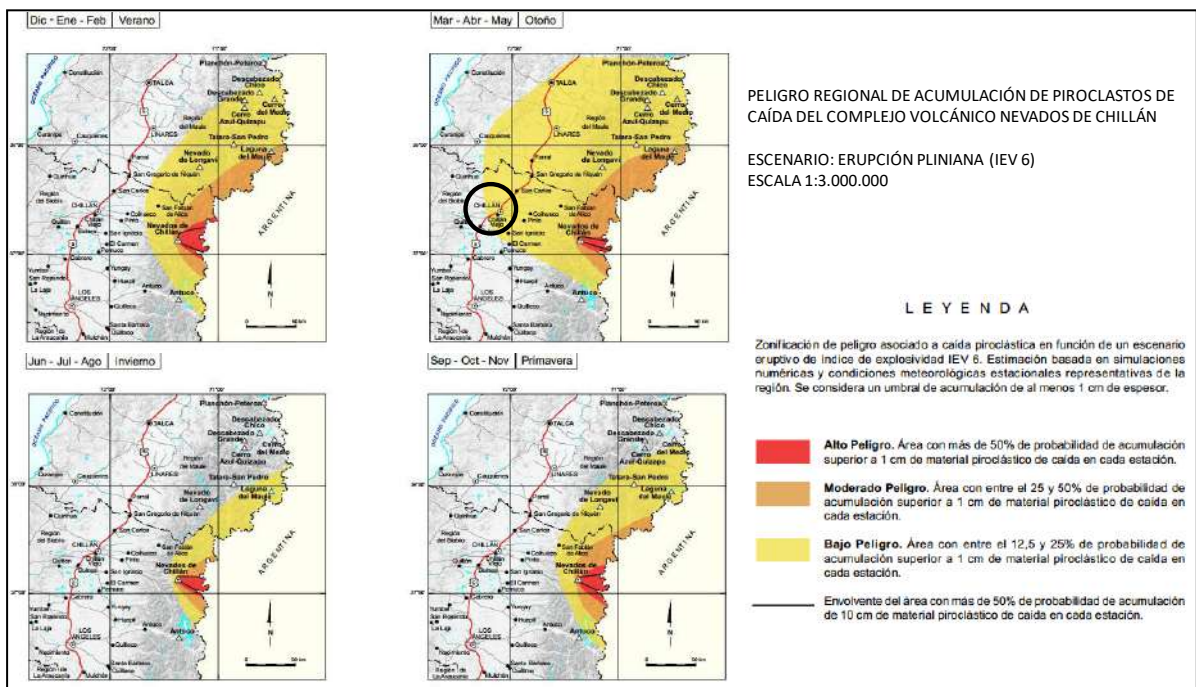
También se muestran proyecciones escala 1:3.000.000 con el peligro asociado a la probabilidad de dispersión y acumulación regional de piroclastos de caída, derivados de columnas eruptivas elevadas, de acuerdo con las condiciones atmosféricas estacionales de un año meteorológico típico.

A continuación, se citan las conclusiones del reciente estudio: "eventuales actividades volcánicas futuras pueden afectar los valles, poblados y cauces en torno al complejo volcánico, como son los ríos Chillán, Diguillín, Gato, Santa Gertrudis y Las Minas, los esteros San José, Las Mulas, Renegado, Shangri-La, Las Cabras y Cajón Nuevo, y los

poblados de las Termas de Chillán, Las Trancas, Los Lleuques, entre otros. En estos valles, la actividad volcánica podría generar lavas que, por lo general, no exceden los 7 km de extensión. Eventos explosivos, de menor frecuencia e intensidad variable (estromboliana a pliniana), pueden provocar depósitos piroclásticos de caída y flujos piroclásticos que, generalmente, se canalizan por los valles principales y pueden superar una extensión de 12 km. De igual o menor frecuencia, los flujos laháricos se encauzan en el fondo de los valles y presentan extensiones variables de hasta 40 km, lo que los convierte, por su movilidad, en el proceso volcánico más peligroso”.

En el mismo estudio, se realiza una estimación basada en simulaciones numéricas de la dispersión de material piroclástico (considerando un umbral de al menos 1 cm de espesor) asumiendo una erupción similar a las ocurridas históricamente, y sumando las condiciones meteorológicas estacionales representativas de la región. A partir de los resultados (ver Figura a continuación) durante los meses de Otoño (marzo, abril y mayo) los materiales piroclásticos podrían afectar Chillán ante un escenario eruptivo

Figura 27 Peligro regional de acumulación de piroclastos de caída del complejo volcánico Nevados de Chillán



Fuente: Imagen obtenida de Mapa de Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (Orozco, 2016)

Ante una posible removilización del material piroclástico en episodios de lluvias intensas, la eventual ocurrencia de lahares secundarios puede ser capaces de provocar daños.

Conclusiones

El área de estudio se encuentra distante a las zonas que reciben aporte directo del Volcán, sin embargo, al verse afectado los ríos Chillán, Ñuble y Diguillín, los cursos de agua (y por ende la población) tendrían un grado de afectación por estos fenómenos. El análisis realizado por el estudio del Sernageomin, sugiere que las zonas más susceptibles de ser afectadas (y mayor exposición a efectos adversos en la agricultura), se encuentran hacia el este, noreste y sureste del CVNCh, por lo que podrían verse afectados los poblados de San Fabián de Alico, y los valles de Las Trancas y Chillán. Cabe destacar que los resultados de la modelación evidencian que, durante la época otoñal, la probabilidad de dispersión de cenizas hacia el oeste aumenta significativamente con respecto a otras estaciones del año, por lo que se pueden ver afectadas otras ciudades más distantes como Talca, Linares, Chillán y sus alrededores, esto debido a una marcada variación en los patrones de circulación atmosférica en los Andes a esta latitud.

2.8. SISMOS

Si bien la OGUC (en su apartado 2.1.17.) no menciona los sismos dentro de las amenazas que generen zonas de construcción condicionada, es sabido que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, y que estos fenómenos son considerados dentro de la planificación territorial a través de estudios específicos de Microzonificación Sísmica y en las Normas Chilenas de Construcción.

Fuentes sismogénicas

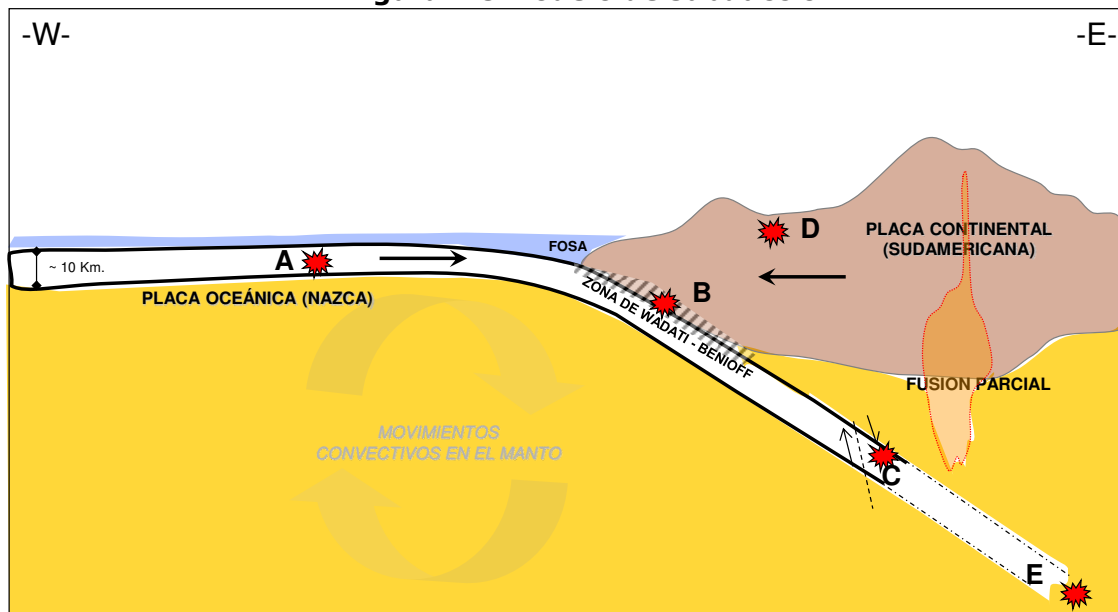
El movimiento de placas tectónicas es la responsable de la gran mayoría de sismos en el planeta (Leyton et al., 2010). Estos corresponden a una ruptura violenta generada por la acumulación y posterior liberación de energía acumulada por el movimiento de placas tectónicas, superando la resistencia de las rocas. Existe una relación directa entre algunos límites de placas tectónicas y la sismicidad histórica en el planeta, como es el caso de Chile, donde la subducción de la Placa de Nazca bajo la placa Sudamericana ocurre según un plano inclinado hacia el este con inclinación que varía entre los 15° y 30° respecto a la horizontal con un fuerte grado de acoplamiento (Madariaga, 1998) denominado zona o plano de Wadati - Benioff. La velocidad relativa de subducción entre ambas placas es del orden de 6 a 7 cm/año⁴ (según Khazaradze y Klotz, 2003), lo que es considerado una alta velocidad de convergencia. Además, la placa de Nazca es una placa oceánica "joven". Estas dos características permiten una rápida acumulación de esfuerzos consecuencia del contacto entre ambas placas dando lugar a la alta sismicidad que caracteriza a Chile y Perú (Ruiz y Saragoni, 2005). El empuje de la placa de Nazca en dirección al este se vería favorecida por su composición y su edad. Una placa oceánica, de 35 millones de años en la zona central, es comparativamente más densa que la placa continental, por lo que tendería a introducirse por debajo la corteza continental menos densa de la placa Sudamericana.

Perfiles transversales al margen de Chile (disponibles en el Centro Sismológico Nacional, www.sismologia.cl), permiten observar que la sismicidad se concentra principalmente entre los 5 y 200 kilómetros de profundidad (en la zona de Wadati - Benioff), lo que además permite deducir el ángulo de subducción en las distintas zonas.

La liberación de tensiones y deformaciones a lo largo del plano de Benioff, generan lo que se conoce como *sismos interplaca* (Madariaga, 1998) o sismos en la zona de Wadati - Benioff (tipo B de Figura), y serían los más comunes en Chile. Como se aprecia en la Figura (que destaca con rojo las fuentes sismogénicas), la sismicidad en el margen de Chile no sólo existe en el contacto entre ambas placas tectónicas. Debido a los esfuerzos a que están sometidas las placas de Nazca y Sudamericana producto del movimiento convergente, también existen sismos en el interior mismo de las placas conocidos como *sismos intraplaca* (tipo A, C, D y E de Figura 28).

⁴ Velocidad variable según distintos autores. 6.6 cm/año (Kendrick et al., 2003); 8.4 cm/año (DeMets et al., 1990); 8 cm/año (DeMets et al., 1994).

Figura 28 Modelo de subducción



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

Los mecanismos de liberación de energía en los distintos tipos de sismos son complejos. En el caso de los sismos tipo A (sismos intraplaca oceánica), los materiales de la placa de Nazca (más jóvenes) se flexionan y doblan previamente al proceso de subducción, lo que genera campos extensionales (de estiramiento) los cuales reaccionan producto del choque de las placas, generando reacciones de liberación de energía de tipo "carga – descarga". Los tipos B (Interplaca) obedecen a asperezas y roce que se generaría entre ambas placas, viéndose impedido el movimiento hasta que los materiales se ven superados en resistencia y se rompen.

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

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

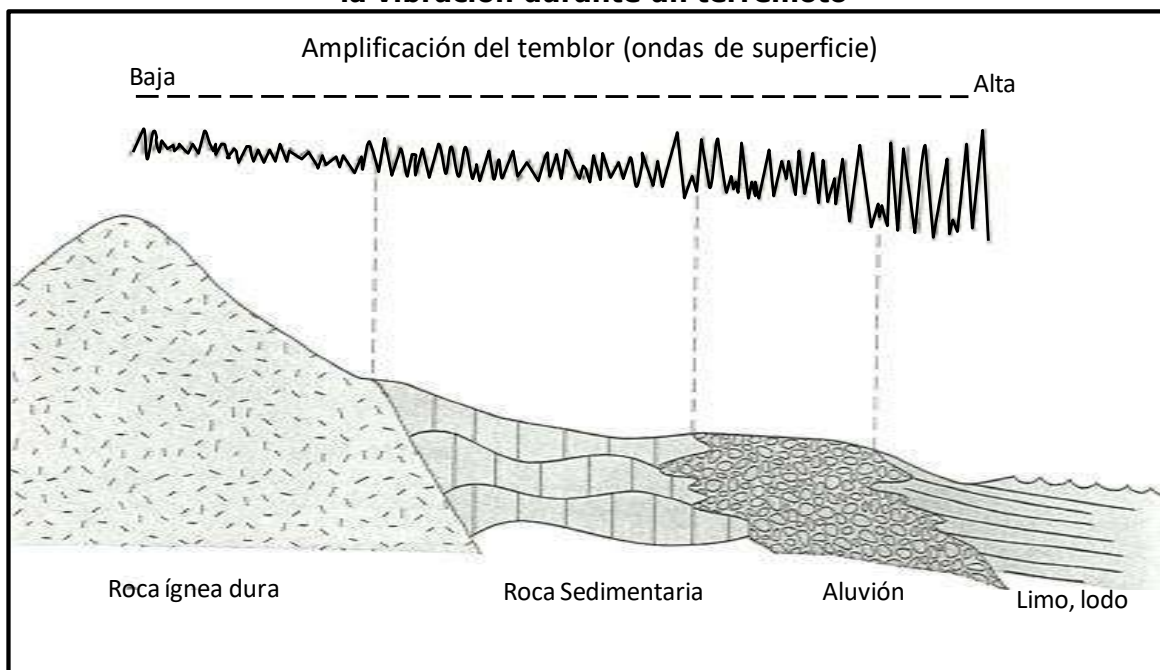
Sismicidad como peligro

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

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

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

Figura 29 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



Fuente: Keller and Blodgett, 2004

Antecedentes sísmicos en Chillán

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

Un caso emblemático de destrucción producto de un sismo en Chile, es el ocurrido en Chillán en 1939, perteneciente a la fuente sísmica Intraplaca-oceánica. Ejemplos de estos sismos son los terremotos de Chillán en 1939 ($M_s=8.3$ según el Centro Sismológico Nacional y $M_s = 7.8$ según Beck et al, 1998), siendo el evento más destructivo que ha afectado la zona centro-sur de Chile durante el siglo XX. El terremoto ocurrió el 24 de enero a las 11:32 PM, hora oficial chilena, y afectó a siete provincias ubicadas entre los 35° y los 38° de latitud sur.

Según Beck et al. (1998) el sismo habría tenido una profundidad entre 80 y 100 km y un epicentro continental ubicado a 30 km al noroeste de la ciudad de Chillán. El evento tuvo una duración total de 60 segundos y una longitud de ruptura de 142 km.

El terremoto de Chillán de 1939 sigue siendo el terremoto que mayor número de víctimas ha producido en el país. Las informaciones relacionadas con el número de víctima son contradictorias, varias fuentes no oficiales señalan que fueron entre 28000 y 30000 las personas muertas, sin embargo el número oficial de muertos registrados por la Dirección General de Estadísticas en su anuario de 1939 destaca la cifra de 5685, cifra que está distorsionada por el alto número de personas que fueron sepultadas sin identificación en fosas comunes para evitar las enfermedades producto de la descomposición de los cadáveres.

Según el Estudio comparativo de los efectos de los terremotos de Chillán de 1939 y de Talca de 1928 (www.researchgate.net/publication/265293026), el efecto en las construcciones se concentró en viviendas de uno y dos pisos y en edificios públicos y privados de tres o menos pisos, además se vieron afectadas las obras civiles de las instalaciones ferroviarias, los puentes de la infraestructura vial, construcciones del sector industrial y del sector agrícola de la zona vecina a la ciudad de Chillán. En particular, la ciudad de Chillán se había desarrollado con una fisonomía similar a las restantes ciudades chilenas, con una arquitectura marcadamente colonial y neoclásica, en las que los materiales predominantes eran el adobe y la albañilería sin refuerzos respectivamente. Estas construcciones, que incluyen viviendas y establecimientos comerciales, resultaron en un 56% colapsadas o semi destruidas.

Los destrozos se localizaron en algunos sectores de la ciudad, indicando un claro efecto de condiciones locales asociadas a los suelos.

Los sismos de Valdivia (1960) también generaron cuantiosos daños en Chillán y en la región de Ñuble, debido a que la gran parte de las casas afectadas por el terremoto del año 1939 y que no alcanzaron a caer en aquella ocasión, o fueron sometidas a reparaciones inadecuadas (en Lazo, 2008). El 90% de las casas que resistieron el terremoto de 1939 y que quedaron en pie luego de los terremotos de 1960, quedaron absolutamente inhabitables, y se recomendó demolerlas rápidamente porque no soportarían otro remezón de magnitud ("La Discusión" en Lazo, 2008). En Chillán las viviendas que quedaron en malas condiciones e inhabitables, destruidas o gravemente deterioradas al derrumbarse sus techos y paredes, se ubicaban en los sectores suburbanos y en las poblaciones, donde las construcciones eran antiguas o improvisadas y de emergencia. El mayor porcentaje de ellas se encontraban en las poblaciones del sector ubicado al poniente de la línea férrea. Entre los sectores más afectados se encontraban las poblaciones Bartolucci y Santa Elvira ("El Sur" y "La Discusión" en Lazo, 2008), mientras que, en los sectores céntricos de Chillán, el cual fue reconstruido por completo después del terremoto de 1939, el daño fue menor (Moya, 2002). Según Saint-Amand (1961) en Lazo (2008) la intensidad en Chillán fue de V grados en el terremoto del día 21 de mayo y de VI grados el día 22 de mayo. Como se puede apreciar no hay coincidencia en los valores entregados. Este valor es consistente con el hecho que las construcciones hechas después del terremoto de 1939 en el sector céntrico de Chillán no experimentaron daños.

Según el informe de asistencia elaborado por el SERNAGEOMIN (2010) Chillán no figura como los lugares de mayor afectación o que haya sido caracterizado por algo especial.

Mardones (1990) describe en su estudio "Los Riesgos naturales en el sitio de la ciudad de Chillán: Riesgo Sísmico, de inundación y de Anegamiento" diferencias en el comportamiento sísmicos de los suelos de ciudad, influenciados en parte por la presencia y profundidad del nivel freático (techo de la zona de saturación), y de la presencia de arcillas. La capacidad de infiltración de un Suelo depende de su permeabilidad. Materiales arcillosos por lo general tienen baja permeabilidad, impidiendo que el agua fluya normalmente. La presencia de arcillas permitirá la saturación del terreno y una leve infiltración. Por el contrario, suelos permeables, darán origen a importantes napas. De acuerdo con los datos presentados en Mardones (1990) la profundidad del nivel freático en Chillán es muy variable, debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas anteriormente descritas, encontrándose sectores muy cerca de superficie (a pocos centímetros, como en el

sector Cementerio, asociado a las características litológicas de la terraza fluviovolcánica con presencia de materiales limo-arcillosos impermeables. La autora también destaca la profundidad de la napa en el sector de Chillán Viejo, donde la napa fue reconocida hasta 5 metros de profundidad.

En la evaluación del "Riesgo", entendido como amenazas potenciales que pueden generar daño a personas y sus bienes ($R=P \times V$), se debe considerar, por una parte, el análisis del fenómeno propiamente tal (mediante el estudio del peligro o peligrosidad (P), y está directamente relacionado con determinar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en un área y tiempo determinado, además de la evaluación del *daño o a quienes afectará* la ocurrencia de algún fenómeno, considerándose la vulnerabilidad (V). Como se mencionó anteriormente, en el estudio del peligro sísmico, se deben considerar aspectos propios del sismo (como la fuente, área y zona de ruptura, entre otras). En el caso de los sismos descritos, estos tienen distinta fuente sismogénica y en el estudio de Mardones no se realiza ningún cálculo de Peligro sísmico, por lo que las zonas definidas por la autora corresponden a zonas de mayor o menor "susceptibilidad" de respuesta sísmica (entendida como la posibilidad que una zona se vea afectada por un determinado proceso expresada en grados cualitativos y relativos (González de Vallejo et al., 2002), y que dependerá de los factores que controlan o condicionan su ocurrencia (intrínsecos a los propios materiales o externos).

Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones del trabajo de Mardones (1990), quien señala que a partir del sismo de 1939 principalmente, estableció que uno de los sectores menos afectados corresponde al área donde se emplazan las poblaciones Santa Elvira, Kennedy y Barrio Chillancito, geomorfológicamente asociados a una antigua terraza de origen fluviovolcánico con una napa profunda. Sectores con mediano nivel de afectación serían lo que corresponde casi en su totalidad a la parte plana de Chillán actual y parte de Chillán viejo, ubicados geomorfológicamente sobre una llanura de piedemonte, con una napa promedio a los 4 m de profundidad. Los sectores más perjudicados según su respuesta sísmica corresponderían en su mayoría a sectores periféricos, asociados a la presencia de paleocanales o lechos abandonados, terrazas fluviales y terrenos inundados o niveles de saturación cercanos a superficie.

Licuefacción.

Dentro de los fenómenos asociados a los sismos, la licuefacción de Suelos es reconocida como un proceso natural mediante el cual determinados tipos de suelos saturados, no consolidados y no cohesivos (como arenas sueltas, arenas y limos mal graduados) que pierden su resistencia al corte debido a vibraciones del terreno y temporalmente se transforman a un estado licuado (se comportan como un líquido) gatillados por sismos. En este proceso el suelo experimenta una pérdida pasajera de resistencia que comúnmente hace que se produzca un desplazamiento o falla del terreno (las estructuras se hunden) y es típico de sectores con depósitos fluviales, deltas y desembocadura de ríos, donde predominan depósitos de arenas y limos no consolidados (a profundidades menores de 15 metros) y nivel freático alto (cercano a superficie e inferior a 3 metros). Además, sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos ubicados donde antes existieron lagos o lagunas. De igual importancia es la licuefacción en rellenos antrópicos deficientemente trabajados, principalmente, sobre zonas de humedales. Dentro de los efectos de la licuefacción, se han evidenciado formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, "golpes de agua" (surgimiento de agua) y volcanes de arena, a menudo provocan que las estructuras se hundan o dañen.

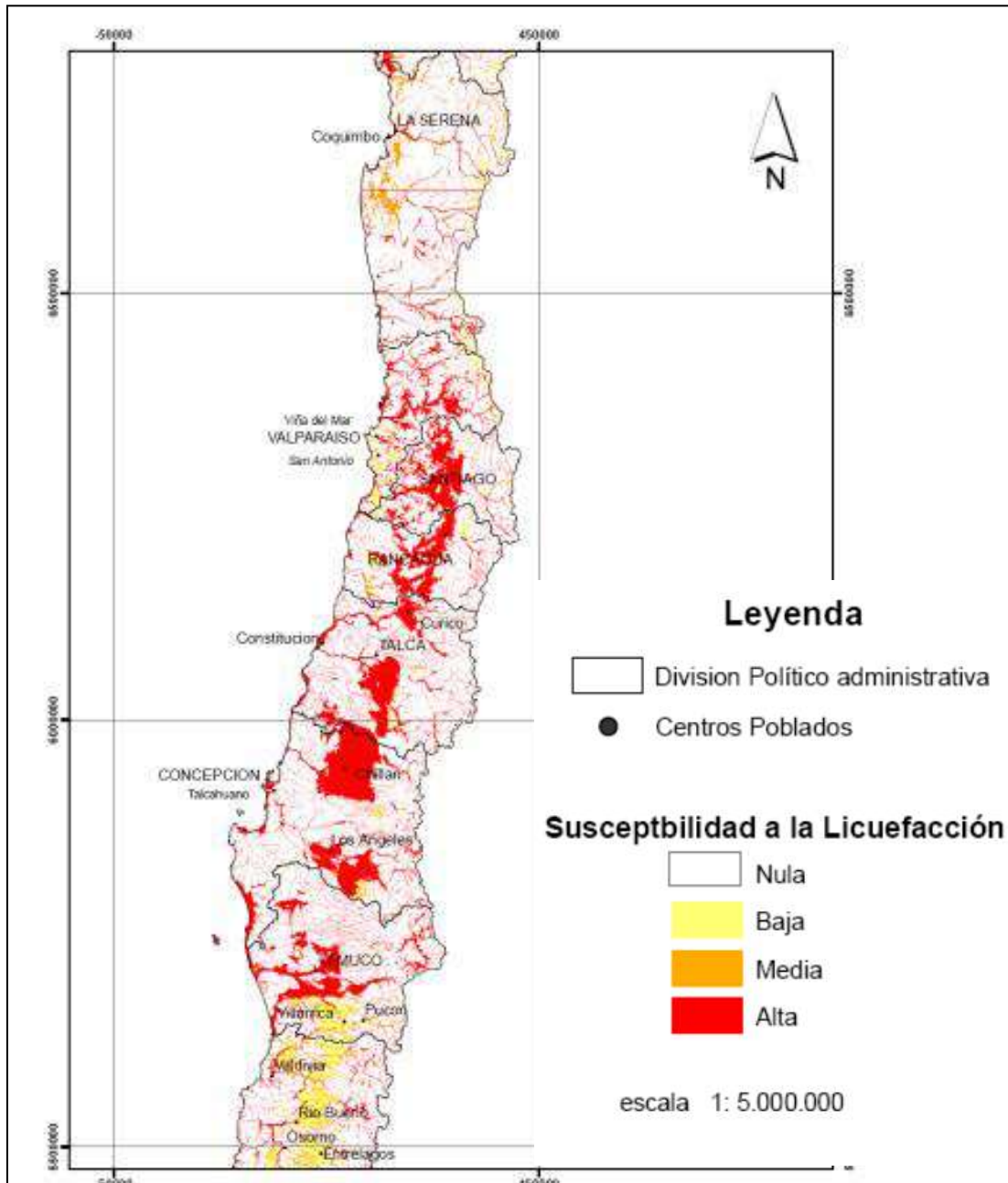
De acuerdo con los antecedentes recopilados (Falcón et al. 2012), la Licuefacción es uno de los fenómenos más observados en Chile Central después del sismo de febrero del 2010. A raíz de esto, se generó un mapa a nivel nacional identificando las zonas más sensibles a la Licuefacción a partir de las características de los depósitos (origen del suelo, distribución y tamaño de granos, profundidad de las aguas subterráneas, edad del depósito y profundidad del suelo. Según Falcón (2012) los fenómenos de Licuefacción se repiten en una misma zona cada vez que un sismo de gran envergadura afecta el territorio. La Figura a continuación, muestra una imagen del

mapa que muestra las zonas susceptibles a licuefacción 1:5.000.000, mostrando que el área de estudio se emplaza en una zona de alta susceptibilidad a la Licuefacción. Esto concuerda con la descripción geológica y geomorfológica descrita en los capítulos anteriores, considerando rellenos sedimentarios de diverso origen, granulometría y permeabilidad depositados en el valle; la presencia de paleocanales; el límite que provoca el alzamiento de la Cordillera de la Costa por el Oeste afectando el normal drenaje del valle y suelos con características inundables.

Conclusión

Para determinar zonas más susceptibles que otras a la licuefacción, se hace necesario realizar estudios específicos de microzonificación sísmica a escalas urbanas, los cuales tienen otros alcances y costos, debido a la necesidad de hacer ensayos en suelos y calicatas de manera sistemática, estando fuera de los alcances del presente estudio y fuera de lo requerido por el artículo 2.1.17. de la OGUC.

Figura 30 Mapa de Susceptibilidad a la Licuefacción en Chile Central 1:5.000.000



Fuente: Falcón, et al 2012

2.9. ANTECEDENTES DE INUDACIONES Y ANEGAMIENTOS.

Antecedentes para considerar en las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y de inundación por anegamiento

Las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento cuentan con los estudios de riesgos de los instrumentos de planificación comunal e intercomunal vigentes y de estudios hidráulicos de los cursos principales del área de estudio, entre ellos:

- Plan Regulador intercomunal Chillán y Chillán Viejo
- Estudio de riesgos, Plan Regulador Comunal de Chillán
- Estudio de riesgos, Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo
- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región (INDEGESA 2002)
- Plan Maestro de Manejo de Cauces Cuenca del río Chillán, VIII REGIÓN (PRISMA Ingeniería 2008)
- Proyecto Encauzamiento y Defensas Fluviales Confluencia Ríos Ñuble - Cato y Plan Manejo de Cauces, Ríos Itata, Ñuble y Cato. Región del Bío-Bío (PRISMA Ingeniería 2001)

A continuación, se detallan los criterios abordados por los respectivos estudios y para su incorporación en el presente estudio.

Plan Regulador intercomunal Chillán y Chillán Viejo

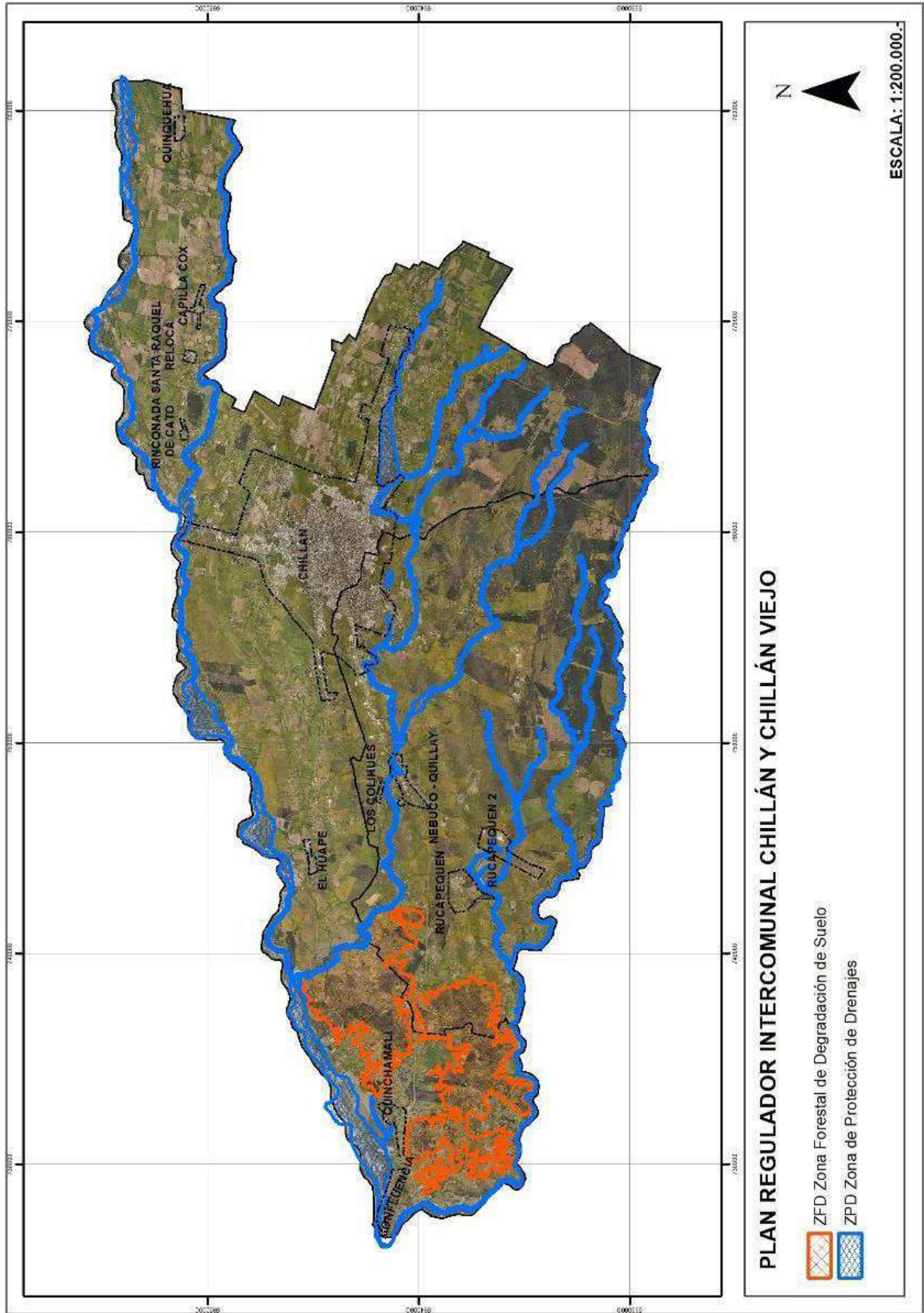
El plan regulador intercomunal entró en vigencia el 30 de julio de 2007. La cartografía del plan corresponde a la base topográfica GEOCEN año 1996 escala 1:20.000.-. Respecto de las áreas de riesgo, la memoria del Plan no especifica la metodología o criterio con el que se definieron las áreas de riesgo y/ protección. Sin embargo, se indica que "En la Intercomuna las restricciones dadas por la presencia de riesgos naturales están focalizadas, particularmente, en las terrazas inferiores de los sistemas fluviales andinos y preandinos, básicamente en los hídricos más activos que son el Río Ñuble, El Río Chillán y Los Esteros Las Toscas y Las Lechuzas que por ser cursos de aguas urbanos generan una mayor peligrosidad" (Memoria PRICH 2007)

De lo expuesto respecto de los riesgos en la memoria del plan Regulador (2007), se infiere que los criterios utilizados son principalmente geomorfológicos, en una escala de trabajo de 1: 20.000.

Si bien, se comparten los criterios geomorfológicos para la delimitación de las áreas de riesgos, estas se ajustaron a la cartografía de levantamiento 1:5.000 de la actualización del plan regulador intercomunal, que presenta 4 veces más detalles de las formas del terreno.

A continuación, se presenta una imagen del PRICH con las áreas indicadas como Zona de Protección de Drenaje ZDP y Zona Forestal de degradación de suelo ZFD.

Figura 31 Zonas de protección de drenaje y Zona forestal de degradación de suelo PRICH 2007



<http://www.ide.cl/descarga/capas/item/zonificacion-plan-regulador-intercomunal-chillan-chillan-viejo-region-del-biobio.html>

Plan Regulador Comunal de Chillán

El plan regulador de Chillan presenta la última modificación el 7 de julio de 2016. Su base cartográfica es del año 2009, su escala de levantamiento 1:5.000 y su escala de ploteo es 1:10.000.

El estudio de riesgos del PRC de Chillán considera para efectos de las áreas de riesgo por procesos gravitacionales que por ser terrenos planos no se genera ese tipo de riesgos.

Áreas de riesgo por desborde de cauces

Respecto de las áreas inundables por desborde cauces se recurre al análisis de la geomorfología de cauce y la identificación de terrazas inundables.

Áreas de riesgo por anegamiento

En el caso de las áreas anegables, los parámetros se efectúan en base a fotointerpretación para establecer las áreas de mayor o menor probabilidad de ocurrencia del riesgo (peligrosidad) y se sintetiza en lo siguiente:

A) Riesgo Alto = Anegamiento recurrente. Terrenos más bajos en relación con la topografía del entorno y mayor permanencia de las aguas en superficie. Para delimitar las áreas de anegamiento recurrente se identificaron los terrenos bajos, de vegas y aledaños a los cauces de los ríos y esteros, son terrenos con pendientes inferiores a 5%, y zonas de pajonales y vegas.

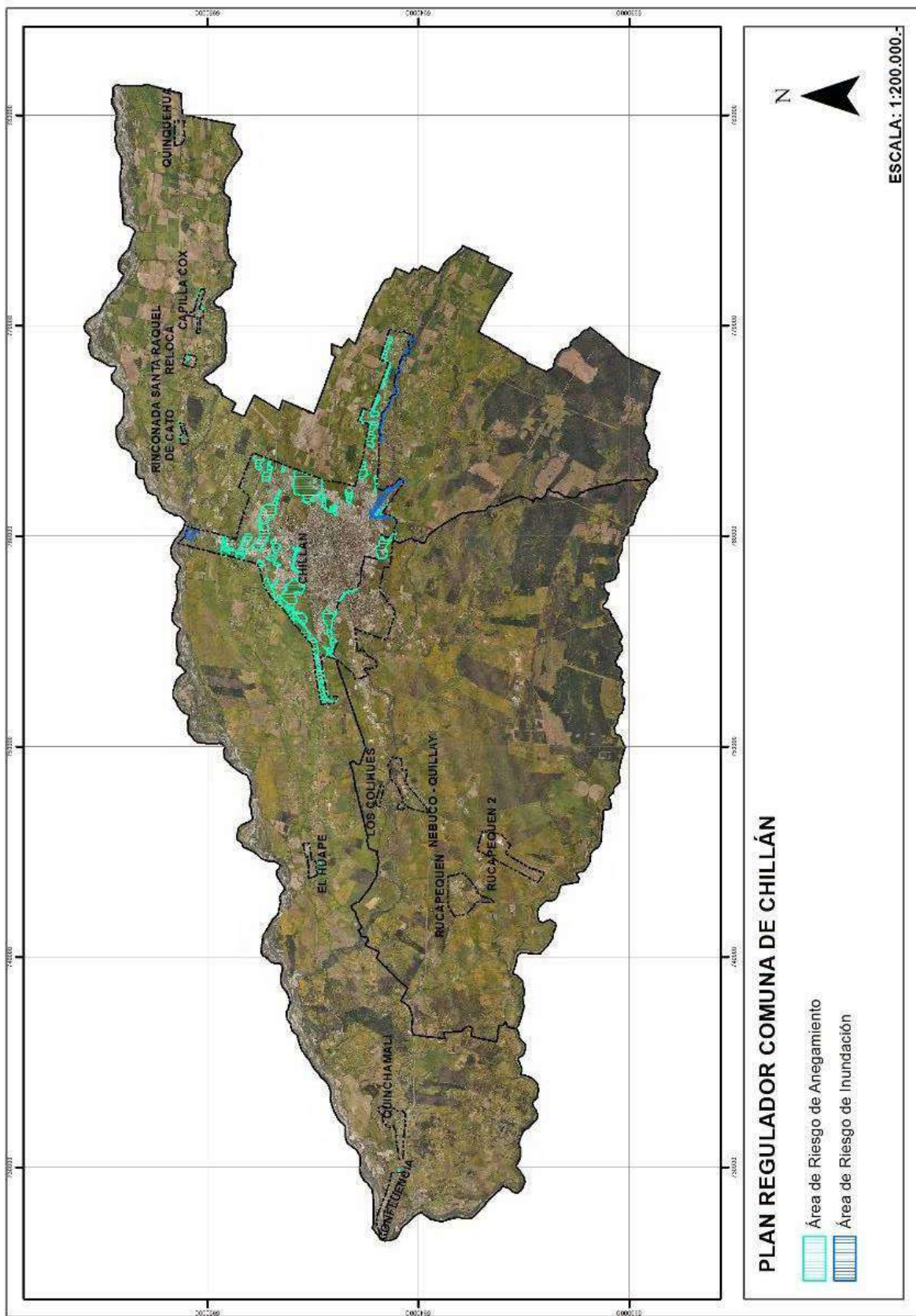
M) Riesgo Medio = Anegamiento estacional. Terrenos con tendencia a saturarse de agua por elevación del nivel freático o bien por su muy baja permeabilidad (principalmente suelos arcillosos o limosos), En general son suelos caracterizados por una condición de humedad edáfica y sólo anegamiento en períodos críticos de altos niveles de agua lluvia caída en un lapso corto.

B) Riesgo Bajo = Terrenos relativamente bajos donde es poco probable la saturación del suelo. Estas áreas no se consideran en el Plan Regulador Comunal de Chillán.

O) Sin Riesgo = Terrenos que no presentan la amenaza de este riesgo

A continuación, se presentan las áreas inundables y anegables del PRC de Chillán

Figura 32 Áreas de riesgo por inundación y anegamiento PRC Chillán



Fuente: <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/zonificacion-planes-reguladores-comunales-region-del-biobio.html>

Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo

El plan regulador de Chillán Viejo presenta la última modificación el 20 de agosto de 2012. Su base cartográfica es del año 2009, su escala de levantamiento 1:5.000 y su escala de ploteo es 1:10.000.

El estudio de riesgos del PRC de Chillán Viejo (al igual que PRC Chillán) considera para efectos de las áreas de los procesos gravitaciones que por ser terrenos planos no se genera ese tipo de riesgos.

Áreas de riesgo por desborde de cauces

Respecto de las áreas inundables por desborde cauces se recurre al análisis de la geomorfología de cauce y la identificación de terrazas inundables.

Áreas de riesgo por anegamiento

En el caso de las áreas anegables, los parámetros se efectúan en base a fotointerpretación para establecer las áreas de mayor o menor probabilidad de ocurrencia del riesgo (peligrosidad) y se sintetiza en lo siguiente:

A) Riesgo Alto = Anegamiento recurrente. Terrenos más bajos en relación a la topografía del entorno y mayor permanencia de las aguas en superficie. Para delimitar las áreas de anegamiento recurrente se identificaron los terrenos bajos, de vegas y aledaños a los cauces de los ríos y esteros, son terrenos con pendientes inferiores a 5%, y zonas de pajonales y vegas.

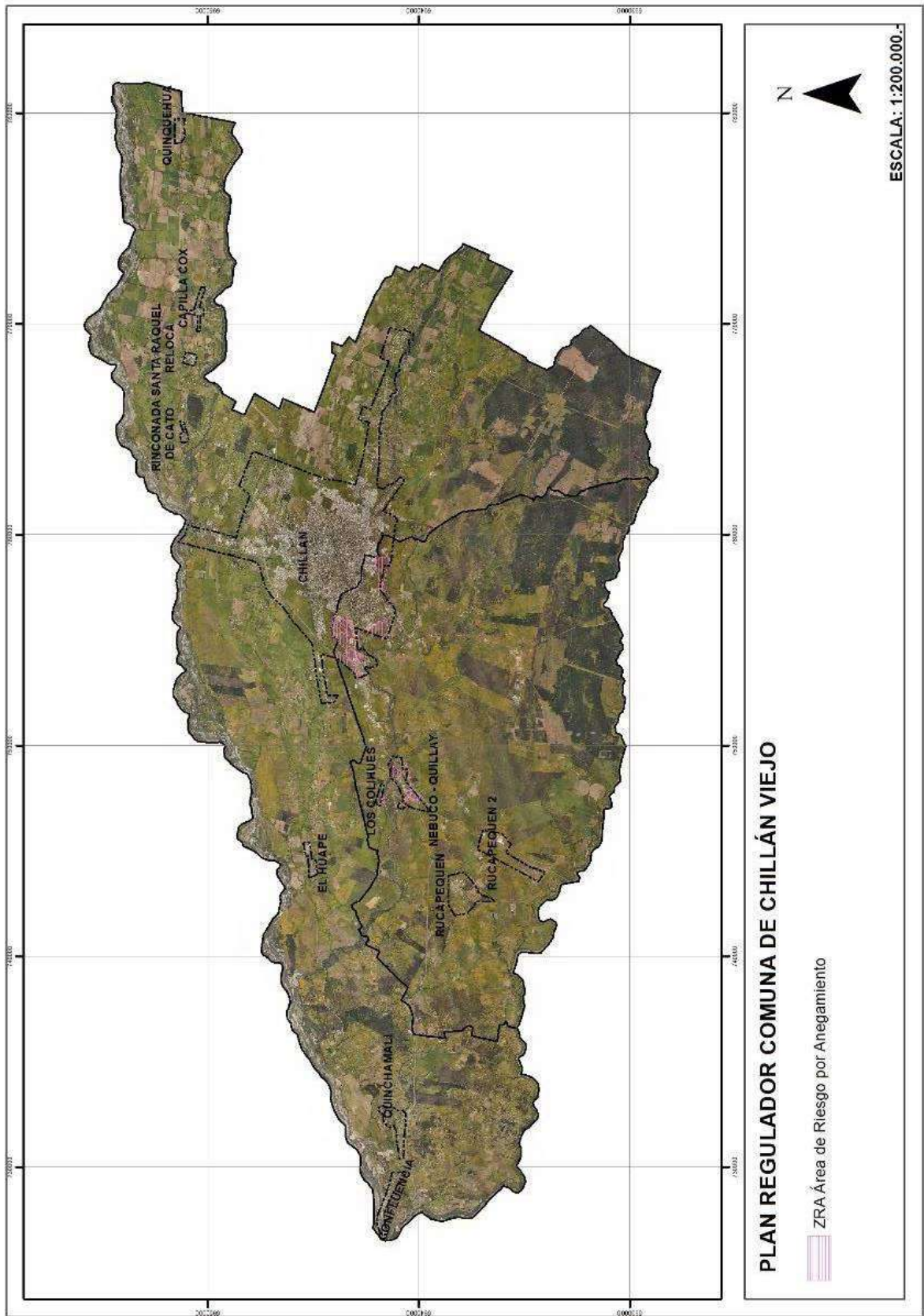
M) Riesgo Medio = Anegamiento estacional. Terrenos con tendencia a saturarse de agua por elevación del nivel freático o bien por su muy baja permeabilidad (principalmente suelos arcillosos o limosos. En general son suelos caracterizados por una condición de humedad edáfica y sólo anegamiento en períodos críticos de altos niveles de agua lluvia caída en un lapso corto.

B) Riesgo Bajo = Terrenos relativamente bajos donde es poco probable la saturación del suelo. Estas áreas no se consideran en el Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo.

O) Sin Riesgo = Terrenos que no presentan la amenaza de este riesgo

A continuación, se presentan las áreas inundables y anegables del PRC de Chillán Viejo

Figura 33 Áreas de riesgo por anegamiento PRC Chillán Viejo



Fuente: <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/zonificacion-planes-reguladores-comunales-region-del-biobio.html>

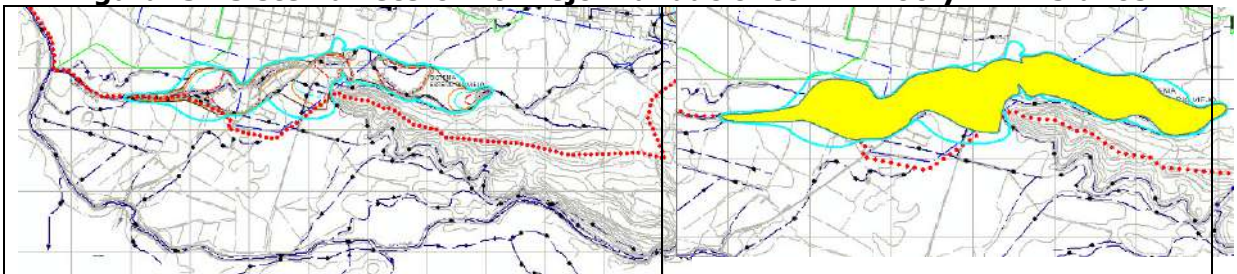
Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región

Este estudio elaborado por INDEGESA en el año 2002, determinó las áreas de inundación de las áreas urbanas de las ciudades de Chillán y Chillán Viejo. En este estudio se avalúo tanto los cauces naturales como artificiales (obras de arte) y se calculó inundaciones con tasas de retorno de 100, 25, 10, 5 y 2 años.

Los resultados del Plan Maestro respecto de áreas de inundación por desborde de cauces naturales muestran, al año 2002, dos importantes áreas inundables en cuanto a superficie correspondientes al sistema Estero Rio Viejo (antiguo brazo del Rio Chillán) y Estero las Toscas, ambos en el sector sur de la conurbación.

Dentro de los cauces naturales el Sistema estero Rio Viejo, presenta una importante área de inundación, graficada en la siguiente figura de color cyan $Tr= 100$ años y Amarillo $Tr= 25$ Años.

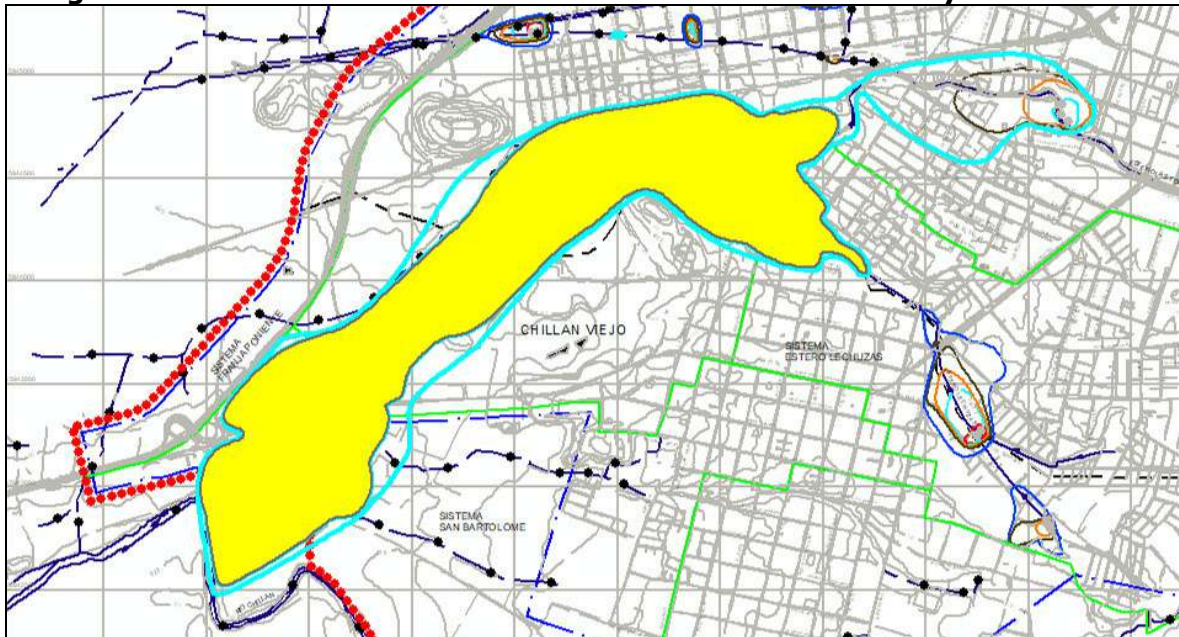
Figura 34 Sistema Estero Rio Viejo inundaciones $Tr= 100$ y $Tr= 25$ años



Fuente: Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región

El Sistema Estero Las Toscas, presenta una importante área de inundación, graficada en la siguiente figura de color cyan $Tr= 100$ años y Amarillo $Tr= 25$ Años. Cabe mencionar que actualmente parte de estas áreas de inundación han sido mitigadas con obras de encauzamiento.

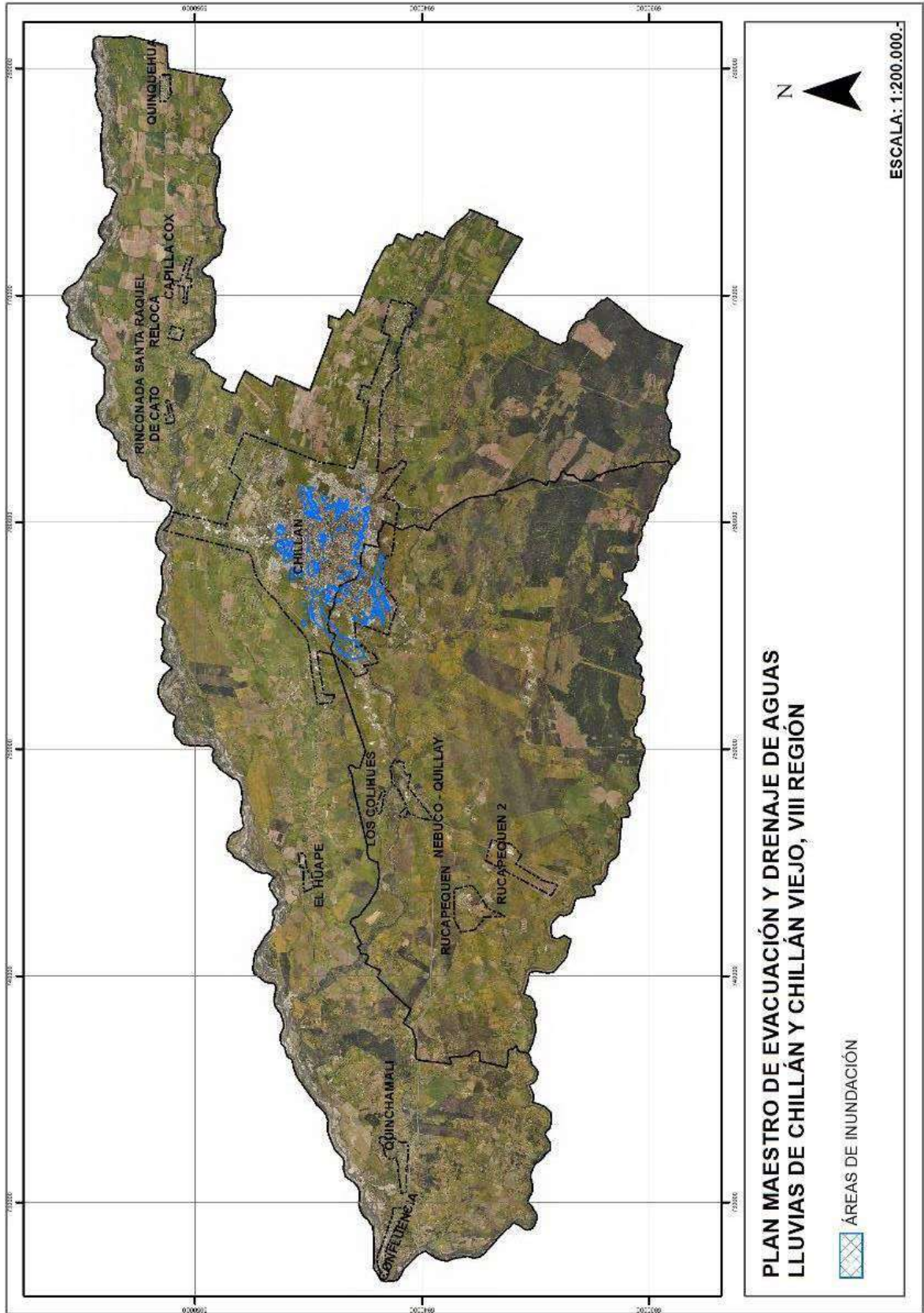
Figura 35 Sistema Estero Las Toscas inundaciones $Tr= 100$ y $Tr= 25$ años



Fuente: Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región

Las áreas de inundación por desborde de cauces, resultantes del Plan Maestro del año 2002, constituyen estimaciones a partir de dos tasas de retorno, y no dan cuenta de la recurrencia histórica como factor del riesgo, dichos antecedentes, más las obras de mitigación existentes antes mencionadas, son materia de análisis para la definición del área de inundación del Plan.

Figura 36 Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región



Fuente: Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región

Plan Maestro de Manejo de Cauces Cuenca del río Chillán, VIII REGIÓN

Este estudio elaborado por PRISMA Ingeniería en el año 2008, determino las áreas de inundación del Río Chillán, en todo su recorrido por la Intercomuna con base cartográfica escala 1:2.000. El área de estudio comprende entre desembocadura al río Ñuble y la localidad de Esperanza (65 km).

Cálculos caudales máximos de crecidas probables períodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y ejes hidráulicos correspondientes y evaluación del estado y capacidad de los puentes.

Figura 37 Cálculo de Tr por sectores

Punto de Control	Tramo	Caudal Máximo Instantáneo (m³/s)					
		Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100
1 Chillán en Confluencia	Desembocadura - Los Coligües	503	759	928	1.143	1.301	1.459
2 Chillán en Longitudinal	Los Coligües - Estero Quilmo	473	714	873	1.075	1.224	1.372
3 Aguas Arriba Estero Quilmo	Esteros Quilmo - Estero Las Toscas	392	592	723	891	1.014	1.137
4 Aguas Arriba Estero Las Toscas	Esteros Las Toscas - Estero Boyén	360	544	665	815	932	1.045
5 Aguas Arriba Estero Boyén	Esteros Boyén - Estero Cada-Cada	267	403	493	607	691	774
6 Aguas Arriba Estero Cada Cada	Esteros Cada-Cada - Esperanza	230	347	424	522	595	667
7 Chillán en Esperanza		190	287	350	431	491	551

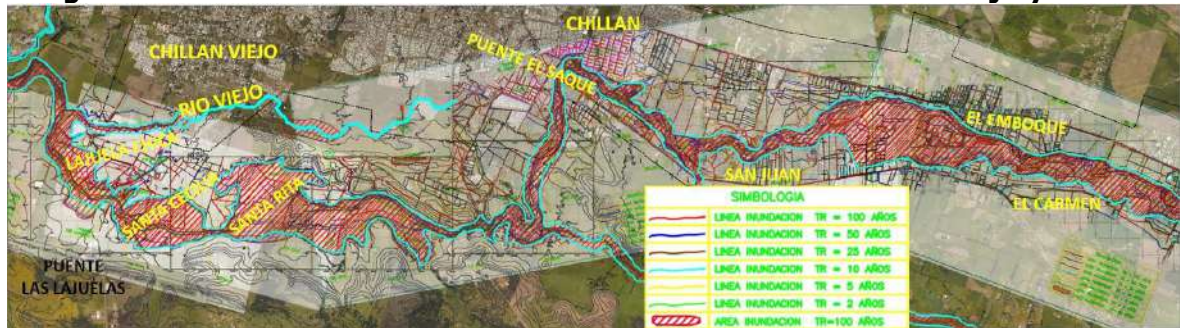
Fuente: Plan Maestro de Manejo de Cauces Cuenca del río Chillán, VIII REGIÓN

Área de riesgo de inundación por desborde de cauce

Los resultados de la modelación hidráulica identifican sectores inundables en las terrazas adyacentes al curso principal. De oriente a poniente estos sectores corresponden a: Ribera sur Río Chillan entre El Carmen y San Juan, y ribera Norte del Río Chillán en Santa Rita, Santa Cecilia y Lajuela Chica hasta confluencia con Río Viejo.

La siguiente figura muestra en color rojo la modelación de la tasa de retorno a 100 años, cabe señalar que en los sectores mencionados la tasa de retorno de 10 años es muy próxima a la de los 100 años, esto se debe a los cambios en la pendiente de la terraza y la baja altura respecto del lecho del Río. El cambio de norte o sur de las terrazas inundables está condicionado por la existencia de serranías y lomajes paralelos al cauce que producen el desborde en la ladera contraria.

Figura 38 Área inundable TR 100 años sector sur de Chillán Viejo y Chillán



Fuente: Plan Maestro de Manejo de Cauces Cuenca del río Chillán, VIII REGIÓN

pero que siempre y todo constituyen estimaciones a partir de dos tasas de retorno, y no dan cuenta de la recurrencia histórica como factor del riesgo; esto último, sumado a las obras de mitigación realizadas con posterioridad, son elementos claves para la definición del área de inundación del Plan.

Lo anterior, explicándose así las diferencias de superficie, entre lo estimado (condiciones geomorfológicas y tasas de retorno) versus el área de inundación, por desborde de cauce y/o por anegamiento, en el Plano PRICH-R.

En cuanto a la sismicidad, las normas chilenas NCh 433 ("Diseño sísmico de edificios") y la NCh 2369 ("Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales") definen las exigencias de diseño que deben cumplir diferentes tipos de edificaciones en razón del peligro sísmico, con herramientas más eficientes que las que ofrece la OGUC. Por lo tanto, no se ha aplicado la definición de área de riesgo para este peligro.

Finalmente, no se asignó susceptibilidad a los peligros relacionados con el volcanismo, porque en el caso de que alguno de los volcanes descritos en los antecedentes iniciara un nuevo ciclo eruptivo, el área de estudio no estaría expuesta a peligros volcánicos proximales, tales como flujos de lava, flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas ni lahares. Esto se debe a la distancia que separa a la Intercomuna del volcán más cercano. Si bien, el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, en el caso de tener una explosión extraordinariamente explosiva (IEV 6), podría depositar material piroclástico en la zona de Chillán. Sin embargo, los productos que llegarían serían de tamaño milimétrico (ceniza) y el espesor depositado sería pequeño, por lo que no constituiría un riesgo para la población.

Dado lo anterior, se infiere que el área de estudio podría estar expuesta solo a productos volcánicos de alcance distal, es decir a caída de piroclastos o ceniza volcánica, emitidos durante una erupción altamente explosiva de alguno de los volcanes catastrados. En consecuencia, no se ha asignado susceptibilidad a los peligros volcánicos de la Intercomuna.

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. RODADOS Y ALUVIONES

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.

* La traducción literal corresponde a peligro, pero de acuerdo a la ONEMI y al proyecto Multinacional de Geociencias Andino (MAP-GAC) para evitar confusiones se utiliza Amenaza o Peligrosidad.

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

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

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

Rodados por caída de rocas

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 40 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas

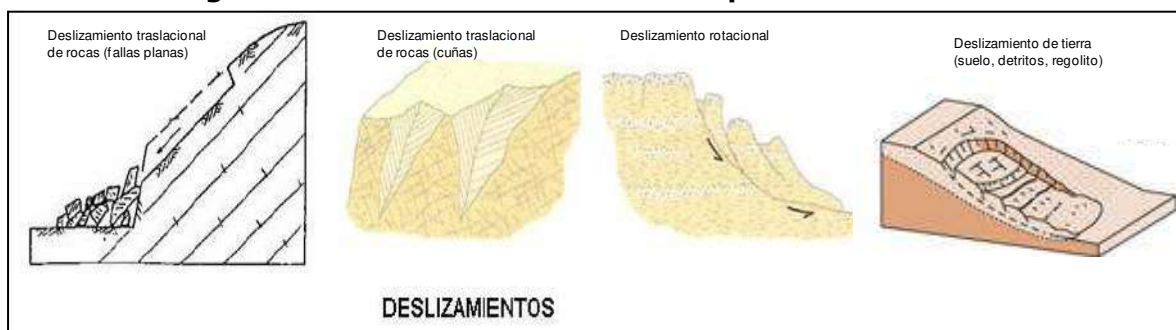


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Rodados por deslizamientos de materiales

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

Figura 41 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

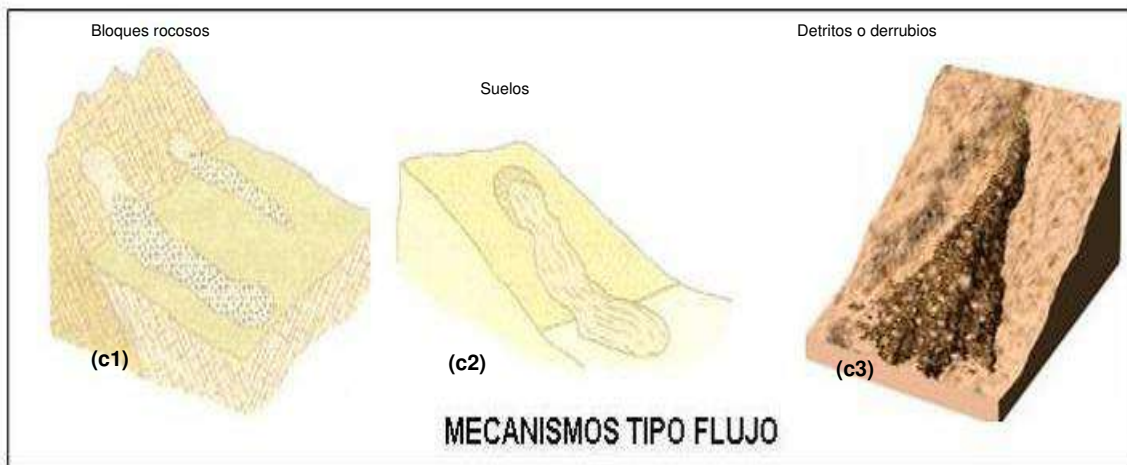


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Aluviones por flujos de detritos

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 42 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 períodos invernales). Precipitaciones de intensidad media en periodos prolongados de tiempo pueden ser consideradas como factores desencadenantes de flujos (Padilla, 2006). Eventos de precipitaciones anormales llevan consigo también, un aumento de la escorrentía superficial que incrementa la erosión del suelo suelto, elemento importante en la generación de flujos. Es importante señalar la ocurrencia de flujos en áreas urbanas donde el material movilizado se satura en agua por causas humanas (ruptura de cañerías, entre otros).

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

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

mantenimiento de sistemas de contención, o bien la limpieza de laderas sin la guía de un especialista.

3.3. INUNDACIONES

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

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

En otros casos, cuando se trata de inundaciones o "salidas de madre" en condiciones de caudales "normales" (altas aguas medias), cuya causa suele encontrarse en la reducción de la sección de los colectores en forma artificial (angostamiento por urbanización, relleno por desechos), o natural (sedimentación progresiva o colmatación por arrastre de sedimentos), o accidental (eventos que provocan obstrucción parcial o total) como son los deslizamientos de tierra, los derrumbes, la caída de árboles, el derrumbe de puentes, etc.⁵

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:

Perennes⁶: 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

⁵ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile.

⁶ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile.

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.

Intermitentes⁷: 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.

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 situaciones⁸: 1º- 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, 2º- 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 causa fundamental: el hombre. Las construcciones que este efectúa (diques, terraplenes, camellones, soleras, muros, etc.) vienen a constituirse en obstáculos para que el agua circule libremente sobre los terrenos siguiendo las diferencias de pendiente. Esto ocurre tanto en el ámbito rural como en el urbano.

En el primero de los casos, los terraplenes de las carreteras y de las vías férreas suelen cumplir el rol de diques por insuficiencia de alcantarillas transversales, generando enlagueamientos hacia aguas arriba. En las ciudades, prácticamente todas las construcciones son obstáculos al escurrimiento de las aguas lluvias, las cuales

⁷ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

⁸ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile

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 dónde 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 situaciones⁹:

- 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. ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA

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.

⁹ Ferrando A., Francisco J. Sobre inundaciones y anegamientos. En: Revista de Urbanismo, N°15, Santiago de Chile.

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. Entre los factores variables, que sí se modifican en el tiempo, incluso a lo largo del día, están el tiempo atmosférico y el contenido de humedad de la vegetación.

4. METODOLOGIA

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

A continuación, se efectúa el análisis respecto de los componentes físicos del riesgo y su evaluación en función de los objetivos del estudio. 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 (Rodados y Aluviones)**
- **Procesos de Incendios (Actividad o intervención humana)**

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 (Rodados y aluviones, 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

Inundación por desborde de cauce

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

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

Tabla 8 Valoración de las variables de riesgo por inundaciones

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

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

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

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

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

Tabla 9 Valores absolutos según rangos.

RANGO	VA	NIVEL DE RIESGO
0.2 a 1.1	1	MODERADO
1.1 a 2.0	2	ALTO
2.0 a 3.8	3	MUY ALTO

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, Las áreas de riesgo por desborde de cauces y anegamiento se cotejaron con los estudios de riesgos de los instrumentos de planificación comunal e intercomunal vigentes y los estudios hidráulicos de los principales cursos del área de estudio, entre ellos:

- Plan Regulador intercomunal Chillán y Chillán Viejo
- Estudio de riesgos, Plan Regulador Comuna de Chillan
- Estudio de riesgos, Plan Regulador de Chillan Viejo

- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región (INDEGESA 2002)
- Plan Maestro de Manejo de Cauces Cuenca del río Chillán, VIII REGIÓN (PRISMA Ingeniería 2008)
- Proyecto Encauzamiento y Defensas Fluviales Confluencia Ríos Ñuble - Cato y Plan Manejo de Cauces, Ríos Itata, Ñuble y Cato. Región del Bío-Bío (PRISMA Ingeniería 2001)

En general estos estudios fueron realizados con una cartografía de mayor detalle y con cálculos y modelamiento hidráulico (los estudio MOP-DOH), por lo que la incorporación de sus áreas de riesgo se utilizaron las modelaciones de las tasas de retorno a 100 años.

En la Figura 10.3.2 del punto 10.3. de los ANEXOS, se presentan los resultados de la modelación y de la incorporación de las áreas inundables de los estudios hidráulicos (2.9 antecedentes de inundación y anegamiento).

Inundación por anegamiento

Respecto de las áreas de inundación por anegamientos en el área urbana de Chillan y Chillán Viejo, se consideró las áreas de anegamiento del Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región (INDEGESA 2002), considerando que todas las obras de urbanización que se proyecten en dicha área deberán regirse por dicho estudio para su autorización. Fuera del área urbana de Chillán y Chillán Viejo, para las áreas de inundación por anegamiento se utilizó información del inventario de humedales del Ministerio del Medio Ambiente.

Finalmente, dichas áreas, tanto en el área urbana como fuera de esta, fueron analizadas a través de parámetros morfológicos (pendientes inferiores a 3°) y a la fotointerpretación de imágenes áreas de manera de delimitar el área máxima utilizada por el cuerpo de agua (ver Figura 10.3.3 del punto 10.3. de los ANEXOS).

4.2. RODADOS Y ALUVIONES

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

Tabla 10 Clasificación y caracterización de las remociones en masa

Remociones Gravitacionales	Características	Energía Potencial Relativa	Remociones Aluvionales	Características	Energía Cinética
Derrumbes	En rocas desclasadas sobre cornizas y laderas de fuerte pendiente (acantilados) las masas rocosas en paquetes se desprenden y caen al vacío en un movimiento rápido de desplome	Muy Alta	Flujos de barro	Grandes volúmenes de agua se encauzan por un talweg a gran velocidad, en dirección a la pendiente, acarreando gran cantidad de sedimentos finos o moderadamente gruesos	Muy Alta
Deslizamientos	Las rocas en paquetes se desprenden y resbalan en celeridad sobre una superficie lisa de gran pendiente	Alta	Flujo de Detritos	Grandes volúmenes de agua desplazan en sentido de la pendiente a gran velocidad, trasportando sedimentos moderadamente gruesos y otros clastos	Alta
Corrimientos	Las masas rocosas de diferente granulometría se desprenden y resbalan sobre la ladera de fuerte pendiente, rotando al mismo tiempo respecto del eje de la horizontal	Moderada	Flujo de escombros	Grandes volúmenes de masas embebidas en agua se desplazan en dirección de la pendiente con celeridad, trasportando materiales de gruesa granulometría, incluyendo bloques y materiales orgánicos	Moderada
Desmoronamientos	Las rocas fuertemente meteorizadas en una cornisa se van desprendiendo según su masa y competencia	Baja	Solifluxión	En pendientes moderadas se desplaza el regolito en forma lenta en dirección de la pendiente al embeberse de agua.	Baja

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

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

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

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

$$RM = ((PEND * 0,4) + (EXP * 0,1) + (VEG * 0,3) + (GEO * 0,2))$$

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

Tabla 11 Valores Absolutos Según Rango

Rango	Va	Nivel de riesgo
0.7 a 1.5	1	MODERADO
1.5 a 2.3	2	ALTO
2.3 a 4.0	3	MUY ALTO

Fuente: Elaboración Propia

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

Pendientes

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

Tabla 12 Valoración de Pendientes

PENDIENTES	EROSIÓN	DESMORONAMIENTOS	CORRIMIENTOS	DESLIZAMIENTOS	DERRUMBES	Valor
0 - 5	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	0
5 - 23	Moderado a Fuerte	Libre	Libre	Libre	Libre	1
23 - 35	Moderado a Leve	Moderado a Fuerte	Moderado	Leve a Moderado	Leve	2
35 - 55	Fuerte	Fuerte	Moderado a Fuerte	Moderado a Fuerte	Moderado a Fuerte	3
> - 55	Fuerte a Moderado	Fuerte a Moderado	Fuerte	Fuerte	Fuerte	4

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

Exposición de laderas

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

matorrales abiertos y cactáceos. Estas condiciones, sumadas a una pendiente pronunciada, hacen a estas laderas más vulnerables a los procesos de remoción en masa.

Tabla 13 Valoración de exposición de laderas

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

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

Vegetación

La vegetación del área Intercomunal está compuesta principalmente por rotación de cultivos en ladera, 43% de la superficie intercomunal, seguida de las formaciones de plantaciones con un 16% y terrenos agrícolas con un 10%. Las formaciones vegetales son de gran importancia para evitar la erosión hídrica por precipitaciones (impacto de la gota de agua lluvia sobre superficie de terreno) y en la contención de laderas, disminuyendo la erosión laminar, lineal y formación de cárcavas, con el consiguiente arrastre de material no consolidado y depositación de éste en los cursos de agua principales.

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

Respecto de los terrenos agrícolas, su nivel de mitigación de los factores ambientales respecto de los procesos erosivos es de nivel moderado a alto, esto está relacionado con la pendiente de los terrenos, los tipos de cultivos (anuales o permanentes) y las labores de labranza. Los renovales, por tratarse de un repoblamiento por siniestro (incendio) o por corta de vegetación presenta un nivel de cubrimiento menor que los bosques, por ende, su potencial resguardo a la erosión es menor.

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

Tabla 14 Valoración de vegetación

Tipo de formación	Valor
Afloramiento rocoso	4
Bosques (nativo y exótico)	1
Matorral	2
Pradera	3
Renoval	3
Agrícola	2
Vegas	2

Fuente: Elaboración Propia

Geología

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

Tabla 15 Valoración formaciones geológicas área intercomunal

(Geo) Geología	Nivel de riesgo	Valor
Formación Mininco Pplm	Muy alto	4
Batolito de la costa Pzg	Moderado	3
La Montaña PIHlm	Bajo	2
Sedimento de valles actuales Hsva	Moderado	3

Fuente: Elaboración Propia

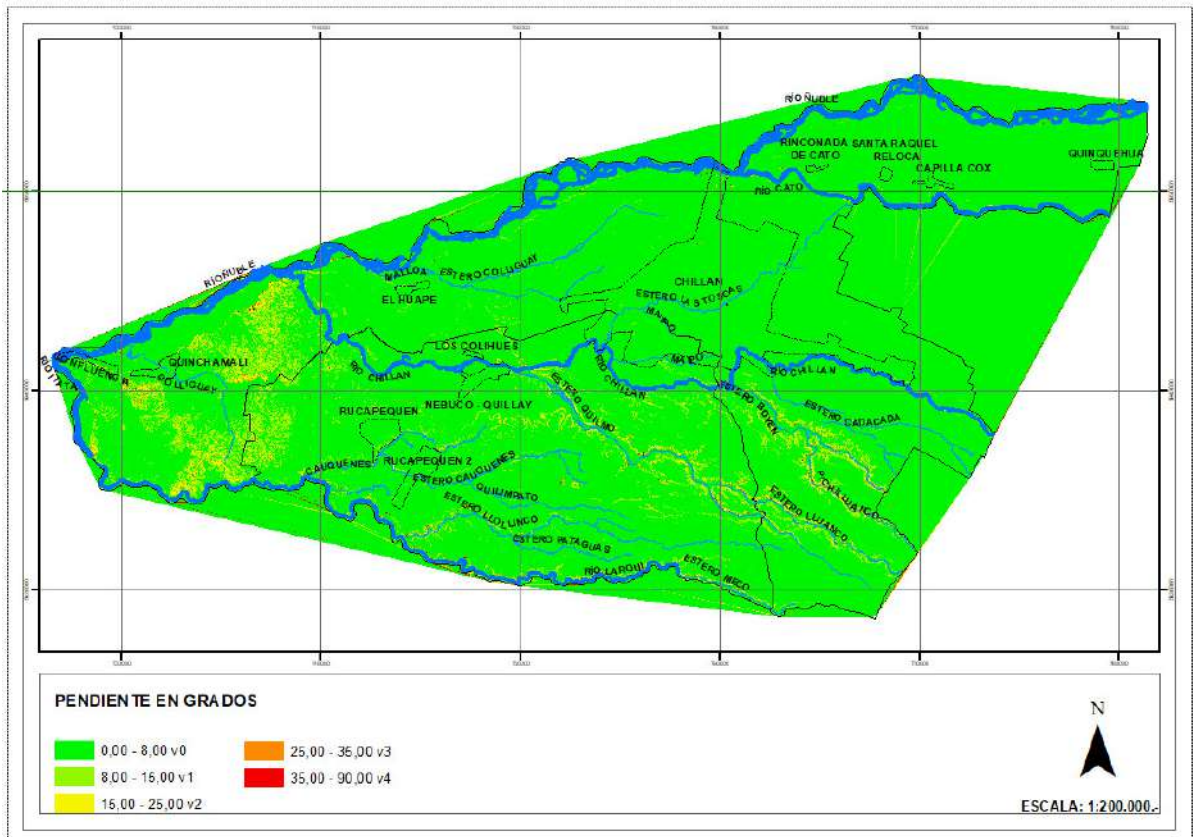
En las siguientes tablas se resumen las variables y sus respectivos niveles de riesgos y ponderación de acuerdo con el modelo de remoción en masa.

Tabla 16 Valoración y ponderación de variable de pendientes

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

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

Figura 43 Pendientes y su valoración



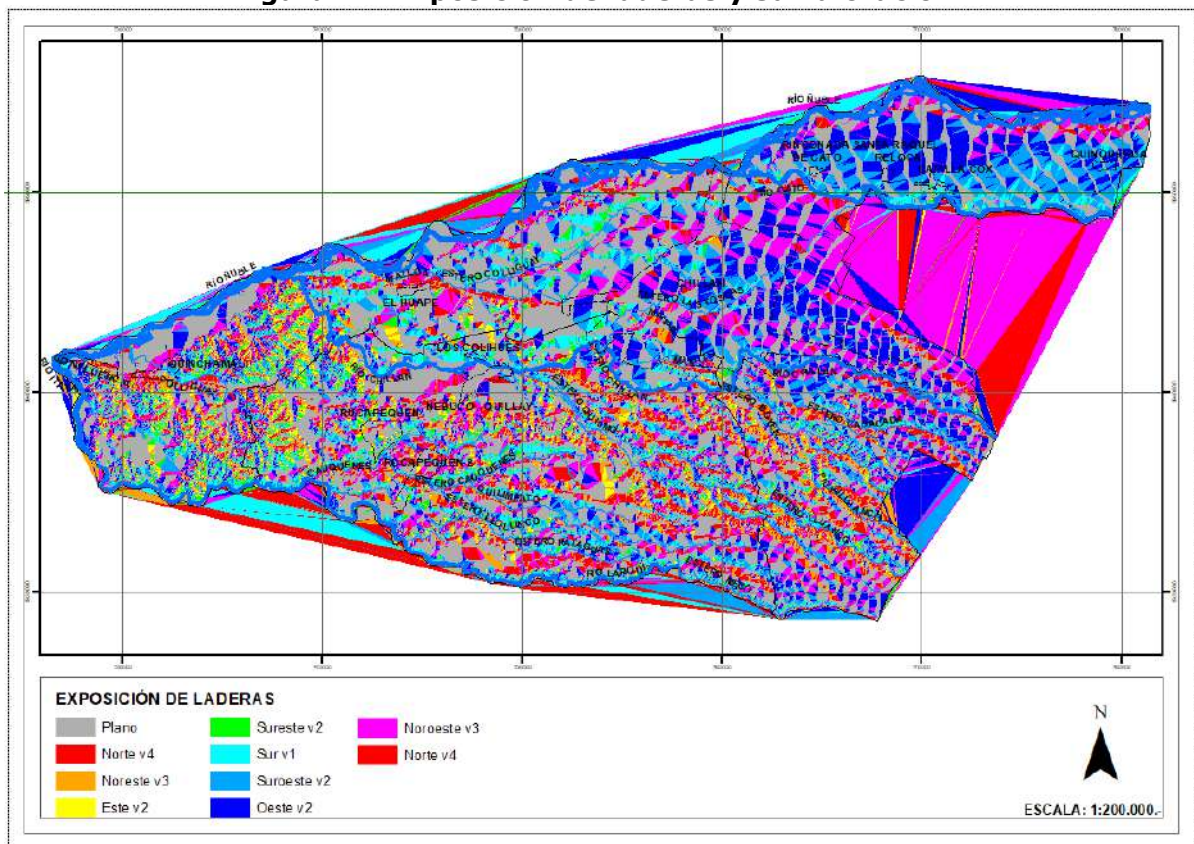
Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Valoración y ponderación de variable de exposición de laderas

(Exp) exposición	Nivel de riesgo	Valor	Ponderador
N - NE	Muy alto	4	0,1
NE - E	Alto	3	0,1
E - SE	Moderado	2	0,1
SE - S	Bajo	1	0,1
S - SW	Moderado	2	0,1
SW - W	Alto	3	0,1
W - NW	Muy alto	4	0,1
NW - N	Muy alto	4	0,1

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

Figura 44 Exposición de laderas y su valoración



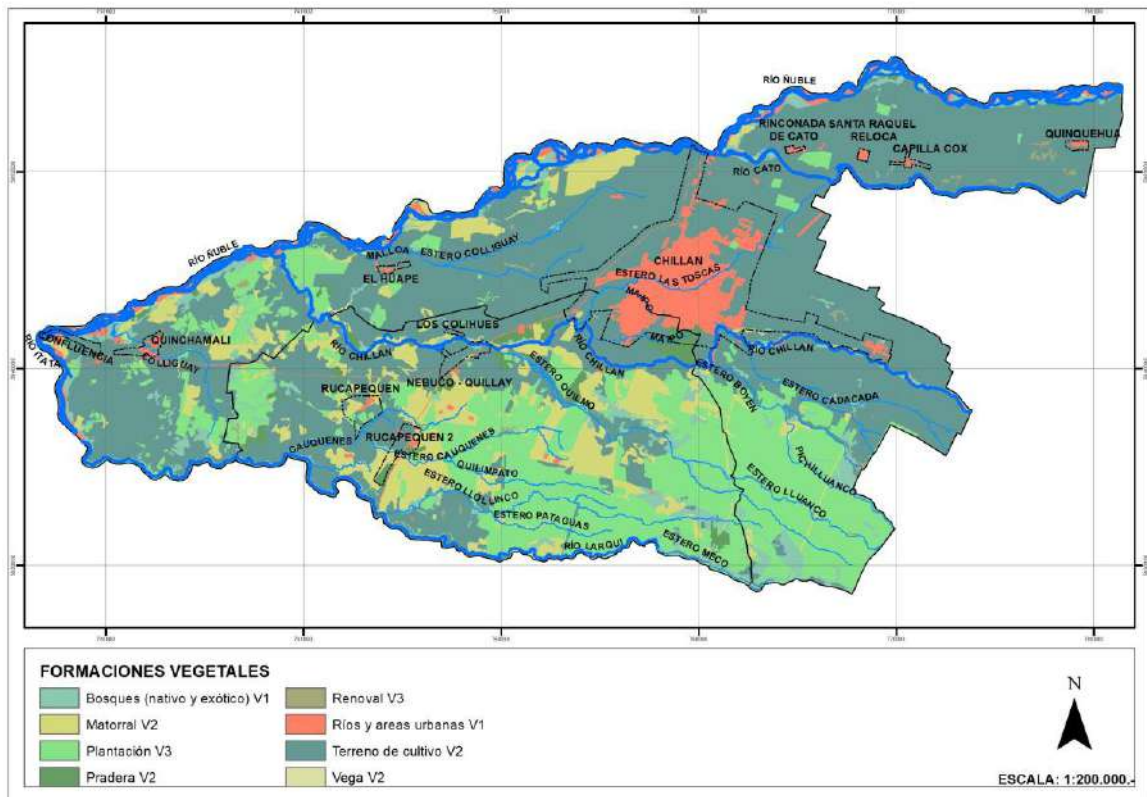
Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Valoración y ponderación de formaciones vegetales

(Veg) Vegetación	Nivel de riesgo	Valor	Ponderador
Afloramiento rocoso	Muy alto	4	0,3
Bosques (nativo y exótico)	Bajo	1	0,3
Matorral	Moderado	2	0,3
Pradera	Alto	3	0,3
Renoval	Alto	3	0,3
Terreno de cultivo	Alto	2	0,3
Vega	Moderado	2	0,3

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

Figura 45 Formaciones vegetales y su valoración



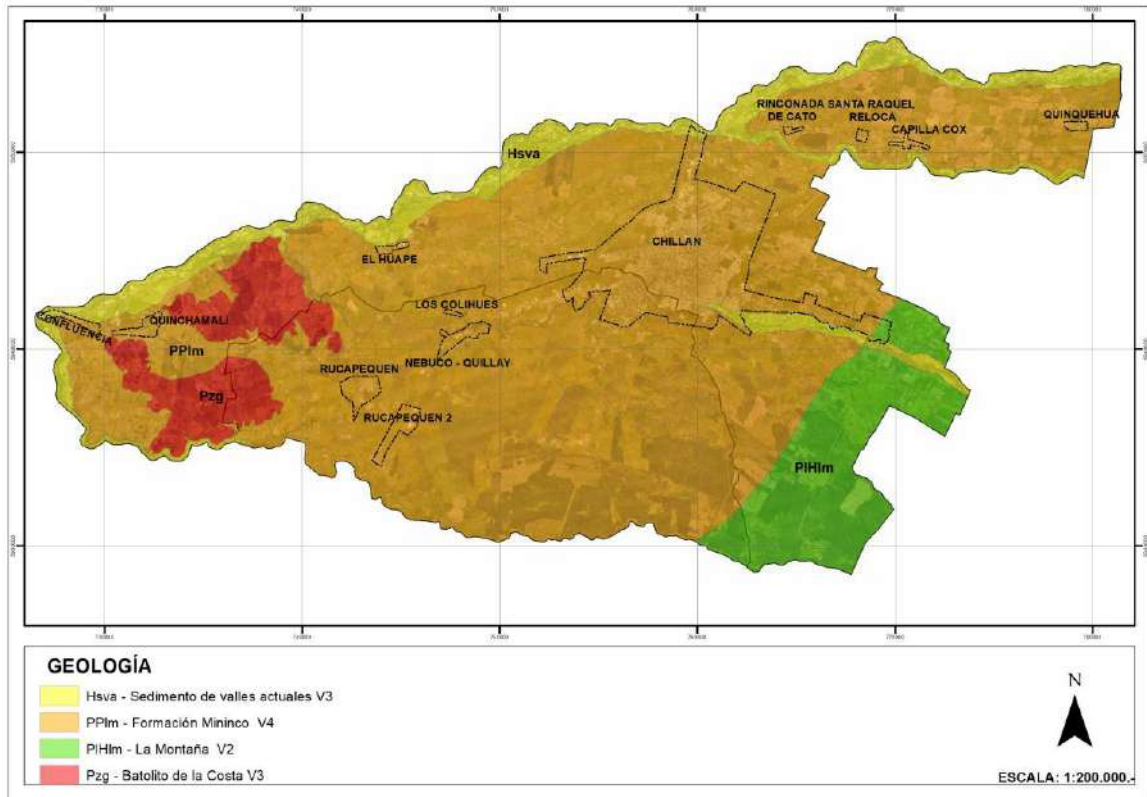
Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Valoración y ponderación formaciones geológicas

(Geo) Geología	Nivel de riesgo	Valor	Ponderador
Formación Mininco Pplm	Muy alto	4	0,2
Batolito de la costa Pzg	Moderado	3	0,2
La Montaña PIHlm	Bajo	2	0,2
Sedimento de valles actuales Hsva	Moderado	3	0,2

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

Figura 46 Geología y su valoración



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10.3.4 del punto 10.3. de los ANEXOS se presentan los resultados de la modelación de susceptibilidad de remociones en masa en sus categorías Muy alta, Alta y Moderada.

4.3. ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA

Incendios

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

Áreas conflictivas

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

Viento

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

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

Pendiente (inclinación del terreno)

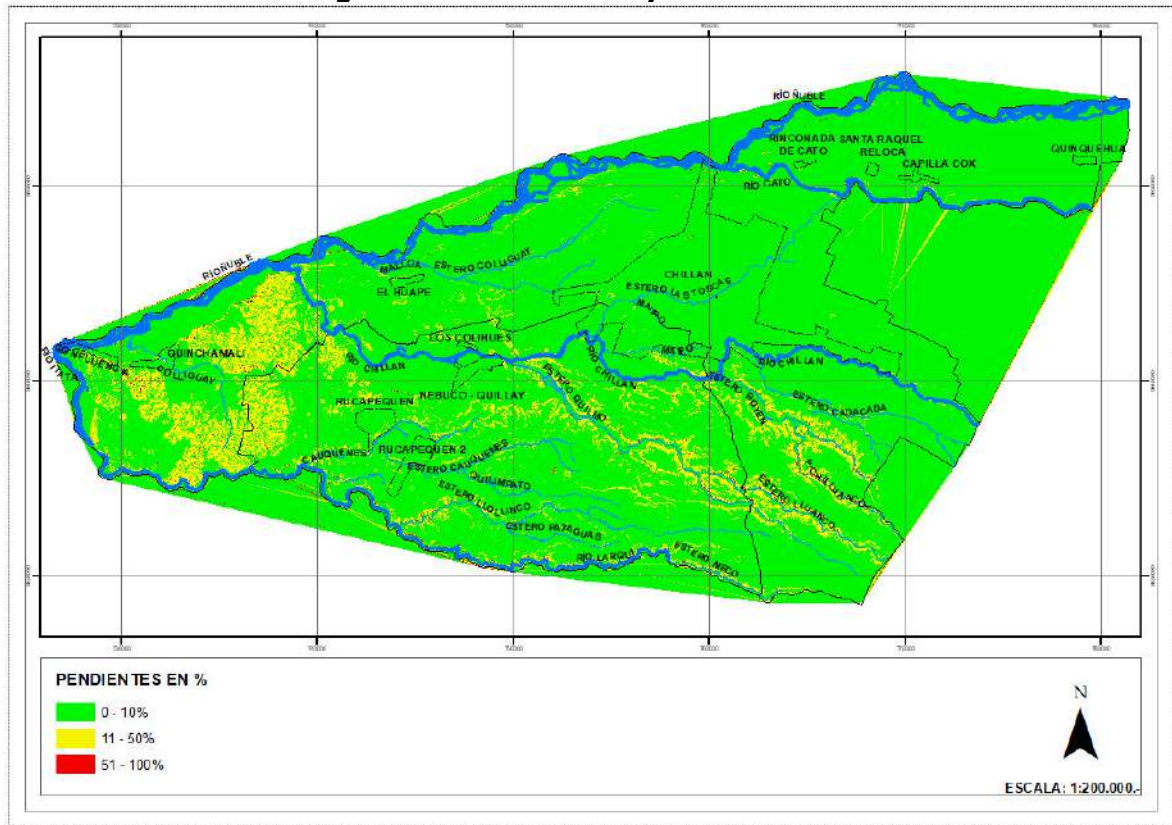
La pendiente es el factor topográfico de mayor importancia en el comportamiento del fuego. Esta variable influye en el desarrollo de la columna de convección porque mientras más inclinada es la ladera, será mayor la velocidad de propagación del fuego que asciende por ella. (Julio,1998). La inclinación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

Tabla 20 Valoración de pendientes

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

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

Figura 47 Pendientes y su valoración



Fuente: Elaboración propia

Combustible

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

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

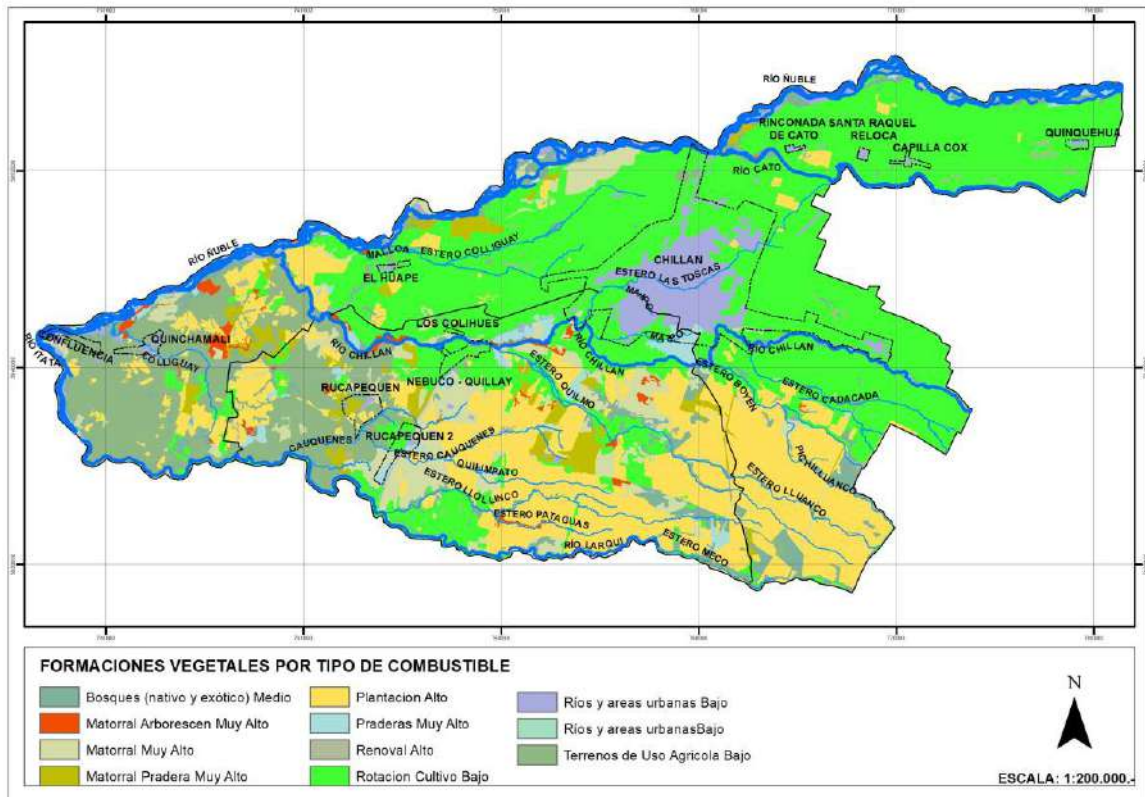
En este estudio, la información de esta variable fue obtenida del Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, CONAF 2013. La clasificación de la mayor o menor complejidad de los distintos tipos de combustibles forestales fue realizada por personal técnico de la Corporación.

Tabla 21 Tipo de combustibles y valor asignado

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

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

Figura 48 Vegetación y tipo de combustible



Fuente: Elaboración propia

Accesibilidad

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

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

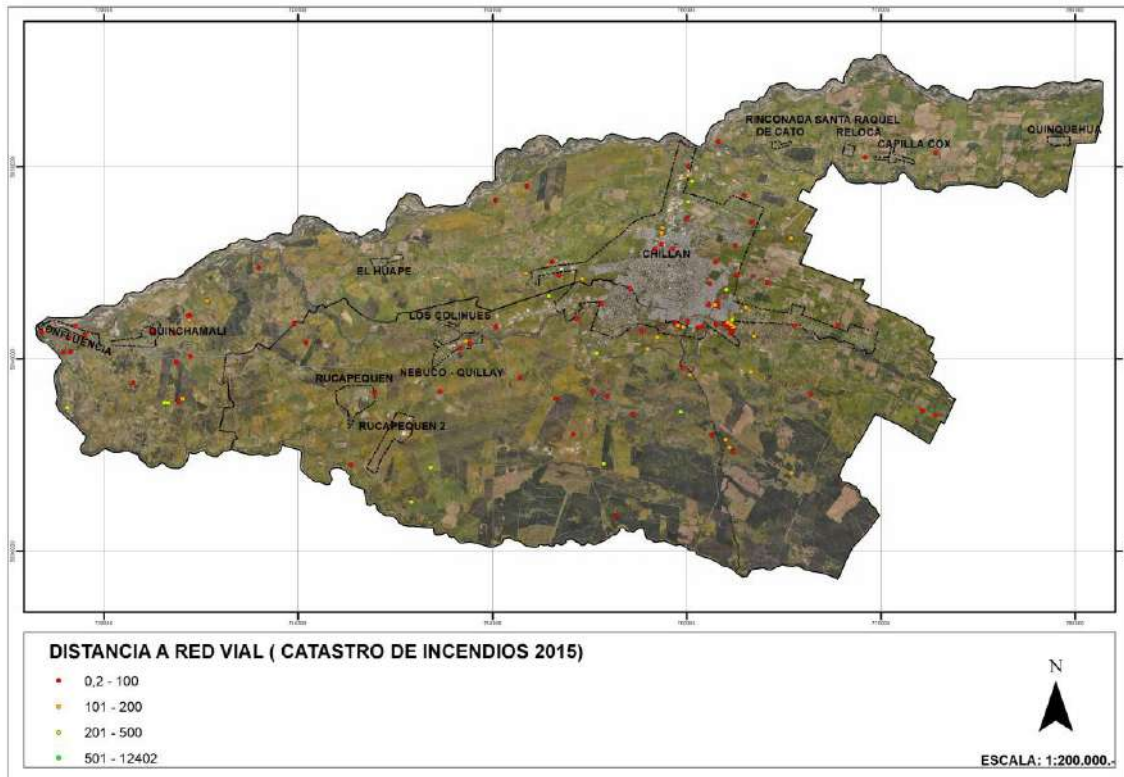
En base a lo mencionado, se decide emplear un indicador de accesibilidad basado en la cercanía a las vías de comunicación como factor desencadenante en la ignición de incendios. Se ha optado por analizar la estadística georreferenciada de incendios forestales del año 2015, se realizó un análisis de proximidad, específicamente de "cercanía" o "Near", los resultados obtenidos arrojan que 76 puntos de 120 (63%) se localizan a menos de 100 mts de distancia de algún camino de la red vial intercomunal (incluye caminos secundarios y senderos), 29 puntos (24%) se localizan a una distancia entre 100 mts y 200 mts de la red vial, 14 puntos (12%) a una distancia entre 200 mts y 500, y 1 punto a una distancia mayor a un kilómetro. En consecuencia, a lo expuesto, se ha utilizado como criterio los siguientes parámetros.

Tabla 22 Valoración de accesibilidad

Peligro	Distancia al eje red vial	Análisis de cercanía (2015)
Alto	100	76 casos
Medio	101 a 200	29 casos
Bajo	201 a 500	12 casos

Fuente: Elaboración propia

Figura 49 Análisis de cercanía de incendios a red vial



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10.3.5 del punto 10.3. de los ANEXOS se presentan los resultados de las áreas de Alta susceptibilidad de incendios para el territorio intercomunal.

4.4. 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 23 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
Rodados y aluviones (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
Actividad o intervención humana por incendios	- Pendientes - Formaciones vegetales	- Altas temperaturas - Vientos	- Catastro de incendios - Vegetación combustible
Sismicidad	- Características de los depósitos	- Sismos	- No se zonificó a escala de la intercomuna
Volcanismo (caída de ceniza)	- Distancia a los centros eruptivos - Morfología del terreno - Dirección del viento	- Erupciones	- No susceptible

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Criterios de definición de las áreas de riesgo según el artículo 2.1.17. de la OGUC para cada peligro estudiado

PELIGRO ESTUDIADO	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	"Áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17. de la OGUC
Inundaciones por desborde de cauces	MUY ALTA	Cauces principales determinados por depósitos fluviales.	X
	ALTA	Terrazas de inundación adyacentes al cauce principal de depósitos fluviales aterrizados y zonas que según el catastro se han inundado con anterioridad.	X
	MODERADA	Zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, relacionándose con las terrazas más antiguas correspondiente a parte de los depósitos fluviales aterrizados o zonas distales que presentan una baja elevación con respecto al cauce principal	X
Inundaciones por anegamiento	ALTA	Sectores que ya han sido anegados anteriormente, identificados tanto en el catastro como en imágenes satelitales de Google Earth.	X
Rodados y aluviones (Procesos de ladera)	MUY ALTA	Zonas con pendientes mayores a 35° o zonas con pendiente mayores que 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.	X
	ALTA	Zonas con pendientes entre 25° y 35° o zonas con pendiente entre 15° y 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.	X
	MODERADA	Zonas con pendientes entre 15° y 25° o zonas con pendiente menor a 15° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.	
Actividad o intervención humana por incendios	ALTA	Corresponde a áreas con material combustible, en laderas con pendientes sobre 10%, cercanas a caminos públicos y que en época estival están expuestas a fuertes vientos.	X
Sismicidad	ALTA	El territorio de la intercomuna se encuentra expuesto de manera homogénea a este peligro.	
Volcanismo	NO EXPUESTO	No se identificó este peligro en la intercomuna.	

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente capítulo se incluyen los planos de las áreas de riesgos (Peligros estudiados) de acuerdo con el Artículo 2.1.17. de la OGUC.

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 Intercomunal PRICH, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica.

5.1. RODADOS Y ALUVIONES

A partir de los términos de referencia del estudio, objetivos planteados, escala de la información base disponible, se entregan áreas con "muy alta" y "alta" susceptibilidad a la generación de remociones en masa en el área Intercomunal escala 1:50.000. Estas áreas son el resultado del análisis y superposición de la información base del área de estudio, complementada con visitas a terreno y la generación de una línea base del medio físico. (Punto 4.2 Metodología)

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

A partir del análisis, se pudo determinar que los factores condicionantes claves en la generación de remociones (considerando caídas de rocas, deslizamientos superficiales de suelo y flujos), son las pendientes de las laderas. Para el análisis, se consideran rangos basados en estudios anteriores y validaciones realizadas en terreno (expuestos anteriormente) (ver Figura 10.3.6 del punto 10.3. de los ANEXOS).

5.2. INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCES Y ANEGAMIENTOS

Antecedentes considerados en las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y de inundación por anegamiento

Las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento se elaboraron a partir de la metodología planteada en el punto 4, de los análisis de geomorfología de cauce, imágenes Google Earth, los instrumentos de planificación comunal e intercomunal vigentes y de estudios hidráulicos de los cursos principales del área de estudio, entre ellos: (2.9 Antecedentes de inundaciones y anegamientos):

- Plan Regulador intercomunal Chillán y Chillán Viejo.
- Estudio de riesgos, Plan Regulador Comunal de Chillán.
- Estudio de riesgos, Plan Regulador Comunal de Chillán Viejo.
- Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región (INDEGESA 2002).
- Plan Maestro de Manejo de Cauces Cuenca del río Chillán, VIII REGIÓN (PRISMA Ingeniería 2008).
- Proyecto Encauzamiento y Defensas Fluviales Confluencia Ríos Ñuble - Cato y Plan Manejo de Cauces, Ríos Itata, Ñuble y Cato. Región del Bío-Bío (PRISMA Ingeniería 2001).

En las Figuras 10.3.7 y 10.3.8 del punto 10.3. de los ANEXOS se presentan las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento que de acuerdo a su susceptibilidad se reconocen como áreas de riesgos (de acuerdo al artículo 2.1.17. OGUC).

ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA

Incendios

La delimitación de las áreas de riesgo de incendio consideró como variables de base las condiciones meteorológicas estivales favorables para la ignición y propagación de incendios como la baja humedad y vientos de alta intensidad; las variables de pendiente, combustible (vegetación) y accesibilidad. La variable de accesibilidad se relacionó con la estadística georreferenciada del catastro de incendios del año 2015 respecto de causalidad y distancia a la red de caminos de la intercomuna. (Punto 4.3 Metodología).

Los resultados de la modelación arrojan que, al sur del Río Chillán, se concentra la mayor extensión de áreas de riesgo de incendios debido principalmente a la concentración de plantaciones forestales y la existencia de bosque nativo, sumado a una red de caminos locales y senderos forestales, lo que genera condiciones propicias para la generación de incendios ya sea por intencionalidad, el tránsito de persona o vehículos, o por las mismas faenas agrícolas y forestales del sector. Otro sector de importancia corresponde a las cajas de los ríos principales de la intercomuna, que contienen bosques, plantaciones y acceso de personas y vehículos con fines recreaciones y/o laborales generando condiciones para la ignición.

Los incendios forestales catastrados en la temporada 2015 por CONAF, con un total de 121 registros en la Intercomuna, entre sus causas generadoras la principal corresponde a "Incendios intencionales" con 35% del total registrado, en segundo lugar "Tránsito de personas y vehículos" con 25% y en tercer lugar "Faenas agrícolas y pecuarias" con un 10%, estas tres causas generadoras son responsable del 70% de los incendios forestales en la Intercomuna. (Ver anexos)

Respecto del registro de incendio de 2016, publicado durante el año 2017, este se focalizó en el sector sur poniente de la Intercomuna abarcado un área de 148 hectáreas, compuesta por plantaciones forestales, agrícolas y vegetación nativa. Cabe mencionar que ese siniestro es parte de uno mayor de la comuna vecina.

De acuerdo con el catastro de incendios del año 2015, existe un sector periurbano (Sur poniente de Chillán) en el que desarrollaron un total de 12 incendios entre la caja del Río Chillán y su terraza superior, cabe destacar que, si bien en el sector de la caja del río cuenta con vegetación arbustiva y de matorrales, el sector adyacente corresponde a pastizales y matorrales de baja altura. De acuerdo con las entrevistas realizadas, la causa de los incendios en este sector corresponde a una especie de limpieza de faja para bajar al río con fines recreacionales y a la quema de basura producto de la misma actividad (ver Figura 10.3.9 del punto 10.3. de los ANEXOS).

5.3. SÍNTESIS

Para las áreas inundables por desborde de cauces, se consideraron las áreas de inundación de los estudios de ingeniería de los cauces principales de la intercomuna, Río Ñuble, Río Cato y Río Chillan y su tasa de retorno de 100 años.

Para los restantes esteros en su sección rural, se consideró la geomorfología de cauce escala 1: 5.000 y las áreas de riesgo de inundación del PRICH.

Las áreas de anegamiento en el sector rural fueron levantadas en base al catastro de humedales del Ministerio de Medio Ambiente, morfología y fotointerpretación. Las áreas anegables en las áreas urbanas, en primer lugar, se asumieron las áreas inundables del Plan Maestro de evacuación de aguas lluvias de Chillán y Chillán Viejo, considerando que corresponden a una modelación hidráulica y una escala de mayor precisión. Adicionalmente se revisaron las zonas de inundación de los planes reguladores vigentes de la intercomuna y se contrastaron con imágenes Google Earth.

Cartográficamente se realizaron los ajustes de proyección y datum de acuerdo con los requerimientos del estudio, además de los ajustes de escala que en general los estudios antes citados contaban con escalas de mayor detalle.

Los procesos gravitacionales consideraron como pendiente límite para la identificación de los riesgos los 20°, existiendo sectores zonificados con pendientes menores a 20° cuando se trata de sectores de depositación. Las áreas resultantes de la modelación fueron ajustadas por el parámetro de pendiente ante mencionado, la fotointerpretación de imágenes aéreas y visitas a terreno.

Respecto de las actividades o intervención humana que condiciona los incendios forestales, se complementó la información del Catastro de uso de suelo de CONAF con la información del levantamiento de uso de suelo de la cartografía base del estudio por ser más actualizada y de mayor detalle, además de la estadística georreferencia de incendios de CONAF, la pendiente del terreno y la accesibilidad.

6. ZONAS NO EDIFICABLES

En las áreas urbanas y en el área rural del Plan se reconocen las zonas no edificables, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente, cuyas obras que las determinan se grafican en el Plano PRICH-R:

Tabla 25 Ordenamiento jurídico para zonas no edificables

COMUNA	TEMA	ORDENAMIENTO JURÍDICO
Chillán y Chillán Viejo	Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos	Artículo 57 del D.F.L. No 4 del entonces Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, 2006, y en los artículos 108° al 111° del Reglamento SEC: NSEG 5En.71, "Instalaciones de Corrientes Fuertes"
Chillán y Chillán Viejo	Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos	Código de Aguas, D.F.L. No.1.122 (Ministerio de Justicia), de 1981, D.O. del 29/10/1981.
Chillán y Chillán Viejo	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 08/02/1990.
Chillán y Chillán Viejo	Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles	Ley General de Ferrocarriles, D.S. No 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.
Chillán y Chillán Viejo	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
Chillán y Chillán Viejo	Resguardo de las infraestructuras energéticas de oleoductos, gasoductos, poliductos	D.S. No 160 de 2008 del entonces Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, D.O. del 7 de Julio de 2009, que aprobó el Reglamento de Seguridad para las Instalaciones y Operaciones de Producción y Refinación, Transporte, Almacenamiento, Distribución y Abastecimiento de Combustibles Líquidos.
Chillán y Chillán Viejo	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 entonces 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, del mismo origen, de 1978 (D.O. del 24/1/79)
Chillán y Chillán Viejo	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
Chillán y Chillán Viejo	Disposición de residuos domiciliarios no peligrosos (vertederos)	Resolución N° 02444 del Ministerio de Salud (1980)
Chillán y Chillán Viejo	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

Sin perjuicio de lo anterior en todos los casos en que el emplazamiento de edificaciones, instalaciones o actividades de cualquier tipo genere fajas de restricción en su entorno, éstas deberán considerarse siempre contenidas en el propio predio, a excepción de instalaciones de carácter nacional que crucen la región y se originen mediante servidumbres.

7. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL

7.1. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR NATURAL.

En la intercomuna existe un área protección del recurso de valor natural bajo resguardo legal de acuerdo al ordenamiento jurídico actual y vigente del Ministerio del Medio Ambiente; a saber, Ley N° 21.202 y el Decreto Supremo N° 15 (MMA), de 2020.

Tabla 26 Humedal Urbano

Humedal Urbano (HU)			
Ubicación	N°	Nombre del humedal	Documento Jurídico
Chillán	1	San Miguel.	Resolución Exenta N°29 del Ministerio del Medio Ambiente, promulgado el 13.01.2022, D.O 14.03.2022

Fuente: Elaboración propia

Respecto de los Humedales Urbano (HU), los criterios para su protección, conservación y preservación conciernen a ordenanzas generales de la Municipalidad respectiva; asimismo, el establecimiento de las condiciones bajo las que deberán otorgarse los permisos de urbanizaciones o construcciones que pretendan emplazarse en dichas áreas son materia atingente al Plan Regulador Comunal que corresponda.

7.2. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RECURSOS DE VALOR CULTURAL

En el territorio del Plan se identifican 7 Monumentos Históricos y una Zona típica declarados entre los años 1972 y 2016 por el Consejo de Monumentos Nacionales, los que se detallan a continuación.

Tabla 27 Monumentos Históricos

Monumentos Históricos (MH)			
Ubicación	N°	Nombre del monumento	Documento Jurídico
Chillán	1	Capilla con sus corredores adyacentes del Hospital San Juan de Dios de Chillán	Ley N° 17.813, D.O 17.11.1972
			Decreto Supremo N° 246 del Ministerio de Educación, promulgado el 05.05.1989, D.O 12.06.1989
	2	Catedral de Chillán	Decreto N° 145 del Ministerio de Educación, promulgado el 29.04.2015, D.O 23.05.2015
	3	Edificio Cooperativa Eléctrica de Chillán COPELEC.	Decreto Exento N° 2416 del Ministerio de Educación, promulgado el 21.07.2008, D.O 29.08.2008
			Decreto Exento N° 55 del Ministerio de Educación, del 28.01.2011, D.O 26.02.2011
4	Iglesia y el convento de la Virgen del Carmen de Chillán.	Decreto N° 161 del Ministerio de Educación, promulgado el 23.03.2012, D.O 29.05.2012	
5	Murales de la Escuela México.	Decreto Exento N° 331 del Ministerio de Educación, promulgado el 20.05.2004, D.O 04.06.2004	

Chillán Viejo	6	Mural de María Martner ubicado en el Parque Monumental Bernardo O'Higgins de Chillán Viejo	Decreto N° 536 del Ministerio de Educación, promulgado el 07.12.2015, D.O 06.01.2015
Chillán	7	Puente Confluencia	Decreto N° 240 del Ministerio de Educación, promulgado el del 24.08.2016, D.O 22.09.2016

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Zona Típica

Zona Típica (ZT)			
Ubicación	N°	Nombre del monumento	Documento Jurídico
Chillán Viejo	1	Alrededores del Mural de María Martner.	Decreto N°536 del Ministerio de Educación, promulgado el 7.12.2015, D.O 06.01.2016

Fuente: Elaboración propia

Respecto de los Inmuebles de Conservación Histórica (ICH), su declaración e indicación es atinente al Plan Regulador Comunal que corresponda.

8. CONCLUSIONES

Dentro del territorio a normar por el Plan Regulador Intercomunal de Chillán y Chillán Viejo, se han identificado áreas de riesgo de inundación, áreas de rodados y aluviones, y áreas de riesgo de actividades o intervención humana que condiciona la ocurrencia de incendio, las que constituyen el fundamento para la definición de las áreas de riesgo del plano de áreas restringidas al desarrollo urbano (PRICH-R)“.

Las áreas de riesgo de inundación por desborde de cauces y anegamiento corresponden al principal riesgo de la intercomuna, situación explicada principalmente por las características climáticas de precipitaciones anuales del orden de 1.000 mm de precipitación y concentraciones mayores 60 mm en 24 hrs. A lo anterior se suman rasgos geomorfológicos donde predominan grandes extensiones de los terrenos planos con pendientes inferiores al 3° (5,24%), situación que dificulta el escurrimiento natural provocando la inundación por desborde de cauces o la inundación por anegamiento. El plan maestro de evacuación de aguas lluvias de Chillán y Chillán Viejo da cuenta de dicha situación a escala urbana y calcula diferentes tasas de retorno para dicha situación, proponiendo una serie de colectores de aguas lluvias, encauzamientos de los cauces naturales y pavimentación de la trama urbana.

Los cauces principales de la intercomuna como el Río Chillán, Río Cato y El Río Ñuble cuentan con estudios hidráulicos en los cuales se modeló un escenario extremo a través del cálculo de una tasa de retorno de 100 años de sus respectivos caudales. Los resultados de esta modelación arrojan que en general las terrazas de inundación 1 y 2 contienen el flujo de la crecida debido la profundidad y amplitud de sus cauces. Sin embargo, existen situaciones especiales generadas por la intervención de los cauces, como la instalación de puentes, que reducen en parte el ancho de la sección con dicha obra, generando en episodios de crecidas un aumento de la cota de inundación.

Respecto de los procesos gravitacionales y los cauces fluviales, si bien existen sectores de erosión fluvial debido al encajonamiento de los cauces, en algunos sectores la cartografía con curvas de nivel cada 5 metros no permite identificar todos estos sectores, debido principalmente que estos escarpes generalmente presentan alturas inferiores a la equidistancia de las curvas (5 mts). Los sectores de erosión lateral identificados en algunos de los estudios hidráulicos en la actualidad cuentan con obras de contención, principalmente gaviones.

Los incendios, localizados principalmente en el sector sur de la intercomuna, principalmente por la presencia de vegetación con mayor capacidad combustible (matorrales y boques y plantaciones), sumado a la existencia de una red de vialidades (de distinta jerarquía) y una pendiente mayor a 10% a diferencia del sector norte de la intercomuna, donde la capacidad combustible de la vegetación es menor, al igual que la pendiente.

Respecto de las áreas de protección del recurso de valor natural y patrimonial cultural, se reconoce lo señalado en el punto 7. anterior.

8.1. RECOMENDACIONES DE PLANIFICACIÓN

Los ríos, lagos y cuerpos de agua en general, cumplen funciones esenciales para la preservación de los ecosistemas y las relaciones territoriales (Naiman et al. 1993, Allan 2004), teniendo una dependencia estrecha y recíproca con la vegetación ribereña (Guevara et al. 2008). Se reconoce esta última como sistema vegetal cercano a cursos y cuerpos de agua, siendo una transición entre hábitats terrestres y acuáticos en sus diferentes estratos verticales, incluidas las herbáceas (Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile). En consecuencia, con lo anterior se sugiere el uso de área verde (o Parque) en la caja de los ríos y su terraza adyacente, de manera de resguardar su normal funcionamiento y evitar la exposición de la población a los riesgos por desbordes. Considerando la amplitud de las cajas de los ríos y esteros de la intercomuna y de sus áreas inundables, se estima una distancia de 100 mts a cada lado del eje del cauce con uso de área verde, existiendo excepciones como por ejemplo

sectores de cauces naturales urbanizados y que cuentan con obras de mitigación de inundaciones.

Las áreas de anegamiento pueden ser utilizadas como áreas verdes o parques inundables, siendo un uso compatible con las características de estos sectores. Para el levantamiento de las restricciones aplica 2.1.17. de la OGUC.

Respecto del riesgo de incendio, que en la intercomuna se concentran principalmente en el sector sur del Río Chillán y que se potencia por la existencia de plantaciones, renovales de bosque y pendientes, se recomienda desde la perspectiva de la planificación evitar la exposición de la población a este riesgo a través de los usos de suelo que no incentiven la residencia. Se sugiere mantenerlos como área rural.

En cuanto a las áreas de riesgo de rodados y aluviones, localizados principalmente en sectores de serranías y en los escarpes de las cajas de los ríos, en estos sectores se sugiere el uso de suelo de área verde (en área urbana) y área rural normada fuera de los límites urbanos, de manera de no propiciar la instalación de viviendas en áreas aledañas a este riesgo.

Una vez identificados los peligros, definidos los grados de susceptibilidad y el alcance territorial de ellos, es necesario incorporar estos resultados en la zonificación urbana. Esto debe realizarse a través de la aplicación del artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y/o tomando otras medidas de planificación acordes a las atribuciones que otorga la LGUC y la OGUC al Plan Regulador Intercomunal.

Desde esta perspectiva, y con el fin de homologar las categorías de susceptibilidad al lenguaje de la OGUC, se propone aplicar el artículo 2.1.17. y restringir que se construya en las zonas de 'Muy alta' susceptibilidad. Para la zona de 'alta' susceptibilidad, se recomienda aplicar normas urbanísticas que regulen la forma e intensidad de su ocupación y excluir el equipamiento crítico (educación, salud y seguridad) en el caso de las áreas no consolidadas. Del modo que se presenta en la Tabla N° 29.

Finalmente, se recomienda realizar capacitaciones a la población con respecto a los peligros geológicos, considerando sus causas y consecuencias, en las que además se informe adecuadamente acerca de las medidas a adoptar frente a situaciones de emergencia (sistemas de alerta, vías de evacuación, zonas seguras), con el objetivo de promover el autocuidado. En este sentido se sugiere que el plan dote de vialidades que permitan la evacuación de la población y la oportuna llegada de equipos de emergencia en las distintas áreas de riesgos.

En caso de que la autoridad no pueda dar una alerta oportuna, la educación y conocimiento acerca de los diferentes peligros y riesgos geológicos pueden salvar vidas, ya que condiciona una reacción correcta y autónoma por parte de la población.

Tabla 29 Criterios de zonificación en áreas de riesgo

"Áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17. de la OGUC	TIPOS DE PELIGRO (según este informe)	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U. y C.	
				ÁREA NO CONSOLIDADA	ÁREA CONSOLIDADA
1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos	Inundaciones por desborde de cauces	MUY ALTA	Cauces principales determinados por depósitos fluviales.	Riesgo (2.1.17.) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17.) Excluir equipamiento esencial Mitigación con Normas Urbanística
		ALTA	Terrazas de inundación adyacentes al cauce principal de depósitos fluviales aterrizados y zonas que según el catastro se han inundado con anterioridad.		
		MODERADA	Zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, relacionándose con las terrazas más antiguas correspondiente a parte de los depósitos fluviales aterrizados o zonas distales que presentan una baja elevación con respecto al cauce principal		
	Inundaciones por anegamiento	ALTA	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	Riesgo (2.1.17.)	Riesgo (2.1.17.) Excluir equipamiento esencial Mitigación con Normas Urbanística
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Rodados y aluviones (procesos de ladera)	MUY ALTA	Zonas con pendientes mayores a 35° o zonas con pendiente mayores que 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.	Riesgo (2.1.17.)	Riesgo (2.1.17.)
		ALTA	Zonas con pendientes entre 25° y 35° o zonas con pendiente entre 15° y 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.		
3. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana. Corresponde a riesgo de incendio	Incendios	ALTA	Corresponde a áreas con material combustible, en laderas con pendientes sobre 10%, cercanas a caminos públicos y que en época estival están expuestas a fuertes vientos.	Riesgo (2.1.17.)	Riesgo (2.1.17.)

Fuente: Elaboración propia

9. BIBLIOGRAFÍA

Astroza, M.; Moya, A.; Sanhueza, S. 2002. Estudio Comparativo de los efectos de los terremotos de Chillán 1939 y Talca, 1928. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias y Matemáticas. Universidad de Chile.

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.

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.*

Elgueta, S.; Rubio, X. 1991. Estratigrafía del Terciario del sector occidental de la Depresión Central entre los 37° y 38° S, Chile. 6° Congreso Geológico Chileno. Servicio Nacional de Geología y Minería. Resumen expandidos, p. 723-727.

Henríquez Ruiz Cristian. 2009. El proceso de urbanización en la cuenca del río Chillán y su capacidad adaptativa ante precipitaciones extremas. *Estudios Geográficos*. Vol. LXX, 266, pp. 155-179

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

Gajardo, A. 1981. Mapas Geológicos Preliminares de Chile N°4. Hoja Concepción – Chillán. Escala 1:250.000. Región del Biobío. Instituto de Investigaciones Geológicas. 32p. 1 mapa.

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. 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.

Lazo, R. 2008. Estudio de los daños de los terremotos del 21 y 22 de mayo de 1960. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

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.

Mardones, M. (1990). Los riesgos naturales en el sitio de la ciudad de Chillán: Riesgo sísmico, de inundación y de anegamiento. En: Olave, Didima. Ciudades Intermedias: Chillán (pp. 8-38). Universidad de La Serena, Facultad de Humanidades e Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Moreno, H. 2012. Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos. Volcán Antuco. Región del Biobío. Escala 1:75.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, programa de Riesgo Volcánico.

Naranjo, J.; Gilbert, J.; Sparks, S. 2008. Geología del complejo Volcánico Nevados de Chillán. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica N° 114. Escala 1:50.000. ISSN 07-17-7283

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.

Orozco, G.; Jara, G.; Bertin, D. 2016. Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán. Región del Biobío. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental N°. 28. SERNAGEOMIN. Escala 1:75.000.

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,

MINVU, 2007. Plan Regulador intercomunal Chillán y Chillán Viejo

MINVU, 1989 . Estudio de riesgos, Plan Regulador Comuna de Chillan

MINVU, 2012. Estudio de riesgos, Plan Regulador de Chillan Viejo

DOH, 2002. Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Chillán y Chillán Viejo, VIII Región (INDEGESA 2002)

DOH, 2008. Plan Maestro de Manejo de Cauces Cuenca del río Chillán, VIII REGIÓN (PRISMA Ingeniería 2008)

DOH, 2001. Proyecto Encauzamiento y Defensas Fluviales Confluencia Ríos Ñuble - Cato y Plan Manejo de Cauces, Ríos Itata, Ñuble y Cato. Región del Bío-Bío (PRISMA Ingeniería 2001)

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.

Otras Fuentes:

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

10. ANEXOS

10.1. CATASTRO HISTÓRICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

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

Tabla 30 Catastro de desastres desde 1980, SERNAGEOMIN

Fecha	Fuente	Observación
26 de agosto de 2015	SERNAGEOMIN, Registro de principales desastres en Chile desde 1980	En la comuna de Chillán, se desborda el estero Las Toscas, a la altura de avenida Argentina, tras caída de 64,2 mm de lluvia en menos de 24 horas.
26 de agosto de 2015	SERNAGEOMIN, Registro de principales desastres en Chile desde 1980	En Chillán se contabilizaron 43 viviendas afectadas por ingreso de agua en sectores de Brisas del Oriente, camino a Las Mariposas, Los Barriales, El Emboque y las Lilas.

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

ONEMI

Tabla 31 Registro de alerta roja ONEMI

Fecha	Fuente	Observación
07 de marzo de 2017	ONEMI	Se declara Alerta Roja para la comuna de Chillán por incendio forestal , denominado "Huechupin"
16 de enero de 2017	ONEMI	Se declara Alerta Roja para la comuna de Chillán por incendio forestal , denominado "Doña Francisca"
27 de mayo de 2012	ONEMI	Se declara Alerta Roja para las comunas de Hualpén y Chillán por sistema frontal

Fuente: www.onemi.cl

Tabla 32 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones

Fecha	Fuente	Observación
03.04.2016	La Discusión	Inesperada lluvia de 45 minutos colapsó principales calles de Chillán. Fue el caso de 5 de abril, especialmente en el tramo de Maipón con El Roble, e importantes intersecciones viales como el de la avenida Ecuador con O'Higgins y Flores Millán con Campaña, donde el agua caída impidió el normal tránsito de las personas que en esos momentos se encontraban en los alrededores. Otro de los lugares en donde los chillanejos denunciaron graves inundaciones fue en las inmediaciones del Hospital Clínico Herminda Martín, quienes se quejaron por la imposibilidad de cruzar las calles y avenidas. "Los sectores que suelen anegarse son recurrentes, Los Puelches, Argentina, las calles que bajan como Constitución, El Roble, Libertad, Carrera Bulnes, Ecuador con O'Higgins siempre tendremos problemas porque no hay colectores de agua lluvias en estos sectores, solo se cuentan sifones solamente".
08.06.2014	Soychillan.cl	Intensa lluvia provocó inundaciones en diversos sectores de Chillán y alrededores Vecinos del sector Brisa del Valle reportaron que un canal que llega hasta ese lugar está a punto de desbordar, ya que no tiene dónde desaguar y se ha acumulado en gran cantidad en la calle Brisas Mediterráneas . En el sector de la población Panificadores, en tanto,

Fecha	Fuente	Observación
		vecinos reportaron la inundación de algunas viviendas en calle Central. Mientras, al norte de la ciudad, el paso inferior Iansa Cocharcas , a la altura del kilómetro 391, está completamente inundado por la acumulación de aguas lluvias, situación confirmada por la Ruta del Maule a través de Twitter.
28.06.2013	24 horas	Anegamientos, colapso en las calles y problemas de tránsito provocaron las inundaciones que ha sufrido la ciudad de Chillán, producto del sistema frontal que afecta a la zona. Las zonas más afectadas fueron las del centro de la ciudad, donde la imagen más representativa de estos anegamientos fue la del Mall Plaza el Roble , lugar que presenta sus calles aledañas completamente bajo el agua.
11 y 12 de julio de 2006	El proceso de urbanización en la cuenca del río Chillán y su capacidad adaptativa ante precipitaciones extremas	En el caso específico de Chillán los sectores más afectados corresponden al estero Las Toscas y en especial los canales que cruzan la ciudad, los cuales colapsaron e inundaron grandes sectores urbanos, al igual que el sistema de evacuación de aguas lluvias
1970 a 1991	El proceso de urbanización en la cuenca del río Chillán y su capacidad adaptativa ante precipitaciones extremas	De 1970 en adelante destacan los frentes de mal tiempo de 1974, 1975, 1982, 1984, 1986 y 1991 que afectaron a la VIII Región del Biobío y también a la ciudad de Chillán, ya que se desbordaron la mayoría de los ríos, esteros y canales, ocasionando daños en las viviendas, damnificados y anegamientos de terrenos cultivables (Urrutia y Lanza, 1993).

Fuente: artículos de prensa y publicaciones de estudio técnicos

Tabla 33 Registro de incendios forestales temporada 2015

AÑO	COMUNA	NOMBRE	CAUSA GENERADORA
2015	Chillán	Quilmo	Incendios De Causa Desconocida
2015	Chillán	Quilmo	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Boyen 1	Incendios Intencionales
2015	Chillán	El Espolón	Incendios Intencionales
2015	Chillán	La Aguada-Cholguan	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Cato 2	Operaciones En Vía Férreas
2015	Chillán	La Aguada-Cholguan	Incendios Intencionales
2015	Chillán	San Miguel Quilmo	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Sta Ana Fbb	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Quilmo	Faenas Forestales
2015	Chillán	Rinconada De Huape Conv.2015	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	Hij.1 Y 2 Sta. Rita Conv.2015	Faenas Forestales
2015	Chillán	Hij.1 Y 2 Sta. Rita Conv.2015	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Boyen 1	Incendios De Causa Desconocida
2015	Chillán	Hij.3 Sta. Rita Conv.2015	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Santa Rosa De	Faenas Agrícolas Y Pecuarias

AÑO	COMUNA	NOMBRE	CAUSA GENERADORA
		Millahuao	
2015	Chillán	San Juan De Dios	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Aeródromo Bernardo O´Higgins	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Acacios	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Galilea	Actividades Recreativas
2015	Chillán	Los Maitenes	Actividades Recreativas
2015	Chillán	Los Maitenes Ii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Los Maitenes Iii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Los Maitenes Iv	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Confluencia	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	Los Maitenes V	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Maitenes Vi	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Los Maitenes Vii	Faenas Forestales
2015	Chillán	Los Maitenes Viii	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	Los Maitenes Ix	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Nueva Esperanza	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Maitenes X	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Ultra Estación	Actividades Recreativas
2015	Chillán	Los Volcanes	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Puente Nuble	Accidentes Eléctricos
2015	Chillán	Los Volcanes Vi	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Rupanco	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	La Victoria	Incendios Intencionales
2015	Chillán	La Barcelona	Actividades Recreativas
2015	Chillán	Berrocal	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Maitenes Xi	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Maitenes Xii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Fepasa	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Confluencia Ii	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Maitenes Xiii	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Maitenes Xiv	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Volcanes Vii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Los Maitenes Xv	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Oro Verde	Quema De Desechos
2015	Chillán	El Monte	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	Los Maitenes Xvi	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Maitenes Xvii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Bonilla	Quema De Desechos
2015	Chillán	Chonchoral	Accidentes Eléctricos
2015	Chillán	Quinchamali	Incendios De Causa Desconocida
2015	Chillán	Huechupin	Quema De Desechos
2015	Chillán	El Tejar	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Oro Verde Ii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Callejon Rupanco	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Complejo Rio Viejo	Incendios Intencionales

AÑO	COMUNA	NOMBRE	CAUSA GENERADORA
2015	Chillán	San Bernardo Ii	Otras Actividades
2015	Chillán	Los Volcanes Ii	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Los Volcanes Iii	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Callejon San Gabriel	Actividades Extinción Incendios Forestales Incendios Estructurales U Otros
2015	Chillán	Los Volcanes Iv	Actividades Recreativas
2015	Chillán	Santa Cruz De Cuca	Actividades Recreativas
2015	Chillán	Parque Los Heroes	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Los Volcanes V	Actividades Recreativas
2015	Chillán	Puente Ñuble Ii	Actividades Recreativas
2015	Chillán	Confluencia Iii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Puente Vista Bella	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Confluencia Iv	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Santa Cruz De Cuca Ii	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Shangri La	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Puente El Ala	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Santa Cruz De Cuca Iii	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Santa Cruz De Cuca Iv	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Colliguay	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Colliguay Ii	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	Moltec	Otras Actividades
2015	Chillán	El Huape	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	Colonia Bernardo O' Higgins	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Santa Rita	Incendios Intencionales
2015	Chillán	Confluencia V	Confección Y/O Extracción Productos Secundarios Del Bosque
2015	Chillán	Confluencia Vi	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	El Olivo	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	Santa Lidia	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	La Cantera	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Puente El Alita	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Las Encinas	Faenas Forestales
2015	Chillán	Curacao	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán	Santa Ines	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán	Quilamapu	Quema De Desechos
2015	Chillán	Santa Raquel	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán V	El Ranchito	Quema De Desechos
2015	Chillán V	Larqui	Quema De Desechos
2015	Chillán V	Santa Elisa	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán V	Las Lajuelas	Incendios Intencionales
2015	Chillán V	Rio Viejo	Incendios Intencionales
2015	Chillán V	Rucapequen	Faenas Agrícolas Y Pecuarias
2015	Chillán V	Jardines Del Sur	Incendios Intencionales
2015	Chillán V	Pan De Azucar	Quema De Desechos
2015	Chillán V	Santa Rita	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves

AÑO	COMUNA	NOMBRE	CAUSA GENERADORA
2015	Chillán V	San Miguel De Quilmo	Incendios Intencionales
2015	Chillán V	El Baquedano	Incendios Intencionales
2015	Chillán V	Rucapequen Ii	Actividades Extinción Incendios Forestales Incendios Estructurales U Otros
2015	Chillán V	Fc Conce	Quema De Desechos
2015	Chillán V	Nebuco	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán V	Quilmo Bajo	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán V	Santa Rita	Actividades Recreativas
2015	Chillán V	San Miguel De Quilmo Ii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán V	Nebuco Ii	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán V	Valle Escondido	Quema De Desechos
2015	Chillán V	Larqui oriente	Incendios De Causa Desconocida
2015	Chillán V	Rucapequen Iii	Actividades Recreativas
2015	Chillán V	La Isla	Incendios Intencionales
2015	Chillán V	Quilmo	Otras Actividades
2015	Chillán V	Forestal Casino	Quema De Desechos
2015	Chillán V	Nebuco Iii	Otras Actividades
2015	Chillán V	Cato	Tránsito De Personas Vehículos O Aeronaves
2015	Chillán V	Nebuco Iv	Incendios Intencionales

Fuente: CONAF

Respecto del registro de incendio de 2016, publicado durante el año 2017, este se focalizó en el sector sur poniente de la Intercomuna abarcado un área de 148 hectáreas, compuesta por plantaciones forestales, agrícolas y vegetación nativa (ver polígono carta PRICH-R01 INCENDIOS). Cabe mencionar que ese siniestro es parte de uno mayor de la comuna vecina.

10.2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Respecto de los procesos gravitacionales, no se encontraron registros de ocurrencia significativa de este tipo de riesgos, esto principalmente porque gran parte del territorio intercomunal es plano a semiondulado y los asentamientos humanos se localizan principalmente en estos sectores.

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

Los incendios forestales catastrados en la temporada 2015 por CONAF, con un total de 121 registros en la Intercomuna, entre sus causas generadoras la principal corresponde a "Incendios intencionales" con 35% del total registrado, en segundo lugar "Tránsito de personas y vehículos" con 25% y en tercer lugar "Faenas agrícolas y pecuarias" con un 10%, estas tres causas generadoras son responsable del 70% de los incendios forestales en la Intercomuna.

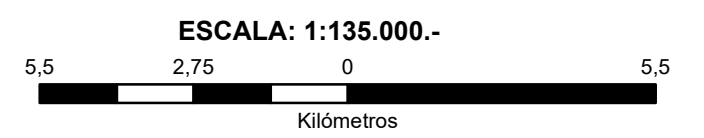
10.3. FIGURAS

Respecto de las figuras 10.3.1 – 10.3.2 – 10.3.3 – 10.3.4 – 10.3.5 – 10.3.6 – 10.3.7 – 10.3.8 y 10.3.9, referidas en el contenido del presente documento, se incorporan a continuación.



Figura 10.3.2 INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES

- RIESGO MUY ALTO
- RIESGO ALTO
- RIESGO MODERADO



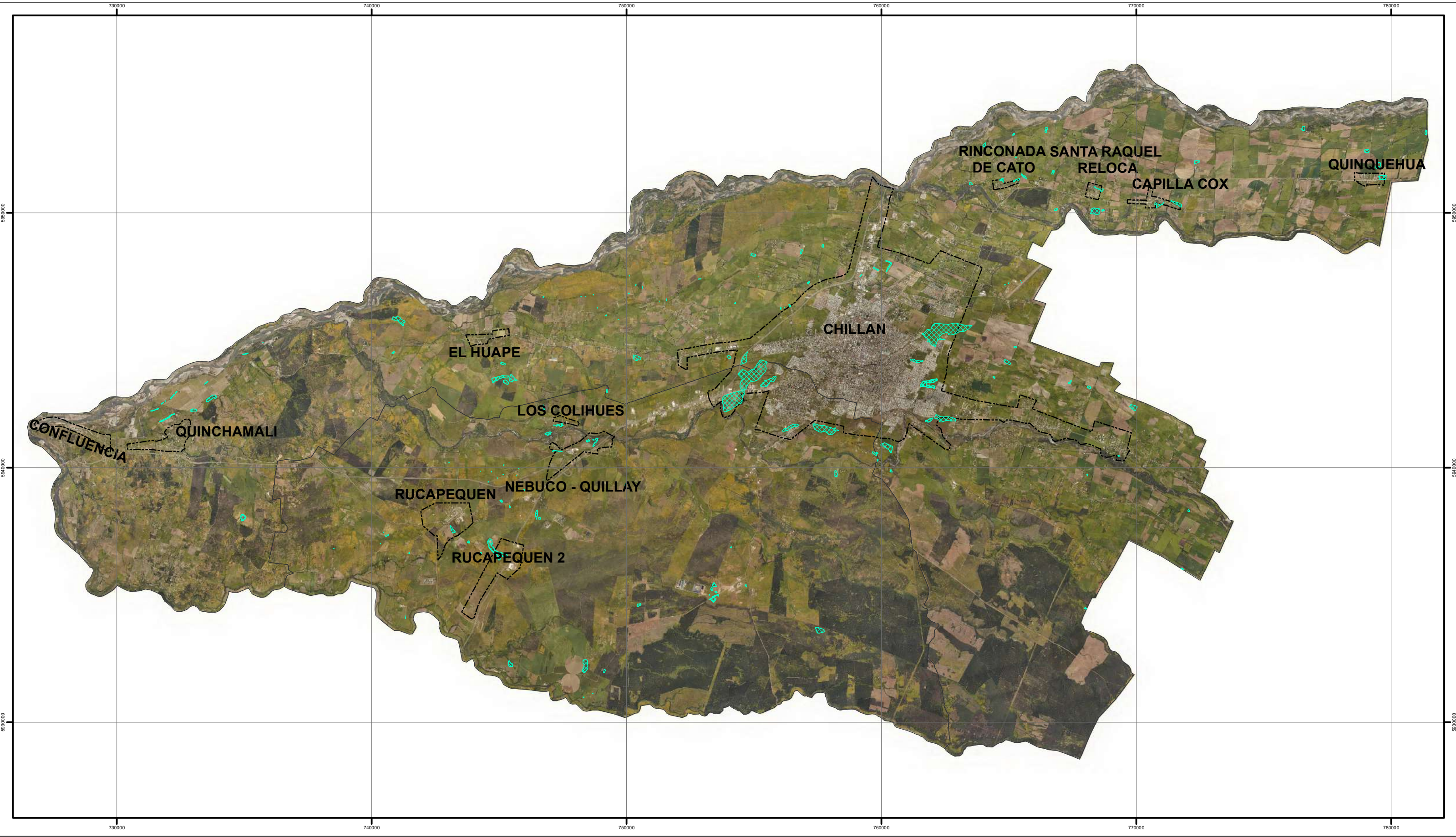
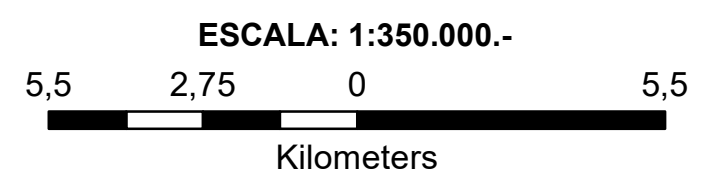


Figura 10.3.3 INUNDACIÓN POR ANEGAMIENTO

 RIESGO ALTO



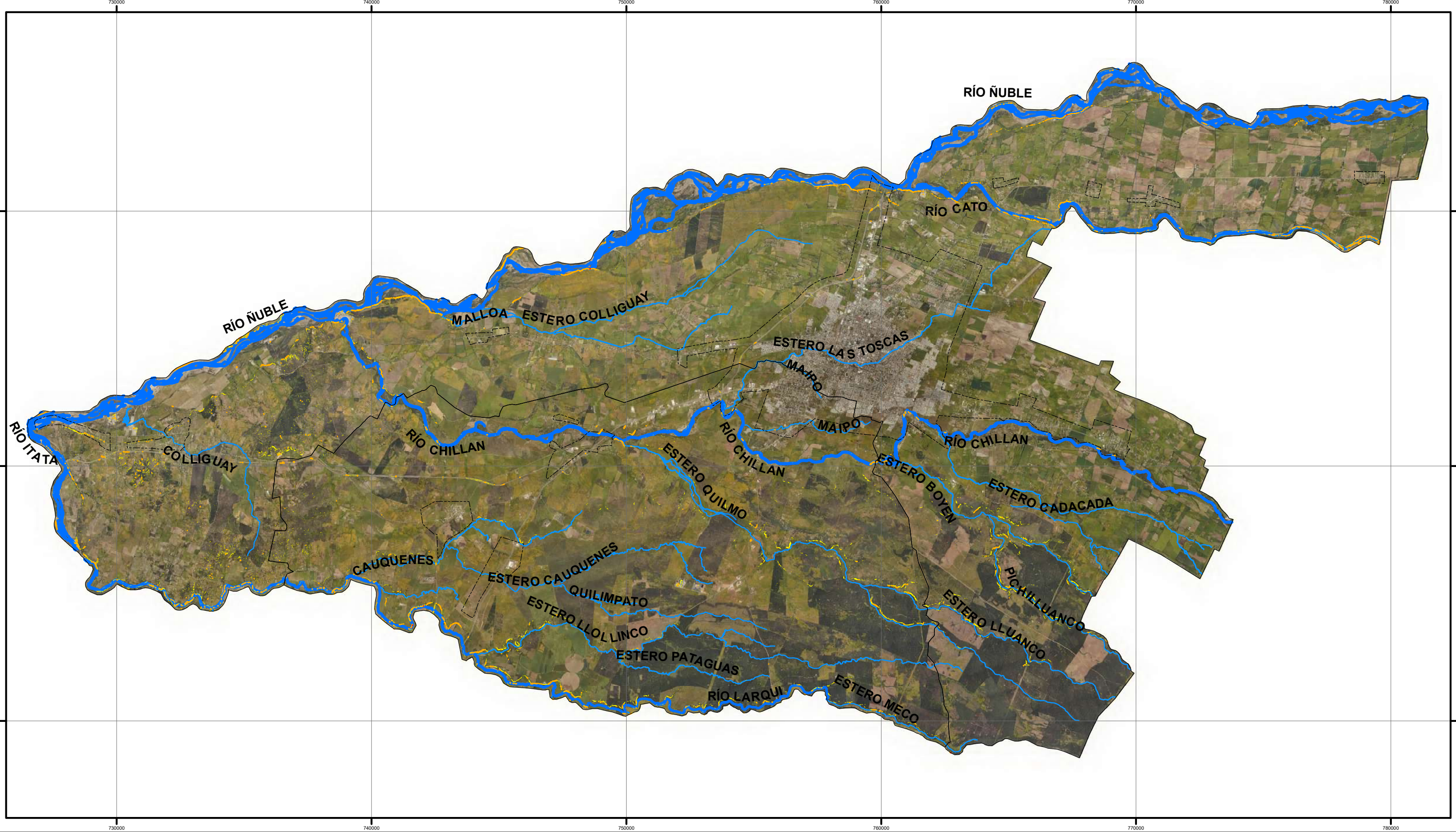


Figura 10.3.4 REMOCIONES EN MASA

- RIESGO MUY ALTO
- RIESGO ALTO
- RIESGO MODERADO

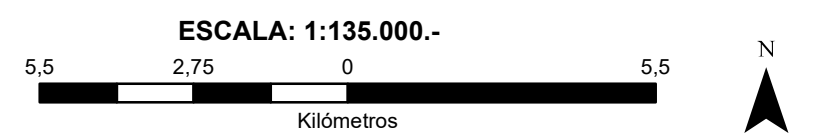





Figura 10.3.5 ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA

 RIESGO ALTO DE INCENDIOS

ESCALA: 1:135.000.-

5,5 2,75 0 5,5

Kilómetros



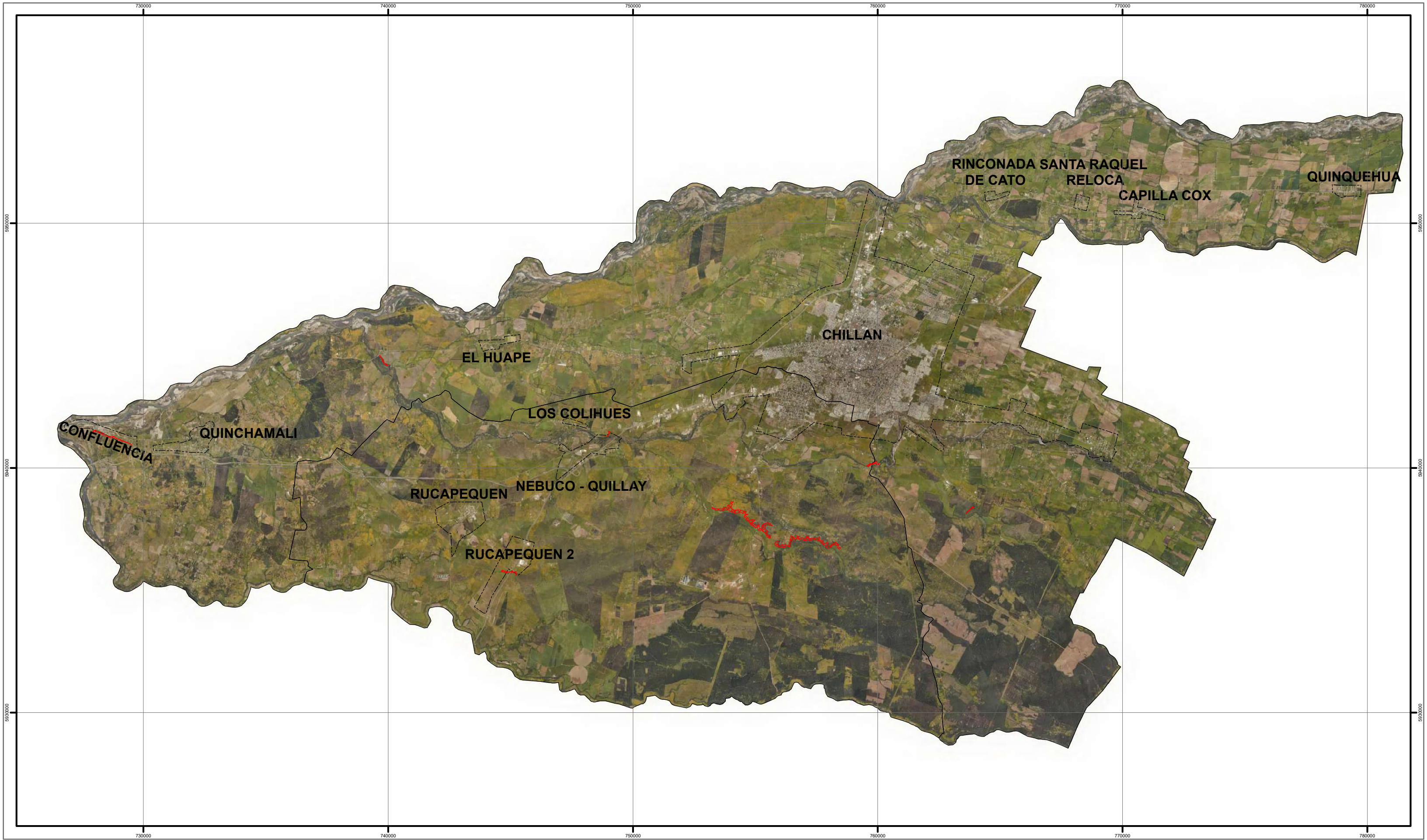


Figura 10.3.6 RODADOS Y ALUVIONES


 RIESGO DE REMOCIÓN EN MASA (RODADOS Y ALUVIONES)

ESCALA: 1:135.000.-

5,5 2,75 0 5,5

Kilómetros

N



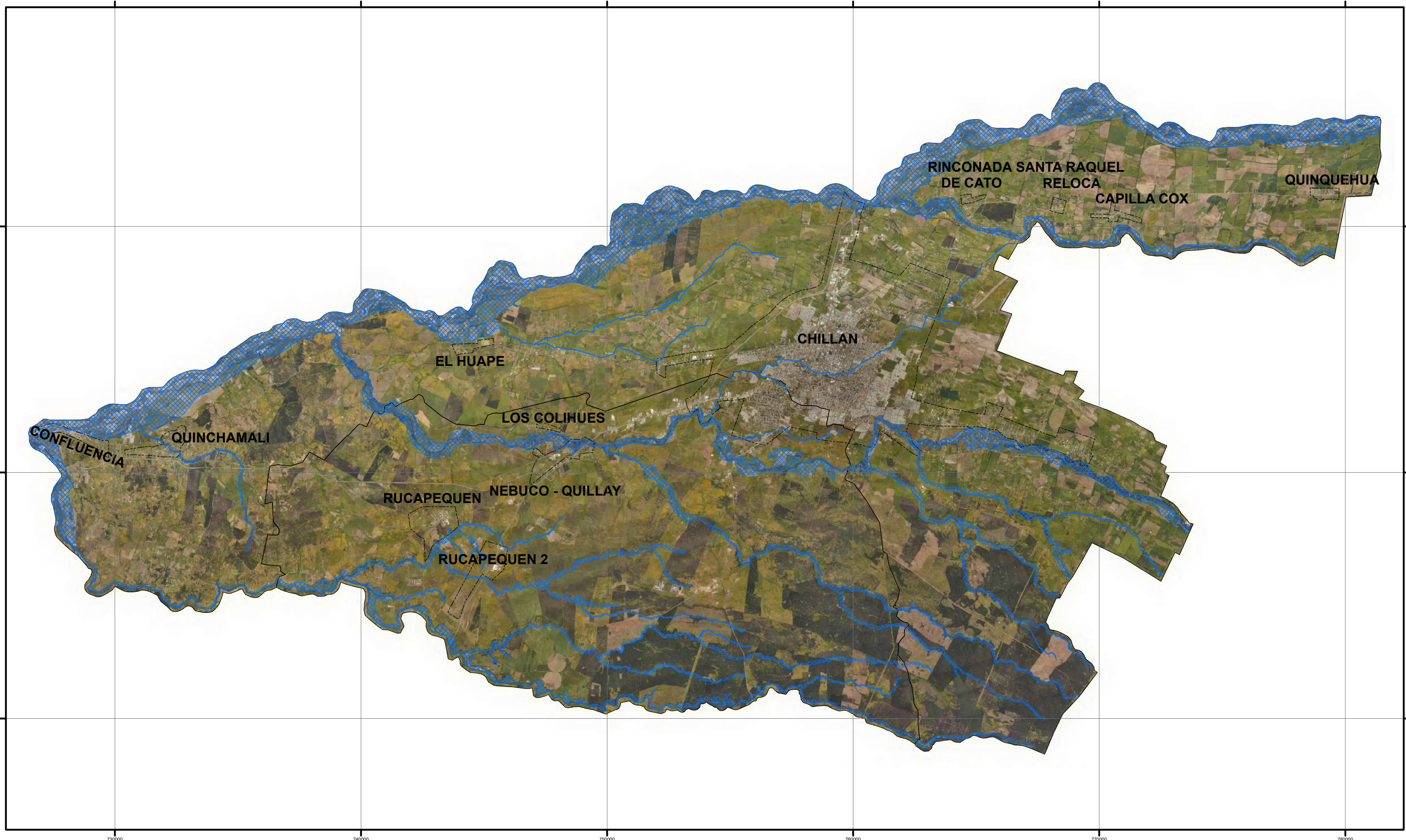



Figura 10.3.7 INUNDACIÓN POR DESBORDES DE CAUCES

 RIESGO DE INUNDACIÓN (DESBORDES DE CAUCES)

ESCALA: 1:135.000.-

5,5 2,75 0 5,5

Kilómetros



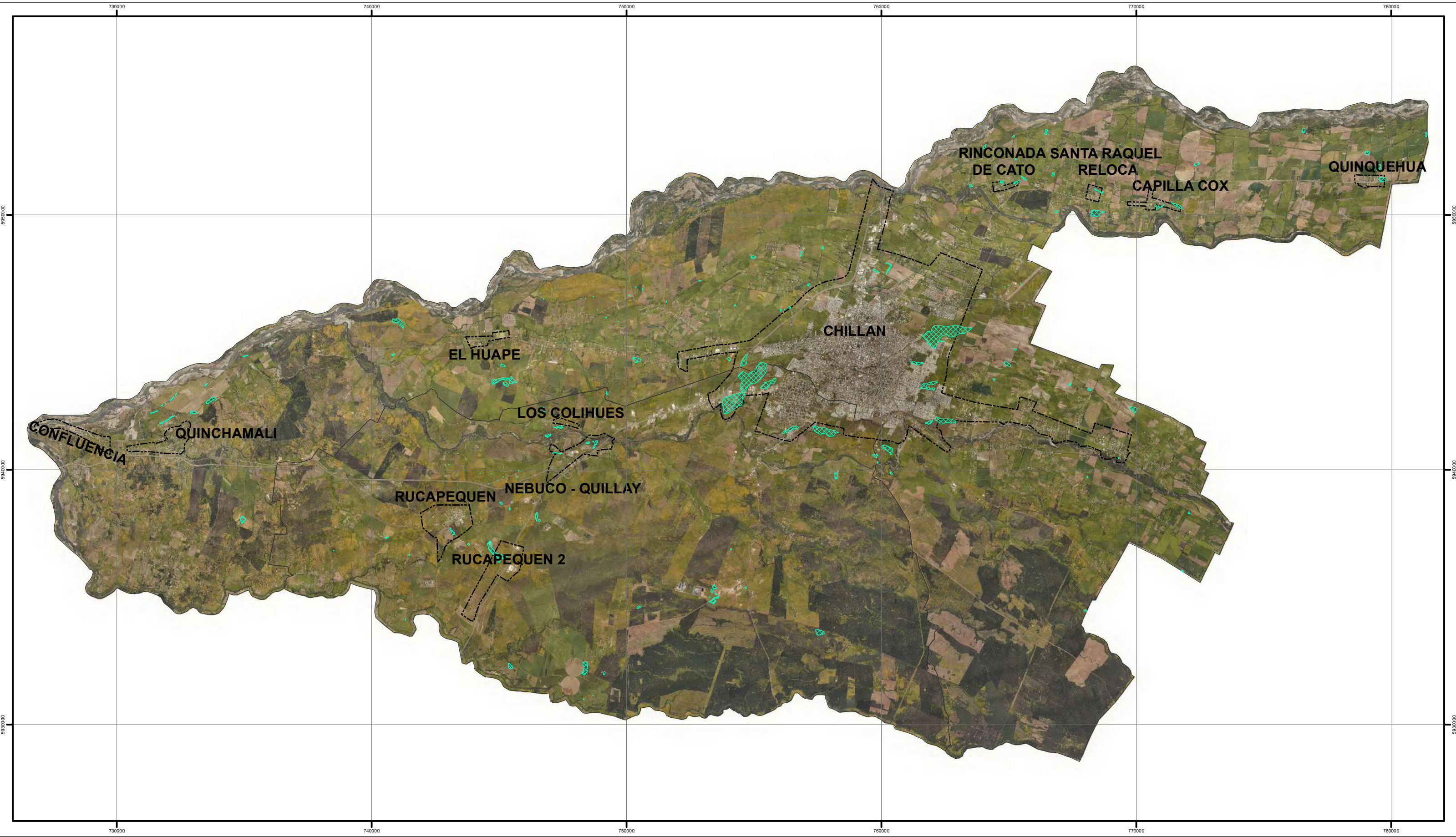
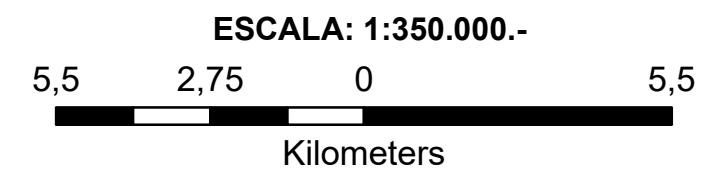


Figura 10.3.8 INUNDACIÓN POR ANEGAMIENTO

 RIESGO DE INUNDACIÓN POR ANEGAMIENTO



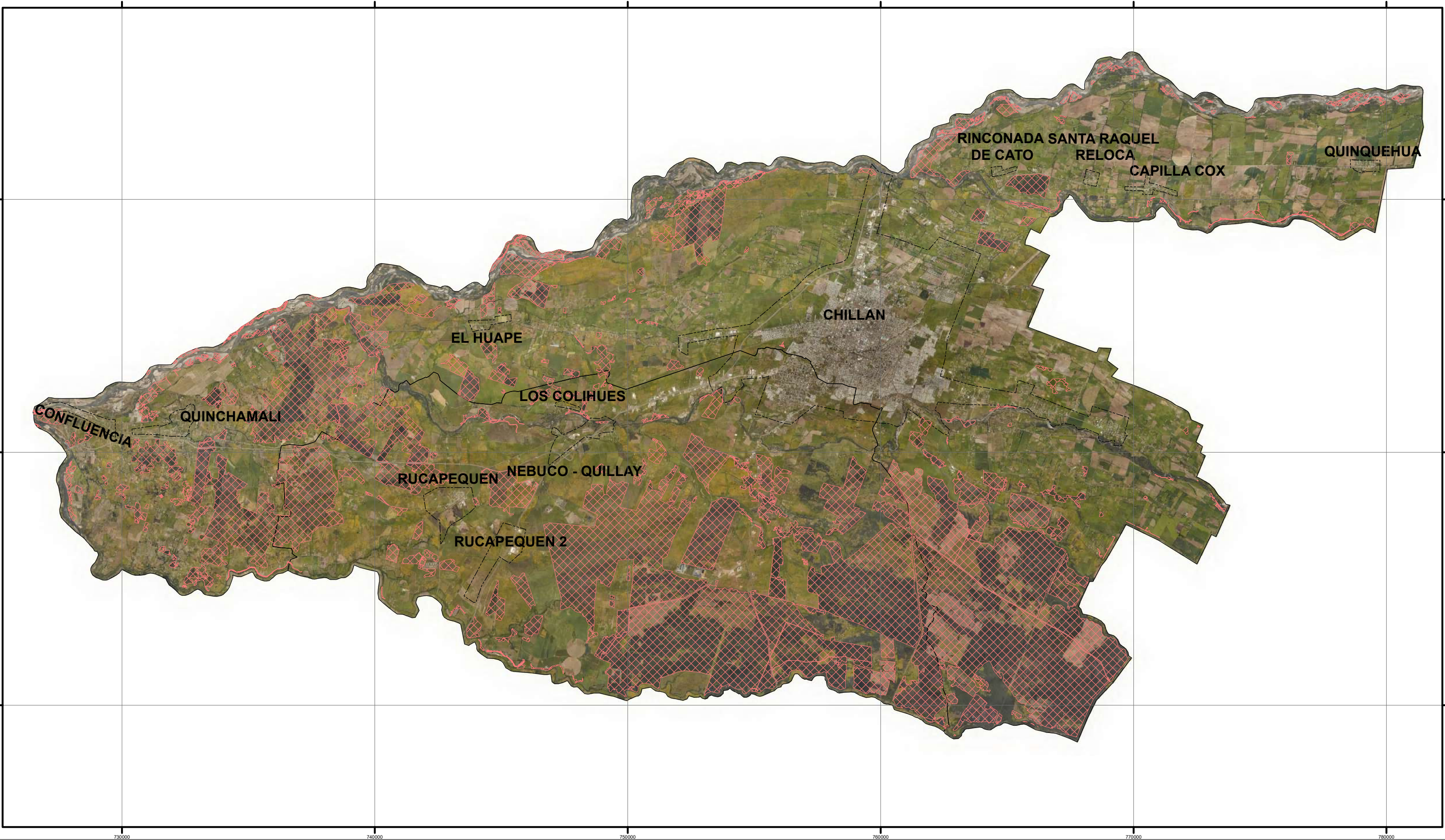



Figura 10.3.9 ACTIVIDAD O INTERVENCIÓN HUMANA

 RIESGO ALTO DE INCENDIOS

ESCALA: 1:135.000.-

5,5 2,75 0 5,5

Kilómetros



FIRMA DE PROFESIONAL RESPONSABLE



.....
Alejandro Velis Cabello, Geógrafo
Profesional responsable Estudio Fundado de Riesgos