

“ACTUALIZACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE CURANILAHUE”

ID: 659-6-LQ23

Informe Etapa 3

“Opciones de Desarrollo e Imagen Objetivo”

ANEXO: ESTUDIO DE RIESGOS

Fecha :14.07.2025

Versión : 01

INDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	ÁREA DE ESTUDIO	6
3.	OBJETIVO DEL ESTUDIO	10
3.1	OBJETIVOS	10
3.1.1	<i>Objetivo general</i>	10
3.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	10
4.	ALCANCE Y LIMITACIONES	10
5.	MARCO NORMATIVO VIGENTE.....	11
6.	METODOLOGÍA	13
6.1	AMENAZAS GRAVITACIONALES	15
6.1.1	<i>Remoción en masa</i>	15
6.1.2	<i>Licuefacción</i>	16
6.2	AMENAZAS INUNDACIONES	16
6.2.1	<i>Anegamiento</i>	16
6.2.2	<i>Inundación Fluvial</i>	17
6.3	PELIGROS ANTRÓPICOS	18
6.3.1	<i>Incendio forestal</i>	18
6.3.2	<i>Suelos contaminados</i>	19
6.3.3	<i>Subducción</i>	20
6.4	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	20
6.4.1	<i>Revisión Bibliográfica</i>	20
6.4.2	<i>Catastro de eventos</i>	21
6.4.3	<i>Delimitación áreas de riesgo</i>	21
7.	RESULTADOS.....	22
7.1	LÍNEA DE BASE	22
7.1.1	<i>Marco geodinámico</i>	22
7.1.2	<i>Marco geomorfológico</i>	23
7.1.3	<i>Parámetros morfométricos Región del Biobío.</i>	27
7.1.4	<i>Geología</i>	32
7.1.5	<i>Clima</i>	40
7.1.6	<i>Hidrología</i>	47
7.1.7	<i>Vegetación</i>	51
7.2	CATASTRO Y DELIMITACIÓN DE PELIGROS	57
7.2.1	<i>Peligro de Inundación, SERNAGEOMIN y Municipio</i>	57
7.2.2	<i>Peligro de Anegamiento</i>	70
7.2.3	<i>Peligro Sísmico</i>	72
7.2.4	<i>Peligro de remoción en masa</i>	80
	<i>Figura 42. Deslizamientos Calle Arauco</i>	86
7.3	AMENAZAS ANTRÓPICAS	100
7.3.1	<i>Amenazas por suelos contaminados</i>	100

7.3.2	<i>Peligro Incendio forestal</i>	103
7.3.3	<i>Registro reciente de incendios forestales en interfaz urbana</i>	107
7.3.4	<i>Subsidencia</i>	115
CAPÍTULO 1. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS GENERALES Y ESPECIFICOS EN MATERIA DE RIESGOS		
		118
8.	CONCLUSIONES	121
9.	REFERENCIAS	123

FIGURAS

FIGURA 1.	ÁREA DE ESTUDIO CONTEXTO REGIONAL.....	7
FIGURA 2.	ÁREA A PLANIFICAR PRC CURANILAHUE.	9
FIGURA 3.	METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO DE RIESGOS	13
FIGURA 4.	METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIÓN EN MASA.....	16
FIGURA 5.	METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE ANEGAMIENTO	17
FIGURA 6.	METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN FLUVIAL	18
FIGURA 7.	METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN FLUVIAL	19
FIGURA 8.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	25
FIGURA 9.	CARTA DE PISOS ALTITUDINALES COMUNA DE CURANILAHUE	28
FIGURA 10.	MAPA DE ELEVACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	29
FIGURA 11 .	RANGOS DE PENDIENTES COMUNA DE CURANILAHUE	30
FIGURA 12.	EXPOSICIÓN DE LADERAS COMUNA DE CURANILAHUE	31
FIGURA 13.	GEOLOGÍA REGIÓN DEL BIOBÍO	33
FIGURA 14.	GEOLOGÍA PROVINCIA DE ARAUCO	35
FIGURA 15.	AFLORAMIENTOS FORMACIONES QUIRIQUINA Y CURANILAHUE	39
FIGURA 16.	CLIMA REGIÓN DEL BIOBÍO (KÖPPEN).....	41
FIGURA 17.	PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS MEDIAS COMUNA DE CURANILAHUE	42
FIGURA 18.	ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS	44
FIGURA 19.	PROMEDIO PRECIPITACIONES MENSUALES 2013 - 2021.....	45
FIGURA 20.	HUMEDAD MEDIA CURANILAHUE	46
FIGURA 21.	CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y RED HÍDRICA COMUNA DE CURANILAHUE	49
FIGURA 22.	CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y RED HÍDRICA COMUNA DE CURANILAHUE	50
FIGURA 23.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL USO DE SUELO POR CATEGORÍA VEGETACIÓN	51
FIGURA 24.	USO DE SUELO COMUNA DE CURANILAHUE	52
FIGURA 25.	USO DE SUELO ÁREA DE ESTUDIO.....	53
FIGURA 26.	CLASES DE SUELO COMUNA DE CURANILAHUE	56
FIGURA 27.	MAPA 3-3 PELIGRO DE INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES Y ANEGAMIENTOS	58
FIGURA 28.	SECTORES DE PELIGRO DE INUNDACIÓN FLUVIAL Y EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA (2017)	63
FIGURA 29.	INUNDACIONES MES DE JUNIO Y JULIO 2024, COMUNA DE CURANILAHUE.....	64
FIGURA 30.	REGISTRO FOTOGRÁFICO EVENTO METEOROLÓGICO 2024.....	65
FIGURA 31.	REGISTRO FOTOGRÁFICO EVENTO METEOROLÓGICO 2024.....	66
FIGURA 32.	REGISTRO FOTOGRÁFICO EVENTO METEOROLÓGICO 2024.....	66
FIGURA 33.	ÁREA DE INUNDACIÓN T= 100 AÑOS.....	67
FIGURA 34.	ÁREA DE INTENSIDAD DE INUNDACIÓN EN CURANILAHUE.	69

FIGURA 35. PELIGRO DE ANEGAMIENTO	71
FIGURA 36. PELIGRO DE LICUEFACCIÓN DE LA CIUDAD DE CURANILAHUE.	78
FIGURA 37. AGRIETAMIENTO EN TERRAPLÉN PUENTE "LA MÁQUINA" RÍO CURANILAHUE.	80
FIGURA 38. DESLIZAMIENTOS CALLEJÓN PILAR.....	82
FIGURA 39. REGISTRO FOTOGRÁFICO EVENTO 2024.....	83
FIGURA 40. REGISTRO FOTOGRÁFICO EVENTO 2024.....	84
FIGURA 41. REGISTRO FOTOGRÁFICO EVENTO 2024.....	85
FIGURA 42. DESLIZAMIENTOS CALLE ARAUCO	86
FIGURA 43. GEORREFERENCIACIÓN EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	87
FIGURA 44. DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN SECTOR CERRO LA PERDIZ, CALLES HERAS ESQ. CONDELL	88
FIGURA 45. GRIETAS EN SECTOR CERRO VERDE.....	89
FIGURA 46. CAÍDA DE TERRAPLÉN EN CALLE MANUEL MONTT.....	90
FIGURA 47. DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN SECTOR CERRO LA PERDIZ, CALLE MANUEL MONTT. ..	91
FIGURA 48. MAPA 3-1 PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA	94
FIGURA 49. CARTA DE SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIÓN EN MASA	99
FIGURA 50. DISTRIBUCIÓN POTENCIALES FUENTES CONTAMINANTES Y/O PASIVOS AMBIENTALES ..	101
FIGURA 51. OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES COMUNA DE CURANILAHUE (2012 - 2022)	104
FIGURA 52. SUPERFICIE AFECTADA COMUNA DE CURANILAHUE (2012 - 2022).....	105
FIGURA 53. MAPA DE CALOR INCENDIO FORESTAL DE LA COMUNA DE CURANILAHUE	106
FIGURA 54. CATASTRO INCENDIOS FORESTALES COMUNA DE CURANILAHUE	108
FIGURA 55. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN (VP).....	109
FIGURA 56. RESISTENCIA AL CONTROL (RC)	110
FIGURA 57. RECLASIFICACIÓN DE PENDIENTES	111
FIGURA 58. EXPOSICIÓN DE LADERAS	112
FIGURA 59. MAPA DE RIESGO DE LA COMUNA DE CURANILAHUE	114
FIGURA 60. APERTURA DE UNA BOCAMINA ARTESANAL POR SISMO 27F	116
FIGURA 61. ÁREAS CON RIESGO DE SUBSIDENCIA Y AGRIETAMIENTO DE TERRENOS	117

TABLAS

TABLA 1. RIESGOS ABORDADOS EN EL ESTUDIO.....	11
TABLA 2. RIESGOS ABORDADOS EN EL ESTUDIO Y MÉTODOS PROPUESTOS.	14
TABLA 3. UNIDADES GEOLÓGICAS COMUNA DE CURANILAHUE	32
TABLA 4. DATOS ESTACIÓN CURANILAHUE	42
TABLA 5. DATOS ESTACIÓN RÍO CURANILAHUE EN CURANILAHUE.....	43
TABLA 6. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES EN 24 HORAS (MM) PERIODO 2000 - 2021	45
TABLA 7. CUENCAS Y SUBCUENCAS EN LA COMUNA DE CURANILAHUE.....	47
TABLA 8. DESCRIPCIÓN SUELOS AGROLÓGICOS.	54
TABLA 9. REGISTRO DE INUNDACIONES EN CURANILAHUE.	59
TABLA 10. SISMOS EN LA HISTORIA DE CURANILAHUE.....	73
TABLA 11. VALOR DEL PARÁMETRO SUSCEPTIBILIDAD LITOLÓGICA	95
TABLA 12. PROMEDIO PRECIPITACIONES MENSUALES. 2013 - 2021	96
TABLA 13: PROMEDIOS PRECIPITACIONES MENSUALES Y VALORACIÓN	96
TABLA 14: PESO ASIGNADO AL PARÁMETRO HUMEDAD DEL TERRENO (SH).....	96

TABLA 15: PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES EN 24 HORAS ESTACIÓN CURANILAHUE (2000 – 2021)	97
TABLA 16. DETERMINACIÓN DE PESO POR EL MÉTODO DE SAATY (EMC).....	98
TABLA 17. SITIOS CON POTENCIAL PRESENCIA DE CONTAMINANTES	102
TABLA 18. RECOMENDACIONES DE CRITERIOS PARA ZONIFICACIÓN EN BASE AL ESTUDIO.....	119

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe expone los resultados obtenidos de la caracterización de la geología y geomorfología existente en el área de estudio para el "*Plan Regulador comunal de Curanilahue*" (En adelante, PRC - CHUE), asimismo, se evalúan las amenazas gravitacionales del territorio conforme a lo establecido en el numeral 2 "Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas del artículo 2.1.17.

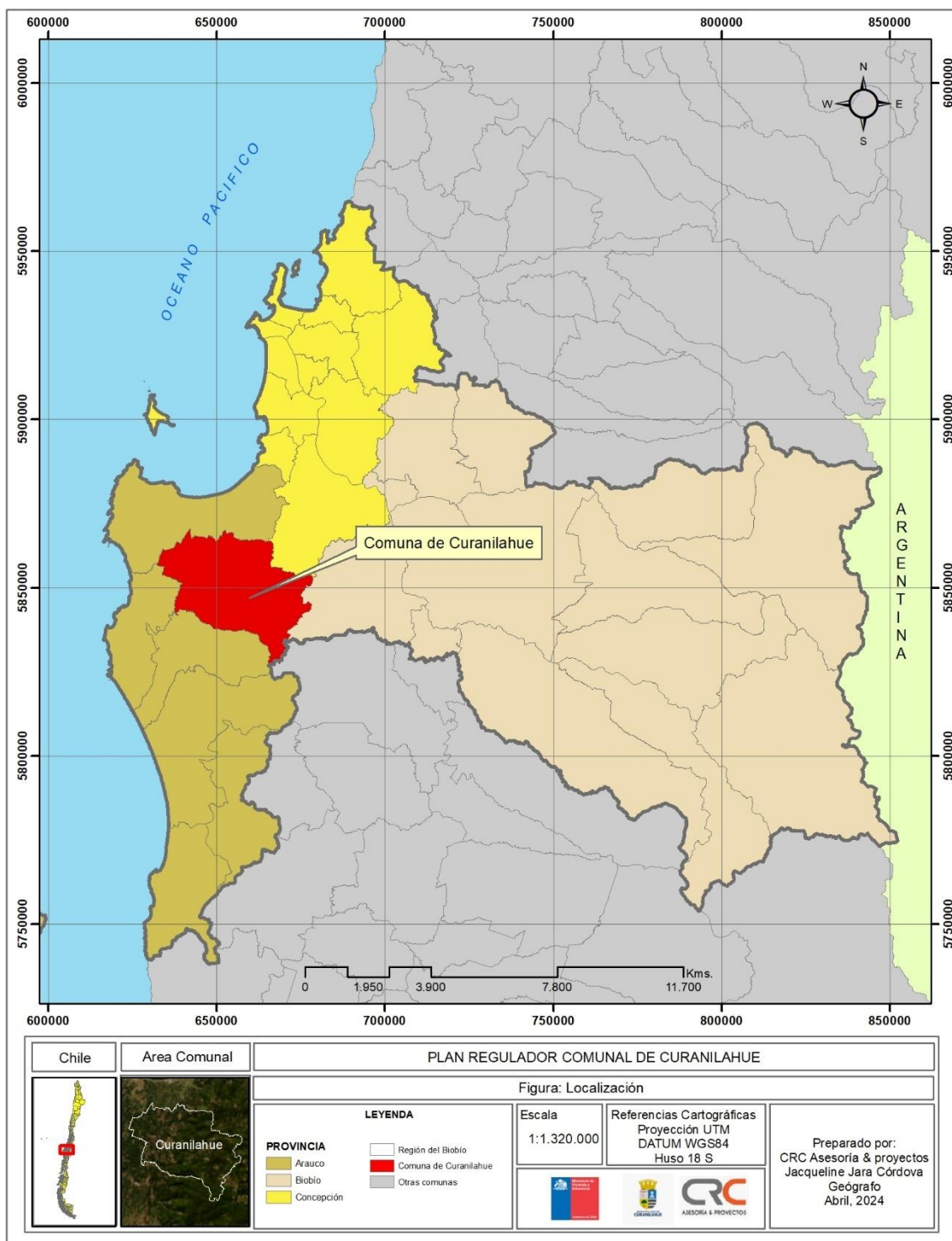
Los factores geológicos y geomorfológicos abordados comprenden las formas naturales presentes sobre el área de estudio y sus inmediaciones, desde una escala regional y local. Dichas morfologías aportan en la comprensión de la construcción de las unidades geológicas y geomorfológicas del lugar, así como los procesos que influenciaron en la misma y que imperan en la actualidad.

Para la caracterización de la geología, geomorfología, hidrología y Procesos geodinámicos, se realizó una recopilación de información secundaria, la cual considera la revisión bibliográfica de informes, documentos, cartografía digital relacionada a la geología y la geomorfología del área de estudio, tanto en el contexto regional como local. Asimismo, se elaboró un levantamiento de parámetros morfológicos a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM ALOS-PALSAR) para el caso de análisis regional, el cual posee una resolución espacial de 12.5 metros, desarrollado por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Para el análisis del área de estudio en específico, se utilizó las curvas de nivel (1 metro) y el MDT (0,1 metros) de la cartografía base levantada por UASVISIÓN el año 2017.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La comuna de Curanilahue forma parte de la provincia de Arauco y corresponde a una de las 33 comunas de la región del Biobío, se localiza entre los 37°27' y los 37°30' de latitud sur, y desde los 73°00' hasta los 73°24' de longitud oeste. Limita al norte con las comunas de Arauco y Santa Juana, al sur con las comunas de Angol y Los Álamos, al este con las Comunas de Nacimiento y Santa Juana, al oeste con Los Álamos y Arauco. Cuenta con una superficie de 1002,96 Km² aproximadamente y una población de 32.388 habitantes (INE, 2017) de los cuales el 93% corresponde a población urbana y solo un 7% corresponde a población rural. En la siguiente figura se muestra el área de estudio en el contexto regional y provincial.

Figura 1. Área de estudio contexto regional.



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía digital proporcionada por MINVU.

Para el presente estudio se considera como área de planificación las áreas consolidadas de Curanilahue, Plegarias y las localidades de San José de Cólico, Cólico Norte y Pichiarauco, la cual tiene una extensión total de 2.224 há. Actualmente el área urbana de la ciudad de Curanilahue cubre una superficie total 487,39 há de acuerdo con el límite urbano vigente.

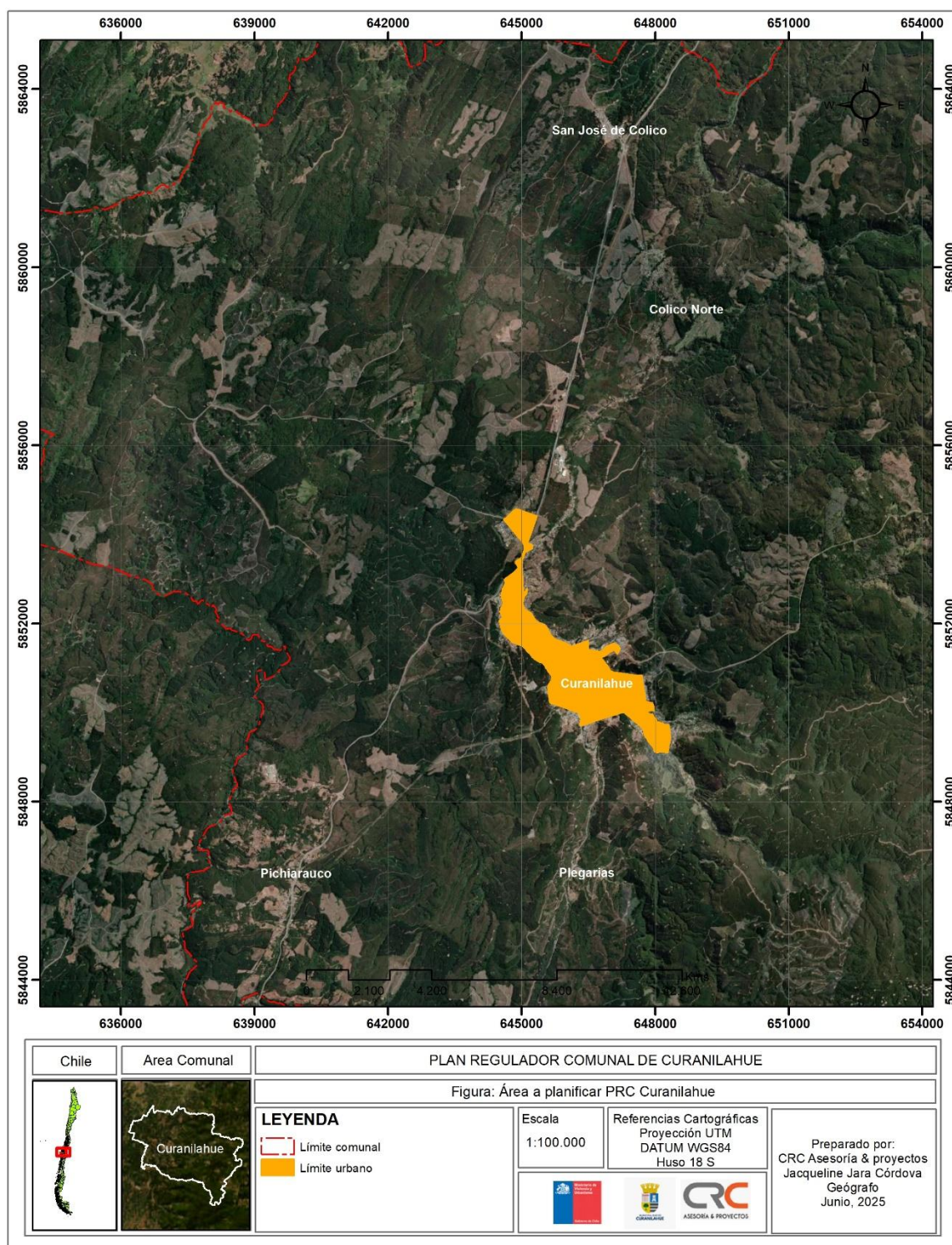
Curanilahue se emplaza en gran parte sobre terrazas fluviales de poca pendiente en la ladera oeste de la Cordillera de Nahuelbuta y se empina hacia las laderas de los cordones de cerros que la enmarcan. Su localización es singular en cuanto a los parámetros morfométricos y se encuentra sujeto a varios peligros de origen natural.

La localidad de Plegarias, localizada al sur de Curanilahue, se emplaza en la terraza fluvial del estero Plegarias, rodeada también por los cordones de cerros de la Cordillera de Nahuelbuta.

Las localidades de San José de Cólico y Cólico Norte, localizadas al norte de la ciudad de Curanilahue, se emplazan sobre una plataforma de baja altitud que contacta el relieve de la Cordillera de la Costa con las planicies litorales de la provincia de Arauco.

Por otra parte, el sector rural de Pichiarauco, ubicado al sureste del área urbana de Curanilahue, forma parte de la Cordillera de la Costa, en una zona de transición entre el valle interior y las formaciones montañosas costeras, con alturas que varían entre 150 y 500 m.s.n.m y con un uso de suelo predominantemente forestal, con presencia de parcelas rurales, sectores habitados dispersos y pequeños cultivos agrícolas. En la siguiente figura se grafica las localidades señaladas anteriormente.

Figura 2. Área a planificar PRC Curanilahue.



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía digital proporcionada por MINVU.

3. OBJETIVO DEL ESTUDIO

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo general

Identificar, evaluar y delimitar el riesgo existente y potencial para el asentamiento humano en el área a planificar, dando cumplimiento a la actual normativa en materia de riesgos y a los procesos de validación de mapas de amenazas, según organismos competentes.

3.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar, evaluar y delimitar áreas de peligrosidad frente a fenómenos naturales y antrópicos identificados en el ámbito de acción del PRC – CHUE.
- ✓ Valorar el riesgo existente y potencial en el área de estudio analizada.
- ✓ Identificar y evaluar la vulnerabilidad y exposición para las áreas de peligrosidad.
- ✓ Proponer medidas de prevención y/o mitigación para áreas de riesgo.

4. ALCANCE Y LIMITACIONES

Este trabajo corresponde al estudio fundado de riesgos y forma parte de “Estudios de Actualización Plan Regulador Comunal de Curanilahue”, que tiene por objetivo definir “áreas de riesgo” según lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC. Para ello, se recopiló la información bibliográfica y de antecedentes históricos disponibles en la literatura (libros, publicaciones científicas y prensa) que se utilizó para desarrollar una línea de base del territorio de la comuna considerando geología y geomorfología con el fin de poder identificar las condiciones del territorio que pueden relacionarse con los diversos peligros geológicos que se presentan en la comuna.

Adicionalmente, se recopiló información sobre eventos de peligros geológicos ocurridos en la comuna, información que se sistematizó y clasificó según los tipos de peligros, con lo cual se generó un catastro de peligros que han afectado a la comuna y que permiten delimitar las áreas de generación, magnitudes y alcances de los diversos fenómenos, junto con permitir la identificación de los factores que condicionaron su ocurrencia.

El reconocimiento y la delimitación de las áreas de riesgos en este estudio se restringen a los sectores que cuentan con los insumos topográficos adecuados para analizar el territorio a una escala de detalle adecuada para este Plan Regulador Comunal (1:1.000 y 1:5.000). Por consiguiente, los análisis de detalle se limitan a las áreas que disponen de información topográfica y ortofotos digitales generados como base para el presente estudio.

Se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían utilizarse a una escala más detallada que la de referencia (1:5.000 o 1:1.000, según corresponda), ya que esto puede llevar a errores en la planificación territorial.

5. MARCO NORMATIVO VIGENTE

De acuerdo con lo planteado en el Art. 2.1.10. de la OGUC, el PRC necesita fundamentarse, entre otros, en el Estudio de Riesgos, el que debe tener como resultado las áreas de restricción y condiciones para ser utilizadas relacionadas con las disposiciones contempladas en los Art. 2.1.17 y 2.1.18 de la OGUC.

La OGUC, en su apartado 2.1.17 "Disposiciones complementarias" señala que en los planes reguladores se podrán definir áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos. Estas áreas se denominan "zonas no edificables" o bien, "áreas de riesgo". Según sea el caso, como se indica a continuación:

- **Por "zonas no edificables"**, se entenderán aquellas que, por su especial naturaleza y ubicación, no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas solo se aceptará la ubicación de actividades transitorias (OGUC).
- **Por "áreas de riesgo"**, se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole, suficientes para subsanar o mitigar tales efectos (OGUC).

De acuerdo con el artículo 2.1.17. de la OGUC, por "áreas de riesgo", se entenderán aquellos territorios que se ubiquen en alguna de las siguientes categorías:

- 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 con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
- Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

A continuación, en la Tabla 1, se señala los riesgos que se abordan en el presente estudio, los cuales están relacionados con lo estipulado en el artículo 2.1.17 de OGUC.

Tabla 1. Riesgos abordados en el estudio.

Peligrosidad de acuerdo con artículo 2.1.17 de la OGUC	Amenaza	
	Categoría de amenazas	Amenazas específicas
Numeral 1: Zonas inundables o potencialmente inundables, debido	Inundaciones	Desborde de cauces y otros cuerpos de agua

Peligrosidad de acuerdo con artículo 2.1.17 de la OGUC	Amenaza	
	Categoría de amenazas	Amenazas específicas
entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.		Anegamientos
		Tsunami
		Marejadas
Numeral 2: Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.	Gravitacionales	Proceso de laderas
		Flujos
		Procesos de subsidencia
Numeral 3: Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.	Sísmicas y volcánicas	Ruptura superficial de falla
		Efectos de sitio
		Corrientes de densidad piroclástica (PDC)
		Caída de piroclastos
		Lahares
		Flujos de lava
Numeral 4: Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.	Antrópicas	Suelos mecánicamente inestables o con potencial presencia de contaminantes
		Incendios Forestales

Fuente: Elaboración propia a partir de la OGUC.

Asimismo, es importante para el estudio de riesgos revisar, para su necesaria coherencia, los mapas de amenazas que aporten los diferentes servicios públicos (OTMA) en el marco del cumplimiento de la Ley 21.364 SINAPRED.

De acuerdo con esta ley, “la elaboración, validación y actualización permanente de los mapas de amenazas estará a cargo de los organismos técnicos correspondientes según sus competencias”. A partir de esto se infiere que los órganos técnicos están facultados para validar los mapas de amenazas que no sean elaborados por ellos.

Por lo anterior, es importante considerar el Decreto 86/2023 que contiene el reglamento que regula los organismos técnicos para el monitoreo de amenazas; organismos técnicos para el monitoreo sectorial; los instrumentos para la gestión del riesgo de desastres; y los procedimientos de elaboración de los mapas de amenaza y los mapas de riesgo.

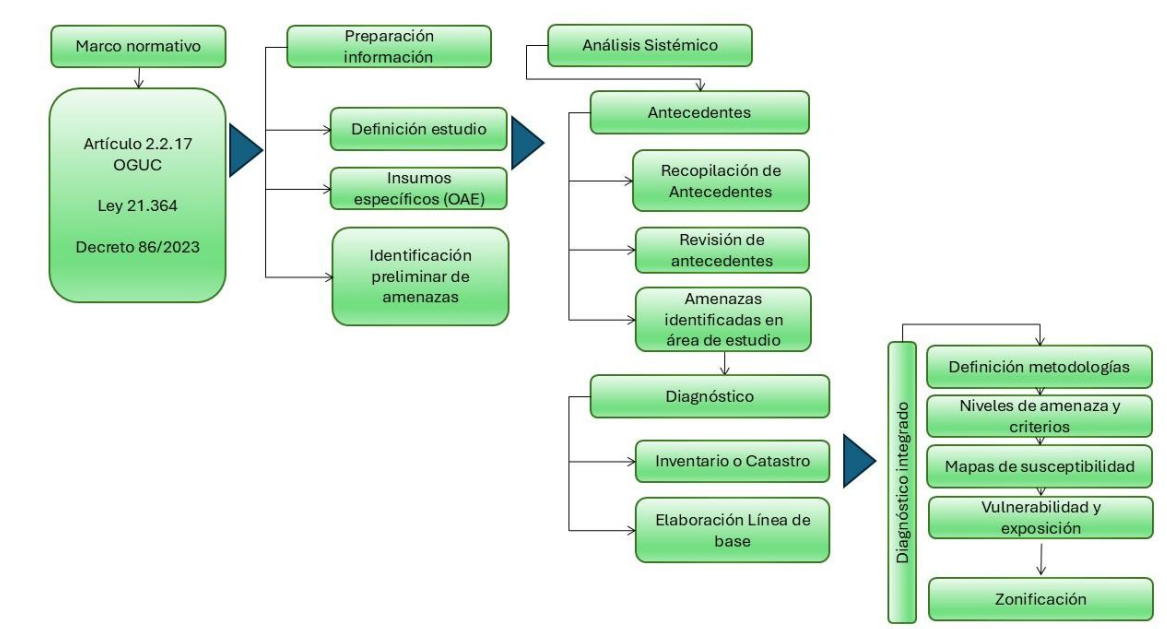
6. METODOLOGÍA

Como parte del proceso para generar los mapas de susceptibilidad, la metodología general del estudio contempla realizar las siguientes tareas:

- Análisis marco normativo
- Preparación de información
- Análisis sistémico
- Diagnóstico integrado
- Propuesta de criterios de zonificación urbana

A continuación, se muestran en detalle las actividades relacionadas al proceso de generación de mapas de susceptibilidad.

Figura 3. Metodología general del Estudio de Riesgos



Fuente: Elaboración propia a partir de DDU 510.

En cuanto a las metodologías específicas, en la siguiente tabla se muestra un resumen con los peligros considerados y los métodos y enfoques utilizados. Es importante señalar que, para cada uno de los peligros evaluados, se levantó un catastro de eventos ocurridos en la comuna y se revisó la información oficial existente según organismo competente, posteriormente la información fue contrastada con los resultados obtenidos a partir de los métodos propuestos para el caso de incendio forestal, inundación fluvial, anegamiento y remoción en masa.

Para los peligros sísmicos y subsidencia se utilizó información secundaria. Finalmente, para la amenaza de licuefacción, se consideró la información oficial de SERNAGEOMIN

en el Mapa 3-2: Peligro de Licuefacción del estudio denominado "Geología para la Reconstrucción y la Gestión del Riesgo en la Región del Biobío.

Tabla 2. Riesgos abordados en el estudio y métodos propuestos.

Peligro	Enfoque	Métodos específicos		Resultado
Desborde de cauces	Cuantitativo	Métodos hidrodinámicos (modelaciones)	Análisis hidráulico	Peligrosidad (velocidad y altura)
Anegamiento	Cualitativo	Métodos heurísticos	Evaluación espacial multicriterio	Peligrosidad
Procesos de laderas	Cualitativo	Métodos heurísticos	Evaluación espacial multicriterio	Susceptibilidad de generación
Incendios Forestales	Cualitativo	Métodos heurísticos	Evaluación espacial multicriterio	Peligrosidad
Subsidencia	Se analizará información del PLAN DE REGENERACIÓN URBANA. Nombre Localidad: Curanilahue, Comuna de Curanilahue, Región del Biobío. División de Desarrollo Urbano MINVU (2010)			Georeferenciación de lugares con potencial riesgo de subsidencia y agrietamiento de terrenos.
Licuefacción	Se analizará información oficial de SERNAGEOMIN correspondiente a: SERNAGEOMIN, 2010b extracto del Mapa 2: Peligro de licuefacción de la ciudad de Curanilahue del estudio del estudio denominado "Geología Para La Reconstrucción y la Gestión del Riesgo en la Región del Biobío.			Peligro de licuefacción
Suelos mecánicamente inestables o con potencial presencia de contaminantes	La metodología para utilizar corresponde al levantamiento de información a nivel comunal, luego identificación y georeferenciación de la información			Mapa de georeferenciación de la amenaza de contaminación de suelos.
Vulnerabilidad	La vulnerabilidad frente a los peligros levantados será estudiada en 2 dimensiones e involucra la vulnerabilidad física y exposición: Los indicadores de vulnerabilidad fueron definidos según Rojas y Martínez (2012), que utilizan el enfoque de Wilches-Chaux, en Maskrey (1993) y Cardona (2001). Para el análisis espacial de la vulnerabilidad, la comuna fue dividida en unidades de análisis (UA) territoriales correspondientes a los distritos censales, asegurando una zonificación			Zonificación de vulnerabilidad

Peligro	Enfoque	Métodos específicos	Resultado
		adecuada a la escala de trabajo. La vulnerabilidad es analizada a través de variables representativas mediante: microdatos censales 2017 extraídos de REDATAM vinculadas a las variables previamente definidas.	

Fuente: Elaboración propia a partir de DDU 510.

6.1 Amenazas gravitacionales

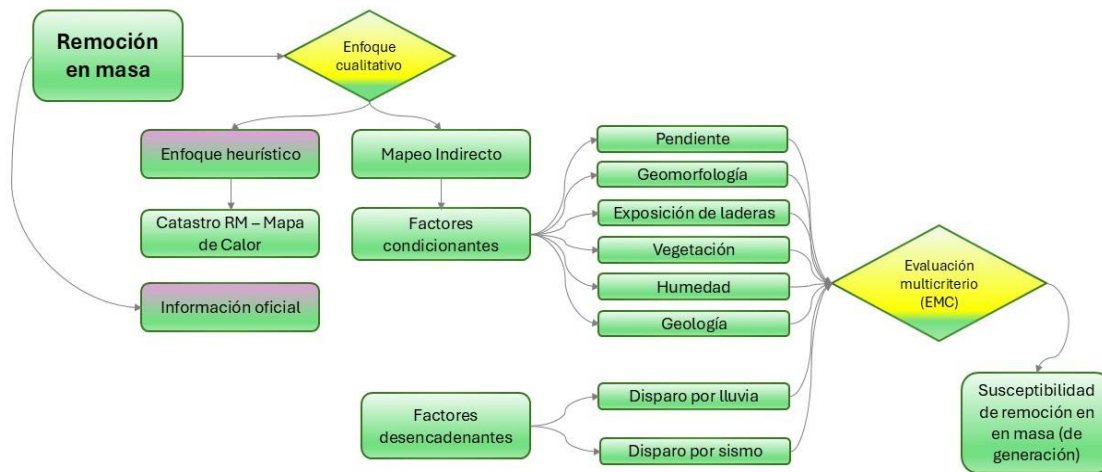
6.1.1 Remoción en masa

A partir de una exhaustiva revisión bibliográfica, el peligro de remoción en masa fue analizada a partir de tres principales fuentes, las cuales corresponden a:

- Mapa 3-1: Peligro de Remociones en masa del estudio denominado "Geología Para La Reconstrucción y la Gestión del Riesgo en la Región del Biobío (SERNAGEOMIN).
- Catastros y registros de eventos de remoción en masa en el área a planificar
- Estudio de Riesgo de PRC (2017)
- Levantamiento de áreas de susceptibilidad mediante evaluación multicriterio, el cual considera factores condicionantes y desencadenantes y entrega como resultado un mapa de susceptibilidad de generación.

En la siguiente figura se muestra a modo general el método utilizado para la delimitación de áreas susceptibles a este tipo de eventos mediante evaluación multicriterio.

Figura 4. Metodología para evaluación de la susceptibilidad de remoción en masa



Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Licuefacción

A partir de una exhaustiva revisión bibliográfica, el peligro de licuefacción fue analizado a partir de:

- Mapa 3-2: Peligro de Licuefacción del estudio denominado "Geología Para La Reconstrucción y la Gestión del Riesgo en la Región del Biobío (SERNAGEOMIN)
- Catastros y registros de evento sísmico 2010.

6.2 Amenazas Inundaciones

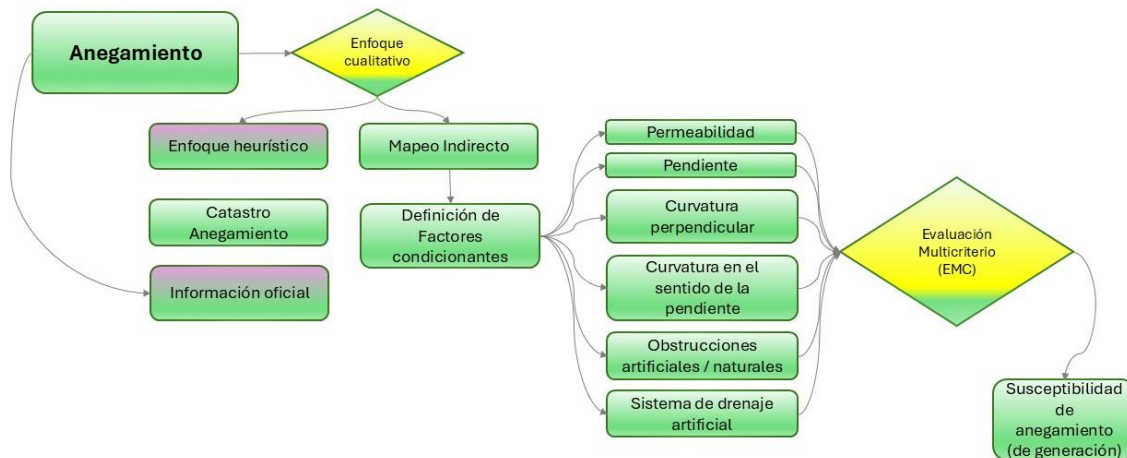
6.2.1 Anegamiento

El análisis del peligro de anegamiento se llevó a cabo a partir de una detallada revisión bibliográfica, basada en tres fuentes principales:

- Mapa 3-3: Peligro de Inundación por desborde de cauces y anegamiento del estudio denominado "Geología Para La Reconstrucción y la Gestión del Riesgo en la Región del Biobío (SERNAGEOMIN).
- Catastros y registros de eventos de anegamiento.
- Levantamiento de áreas de susceptibilidad mediante evaluación multicriterio, el cual considera factores condicionantes y desencadenantes y entrega como resultado un mapa de susceptibilidad de generación.

En la siguiente figura se muestra a modo general el método utilizado para la delimitación de áreas susceptibles a este tipo de eventos.

Figura 5. Metodología para evaluación de la susceptibilidad de Anegamiento



Fuente: Elaboración propia

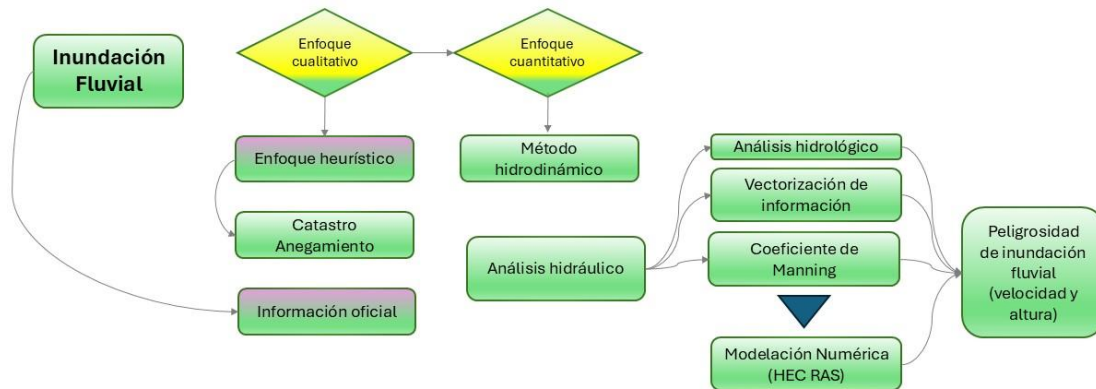
6.2.2 Inundación Fluvial

Mediante una rigurosa revisión bibliográfica, el peligro de inundación fluvial fue evaluado utilizando tres fuentes principales:

- Mapa 3-3: Peligro de Inundación por desborde de cauces y anegamiento del estudio denominado "Geología para la Reconstrucción y la Gestión del Riesgo en la Región del Biobío (SERNAGEOMIN).
- Catastros y registros de eventos de inundación fluvial.
- A partir de los antecedentes revisados se realizó un estudio hidrológico y posterior modelación hidráulica mediante HEC RAS, entregando como resultado un mapa de peligro bajo/medio/alto a partir de la intensidad, velocidad y altura.

En la siguiente figura se muestra a modo general, el método utilizado para la delimitación de áreas susceptibles a este tipo de eventos.

Figura 6. Metodología para evaluación de la susceptibilidad de Inundación Fluvial



Fuente: Elaboración propia.

6.3 Peligros antrópicos

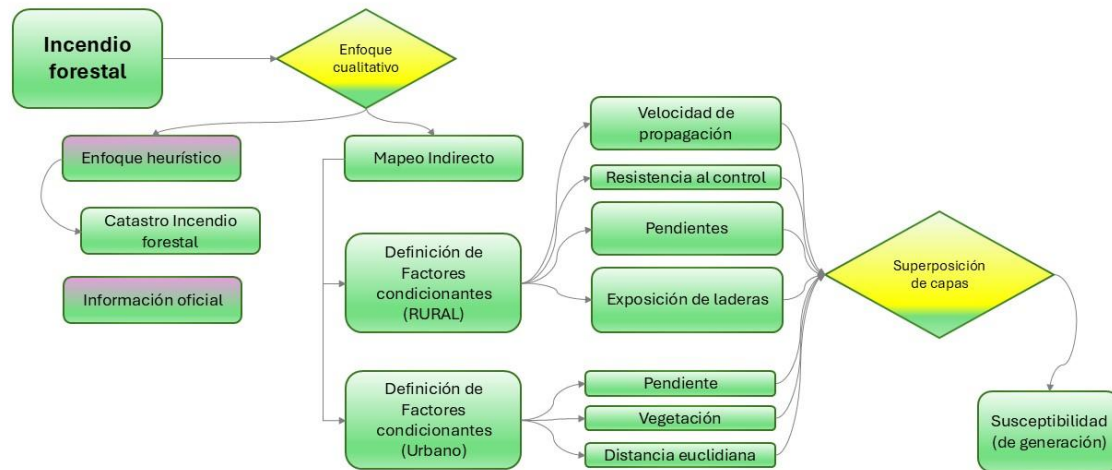
6.3.1 Incendio forestal

A partir de una revisión bibliográfica se analizó el peligro de incendio forestal considerando como referencias, tres fuentes de información principales:

- Plan de Protección contra Incendios Forestales
- Mapa de Riesgo de la comuna de Curanilahue de la Sección de Análisis y Predicción de Incendios Forestales – CONAF.
- Catastros y registros de incendios forestales.
- A partir de los antecedentes revisados se realizó un levantamiento de áreas de susceptibilidad mediante superposición de capas y entrega como resultado un mapa de susceptibilidad de generación.

En la siguiente figura se muestra a modo general el método utilizado para la delimitación de áreas susceptibles a este tipo de eventos.

Figura 7. Metodología para evaluación de la susceptibilidad de Inundación Fluvial



Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 Suelos contaminados

Para la amenaza por suelos contaminados se analizó en primera instancia el marco normativo relacionado con el tipo de amenaza. Además, se identificaron dichos lugares en base a información primaria y secundaria. El marco normativo correspondiente se presenta a continuación:

Marco normativo

- Ley 20.417 que modifica la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente
- Decreto 40, del Ministerio del Medio Ambiente
- Decreto 148, del Ministerio de Salud
- Resolución Exenta 1.690, que aprueba la Metodología para la Identificación y Evaluación Preliminar de Suelos Abandonados con Presencia de Contaminantes
- Resolución Exenta 406, que aprueba la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes.

Para determinar la amenaza de suelos deteriorados por actividad humana, se consideró a modo general, la información señalada en la "Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes", (2012), del Ministerio de Medio Ambiente. Estableciéndose la siguiente secuencia de actividades:

- Levantamiento de información municipal
- Identificación y georreferenciación de suelos con potencial presencia de contaminantes

6.3.3 Subducción

La amenaza de subducción y licuefacción se levantó a partir de información secundaria. Los principales antecedentes considerados en el estudio se reseñan a continuación:

- PLAN DE REGENERACIÓN URBANA. Nombre Localidad: Curanilahue, Comuna de Curanilahue, Región del Bío Bío.

6.4 Levantamiento de información

6.4.1 Revisión Bibliográfica

Para llegar a los resultados se comenzó con la etapa de Búsqueda de antecedentes y Sistematización de datos, posteriormente se procedió a la Elaboración de cartografías y su respectiva reclasificación.

La información revisada fue:

- Cartografía Digital Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. SERNAGEOMIN (2003).
- Informe sobre remociones en masa en algunos sectores de la Localidad de Curanilahue, SERNAGEOMIN (2006).
- Visita técnica por remociones en masa, pasaje loma baja, sector Ricardo Lagos de la Comuna de Curanilahue, Región del Biobío. SERNAGEOMIN (2023).
- Campaña de Terreno

En relación con el estudio geomorfológico, se considera la revisión y recopilación de información bibliográfica de informes, documentos y cartografía digital, relacionada a la geomorfología del área de estudio, tanto en el contexto regional como local. Entre las fuentes de información utilizadas se encuentran:

- Libro de Geomorfología. Colección Geografía de Chile (IGM). Reinaldo Börgel, 1983.
- Imágenes Aster GDEM v.2. Worldwide Elevation Data. (2011) resolución 12,5 m.
- Imágenes Google Earth Pro.
- Curvas de Nivel del área a planificar
- MDT del área a planificar

Para la caracterización geomorfológica del área de estudio se realiza el análisis de información disponible en un sistema de información geográfica (SIG) usando la plataforma de trabajo ArcGIS® 10.8, con lo cual se obtiene como resultado un análisis morfológico en base a la información cartográfica inicial.

El producto del procedimiento descrito anteriormente entrega como resultado una serie de cartografías correspondientes a: altitud, pendientes, exposición de laderas y modelo de sombras, lo que permite generar una caracterización geomorfológica del área de estudio. El desarrollo de esta caracterización es generado con el apoyo de un Modelo de Elevación Digital (DEM ALOS-PALSAR) con una resolución espacial de 12.5 y la topografía levantada en el área a planificar.

En complemento a lo anterior, se procede a un análisis que contempla el desarrollo de una caracterización del relieve del área de estudio por medio de fotointerpretación de los procesos morfológicos activos; para lo cual se utilizan imágenes de Google Earth Pro® y WorldImagery, ortomosaico levantado por UASVISIÓN (2017), levantamiento de terreno.

Para el levantamiento de los riesgos geológicos, se recopiló información proveniente de:

- National Earthquake Information Center (NEIC) de United States Geological Survey (USGS). NEIC
- Hoyas Hidrográficas de Chile: Octava Región (Niemeyer F, 1980)
- SERNAGEOMIN (2008). Geología del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío. Escala 1: 50.000
- Ranking Volcánico 2020, SERNAGEMONIN.
- Catastro de uso de suelo, CONAF.
- Datos de estaciones pluviométricas, DGA.
- Información geológica, SERNAGEOMIN
- Sistema Integrado de Información Territorial (SIIT), Biblioteca Nacional de Chile-CIREN

6.4.2 Catastro de eventos

Paralelamente a la recopilación bibliográfica, se realizó una revisión de eventos históricos ocurridos en la comuna en colaboración del municipio y portal Geomin – SERNAGEOMIN.

Para lo anterior se realizaron las siguientes actividades:

- Búsqueda de antecedentes en prensa
- Búsqueda de antecedentes en el municipio
- Búsqueda de antecedentes de SERNAGEOMIN
- Reconocimiento de terreno de sectores identificados

6.4.3 Delimitación áreas de riesgo

En consideración de la escala de trabajo elegida para el desarrollo del estudio, para la zonificación de susceptibilidad se agruparon los peligros geológicos de acuerdo con los siguientes criterios:

- Peligros No Zonificables a escala urbana: Corresponde a los peligros geológicos de Volcanismo y Sismicidad. Dada la magnitud de estos peligros, las áreas afectadas no son representables y/o diferenciables a una escala urbana (mayor a 1:10.000), y solo pueden analizarse en un contexto regional (escala 1:100.000 o menor).

- Peligros Zonificables a escala urbana: Corresponde a los peligros de Remociones en Masa e Inundaciones Terrestres. Estos peligros son representables a una escala urbana, pudiendo diferenciarse claramente, dada la

escala de trabajo, que áreas son más susceptibles a la ocurrencia de un peligro geológico dado.

Considerando lo anterior, en el Apéndice anexo R-01, se presentan las distintas metodologías utilizadas para la zonificación de los peligros geológicos considerados zonificables a la escala de trabajo elegida.

7. RESULTADOS

7.1 Línea de base

7.1.1 Marco geodinámico

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente, donde la Placa Oceánica de Nazca subducta a la placa Continental Sudamericana bajo su margen occidental (Uyeda & Kanamori, 1979). Esta subducción, cuya tasa actual de convergencia se estima en 8 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 1994), se reconoce activa desde, al menos, el Jurásico (Mpodozis & Ramos, 1989) y ha tenido variaciones en la tasa de convergencia durante el Eoceno – Mioceno que van desde 5 a 15 cm/año (Somoza, 1998).

En general, las fuentes sísmicas chilenas se pueden clasificar en tres zonas: i) zonas de empuje poco profundas y largas, generadas en la costa (0-50km); ii) zonas de compresión o tracción al interior de la placa de Nazca en subducción (70-100km) y; iii) sismicidad superficial (0-20km), ubicada principalmente en el extremo sur de Chile. Los sismos más destructivos son originados en la primera zona, la cual se extiende desde el paralelo 18°S (Arica) al 46°S (Península de Taitao). La Región del Biobío y la provincia de Arauco está ubicada entre los paralelos 36°S y 38°30'S aproximadamente, lo cual está dentro de la zona de mayor sismicidad. Lo que implica que el peligro de eventos sísmico está presente permanentemente.

Al comparar ambos segmentos, se destacan las siguientes características:

1. La costa Oeste de la placa Sudamericana tiene un rumbo aproximado NS en el tramo de subducción plana, mientras que al sur de los 33° la costa posee un rumbo aproximado N20°E.
2. En el tramo de subducción plana, no se aprecia el desarrollo de una depresión central, en cambio se presentan los llamados valles transversales. Por su parte, en el segmento sur, se desarrolla claramente la Depresión Central, con una Cordillera de la Costa y Cordillera Principal bien definidas.
3. En el sector de subducción plana no hay registro de volcanismo Holoceno en la Cordillera Principal, mientras que en el segmento de la provincia de Concepción y Arauco, el arco volcánico Holoceno se encuentra plenamente desarrollado. La acumulación y posterior relajación de los esfuerzos producto del régimen de subducción es la causa de que todo Chile, hasta la península de Taitao por el sur, sea afectado frecuentemente por terremotos.

La mayoría de estos sismos y los eventos de gran magnitud, se originan en la zona del contacto entre placas y corresponden a la liberación súbita de la mayor parte de la energía acumulada durante el proceso de subducción (Ej. Sismos del 6 de abril de 1943 que afectó a la IV Región, 3 de Marzo de 1985 de la V región, sismo del Maule de 2010, sismos de Mayo de 1960 en Valdivia). Los esfuerzos causados por la subducción también se propagan hacia el interior de la placa continental, y se liberan mediante sismos superficiales, normalmente de menor magnitud, pero más destructivos localmente. (Ej. Sismo de Las Melosas de 1958, Sismo de Chuzmisa de 2001). Otros sismos son provocados por la relajación de esfuerzos en la placa de Nazca una vez subductada, estos sismos, a pesar de no tener las mayores

La comuna de Curanilahue se encuentra emplazada en el margen occidental del arco andino, específicamente sobre la Cordillera de la Costa, dentro de la zona de subducción activa entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, lo que define un contexto geodinámico altamente dinámico, tanto desde el punto de vista tectónico como sísmico.

La zona presenta alta sismicidad, principalmente de tipo interplaca, pero también con eventos corticales por fallas locales. Algunos eventos históricos importantes son el terremoto de 1960 (Mw 9.5) y 2010 (Mw 8.8), los cuales afectaron fuertemente la región del Biobío, incluyendo Curanilahue.

7.1.2 Marco geomorfológico

Las condiciones geomorfológicas presentes en la Región del Biobío, según la clasificación propuesta por Borgel, demuestran una distribución clara dentro del tipo de formaciones que se desarrollan, presentándose dirección O-E las siguientes formaciones:

- Planicie marina y/o fluviomarina
- Cordillera de la Costa
- Cuenca granítica marginal
- Llanos de sedimentación fluvial y/o aluvial
- Llano central con morrenas y conos
- Precordillera
- Cordillera andina con retención crionival
- Cordillera volcánica activa

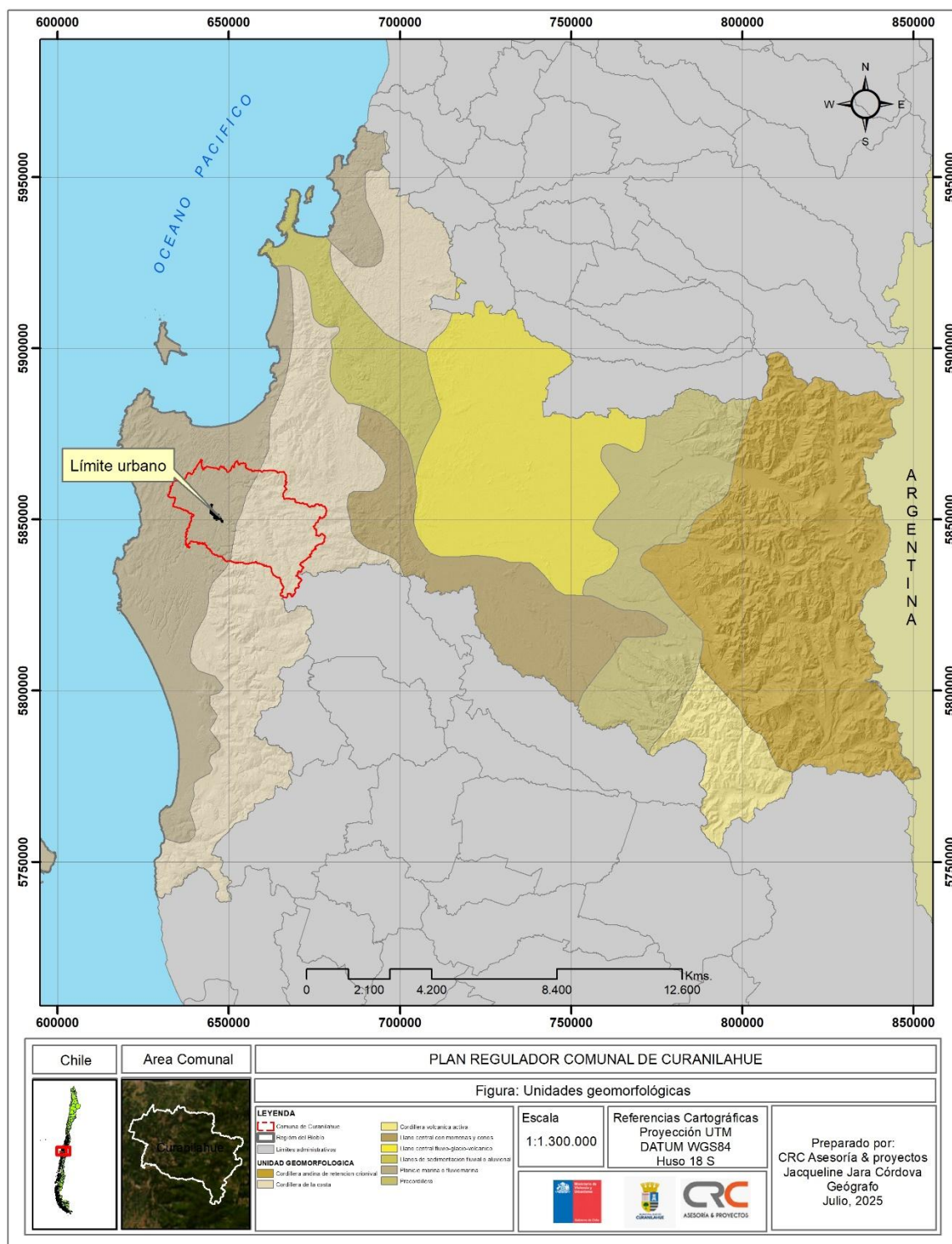
Dentro del relieve de la comuna de Curanilahue destaca la presencia de dos de las macroformas mencionadas, correspondientes a planicies litorales y la cordillera de la Costa, según se describen a continuación:

- **Planicie marina y/o fluviomarina:** Estas determinan una faja costera en la que están presentes, constituida por planicies de abrasión, formadas debido a la acción destructora del mar sobre las rocas, como por sedimentación marina o fluvio-marina, formada por efecto del depósito de material de origen tectónico, con relleno similar y organización lacustre de los materiales.
- **La cordillera de la costa:** Se encuentra fuertemente meteorizada, es decir, desintegrada y descompuesta. Se presenta como una serie de suaves lomajes

alrededor de algunos cerros más altos. Dentro de esta aparecen algunas cuencas graníticas y otras de relleno aluvial, que le dan un carácter muy particular. Desciende gradualmente a la llanura desde alturas cercanas a los 200 m.

La siguiente figura señala la distribución de las formaciones geomorfológicas en la Región del Biobío, donde se puede observar que el actual límite urbano se encuentra localizado en la unidad geomorfológica correspondiente a Planicie marina o fluviomarina.

Figura 8. Unidades Geomorfológicas



Fuente: Modificado de Borgel, 1983

La geomorfología a nivel local en las localidades analizadas está caracterizadas por el despliegue de dos geoformas principales clasificadas como Relieves de Erosión y Relieves de Acumulación.

Los **relieves de erosión** están conformados por Cordones de Cerros que acompañan a las localidades. Estos Cordones de Cerros que presentan altitudes de 200 a 300 metros y están modelados sobre rocas del Eoceno (E1c) que corresponden a secuencias sedimentarias continentales, areniscas, lutitas y mantos de carbón; del Paleoceno Eoceno (PE1) que corresponden a secuencias sedimentarias marinas y transicionales, de areniscas, limolitas calcáreas y mantos de carbón. Ambas de las Formación Curanilahue. La formación Quiriquina se despliega sobre cordones de cerros y plataforma del Cretácico Superior (Ks1m) de secuencias sedimentarias marinas de plataforma, litorales o transicionales, formada por areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásticas y oolíticas, sucesiones turbidíticas. También, se observan Cordones de cerros sobre rocas del Pérmico (P1m) que corresponden a secuencias turbidíticas que infrayacen o están depositadas debajo de las anteriores. Estos relieves conforman la geomorfología de las localidades de Curanilahue y Plegarias.

Para San José de Colico y Colico Norte, los relieves altos corresponden a relieve de meseta, dispuesta sobre la plataforma de baja altitud que contacta el relieve de la Cordillera de la Costa con las planicies litorales de la provincia de Arauco, en ella se inscriben escarpes de erosión de pequeñas quebradas que desaguan al río Carampangue.

A nivel local, lo relevante es que en superficie estas geoformas son frágiles a los procesos de erosión acentuada, eventos de deslizamientos y eventuales derrumbes, que se agrupan como procesos de remoción en masa.

Los **relieves de acumulación** están conformados por los valles fluviales de los ríos Plegarias, Ranas y Río Curanilahue, los que se disponen en tres niveles de terraza, que van desde el cauce del río disponiéndose al este y oeste en una secuencia marcada por escarpes de terraza tenues, de apenas un metro de altitud, lo que señala la fragilidad del área frente a eventos de inundación fluvial por desborde del cauce. En Plegarias se observan dos niveles de terraza y los cordones de cerros de la Cordillera de la Costa. En San José de Colico y Colico Norte el relieve es plano a ondulado, por lo que su susceptibilidad a eventos de remoción en masa es mucho menor.

En el ámbito geográfico, existe una situación caracterizada por la existencia de elementos naturales que condicionan fuertemente el espacio físico del área, como la confluencia del río Curanilahue y el estero Plegarias, que configura una porción de territorio semi plano, angulado frente a las dos barreras de cerros.

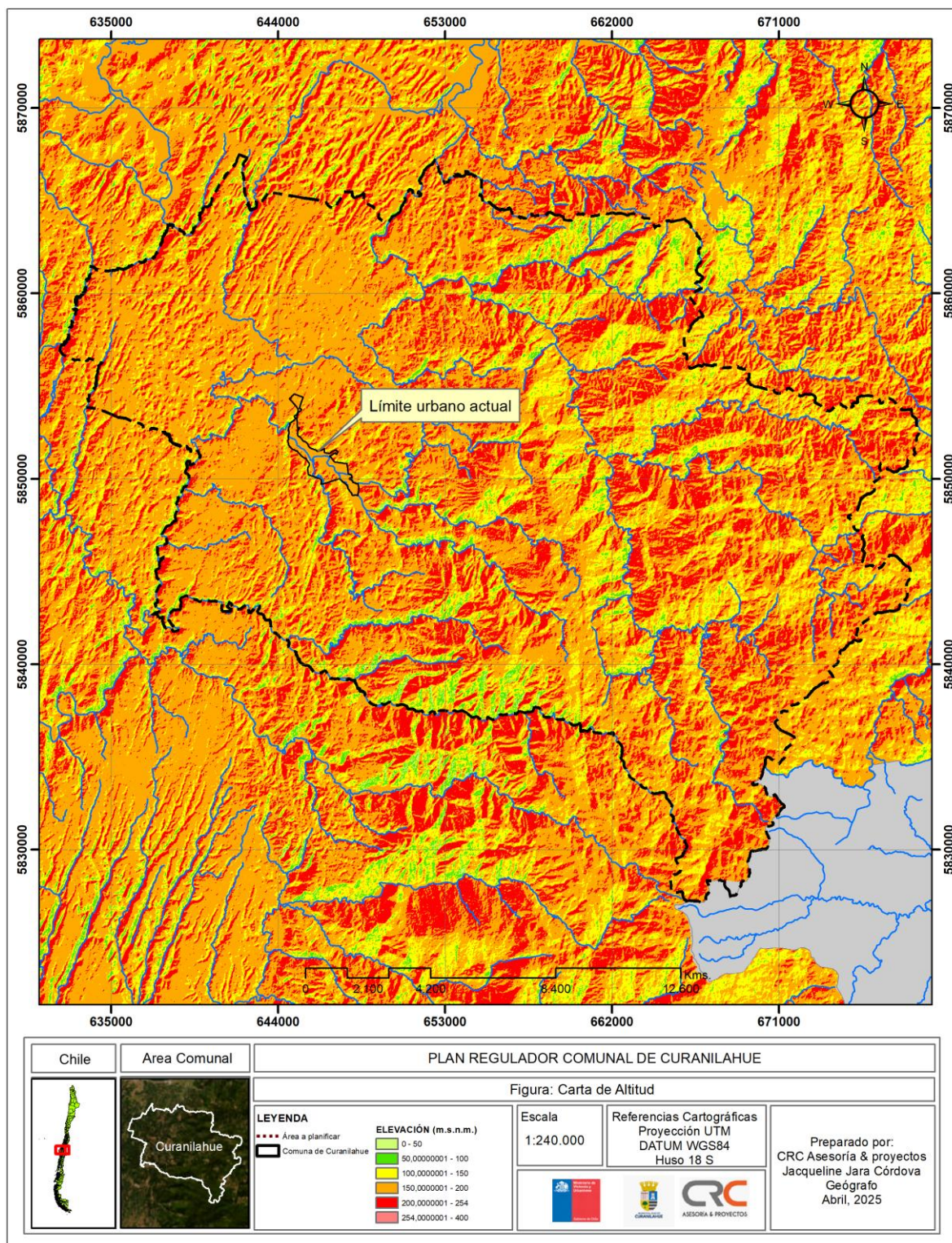
7.1.3 Parámetros morfométricos Región del Biobío.

A continuación, se muestran los parámetros morfométricos de altitud, pendiente, exposición de laderas de la comuna de Curanilahue.

7.1.3.1 Pisos Altitudinales

La topografía de la comuna de Curanilahue es muy variada, con altitudes que van desde el nivel del mar, a lo largo de cursos fluviales, hasta a 400 m.s.n.m. La unidad geomorfológica asociada al área de planificación se describe en términos generales como planicie marina (sectores bajos) y cordillera de la costa, siendo la primera unidad donde se emplaza el actual límite urbano. En la siguiente figura se muestra la cartografía de los pisos altitudinales a escala comunal, luego, a partir de las curvas de nivel de la cartografía base se detalla la información a nivel local (área a planificar).

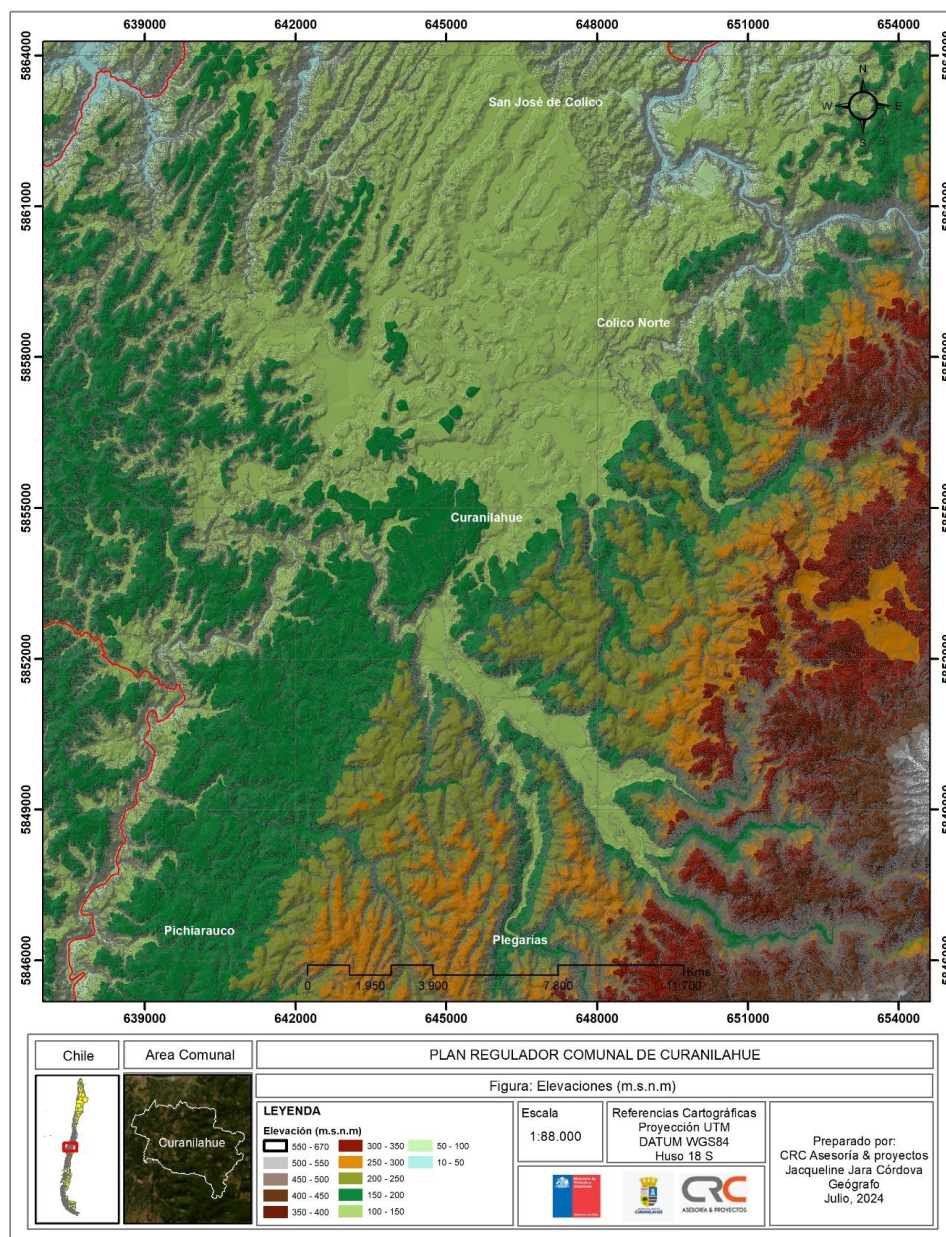
Figura 9. Carta de Pisos Altitudinales Comuna de Curanilahue



Fuente: Elaboración propia a partir de MDT.

En la siguiente figura se muestra con mayor detalle los pisos altitudinales a escala local (área a planificar), donde se puede percibir la existencia de un valle fluvial que se encuentra encajonado por cerros y otros más abiertos. En el fondo de valle, escurren el río Curanilahue, plegarias y Ranas en el sector del actual límite urbano, hacia el norte se encuentra el Estero Chupalla y Albarrada. Hacia el este de las localidades de Colico Norte y San José de Colico, a una distancia mayor a 1 kilómetro se emplaza el Río Carampangue. En la siguiente figura se muestran los pisos altitudinales y las localidades estudiadas.

Figura 10. Mapa de elevación área de estudio



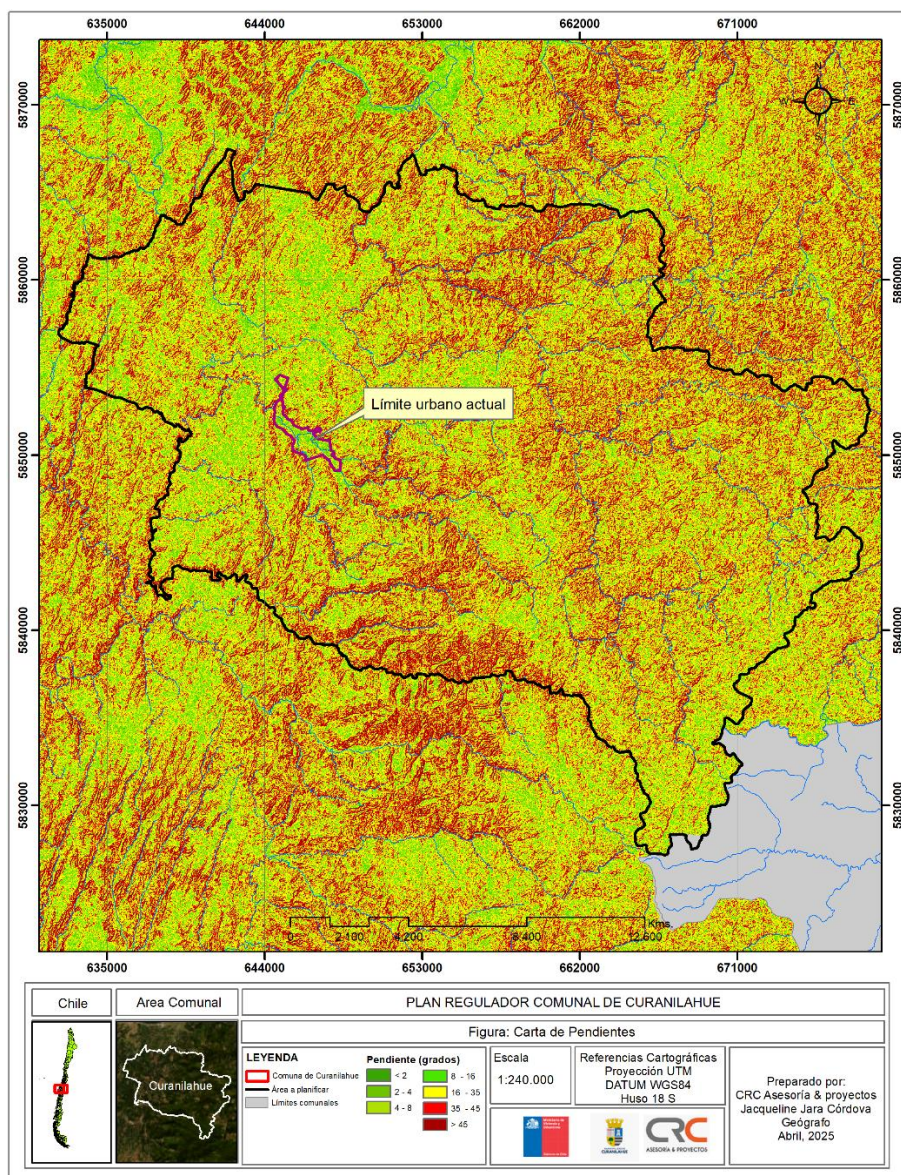
Fuente: Elaboración propia a partir de Curvas Forestal Arauco.

7.1.3.2 Análisis de Pendientes

El área urbana de Curanilahue se encuentra limitada por quebradas y laderas con pendientes fuertes, que constituyen zonas con potencial de remoción en masa tras lluvias intensas y/o eventos sísmicos.

En esta área se observa un predominio de bajas pendientes asociada a las geoformas fluviales, sin embargo, a consecuencia de la falta de espacio, las viviendas se han ido instalando en los pies de las laderas de altas pendientes que condicionan el área a planificar. A continuación, se muestra el área de estudio y la carta de pendientes de la comuna de Curanilahue en su totalidad.

Figura 11 . Rangos de Pendientes Comuna de Curanilahue

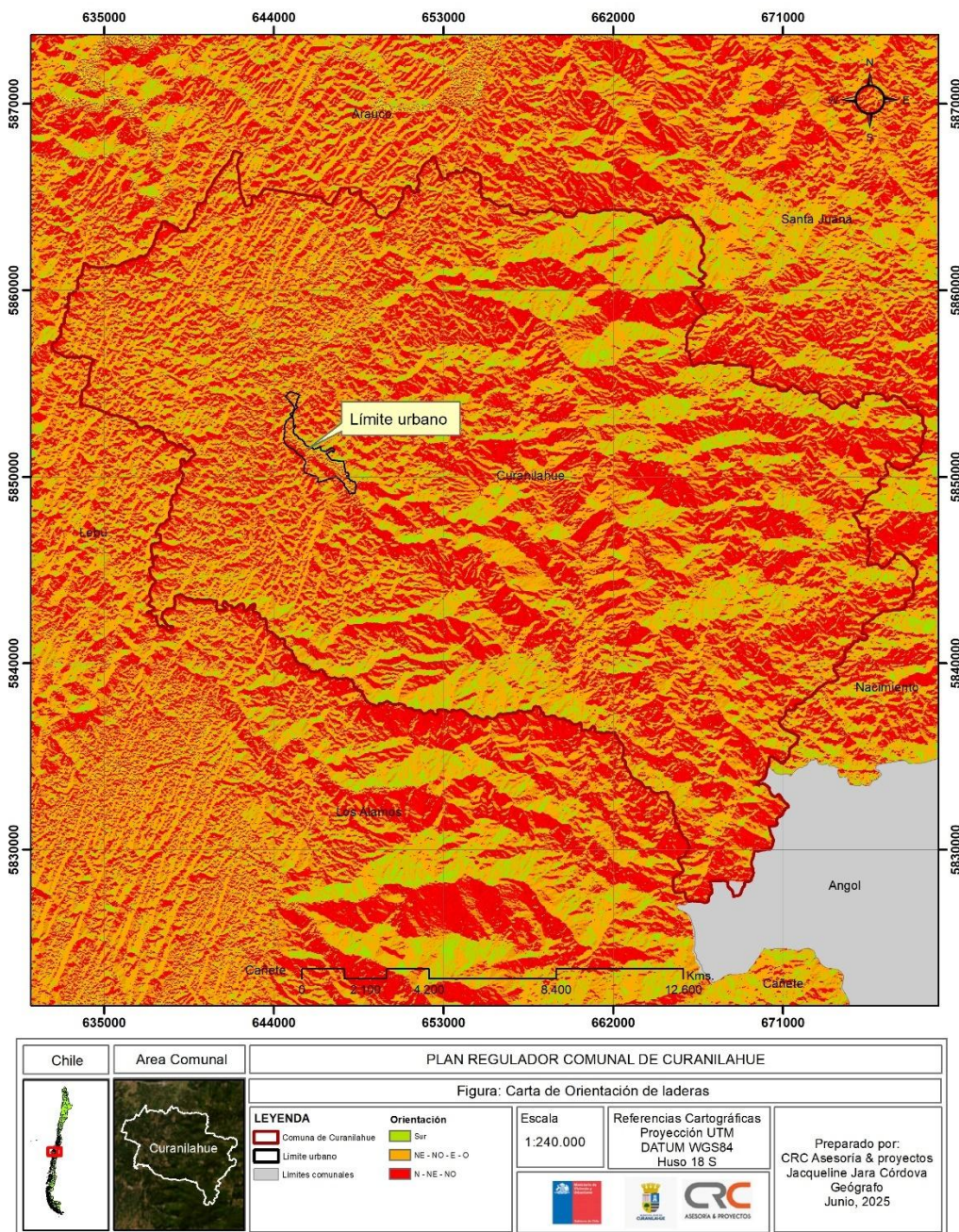


Fuente: Elaboración propia a partir de MDT.

7.1.3.3 Análisis de Exposición de laderas

La orientación de laderas muestra la posición respecto a la insolación, la cual se traduce en condiciones morfológicas y ambientales específicas. A nivel comunal se puede observar que el área de estudio se localiza en un territorio accidentado morfológicamente con predominio de Orientación hacia el norte y sur.

Figura 12. Exposición de laderas Comuna de Curanilahue



Fuente: Elaboración propia a partir de MDT.

7.1.4 Geología

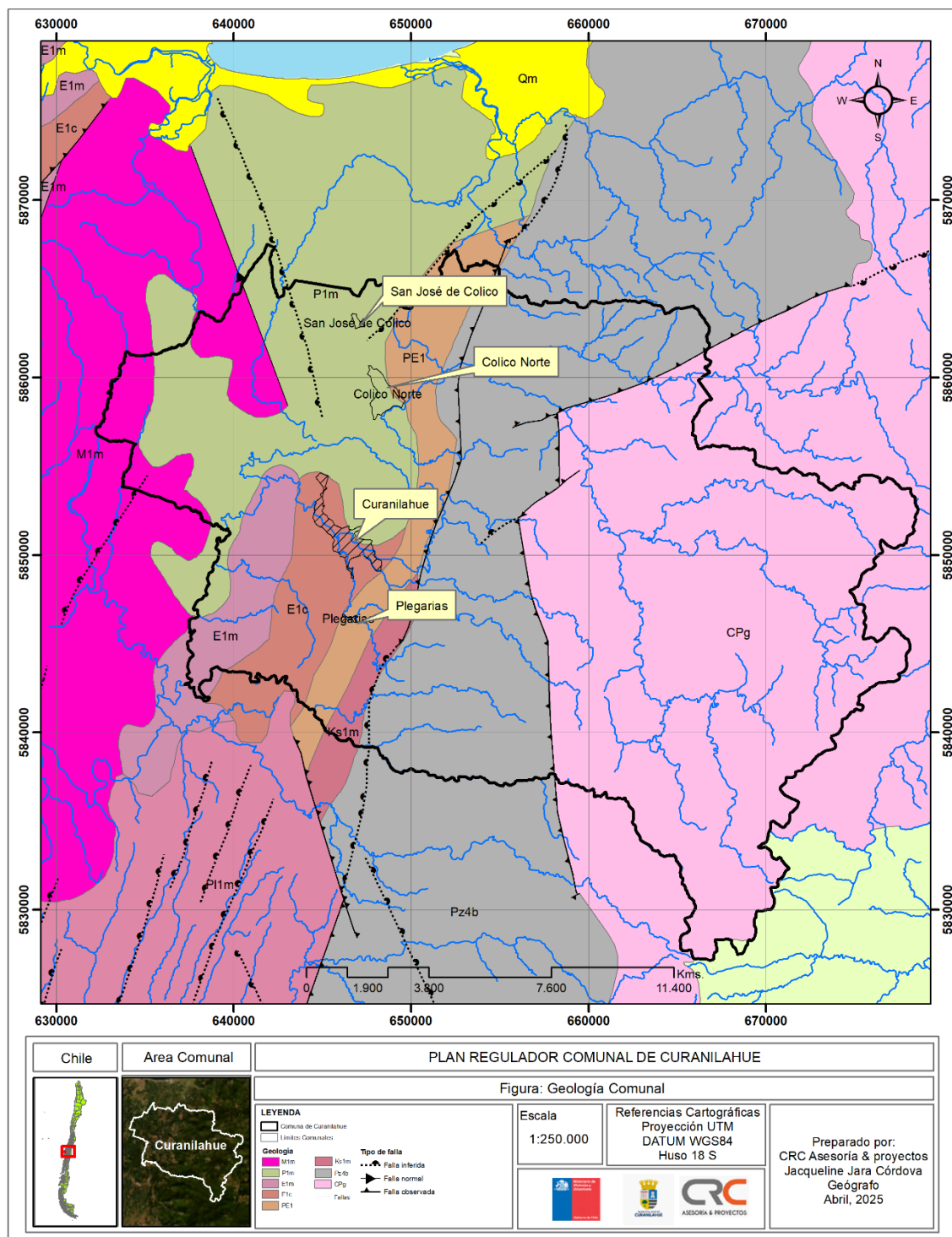
En la Región del Biobío se emplazan rocas del Batolito Costero del Sur de Chile (Hervé et al., 1977) de edad Carbonífero superior (Deckart et al., 2014), y se dispone en una franja NNE-SSW. En el borde oriental está en contacto con el Complejo Metamórfico Acrecionario paleozoico (Creixell, 2001). En el borde costero de la Región se encuentran rocas sedimentarias cretácicas de la Formación Quiriquina (Biró, 1982) y del Paleoceno-Eoceno Formación Curanilahue (Muñoz Cristi, 1968), estas corresponden a secuencias marinas y marino-continentales. En la siguiente figura se pueden observar las unidades geológicas presentes en área de estudio, a partir del Mapa Geológico de Chile, SERNAGEOMIN (2003).

Tabla 3. Unidades geológicas Comuna de Curanilahue

Unidad	Edad	Descripción	Tipo
M1m	Mioceno	Secuencias sedimentarias marinas transgresivas plataformales	Areniscas finas, arcilloitas y limolitas
P1m	Pérmico	Secuencias sedimentarias (marinas)	S/I
E1m	Eoceno	Secuencias sedimentarias marinas	Formación Millongue
E1c	Eoceno	Secuencias sedimentarias continentales parálicas	Areniscas, lutitas y mantos de carbón
PE1	Paleoceno - Eoceno	Secuencias sedimentarias marinas y transicionales	Areniscas, limolitas calcáreas y mantos de Carbón.
KS1m	Cretácico Superior	Secuencias sedimentarias marinas de plataforma, litorales transicionales	Areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásticas y oolíticas, sucesiones turbidíticas
Pz4b	Carbonífero	Rocas metamórficas	Pizarras, filitas y metaareniscas con metamorfismo de bajo gradiente
Cpg	Carbonífero - Pérmico	Secuencias Volcánicas	Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita.

Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN.

Figura 13. Geología Región del Biobío



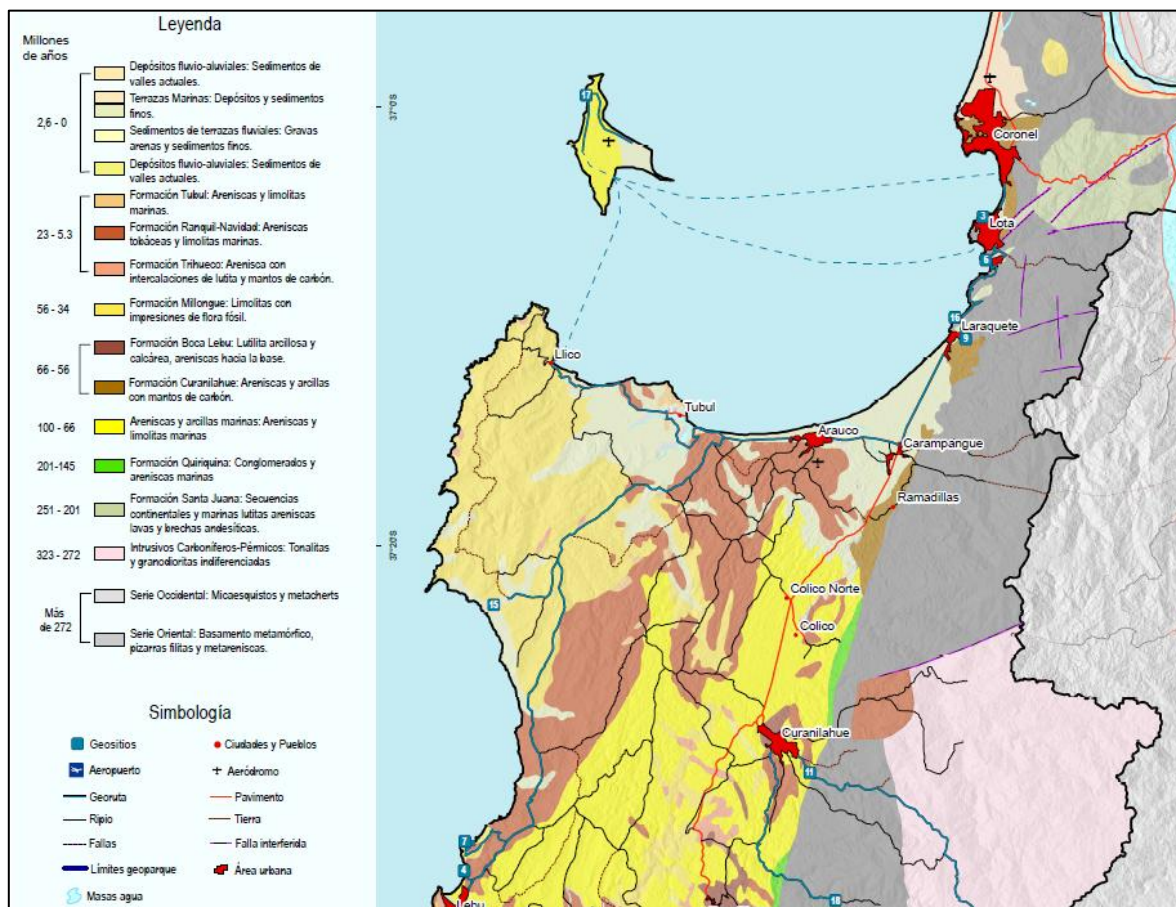
Fuente: Modificado en base a Autor Cartografía Digital Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. SERNAGEOMIN (2003).

Específicamente en la provincia de Arauco y en el área de estudio, localizada al occidente de la Cordillera de Nahuelbuta, se observan rocas del Cretácico Superior- Pleistoceno, conformadas por sedimentos marinos y continentales alzados, los cuales se habrían depositado en una cuenca sedimentaria de régimen tectónico. Las unidades que componen esta cuenca depositacional son: Formación Quiriquina (201 a 145 millones de años) de conglomerados y areniscas marinas; Formación Curanilahue (66 a 56 millones de años) de areniscas y arcillas con mantos de carbón. Estas formaciones con distintas capas carboníferas que se despliegan por las provincias de Concepción y Arauco incluyen los Miembros Lota y Colico, con varios afloramientos en dirección NNE- SSW desde sectores de Tomé por el norte hasta los sectores de Trongol y Pilpilco por el sur. Estas están constituidas por sedimentos inconsolidados (2,6 millones de años hasta el presente), compuestos de Sedimentos de terrazas fluviales, gravas arenas y sedimentos finos y Depósitos fluvio-aluviales, correspondientes a sedimentos de valles actuales. A continuación, se señalan las formaciones existentes en la Comuna:

La Formación Curanilahue, descrita por Muñoz Cristi (1956)¹ es una alternancia de sedimentos marinos y continentales, el cual incluye dos grupos de capas con carbones (Miembro Lota y Miembro Colico) separados por areniscas marinas argílicas. Esta formación está compuesta principalmente por niveles de areniscas de grano medio, en parte conglomerádicas, niveles de lutitas, arcillolitas y mantos de carbón, el color de las rocas varía de tonalidades verdosas a pardas y grises.

¹ Fuente: MUNOZ CRISTI, J. (1956). "Chile", from JENKS W. F.. Handbook of South American Geology. Geol. Soc. Am. Mem. 65, Baltimore

Figura 14. Geología Provincia de Arauco



Fuente: Mapa Geológico (extracto), Proyecto Geoparque Minero Litoral del Biobío (UCSC, web <http://geoparquebiobio.com/>)

Geología Local

La geología local de Curanilahue está dominada por unidades sedimentarias del Cenozoico, en particular del Eoceno y Mioceno, que forman parte de la Cuenca del Carbón de Arauco. Este territorio presenta una configuración compleja debido a la interacción entre procesos tectónicos, sedimentarios y climáticos, que han influido en la formación de su estratigrafía y estructuras geológicas.

Este sector está influenciado por la interacción tectónica de la subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, lo que ha generado diversas estructuras geológicas, incluyendo fallas y plegamientos significativos.

La ciudad de Curanilahue, emplazada en las serranías occidentales de la Cordillera de Nahuelbuta, en el valle del río Curanilahue. El valle está conformado por terrazas fluviales y depósitos fluviales actuales del río Curanilahue y los esteros afluentes La Rana y Plegarias. Los cerros sobre las cuales ha sido modelado el relieve local, están constituidos por rocas sedimentarias de la Formación Curanilahue (SERNAGEOMIN, 2012).

Las terrazas fluviales están conformadas principalmente por limos, arcillas y arenas finas, con algunos fragmentos de rocas, mientras que los depósitos fluviales actuales y terrazas bajas, corresponden principalmente a depósitos antrópicos con intercalaciones de basura y residuos mineros procedentes del lavado de carbón (carboncillo, limos y fragmentos de roca) los cuales son eliminados directamente hacia el río desde las numerosas plantas de lavado que se localizan en la ciudad. Esto ha causado un problema de embancamiento del río por la acumulación de material de desechos mineros y basura, motivo por el cual, el lecho del río debe ser periódicamente despejado para permitir el flujo normal del agua (SERNAGEOMIN, 2012).

Las rocas sedimentarias de la Formación Curanilahue, corresponden a una secuencia de rocas de origen continental, formada por areniscas y lutitas, intercaladas con mantos de carbón. En superficie, estas rocas muestran un alto grado de meteorización química lo cual descompone las rocas, originando suelos arcillosos. La potencia de los suelos es variable, entre 0,5 y 3 m, aumentando en los sectores deprimidos topográficamente, debido a la acumulación de agua que acelera la descomposición química. En el pie de los cerros, se acopian depósitos gravitacionales originados por fenómenos de erosión, de remoción en masa y desmontes mineros (SERNAGEOMIN, 2012).

En general, los suelos de la Provincia de Arauco han sido intensamente utilizados para el cultivo silvícola, por esta razón, actualmente la vegetación original ha sido sustituida por plantaciones forestales principalmente de pino y eucalipto. Esto provoca un aumento en la susceptibilidad de los suelos a la generación de eventos de remoción en masa debido a que quedan expuestos a los agentes atmosféricos cada vez que ocurre una cosecha, con la consiguiente pérdida de suelo por efecto de la erosión (SERNAGEOMIN, 2012).

Formación Tubul

La formación Tubul fue descrita primeramente por Feruglio (1949), quien caracteriza estos sedimentos como areniscas grisáceas medias a finas, con diverso contenido fósil y abundante materia orgánica. Su sección tipo aflora en la desembocadura sur del río Tubul, en forma de abruptos farellones que caen directamente al mar y que alcanzan los 100 m de espesor (Pineda, 1983); en la costa del golfo de Arauco, entre punta Pichicui y Las Peñas (desembocadura norte del río Raquí); y, esporádicamente, en el lomaje cercano a la costa en el camino que une las localidades de Las Peñas y Arauco (Pineda, 1986). Corresponde a depósitos marino-someros locales asociados a horst y graben. La cuenca de Arauco ha sufrido diversos episodios de alzamiento y subsidencia tectónica, generando transgresiones y regresiones marinas, además de cambios de facies tanto laterales como verticales (Pineda, 1983). Sobreyace en discordancia angular a las formaciones del Mioceno y Eoceno, e infrayace a los depósitos del Pleistoceno y

Holoceno. Martínez y Osorio (1968) atribuyen a esta formación una edad del Plioceno Temprano, basándose en 6 foraminíferos plantónicos y 9 bentónicos, los cuales sugieren un ambiente de aguas relativamente profundas y vinculadas con plataforma externa, próximas a 10° C y de mar abierto, en estrecha concordancia con lo establecido por las formas plantónicas.

Las principales especies de foraminíferos en esta secuencia son: *Globigerina pachyderma*, *Globorotalia grassaformis*, *Uvigerina bifurcata*, *Angulogerina angulosa* y *Nonionella auris* (Pineda, 1983).

Formación Boca-Lebu

Definida por Muñoz Cristi (1956), quien establece su localidad tipo en el lado sur de la desembocadura del Río Lebu. Constituida por limolitas y areniscas muy finas, arcillosas y fosilíferas, que contienen niveles de concreciones calcáreas, dentro de los cuales es frecuente encontrar pinzas de crustáceos. Hacia el techo de la secuencia hay sedimentos más gruesos que poseen gran cantidad de materia orgánica. Esta formación se distribuye en toda la zona de Arauco, en el sector Oriental en franjas paralelas en Río Carampangue, en Río Curanilahue, en Estero Paso Hondo, en Río Trongol y en Río Pilpilco. En el sector occidental, los afloramientos se pueden seguir a lo largo de la costa sur de Lebu y al sur de Punta Lavapié en Raimenco (Tavera 1942; Muñoz Cristi, 1946 & 1968; García, 1968, en Pineda, 1983).

Esta formación se dispone en el sector oriental concordante sobre la Formación Curanilahue y en el sector occidental sobreyace concordante a la Formación Quiriquina (Pineda, 1983). Sobre la Formación Boca-Lebu descansa concordante la Formación Trihueco (Muñoz Cristi, 1956). 21

La Formación Boca Lebu es asignada al Eoceno Inferior, sobre la base del contenido fosilífero descrito por Tavera (1942). Sus fósiles más característicos son: *Nassa araucana*, *Tellina carbonaria* var. *complanata*, *Turritella landbecki* y *Mytilus striatus*.

Formación Trihueco

La Formación Trihueco de edad Eoceno Medio, se genera posterior a la depositación marina de Boca Lebu, producto de una regresión del mar, lo que permite la depositación de sedimentos continentales, (Muñoz Cristi 1946 y 1956; García, 1968). Sin embargo, se reconocen intercalaciones marinas, lo que indica una oscilación en la línea de costa

En el sector oriental los afloramientos de Formación Trihueco corresponden a facies reductoras, en las que se pueden encontrar mantos de carbón que se formaron en lagunas pantanosas formadas en planicies aluviales que bordeaban la costa; en la parte occidental reaparecen las facies continentales con contenido carbonífero, producto de un área emergida parcialmente (Muñoz Cristi 1946 y 1956; García, 1968)

La base del Plioceno muestra una depresión destacada en la parte central del Golfo de Arauco (Vieytes et al., 1993). Al oeste de la ciudad de Arauco, se encuentra la parte más profunda de la cuenca, con 373 m de espesor. Hacia el Sur la cuenca se someriza, desapareciendo el Plioceno 8 km al Sur de San José de Cólico.

Formación Curanilahue

Descrita inicialmente por Muñoz Cristi (1946) como "Piso Curanilahue", quien lo separa en cuatro horizontes, que de base a techo son: Pilpilco, Lota, Intercalación y Colico. Posteriormente en el año 1956, el mismo autor, se refiere al antiguo "Piso Curanilahue" como *Curanilahue Formation*. Finalmente, es en el año 1968 donde Muñoz Cristi nombra la Formación Curanilahue y divide esta secuencia de base a techo en: Miembro Lota, Miembro Intercalación y Miembro Colico. Tanto el Miembro Lota como el Miembro Colico contienen mantos de carbón (nueve y cinco respectivamente) que actualmente no son explotados. Su localidad tipo fue definida en la zona de Curanilahue en la parte oriental de la meseta de Arauco, donde se ubican los yacimientos de carbón del mismo nombre (Pineda, 1983).

La Formación Curanilahue consiste en una secuencia sedimentaria continental, constituida principalmente por areniscas, en parte conglomerádicas y arcillolitas asociadas a mantos carboníferos, con intercalaciones marinas, correspondientes a areniscas verdes fosilíferas (Pineda, 1983). La potencia estimada de esta formación es de 500 m (Muñoz-Cristi, 1968).

Sobre la base del contenido fosilífero de gastrópodos y bivalvos presentes en el Miembro Intercalación (marino), Muñoz Cristi (1956) determina una edad Eoceno Inferior para la Formación Curanilahue.

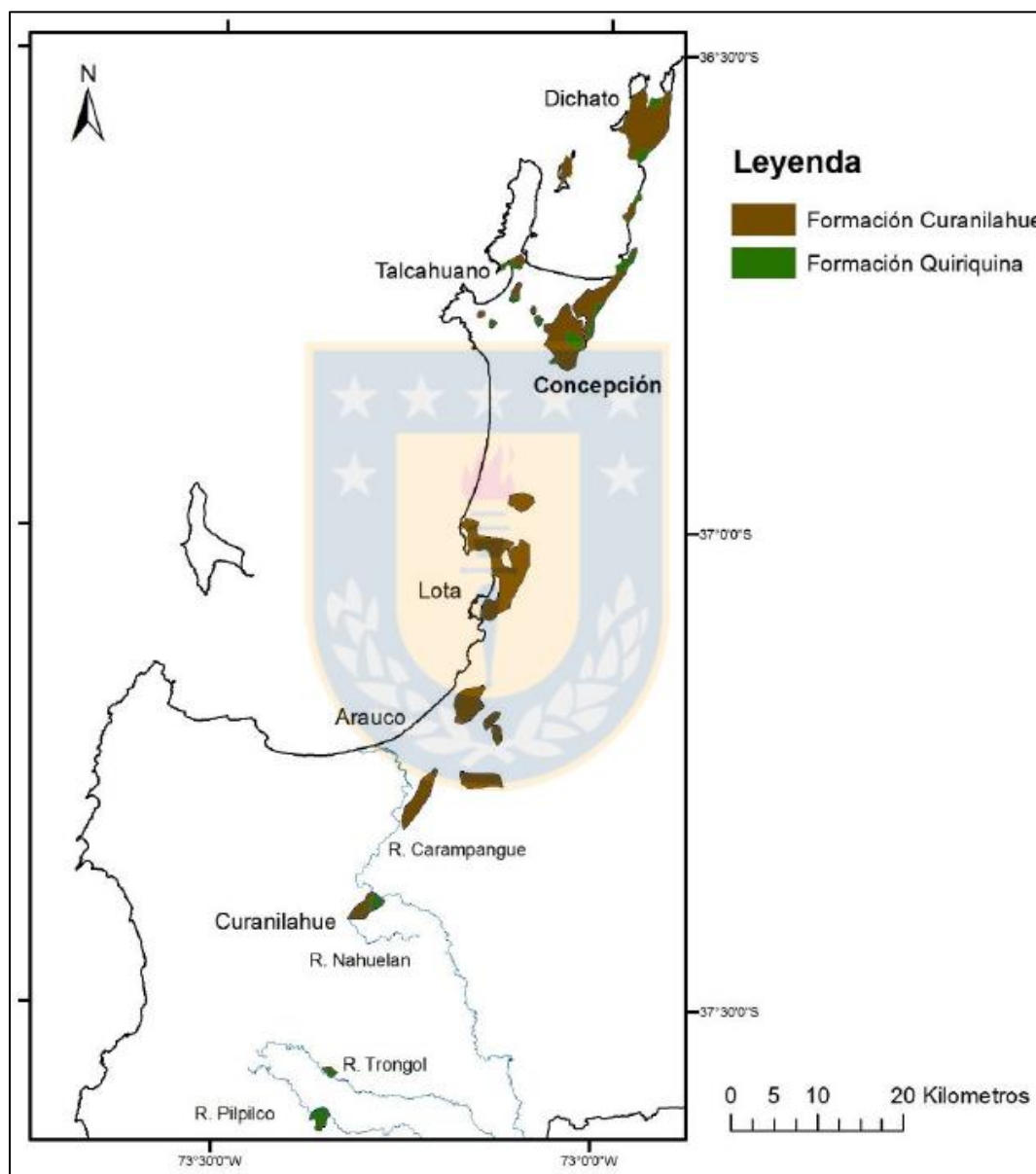
La Formación Curanilahue es correlacionada con la Formación Cosmito definida por Galli (1967) debido a sus similitudes litológicas (García, 1968) y con la Formación Cerro Alto definida por Frutos & otros (1982) en la Isla Quiriquina.

Esta unidad de roca sobreyace concordante sobre las formaciones Pilpilco y Quiriquina, y en discordancia (actualmente inconformidad) sobre el basamento metamórfico (Pineda, 1983). El contacto superior con la Formación Boca Lebu es concordante.

Basamento Metamórfico

El Basamento Metamórfico es parte del Basamento Cristalino del Paleozoico de Chile Central que está constituido por rocas metamórficas e intrusivas que afloran a lo largo de la Cordillera de la Costa entre los 32° y 42° S (Hervé y otros, 2007). Las rocas metamórficas se dividen en dos 11 franjas paralelas llamadas Serie Oriental (baja presión y alta temperatura) y Serie Occidental (alta presión y baja temperatura), que pueden ser diferenciadas tanto por su petrografía, mineralogía, condiciones de metamorfismo, protolitos y estructuras, éstas representan un antiguo complejo acrecionario de subducción. En la Península de Arauco, la Serie Oriental forma parte de la Cordillera de Nahuelbuta y está compuesta por metapsmitas, metapelitas, rocas córneas y gneises (Pineda, 1983). La Serie Occidental no aflora en la Península de Arauco, pero existen estudios de subsuelo (sondajes) que demuestran su presencia en la península (Pineda 1983), está constituida por metagrauvacas, micaesquistos, metabasitas, esquistos azules, serpentinitas y chert (Vásquez, 2001).

Figura 15. Afloramientos Formaciones Quiriquina y Curanilahue



Fuente: Inostroza Amigo, Alex (2018). Discusión estratigráfica de las Formaciones Quiriquina, Pilpilco, Curanilahue, Cosmito y Cerro Alto, de la Provincia de Concepción y norte de la Provincia de Arauco. Región del Biobío, Chile. Universidad de Concepción.

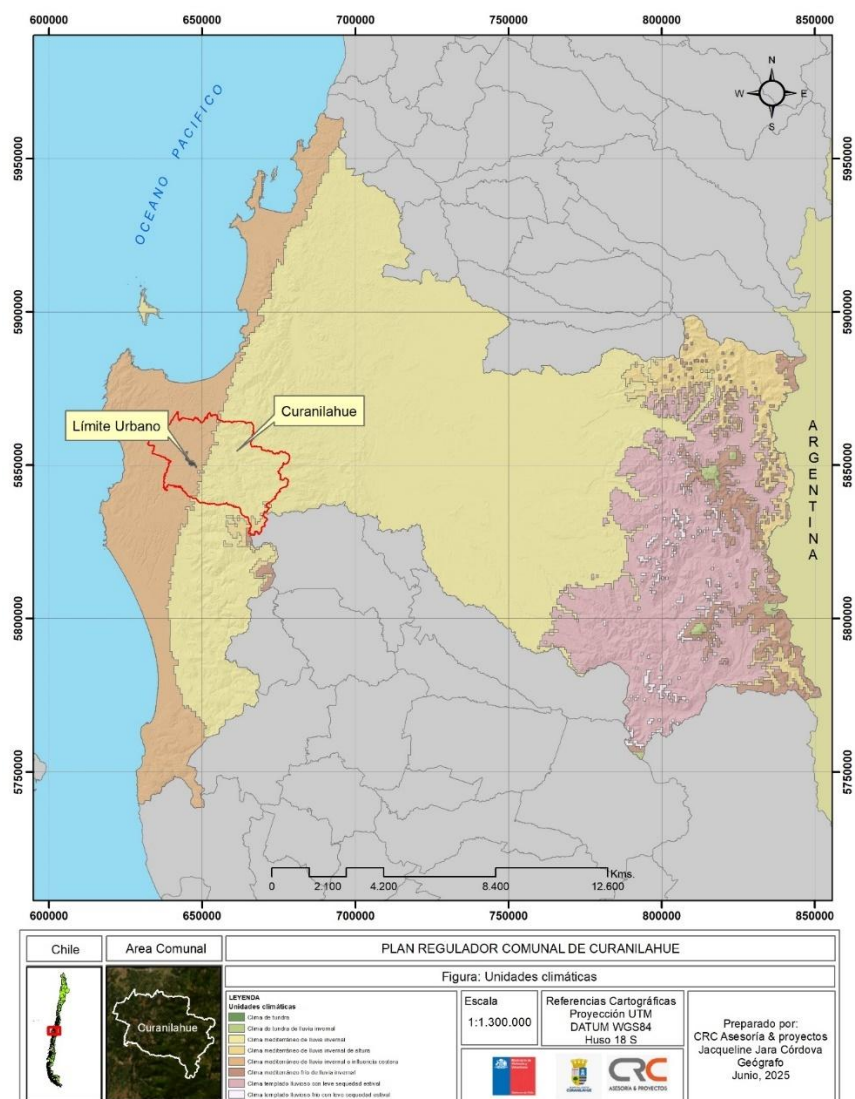
A nivel local, la geología en el área de estudio se desarrolla, principalmente, en sedimentos inconsolidados contemporáneos, correspondientes a los valles fluviales donde se asientan las localidades de Curanilahue, San José de Colico y Pegarias. Por su parte los relieves altos se modelan por cordones de cerros de mediana altura, que corresponden a la Formación Curanilahue, caracterizada por una secuencia de rocas sedimentarias del tipo areniscas y lutitas, intercaladas con mantos de carbón.

En superficie estas rocas muestran un alto grado de meteorización química que descompone las rocas originando suelos más bien arcillosos. La potencia de los suelos es variable entre 2 y 5 m, aumentando en los sectores deprimidos topográficamente por la acumulación de agua que acelera la descomposición química. Además, en el pie de los cerros, se acumulan depósitos que han sido arrastrados gravitacionalmente desde los sectores más altos por fenómenos de erosión y de remoción en masa, dando paso a depósitos fluvio-aluviales. En Curanilahue se registra una **Falla Curanilahue**, incluida en el inventario de fallas cuaternarias chilenas

7.1.5 Clima

La región del Biobío advierte determinados tipos climáticos de acuerdo a la latitud en la que se encuentra y la topografía/orografía. De esta forma, según lo indicado por Rioseco y Tesser (2014), en la región se puede encontrar la incidencia climática de las regiones del Maule y la Araucanía, implicando por tanto un clima de transición entre el centro y sur del país. En la siguiente figura se señalan las unidades climáticas presentes en la región del Biobío, de acuerdo con la clasificación desarrollada por Köppen (Rioseco y Tesser, 2014) donde se puede observar que las unidades presentes en la comuna en estudio corresponden a mediterráneo de lluvia invernal y mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera, siendo esta última donde se emplaza el área urbana de la comuna.

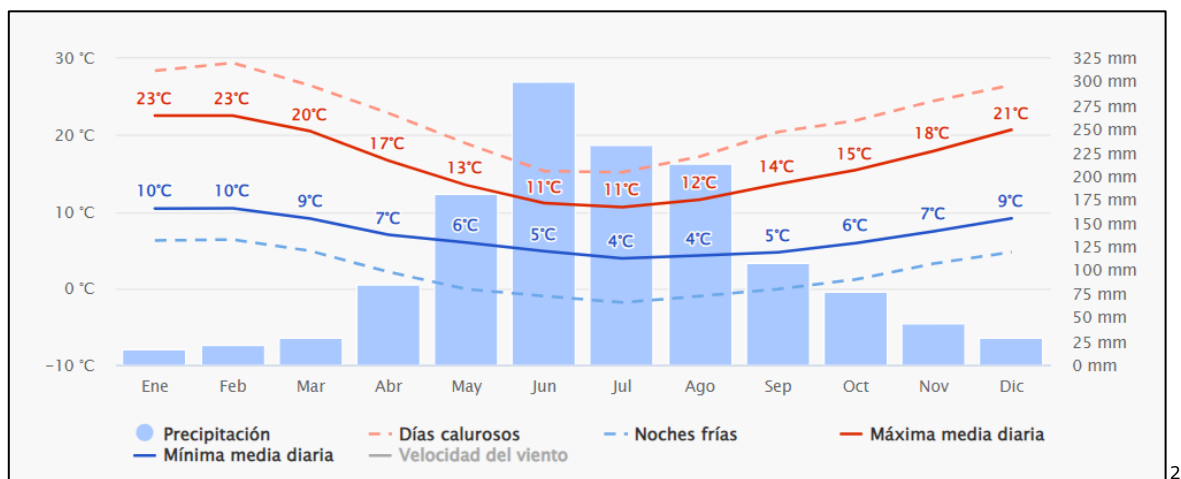
Figura 16. Clima Región del Biobío (Köppen)



Fuente: Elaboración propia a partir de Köppen 1: 1.500.000.

El clima en la Comuna de Curanilahue corresponde a clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera (Csb (i)) y clima mediterráneo de lluvia Invernal (Csb) caracterizado por precipitaciones que fluctúan entre los 1.300 y 2.000 mm anuales repartidos durante todo el año, con un período corto seco de tres meses en la estación de verano. En cuanto a las temperaturas, estas alcanzan un promedio anual de 16 °C, concentrándose las más altas en la estación de verano.

Figura 17. Precipitaciones y temperaturas medias Comuna de Curanilahue



Fuente: Datos en línea MeteoBlue.

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/curanilahue_chi_le_3892892

A partir de las estaciones meteorológicas de "Curanilahue" y "Río Curanilahue en Curanilahue" de la DGA, se extrajo y analizó la información referida a precipitaciones mensuales y precipitaciones máximas anuales en 24 horas. A continuación, se muestran los datos de cada estación considerada y las cuales son graficadas en la figura 5.

Tabla 4. Datos Estación Curanilahue

Estación:	CURANILAHUE				
Código BNA:	08700001-K	Altitud (msnm):	146	UTM Norte (mts):	5850012
Cuenca:	RIO LEBU	Latitud S:	37° 29' 06"	UTM Este (mts):	647496
SubCuenca:	Rio Curanilahue	Longitud W:	73° 19' 54"	Área de Drenaje (km2):	0,00

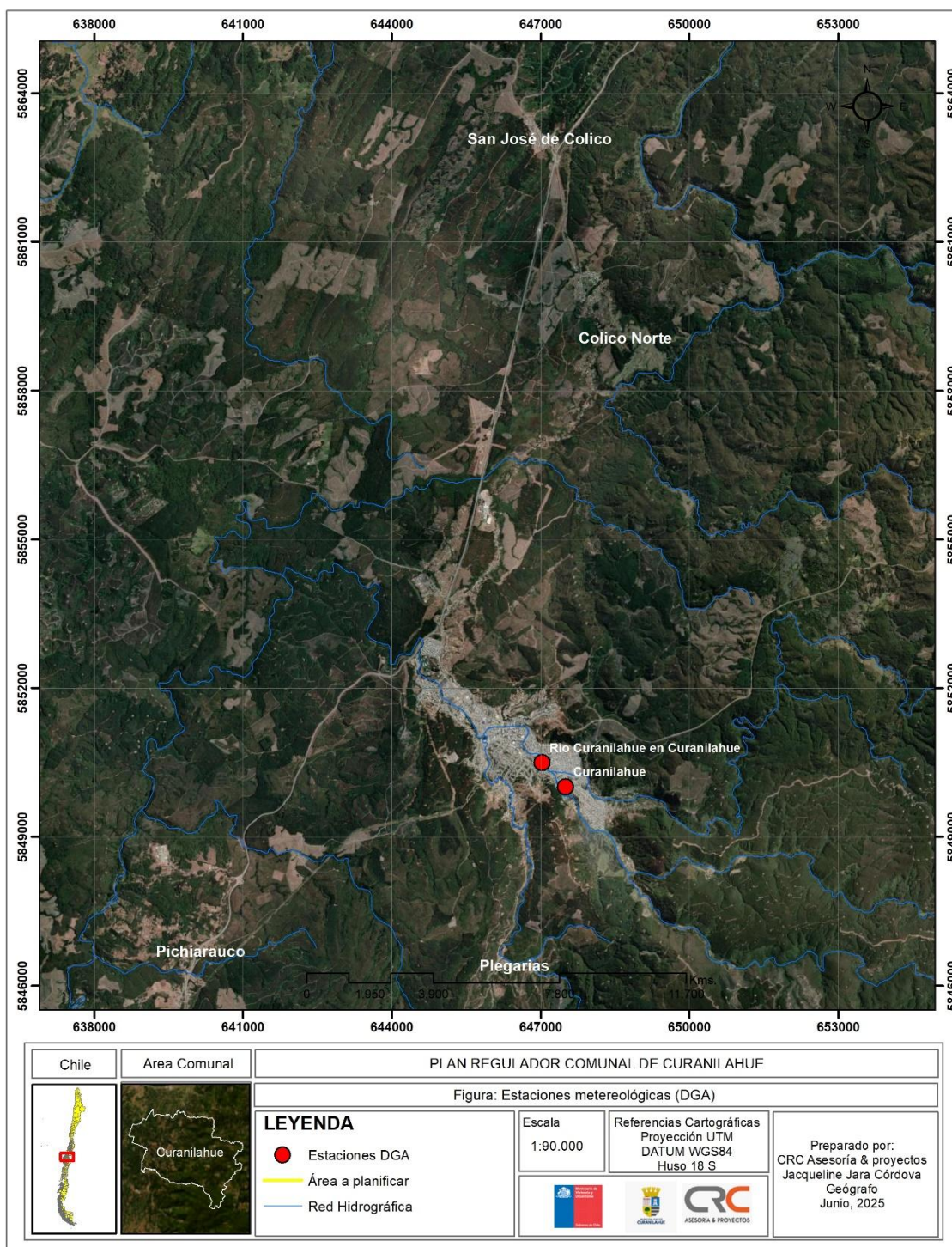
Fuente: Elaboración propia a partir de DGA.

Tabla 5. Datos Estación Río Curanilahue en Curanilahue

Estación:	RIO CURANILAHUE EN CURANILAHUE				
Código BNA:	08700002-8	Altitud (msnm):	149	UTM Norte (mts):	5850498
Cuenca:	RIO LEBU	Latitud S:	37° 28' 50"	UTM Este (mts):	647022
SubCuenca :	Rio Curanilahue	Longitud W:	73° 20' 13"	Área de Drenaje (km2):	104,00

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA.

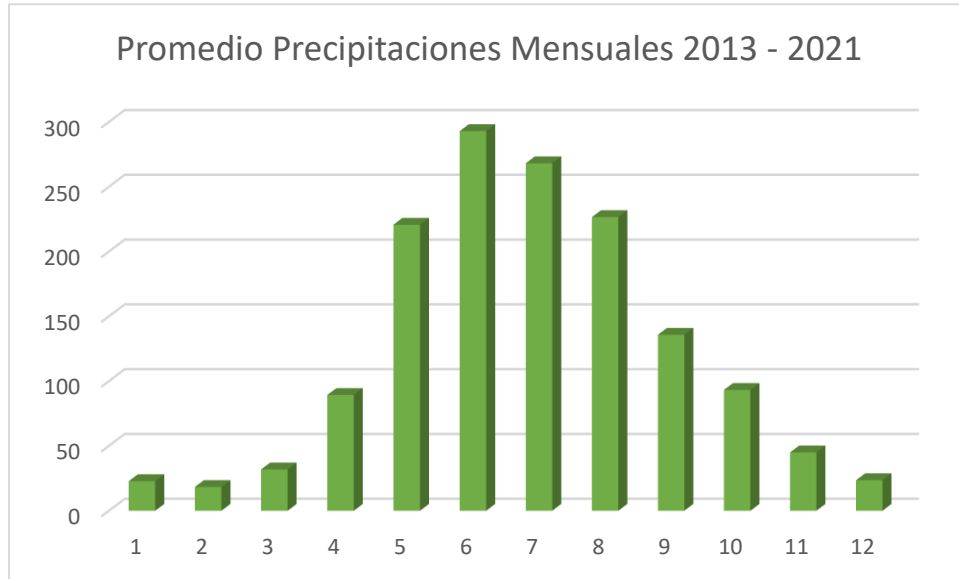
Figura 18. Estaciones meteorológicas utilizadas



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA.

En la siguiente figura, se muestran las precipitaciones mensuales que han ocurrido en el periodo 2013 – 2021. La información fue levantada a partir de la Estación Meteorológica Río Curanilahue en Curanilahue (08700002-8), perteneciente a la cuenca del Río Lebu.

Figura 19. Promedio Precipitaciones Mensuales 2013 - 2021



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA.

También se expone la información de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm) ocurrido en el periodo 2000 – 2021. La información fue levantada a partir de la Estación Meteorológica Curanilahue (08700001-K), perteneciente a la cuenca de Lebu.

Tabla 6. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm) periodo 2000 - 2021

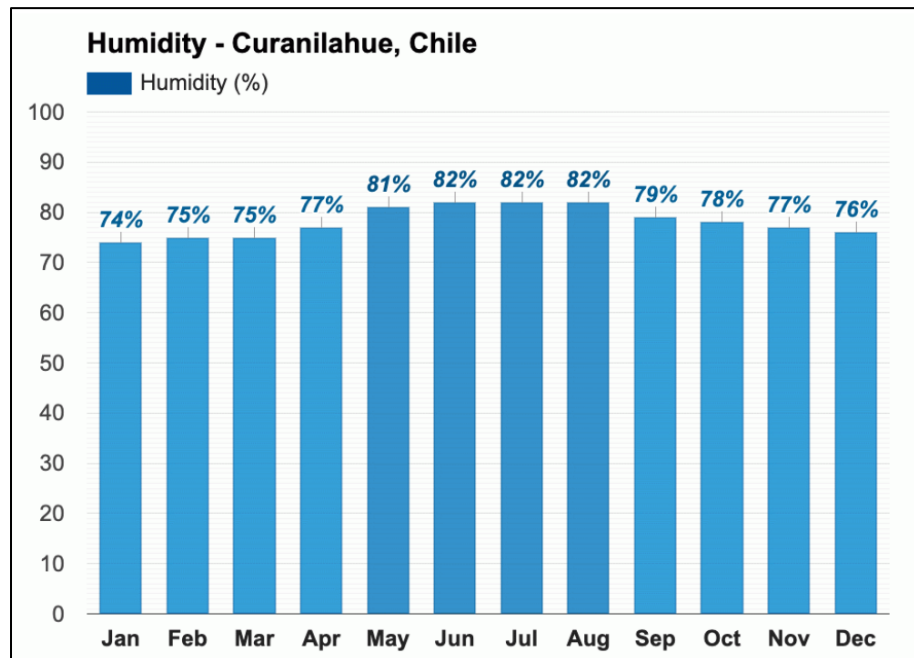
AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)
2000	02/06	149,00
2001	31/07	135,00
2002	11/10	124,00
2003	18/06	103,00
2004	04/08	94,00
2005	26/06	137,00
2006	06/06	175,00
2007	12/08	92,00
2008	18/05	207,00
2009	23/08	109,00
2010	16/08	117,00
2011	12/04	78,00

AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)
2012	12/06	105,00
2013	27/05	83,00
2014	13/05	100,00
2015	05/08	72,00
2016	25/11	56,20
2017	16/06	200,00
2018	27/05	58,50
2019	26/06	91,00
2020	09/07	80,00
2021	28/01	48,20

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA.

Los meses con la humedad relativa más alta son junio, Julio y Agosto (82%). El mes con la humedad relativa más baja es Enero (74%).

Figura 20. Humedad media Curanilahue



Fuente: Datos en línea MeteoBlue.

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/curanilahue_chile_3892892

7.1.6 Hidrología

El entorno natural de Curanilahue se caracteriza por los cordones de cerros que se desprenden de la Cordillera de Nahuelbuta, cuyas formaciones geológicas, presentan cumbres con características de mesetas (1.269 m.s.n.m. Cerro Piedra), esto dado por el proceso de erosión hídrica, el cual ha modelado el paisaje formando valles profundamente encajonados y otros más bien abiertos, en donde se ubican los poblados más importantes (PLADECO 2011 - 2015)

Las cuencas Hidrográficas principales en las que se emplaza la Comuna de Curanilahue corresponden a las cuencas de Río Lebu y Río Carampangue. El área consolidada (Curanilahue y Plegarias) se encuentra inserta en la Cuenca del Río Lebu, en específico subcuenca Río Curanilahue, destacando en su interior el Río que lleva el mismo nombre, Río Ranas y los esteros Chupalla y Plegarias. Las localidades de Cólico Norte y San José de Cólico se encuentran insertos en la Cuenca del Río Carampangue, en específico la subcuenca Río Carampangue entre arriba R. Colorado y desembocadura. Al Sur de Cólico Norte se encuentra ubicado el Río Nahuel.

La cuenca del Río Lebu corresponde a una cuenca exorreica de régimen pluvial, es otra de varias que se desarrollan en el espacio geográfico entre la cordillera de Nahuelbuta y el océano Pacífico, en la región del Biobío. Tiene una extensión de 855 Km², comprendida entre las coordenadas extremas, los paralelos 37023' y 37040' L.S. y los meridianos 73008' y 73040' L.O, del total de su superficie el 45% se encuentra en la comuna de Curanilahue.

A continuación, se muestran las cuencas, subcuencas y red hidrográfica de la comuna de Curanilahue.

Tabla 7. Cuencas y subcuencas en la comuna de Curanilahue

Cuenca	Superficie (km ²)	% Comunal	Subcuenca
Río Lebu	385	38	Río Curanilahue
			R. Lebu entre junta ríos Curanilahue y Pilpilco y desembocadura
			Río Pilpilco
Río Carampangue	586	58	Río Carampangue entre arriba R. Colorado y desembocadura
			Río Carampangue entre Estero Animas y Río Colorado
			Río Carampangue hasta bajo junta Estero Animas
Costeras Carampangue - Lebu	28	3	Costeras entre Río Carampangue y Punta Lavapie
			Río Quiapo

Cuenca	Superficie (km ²)	% Comunal	Subcuenca
Río Biobío	7	1	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja

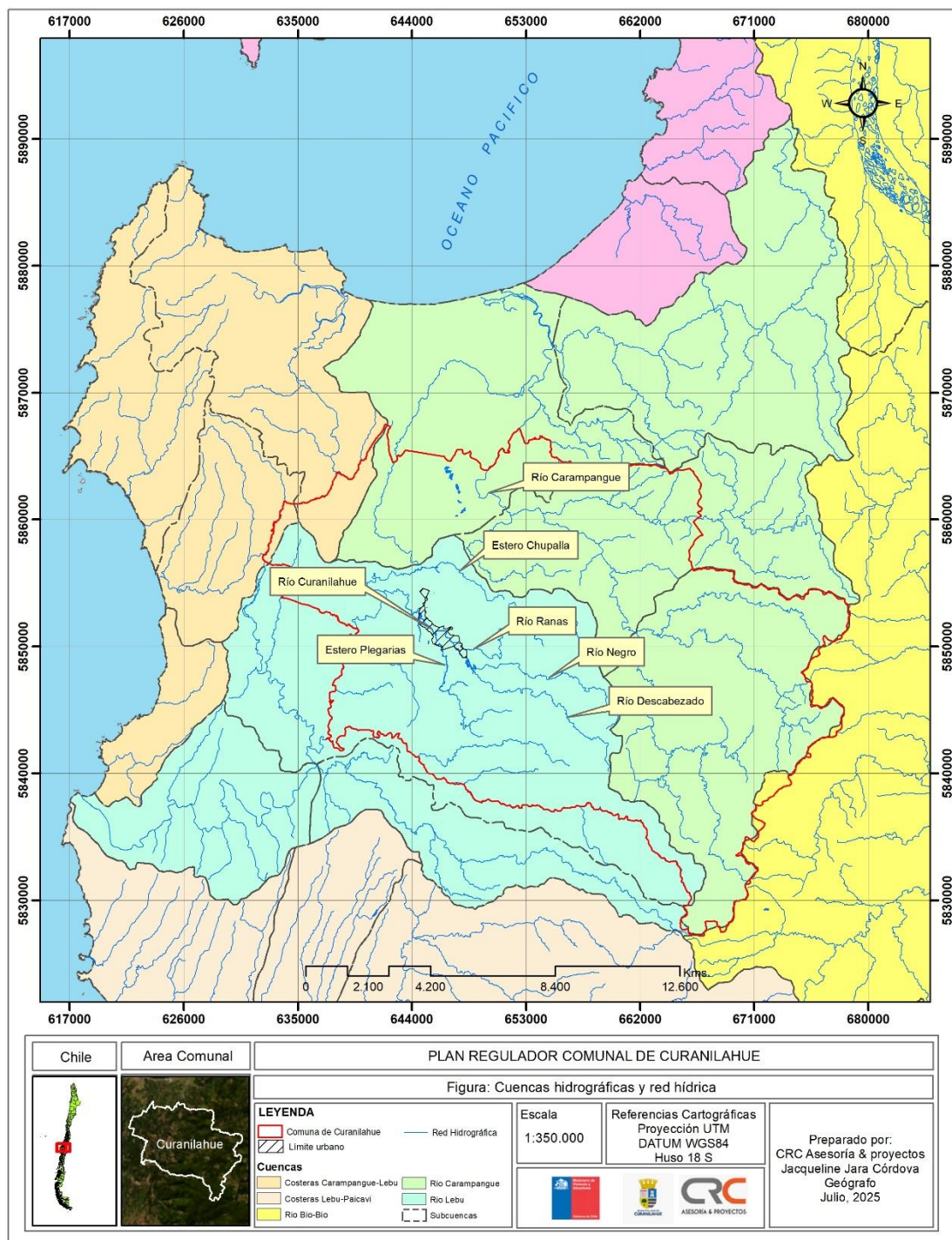
Fuente: Elaboración propia a partir de información de DGA, 2024.

Los ríos de la comuna se caracterizan por nacer en la Cordillera de Nahuelbuta y tener un régimen pluvial. Los ríos más destacados son: Carampangue, Trongol, Nahuel y Curanilahue.

En el área de estudio se identifican los siguientes cursos de agua:

- **Río Curanilahue**, el cual corresponde a un curso natural de agua que nace en la confluencia del río Negro y el río Descabezado, ambos drenan las laderas occidentales de la cordillera de Nahuelbuta. Fluye inicialmente hacia el NO y bordea la ciudad de Curanilahue a 45 km de su origen. Tras otros 28 km de recorrido se le une el río Pilpilco y nace allí el río Lebu. Numerosos son los afluentes que van engrosando las aguas del Curanilahue. En la ciudad de este nombre se junta por su ribera derecha el río Ranas que viene del oriente. En la misma ciudad se junta por la izquierda el estero Plegarias que proviene directamente del sur. En su punto de alcance más boreal, donde cambia de dirección, cae al Curanilahue desde el norte el estero Chupalla que proviene de la línea de despluvio norte, con un recorrido casi paralelo a ella. En el sector oriental de las localidades de Colico Norte y San José de Colico se emplaza el Río Carampangue en dirección NE, de este nace el Río Nahuelan, el cual se emplaza al SE de la localidad de Colico Norte a aproximadamente 1 kilómetro. A continuación, se grafican las cuencas y la red hidrográfica de la comuna de Curanilahue.

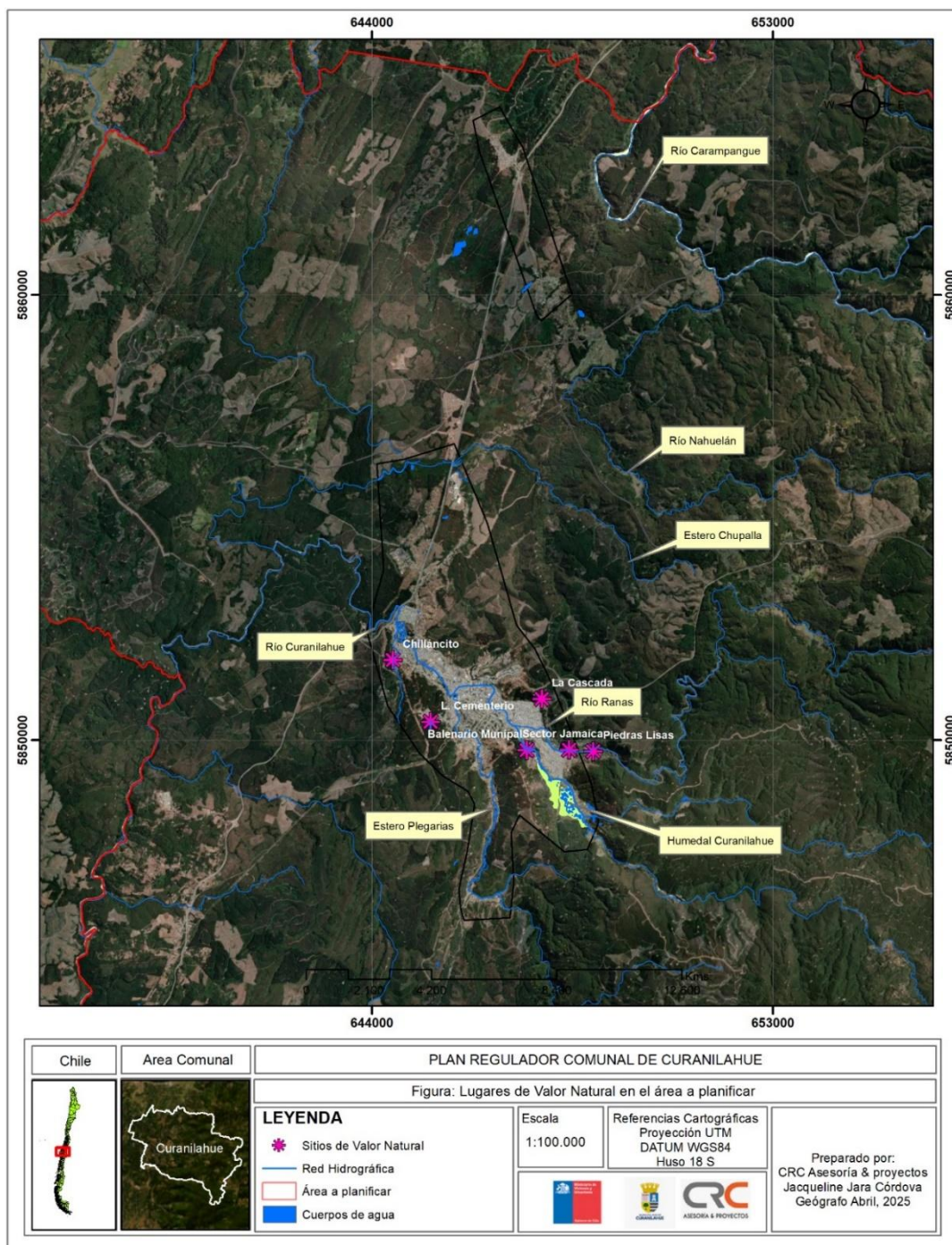
Figura 21. Cuencas Hidrográficas y red hídrica Comuna de Curanilahue



Fuente: Elaboración propia.

En el área de estudio se encuentran también las lagunas y esteros claves como: laguna Cementerio, laguna Chillancito, estero del sector La Cascada, balnearios municipales, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 22. Cuencas Hidrográficas y red hídrica Comuna de Curanilahue

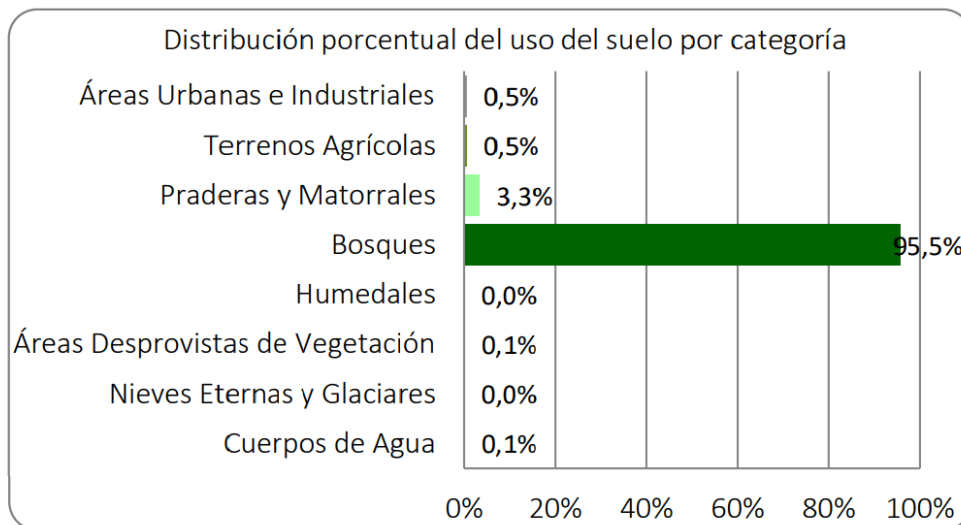


Fuente: Elaboración propia.

7.1.7 Vegetación

En relación al uso de suelo, la comuna de Curanilahue presenta una superficie total de 99.259,2 ha, de ellas, el uso áreas urbanas e industriales representan el 0,5% (1.057,1 ha), 0,5% de la comuna son terrenos agrícolas (1.113,3 ha), lo sigue el uso praderas y matorrales con 3,3% (1.948,2 ha) de la superficie, el uso bosque con 95,5% (10.281,1 ha), el 0,1% (759,2 ha) de uso áreas desprovistas de vegetación y finalmente el 0,1% (ha) con uso cuerpos de agua (Catastro de uso de suelo y vegetación”, CONAF, año 2008). En la siguiente figura, se muestra la distribución porcentual del uso de suelo por categoría de vegetación.

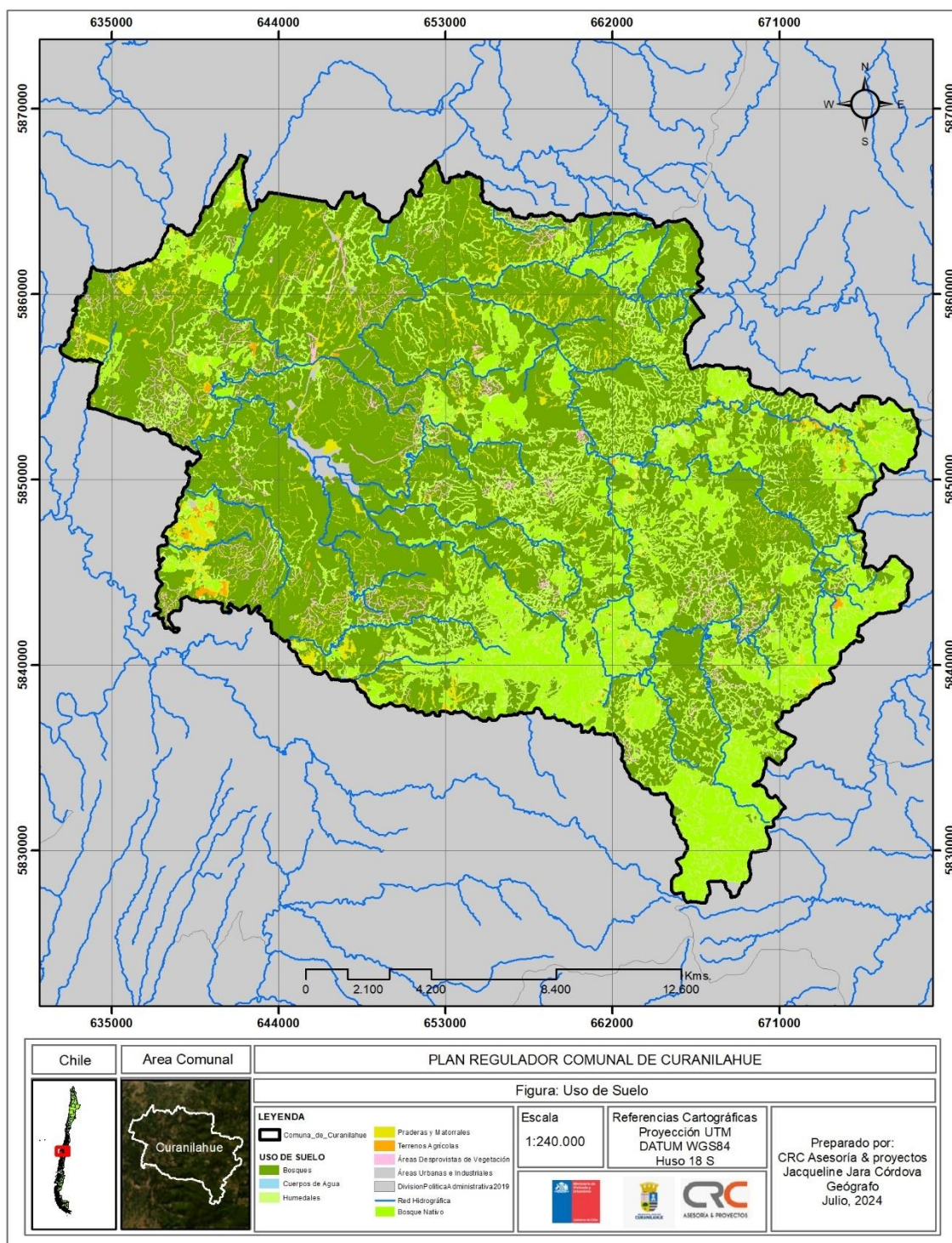
Figura 23. Distribución porcentual del uso de suelo por categoría vegetación



Fuente: Catastro de uso de suelo y vegetación, CONAF (2008).

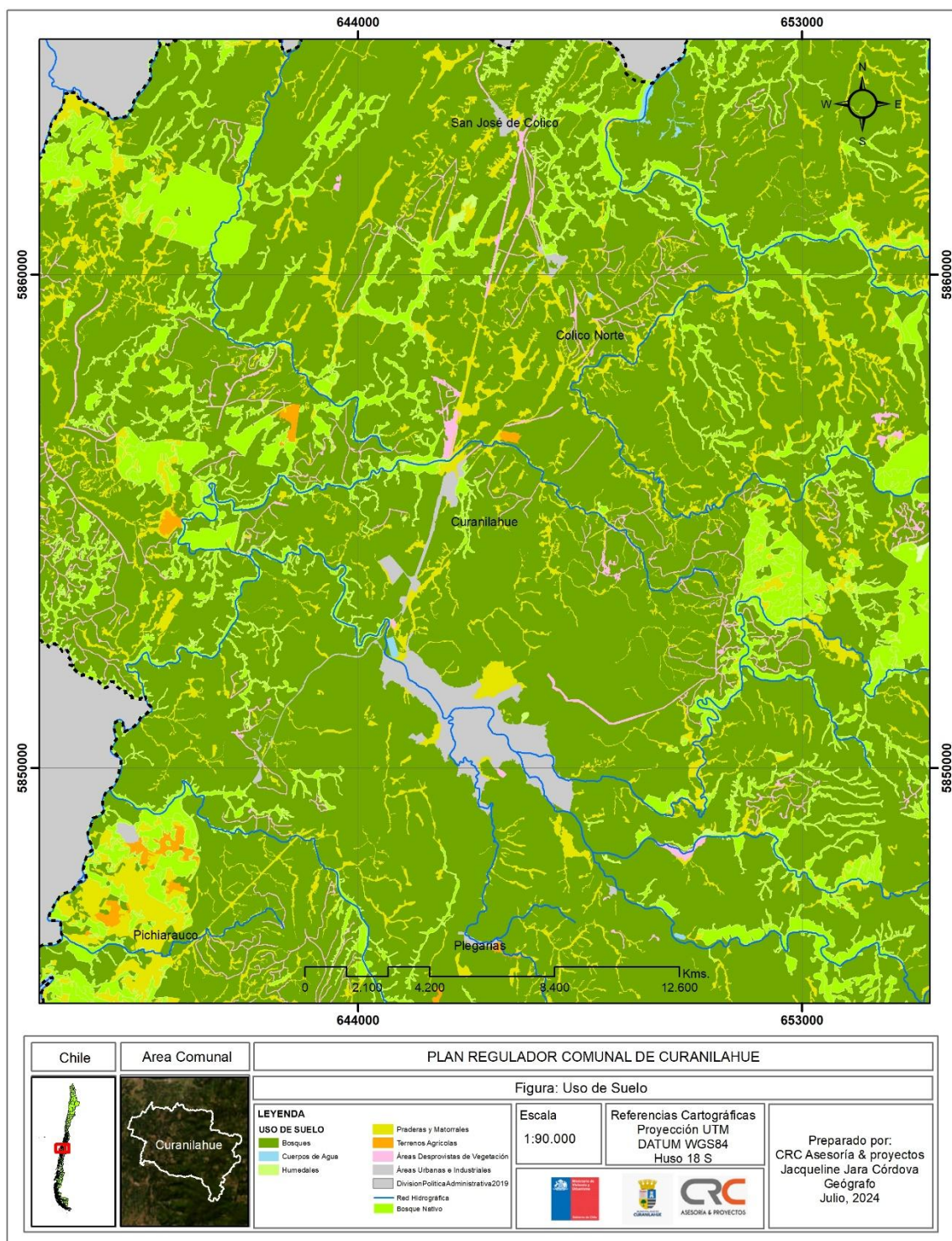
Respecto a lo graficado en la figura anterior, la superficie correspondiente a las áreas urbanas e industriales comprende ciudades, pueblos y zonas mineras, los terrenos agrícolas, son los suelos de uso agrícola y suelos con rotación de agricultura y praderas. La superficie de praderas y matorrales corresponde a pradera, praderas y matorrales, matorral, matorral arborescente y matorral con suculentas. Por otra parte, la superficie de bosque está compuesta por bosque nativo, bosque mixto y plantaciones forestales. Finalmente, las áreas desprovistas de vegetación comprenden áreas con afloramientos rocosos y cajas de río. A continuación, se muestra los usos de suelo para la comuna.

Figura 24. Uso de Suelo Comuna de Curanilahue



Fuente: Elaboración propia a partir de CONAF.

Figura 25. Uso de suelo área de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir Carta IGM 1:50.000.

En cuanto a la información de CIREN sobre clases de suelo, en la comuna de Curanilahue predomina la clase VII, correspondiente a suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos. Su uso fundamental es pastoreo y explotación forestal.

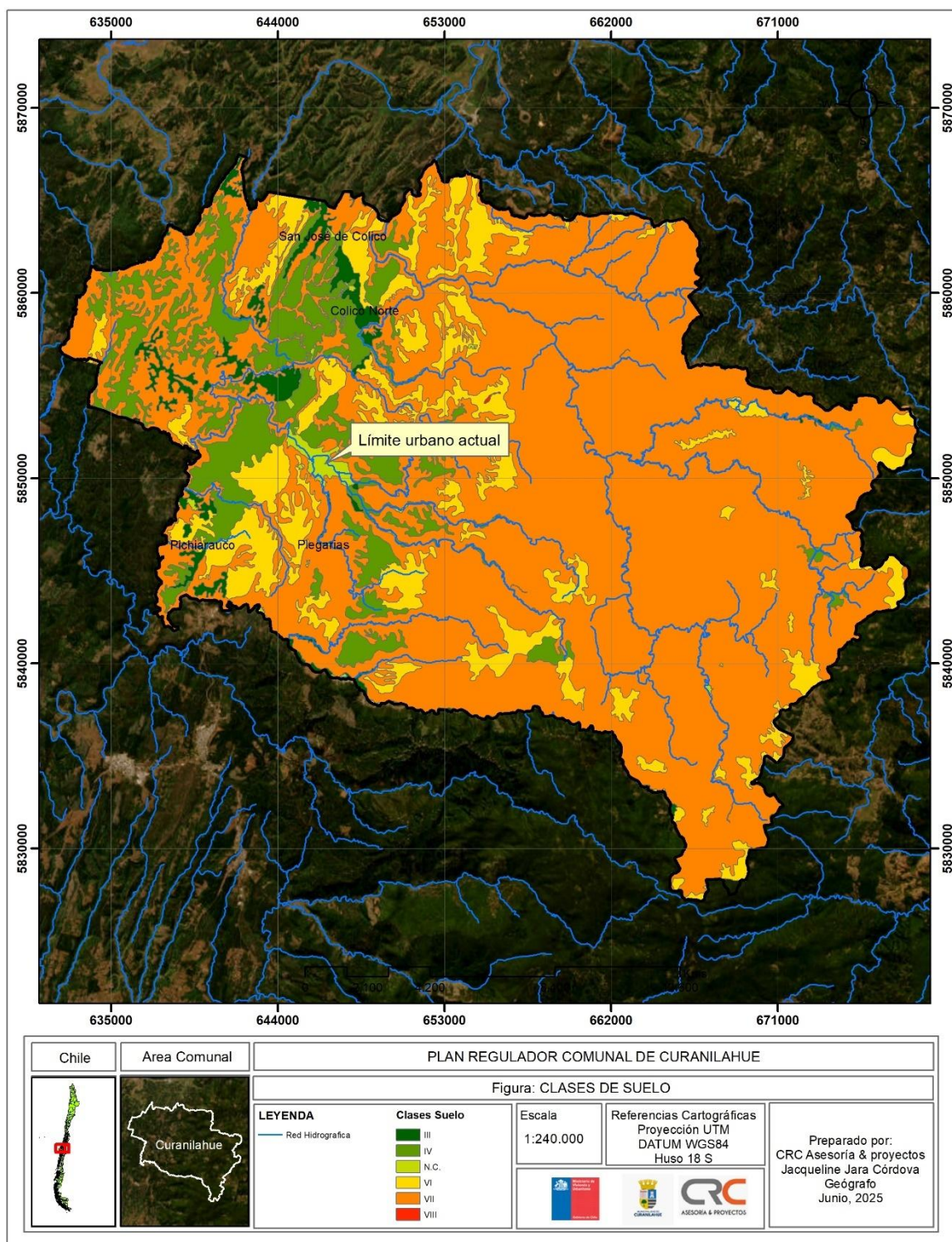
Tabla 8. Descripción Suelos Agrológicos.

Suelo	Descripción	Atributos Críticos
I	Tienen pocas limitaciones que restrinjan su uso. Los rendimientos que se obtienen, utilizando prácticas convenientes de cultivo y manejo, son altos en relación con los de la zona. Para ser usados agrícolamente, se necesitan prácticas de manejo simples con el fin de mantener la productividad.	No existe atributo crítico por tratarse de suelos con las siguientes características: • Suelos planos o casi planos. • Profundos. • Sin pedregosidad superficial y subsuperficial. • Texturas medias. • Bien drenados. • Erosión no aparente.
II	Presentan ligeras limitaciones que Pueden afectar el desarrollo de los cultivos, por lo que podría requerir algunas prácticas de conservación. Las restricciones más frecuentes son: pendientes hasta 5%, profundidad no inferior a 70 cm o drenaje moderado	• Suelos suavemente inclinados o ligeramente ondulados. • moderadamente profundos. • Texturas medias, que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos que la clase anterior. • drenaje moderado. • ligeramente pedregosos en el perfil. • ligera erosión.
III	Presentan limitaciones al laboreo en el caso de suelos con pendientes cercanas a 8% o en por presentar hasta un 15% de pedregosidad en superficie. También puede presentar limitaciones de arraigamiento para especies con raíces profundas. Los suelos de esta clase requieren prácticas de conservación de suelo.	• moderadamente inclinados o suavemente ondulados. • ligeramente pedregosos y gravosos • ligeramente profundos. • Texturas finas a gruesas. • drenaje imperfecto. • moderada pedregosidad en el perfil. • moderada erosión. • inundación frecuente. • ligeramente sódicos. • ligeramente salinos.
IV	Terrenos que pueden presentar riesgo de erosión por pendientes, por lo que requiere prácticas de conservación en el laboreo del suelo. Estos suelos corresponden a la última categoría de suelos arables sin grandes riesgos de erosión con un manejo adecuado. Aun	• fuertemente inclinado o moderadamente ondulado. • abundante pedregosidad superficial. • delgados. • Texturas finas a muy gruesas. • drenaje imperfecto

Suelo	Descripción	Atributos Críticos
	cuando pueden presentar otras limitaciones, poseen pendientes de hasta un 15% o bien una profundidad no superior a 40 cm.	• moderada pedregosidad en el perfil. • erosión moderada. • inundaciones frecuentes. • moderadamente sódico. • moderadamente salino.
V	Suelos inundados con presencia de especies vegetales de características de hidromórficas. Por lo general corresponden a suelos depresionales, sin cota suficiente para evacuar exceso de agua. Presentan generalmente una estrata impermeable como por ejemplo un horizonte plácico o una estrata arcillosa. Regularmente presenta una estrata superior con un alto contenido de materia orgánica (sobre 20%)	• Pobrementemente drenados a muy pobrementemente drenados, con inundación permanente.
VI	Corresponden a suelos no aptos para laboreo cuando el parámetro de restrictivo es la pendiente. Su uso normal es ganadería y forestal, salvo cuando han sido clasificado en esta categoría por condiciones de salinidad (> 4 dS/m), situación en la cual su uso está dado por la adaptabilidad de ciertas especies a suelos salinos.	• moderadamente escarpados o de lomajes. • abundante pedregosidad superficial. • Profundos a delgados. • Texturas finas a muy gruesas. • excesivamente drenado. • abundante pedregosidad en el perfil • erosión severa. • fuertemente sódicos. • muy salino.
VII	Son suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos. Su uso fundamental es pastoreo y para explotación forestal. Las restricciones de suelos son más severas que en la Clase VI.	• escarpados o de cerros. • Muy delgados. • muy abundante pedregosidad superficial • Texturas finas a muy gruesas. • excesivamente drenado. • muy severa erosión. • inundaciones muy frecuentes. • muy fuertemente sódico. • Extremadamente salinos
VIII	Corresponde a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoya hidrográficas.	• Dos a o más atributos críticos de la clase VII a la vez.

Fuente: SAG (2011).

Figura 26. Clases de suelo Comuna de Curanilahue



Fuente: Elaboración propia a partir de CONAF.

7.2 Catastro y delimitación de peligros

7.2.1 Peligro de Inundación, SERNAGEOMIN y Municipio

En el estudio elaborado por SERNAGEOMIN denominado "Geología para la Reconstrucción y la Gestión de Riesgo" se señala que la ciudad de Curanilahue tiene una población de 30.000 habitantes y 5.900 viviendas aproximadamente, de las cuales en periodos de inundaciones por desborde se ven afectadas entre 120 y 500 viviendas por eventos de inundación.

En el estudio se definen las inundaciones como la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel del río, del mar, o de canales artificiales con capacidad limitada de evacuar aguas.

Por otra parte, el anegamiento, corresponde a una inundación del terreno, ya sea por un aumento del nivel freático, niveles superiores del suelo de baja permeabilidad o por topografías deprimidas que no permiten drenar bien el agua.

Entre los factores condicionantes cuentan; una baja pendiente topográfica, rasgos geomorfológicos, dinámica fluvial y mareal, siendo uno de los principales detonantes de las inundaciones fluviales por desborde, la ocurrencia de lluvias intensas prolongadas, unido a dificultades locales del drenaje provocado por diferentes causas, en algunos casos asociados a intervención antrópica.

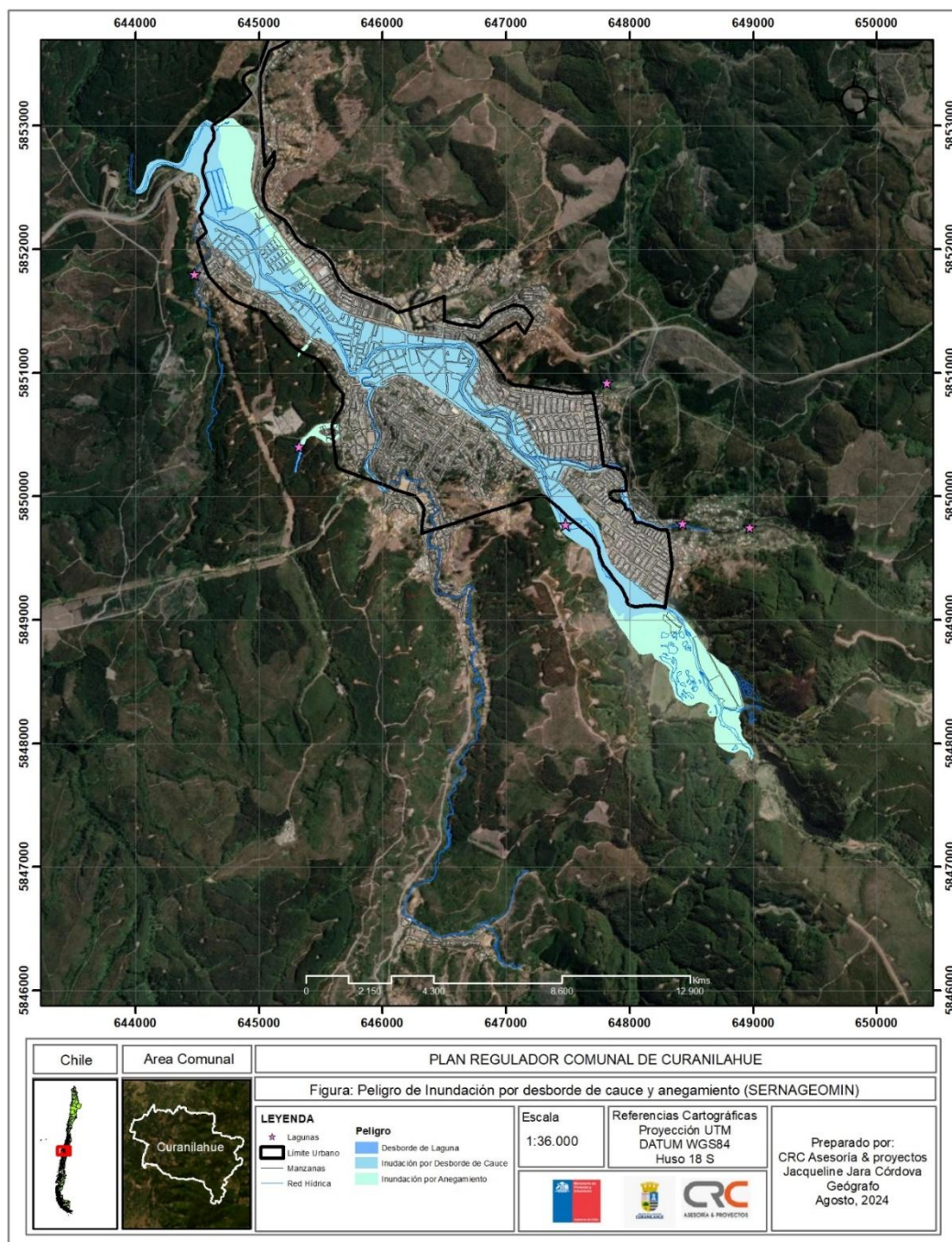
En el estudio, las áreas de inundación por desborde de cauces de la comuna de Curanilahue se cartografiaron utilizando modelos de elevación digital, mapas geológicos – geomorfológicos y entrevistas a vecinos para delimitar los sectores afectados por inundaciones registradas en los últimos años, en especial las inundaciones ocurridas los años 2006 y 2008. Primero, se elaboró una aproximación geomorfológica, identificando las terrazas fluviales bajas y áreas de inundación a partir de un buffer de 50 metros desde la ribera de los principales cursos de agua que cruzan la ciudad, correspondientes al Río Curanilahue, Ranas y estero Plegarias.

Sobre la base de la topografía local, se trazó la línea de inundación para el Río Curanilahue siguiendo la curva de nivel de 135 metros, ya que, según los antecedentes recopilados, las áreas por debajo de dicha cota sufren frecuentes inundaciones. Para delimitar y zonificar las inundaciones de los esteros Ranas y Plegarias, se utilizó un área de influencia de acuerdo a la topografía y geomorfología del área, alcanzando la zona de influencia de la crecida, hasta 160 metros desde la distancia desde el borde del cauce. La extensión de estas áreas va disminuyendo su ancho a medida que el lecho de los esteros se va encajonando entre los cerros que forman el relieve local.

Las inundaciones por anegamiento se cartografiaron identificando zonas de drenaje ineficiente. Estas áreas se identifican, principalmente, porque permanecen inundadas gran parte del año, no solo en estaciones lluviosas, se ubican en bajos topográficos y desarrollan una vegetación característica, tales como pastos altos y juncos.

Los resultados del Estudio apuntan a que el área presenta grandes extensiones de ríos y esteros, los cuales durante precipitaciones intensas provocan la inundación y anegamiento de extensas superficies urbanizadas. A continuación, se muestra el mapa 3-3 de SERNAGEOMIN.

Figura 27. Mapa 3-3 Peligro de inundación por desborde de cauces y anegamientos



Fuente: SERNAGEOMIN.

La inundación fluvial es recurrente en el área urbana de la comuna. Esto se ha expresado en el desbordamiento y escurrimiento descontrolado del flujo fluvial, específicamente el Río Curanilahue, debido a crecidas con data reciente para el área. A continuación, se señalan los registros de inundación en la comuna.

Tabla 9. Registro de inundaciones en Curanilahue.

Tipo de fenómeno	Fecha	Daños asociados	Fuente
Inundaciones y remoción en masa	2024: junio, julio	En el mes de junio y agosto del año 2024 se produjeron eventos inundaciones; ello tras intensas precipitaciones que alcanzaron a 700 mm en 10 días, los eventos de inundación fueron catastrados por el municipio. Las inundaciones afectaron un total de 1.500 viviendas, también hubo eventos de remoción en masa.	Municipalidad de Curanilahue
Inundaciones	2005: 30 de mayo	En la comuna de Curanilahue se mantiene situación de anegamiento de viviendas a raíz del desborde del río del mismo nombre. Se encuentran en proceso trabajos de despeje de caminos y de asistencia a la población afectada para superar la situación.	emol.com
Inundaciones	2006: 10 al 13 de julio	Al menos 13.000 personas afectadas, 600 damnificadas, 10 albergadas, 7.000 viviendas con daño menor, 150 viviendas con daño mayor. Suspensión parcial de clases	ONEMI. Informe sistema frontal. Departamento de Protección civil septiembre 2006
Inundaciones	2008: 24 agosto a 1 de septiembre	Desborde del Estero Plegaria y el Río Curanilahue, afectando a las Poblaciones Galvarino Chillancito, el Sauce y Javiera Carrera, afectándose a 120 familias aproximadamente 500 personas. Suspensión de clases	ONEMI. Informe sistema frontal. Departamento de Protección civil septiembre 2008

Tipo de fenómeno	Fecha	Daños asociados	Fuente
Inundaciones y derrumbe	2012: 12 de junio	Inundaciones y voladuras de techos Derrumbe afectó parte de una vivienda en calle Libertad, en tanto que los moradores de una casa habitación debieron ser evacuados por peligro de desmoronamiento de un cerro	http://www.araucotv.cl
Inundaciones	2014: 1 al 3 de junio	Inundaciones en varios sectores de la ciudad. Destacó en la prensa el anegamiento del Liceo Mariano Latorre, recientemente reinaugurado tras los daños del sismo de 2010.	Biobiochile.cl
Inundaciones	2017: 14 al 16 de junio	Tras precipitaciones de 200mm en tres días las inundaciones se extendieron al menos un tercio de la superficie urbana afectando los barrios de Chillancito, Hortalizas, El Dos, Los Amarillos, El Sauce, Navidad, Carcoop, Santa María, Pedro Aguirre Cerda, Miraflores, Ricardo Lagos, Eduardo Frei, entre otras, estimándose en una 800 las viviendas afectadas.	Soychile.cl Biobiochile.cl
Inundaciones	16 de junio de 2017	Desborde Río Curanilahue y estero plegarias. Corte de caminos interiores y accesos. 200 mm de agua caída en 24 horas con un alcance de caudal medio de 163 m ³ /s. Declaración alerta roja para la ciudad. 710 familias damnificadas.	Municipalidad

Tipo de fenómeno	Fecha	Daños asociados	Fuente
Inundación y derrumbe	24 y 01 de agosto y septiembre 2008	106 mm de agua caída en 24 horas. Socavamiento acceso puente. Los aromos, derrumbe obstaculiza vía de acceso sector La Mano. Desborde de Río Curanilahue y estero Plegarias. 1.904 damnificados 472 viviendas con daño menor, 414 viviendas con daño mayor, 4 viviendas destruidas.	Municipalidad
Inundaciones	12 de julio de 2006	110 mm de agua caída en 24 horas. Desborde estero Plegarias y Río Curanilahue. 13000 afectados 600 damnificados 10 albergados 7000 viviendas con daño menor 150 viviendas con daño mayor	Municipalidad
Inundaciones y derrumbe	6 de junio de 2003	176 mm de agua caída en 24 horas Derrumbe de cerros, caída de árboles, letreros y corte de caminos. Desborde Río Curanilahue 9.000 afectados	Municipalidad
Inundaciones	6 de junio de 1992	Desborde Río Curanilahue Anegamiento en Población Magisterio (escurrimiento aguas lluvias) Inundación de pirquén Nueva esperanza. 250 familias con viviendas anegadas	Municipalidad

Tipo de fenómeno	Fecha	Daños asociados	Fuente
Inundaciones	4 de mayo de 1992	Desborde Río Curanilahue Inundación de pirquenes y 7 plantas de lavaderos de carbón. 405 damnificados (193 adultos y 212 menores) 90 viviendas anegadas y evacuadas.	Municipalidad
Inundaciones	28 de mayo de 1986	Desborde Río Curanilahue y estero Plegarias. 11 familias damnificadas 55 personas afectadas por desborde de cauce.	Municipalidad

Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes identificadas en la tabla.

Los elementos geomorfológicos del valle fluvial de Curanilahue son el principal factor detonante. Los tres cursos de agua de la ciudad: Ranas, Plegarias y Curanilahue discurren en un fondo de valle conformado por terrazas bajas planas a semi planas (con menos de un 5% de pendientes), inscritos en las terrazas con apenas presencia de escarpes fluviales, lo cual se traduce en una amenaza de desbordes.

Estos ríos son costeros, cuyas nacientes se encuentran en la Cordillera de Nahuelbuta, por lo cual su régimen hídrico está fuertemente controlado por la torrencialidad de las precipitaciones, concentradas en tres meses invernales de mayo, junio y julio.

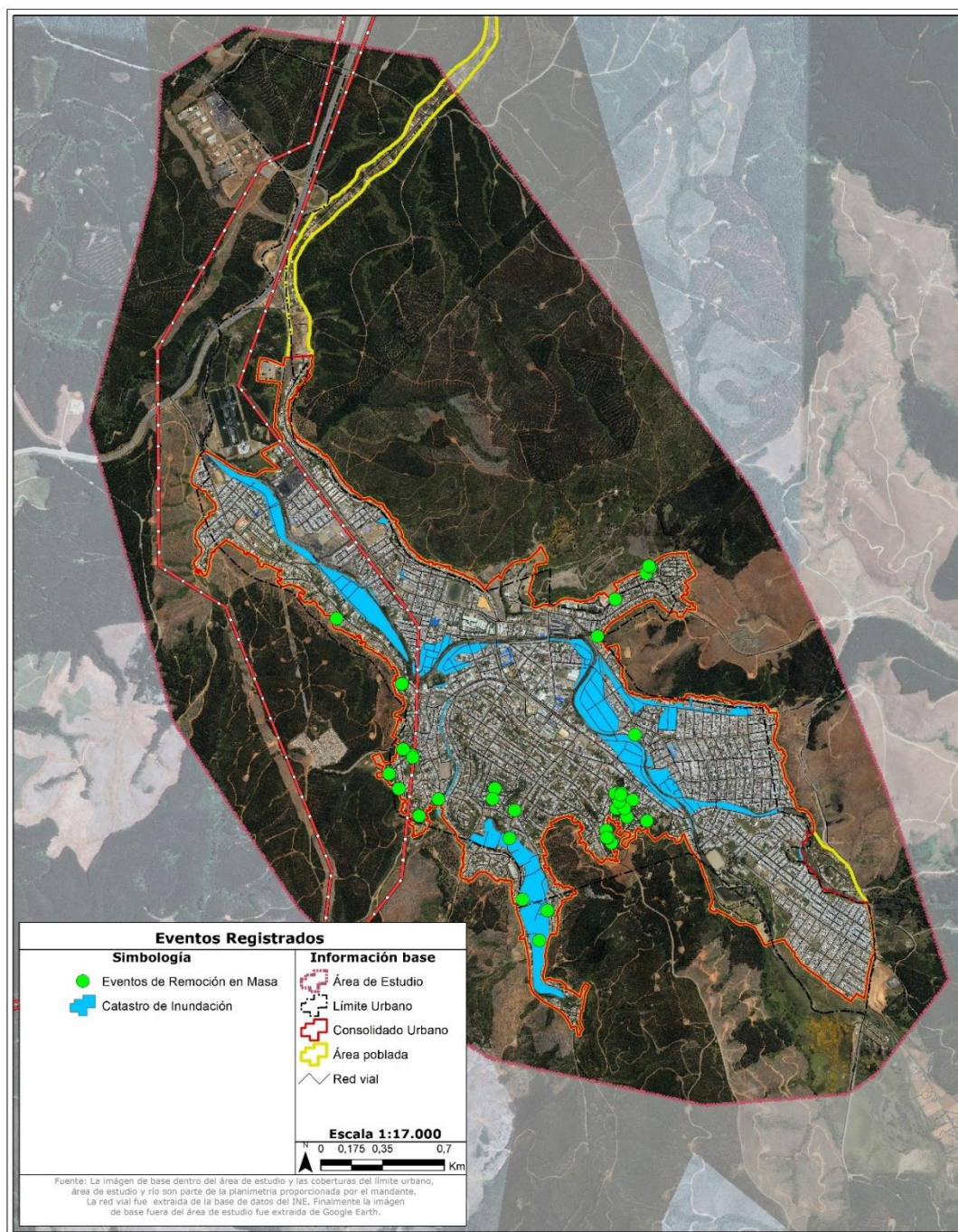
Cabe señalar, que las áreas afectadas también son recurrentes en el sitio urbano. Generalmente, se da desde la ribera del río Curanilahue hasta las proximidades de la calle Ignacio Carrera Pinto, Calle Alameda; Ramón Zamora y Av. Bernardo O` Higgins.

Al Sur de esta última avenida, usualmente los sectores afectados son Pioneros del Carbón, Villa Los Héroes y Navidad.

En la ribera opuesta el área sometida a eventos de inundación recorre la calle Juan Benítez Meza y Calle Arauco. En el estero Plegarias, las áreas más afectadas en la ribera Oeste llegan hasta las inmediaciones de calle Paicaví y en la ribera Este llegan hasta las inmediaciones de calle Carlos Condell y Efraín Zenteno.

En 2017, un año especialmente complejo para la ciudad, tras precipitaciones de 200mm en tres días del 14 al 16 de julio; las inundaciones y eventos de remoción en masa se extendieron al menos un tercio de la superficie urbana afectando los barrios Javiera Carrera, Ríos de Curanilahue, Cascadas y Chillancito, estimándose en unas 800 las viviendas afectadas.

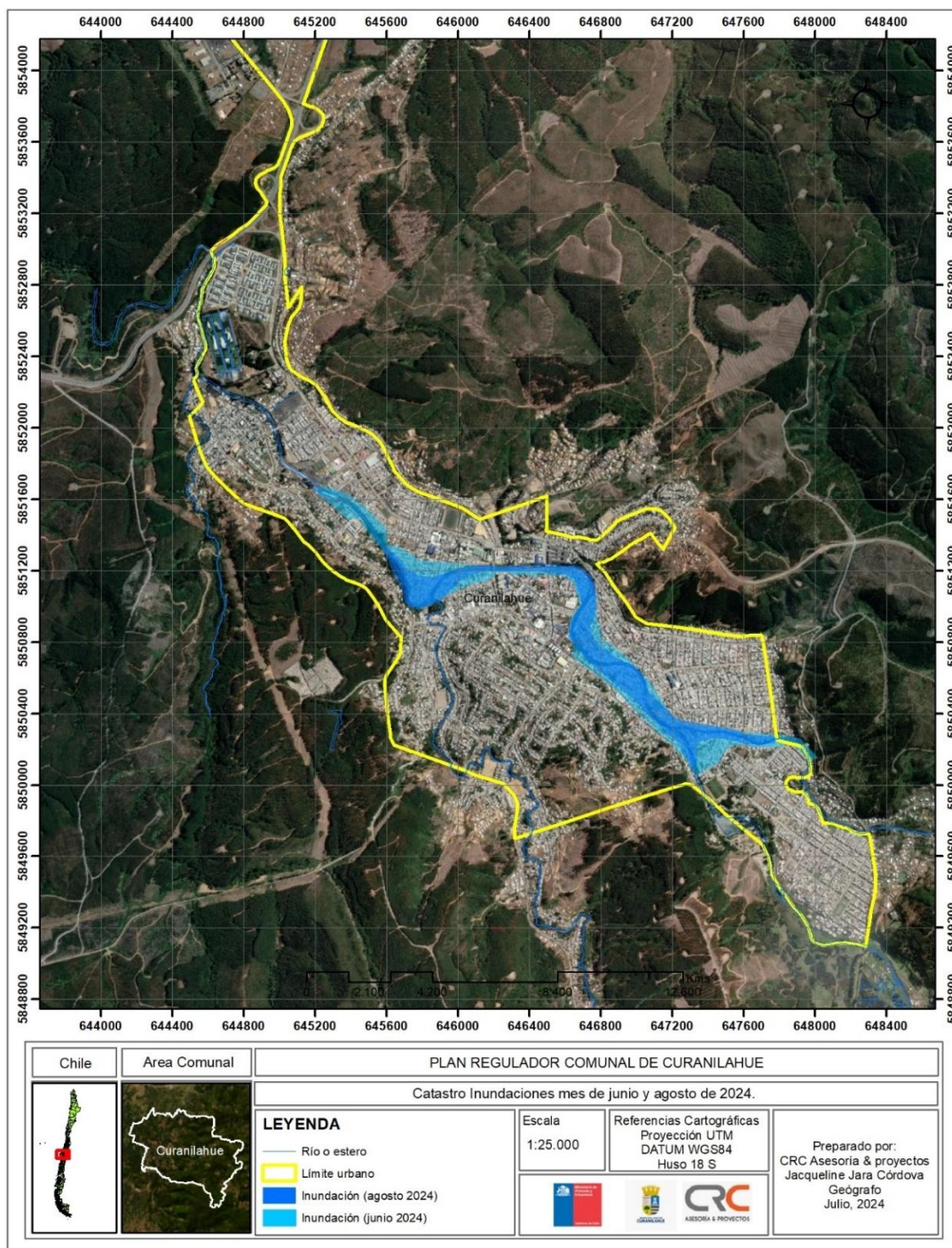
Figura 28. Sectores de peligro de inundación fluvial y eventos de remoción en masa (2017)



Fuente: Municipalidad de Curanilahue. Catastro de inundación y eventos de remoción en masa, de año 2017.

En el mes de junio y agosto del año 2024 se produjeron eventos inundaciones; ello tras intensas precipitaciones que alcanzaron a 700 mm en 10 días, los eventos de inundación fueron catastrados por el municipio y se muestran a continuación.

Figura 29. Inundaciones mes de junio y julio 2024, Comuna de Curanilahue



Fuente: Elaboración propia a partir de datos municipales.

Figura 30. Registro fotográfico evento meteorológico 2024.



Fuente: Municipalidad de Curanilahue

Figura 31. Registro fotográfico evento meteorológico 2024.



Fuente: Municipalidad de Curanilahue

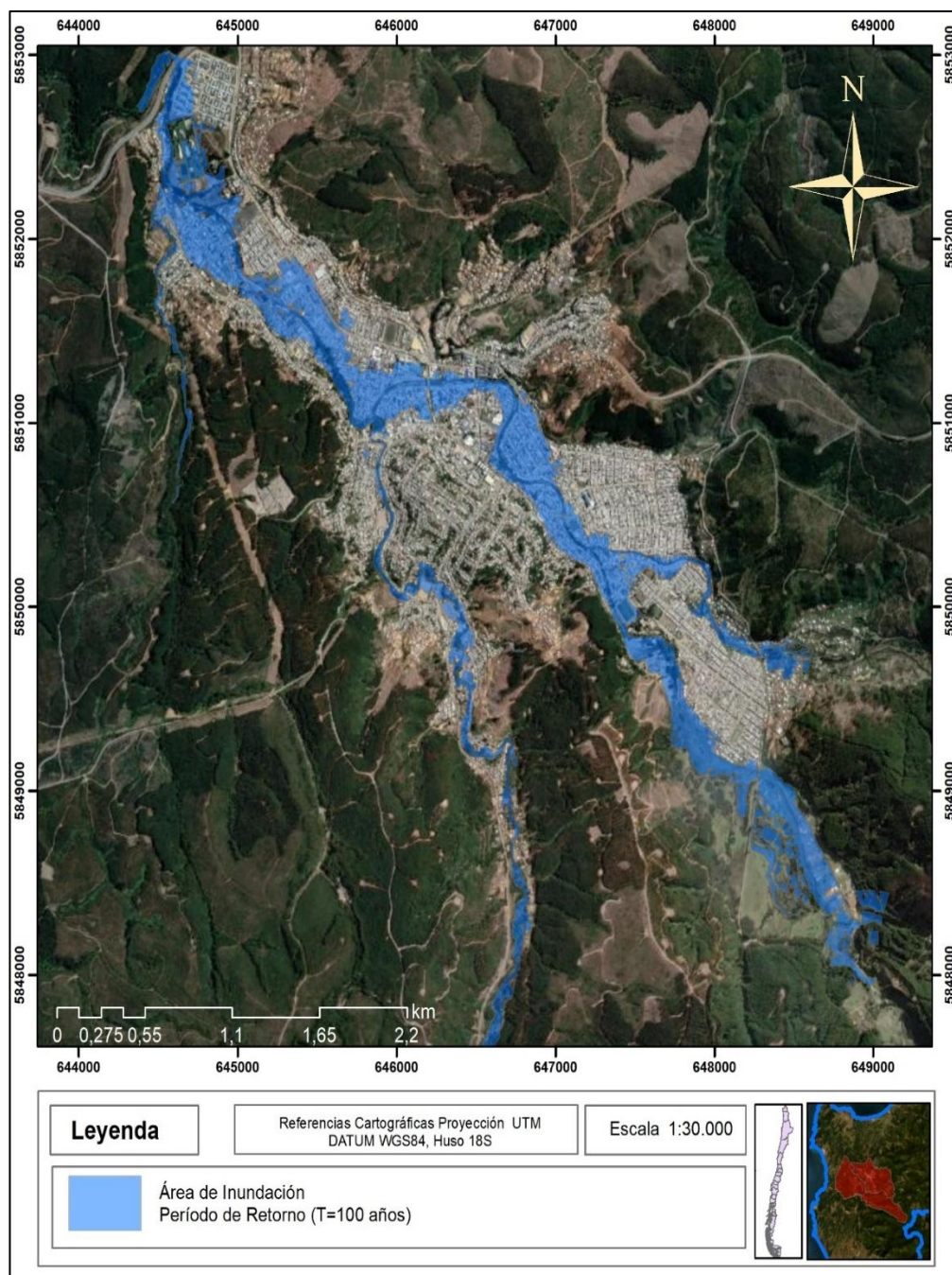
Figura 32. Registro fotográfico evento meteorológico 2024.



Fuente: Municipalidad de Curanilahue

Finalmente, como resultado de la modelación hidráulica realizada para el estudio del PRC – CHUE, se obtuvieron los siguientes resultados, importante señalar que el cálculo se realizó para un periodo de retorno de 2,5, 10, 25, 50 y 100 años, mostrándose a continuación el de 100 años de retorno, ya que muestra el caso más desfavorable.

Figura 33. Área de inundación T= 100 años.

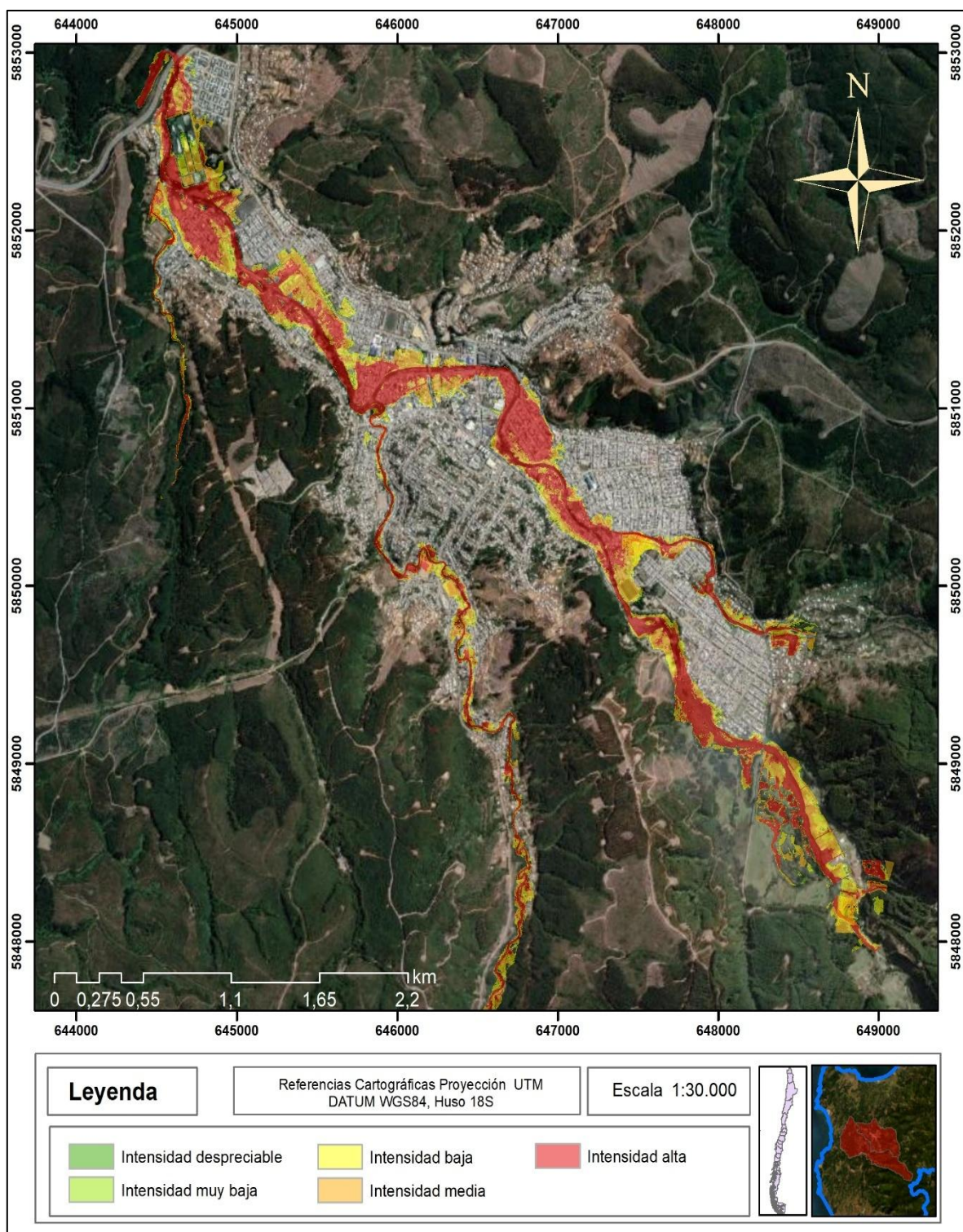


Fuente: Elaboración Propia, 2024.

En la cartografía se puede observar el peligro en 100 años de retorno, entendiendo que la mayor inundación se produce en el borde del río Curanilahue. Siendo este el curso de agua más importante y grande de la comuna. Debido a que sus caudales son significativos, se genera un área importante inundada. Destacando, además, que se ven muchas viviendas afectadas por esta inundación.

En la siguiente figura, se muestra la intensidad de inundación siendo el área de color rojo la de mayor superficie, con una intensidad alta. Esto se concentra principalmente en el río Curanilahue a lo largo de sus tramos.

Figura 34. Área de intensidad de inundación en Curanilahue.

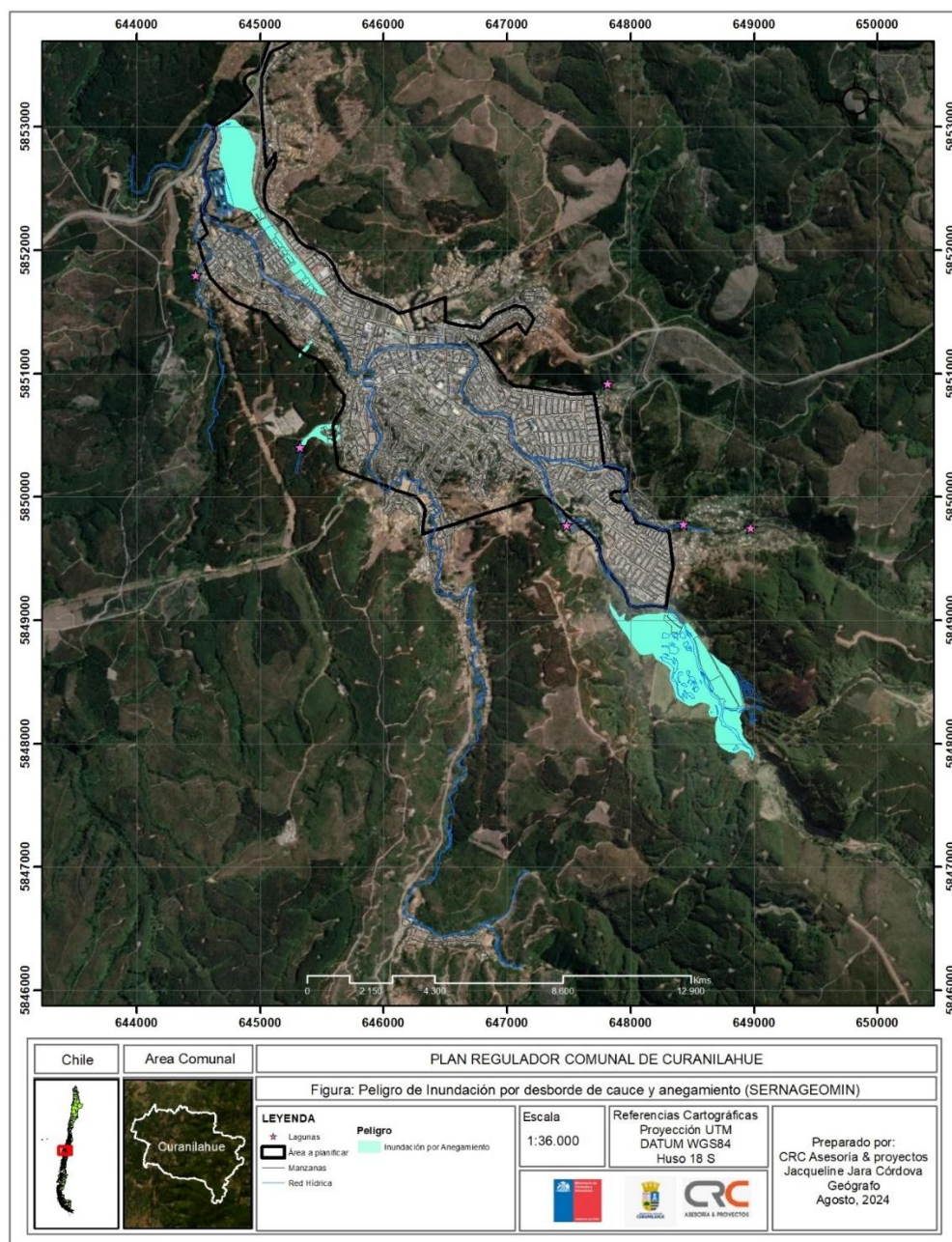


Fuente: Elaboración Propia, 2024.

7.2.2 Peligro de Anegamiento

En el siguiente mapa se muestran las áreas recurrentemente anegadas en la ciudad de Curanilahue a partir de la información levantada por SERNAGEOMIN (2012), las cuales se localizan principalmente en la zona noreste y sureste de la comuna. Además, se encuentra identificado como anegamiento el sitio en que se emplaza la laguna Cementerio.

Figura 35. Peligro de anegamiento



Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN (2012)

7.2.3 Peligro Sísmico

a. Sismicidad

Un sismo o terremoto es una vibración natural del terreno, relacionada con rupturas y/o desplazamientos producidos en el manto o en la corteza terrestre, y se caracteriza por el paso de ondas a través del suelo, al liberarse bruscamente la energía acumulada. El punto bajo la superficie terrestre, en donde se origina el sismo, recibe el nombre de foco o hipocentro y su proyección radial sobre la superficie, epicentro.

En términos generales, el poder destructivo de un sismo se mide por su intensidad, que depende de la amplitud del movimiento (desplazamiento, velocidad y aceleración del suelo) y de su duración. La intensidad es una medida de los efectos destructivos producidos en las personas, estructuras y terreno, ésta depende de los factores físicos (fuerza del sismo, distancia epicentral, geología local y naturaleza del terreno). Sin embargo, dadas las características aleatorias de este fenómeno natural (recurrencia irregular, impredecibilidad del lugar, tiempo y magnitud), sólo es posible evaluar la susceptibilidad de un área determinada a la sismicidad.

Entre los factores presentes en el territorio están:

- **Sismicidad histórica y sismos precedentes de gran magnitud:** relacionada con la cantidad de sismos registrados en el área y la ocurrencia de terremotos capaces de causar daños, se consideran la recurrencia de sismos con intensidades superiores a 7º Richter (MI), los que posteriormente a 1979 se han medido en Magnitud de Momento sísmico (Mw) que representa mejor el tamaño del terremoto³.
- **Presencia de fallas o lineamientos tectónicos:** Importante si consideramos que la región se emplaza en áreas de activo fallamiento.
- **Presencia de depósitos inconsolidados:** En estos tipos de depósitos (rellenos sedimentarios recientes, áreas de variedad litológica, suelos pantanosos o rellenos artificiales) al ocurrir un sismo, se produce un fenómeno de amplificación selectiva de la onda sísmica⁴.
- **Nivel freático:** Cuando el nivel freático es superficial, y está asociado a suelos de baja consolidación (paleocanales, humedales) se pueden producir fenómenos de amplitud selectiva y licuefacción del suelo⁵.

La respuesta sísmica de un sector particular se relaciona con el potencial destructivo de los sismos; en este sentido la comuna, provincia y región, como toda la zona del Pacífico Sur, se ve afectada por la interacción entre las Placas de Nazca y Sudamericana a través de un mecanismo de acreción. En la latitud de la región del Biobío, particularmente, el ángulo de inclinación con que se hunde la Placa de Nazca es de alrededor de 30º y la

³ En la región, históricamente, se han registrado 8 sismos destructores con más de 7º Richter, algunos recalculados Magnitud de Momento sísmico (Mw) en 1562; 1570; 1657; 1751; 1835 (8.2 Mw); 1939 7.8 Mw); 1960 (9.5 Mw) y 2010 (8.8 Mw)

⁴ La amplificación selectiva de la onda sísmica se produce por las condiciones locales de suelo y su estructura próxima a la superficie. Fuente: Díaz Mardones. 1991: Propiedades dinámicas de los suelos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. U. de Concepción.

⁵ La licuefacción es un proceso por el cual colapsan los sedimentos y los suelos, debido a una pérdida de cohesión repentina; implica una transformación temporal del material en una masa fluida por el aumento repentino del agua del suelo intersticial debido a un temblor de tierra. Fuente: WHITTOW, John. 1988: Diccionario de Geografía Física. Alianza Editorial. España.

velocidad de subducción es de alrededor de 10 cm por año. Este hecho provoca probablemente fracturas de las placas transversales a la línea de interacción, situación que origina un aumento de la sismicidad local y explica que los sismos de carácter catastróficos sean frecuentes.

En la costa de la región del Biobío se han registrado históricamente sismos destructores con magnitud estimada superior a 7º Richter, considerándose más catastróficos los sismos de 1751, 1835, 1939 y 1960 (Tabla 16). Desde el punto de vista histórico, Curanilahue ha sufrido los siguientes sismos:

Tabla 10. Sismos en la Historia de Curanilahue

Año	Antecedentes	Descripción
1835	<u>Nombre:</u> Terremoto de Concepción de 1835 <u>Fecha:</u> 20 de febrero <u>Hora:</u> 11:00 AM <u>Magnitud:</u> 8,5º Richter	Los registros sólo se refieren a los efectos causados por este sismo en Concepción. Sin embargo, su magnitud, afectó el área de Curanilahue, ya que su área de influencia alcanza el territorio de la Región del Biobío. No se tiene registro de los daños producidos en esta localidad. De acuerdo a cronistas de la época, se describe este terremoto de la siguiente forma: "Un terremoto tremendo ha concluido con esta población. No hay un templo una casa pública, una particular, un solo cuarto; todo ha concluido: la ruina es completa. El horror ha sido espantoso. No hay esperanzas para Concepción " / 20 Febrero.
1939	<u>Nombre:</u> Terremoto de Chillán de 1939 <u>Fecha:</u>	Este sismo es el que ha causado más muertes de toda la historia sísmica de Chile. El total de muertes por sismo, alcanza a 50.000 en el país, de los cuales, 25.000 corresponden a fallecimientos producto de este sismo de 1939.

Año	Antecedentes	Descripción
	24 de enero <u>Hora:</u> 23:32 PM <u>Magnitud:</u> 8,3º Richter	El área de influencia alcanza a las Regiones VII y VIII, por lo que también, Curanilahue sufrió sus efectos. No se tiene registro de ellos. De acuerdo a un cronista de la época, narraba así el sismo: “Un gran terremoto destruyó la catedral, más de 15.000 casas y las calles están llenas de escombros” 24 enero.
1960	<u>Nombre:</u> Terremoto de Valdivia de 1960 <u>Fecha:</u> 22 de mayo <u>Hora:</u> 15:10 PM <u>Magnitud:</u> 9,5º Richter	Corresponde al sismo de mayor magnitud de la historia mundial (y además, uno de los más largos, porque su duración fue de 10 minutos) Afectó a la zona sur del país, específicamente las Regiones VIII, IX, X y XIV Por su magnitud y área de influencia, afectó la localidad de Curanilahue. No se tiene registro de los daños ocasionados en esta localidad. En general, la cantidad de muertos alcanzó a 2.000. Un cronista de Concepción, describe así este sismo: “La ciudad no resistió, se cortó el puente, no hay luz ni agua” / 21 Mayo.
	<u>Nombre:</u> Terremoto de Cobquecura de 2010	Este sismo afectó todo el centro sur de Chile, desde las Regiones V, a la XIV.- Los efectos sobre Curanilahue se exponen en este estudio. El total de muertos alcanzó a 521

Año	Antecedentes	Descripción
2010	<u>Fecha:</u> 27 de febrero <u>Hora:</u> 3:34 AM <u>Magnitud:</u> 8,8 ° Richter	De acuerdo a descripción recopilada de la prensa, se describe así este sismo: "La ciudad se paralizó, colapsaron los puentes, cayeron edificios nuevos, se cortó la luz y el agua y la anarquía social en las calles" 27 febrero. "Lo que no destruyó el terremoto se lo llevó el tsunami con dos grandes olas" / 27 Febrero.

Fuente: Elaboración propia (en base a antecedentes de modificación al PRC de 2013)

No obstante, el registro de la sismicidad histórica, las características aleatorias de estos eventos hacen necesario evaluar la susceptibilidad del área a la sismicidad. De acuerdo a la experiencia recogida en los últimos terremotos, las condiciones locales de los terrenos de fundación inciden en el riesgo sísmico, por su respuesta diferencial al paso de la onda sísmica, en función directa con los aspectos geológicos y geomorfológicos del lugar.

Generalmente, los mayores daños se han presentado en formaciones sedimentológicas cuaternarias y modernas, con sedimentos finos e incoherentes y niveles de agua próximas a la superficie, generalmente sujetas a rellenos artificiales de poca calidad: áreas pantanosas, depresiones fluviales y lacustres, terrazas inferiores de ríos y paleocanales. Menores daños se han observado en formaciones precuaternarias, más consolidadas y coherentes, con posición topográfica dominante como son los cordones de cerros.

En este sentido el sismo de 2010 permitió observar áreas susceptibles a los efectos del riesgo sísmico como son: los procesos de licuefacción y procesos de remoción en masa. Ello llevó a expertos del Servicio de Geología y Minería a desarrollar inspecciones en terreno y constatar la presencia de viviendas deterioradas o destruidas, entre lo que se pudo reconocer: viviendas ubicadas a orillas de los cursos de agua y viviendas ubicadas en pendiente o en ladera de cerros⁶.

⁶ SERNAGEOMIN, 2010a. Servicio Nacional de Geología y Minería. Patricio Derch F. y Hugo Constanzo H. Informe: Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: observaciones de daños por actividad minera en las ciudades de Lota y Curanilahue (INF-BIO-BIO-31).

b. Procesos de licuefacción por sismicidad:

La licuefacción es un proceso natural mediante el cual determinados tipos de suelo pierden bruscamente su resistencia mecánica ante una carga dinámica rápida como puede ser un sismo o, en menor medida, una tronadura. La pérdida de resistencia mecánica del suelo implica que este se comporta momentáneamente de modo similar a un fluido, siendo capaz de migrar generando importantes deformaciones en el sustrato.

El sismo de magnitud 8.8 Mw del 27 de febrero de 2010, provocó numerosos casos de licuefacción en la ciudad de Curanilahue, causando severos daños en el hospital y destrucción de diversa consideración en construcciones, entre ellas viviendas, la red vial y de servicios de agua potable y alcantarillado.

La licuefacción se genera principalmente en suelos arenosos y areno limosos, saturados en agua, usualmente ubicados cerca de los cursos de ríos, borde costero u otros cuerpos de agua, o bien, en aquellos suelos donde existe un nivel freático muy superficial. Por otro lado, requiere que los suelos posean baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos formados donde antes existieron lagos o lagunas. De igual importancia es la licuefacción en rellenos antrópicos deficientemente compactados, principalmente, sobre humedales.

Cuando ocurre un sismo, la vibración eleva la presión de agua en los poros del suelo y si esta llega a igualar o superar la fuerza de contacto entre los granos, la resistencia del suelo se reduce a cero, experimentando licuefacción. En este caso, la capacidad de carga del suelo es nula y efectivamente el suelo se comporta durante la sacudida como un líquido y cualquier estructura cimentada en él se hunde o sufre asentamientos diferenciales (INGEOMINAS, 2003)

Algunos factores que condicionan el fenómeno de licuefacción son:

- Origen del suelo. Los suelos depositados por procesos fluviales, litorales y eólicos se sedimentan fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse, de modo que se licuarán con facilidad. Suelos compuestos por roca no son en absoluto licuables.
- Distribución del tamaño de los granos. La arena uniformemente graduada, de grano muy grueso a medio tiene mayor probabilidad de licuarse, mientras que las arenas limosas finas y las gravas lo hacen bajo cargas cíclicas muy severas.
- Profundidad de las aguas subterráneas. Mientras más cerca de la superficie se encuentre el nivel de las aguas subterráneas (nivel freático), mayor será la probabilidad de que ocurra licuefacción.
- Edad del depósito. Los suelos jóvenes (menos de 3.000 años) son débiles y no cohesivos, de modo que tienen mayor probabilidad de licuarse comparado con aquellos más antiguos donde han actuado procesos de compactación y cementación natural.
- Amplitud y duración de la vibración del terreno. La licuefacción de suelos bajo condiciones de tensión provocadas por un terremoto aumenta con la magnitud y la duración del sismo. Por esta razón, sismos pequeños licuarán únicamente los suelos más próximos al epicentro, mientras que ante un sismo de magnitud mayor será posible reconocer licuefacción a distancias muy grandes. En el caso del sismo del 27 febrero de

2010 se observó licuefacción hasta al menos 400 km de distancia del epicentro (Valparaíso).

- Peso del recubrimiento y profundidad del suelo. Las tensiones entre partículas aumentan a medida que aumenta la presión del recubrimiento (a mayor profundidad). Mientras mayor sea dicha tensión menor será la probabilidad que ocurra licuefacción. Por lo general, la licuefacción ocurre a profundidades menores de 9 m y rara vez a mayores de 15 m.

El fenómeno de licuefacción se manifiesta en la superficie del terreno por la formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, "golpes de agua" (surgimiento de agua) y volcanes de arena. Los dos últimos, son producto del súbito aumento de la presión de agua de poros ocasionada por la vibración, forzando a que el agua fluya rápidamente a la superficie. Si el flujo asciende lo suficientemente rápido, se generan golpes de agua. Al mismo tiempo, el agua ascendente puede transportar partículas de arena hasta la superficie donde son depositadas formando montículos de arena, a los que por analogía se les denomina "volcanes de arena". Este flujo puede ocurrir durante el terremoto como también después de éste.

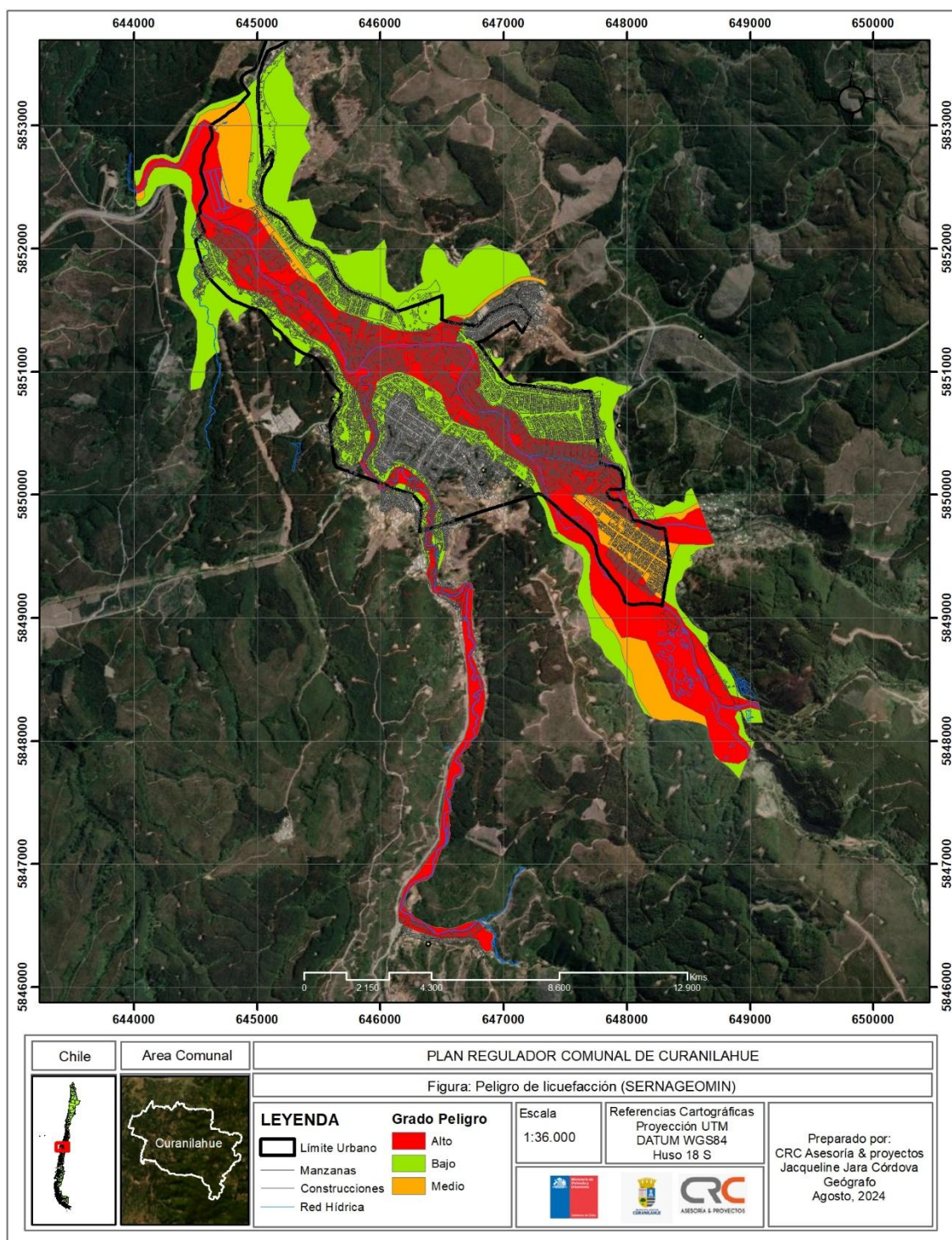
Para la zonificación del peligro de licuefacción SENAGEOMIN en el Mapa 3-2: Peligro de Licuefacción, desarrolla una metodología que considera las características geológico-geotécnicas de los suelos, la estimación aproximada del nivel freático, y las evidencias de licuefacción observadas en terreno (deformaciones y grietas) producto del sismo del 27 de febrero 2010. Todos estos elementos fueron georeferenciados y trabajados en una plataforma SIG, para finalmente ser integrados mediante un método semi-cuantitativo de evaluación multicriterio. En este último, cada uno de los factores considerados aporta distinto peso al peligro de licuefacción para una determinada porción del terreno.

El resultado, sintetizado en la siguiente figura, indica zonas de alto, medio y bajo peligro de licuefacción. Los límites de cada zona son aproximados, debido a los diferentes niveles de detalle y certeza de la información original utilizada.

LEYENDA

GRADO DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIONES
Alto 	Terrenos altamente susceptibles de experimentar licuefacción y zonas que experimentaron licuefacción en el sismo del 27 de febrero de 2010. Corresponden a suelos formados por sedimentos no consolidados (arenas, arenas limosas, arenas y gravas muy finas), de baja compactación y saturadas de agua. Se trata, principalmente, de arenas depositadas en ambientes fluviales. Una característica común que hace altamente licuable a estos depósitos es que se encuentran permanentemente saturados en agua, con un nivel freático muy somero ubicado entre la superficie y los 5 m de profundidad. En general, esta zona presenta espesores importantes de sedimentos propensos a ser licuados, por lo que la magnitud de la licuefacción es aún mayor. En la ciudad de Curanilahue, estos depósitos se encuentran en las planicies de inundación y en las terrazas fluviales del río Curanilahue. El fenómeno de licuefacción generado por el sismo del 27 de febrero de 2010, provocó la ocurrencia de remociones en masa del tipo "propagación lateral" en las riberas del río Curanilahue y el estero Piegarias. Otro resultado muy común fue el hundimiento del terreno, provocando asentamiento y destrucción de numerosas viviendas y la red vial.	No se recomienda la construcción de viviendas, servicios básicos y de emergencia en estas zonas. Las construcciones que deban ser por necesidad proyectadas en esta zona de alto peligro de licuefacción como puentes, caminos de acceso u otras obras, deben contar con un estudio de mecánica de suelos y reconocimiento de las fluctuaciones del nivel freático, que apoyen el diseño de ellas y estipule el tratamiento adecuado para minimizar el peligro de licuefacción. Esto último, dice relación con el mejoramiento de las condiciones geotécnicas del suelo, principalmente asociadas a técnicas de aumento de densidad (INGEOMINAS, 2003). Los cimientos de las estructuras, en caso que no se pueda evitar construir en estas áreas, deben colocarse por debajo de los niveles licuables (INGEOMINAS, 2003). Esto no evita la ocurrencia del fenómeno, solo asegura la estabilidad de las estructuras. Para el caso de edificaciones pequeñas, se debe utilizar técnicas de construcción que eviten los asentamientos diferenciales de cierta intensidad. Esto último, no eliminaría totalmente la vulnerabilidad de las construcciones pero al menos evitará el colapso de ellas (INGEOMINAS, 2003).
Medio 	Terrenos de susceptibilidad media a experimentar licuefacción. Corresponden a suelos naturales compuestos por sedimentos no consolidados, de baja a media compactación, constituidos por arenas y arenas limo-arcillosas y, en algunos casos, cubiertos por rellenos antrópicos deficientemente tratados. El espesor de estos suelos es variable y se caracterizan por presentar un nivel freático somero entre 5 y 10 m de profundidad. En la ciudad de Curanilahue, estas zonas corresponden, principalmente, a depósitos fluviales que no presentaron evidencias de licuefacción durante el terremoto pero que reúnen las condiciones para sufrir un evento de este tipo. Es en esta última unidad donde se encuentra emplazada gran parte de la ciudad.	Si bien la construcción en esta zona no es totalmente recomendable sin estudios previos, las obras proyectadas deben contemplar estudios de mecánica de suelos, reconocimientos del nivel freático, y tratamiento de suelos y rellenos (compactación, drenajes verticales, inyección de mezclas, entre otros) a fin de mitigar los efectos de la licuefacción. Es recomendable llevar los cimientos por debajo de los niveles licuables. Las obras lineales como acueductos, alcantarillado, gaseoductos, entre otras, deben ser proyectadas con materiales y uniones flexibles que permitan deformaciones importantes a fin de evitar la ruptura de estos. El diseño y construcción de viviendas deben evitar asentamientos diferenciales y el colapso de ellas (INGEOMINAS, 2003).
Bajo 	Terrenos de baja susceptibilidad a experimentar licuefacción. Corresponden a aquellos sectores ubicados lejos de las riberas de los ríos y esteros compuestos por sedimentos no consolidados y que presentan un nivel freático entre 10 y 15 m de profundidad.	Estas zonas son aptas para construcción, sin embargo, dada su posibilidad de experimentar licuefacción frente a futuros sismos, requieren de estudios de mecánica de suelos y reconocimiento del nivel freático, para un diseño acorde a las condiciones geotécnicas e hidrogeológicas del sector.

Figura 36. Peligro de licuefacción de la ciudad de Curanilahue.



Fuente: SERNAGEOMIN, 2010b extracto del Mapa 2: Peligro de licuefacción de la ciudad de Curanilahue.

El potencial de licuefacción de un determinado lugar deberá ser cotejado por medio de estudios de detalle, que incluyan estudios geotécnicos al momento de proyectar una obra. Se debe tener en cuenta que los daños generados por licuefacción producto del evento sísmico del 27 de febrero de 2010, se vieron disminuidos debido a que el sismo ocurrió en uno de los meses más secos del año, y el nivel freático se encontraba, probablemente, en su nivel más profundo. Por esta razón, de producirse un sismo de similares características en estaciones del año en que el nivel freático se encuentre más alto, es esperable una mayor intensidad de la licuefacción y que esta se produzca en una mayor cantidad de lugares.

En Curanilahue, el sismo de 27/F de 2010, demostró la presencia de la amenaza sísmica por licuefacción en las zonas depresionarias asociadas a los ríos Curanilahue y Plegarias, afectando fuertemente a las viviendas situadas en sus riberas.

Estas zonas, que también se ven sometidas a inundaciones por desborde del cauce, presentan materiales de suelo muy recientes y por tanto poco consolidados, los que en eventos sísmicos de fuerte magnitud tienden a comportarse como fluidos, donde el agua que ocupa los sedimentos emerge a la superficie y hace inestables los terrenos, por lo cual las viviendas sufren un daño mayor o su hundimiento total o parcial o volcamiento.

Figura 37. Agrietamiento en terraplén puente “La Máquina” río Curanilahue.



Fuente: SERNAGEOMIN, 2010a

De acuerdo con el informe post-terremoto de SERNAGEOMIN el fenómeno de licuefacción se produjo en las riberas de ambos ríos y hasta una distancia aproximada de hasta 100 metros de su cauce, en suelos de baja compactación con unas arenas con alto contenido de agua, saturadas permanentemente y con un nivel freático superficial de menos de 5 metros de profundidad.

Este riesgo no se presenta en las áreas de Plegarias y San José de Colico.

7.2.4 Peligro de remoción en masa

Los fenómenos de remoción en masa, enunciados en el art. 2.1.17. de la OGUC como “Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas”, corresponden a procesos morfogenéticos que afectan a las laderas y pie de ladera, asociados generalmente a descensos rápidos y masivos de materiales, donde los factores que interactúan son litológicos (asociados a suelos en procesos de meteorización), morfométricos (pendientes), usualmente activados por intensas precipitaciones.

En Curanilahue, la geología y geomorfología del sitio urbano contribuyen a este tipo de eventos, ya que la ciudad está en contacto y se desarrolla sobre cordones de cerros de

mediana altitud modelados sobre rocas de la Formación Curanilahue, con presencia de rocas sedimentarias de tipo areniscas y lutitas, intercaladas con mantos de carbón. Son estos mantos de carbón los que en su explotación, dieron su auge a la ciudad y derivaron en el poblamiento de los cordones de cerros. Además en la comuna el factor antrópico condiciona los procesos de remoción en masa, p.e. cortes del pie del talud y/o rellenos antrópicos no controlados.

a. Remoción en masa por lluvia

El día 09 de junio, SERNAGEOMIN realizó una visita al sector Callejón Pilar, con el objetivo de evaluar los daños y hacer un diagnóstico de los efectos de procesos de remoción en masa ocurridos en la localidad de Curanilahue a consecuencia de las intensas lluvias acaecidas la noche del día 06 de junio de 2006.

En efecto, ese día, intensas precipitaciones produjeron inundaciones y remociones en masa en diversos sectores de la localidad de Curanilahue. Según antecedentes proporcionados por la Directora de Obras de la Comuna, Sra. Mireya Jerez, los fenómenos mencionados –principalmente las inundaciones- comprometieron a alrededor de 1200 viviendas, dejando en situación de albergados a cerca de 9.000 personas.

Figura 38. Deslizamientos Callejón Pilar



Fuente. SERNAGEOMIN, 2006

El sector afectado por la reactivación del proceso de remoción en masa, corresponde a la totalidad del área comprendida entre callejón Pilar y las calles Juan Bautista Bordeau y Gaspar Inostroza. En ese sector hay aproximadamente 12 lotes de terrenos comprometidos en un deslizamiento de tipo rotacional que ha generado diferencias de nivel de hasta 3 m, que dan cuenta de la magnitud del desplazamiento

En 2017, un año especialmente complejo para la ciudad, tras precipitaciones de 200mm en tres días (14 al 16 de julio) las inundaciones y eventos de remoción en masa se extendieron al menos un tercio de la superficie urbana afectando los barrios Javiera Carrera, Ríos de Curanilahue, Cascadas y Chillancito, estimándose en unas 800 las viviendas afectadas.

El año 2024 se produjeron eventos de remoción en masa junto e inundaciones; ello tras intensas precipitaciones en el mes de junio, julio y agosto, situaciones que fueron catastradas y registradas por la Municipalidad de Curanilahue. A continuación, se muestra los eventos ocurridos en el territorio a planificar.

Figura 39. Registro fotográfico evento 2024



Fuente. Municipalidad de Curanilahue, 2024

Figura 40. Registro fotográfico evento 2024



Fuente. Municipalidad de Curanilahue, 2024

Figura 41. Registro fotográfico evento 2024



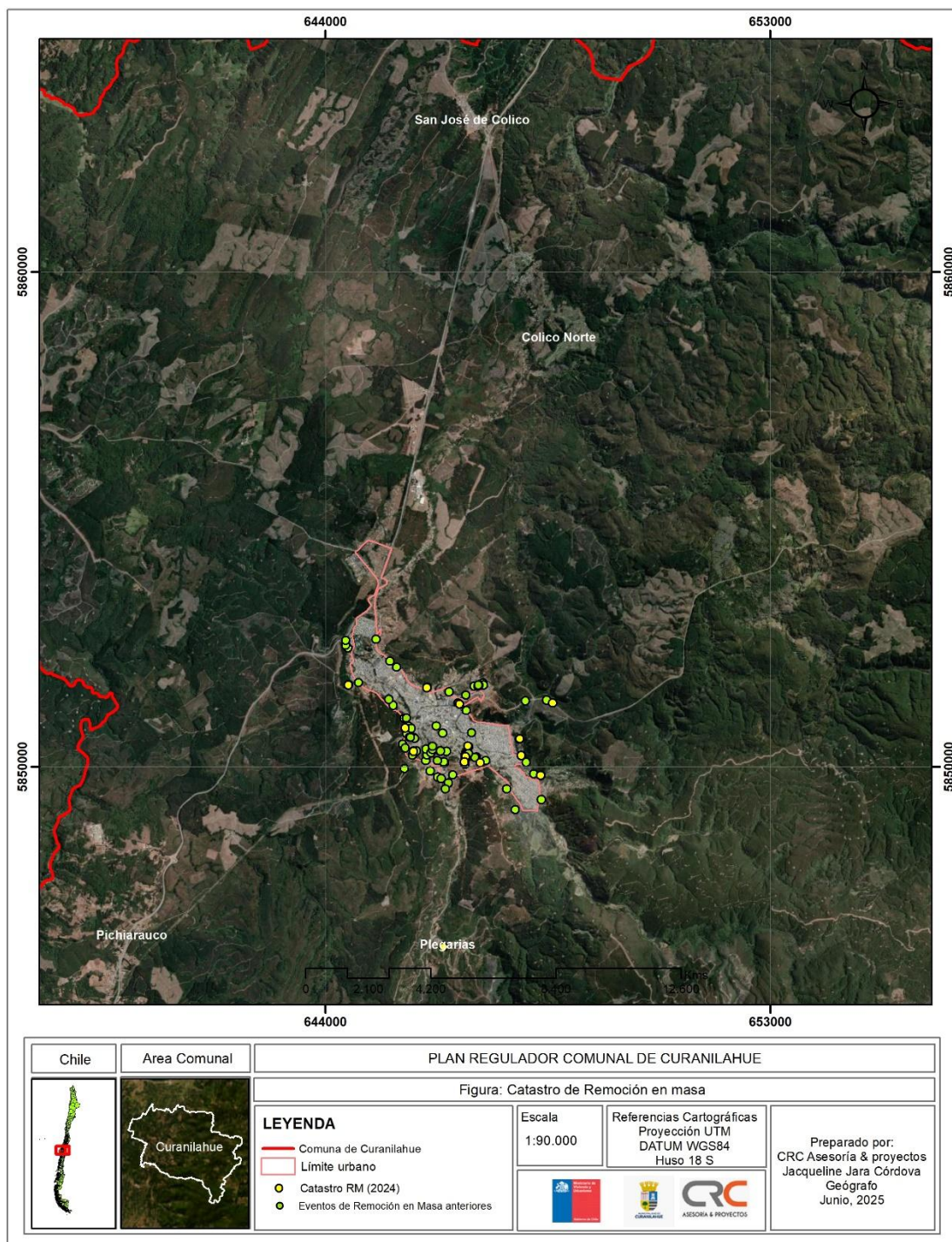
Fuente. Municipalidad de Curanilahue, 2024

Figura 42. Deslizamientos Calle Arauco



Fuente. Municipalidad de Curanilahue, 2024

Figura 43. Georreferenciación eventos de Remoción en masa



Fuente: Elaboración propia a partir de información municipal

Remoción en masa por sismicidad

El sismo de 2010 permitió observar remociones en masa por fenómeno sísmico, lo anterior se identificó en los sectores Cerro La Perdiz, Pasaje Isabel la Católica, Calle Cruz Baja y Calle Diego de Almagro.

Figura 44. Deslizamientos de Tierra en Sector Cerro La Perdiz, calles Heras esq. Condell



Fuente: Soychile.cl; nanuelbutafm.cl

El informe de Sernageomin pudo establecer que las áreas urbanas localizadas en pendiente representan las de mayor susceptibilidad, dado lo precario de las construcciones, durante el sismo de 2010.

Entre los lugares reconocidos directamente tras el terremoto, destacan los siguientes ⁷:

Calle Rengo esquina Manuel Bulnes. Se observaron dos viviendas cuyos terrenos de fundación se encuentran afectados por grietas con un peligro de colapso durante eventos sísmicos o de precipitaciones intensas. La pendiente superior a 20° (ó 35%) y el material que forma estos cerros se encuentra intensamente meteorizado y descompuesto, lo cual favoreció el desarrollo de remociones en masa, que pudieron afectar a más viviendas del sector.

Figura 45. Grietas en sector cerro verde



Fuente: SERNAGEOMIN, 2010a.

⁷ SERNAGEOMIN, 2010a. Servicio Nacional de Geología y Minería. Patricio Derch F. y Hugo Constanzo H. Informe: Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: observaciones de daños por actividad minera en las ciudades de Lota y Curanilahue (INF-BIO-BIO-31).

Figura 46. Caída de terraplén en Calle Manuel Montt.



Fuente: SERNAGEOMIN, 2010a

El riesgo de remoción en masa con sus factores condicionantes se trata especialmente más abajo en el apartado de peligro geodinámico.

Figura 47. Deslizamientos de Tierra en Sector Cerro La Perdiz, Calle Manuel Montt.



Fuente: Soychile.cl; nanuelbutafm.cl

Lo anterior tiene explicación en la forma en que la ciudad ha ido creciendo y ocupando también terrenos en ladera, que además anteriormente han sido ocupados por bosques, matorrales y plantaciones forestales, produciendo un efecto de deforestación o pérdida de la cobertura vegetal.

Luego, al quedar desnudo el suelo para su urbanización, ocurre una mayor alteración de la roca en superficie, con procesos de meteorización química originando suelos arcilloso –comunmente denominados ‘maicillo’– que conforman superficies inestables, con potencias de 2 a 5 m de profundidad, propensas a erosiones acentuadas y en ocasiones a deslizamientos o derrumbes.

Delimitación áreas de Riesgos Gravitacionales a partir de estudio de SERNAGEOMIN

La Ciudad de Curanilahue tiene una población de 30.000 habitantes y 5.900 viviendas aproximadamente, producto del sismo del 27 de febrero de 2010 de magnitud 8.8 Mw y según datos aportados por el municipio, 4.100 viviendas resultaron dañadas, de las cuales 2,300 presentaron daños irreparables, los cuales son atribuibles principalmente a procesos de remoción en masa.

Las principales remociones en masa observadas en la ciudad de Curanilahue se describen a continuación:

- ✓ **Deslizamiento de suelo y roca:** Se define como deslizamiento al movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre preferentemente a lo largo de una superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser clasificados en rotacionales y traslacionales. En los primeros, el movimiento de la masa desplazada ocurre sobre una superficie curva, en los segundos la superficie es plana, como por ejemplo discontinuidades o planos estratigráficos.
- ✓ **Flujo de Barro:** Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido. Son flujos muy rápidos a extremadamente rápidos de materiales dentríticos finos, saturados, que transcurren confinado a lo largo de un cauce con pendiente pronunciada.
- ✓ **Caída de rocas:** es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera.

La metodología utilizada por SERNAGEOMIN en el estudio “Geología para la Reconstrucción y la Gestión de Riesgo” para la elaboración del mapa de peligros por remoción en masa en la ciudad de Curanilahue, se basa en aproximaciones heurísticas, mediante la combinación de métodos cualitativos y semicuantitativos. Así, la identificación de las zonas susceptibles a generar remociones en masa se realizó a través del método semicuantitativo de superposición de mapas temáticos de los principales factores que intervienen en la inestabilidad de laderas en el área de estudio, las cuales son:

- ✓ Geología
- ✓ Pendientes del terreno
- ✓ Remociones en masa observadas

Los resultados se cartografiaron a una escala 1: 10.000 sobre la base de interpretación de imágenes satelitales, procesamiento digital de cartografías existente y observaciones de campo. La determinación de las zonas de alcance e impacto se realizó mediante el análisis geológico – geomorfológico, topográfico y observación en terreno de áreas afectadas.

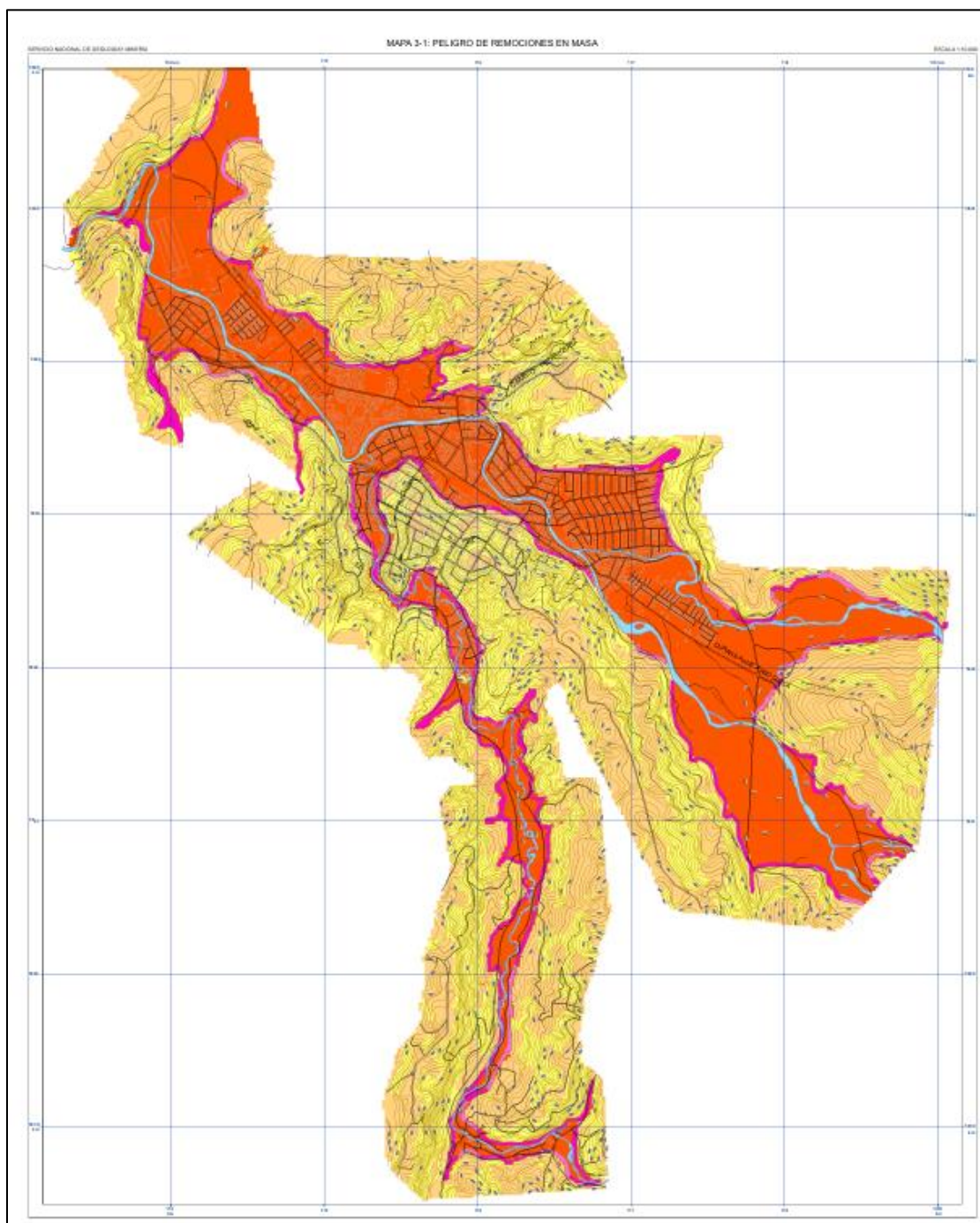
El tipo de remoción en masa mas común observado en el área corresponde a deslizamientos del tipo rotacional y en menor grafo, algunos flujos. Se desarrollan, principalmente en regolito o suelo formado "in situ" a partir de la meteorización física y química de rocas sedimentarias. Se generan superficies inestables y, generalmente, se activan remociones en masa durante precipitaciones intensas, o por eventos sísmicos de gran magnitud, en las laderas de los cerros que presentan una fuerte pendiente, o son intervenidas para la construcción de caminos y viviendas.

Debido a que la ciudad tuvo un crecimiento basado en la urbanización de antiguos asentamientos irregulares emplazados en laderas de pendiente mayor a 25°, es frecuente la ocurrencia de deslizamientos gatillados por eventos pluviales que involucran pequeños volúmenes de material removido, menores a 100 m³, los cuales han provocado daños de diversa consideración en viviendas construidas en pequeños terraplenes excavados en las laderas.

LEYENDA

GRADO DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIONES
Alto 	Áreas de Generación (A): Corresponde a las zonas de mayor posibilidad de generación de remociones en masa, y por lo tanto, de mayor impacto causado por este fenómeno. En estas áreas se generan, deslizamientos y, en menor medida, flujos de detritos y caída de roca. Áreas de Depósito (B): Corresponde a sectores con alta posibilidad de ser cubiertos por depósitos de remociones en masa. Se ubican ladera abajo de los sectores de alto peligro de generación de remociones. Las remociones en masa se generan en las partes altas a medias de las laderas, con pendientes mayores a 25° y los depósitos se reconocen en las partes medias a bajas de las laderas.	En estas áreas, no se recomiendan las construcciones de cualquier tipo. Para el caso de las construcciones ya existentes, se recomienda la erradicación de todas las viviendas ubicadas en sectores con remociones en masa declaradas y activas. Se recomienda incluir la zona de alto peligro en los planos reguladores comunales como zonas de restricción por remociones, con prohibición a la construcción de viviendas, servicios básicos y de emergencia. Se recomienda realizar estudios de estabilidad de taludes que permitan proyectar obras o medidas de mitigación. La implementación de estas últimas debe considerar su factibilidad económica en relación a los costos asociados a medidas alternativas, como por ejemplo, la erradicación definitiva de las viviendas. En las zonas de grietas generadas por el terremoto del 27 de febrero de 2010, se recomienda efectuar el manejo de las aguas lluvia, con el fin de disminuir la infiltración y, subsecuentemente, la susceptibilidad de remociones en masa asociadas a lluvias intensas. En las áreas de depósito (B), se recomienda efectuar obras de mitigación, para disminuir la energía de la remoción en masa, creando zonas de seguridad fuera del perímetro de influencia probable.
Medio 	Áreas de Generación (A): Corresponde a las zonas de posibilidad media de generación de remociones en masa. Estas zonas presentan un relieve con pendiente generalmente entre los 15 y 25°, con algunas evidencias de remociones en masa en el pasado. Áreas de Depósito (B): Corresponden a las zonas de posibilidad media de ser afectadas por los depósitos de remociones en masa. Están ubicadas, ladera abajo de los sectores de peligro medio de generación de remociones en masa.	Se recomienda el control de la construcción de cualquier tipo de inmueble, exigiendo una evaluación técnica profesional geológica-geotécnica, con el fin de establecer obras de mitigación o prohibición de construcción para cada caso puntual. Estas áreas debieran ser consideradas en los planos reguladores como áreas de construcción condicionada a estudios de riesgo por remociones en masa. Se debe orientar el uso de suelo para evitar generar nuevos factores condicionantes, como movimientos y acopios de material sin estabilizar, deforestación, intervención de cauces y quebradas, generación de taludes inestables por modificación del relieve original, entre otros.
Bajo 	Zonas de baja a nula susceptibilidad de generación y depositación de remociones en masa. Corresponden a terrenos bajos, generalmente con pendientes entre los 0° y 15°, y escasas a nulas evidencias de remociones en masa.	Áreas recomendables para desarrollo urbano. Sin embargo, deben ser evaluados y considerados otros peligros geológicos, entre ellos, licuefacción, desborde de cauces y anegamientos. Las áreas próximas a zonas de mayor peligro deben ser evaluadas con mayor detalle, dadas las condiciones del terreno y la incertidumbre asociada a este estudio preliminar.

Figura 48. Mapa 3-1 Peligro de Remoción en masa



Fuente: SERNAGEOMIN

Nota: El mapa citado es oficial de SERNAGEOMIN, no obstante, presenta errores evidentes en su leyenda. Se requiere solicitar a SERNAGEOMIN la verificación de la información contenida en la leyenda.

Para la clasificación y evaluación de la geología se consideraron valores 1 (muy Baja), 2 (baja), 3 (media), 4 (alta) y 5 (muy alta) según como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 11. Valor del parámetro Susceptibilidad Litológica

Litología	Descripción	Características	Edad	Calidad	Valor
Formación Tubul	Areniscas arcillosas fosilíferas	Sedimentario Consolidados	Plioceno	Media	2
Formación Boca - Lebu	Areniscas arcillosas fosilíferas	Sedimentario Consolidados	Eoceno Inferior	Media	2
Formación Trihueco	Areniscas arcillosas con intercalaciones de lutitas carbonosas y mantos de carbón	Sedimentario Consolidados	Eoceno Medio	Media	2
Formación Curanilahue	Areniscas, arcillas asociadas a mantos de carbón con intercalaciones de areniscas verdes fosilíferas	Sedimentario Consolidados	Eoceno Inferior	Mala	3
Basamento Metamórfico		Plutonismo	Paleozoico	Mala	3
Cuaternario antiguo	Depósitos marinos y aluviales	Sedimentario No Consolidados y Depósitos Modernos	Cuaternario	Media	2

Elaboración a partir de Lara (2007), Araya (2014) y Mardones, María & Vidal (2001)

Análisis de Humedad del terreno (Sh)

A continuación, se muestran los promedios mensuales de precipitaciones obtenidas para el periodo de 2013 a 2021 a partir de información de la estación Río Curanilahue en Curanilahue (DGA), a esta información se le asigna el valor señalado en la metodología (Anexo R-01) del presente estudio, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. Promedio Precipitaciones mensuales. 2013 – 2021

Estación	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Ju	Ju	Ag	Se	Oc	No	Dic	Anual
Río Curanilahue en Curanilahue	22,9	18,4	31,8	89,3	221	293	268	227	136	93,2	45	23,6	1468

Fuente: Ministerio de Agricultura, 2021.

Tabla 13: Promedios Precipitaciones mensuales y valoración

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	
mm	22,9	18,4	31,8	89,3	221	293	268	227	136	93,2	45	23,6	
Valor Asignado	0	0	0	1	2	2	2	2	1	1	0	0	

El resultado del cálculo llevado a cabo entrega como resultado que el área de estudio posee un valor medio en cuanto al factor condicionante de Humedad de Terreno (Sh), correspondiente a un valor de 11.

Tabla 14: Peso asignado al parámetro humedad del terreno (Sh)

Suma de valores asignados a cada mes	Descripción	Valor del parámetro
0 - 4	Muy Bajo	1
5 - 9	Bajo	2
10 - 14	Medio	3
15 - 19	Alto	4
20 - 24	Muy Alto	5

Fuente: Mora (2004)

Disparo por lluvia (DII)

Para el cálculo del Disparo por lluvia (DII) se consideró la lluvia máxima en 24 horas en la estación Curanilahue para el periodo 2000 - 2021, según muestra la siguiente tabla.

Tabla 15: Precipitaciones Máximas anuales en 24 Horas estación Curanilahue (2000 – 2021)

AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)
2000	02/06	149,00
2001	31/07	135,00
2002	11/10	124,00
2003	18/06	103,00
2004	04/08	94,00
2005	26/06	137,00
2006	06/06	175,00
2007	12/08	92,00
2008	18/05	207,00
2009	23/08	109,00
2010	16/08	117,00
2011	12/04	78,00
2012	12/06	105,00
2013	27/05	83,00
2014	13/05	100,00
2015	05/08	72,00
2016	25/11	56,20
2017	16/06	200,00
2018	27/05	58,50
2019	26/06	91,00
2020	09/07	80,00
2021	28/01	48,20

Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos DGA.

El resultado del valor del parámetro DII corresponde a 3 (medio), ya que las precipitaciones máximas en 24 horas para el periodo analizado en la estación Curanilahue tuvieron un promedio de 109,7 mm.

Disparo por sismicidad

El Factor detonante por Sismo se califica según las tres zonas sísmicas que se distinguen en el territorio nacional (NCh433 y NCh2369). No obstante, en regiones sometidas a terremotos, toda decisión en materias de obras de ingeniería, construcción de industrias o manejo de suelos debe estar apoyada en estudios que permitan conocer las características de los terremotos que con mayor o menor probabilidad pueden producirse. Con este propósito se deben tomar en consideración los antecedentes de la sismicidad histórica y de las características de las fuentes sísmicas de la región a mayor detalle.

Para la evaluación a la susceptibilidad de remoción en masa se determinaron los siguientes pesos a los factores condicionantes analizados:

Tabla 16. Determinación de peso por el método de Saaty (EMC)

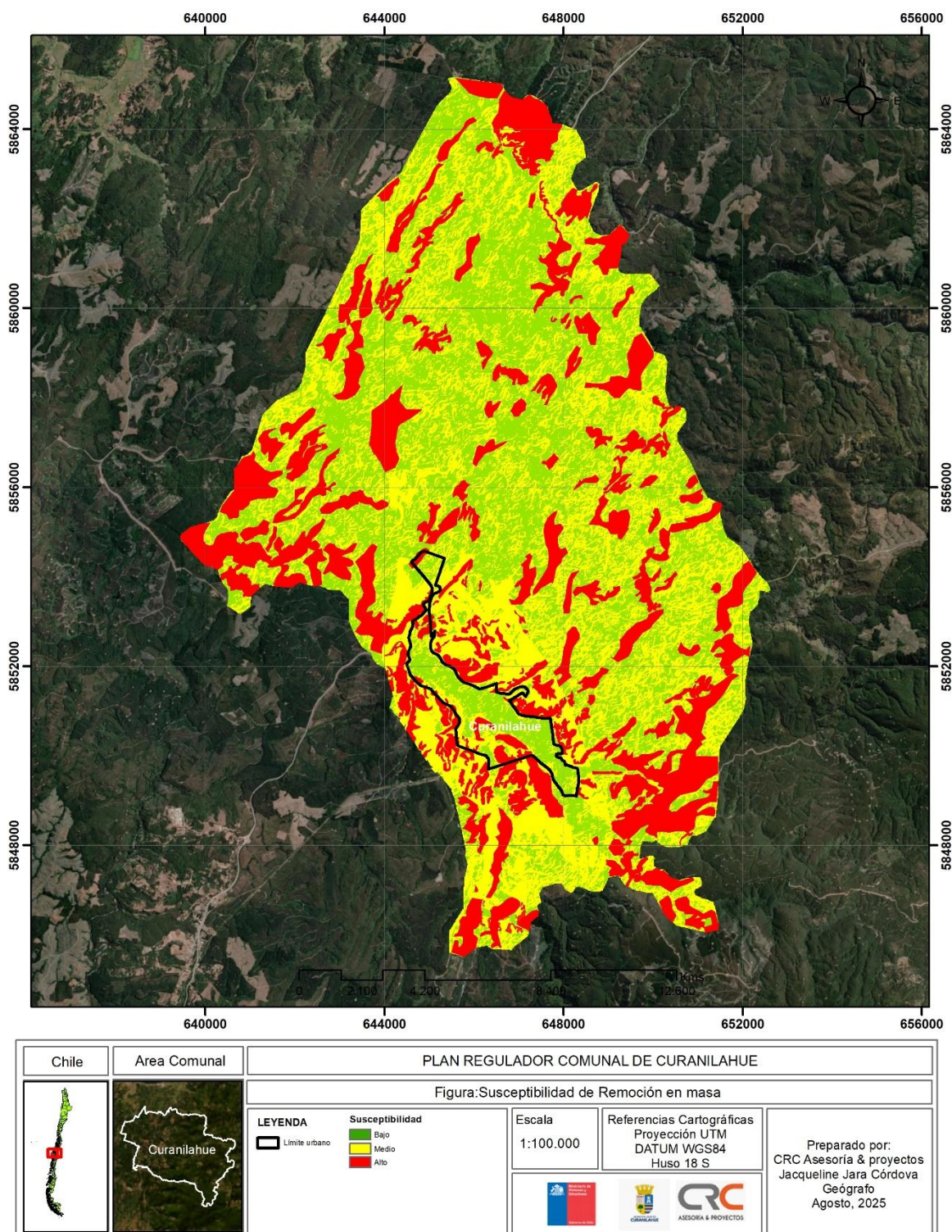
Factor	F1	F2	F3	F4	F5	F6
F1	1,00	9,00	6,00	9,00	9,00	7,00
F2	0,11	1,00	0,17	0,50	0,50	0,33
F3	0,17	6,00	1,00	6,00	5,00	5,00
F4	0,11	2,00	0,17	1,00	0,50	0,50
F5	0,11	2,00	0,20	2,00	1,00	0,50
F6	0,14	3,00	0,20	2,00	2,00	1,00

IC= 0,09

Fuente: Elaboración propia.

Las ponderaciones resultantes son: 65% para pendientes, 15% geología, 2% geomorfología, 10% humedad, 5% vegetación y un 3% orientación de ladera. El mapa resultante para la evaluación de peligros morfodinámicos se muestra a continuación. El índice de consistencia es de 0,09.

Figura 49. Carta de susceptibilidad de Remoción en masa



Fuente: Elaboración propia

7.3 Amenazas antrópicas

7.3.1 Amenazas por suelos contaminados

Para la amenaza por suelos contaminados se analizará el marco normativo relacionado, el cual se señala a continuación. Además, se identificarán dichos lugares en base a información primaria y secundaria.

- Ley 20.417 que modifica la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente
- Decreto 40, del Ministerio del Medio Ambiente
- Decreto 148, del Ministerio de Salud
- Resolución Exenta 1.690, que aprueba la Metodología para la Identificación y Evaluación Preliminar de Suelos Abandonados con Presencia de Contaminantes
- Resolución Exenta 406, que aprueba la Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes.

7.3.1.1 Riesgo por Fuentes contaminantes y/o Pasivos Ambientales

En Curanilahue, la actividad industrial minera y la actividad forestal a lo largo de su historia ha dejado potenciales fuentes contaminantes en el suelo y las aguas, lo cual presenta serios riesgos y consecuencias para el medio ambiente, sumando además los eventuales efectos nocivos sobre el ecosistema y la salud humana.

Estas potenciales fuentes contaminantes se denominan pasivos ambientales, definidos como "la suma de los daños no compensados producidos por una empresa al medio ambiente a lo largo de su historia, en su actividad normal o en caso de accidente. Son sus deudas hacia la comunidad donde opera"⁸. Ellos pueden ser sitios abandonados o lugares de almacenamiento. Cabe señalar que estos sitios con pasivos ambientales y fuentes contaminantes, no se evalúan en su peligrosidad en este estudio, sino que se acude y se registra la información secundaria citada.

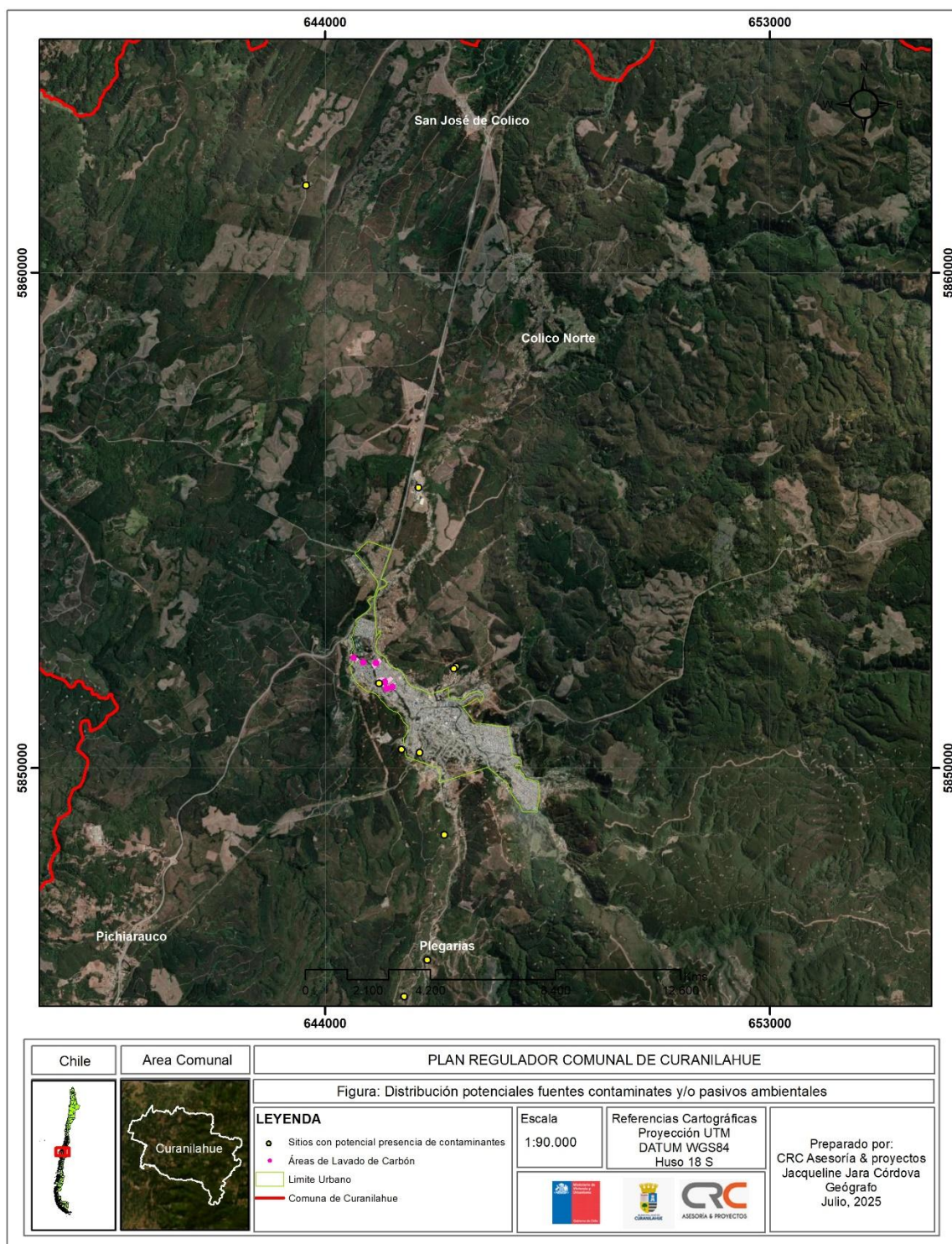
Para establecer su distribución en el Biobío el Ministerio de Medio Ambiente desarrolló un Diagnóstico Regional en 2012⁹ en el cual se informaron para Curanilahue 16 sitios que se clasifican en Áreas de Lavado de carbón, antiguos chiflones de minería, aserraderos y antiguos vertederos.

En la siguiente figura se muestra una panorámica de estos en su distribución comunal y en la figura 3 se presenta el detalle entregado en el Diagnóstico Regional de 2012.

⁸ Fuente: Daniela Russi y Joan Martínez Alier (2002). Los pasivos ambientales. Iconos. Revista de Ciencias Sociales 2002, (15: pp. 123-131)

⁹ Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2012). Diagnóstico Regional de Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes. Región del Biobío.

Figura 50. Distribución potenciales fuentes contaminantes y/o pasivos ambientales



Fuente: Elaboración propia, en base a las coordenadas del Diagnóstico Regional de Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes. Región del Biobío (2012).

Tabla 17. Sitios con potencial presencia de contaminantes

Coordenada Este	Coordenada Norte	Nombre Empresa	Actividades Potencialmente Contaminantes	Contaminantes	Fuente de información
643611	5861768,6	Sociedad Promacol Ltda. (ACTUAL SOPROMA)	Aserradero	Pentaclorofenol	Seremi Salud Concepción
645892	5855661,5	Maderera Industrial El Colorado Ltda.	Aserradero	Pentaclorofenol	Seremi Salud Concepción
No tiene	No tiene	PSEG Generación de Energía	central térmica		Seremi Salud Concepción
645599	5845379	I. Municipalidad de Curanilahue	Ex vertedero		Seremi Salud Concepción
645090	5851701	Planta Lavado de carbón	Lavado Carbón	Azufre	Municipio
665617	5843968	Chiflón Antiguo, Agua Blanca	Minería	Azufre	Informe Externo E400 Proyecto Focigam
646071	5846117	Ex Central Plegarias	Minería	Azufre	Informe Externo E400 Proyecto Focigam
645549	5850366	Ex Pirquen Rojas	Minería	Azufre	Informe Externo E400 Proyecto Focigam
646656	5852049	Mina Colico Sur	Minería	Azufre	Informe Externo E400 Proyecto Focigam
646607	5852000	Botadero Mina Copar	Minería	Azufre	Informe Externo E400 Proyecto Focigam
645918	5850308	Pirquen abandonado cercano a Chiflón	Minería	Azufre	Informe Externo E400 Proyecto Focigam

Coordenada Este	Coordenada Norte	Nombre Empresa	Actividades Potencialmente Contaminantes	Contaminantes	Fuente de información
646153	5843416	Pirquen abandonado N°2	Minería	Azufre	Externo E400 Proyecto Focigam
646136	5843493	Pirquen abandonado N°3	Minería	Azufre	Externo E400 Proyecto Focigam
646094	5843529	Pirquen abandonado N°4	Minería	Azufre	Externo E400 Proyecto Focigam

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2012). Diagnóstico Regional de Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes. Región del Biobío.

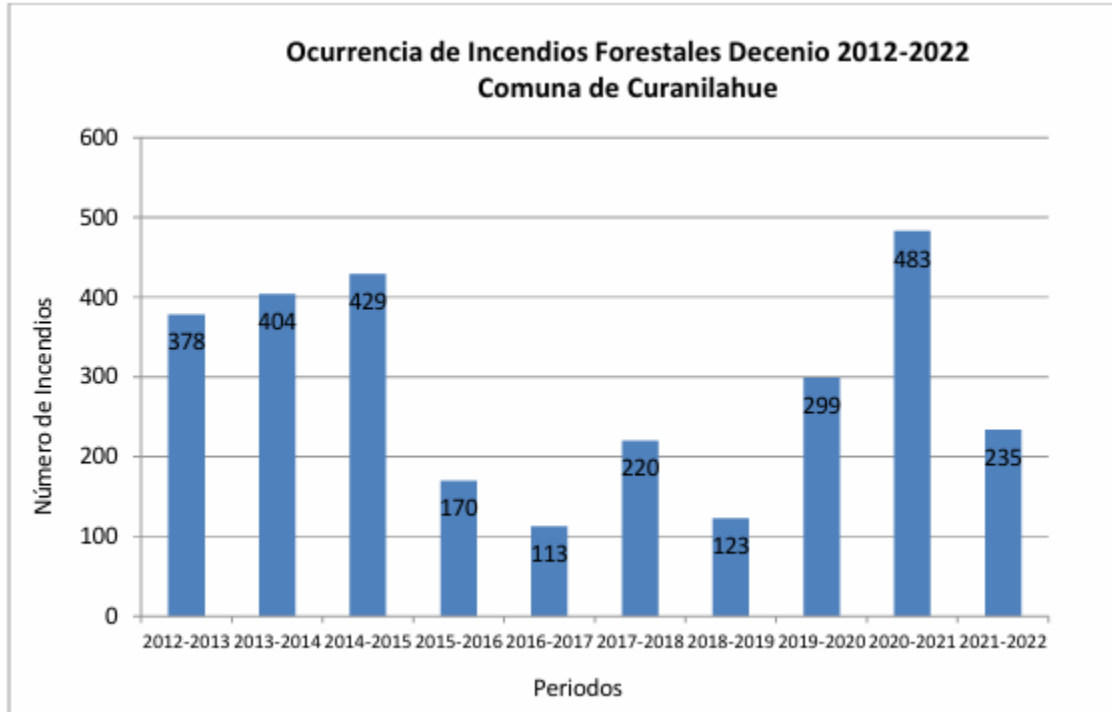
Como se puede observar en la Tabla 16 en el área de estudio de Curanilahue se identifican nueve sitios con potencial presencia de contaminantes, relacionados principalmente a zonas de lavado de carbón faenas mineras, aserraderos.

Las actividades que se registran en los lugares tienen que ver con la pasada extracción y aglomeración de hulla o carbón de piedra, que han dejado residuos en el lugar, cuyo principal componente contaminante es el azufre. Siete de estos sitios se encuentran cercanos al cauce del río Curanilahue y tres sitios, relacionados con faenas mineras abandonadas (chiflones) están cercanos al área urbana, en los cordones de cerros inmediatos a la ciudad. El detalle se muestra a continuación.

7.3.2 Peligro Incendio forestal

Considerando las diez últimas temporadas (2012-2022) se observa que la ocurrencia de incendios forestales en la comuna de Curanilahue, las primera tres temporadas van al ascenso después se mantiene irregular cada año por lo que en el periodo 2020-2021 tiene un pick de 483 incendios forestales, la que luego en la próxima temporada cae con una ocurrencia de 235 incendios

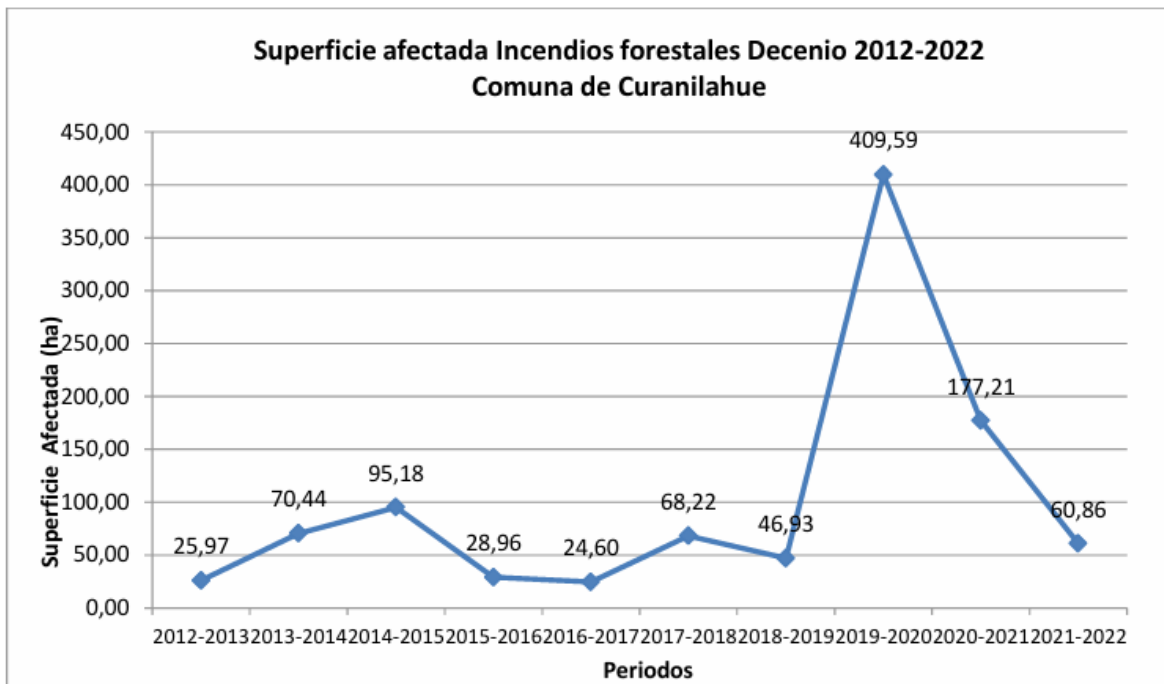
Figura 51. Ocurrencia de incendios forestales comuna de Curanilahue (2012 - 2022)



Fuente: Sistema de información digital para control de operaciones SIDCO.

La superficie total afectada en los últimos 10 años es de 1.007,95 hectáreas, en lo que respecta a la línea de tendencia de superficie afectada (Figura 4), nos muestra que la superficie dañada es irregular año a año en relación con la ocurrencia; destacándose la temporada 2019-2020 con una superficie de 409,59 ha, siendo la temporada que acumula la mayor superficie comunal afectada.

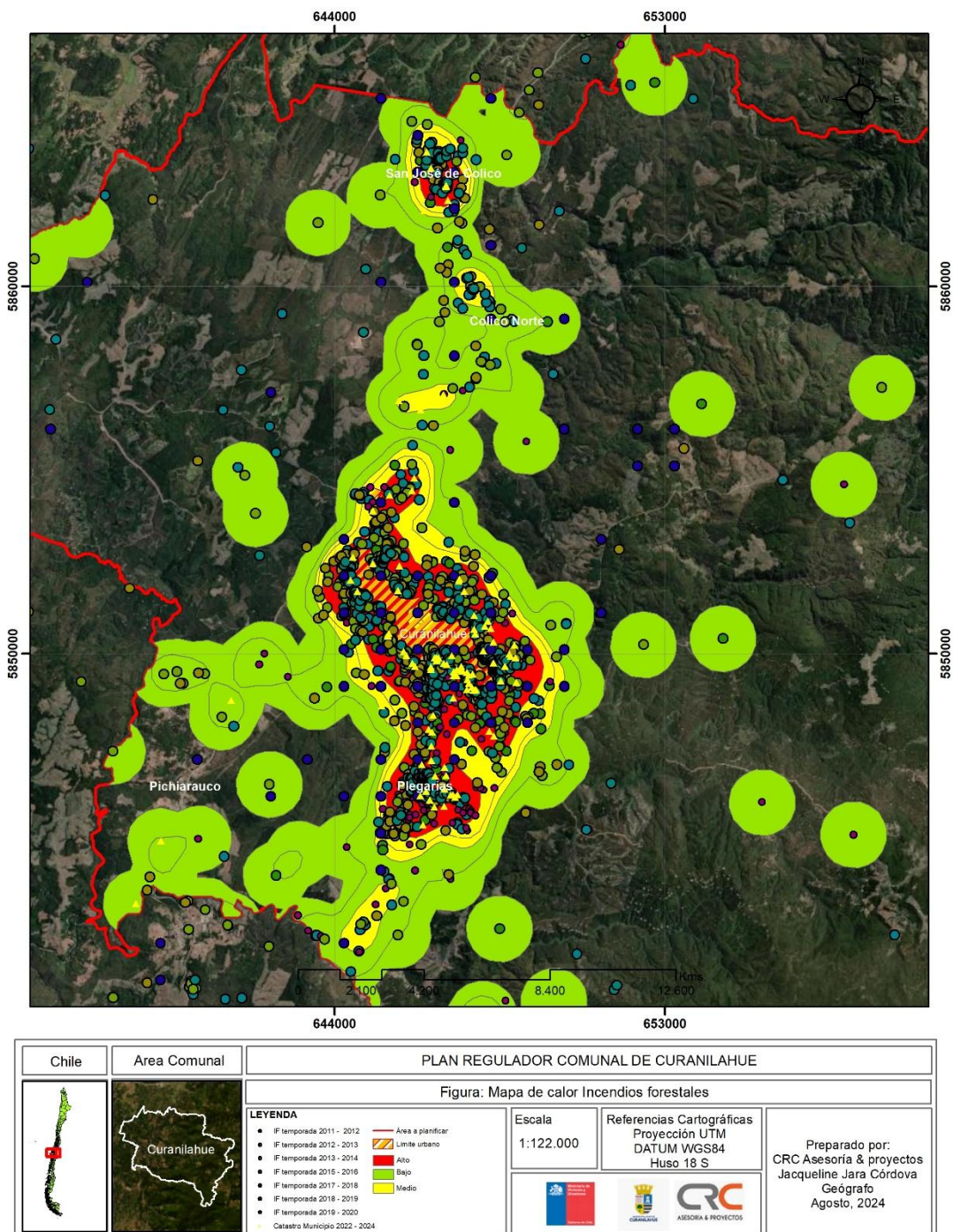
Figura 52. Superficie afectada comuna de Curanilahue (2012 - 2022)



Fuente: Sistema de información digital para control de operaciones SIDCO.

La comuna actualmente tiene una intensa actividad forestal, que se manifiesta en que el 62% del uso de suelo es monocultivo. Aproximadamente, el 73% del área urbana colinda con este tipo de uso de suelo, habiendo experimentado diversas amenazas de incendios en la última década. La comprensión e integración de estos riesgos a la planificación urbana es fundamental para el desarrollo urbano seguro y sostenible de Curanilahue. La planificación debe incluir estrategias específicas para reducir la vulnerabilidad de las áreas más afectadas y mejorar la resiliencia de la comunidad ante futuros eventos naturales.

Figura 53. Mapa de calor incendio forestal de la Comuna de Curanilahue



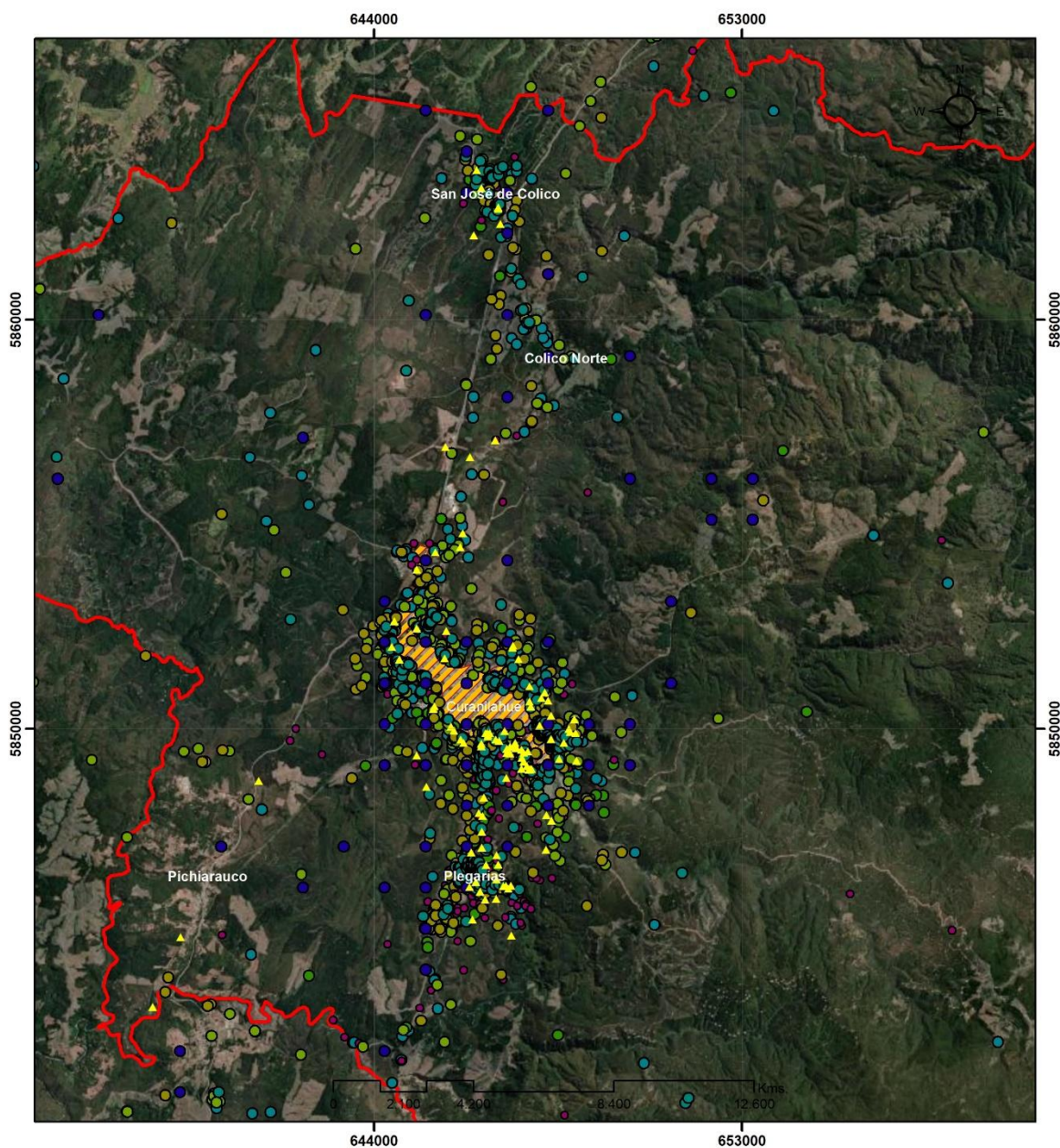
Fuente: Elaboración propia a partir de datos municipales

7.3.3 Registro reciente de incendios forestales en interfaz urbana

En Curanilahue, los sectores en interfaz urbano-forestal se dan desde el contacto de la Ruta 160 con las localidades de San José de Colico y Colico Norte, en el Sector La Colcha, en sector General Bonilla, sector Eleuterio Ramírez, sector El Dos al sur de la ciudad y la ruta a la localidad de Plegarias. Todos estos sectores han vivido al menos un evento de amenaza por incendio de interfaz urbano-forestal en los últimos 10 años.

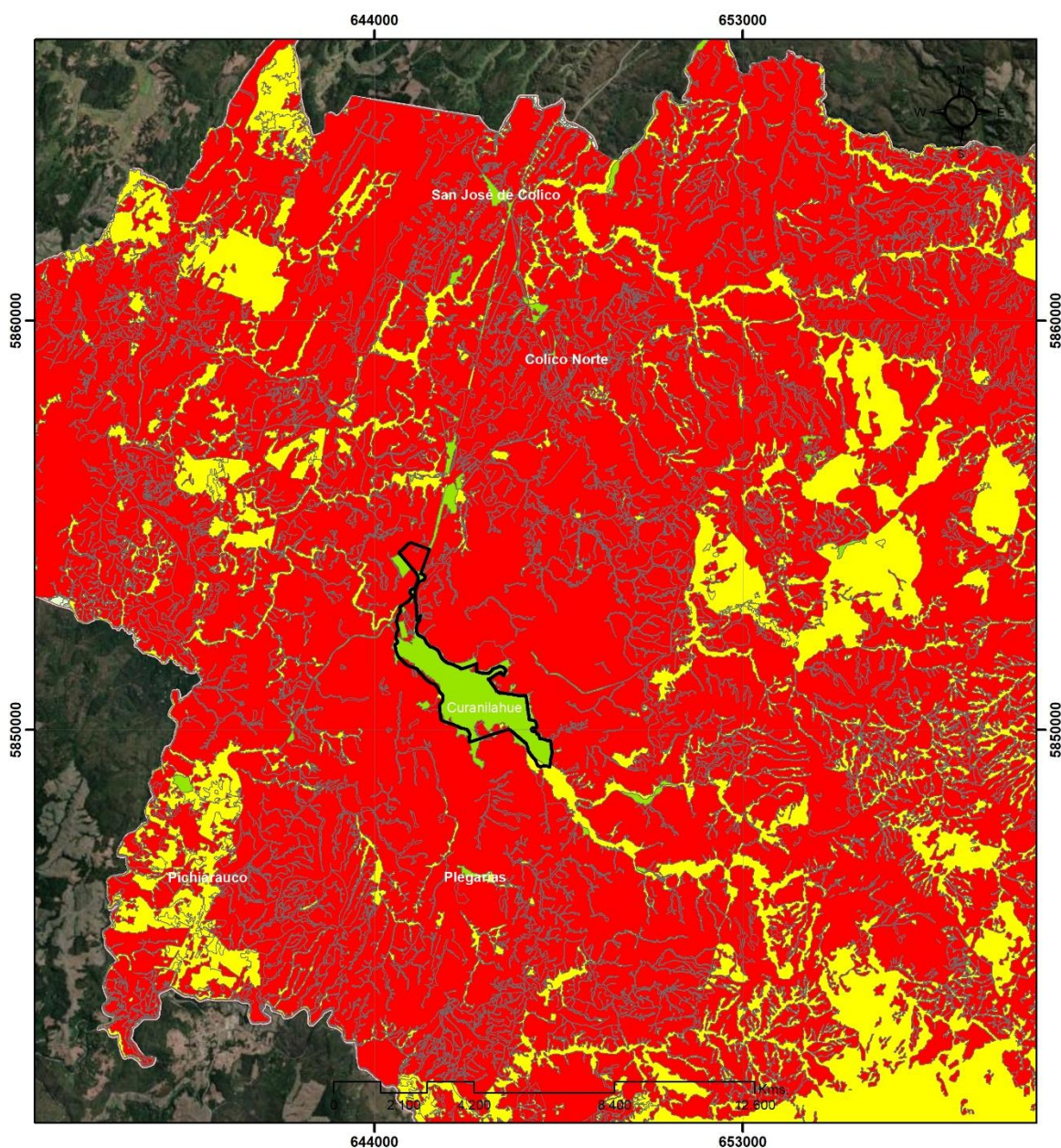
Las amenazas a viviendas han quedado registradas para los primeros días de febrero de 2010 en población Eleuterio Ramírez, en 30 de noviembre de 2014 como amenaza a las viviendas de la población Lagos de Chile, en los días 11 al 13 de febrero de 2015 con amenaza a las viviendas de San José de Colico en su sector norte, a fines de enero de 2017 incendios forestales amenazaron viviendas en Villa Plegarias, y en 2018 durante el mes de enero fue afectado el sector La Colcha y sector El Dos también con amenazas a las viviendas.

Figura 54. Catastro Incendios Forestales Comuna de Curanilahue



Fuente: Sistema de Información territorial, CONAF y Municipio.

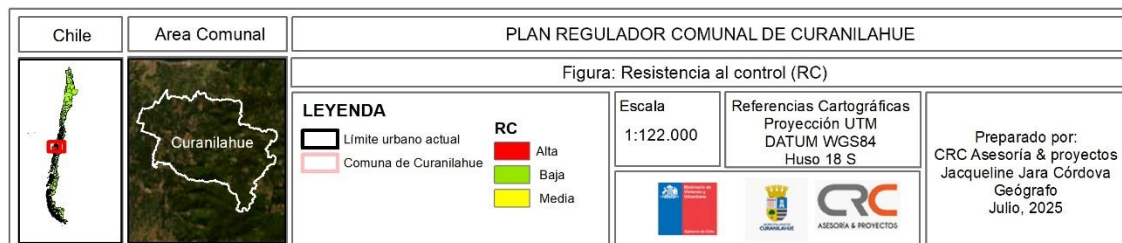
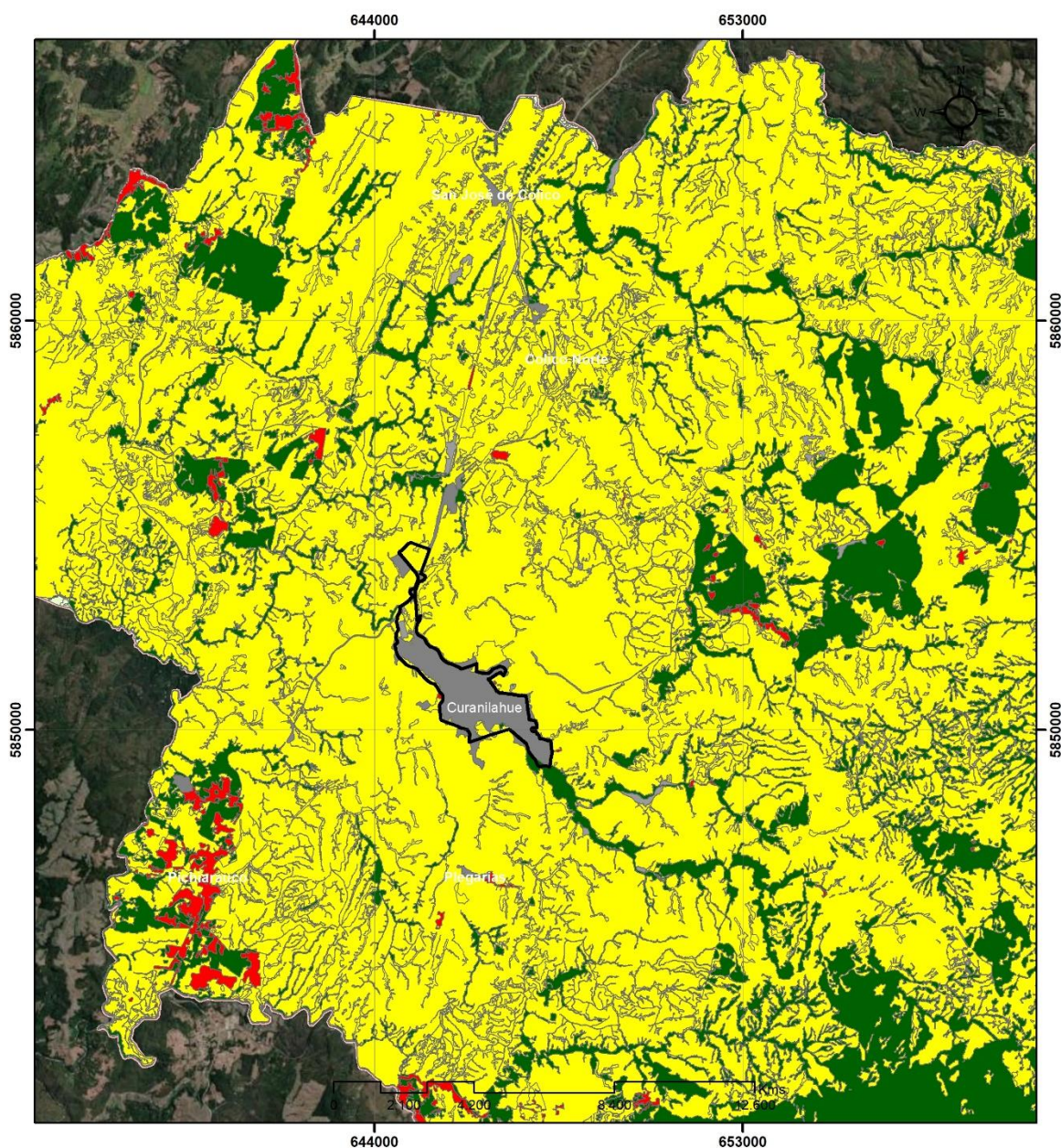
Figura 55. Velocidad de Propagación (VP)



Chile	Area Comunal	PLAN REGULADOR COMUNAL DE CURANILAHUE		
		Figura:Velocidad de Propagación (VP)		
		Área a planificar Comuna de Curanilahue VP Alta Baja Media	Escala 1:122.000 Referencias Cartográficas Proyección UTM DATUM WGS84 Huso 18 S	Preparado por: CRC Asesoría & proyectos Jacqueline Jara Córdova Geógrafo Julio, 2025
		 		

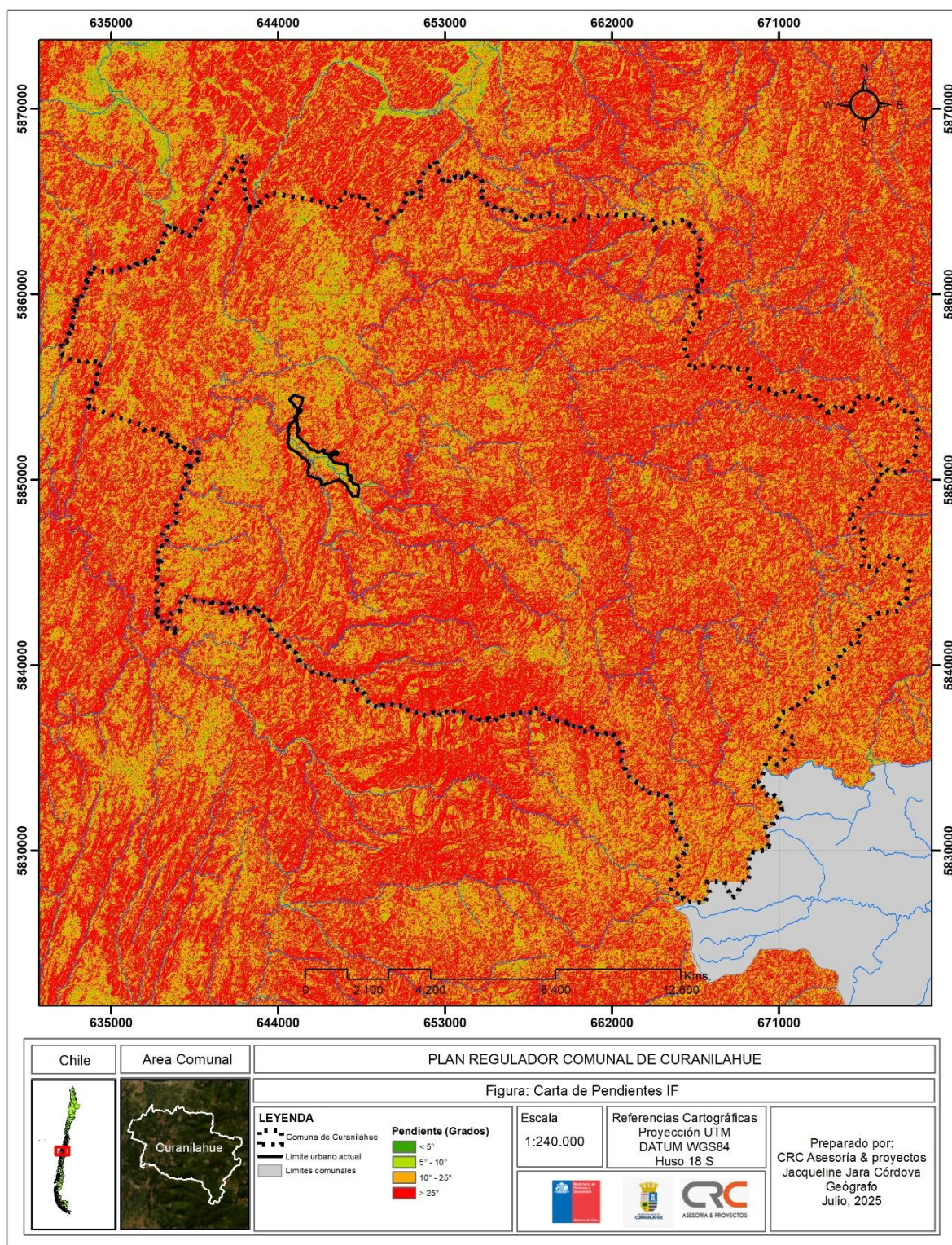
Fuente: Elaboración Propia a partir de CONAF, 2017.

Figura 56. Resistencia al Control (RC)



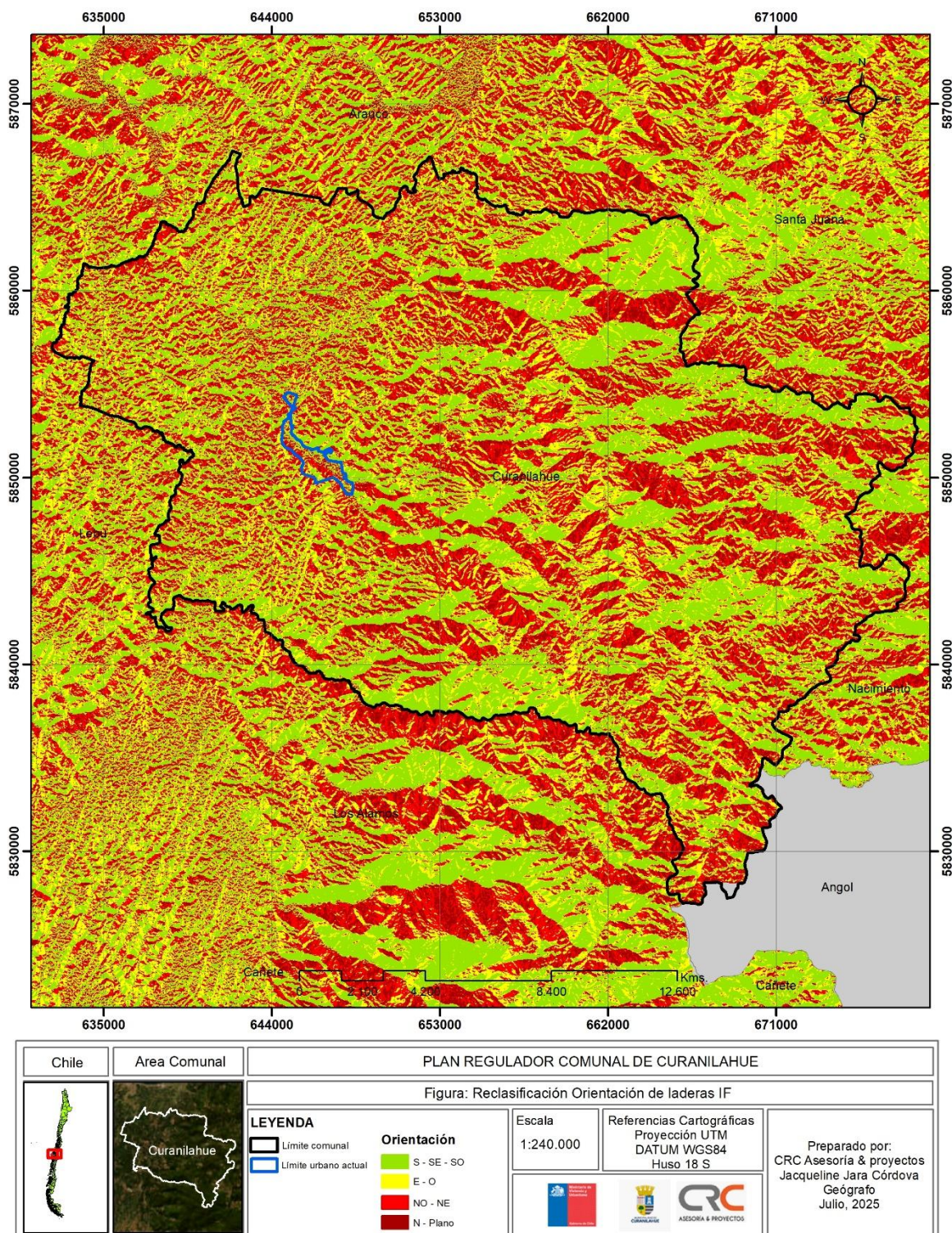
Fuente: Elaboración Propia a partir de CONAF, 2017.

Figura 57. Reclasificación de Pendientes



Fuente: Elaboración Propia a partir de MDT.

Figura 58. Exposición de laderas

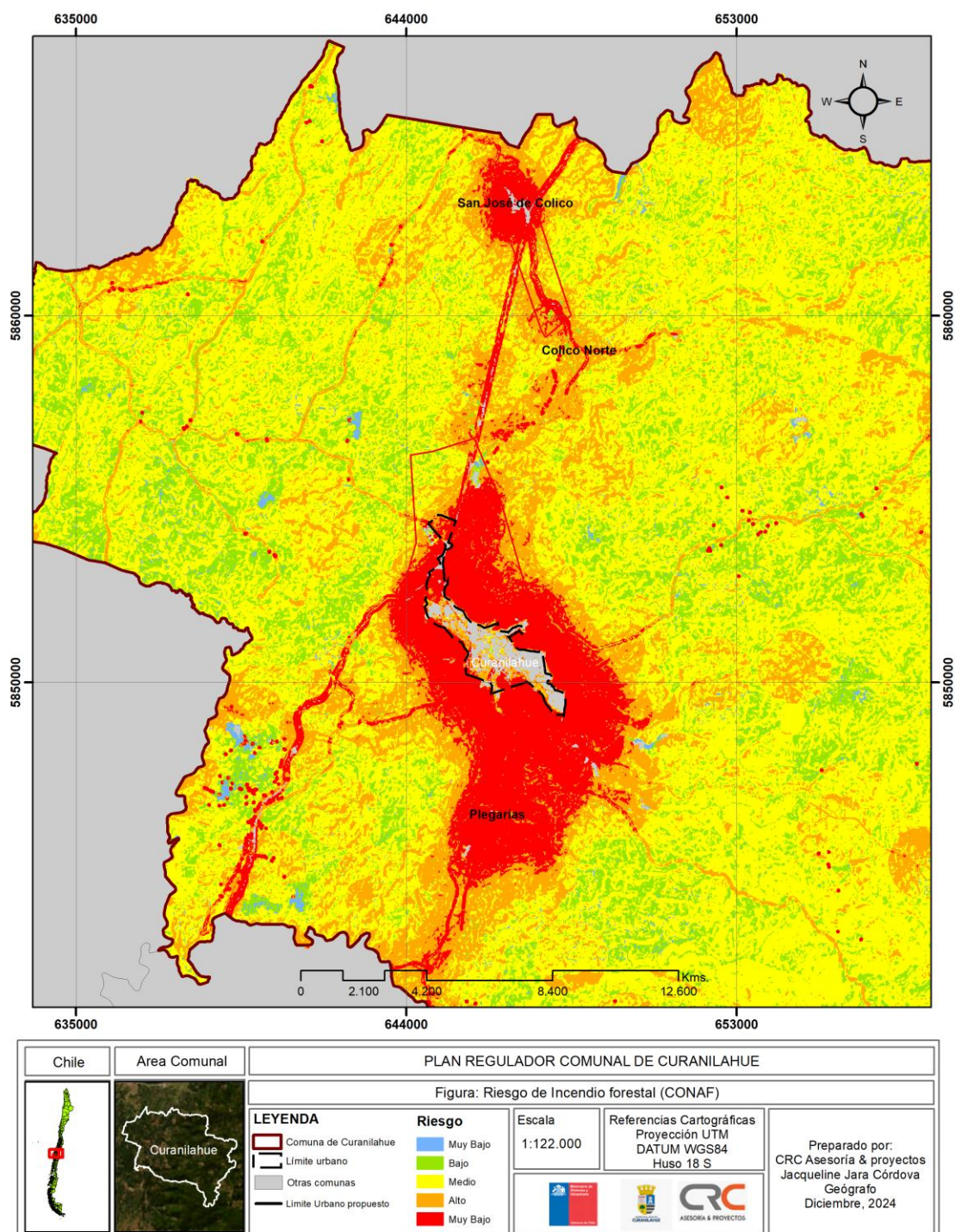


Fuente: Elaboración Propia a partir de MDT.

El análisis de riesgo, basado en el estudio nacional de riesgo por incendio forestal desarrollado por el Departamento de Investigación y Desarrollo de la GEPRIF está basado en sub-análisis de amenaza y vulnerabilidad, este considera información de capas de infraestructura crítica, SNASPE, valor ecológico del combustible, valor económico del combustible, interfaz, red eléctrica y red de camino (vulnerabilidad); peligro estadístico de incendios, peligro estructural y elementos de amenaza (Amenaza), utilizando una puntuación para cada uno de ellos.

La comuna de Curanilahue presenta en su mayor parte en un riesgo medio, principalmente, hacia las zonas de cerros y plantaciones forestales. El Riesgo muy alto se presenta también en gran parte de la zona de interfaz entre los límites urbanos (área urbana y de extensión urbana) y vegetación (Figura 5).

Figura 59. Mapa de Riesgo de la Comuna de Curanilahue



Fuente: Sección de Análisis y Predicción de Incendios Forestales- Conaf.

7.3.4 Subsistencia

El riesgo de subsidencia se entiende como el fenómeno de desplazamiento hacia abajo de la superficie de un terreno o cavidad que se forma en superficie, producto de la extracción de una mina subterránea. Ello puede ocurrir en actividades mineras activas o abandonadas.

Según el Servicio Nacional de Geología y Minería, en Curanilahue y producto de la actividad minera del carbón con la construcción de pirquenes o túneles dentro del área urbana o que actualmente es urbana, se han producido fenómenos de subsidencia, consistente en el hundimiento y/o resquebrajamiento de terrenos debido a las actividades mineras que se dieron en el pasado. Estas actividades actualmente en abandono han significado un debilitamiento del suelo y subsuelo, que se puede activar en eventos de precipitaciones extremas y/o de eventos sísmicos como el de febrero de 2010¹⁰.

Este riesgo ha sido considerado, por su presencia conocida en el área y la evidencia que ha recogido el Servicio Nacional de Geología y Minería. Por tanto, no se establecen en este estudio los factores y criterios de su peligrosidad, sino que se recoge y traza en el plano dicha evidencia.

De acuerdo a Sernageomín (2010a) la principal área con riesgo de subsidencia se localiza al norte de Av. O'Higgins en las inmediaciones del estadio Raúl Erazo Herrera, la que se señala en la figura 32 como Subsistencia por pirquenes subterráneos, abarcando una superficie de 4,6 hectáreas.

Además, en la ciudad se produjo en 2010 resquebrajamiento de terrenos con riesgo de derrumbe en la Población Ramón Rabal (calle Tucapel) asociado a la bocamina y túneles de la antigua explotación que dio nombre a la población actual y también en Cerro Verde.

En la ciudad de Curanilahue, la actividad minera también es un problema para la población, quedando en evidencia por la aparición de numerosos pirquenes en algunos sectores.

Producto del terremoto del 27 de febrero, en el patio de la vivienda ubicada en calle Tucapel #268 se abrió la entrada de la ex bocamina que lleva el mismo nombre de la población, Ramón Rabal

¹⁰ Fuente: SERNAGEOMIN, 2010a. Servicio Nacional de Geología y Minería. Patricio Derch F. y Hugo Constanzo H. Informe: Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010: observaciones de daños por actividad minera en las ciudades de Lota y Curanilahue (INF-BIO-BIO-31).

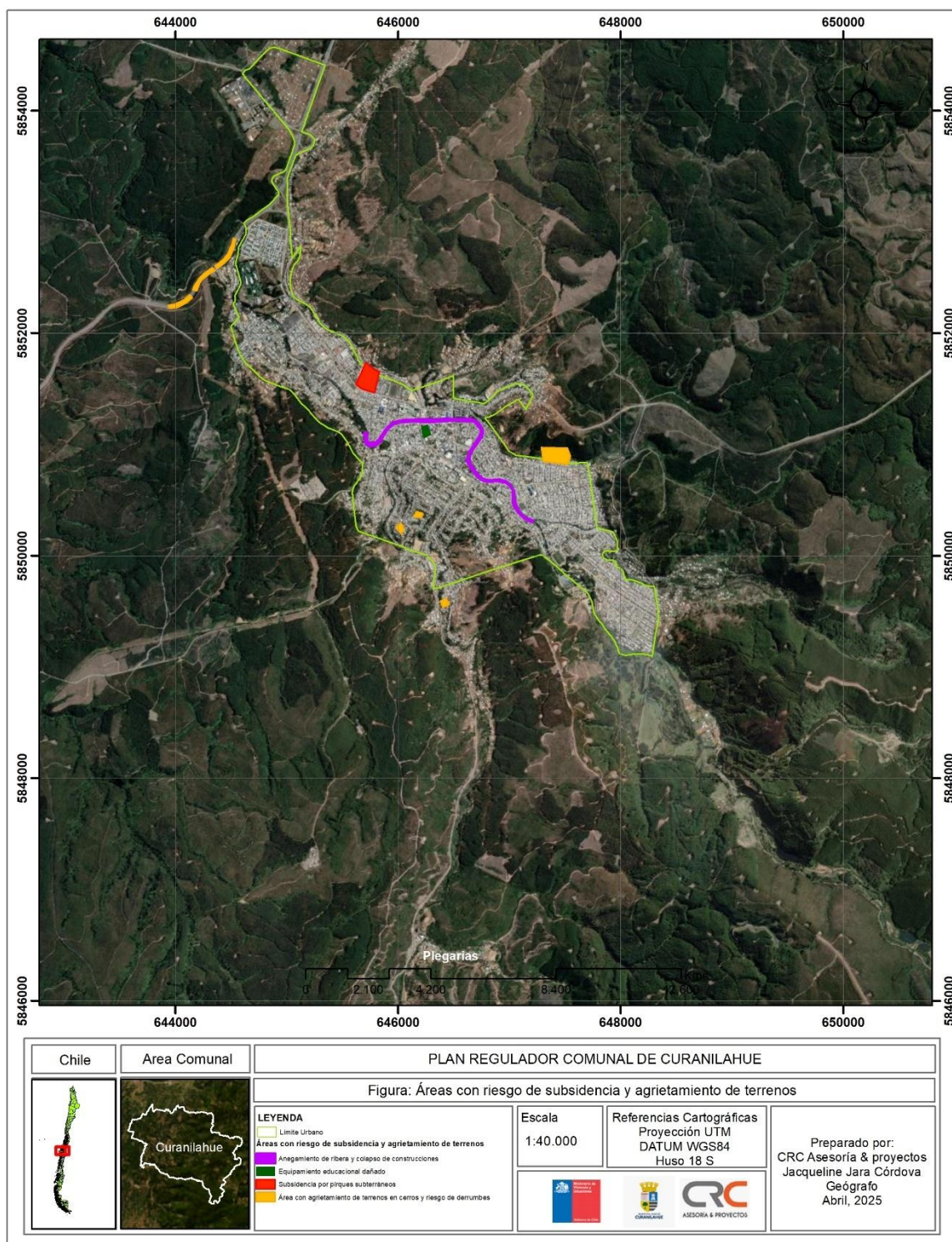
Figura 60. Apertura de una bocamina artesanal por sismo 27F



Fuente: SERNAGEOMIN, 2010^a

- En la misma calle Tucapel, pero con el número 174, se observó una emanación subterránea del agua desde el patio de la vivienda la cual, según el propietario, "el día del terremoto salía a gran presión e inundó completamente el patio y la casa. Esta emanación de agua se relaciona directamente con el colapso de la mina Ramón Rabal".
- En calle Alameda esquina Caupolicán, se produjo un deslizamiento del tipo rotacional, en un cerro artificial formado por el acopio de material estéril proveniente de las minas de carbón Colico Sur. El material removido obstruyó el drenaje en un canal ubicado a los pies de este cerro, destruyendo completamente la escuela de Lenguaje y varias viviendas de calle Alameda. La ladera se encontraría muy agrietada y en situación inestable, con el consiguiente peligro para las viviendas que colindaban con la ladera, especialmente durante períodos de precipitaciones intensas.
- En calle Montt, se produjo la caída del terraplén del camino, lo cual provocó la destrucción de numerosas viviendas a lo largo de toda la calle. El terraplén se encontraba sobre, al menos 1 metro de material de relleno, y los muros del terraplén destruido tienen al menos 3 metros de altura. La calle se encontraba en aquel entonces, en trabajos de pavimentación.

Figura 61. Áreas con riesgo de subsidencia y agrietamiento de terrenos



Fuente: PLAN DE REGENERACIÓN URBANA. Nombre Localidad: Curanilahue, Comuna de Curanilahue, Región del Bío Bío. División de Desarrollo Urbano MINVU (201

CAPÍTULO 1. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS GENERALES Y ESPECIFICOS EN MATERIA DE RIESGOS

La planificación territorial en áreas de riesgo es crucial para mitigar los efectos de desastres naturales/antrópicos y prevenir la pérdida de vidas humanas y materiales.

En la comuna de Curanilahue, específicamente en el área a planificar en el Instrumento de Planificación territorial (PRC – CHUE) se identificó la existencia de diversas áreas de riesgo, estas se encuentran principalmente relacionadas a procesos de: Licuefacción, Remoción en masa, Incendio forestal e inundación fluvial. Con el fin de proteger a la población localizada en estas áreas y prevenir las consecuencias de la localización futura sobre las amenazas identificadas es necesario establecer normas urbanísticas concordantes con el riesgo identificado. Algunas propuestas clave para una adecuada planificación territorial en estas zonas son:

- **La Delimitación de áreas susceptibles a desastres naturales/antrópicos y la clasificación de estas, priorizando la protección de las áreas de mayor riesgo.** Es así como en el caso de la comuna de Curanilahue se puede establecer que las áreas susceptibles a inundación fluvial se encuentran relacionadas a los por desbordes de los ríos Curanilahue, Plegarias y Rana, afectando a territorios actualmente urbanizados, afectando a más del 50% de la población (Av. Bernardo O'Higgins, Villa Los Héroes, Pioneros del Carbón). Los riesgos sísmicos y de licuefacción se relacionan a los suelos saturados en las riberas de los ríos, donde se concentra la mayor población de la comuna. El peligro de incendio forestal se localiza en la actual zona de interfaz urbano-forestal, donde se pudo constatar que el 90% del territorio se encuentra rodeado de monocultivo forestal (Sectores como Chillancito, Ricardo Lagos, La Mano, San José de Cólico). Por otro lado, la amenaza a remoción en masa se encuentra en las laderas localizadas principalmente en la periferia del actual límite urbano, siendo algunos de los sectores críticos Cerro La Perdiz, Camilo Henríquez, Efraín Zenteno.
- **Prohibición o limitación del uso del suelo en zonas críticas de inundación fluvial:** Es necesario Impedir la construcción de viviendas, infraestructuras u otras actividades humanas en zonas con alto riesgo, en este caso se hace principalmente énfasis en las áreas de susceptibilidad a inundación fluvial.
- **Relocalización de viviendas ubicadas en la ribera de los Ríos mencionados con el objetivo de detener la exposición a riesgos.**
- **Construcción de infraestructuras resilientes:** Fomentar la edificación de viviendas, puentes, carreteras, entre otros, con normas de construcción adaptadas a los riesgos naturales locales.
- **Designación de áreas relacionadas y expuestas a riesgo como áreas verdes y parques urbanos.**
- **Para áreas con alto peligro de remoción en masa e incendio forestal, se recomienda un crecimiento urbano de baja densidad y la obligatoriedad de la**

realización de estudios específicos que colaboren con la mitigación de la amenaza correspondiente.

A continuación, se señalan las recomendaciones para que sean consideradas en la zonificación de las áreas de peligro identificadas en el presente estudio, cabe señalar que estas recomendaciones serán abordadas en más detalle en la etapa de anteproyecto, cuando se propongan los cuadros normativos y las actividades y usos de suelos permitidas y/o prohibidas.

Tabla 18. Recomendaciones de criterios para zonificación en base al estudio.

Tipo de peligro	Grado de peligrosidad	Criterio de Zonificación urbana	
		Área no consolidada	Área consolidada
Inundación por desborde de cauces	Alta	Riesgo (2.1.17) Uso de área verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área verde
	Media	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas. Excluir equipamiento crítico.	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas. Todos los usos
Licuefacción	Alta	Riesgo (2.1.17) Uso de área verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área verde
	Media	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas. Excluir equipamiento crítico.	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas. Todos los usos
Anegamiento	Alta	Riesgo (2.1.17) Uso de área verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas. Todos los usos
Incendio Forestal	Alta	Mitigación con Normas urbanísticas (Densidades bajas). Excluir equipamiento crítico.	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas. Excluir equipamiento crítico.
	Media	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas

Tipo de peligro	Grado de peligrosidad	Criterio de Zonificación urbana	
		Área no consolidada	Área consolidada
		(densidades medias). Todos los usos	urbanísticas. Todos los usos
Remoción en masa	Alta	Riesgo (2.1.17) Uso de área verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas. Excluir equipamiento crítico.
	Media	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas (Densidades bajas). Todos los usos	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas urbanísticas. Todos los usos

Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados preliminares, en las localidades de Curanilahue, Plegarias, San José de Colico y Colico Norte existen riesgos asociados a factores endógenos: como el riesgo de licuefacción asociado a sismicidad; riesgos exógenos como son el riesgo de inundación por desborde de cauces, anegamiento y el riesgo de remoción en masa; y riesgos asociados a actividades humanas, como son el riesgo de incendios forestales, el riesgo de subsidencia y el riesgo por fuentes contaminantes y/o pasivos ambientales.

En cuanto al peligro de remoción en masa, las áreas afectadas suelen ser superficies inestables, y los movimientos en masa tienden a activarse durante lluvias intensas o a raíz de eventos sísmicos de alta magnitud. Este fenómeno es común en laderas de cerros con pendientes pronunciadas y en sectores modificados por actividades como la construcción de caminos y viviendas.

De acuerdo a la metodología desarrollada, se estableció una superficie de 450 ha aproximadamente con riesgo alto y una estimación de 170 construcciones concentradas en los sectores de barrios Cerro Verde, Cerro La Perdiz y bordes de cerro población Eleuterio Ramírez. En cuanto al riesgo medio, este afecta una superficie aproximada de 700 ha y 2.300 viviendas

Respecto al factor antrópico, se puede señalar que el crecimiento de la ciudad se ha originado a partir de la urbanización de antiguos asentamientos irregulares ubicados en laderas con pendientes superiores al 25%, generando así condiciones propicias para deslizamientos. Asimismo, es importante señalar que 12 campamentos catastrados se encuentran en zona de alto riesgo a remoción en masa.

En relación con el peligro de licuefacción, SERNAGEOMIN (2012) señala que las zonas depresionarias asociadas a los ríos Curanilahue y Plegarias presentan una alta vulnerabilidad a la licuefacción, especialmente durante eventos sísmicos de gran magnitud. Esta amenaza se ve agravada por la naturaleza poco consolidada de los materiales del suelo, característicos de depósitos recientes en estas áreas, y por su coincidencia con zonas propensas a inundaciones.

La zona más crítica, con mayor intensidad y riesgo, es el área de inundación producida por el río Curanilahue, siendo este el río más importante de la Comuna debido al volumen de caudal que transita, en comparación con otros cursos de agua.

A partir de los resultados preliminares de inundación fluvial, se puede señalar que una extensión importante en la zona urbana de Curanilahue reúne condiciones para ser inundada. Es así como el peligro medio – alto equivale a aproximadamente 190 hectáreas y afecta a cerca de 3.200 viviendas directamente.

Por otra parte, la susceptibilidad de anegamiento se ve influenciada principalmente por la zona urbana, la cual presenta redes de drenajes insuficientes. También, se ve determinada por la baja permeabilidad del terreno predominante.

La actividad minera histórica en Curanilahue, caracterizada por la construcción de pirques y túneles subterráneos, ha dejado un legado de vulnerabilidad en el suelo y

subsuelo urbano. Estos pasivos mineros han generado fenómenos de subsidencia, manifestados como hundimientos y resquebrajamientos de terrenos, que se activan principalmente durante eventos de lluvias intensas o sismos significativos, como el terremoto del 27 de febrero de 2010 siendo la principal área identificada una superficie de 4,6 hectáreas ubicada al norte de la Av. O'Higgins, en las inmediaciones del estadio Raúl Erazo Herrera. Además, se han registrado problemas en sectores específicos como la población Ramón Rabal y en Cerro Verde, donde quedaron expuestas ex bocamina tras el terremoto, evidenciando el impacto directo de estas estructuras abandonadas sobre la estabilidad del terreno.

La comuna de Curanilahue presenta una alta vulnerabilidad a incendio forestales de acuerdo al catastro de uso de suelo de CONAF, debido a la presencia de cobertura boscosa en un 95,5 % del área en estudio, teniendo mayor incidencia en la zona de interfaz urbano forestal. El bosque predominante está constituido por plantaciones forestales, las cuales presentan una velocidad de propagación de alto a muy alto. El área expuesta a riesgo alto está constituida por 800 ha aproximadamente, afectando a cerca de 9.000 viviendas.

9. REFERENCIAS

- BÖRGEL, R. (1983). Colección Geografía de Chile Tomo II Geomorfología, Instituto Geográfico Militar de Chile. Santiago, Chile. 182 p.
- BRAVO, C. M., Ph. D. Diego Caamaño A. y Ph. D. Robert W. King (2018). "Umbral de precipitación de procesos de remoción en masa, en la provincia de Concepción", UCSC.
- Carla Bravo M., Ph. D. Diego Caamaño A. y Ph. D. Robert W. King (2018). "Umbral de precipitación de procesos de remoción en masa, en la provincia de Concepción", UCSC.
- CONAF, CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL. (2017). Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetaciones Nativas de Chile (actualización para 2015).
- FRUTOS, J.; MENCARINI, P.; PINCHEIRA, M.; BOURRET, Y. & ALFARO, G. 1982. Geología de la Isla Quiriquina. III Congreso Geológico Chileno. Tomo **III**: 307-338 pp., Concepción.
- GARCÍA, F. 1968. Estratigrafía del Terciario de Chile Central. El Terciario de Chile, zona central. Sociedad Geológica de Chile. Editorial Andrés Bello: 25-58. Santiago.
- Glodny, J., Echtler, H., Gräfe, K., Rosenau, M., Seifert, W., & Hacker, M. (2008). Long-term geological evolution and timing of active deformation in the south-central Andes (36–40°S). *Tectonics*, 27(4), TC4006. <https://doi.org/10.1029/2007TC002203>
- INOSTROZA Amigo, Alex 2018. Discusión estratigráfica de las Formaciones Quiriquina, Pilpílco, Curanilahue, Cosmito y Cerro Alto, de la Provincia de Concepción y norte de la Provincia de Arauco. Región del Biobío, Chile. Universidad de Concepción.
- Leyton, F., Ruiz, S., Sepúlveda, S. 2010. Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile Central. *Revista Geológica de Chile*.
- Melnick D, 2007. Neogene seismotectonics of the south-central Chile margin. Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Matemáticas y Ciencias Naturales, Universidad de Postdam. 108p.
- MINVU. División de Desarrollo Urbano. 2010. Plan de Regeneración Urbana. Nombre Localidad: Curanilahue, Comuna de Curanilahue, Región del Biobío.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2012). Diagnóstico Regional de Suelos Abandonados con Potencial Presencia de Contaminantes. Región del Biobío.
- MUNICIPALIDAD DE CURANILAHUE. Catastro de inundación y eventos de remoción en masa, de año 2024.
- MORA, S. Y VAHRSON, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bulleting of the Association of Engineering and Geologist*, 31(1), 49-58.
- MUÑOZ-CRISTI, J. 1946. Estado Actual del conocimiento sobre la geología de la provincia de Arauco. *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, Universidad de Chile. Vol. **3**: 63 pp. Concepción.

MUÑOZ-CRISTI, J. 1956. Handbook of South American Geology. Chile. *Geological Society of America. Memoir*. Vol. **65**: 187-214.

MUÑOZ-CRISTI, J. 1968. Contribución al conocimiento geológico de la región situada al sur de Arauco y participación de material volcánico en los sedimentos eocenos. El Terciario de Chile, zona central. Sociedad Geológica de Chile. Editorial Andrés Bello: 63-94. Santiago

NCh433. Of96 Diseño Sísmico de Edificios, Instituto Nacional de Normalización, INN, 1996.

NEIC, National Earthquake Information Center.
<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>

PINEDA, V. 1983. Evolución paleogeográfica de la Península de Arauco durante el Cretácico superior-Terciario. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 268 pp. Santiago

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, SERNAGEOMIN (2003). Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000, versión digital.

Orozco, G.; Jara, G.; Bertin, D. 2016. Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Biobío. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 28: 34p., 1 mapa escala 1:75.000, Santiago.

SERNAGEOMIN, Hoja Concepción-Chillán: [región del BioBio] : carta geológica preliminar de Chile escala 1:250.000.

SERNAGEOMIN, 2003. Peligro de remociones en masa e inundaciones. Escala 1:1.000.000.

SERNAGEOMIN, 2011. Peligros volcánicos de Chile. Escala 1:2.0000.000.

SERNAGEOMIN, 2010b. Servicio Nacional de Geología y Minería. Patricio Derch F. y Daniel Páez L. Geología para la reconstrucción: Ciudad de Curanilahue Región del Biobío. Mapa 2: Peligro de licuefacción de la ciudad de Curanilahue.

SERNAGEOMIN, Hoja Concepción-Chillán: [región del BioBio] : carta geológica preliminar de Chile escala 1:250.000.

SERNAGEOMIN, 2003. Peligro de remociones en masa e inundaciones. Escala 1:1.000.000.

SERNAGEOMIN, 2011. Peligros volcánicos de Chile. Escala 1:2.0000.000.

TAVERA, J. 1942. Contribución al estudio de la estratigrafía y paleontología del Terciario de Arauco. Congreso Panamericano de Ingeniería de Minas y Geología N°1. Anales Parte **1**. Vol. **2**: 580-632. Santiago.

MUNICIPALIDAD DE CURANILAHUE. Catastro de inundación y eventos de remoción en masa, de año 2024.

Sernageomin. (2003). Mapa Geológico de Chile: Versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería. Recuperado de <https://www.sernageomin.cl>

Melnick, D., Bookhagen, B., Strecker, M. R., & Echtler, H. (2009). Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1). <https://doi.org/10.1029/2008JB005788>

Moreno, M., Rosenau, M., & Oncken, O. (2010). 2010 Maule earthquake slip correlates with pre-seismic locking of Andean subduction zone. *Nature*, 467(7312), 198–202. <https://doi.org/10.1038/nature09349>