



ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO
OCTUBRE 2020**

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

ÍNDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 5 |
| 1.1 | Introducción..... | 5 |
| 1.2 | Objetivos del estudio | 5 |
| 1.3 | Área de estudio | 6 |
| 1.4 | Alcances y limitaciones | 6 |
| 1.5 | Marco jurídico | 7 |
| 2 | ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO | 9 |
| 2.1 | Clima | 9 |
| 2.2 | Hidrografía | 13 |
| 2.3 | Hidrogeología | 14 |
| 2.4 | Geología..... | 17 |
| 2.5 | Geomorfología | 19 |
| 2.6 | Volcanismo | 19 |
| 2.7 | Sismos | 28 |
| 2.8 | Vegetación y usos de suelo | 33 |
| 2.9 | Clases de capacidad de uso de suelo | 34 |
| 2.10 | Área de riesgo por incendio | 38 |
| 3 | ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LOS RIESGOS ANALIZADOS | 40 |
| 3.1 | Riesgo y susceptibilidad | 40 |
| 3.2 | Remociones en masa | 41 |
| 3.3 | Inundaciones y anegamiento..... | 46 |
| 4 | METODOLOGIA..... | 48 |
| 4.1 | Inundación y desbordes | 49 |
| 4.2 | Remoción en masa | 51 |
| 5 | RESULTADOS DE ÁREAS DE RIESGO NATURAL Y ANTRÓPICO..... | 57 |
| 5.1 | Remoción en masa | 58 |
| 5.2 | Inundaciones por desborde de cauces y anegamientos..... | 58 |
| 6 | ZONAS NO EDIFICABLES..... | 63 |
| 7 | ÁREA DE PROTECCIÓN DEL RECURSO DE VALOR NATURAL Y PATRIMONIAL CULTURAL | 64 |
| 7.1 | Áreas de protección del recurso de valor natural | 64 |
| 7.2 | Áreas de protección del recurso de valor cultural | 64 |
| 8 | CONCLUSIONES | 65 |
| 9 | REFERENCIAS..... | 67 |

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

| | | |
|-----------|--------------------|-----------|
| 10 | ANEXOS..... | 70 |
|-----------|--------------------|-----------|

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Área de estudio | 6 |
| Figura 2 | Ríos Teno, Lontue y Mataquito..... | 13 |
| Figura 3 | Mapa Hidrogeológico de la cuenca del río Mataquito | 16 |
| Figura 4 | Mapa Geológico del área de estudio | 18 |
| Figura 5 | Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán | 20 |
| Figura 6 | Nivel de alerta Complejo volcánico Laguna del Maule | 21 |
| Figura 7 | Nivel de alerta Volcán Descabezado Grande | 22 |
| Figura 8 | Nivel de alerta Complejo Volcánico Cerro Azul – Quizapú..... | 23 |
| Figura 9 | Nivel de alerta Complejo Volcánico Tatara – San Pedro. | 23 |
| Figura 10 | Mapa de Peligros Volcánicos del Complejo Laguna del Maule..... | 24 |
| Figura 11 | Mapa de Peligros Volcánicos del Volcán Cerro Azul – Quizapú | 25 |
| Figura 12 | Ampliación Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami, Región del Maule..... | 27 |
| Figura 13 | Sismicidad histórica entre 1900 y 2010 | 28 |
| Figura 14 | Fuentes y sismogénicas en un modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana) | 29 |
| Figura 15 | Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto | 31 |
| Figura 16 | Catastro de vegetación y usos de suelo | 34 |
| Figura 17 | Clases de capacidad de uso de suelo | 37 |
| Figura 18 | Registro de incendios 2015 -2017 | 38 |
| Figura 19 | Zonas de amenaza identificadas de acuerdo a áreas de interface Provincia de Curicó..... | 39 |
| Figura 20 | Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas | 42 |
| Figura 21 | Remociones en Masa de tipo Deslizamientos | 42 |
| Figura 22 | Remociones en Masa de tipo Flujo..... | 43 |
| Figura 23 | Áreas de riesgo Rauco | 61 |
| Figura 24 | Áreas de riesgo Quicharco - Plumeró..... | 62 |

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Síntesis Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050 comuna | 10 |
| Tabla 2 Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050..... | 10 |
| Tabla 3 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm), 3 estaciones área intercomunal: 01/01/1997 - 01/01/2017 | 12 |
| Tabla 4 Vegetación y uso actual de suelo | 33 |
| Tabla 5 Clase de suelos por superficie comuna de Rauco | 36 |
| Tabla 6 Valoración de las variables de riesgo por inundaciones | 50 |
| Tabla 7 Valores absolutos según rangos..... | 50 |
| Tabla 8 Clasificación y caracterización de las remociones en masa | 51 |
| Tabla 9 Valores Absolutos Según Rango | 52 |
| Tabla 10 Valoración de Pendientes | 52 |
| Tabla 11 Valoración de exposición de laderas..... | 53 |
| Tabla 12 Valoración de vegetación | 54 |
| Tabla 13 Valoración formaciones geológicas área comunal | 55 |
| Tabla 14 Valoración y ponderación de variable de pendientes | 55 |
| Tabla 15 Valoración y ponderación de variable de exposición de laderas..... | 55 |
| Tabla 16 Valoración y ponderación de formaciones vegetales | 56 |
| Tabla 17 Valoración y ponderación formaciones geológicas..... | 56 |
| Tabla 21 Homologación entre "áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 de la OGUC y la nomenclatura utilizada en este estudio. | 57 |
| Tabla 22 Catastro de desastres desde 1980, SERNAGEOMIN | 70 |
| Tabla 23 Registro de alerta roja ONEMI | 70 |
| Tabla 24 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones | 73 |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

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

1.2 Objetivos del estudio

El objetivo de este trabajo es generar un estudio fundado de riesgo y protección ambiental, identificando y delimitando en el área de estudio los riesgos que han de ser incorporados y/o adecuados en el estudio del Plan Regulador Comunal de Rauco, de acuerdo con lo señalado por el artículo 2.1.17 y 2.1.18 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Junto con ello se identificarán las áreas de protección de recursos de valor natural.

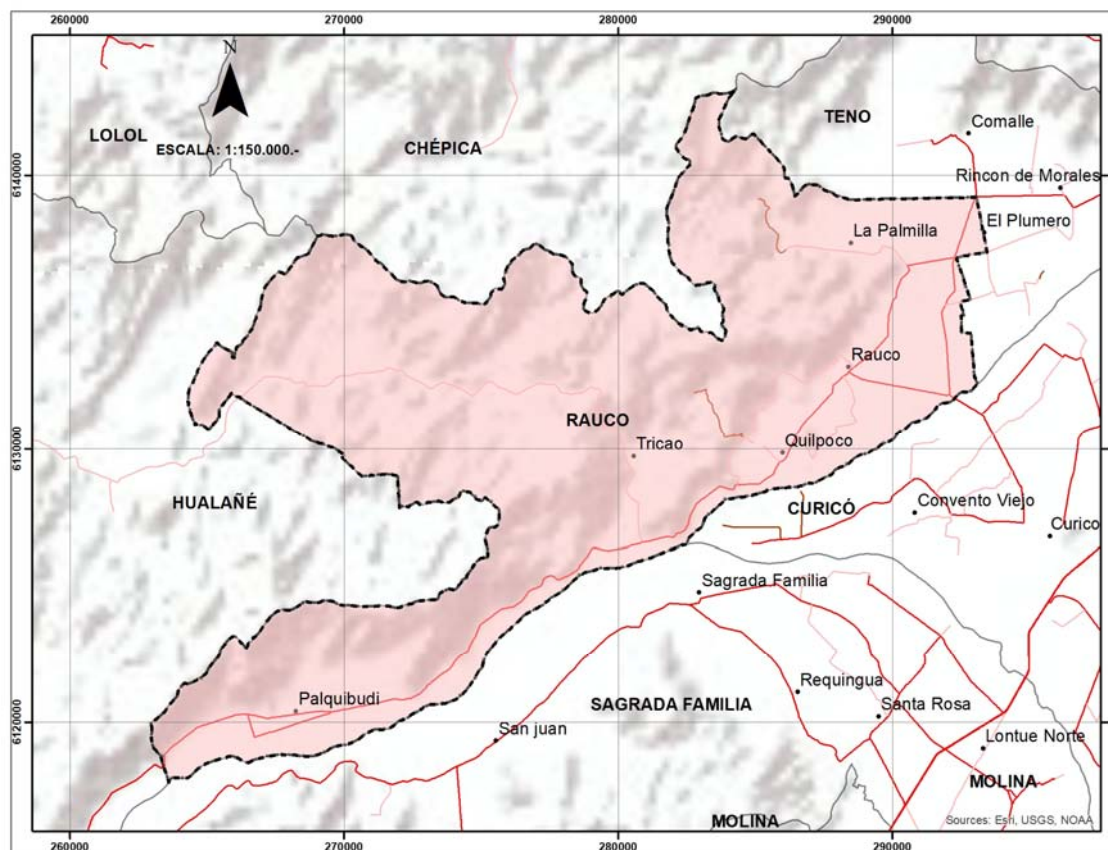
Los objetivos específicos de este estudio consisten en:

- Elaborar de un catastro, descripción y reconocimiento de los principales peligros naturales y antrópicos que pueden afectar al área de estudio, así como sus factores condicionantes y detonantes.
- Elaborar una Línea de base del medio físico y natural a través de información secundaria y primaria levantada en terreno.
- Identificar y describir los tipos de riesgos presentes en el área de estudio.
- Delimitar las áreas de riesgos consideradas en el área de estudio.

1.3 Área de estudio

El área de estudio comprende el territorio de la comuna de Rauco, Provincia de Curicó, Región del Maule

Figura 1 Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

1.4 Alcances y limitaciones

Para este estudio se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de imágenes satelitales (Service Layer Credits: Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community) visitas a terreno y la evaluación de los distintos factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, a una escala 1:5.000 (considerando que la gran mayoría de la información geológica está a una escala mayor a 1:250.000). Se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la interpretación.

El resultado de este estudio corresponde a mapas de factores condicionantes, principalmente morfológicos y geológicos, y mapas inventarios. A partir del análisis de los anteriores, se generaron mapas de susceptibilidad para los peligros geológicos reconocidos en la zona a escala 1:5.000.

Respecto de la inundación por desborde de cauces y anegamientos se realizó una revisión de estudios hidráulicos de los principales cursos de agua de la comuna y los Instrumentos de Planificación vigentes y visitas a terreno.

1.5 Marco jurídico

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

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

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

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

1. ***Zonas inundables o potencialmente inundables:*** debido a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos. De acuerdo con las definiciones utilizadas en este informe, corresponde a las áreas de riesgo por desbordes de cauces y anegamiento.
2. ***Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.*** Corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa
3. ***Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas***
4. ***Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.*** Corresponde a riesgo de incendio

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un Estudio Fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Haciendo una agrupación de las amenazas naturales que generan la definición de zonas de riesgo según la OGUC, se reconocen: procesos de inundación y anegamiento, remociones en masa e incendios. Además de lo anterior, las Normas Chilenas de construcción incorporan las variables sísmicas, considerando que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo (de la cual sólo se hará referencia en el presente estudio). Más adelante se presenta una descripción de las amenazas antes señaladas.

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

- Estudio del Plan Regulador de Rauco.
- Estudio Plan Regulador Intercomunal de Curicó.
- Cartografía Plan Regulador de Rauco y Localidades escala 1:5.000.-
- Cartografía digital Instituto Geográfico Militar escala 1:50.000, Región del Maule.

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

Para establecer los alcances y limitaciones de un Estudio de Riesgos Naturales, es fundamental señalar que, a escala comunal, las curvas topográficas se encuentran equidistantes cada 5 metros, mientras que información geológica del área de estudio está disponible a escala 1:250.000. Lo anterior condiciona a que revisión de áreas susceptibles a procesos de remoción en masa e inundaciones a escala urbana se realizara a escala 1:5.000 (salida gráfica).

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

Para estudios de mayor detalle se requiere una topografía a menor escala en los cauces y laderas en el área urbana. Por lo anterior, se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la planificación territorial. Para estudios con mayor nivel de detalle, se deberán hacer estudios específicos y a escala de ingeniería de detalle (levantamientos de topografía).

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

2 ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Clima

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

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

En sectores puntuales de la hoya del río Teno, se han registrado precipitaciones diarias anormalmente altas, que alcanzan valores de 155 mm a en 24 horas (año 2006). Este tipo de precipitaciones puntuales, anormalmente intensas, provocan bruscos incrementos en el caudal del río, pudiendo llegar a ser diez veces su caudal medio normal en algunos sectores, con el consecuente aumento significativo de carga sedimentaria.

Temperatura

De acuerdo al estudio "Normales climatológicas región del Maule 2016", del Ministerio del Medio Ambiente, los valores consignados en el estudio representan a las "normales" climatológicas del periodo reciente 1980-2015. Ellos fueron tomados de estaciones que disponían de series continuas de datos y que no habían sufrido cambios de instrumental o de localización durante el periodo. Esta información es complementaria a la entregada en el estudio "Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050", encomendado por el Ministerio del Medio Ambiente.

En cuanto a los resultados de la temperatura en la comuna, se observa un aumento de la temperatura media estival de 2.1° e invernal de 1.5°C, de acuerdo a la proyección del escenario del año 2050.

Respecto de los resultados de las precipitaciones en la comuna, se observa una disminución de la precipitación normal anual, mayor a 110 mm, respecto de la proyección del escenario del año 2050, como se puede observar en la siguiente tabla.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Tabla 1 Síntesis Línea base (1980 - 2010) - escenario 2050 comuna

| Temed | Tjmed | PPA |
|-------|-------|------|
| 2,1 | 1,5 | -111 |

Fuente: Elaboración

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

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

| LINEA BASE (1980 - 2010) | | | | | | | | | | | ESCENARIO 2050 | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|------|------|------|-----|-------|-------|-----|---------|---------|----------------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|------------|------------|
| COMUNA / ZONA | ID | TXE | TNE | TXJ | TNJ | Temed | Tjmed | PPA | PPA MIN | PPA MAX | TXE 50 | TNE 50 | TXJ 50 | TNJ 50 | Temed 50 | Tjmed 50 | PPA 50 | PPA 50 MIN | PPA 50 MAX |
| RAUCO | | 30,2 | 12,2 | 13,4 | 5,1 | 20,1 | 8,8 | 704 | 682 | 734 | 32,6 | 14,2 | 15,2 | 6,6 | 22,2 | 10,3 | 593 | 575 | 618 |
| Cerros | 434 | 30,6 | 12,3 | 13,4 | 5,4 | 20,4 | 8,9 | 725 | 710 | 743 | 33 | 14,3 | 15,1 | 6,9 | 22,4 | 10,4 | 610 | 598 | 625 |
| Valle central | 435 | 29,8 | 12,1 | 13,4 | 4,9 | 19,9 | 8,7 | 683 | 655 | 726 | 32,2 | 14,1 | 15,2 | 6,4 | 22 | 10,2 | 575 | 551 | 611 |

TXE: Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, ENERO).

TNE: Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, ENERO).

TXJ: Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, JULIO).

TNJ: Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, JULIO).

Temed: Temperatura media del período estival (Diciembre - Enero - Febrero).

Tjmed: Temperatura media del período invernal (Junio - Julio - Agosto).

PPA: Precipitación normal anual.

PPA MIN: Precipitación anual más baja en cada subcomuna.

PPA MAX: Precipitación anual más alta en cada subcomuna.

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

Precipitaciones

El concepto central de la hidrología es el ciclo hidrológico, entendiéndose por tal al proceso completo de circulación y distribución de agua en la atmósfera, mar y tierra, siendo uno de los componentes de este ciclo las precipitaciones. Las características pluviométricas de mayor interés ecológico son: la magnitud de la precipitación, medida en mm; duración de la lluvia; la intensidad, medida en mm/h, y finalmente la frecuencia.

Precipitaciones máximas anuales en 24 h

Las precipitaciones máximas anuales en 24 h, fueron obtenidas de la Dirección General de Agua (DGA), a través de "Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea". Se consultó un periodo de 20 años (1998 a 2017), No existiendo esa información para la Comuna de Rauco, sin embargo, se seleccionaron 3 estaciones cercanas a esta comuna y corresponden a las estaciones Río Teno después de la junta con Río Claro, Villa Prat y Curicó

La estación Río Teno después de la junta con Río Claro, presenta registros a contar del año 1999. En esos 18 años destaca 16 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias y remoción en masa. El periodo consecutivo más prolongado corresponde a los años 1999 al 2006 (8 años).

La estación Villa Prat presenta registros a contar del año 1997. En esos 20 años destaca 4 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias y remoción en masa. El periodo consecutivo más prolongado corresponde a los años 2000 al 2003 (4 años).

La estación Curicó presenta registros a contar del año 1997. En esos 20 años destaca 9 registros sobre los 60 mm en 24 h, considerados como de riesgos de acumulación de aguas lluvias y remoción en masa. El periodo consecutivo más prolongado corresponde a los años 1999 al 2002 (4 años).

Los mayores registros corresponden al periodo 2000 y 2002. A contar del año 2012 existe una concentración de precipitaciones sobre 60 mm en las 5 estaciones, la cual corresponde principalmente a un aumento de la concentración (intensidad) de lluvias más que a un aumento de la precipitación anual.

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

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

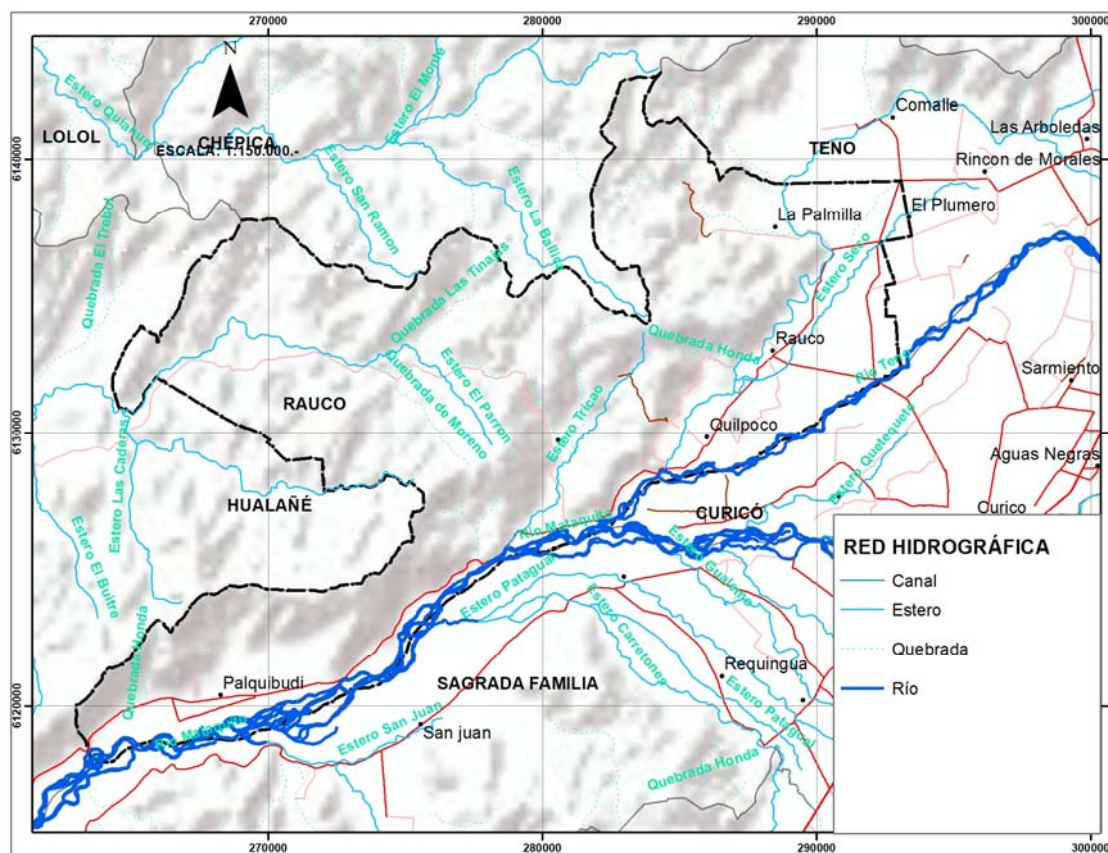
| RIO TENO DESPUES DE JUNTA CON CLARO | | | VILLA PRAT | | CURICO | |
|-------------------------------------|-------|--------------------------|------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| AÑO | FECHA | MAXIMA EN 24 HS. (mm) | FECHA | MAXIMA EN 24 HS. (mm) | FECHA | MAXIMA EN 24 HS. (mm) |
| 1997 | | | 11/06 | 56,40 | 19/06 | 68,20 |
| 1998 | | | 10/09 | 43,20 | 05/06 | 35,40 |
| 1999 | 29/08 | 107,50 | 29/08 | 54,20 | 29/08 | 64,00 |
| 2000 | 13/06 | 165,20 | 13/06 | 79,40 | 12/06 | 62,30 |
| 2001 | 28/08 | 109,30 | 28/08 | 65,00 | 28/08 | 69,50 |
| 2002 | 24/08 | 115,80 | 05/08 | 118,40 | 25/05 | 80,50 |
| 2003 | 20/06 | 83,00 | 20/05 | 90,50 | 20/05 | 58,30 |
| 2004 | 09/06 | 75,00 | 12/07 | 44,80 | 25/10 | 39,00 |
| 2005 | 26/08 | 110,70 | 09/05 | 26,70 | 14/06 | 53,20 |
| 2006 | 11/07 | 155,30 | 11/07 | 55,60 | 11/07 | 84,20 |
| 2007 | 23/07 | 58,50 | 15/02 | 19,30 | 22/06 | 45,00 |
| 2008 | 22/05 | 133,00 | 18/06 | 27,30 | 19/06 | 59,50 |
| 2009 | 14/08 | 135,00 | 27/06 | 40,10 | 12/05 | 66,10 |
| 2010 | 17/06 | 65,50 | 14/06 | 34,50 | 06/07 | 43,70 |
| 2011 | 28/07 | 73,00 | 16/08 | 31,00 | 18/06 | 36,30 |
| 2012 | 13/06 | 87,30 | 05/10 | 42,00 | 12/06 | 48,20 |
| 2013 | 03/07 | 47,30 | 06/08 | 42,50 | 03/07 | 74,00 |
| 2014 | 23/08 | 54,80 | 02/06 | 60,00 | 02/05 | 91,00 |
| 2015 | 06/08 | 85,70 | 05/08 | 66,20 | 05/08 | 42,00 |
| 2016 | 14/04 | 91,30 | 10/07 | 73,50 | 13/07 | 46,60 |
| 2017 | 04/10 | 61,80 | 09/08 | 50,40 | 25/06 | 55,80 |

Fuente: www.dga.cl

2.2 Hidrografía

La hidrografía de la comuna incluye dos sub-cuencas de los afluentes de la cuenca del río Mataquito, los Ríos Teno y Lontué, en dichas sub-cuencas se producen regularmente inundaciones en los sectores ribereños, que motivan graves daños para la agricultura local, así como frecuentemente la pérdida irrecuperable de tierras agrícolas en las terrazas ribereñas, concentrándose gran parte de los efectos en el sector de la ribera norte de la Comuna de Rauco. Además, la hidrografía comunal incluye los esteros Seco, Comalle y El Parrón. (Pladeco, 2007)

Figura 2 Ríos Teno, Lontue y Mataquito



Fuente: Carta IGM 1:50.000.-

El río Mataquito se origina de la confluencia del río Teno, que drena la porción norte del área, y del Lontué, que drena la porción sur. Dicha conjunción se produce a 12 km al W de Curicó; desde aquí el Mataquito serpentea por un valle ancho en dirección general al W hasta desembocar en mar abierto después de un recorrido de 95 km. Recibe afluentes de escasa consideración, prácticamente todos generados en depresiones de la cordillera de la Costa

El río Teno, principal afluente del sistema, tiene las cabeceras de sus formativos en las lagunas de Teno. La divisoria interoceánica alcanza en este sector a los 2.800 y 3.800 m. Se forma el Teno de la confluencia de los ríos del Nacimiento y Malo y drena un área de 1.590 km², con un recorrido de 102 km. Sin embargo, si se

considera el formativo más alejado, su desarrollo se alcanza 120 km. El río Malo es el emisario de las dos lagunas de Teno, situadas en serie inmediatamente al norte del volcán Planchón. Las lagunas comprenden una superficie de 9 km² a 2.567 m s.n.m.; en ellas se han construido obras de regulación con fines de regadío. El más importante tributario por el sur es el Claro, que se le une en Los Queñes, a unos 30 km del nacimiento, el cual ocurre en la zona englaciada del volcán Planchón. Un afluente de escasa importancia en la ribera derecha del Teno es río El Manzano, en el sector de La Montaña, pero que es digno de mención porque en su valle se ha hecho el estudio de un embalse regulador de las aguas del Teno trasvasadas con canal alimentador.

2.3 Hidrogeología

En la Depresión Central del área de estudio existe un voluminoso y complejo relleno sedimentario cuaternario, en el cual este autor diferencia 13 unidades hidrogeológicas con diferentes características de porosidad y permeabilidad y por lo tanto, con diferentes capacidades para almacenar y transmitir el agua subterránea. Las unidades de mejor comportamiento hidrogeológico corresponden principalmente a los depósitos aluviales y fluviales, mientras que las unidades de roca que afloran en el área carecen de importancia hidrogeológica presente o futura. Los depósitos que presentan las condiciones hidráulicas más favorables corresponden a secuencias clásticas gruesas (gravas, gravas arenosas y arenas, con frecuentes niveles de bolones y ripios), con buena porosidad y eficiente permeabilidad. En ellas se encuentran acuíferos libres o semiconfinados, con buen rendimiento (10 l/s/m) y niveles estáticos próximos a la superficie (3-7 m).

La principal fuente de recarga de los acuíferos regionales corresponde a infiltración directa a partir de las precipitaciones y que, de manera secundaria, contribuyen los aportes laterales de los ríos y aquellos del retorno de riego. En general, entre los 35° y 36° S, las aguas subterráneas almacenadas en el relleno sedimentario de la Depresión Central tienen características hidroquímicas, adecuadas para satisfacer demandas potables y de riego.

Es importante destacar que la región, al igual que el resto del país, carece de un adecuado plan de gestión y conservación del recurso hídrico subterráneo que tenga como objetivo controlar su evolución, tanto en cantidad como en calidad. Esto restringe la posibilidad de detectar y establecer zonas que presenten una explotación excesiva y/o severa contaminación.

Unidades hidrogeológicas, modificadas de Carta Hidrogeológica, Hoja Talca (Hauser, 1995)

Formación Lo Valle (KTlv)

Secuencia de rocas volcanoclásticas que integran la mayor parte del desmembrado e irregular relieve interserrano, en torno al flanco occidental del Valle Central en la región estudiada, fue asignada a la Formación Lo Valle (Thomas, 1958). En la zona del Maule está constituida por lavas andesíticas y riolíticas e ignimbritas y brechas, con escasas intercalaciones locales de tufitas y areniscas. Nasi y Thiele (1982) asignan a esta formación una edad cretácica superior paleógena.

Depósitos cineríticos (Qc)

La escasa permeabilidad superficial de esta unidad provoca el desarrollo de una densa red de drenaje. A nivel regional, constituye una gruesa secuencia en la que predomina una alternancia de capas de cenizas y tobas de lapilli. Estos depósitos se presentan, normalmente, bastante compactos, duros y bien cementados. El carácter heterogéneo de la secuencia, debido a frecuentes cambios laterales de fases, determina un

comportamiento hidráulico muy complejo. Pozos adyacentes proporcionan rendimientos contrastantes, lo que impide hacer generalizaciones cuantitativas. La prevalencia de niveles arcillosos, que condicionan frecuentes cambios laterales y verticales de permeabilidad, le proporciona un carácter anisótropo a esta unidad.

Las aguas subterráneas que producen los acuíferos de esta unidad son aptas para satisfacer demandas potables, agrícolas y/o industriales. Vulnerabilidad a la contaminación baja.

Depósitos fluviales (Qf)

Sedimentos clásticos de grano, normalmente, grueso (ripios y gravas, con frecuentes niveles arenosos), marginales al actual cauce de ríos mayores: Mataquito, Claro, Maule, Lontué y Loncomilla; conforman morfologías llanas que, en partes, incorporan rasgos con forma de terrazas resultantes de la incisión del río al producirse cambios locales en el régimen fluvial.

Los acuíferos contenidos en esta unidad son de tipo libre. Están constituidos por arenas y gravas limpias, de buena selección, con escasa matriz fina y clastos resistentes, sub-redondeados a redondeados. Existen intercalaciones arcillosas de escaso espesor y continuidad lateral, las que, al restringir el movimiento subterráneo del agua, crean condiciones locales propicias para el desarrollo de acuíferos semiconfinados.

El nivel freático se sitúa generalmente muy próximo a la superficie, influenciado por la cota del río en el momento. La recarga pluvial se acentúa en acuíferos someros. La conexión río-acuífero provoca que el primero, además de constituir un factor determinante de recarga, actúa a la vez, en sectores, como elemento de descarga.

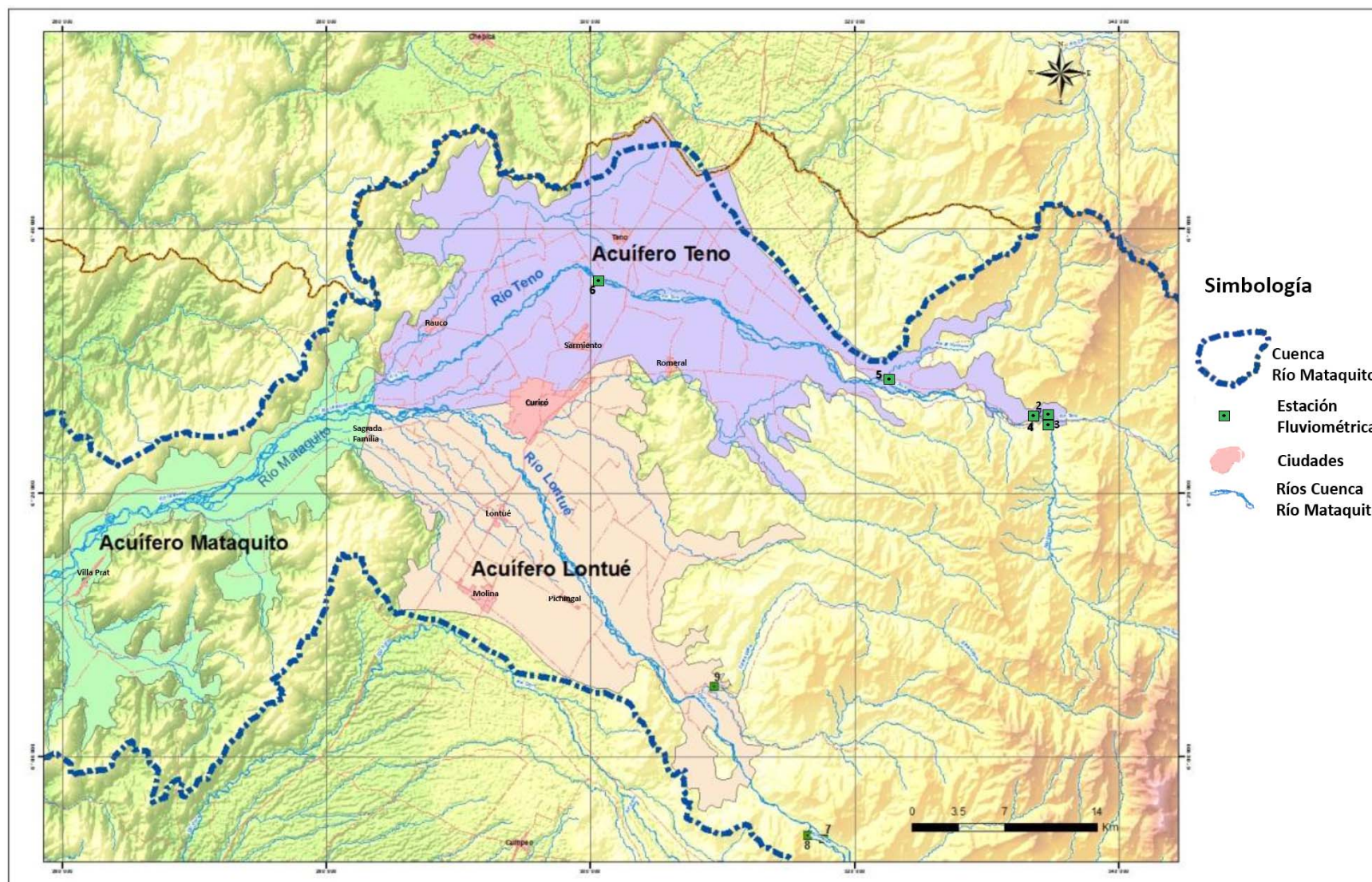
El nivel del agua en la unidad se rige por el correspondiente a las aguas del río respectivo. Vulnerabilidad a la contaminación: alta a moderada.

Depósitos fluviales en cauces actuales (Qfa)

Consiste en ripios, gravas y gravas arenosas, uniformemente distribuidos a todo lo largo y ancho de la actual llanura de inundación de los ríos mayores. Localmente, en las vecindades del borde precordillerano, estos depósitos incorporan abundantes bolones; el conjunto se observa superficialmente suelto. Los clastos mayores se disponen en una escasa matriz de arenas gruesas a gravilla, conformando numerosas islas o bancos dispuestos anárquicamente a todo lo ancho y largo de los cauces, cuyo desarrollo está determinado por fenómenos torrenciales asociados a crecidas de invierno (régimen pluvial) o primavera (régimen nival andino). Sus márgenes poseen una clara expresión cuando el cauce ha logrado cierta profundización, con desarrollo de niveles aterrazados. Genéticamente, la unidad se vincula a procesos de transporte y sedimentación actual.

Constituidos, en su mayoría, por gravas arenosas y frecuentes niveles de arenas limpias, conformando estratos de buena selección, escasa compactación, favoreciendo el desarrollo de acuíferos libres. En ellos, los niveles estáticos tienden, en general, a concordar con el nivel de aguas superficiales de los cauces actuales. El normal y buen carácter físico-químico de las aguas extraídas de la unidad denota, en general, dependencia con respecto a las aguas de escurrimiento superficial. La alta permeabilidad de los depósitos genera una eficiente interconexión hidráulica.

Figura 3 Mapa Hidrogeológico de la cuenca del río Mataquito



Fuente: Análisis de la recarga en el acuífero de Teno-Lontué, DGA, 2014

2.4 Geología

Para el área de estudio no existen trabajos geológicos de detalle, siendo la única fuente de información geológica la "Hoja Hidrogeológica de Talca", a escala 1:100.000 (Hauser, 1995), el "Mapa Geológico de Chile" a escala 1:1.000.000, publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería durante el año 2003; y trabajos científicos a escala local. La geología de la parte centro-oriental de la Región del Maule está constituida por rocas y sedimentos, cuyo rango de edades van desde el Paleozoico hasta depósitos no consolidados producto de los procesos erosivos actuales (Hauser, 2005; SERNAGEOMIN, 2003). De manera general, el área se caracteriza por la existencia de un basamento metamórfico y cristalino paleozoico, el que se encuentra cubierto en discordancia por rocas volcánicas y sedimentarias, marinas y continentales, que van desde el triásico inferior hasta el Neógeno en el área de estudio.

Cordillera de la costa

Ki2c Cretácico Inferior-Cretácico Superior

Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocoitas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base. En Cordillera de la Costa, regiones IV, V y Metropolitana: formaciones Quebrada Marquesa y Veta Negra.

Ki2m Cretácico Inferior (Neocomiano)

Secuencias volcánicas y sedimentarias marinas: lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias, areniscas y calizas fosilíferas. En la Precordillera, región III: Estratos Cerro El Aguila; en la Cordillera Principal, región IV: Formación Los Pelambres; en la Cordillera de la Costa, regiones V y Metropolitana: Formación Lo Prado.

Kia2 Cretácico Inferior alto-Cretácico

Superior bajo Secuencias sedimentarias y volcánicas: rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones lacustres, localmente marinas. En la Precordillera y Cordillera de la Costa, regiones III a Metropolitana: formaciones Cerrillos, Viñita (occidental) y Las Chilcas.

Kiag Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo (123-85 Ma)

Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita. En la Cordillera de la Costa, regiones II a IV, al este del Sistema de Fallas Atacama-El Romeral y asociados a mineralización de Fe-Cu-Au (Candelaria) y Cu-Au (Andacollo); en la Cordillera de la Costa, regiones V a X.

Pl3t Pleistoceno

Depósitos piroclásticos principalmente riolíticos, asociados a calderas de colapso. En la Depresión Central y valles de la Cordillera Principal, regiones V a VII: Ignimbrita Pudahuel y Toba Loma Seca.

Depresión central

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

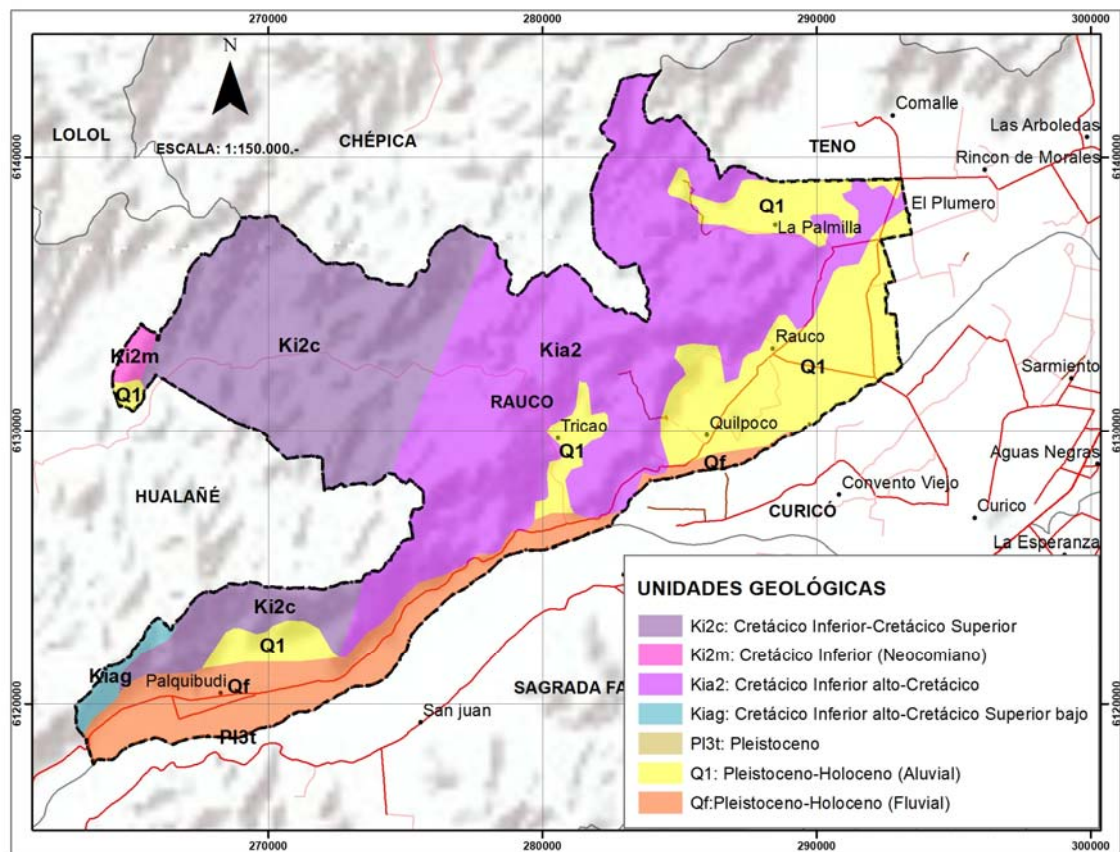
Qf Pleistoceno-Holoceno (Fluvial)

Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.

Q1 Pleistoceno-Holoceno (Aluvial)

Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvio-glaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones Metropolitana a IX: abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvio-glaciales con intercalación de depósitos volcanoclasticos.

Figura 4 Mapa Geológico del área de estudio



Fuente: Modificado a SERNAGEOMIN (2003).

2.5 Geomorfología

El segmento andino chileno, al sur de los 33° S, muestra 4 unidades morfoestructurales principales, dispuestas en franjas orientadas norte – sur. De oeste a este estas son: planicies litorales, cordillera de la costa, depresión central y cordillera principal (que comparten Chile y Argentina). En el área de estudio, las principales morfoestructuras son la cordillera de la costa, la depresión central y la cordillera principal.

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

La depresión central se extiende desde los 33° S hasta los 40° S, y corresponde a una cuenca rellena por depósitos aluviales, fluviales y volcánicos (principalmente cenizas), cuyas edades van desde el Pleistoceno hasta el Holoceno, que en algunos sectores superan los 500 m de espesor de acuerdo a datos geofísicos. En el área de estudio esporádicamente sobresalen algunas cumbres de “cerros islas” con alturas entre 300 y 400 m.s.n.m. En general, la depresión central presenta pendientes muy bajas, que aumentan levemente al acercarse hacia los cerros de la cordillera de la costa y cordillera principal, debido a la influencia de los abanicos aluviales que se generan a la salida de quebradas y valles de ambas cordilleras. Finalmente, asociado a los cursos de agua que cruzan la depresión central, se forman pequeñas terrazas fluviales con muy poca profundización, generando pequeños escarpes relacionados a la erosión causada por estos cursos.

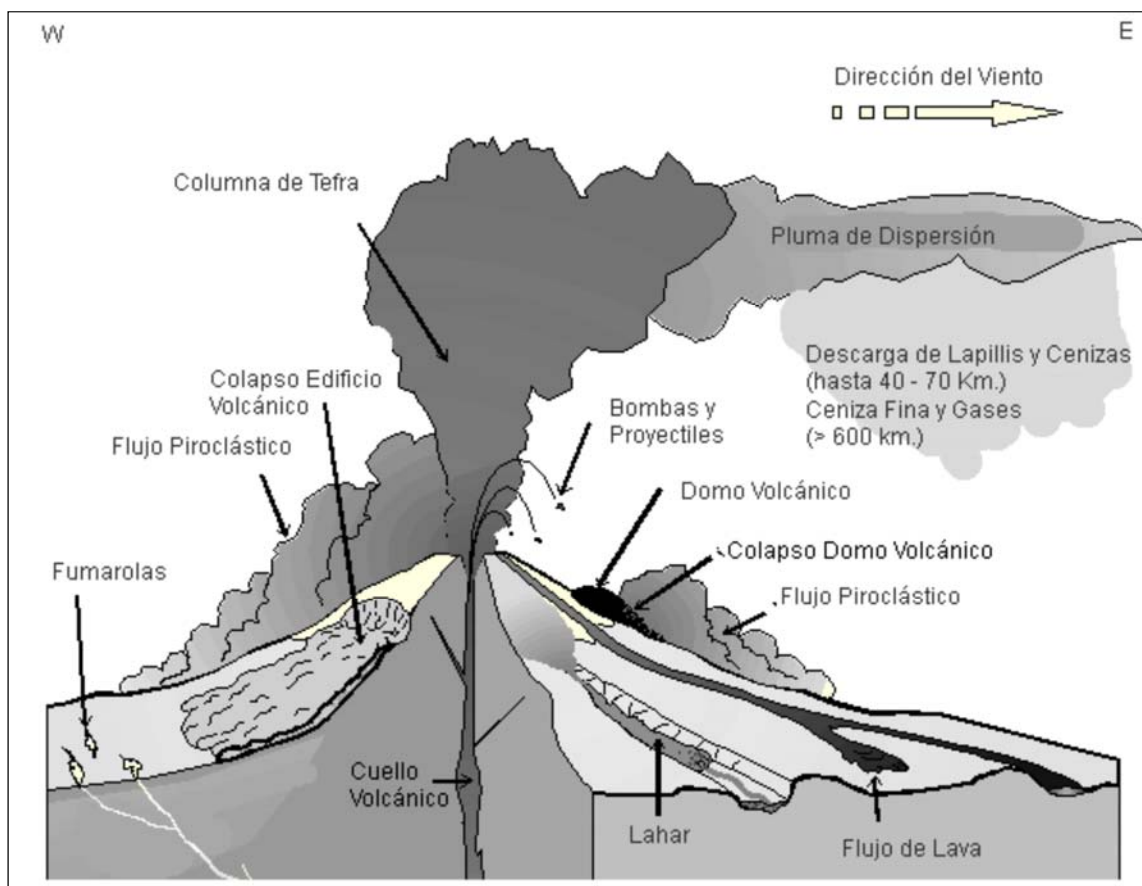
La cordillera principal está conformada por rocas estratificadas volcánicas y volcanoclásticas, cuyas edades van desde el Eoceno hasta el Mioceno Superior, cubiertas por el arco volcánico actual. Está compuesta por cerros que ubicados en promedio sobre los 2.000 m.s.n.m., donde las mayores cumbres se asocian a los principales volcanes del área de estudio (hasta los 4.090 m.s.n.m., volcán Planchón). Finalmente, las mayores pendientes del área de estudio se ubican en las riberas de los principales ríos del área de estudio.

2.6 Volcanismo

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

Los peligros asociados a la actividad volcánica abarcan una serie de eventos y procesos que son fuente de amenaza para la población. Por un lado, durante el proceso eruptivo es frecuente la emisión de cenizas volcánicas, flujos de lava, y en ocasiones eventos más devastadores, como flujos piroclásticos o colapso de domos (ver figura a continuación). Por otro lado, un proceso eruptivo suele ir acompañado de eventos secundarios y efectos colaterales que también afectan a la población, como contaminación del agua y el medio ambiente, lahares, incendios, inundaciones, entre otros.

Figura 5 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán



Fuente: Myers y Brantley, 1995.

En el área de estudio hay un constante registro de actividad volcánica desde el Pleistoceno (2 Millones de años) hasta la actualidad, que se puede dividir en 2 grandes grupos: Actividad Prehistórica e Histórica. Dentro de la actividad prehistórica destaca la serie de estratovolcanes antiguos erosionados en alta cordillera y el depósito de ceniza asociado a la Caldera Calabozos. Los estratovolcanes antiguos erosionados son una señal de que el volcanismo ha estado activo en la zona desde fines del Plioceno hasta la actualidad. Además los depósitos de ceniza de la caldera Calabozos, denominada como "Ceniza de Loma Seca", afloran en gran parte de la depresión central. Este depósito en realidad corresponde a tres grandes flujos piroclásticos de 800.000, 300.000 y 150.000 mil años de antigüedad, asociados al colapso de esta caldera volcánica.

Dentro de los registros de actividad histórica en el área de estudio, destacan los centros volcánicos: complejo volcánico Laguna del Maule; complejo volcánico Cerro Azul-Quizapu y complejo Volcánico Descabezado Grande. El Servicio Nacional de Geología y Minería, ha realizado una serie de cartas geológicas y mapas de peligros volcánicos, entre las que se destacan la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV), la cual permite a las autoridades contar con información oportuna para la gestión de una emergencia volcánica y toma de decisiones enfocadas en la seguridad de la población (www.sernageomin.cl). Esto incluye el establecimiento de la vigilancia en tiempo real de 45 de los 90 volcanes considerados geológicamente activos en territorio nacional, a través del Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS), ubicado en la ciudad de

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Temuco. A partir de la información disponible en www.sernageomin.cl, y reportes publicados, se entrega los antecedentes de volcanismo en el área de estudio.

Los volcanes antes mencionados, son parte de los volcanes monitoreados y cuentan con reportes periódicos disponibles en la web, de los cuales se resumen sus principales características.

Complejo volcánico Laguna del Maule:

Se encuentra ubicado en la región limítrofe con Argentina de la Región del Maule. Este complejo cubre alrededor de 500 km² y está formado por conos, volcanes de escudo, domos y flujos de lava.

Estudios geológicos han identificado al menos 130 centros eruptivos individuales, con un total de 36 lavas y domos post-glaciales de composiciones riolíticas y riodacíticas, emitidos desde 24 centros eruptivos diferentes. Se cree que la morfología actual de la zona es el resultado de procesos tectónicos, volcánicos y glaciares.

En términos de peligro volcánico, una supuesta reactivación implicaría emisión piroclástica, siendo los sectores ubicados hacia el este y norte del complejo los más afectados, además de la ruta internacional CH-115 y el Paso Pehuenche. Cabe destacar que la Laguna del Maule ha llamado la atención recientemente como consecuencia de una elevada tasa de inflación focalizada en su borde suroeste. Este fenómeno ha sido detectado mediante técnicas de interferometría radar, estimándose que la magnitud de la inflación acumulada, entre 2007 y 2011, es cercana a 1 metro. Como se muestra en la figura, el nivel de alerta de este volcán a la fecha del estudio es verde.

Figura 6 Nivel de alerta Complejo volcánico Laguna del Maule



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

Volcán Descabezado Grande:

Corresponde a un estratovolcán de cima achatada con un cráter central de 1.5 km de diámetro, relleno con hielo. Está emplazado en la alta cordillera de la región de Maule, 65 km al este de San Clemente. Este volcán es activo desde hace al menos unos 300 mil años y sus productos volcánicos corresponden principalmente a

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

lavas, tefras y aglutinados de composición andesítica a riodacítica, que han alcanzado hasta 7 km de longitud (www.sernageomin.cl).

Según registro histórico de 1932 (después de la gran erupción de su vecino volcán Quizapu), se genera el cráter "Respiradero", de cerca de 900 m de diámetro, generando una columna de ceniza de varios kilómetros de altura y caída de piroclastos. En su estado actual, el volcán Descabezado Grande no tiene actividad, salvo pequeñas fumarolas en el cráter lateral "Respiradero" en 2009.

En caso de generar una erupción explosiva, generaría flujos de piroclastos, lluvia de tefra y lahares, con riesgo para las obras de ingeniería y pobladores de la hoya de los ríos Lontué, Blanquillo y Estero Barroso. A la fecha del presente estudio, el volcán presenta un nivel verde de alerta.

Figura 7 Nivel de alerta Volcán Descabezado Grande



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

Complejo volcánico Cerro Azul-Quizapu:

Este complejo volcánico pertenece al Grupo Volcánico Descabezados, el cual forma parte del segmento norte de la Zona Volcánica Sur de Los Andes. Se encuentra emplazado en el extremo meridional de este conjunto y se compone de un estratovolcán andesítico relativamente erosionado y un cráter en su flanco norte denominado Quizapú (www.sernageomin.cl).

No existe registro eruptivo previo al año 1846, fecha en que surgió la primera actividad parásita del Cerro Azul, conocido hoy como el volcán Quizapu. Tras tres décadas de inactividad, tuvo erupciones en distintos periodos desde 1907 a 1929, hasta que en 1932 tuvo una erupción pliniana de gran envergadura, a tal punto de ser considerada una de las más violentas que han sido registradas en el siglo XX. Esta erupción causó un impacto catastrófico al medio ambiente, inutilizando hasta hoy miles de hectáreas cubiertas por tefra dacítica, principalmente en las provincias de Talca, Curicó y la Pampa argentina, en que murieron miles de animales vacunos y caprinos, además de la fauna silvestre por efecto de las cenizas. En 1967 hubo un reactivamiento con explosiones freáticas y en 1980 y 1990 solo pequeñas fumarolas (www.sernageomin.cl). A la fecha del estudio el volcán se encuentra con alerta verde.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Figura 8 Nivel de alerta Complejo Volcánico Cerro Azul – Quizapú



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

Complejo Volcánico Tatara-San Pedro:

Complejo que posee casi un millón de años de historia. Existen antecedentes a escala geológica publicados en www.sernageomin.cl, dan cuenta que ante una eventual reactivación de este centro eruptivo, los peligros estarían relacionados con la emisión de coladas de lava, dispersión y caída de cenizas, generación de flujos piroclásticos de pequeña extensión y menos probablemente, la generación de flujos laháricos, producto de la fusión de nieves estacionales, la cual podría afectar los cauces de los ríos Colorado, afluente del río Maule, y Melado, donde se encuentran el canal y túnel homónimos, que en la temporada estival transfieren caudal para regadío hacia la calle de Linares por el río Ancoa, además de abastecer una central hidroeléctrica de paso.

Figura 9 Nivel de alerta Complejo Volcánico Tatara – San Pedro.



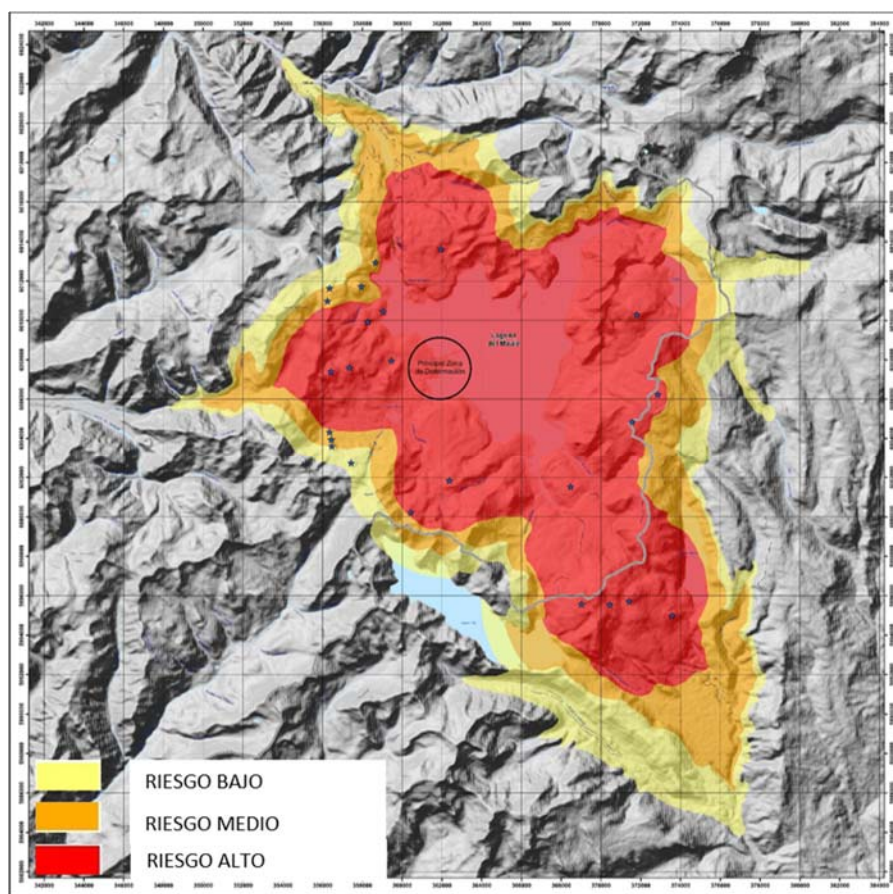
Fuente: www.sernageomin.cl- 19 de marzo de 2018.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Junto con el monitoreo de complejos volcánicos, el Sernageomin ha desarrollado una serie de mapas de peligro o amenaza volcánica, en los cuáles se identifica áreas expuestas al efecto directo e indirecto de posibles erupciones volcánicas. En ellos se distinguen cada uno de los posibles procesos durante una erupción y se propone una zonificación de las áreas de estudio.

Dentro de los Mapas actualmente publicados por el Sernageomin, destacan para el área de estudio el Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos, Complejo Volcánico Laguna Del Maule (escala 1:100.000, año 2012), mostrado en la Figura a continuación. Las zonas rojas, de Alto Peligro, representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos en el entorno inmediato del edificio volcánico, independientemente de la magnitud eruptiva. Estas zonas corresponden al flanco superior del edificio volcánico y a un área limitada en torno a los principales cursos fluviales. Las zonas de Medio Peligro (color anaranjado) representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos, derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal. Estas zonas corresponden al flanco inferior del edificio volcánico y a un área limitada en torno a los principales cursos fluviales. Las zonas de Bajo Peligro (color amarillo) representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos eruptivos, derivados de erupciones de magnitud alta en el edificio principal. Estas zonas corresponden a las regiones más externas del edificio volcánico y a un área limitada en torno a los principales cursos fluviales.

Figura 10 Mapa de Peligros Volcánicos del Complejo Laguna del Maule



Fuente: Sernageomin, 2012.

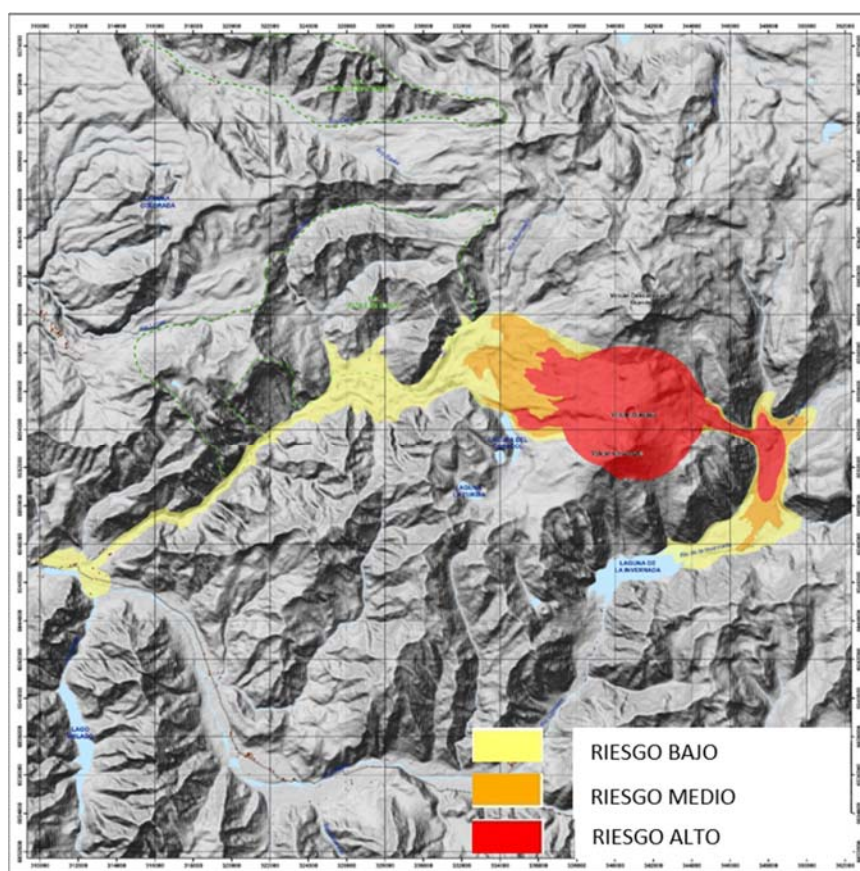
PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

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

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

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

Figura 11 Mapa de Peligros Volcánicos del Volcán Cerro Azul – Quizapú



Fuente: Sernageomin, 2012.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Al norte del área de estudio, destacan los volcanes Planchón, Peteroa y Azufre, de los cuales el más activo corresponde al Peteroa, que muestra actividades desde 1.660 hasta 1.991. Destacan la erupción de 1.762, donde ocurrieron violentas erupciones, el Colapso del Peteroa, flujos de detritos, lahares y lluvia de tefra. Las cenizas y lavas rellenaron todos los valles inmediatos, y aumentaron por dos días las aguas del Teno, precipitándose un pedazo de monte sobre el Gran río Teno. Suspendió su corriente por espacio de diez días y, estancadas las aguas, después de haber formado una dilatada laguna que existió durante unos días, se abrió por ultimo con violencia un nuevo camino e inundó todos aquellos campos. Las erupciones posteriores (1.835, 1.837, 1.869, 1.878, 1.894, 1.937, 1.959, 1.960, 1.962, 1.967, 1.985, 1.986, 1.987, 1.991), han sido de carácter explosivo, generación de lahares con columna de tefra. Caída de cenizas en la depresión Central y Argentina sugieren que el volcán Peteroa es muy activo, y que el mayor peligro se concentra en la generación de lahares, que dada la configuración de la red hidrográfica, se movilizarán aguas abajo hacia la depresión central, por los ríos Teno y Claro de acuerdo a lo expuesto por González-Ferrán (1995).

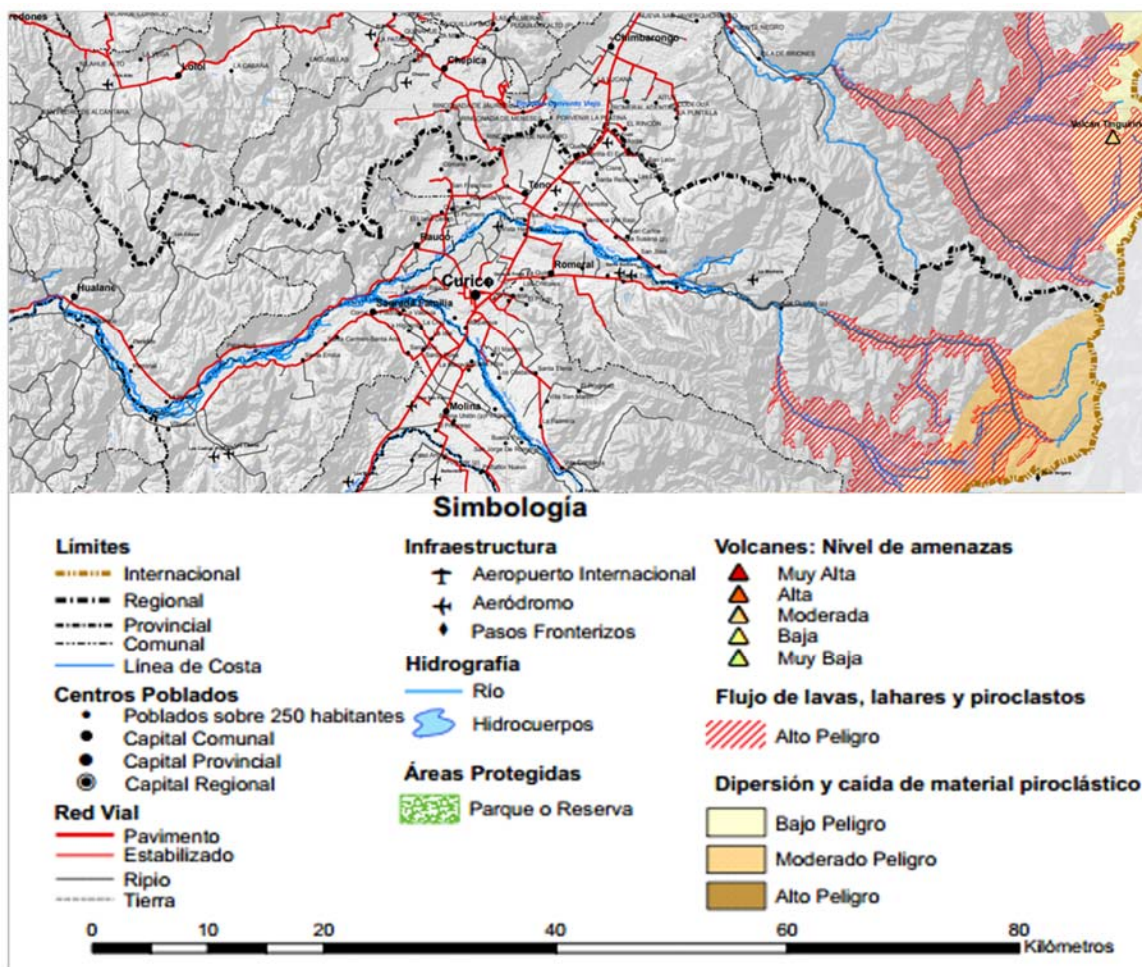
Dentro del área de estudio, el principal agente de peligro volcánico es el cordón de los Descabezados – Azul – Quizapú. El volcán Descabezado Grande ha mostrado fumarolas, sismos y violentas erupciones de cráteres parásitos. Destaca la erupción del 2 de junio de 1932, que generó una columna de tefra de 7 a 8 Km. de altura, con cenizas que alcanzaron la Depresión Central. El volcán Quizapú, ha presentado varias erupciones históricas, donde destacan la erupción de 1.846, el ciclo eruptivo de 1.907 a 1.932 que finaliza con una gran erupción en 1.932, y pequeños ciclos eruptivos posteriores.

Como antecedente adicional, posterior al sismo del 27F, el Sernageomin revisó un posible incremento de la actividad eruptiva de los volcanes Planchón-Peteroa, grupo Descabezados, entre otros en regiones aledañas. El monitoreo instrumental solo reportó un aumento parcial de la actividad fumarólica en algunos volcanes de los Andes del Sur (e.g., Villarrica, Llaima). En la región del Maule se habrían recibido información de 'destellos' o luminosidad anormal en el área cordillerana cercana a los volcanes Planchón-Peteroa y Descabezado Grande. En sobrevuelo del Sernageomin se habría reconocido una fumarola esencialmente blanca, principalmente constituida por vapor de agua. El informe permitió descartar manifestaciones de actividad perceptible.

Como complemento a lo anterior, Onemi ([enlace repositorio digital onemi.cl](http://enlace.repositoriodigitalonemi.cl)) realizó un Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami, Región del Maule (Provincias de Cauquenes, Curicó, Linares y Talca). Las Figuras a continuación muestran unas imágenes generales y ampliadas del mapa, en las cuáles se identifican los centros volcánicos principales del área, y las zonas de mayor riesgo contrastadas con la población, lo que servirá como base para zonificaciones en la siguiente etapa.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Figura 12 Ampliación Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami, Región del Maule



Fuente: Onemi (enlace repositorioidigitalonemi.cl)

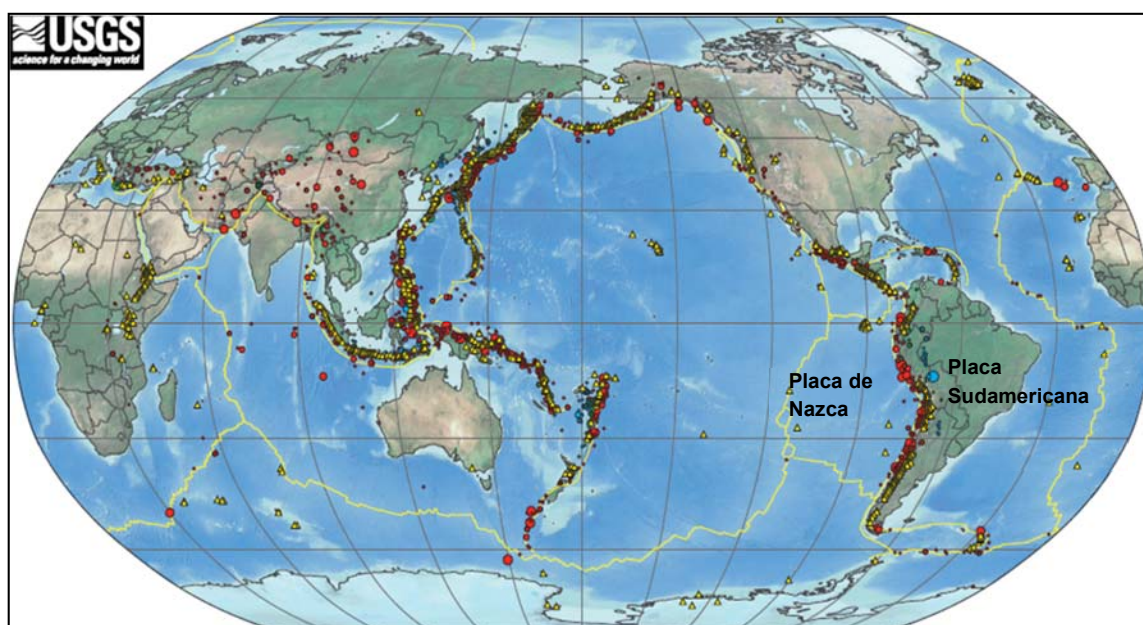
2.7 Sismos

Antecedentes generales y fuente sísmicas

Si bien la OGUC (en su apartado 2.1.17) no menciona los sismos dentro de las amenazas que generen zonas de construcción condicionada, es sabido que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, y que estos fenómenos son incluidos dentro de la planificación territorial a través de estudios específicos de Microzonificación Sísmica y en las Normas Chilenas de Construcción. No obstante lo anterior, a modo de referencia se presenta a continuación antecedentes de sismicidad histórica y estudios sísmicos en el área de estudio, incluyendo antecedentes de daños por terremotos pasados.

La gran mayoría de sismos en el planeta se debe al movimiento e interacción de placas tectónicas (Leyton et al., 2010), generándose una ruptura violenta por acumulación y liberación de energía. Existe una relación directa entre algunos límites de placas tectónicas y la sismicidad histórica en el planeta, como es el caso de Chile con la subducción de la Placa de Nazca bajo la placa Sudamericana (ver Figura a continuación, en la cual se muestra la relación que existe entre algunos límites de placas tectónicas y la sismicidad histórica en el planeta, entre 1900 y 2010). (Fuente USGS).

Figura 13 Sismicidad histórica entre 1900 y 2010



Fuente: National Earthquake Information Center – NEIC from USGS

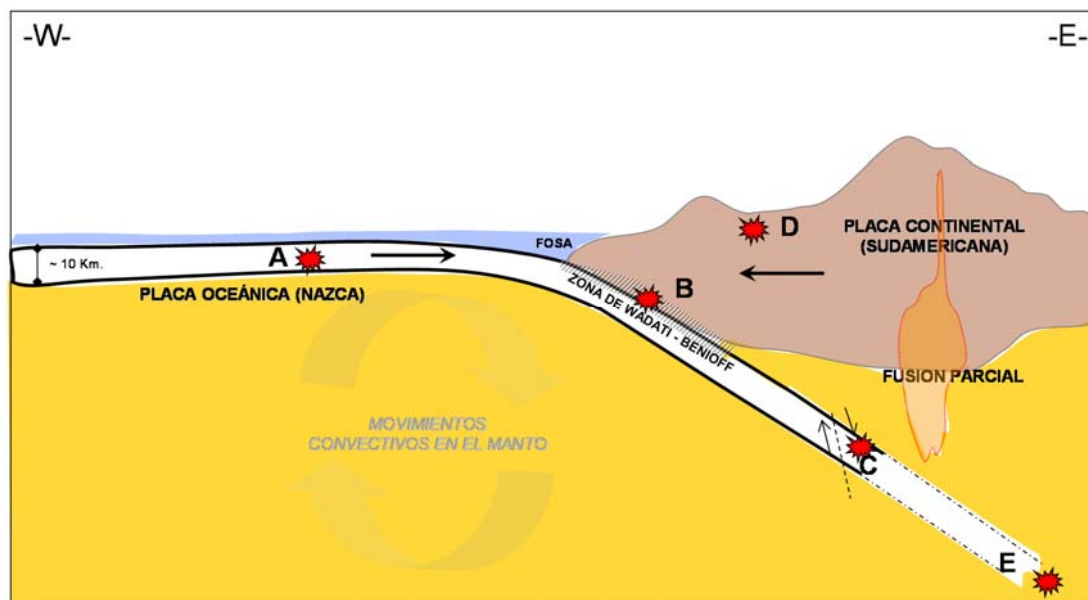
Se puede apreciar además, que el borde occidental de Sudamérica se caracteriza por una banda de sismicidad angosta y particularmente muy activa, donde la subducción ocurre según un plano inclinado hacia el Este con inclinación que varía entre los 15° y 30° respecto a la horizontal, con un fuerte grado de acoplamiento (Madariaga, 1998) denominado zona o plano de Wadati – Benioff. La velocidad relativa de subducción entre

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

ambas placas es del orden de 6 a 7 cm/año¹, lo que es considerado una alta velocidad de convergencia. Además, la placa de Nazca es una placa oceánica "joven". Estas dos características permiten una rápida acumulación de esfuerzos, consecuencia del contacto entre ambas placas, dando lugar a la alta sismicidad que caracteriza a Chile y Perú (Ruiz y Saragoni, 2005).

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

Figura 14 Fuentes y sismogénicas en un modelo de subducción corteza oceánica (Placa de Nazca) – corteza continental (Placa Sudamericana)



Fuente: Elaboración Propia

Los mecanismos de liberación de energía en los distintos tipos de sismos son complejos. En el caso de los sismos tipo A (sismos intraplaca oceánica), los materiales de la placa de Nazca (más jóvenes) se flexionan y doblan previamente al proceso de subducción, lo que genera campos extensionales (de estiramiento) los cuales reaccionan producto del choque de las placas, generando reacciones de liberación de energía de tipo "carga –

¹ Velocidad variable según distintos autores. 6.6 cm/año (Kendrick et al., 2003); 8.4 cm/año (DeMets et al., 1990); 8 cm/año (DeMets et al., 1994).

descarga". Los del tipo B (Interplaca) obedecen a asperezas y roce que se generaría entre ambas placas, viéndose impedido el movimiento hasta que los materiales se ven superados en resistencia y se rompen.

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

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

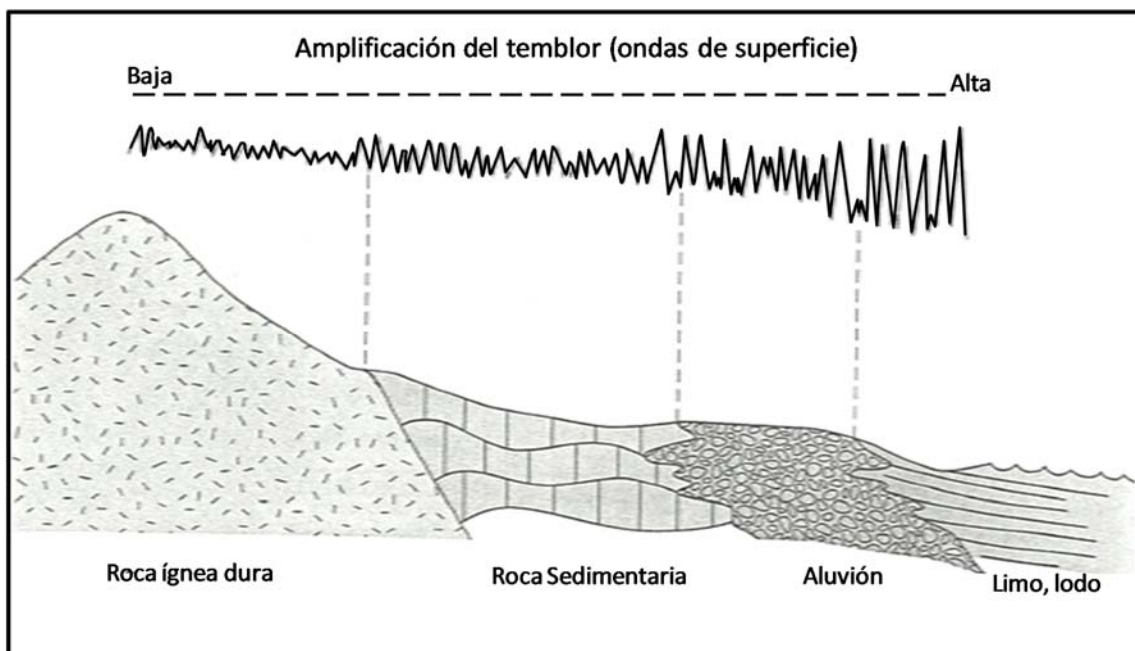
Sismicidad como peligro

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

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

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

Figura 15 Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



Fuente: Keller and Blodgett, 2004

Agrupando los principales peligros asociados a la actividad sísmica, se destacan:

- Generación de intensidades superiores a VII en la escala de Mercalli que originan un riesgo directo sobre las estructuras y sobre las personas
- Generación de Licuefacción del terreno.
- Generación de tsunamis de altura de inundación superior a 2 m, con un fuerte impacto sobre las poblaciones ubicadas en el borde
- Generación de remociones gatilladas por sismicidad
- Activación de fallas geológicas y/o agrietamiento del terreno
- Deformación de la superficie, incluyendo alzamiento o hundimiento de terrenos

A esto se suman una serie de consecuencias de alto impacto para la población, como colapso de infraestructura vial y habitacional, rotura de cañerías, incendios, caos, entre otras.

Antecedentes sísmicos en el área de estudio

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

El terremoto de Talca y Constitución, ocurrido el 1 de Diciembre de 1928 (epicentro del terremoto: latitud 35,0° S; longitud 72,0° W) tuvo una magnitud calculada de 7,9 Richter, y que de acuerdo a los antecedentes, provocó destrucción desde Valparaíso a Concepción. Otro caso emblemático de destrucción producto de un sismo en Chile, es el ocurrido en Chillán en 1939, perteneciente a la fuente sísmica Intraplaca-oceánica. Ejemplos de

estos sismos son los terremotos de Chillan en 1939 ($M_s=8.3$ según el Centro Sismológico Nacional y $M_s = 7.8$ según Beck et al, 1998), que sigue siendo el terremoto que mayor número de víctimas ha producido en el país. Las informaciones relacionadas con el número de víctima son contradictorias, varias fuentes no oficiales señalan que fueron entre 28000 y 30000 las personas muertas, sin embargo el número oficial de muertos registrados por la Dirección General de Estadísticas en su anuario de 1939 destaca la cifra de 5685, cifra que está distorsionada por el alto número de personas que fueron sepultadas sin identificación en fosas comunes para evitar las enfermedades producto de la descomposición de los cadáveres.

Los terremotos del 21 y 22 de Mayo de 1960 en Valdivia (Magnitud 9,5 Richter) causaron gravísimos daños en las provincias comprendidas entre Concepción y Chiloé, siendo las ciudades más afectadas las de Valdivia, Puerto Montt, Ancud, Castro y Corral. Este terremoto originó un tsunami de tales proporciones que asoló todos los puertos de esa zona produciendo enormes daños y alrededor de 1.000 víctimas. De acuerdo a la crónica, en Curanipe se sintió suave y largamente y el tsunami afectó al sector del Mariscadero en Pelluhue. En Curanipe el mar entró por el río Curanipe hasta llegar al puente y sucedió similar en el río El Parrón al extremo sur del pueblo. El tsunami se propagó por toda la cuenca del océano Pacífico causando daños y víctimas en Hawaii, Oceanía y Japón.

Terremoto del 27 de febrero de 2010 (Constitución – Concepción) y magnitud 8,8 Richter, causó extensos daños en Araucanía, Biobío, Maule, O'Higgins, Región Metropolitana y Valparaíso. Hubo 521 muertos, 12.000 heridos y un total de 1,8 millón de personas afectadas. En la escala de Mercalli Modificada, el terremoto tuvo las siguientes intensidades: Concepción IX, Chiguayante, Coronel, Lebu, Nacimiento, Penco, Rancagua, Santiago, San Vicente, Talca, Temuco y Tome VIII, desde La Ligua hasta Villarrica VII, Ovalle y Valdivia VI. Se sintió hasta Iquique y Punta Arenas.

El maremoto posterior causó daños y destruyó edificios en Concepción, Constitución, Dichato y Pichilemu. Se observaron hasta 2 metros de alzamiento en la costa cerca de Arauco. En el período entre el 27 de febrero y el 26 de abril de 2010, el USGS localizó 304 réplicas de magnitud 5 o mayor de las cuales 21 fueron de magnitud 6 o mayor.

Según el informe de asistencia elaborado por el SERNAGEOMIN (2010), se describen algunos efectos en la VII Región, como tsunami en las costas de la comuna de Vichuquén, o posible activación de fallas geológicas en Parral, o remociones en masa en San Clemente, Curicó y Molina, y Licuefacción en las riberas del Río Claro (Cumpeo).

En el reporte del SERNAGEOMIN (Efectos geológicos del Sismo Del 27 de Febrero de 2010: Observaciones geológicas en la comuna de San Clemente Región del Maule) se dan cuenta de algunas situaciones puntuales asociadas a remociones en masa y agrietamiento del terreno producto del fuerte sismo.

Licuefacción

Dentro de los fenómenos asociados a los sismos, la licuefacción de suelos es reconocida como un proceso natural mediante el cual determinados tipos de suelos saturados, no consolidados y no cohesivos (como arenas sueltas, arenas y limos mal graduados), que pierden su resistencia al corte debido a vibraciones del terreno y temporalmente se transforman a un estado licuado (se comportan como un líquido), gatillados por sismos. En este proceso el suelo experimenta una pérdida pasajera de resistencia que comúnmente hace que se produzca un desplazamiento o falla del terreno (las estructuras se hunden) y es típico de sectores con depósitos fluviales, deltas y desembocadura de ríos, donde predominan depósitos de arenas y limos no consolidados (a

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

profundidades menores de 15 metros) y nivel freático alto (cercano a superficie e inferior a 3 metros). Además, sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos ubicados donde antes existieron lagos o lagunas. De igual importancia es la licuefacción en rellenos antrópicos deficientemente trabajados, principalmente, sobre zonas de humedales. Dentro de los efectos de la licuefacción, se han evidenciado formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, "golpes de agua" (surgimiento de agua) y volcanes de arena, a menudo provocan que las estructuras se hundan o dañen.

Fallas Geológicas

La presencia de fallas geológicas y planos de debilidad es frecuente en los macizos rocosos. De acuerdo a los antecedentes recopilados, con el terremoto del 27F se habrían reconocidos algunos agrietamientos en el terreno en la localidad de Yiyahue, al este de Parral, Región del Maule, asociado a una posible falla geológica (SERNAGEOMIN, 2010). Si bien en la OCUG no se especifica cómo incluir las fallas geológicas como riesgo y determinar su peligrosidad, es un tema que requiere estudios científicos profundos (como el caso de la Falla San Ramón en Santiago). La recomendación general emanada del SERNAGEOMIN es a no reconstruir viviendas ni infraestructura en las zonas de fallas, y se requerirá la evaluación de la peligrosidad de estas estructuras geológicas.

2.8 Vegetación y usos de suelo

La vegetación y el uso actual de suelo es una variable importante desde la perspectiva de los riesgos naturales y antrópicos, por presentar porcentajes de cobertura de suelo en relación a los efectos de las precipitaciones o a la concentración de plantaciones forestales respecto de la ocurrencia de incendios.

En la comuna, de un total de 7 uso de suelos catastrados por CONAF, 3 de ellos concentran más del 90% de la superficie comunal: terrenos de uso agrícola 23%, pradera y matorral 24% y bosques 49%.

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

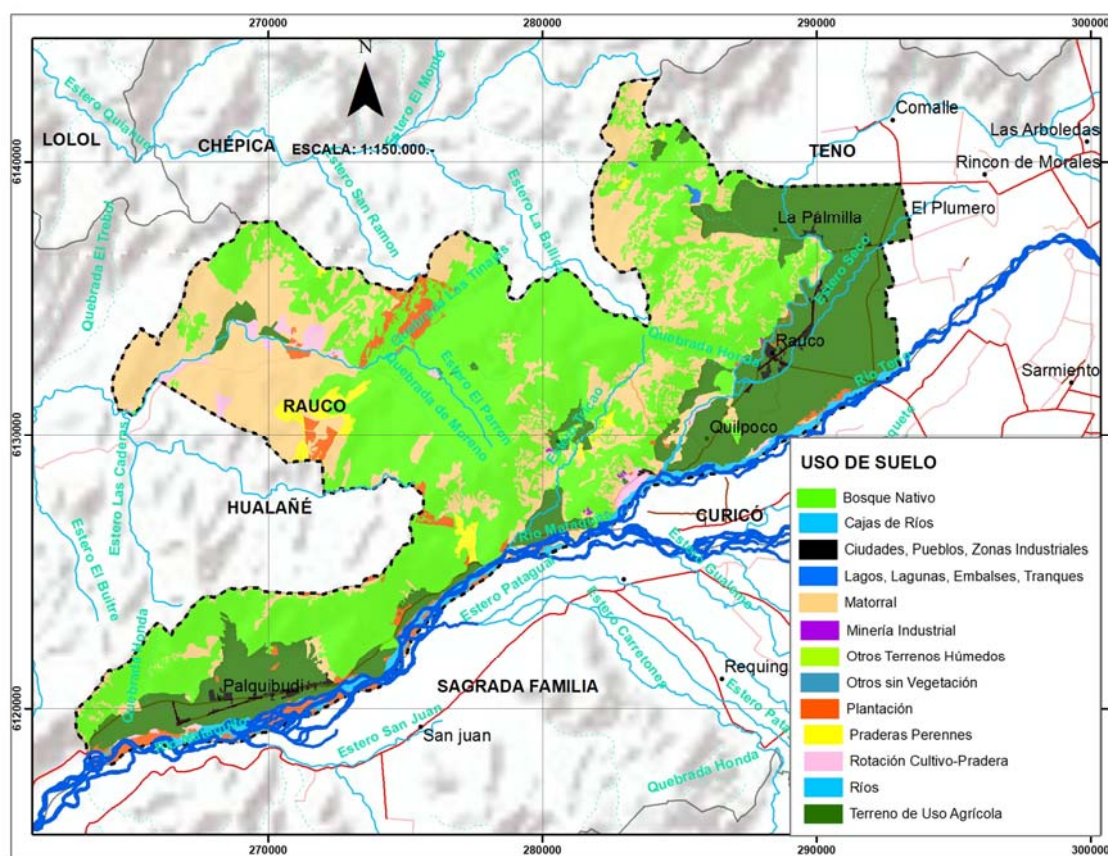
Tabla 4 Vegetación y uso actual de suelo

| USO | SUPERFICIE | % |
|----------------------------------|------------|------|
| Áreas Desprovistas de Vegetación | 260,9 | 1% |
| Áreas Urbanas e Industriales | 251,8 | 1% |
| Bosques | 15047,6 | 49% |
| Cuerpos de Agua | 672,5 | 2% |
| Humedales | 0,5 | 0% |
| Praderas y Matorrales | 7521,8 | 24% |
| Terrenos Agrícolas | 7108,2 | 23% |
| TOTAL | 30863,1 | 100% |

Fuente: CONAF 2016

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Figura 16 Catastro de vegetación y usos de suelo



Fuente: Conaf 2009

2.9 Clases de capacidad de uso de suelo

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

Clase I: Los suelos de Clase I tienen muy pocas limitaciones que restrinjan su uso. Son suelos casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena capacidad de retención de humedad y su fertilidad es buena. Los rendimientos que se obtienen, utilizándose prácticas convenientes de cultivo y manejo, son altos en relación con los de la zona. Para su uso se necesitan prácticas de manejo simples que mantengan su productividad y conserven su fertilidad natural.

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

Las limitaciones más corrientes son:

1. Pendientes suaves y micro-relieve poco acentuado.
2. Profundidad menor que un suelo de Clase I.
3. Estructura y textura desfavorable.
4. Ligera humedad corregible por drenaje.

Estas limitaciones pueden presentarse solas o combinadas.

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

Las limitaciones más corrientes para esta Clase se refieren a:

1. Topografía moderadamente ondulada.
2. Profundidad del suelo.
3. Estructura y textura desfavorable.
4. Baja capacidad de retención de agua.
5. Humedad que limita el desarrollo radicular.

Los suelos de esta Clase requieren prácticas moderadas de conservación y manejo.

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

Las limitaciones más usuales para esta Clase se refieren a:

1. Suelos muy delgados.
2. Topografía moderadamente ondulada y disectada.
3. Baja capacidad de retención de agua.
4. Drenaje muy pobre.

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

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

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

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

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

Clase VII: Asociada a pendientes muy pronunciadas, presenta restricciones más severas que la clase VI. Su uso es fundamentalmente pastoreo y forestal

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

Tabla 5 Clase de suelos por superficie comuna de Rauco

| Clase | Hectáreas | % |
|-------|-----------|------|
| I | 192,5 | 1% |
| II | 898,9 | 3% |
| III | 3949 | 13% |
| IV | 2993,5 | 10% |
| N.C. | 1478,5 | 5% |
| VI | 3717 | 12% |
| VII | 17325 | 56% |
| VIII | 287,2 | 1% |
| Total | 30841,6 | 100% |

Fuente: CIREN 2011 EPSG:32719

Las capacidades productivas en los suelos de clases I, II y III constituyen un potencial de gran desarrollo económico para un territorio, por cuanto a partir de ellos se conforman una serie de sistemas productivos de distintas escalas. En el caso de la comuna los suelos de clases I, II y III constituyen un 17% de la superficie total catastrada y se concentran en el sector del valle central.

Los suelos clase IV (10%), si bien presentan buenas cualidades agronómicas cuentan con limitaciones para algunos cultivos, siendo más restrictiva la elección de estos. Se localizan posteriores al pie de monte, por lo tanto su limitación se asocia a mayor pendiente que los suelos I, II y III, y a la presencia de un porcentaje mayor de arcilla que interfiere en la capacidad de infiltración de agua de manera natural.

Los suelos no clasificados (NC) corresponden principalmente al lecho de inundación del de los principales cursos de aguas y a los centros poblados de la comuna. Su superficie representa un 5% de la superficie comunal.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

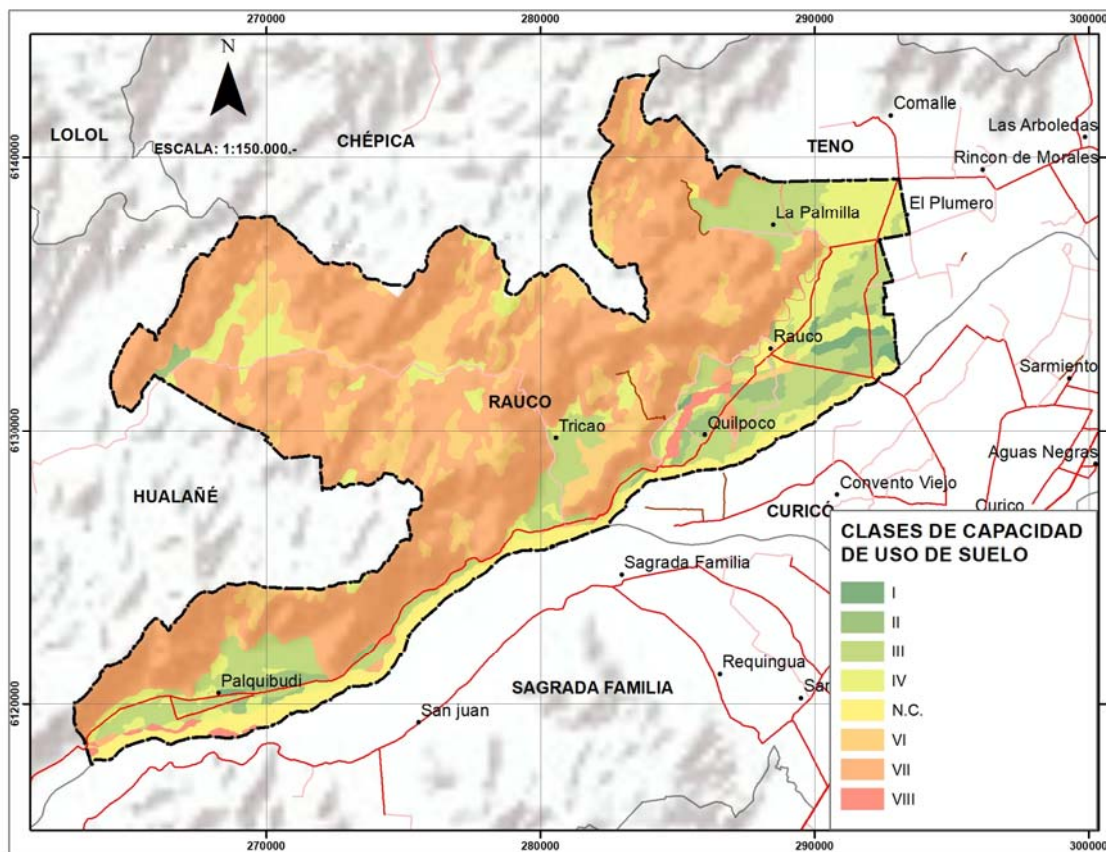
Los suelos clase VI representan un 12% de la superficie comunal y se localizan en la sección más alta de los conos de deyección, entre los suelos clase IV y los suelos clase VII. Sus capacidades agronómicas son limitadas debido a la pendiente, no permitiendo el riego por inundación.

Los suelos de clase VII, los cuales representan un 56% de la superficie total catastrada, se localizan principalmente en la Cordillera de la Costa. Su capacidad de uso de suelo se asocia con la presencia de vegetación nativa o introducida (plantaciones forestales).

Los suelos VIII se concentran principalmente en las llanuras de inundación de los principales lechos de ríos, caracterizándose por un alto contenidos de áridos de distintas dimensiones, aportados por las crecidas del río.

Si se suman las superficies de los suelos clases I, II y III, se tiene que el 17% de la superficie total comunal presenta suelos con aptitud agrícola. Si adicionalmente se suma los suelos clase IV (10%) se llega a un 27% de suelos con aptitud agrícola.

Figura 17 Clases de capacidad de uso de suelo

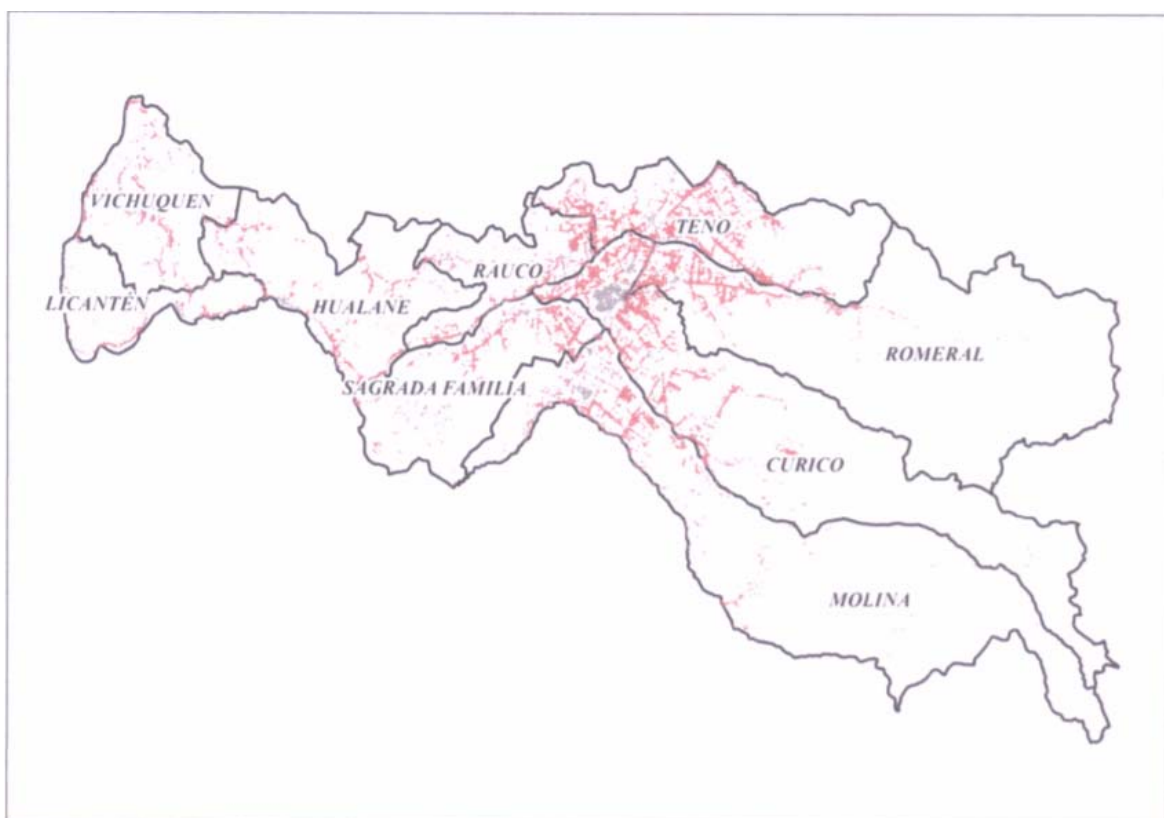


Fuente: CIREN 2011 EPSG:32719

Plan Específico de Emergencia por Variable de Riesgo-Forestal, Región del Maule

Dicho estudio realiza una "Zonificación Áreas de Amenaza", que corresponde a zonas de áreas de amenaza por sectores geográficos donde potencialmente son propensos al inicio o propagación de un incendio forestal, tomando en consideración factores como densidad poblacional, áreas ecológicas, infraestructura crítica entre otros. A continuación, se presentan los resultados para la provincia de Curicó.

Figura 19 Zonas de amenaza identificadas de acuerdo a áreas de interface Provincia de Curicó.



Fuente: Plan Específico de Emergencia por Variable de Riesgo-Forestal, Región del Maule, 2018

3 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LOS RIESGOS ANALIZADOS

3.1 Riesgo y susceptibilidad

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

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

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

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

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

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

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

3.2 Remociones en masa

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

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

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

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

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

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

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

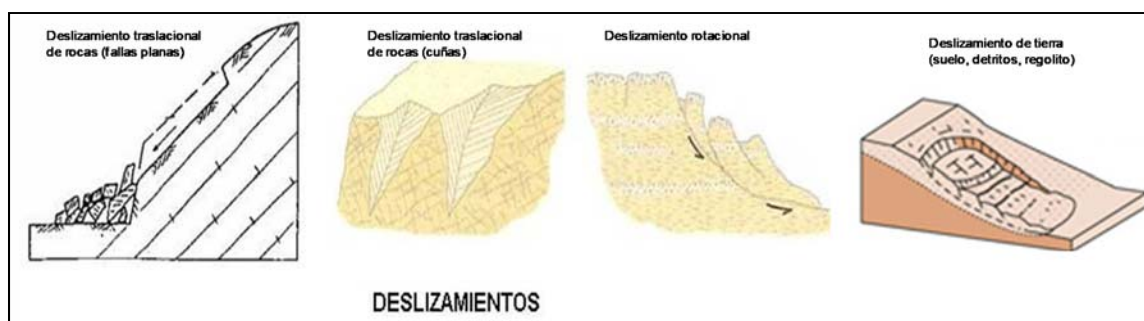
Figura 20 Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

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

Figura 21 Remociones en Masa de tipo Deslizamientos

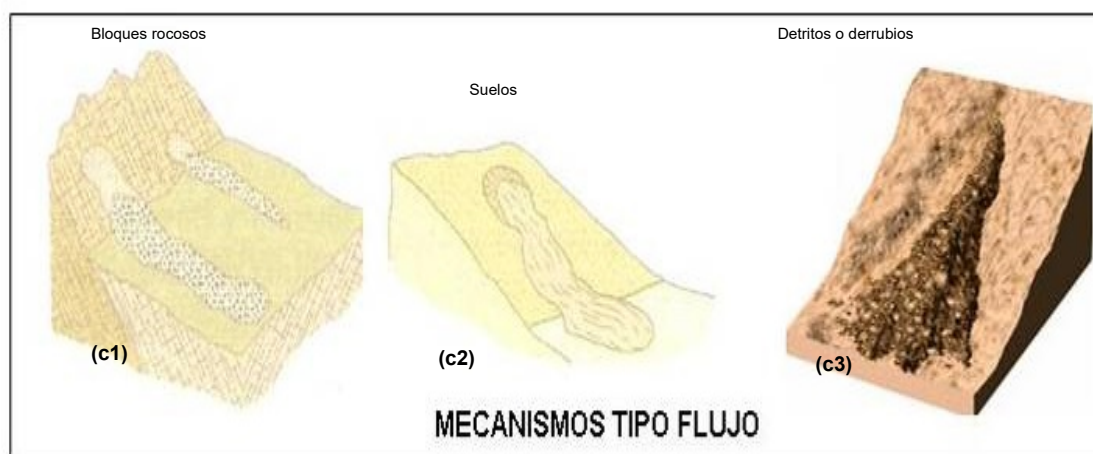


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los flujos corresponden a movimientos continuos en que el material es arrastrado y se encuentra saturado en agua (Varnes, 1978). En Chile comúnmente se les llama aluviones. Existen distintas clasificaciones para los flujos, basadas en el tipo de material movilizado (barro, detritos o fragmentos rocosos) y en la proporción de líquido y sólido que presenten (Figura a continuación). Los eventos más comunes en Chile Central son los flujos de barro y detritos, y cuya ocurrencia dependerá de la existencia de material disponible (generalmente disgregado) que pueda ser arrastrado ladera abajo, y la presencia de algún agente (comúnmente agua) que lo ponga en movimiento.

En general estos mecanismos son poco profundos en comparación con el área que pueden abarcar y pueden tener lugar en laderas con pendientes incluso menores a 10° (González de Vallejo et al., 2002). Su transporte tiende, en un principio, a ser dominado por las altas pendientes y luego a canalizarse por cauces preexistentes, mediante el cual el fluido va perdiendo velocidad y energía a medida que avanza por sobre la topografía.

Figura 22 Remociones en Masa de tipo Flujo



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Factores condicionantes y desencadenantes.

En el medio físico, existen algunos factores que favorecen la movilización de materiales. Estos se conocen como *Factores Condicionantes* y están relacionados con la naturaleza, estructura y composición del terreno (González de Vallejo et al., 2002). Por ejemplo, pendientes y topografía abrupta de un terreno, tipo y calidad de los materiales, presencia o ausencia de vegetación, presencia de agua, existencia de intervención antrópica, entre otros.

De la misma forma, existen factores que modifican la estabilidad preexistente del terreno, como construcciones, caminos, cortes, sismos y lluvias intensas, que desencadenan o gatillan la ocurrencia de un evento (González de Vallejo et al., 2002) y son conocidos como *Factores Desencadenantes*.

A continuación, se describen los factores condicionantes más comunes para distintos tipos de remociones en masa (basados en trabajos de Hauser, 1993; González de Vallejo et al., 2002; Lara, 2007; Muñoz, 2013):

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

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

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

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

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

Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas: El agua, tanto en superficie como por debajo de ella, condiciona en forma directa e indirecta la generación de remociones. La forma y distribución de sistemas de drenaje en superficie, así como características de caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por

un lado genera presiones intersticiales, lo que reduce la resistencia, aumenta los esfuerzos de corte, por el incremento del peso del terreno, genera fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002) y reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas.

Intervención antrópica: El hombre genera, de forma planificada o no, modificaciones en el medio. La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, obras de minería, etc., en muchas ocasiones deja las laderas más susceptibles a la ocurrencia de eventos, producto de diseños mal concebidos con ángulos mayores a los que es capaz de resistir en forma natural los materiales, o que no consideran el control estructural que tendrá un talud de forma natural. En algunas ocasiones el resultado son geometrías de laderas irregulares o con pendientes negativas, que finalmente causarán desestabilización. Sin embargo, también existen obras antrópicas robustas, que disminuirán la susceptibilidad ante remociones en masa, y esa consideración será incluida y abordada en el presente trabajo. Cabe señalar, que al igual que las precipitaciones, la intervención antrópica en algunos casos resulta el agente desencadenante de un evento.

A diferencia de los factores condicionantes, los factores desencadenantes corresponden a agentes activos y pueden ser considerados como factores externos que provocan o gatillan inestabilidades (González de Vallejo et al., 2002). En la mayoría de los casos, son varias causas las que finalmente contribuyen al movimiento de una ladera, aunque con frecuencia se atribuyen a sismos o precipitaciones intensas, sin embargo, deben existir las condiciones predeterminadas para su ocurrencia.

Dentro de los factores desencadenantes, los más comunes se citan:

Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas: Las precipitaciones y aportes de agua cambian las condiciones hidrológicas en los terrenos, produciendo: variación en las presiones intersticiales; cambios en el peso del terreno; cambios en los niveles de saturación; pérdida de resistencia de los materiales; aumento en la erosión de las laderas y socavamiento de terrenos. Según González de Vallejo et al. (2002), el desencadenamiento de remociones en masa, por causas meteorológicas y climáticas, está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones, lo que implica considerar la respuesta del terreno ante lluvias intensas durante horas o días, su respuesta estacional y en ciclos de sequía.

Las precipitaciones cortas e intensas serían más proclives a generar eventos superficiales, mientras que remociones más profundas serían provocadas por eventos distribuidos en largo periodo de tiempo (Aleotti, 2004 y Kim et al., 2004, en Lara, 2007). En este sentido, la cantidad de lluvias necesarias para que se desencadenen remociones en masa dependerá del tipo y condición de los terrenos, y su ubicación geográfica. En general, distintas zonas necesitarán lluvias de intensidad y/o duración distinta para que se generen remociones, existiendo así un umbral de precipitaciones característico de cada lugar (Lara, 2007). Para determinar los umbrales característicos de cada zona, se quiere contar con bases de datos idealmente continuas de precipitaciones o con alta frecuencia, que permitan la realización de análisis estadísticos para la zona de estudio (situación que no siempre ocurre) e incluir dentro del análisis la ocurrencia de fenómenos climáticos, como por ejemplo el fenómeno de El Niño, en el cual existe una tendencia al exceso de precipitaciones (inviernos con mayor días con lluvia y con precipitaciones de intensidades mayores) y de los niveles de caudales líquidos de escorrentía (García, 2000 en Lara, 2007).

Existen numerosos estudios, antecedentes históricos e información de prensa que dan cuenta de eventos de tipo flujo en la zona precordillerana y cordillerana de la zona Central de Chile. Hauser (1985) plantea una evidente relación entre la generación de aluviones en la zona central con precipitaciones anormalmente

intensas (más de 60 mm/24 horas en periodos invernales). Precipitaciones de intensidad media en periodos prolongados de tiempo pueden ser consideradas como factores desencadenantes de flujos (Padilla, 2006). Eventos de precipitaciones anormales llevan consigo también un aumento de la escorrentía superficial, que incrementa la erosión del suelo suelto, elemento importante en la generación de flujos. Es importante señalar la ocurrencia de flujos en áreas urbanas donde el material movilizado se satura en agua por causas humanas (ruptura de cañerías, entre otros).

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

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

3.3 Inundaciones y anegamiento

Las inundaciones propiamente tales corresponden a una consecuencia derivada de otros procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado ello a condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificiales, colectores urbanos, entre otros.

Se trata del resultado del desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela de tiempo, y la capacidad de evacuación de los cauces

o sistemas de drenaje o, en otras palabras, la oferta de cauce se ve superada por la demanda de cauce. Debe tenerse en cuenta, además, que dicha demanda no está compuesta sólo por agua, sino también por los sedimentos que esta transporta y arrastra, y cuya proporción respecto del volumen hídrico, sumado a las variaciones en la capacidad de carga del curso de agua, va a influir directamente en la ocurrencia de los desbordes.

Un hecho relevante es la recurrencia de las crecidas que presenta una cuenca fluvial dada respecto de otra. Ello está asociado, por una parte, a las características del régimen pluviométrico y térmico que registre el clima imperante y, por otra, a las características morfológicas que están presentes (alturas, forma, pendiente media, superficie), al desarrollo del sistema de drenaje (densidad, frecuencia y jerarquía de la red hídrica), y a la capacidad de retención hídrica de la cuenca, aspectos todos ellos que influyen en la torrencialidad, la velocidad de respuesta, el tiempo de concentración, y el volumen de los caudales.

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

En otros casos, cuando se trata de inundaciones o "salidas de madre" en condiciones de caudales "normales" (altas aguas medias), cuya causa suele encontrarse en la reducción de la sección de los colectores en forma artificial (angostamiento por urbanización, relleno por desechos), o natural (sedimentación progresiva o colmatación por arrastre de sedimentos), o accidental (eventos que provocan obstrucción parcial o total) como son los deslizamientos de tierra, los derrumbes, la caída de árboles, el derrumbe de puentes, etc.²

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

4 METODOLOGIA

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

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

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

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

- **Metodología General del Estudio**

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

Los pasos metodológicos aplicados se describen a continuación.

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

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

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

Para cada una de las variables o factores que determinan los distintos tipos de riesgos se elabora una carta temática que busca identificar las condiciones específicas de cada variable, que permiten desencadenar distintos niveles de riesgo. Estas condiciones específicas de cada variable son espacializadas y representan sub unidades al interior de cada carta temática. Por ejemplo, uno de los factores que determina el riesgo de inundación es la Carta hidrológica, la cual define: ríos, esteros, canales, etc. En este caso, los ríos presentan mayor potencialidad de ser afectados por inundaciones que los esteros o quebradas, ya que constituyen drenes de mayor jerarquía.

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

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

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

Del mismo modo que los valores relativos establecido para cada sub- unidad al interior de las cartas temáticas, Ferrando (Op. Cit.) define pesos absolutos de los distintos factores que determinan el tipo de riesgo. Sin embargo, al no utilizarse los mismos modelos de riesgo, sino que adaptaciones relacionadas a la disponibilidad de información, se modificaron dichos ponderadores mediante contrastación de los resultados del modelo y los riesgos catastrados en terreno.

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

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

- **Superposición de las distintas cartas temáticas**

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

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

4.1 Inundación y desbordes

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

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

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

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

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

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

Tabla 6 Valoración de las variables de riesgo por inundaciones

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

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

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

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

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

Tabla 7 Valores absolutos según rangos.

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

Fuente: Elaboración Propia

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

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

4.2 Remoción en masa

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

Tabla 8 Clasificación y caracterización de las remociones en masa

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

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

| Remociones Gravitacionales | Características | Energía Potencial Relativa | Remociones Aluvionales | Características | Energía Cinética |
|-------------------------------|---|----------------------------------|---------------------------|--|---------------------|
| | desprendiendo según su masa y competencia | | | en dirección de la pendiente al embeberse de agua. | |

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

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

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

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

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

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

Tabla 9 Valores Absolutos Según Rango

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

Fuente: Elaboración Propia

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

Pendientes

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

Tabla 10 Valoración de Pendientes

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

| Pendientes | Erosión | Desmoronamientos | Corrimientos | Deslizamientos | Derrumbes | Valor |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| 0 - 5 | Libre | Libre | Libre | Libre | Libre | 0 |
| 5 - 23 | Moderado a Fuerte | Libre | Libre | Libre | Libre | 1 |
| 23 - 35 | Moderado a Leve | Moderado a Fuerte | Moderado | Leve a Moderado | Leve | 2 |
| 35 - 55 | Fuerte | Fuerte | Moderado a Fuerte | Moderado a Fuerte | Moderado a Fuerte | 3 |
| > - 55 | Fuerte a Moderado | Fuerte a Moderado | Fuerte | Fuerte | Fuerte | 4 |

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

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

Exposición de laderas

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

Tabla 11 Valoración de exposición de laderas

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

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

| | | | | | | |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|
| SW - W | Leve a Moderada | Leve a Moderada | Moderado | Moderado a fuerte | Moderado | 3 |
| W - NW | Moderada a Fuerte | Moderada | Moderado a Fuerte | Fuerte | Moderado a fuerte | 4 |
| NW - N | Fuerte | Moderado a Fuerte | Fuerte | Fuerte | Fuerte | 4 |

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

Vegetación

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

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

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

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

Tabla 12 Valoración de vegetación

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

Fuente: Elaboración Propia

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Geología

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

Tabla 13 Valoración formaciones geológicas área comunal

| (Geo) Geología | Nivel De Riesgo | Valor |
|--------------------------------------|-----------------|-------|
| Dep. No Consolid., Relleno | Muy Alto | 4 |
| Rocas Metamórficas Y Sedim. | Moderado | 3 |
| Rocas Plutónicas E Hipabisales | Bajo | 2 |
| Rocas Sedim. Y Mix. Sedito-Volcanico | Moderado | 3 |

Fuente: Elaboración Propia

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

Tabla 14 Valoración y ponderación de variable de pendientes

| (Pend) Pendientes | Nivel De Riesgo | Valor | Ponderador |
|-------------------|-----------------|-------|------------|
| 0 - 8 | Nulo | 0 | 0,4 |
| 8-23 | Bajo | 1 | 0,4 |
| 23 - 35 | Moderado | 2 | 0,4 |
| 35 - 55 | Alto | 3 | 0,4 |
| > - 55 | Muy Alto | 4 | 0,4 |

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

Tabla 15 Valoración y ponderación de variable de exposición de laderas

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

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

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

Tabla 16 Valoración y ponderación de formaciones vegetales

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

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

Tabla 17 Valoración y ponderación formaciones geológicas

| (Geo) Geología | Nivel De Riesgo | Valor | Ponderador |
|--------------------------------|-----------------|-------|------------|
| Dep. No Consolid., Relleno | Muy Alto | 4 | 0,2 |
| Rocas Metamórficas Y Sedim. | Moderado | 3 | 0,2 |
| Rocas Plutónicas E Hipabisales | Bajo | 2 | 0,2 |
| Rocas Sedim.Y Mix. Sedito-Vol. | Moderado | 3 | 0,2 |

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

5 RESULTADOS DE ÁREAS DE RIESGO NATURAL Y ANTRÓPICO

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

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

Tabla 18 Homologación entre “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 de la OGUC y la nomenclatura utilizada en este estudio.

| “Áreas de riesgo” según artículo 2.1.17 de la OGUC | Tipo de peligro | Susceptibilidad |
|---|--|-----------------------------|
| Zonas inundables o potencialmente inundables: debido a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos. | Corresponde a: - áreas de riesgo por desbordes de cauces y anegamiento. | - Alta - Media - Baja |
| Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas, | Corresponde a: - Remociones en masa | - Alta - Media - Baja |

Fuente: Elaboración propia en base a Art 2.1.17 OGUC

5.1 Remoción en masa

A partir de los términos de referencia del estudio, objetivos planteados y escala de la información base disponible, se entregan áreas con alta susceptibilidad a la generación de remociones en masa en el área comunal escala 1:5.000. Estas áreas son el resultado del análisis y superposición de la información base del área de estudio, complementada con visitas a terreno y la generación de una línea base del medio físico.

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

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

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

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

5.2 Inundaciones por desborde de cauces y anegamientos

Las inundaciones propiamente tales corresponden a una consecuencia derivada de otros procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado ello a condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificiales, colectores urbanos, etc.

Se trata del resultado del desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela de tiempo, y la capacidad de evacuación de los cauces o sistemas de drenaje o, en otras palabras, la oferta de cauce se ve superada por la demanda de cauce. Debe tenerse en cuenta además que dicha demanda no está compuesta sólo por agua, sino también por los sedimentos que esta transporta y arrastra, y cuya proporción, respecto del volumen hídrico sumado a las

variaciones en la capacidad de carga del curso de agua, va a influir directamente en la ocurrencia de los desbordes.

Un hecho relevante es la recurrencia de las crecidas que presenta una cuenca fluvial dada respecto de otra. Ello está asociado, por una parte, a las características del régimen pluviométrico y térmico que registre el clima imperante y, por otra, a las características morfológicas que están presentes (alturas, forma, pendiente media, superficie, etc.), al desarrollo del sistema de drenaje (densidad, frecuencia y jerarquía de la red hídrica), y a la capacidad de retención hídrica de la cuenca, aspectos todos ellos que influyen el nivel torrencial, la velocidad de respuesta, el tiempo de concentración, y el volumen de los caudales.

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

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

Inundación por Desborde de Cauces

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

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

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

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

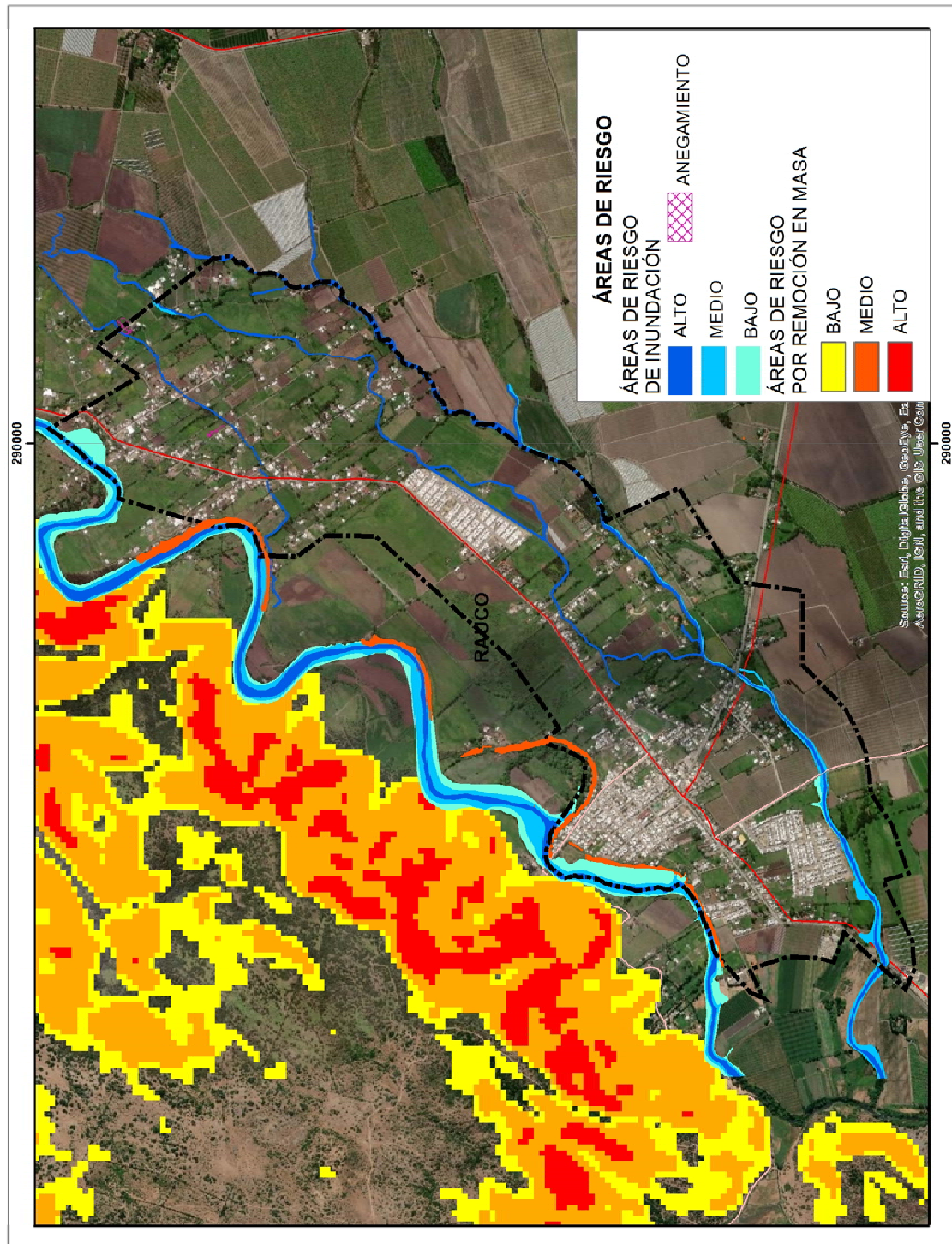
Inundación por Acumulación de Aguas Lluvias en Zonas Llanas, o Anegamiento

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

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

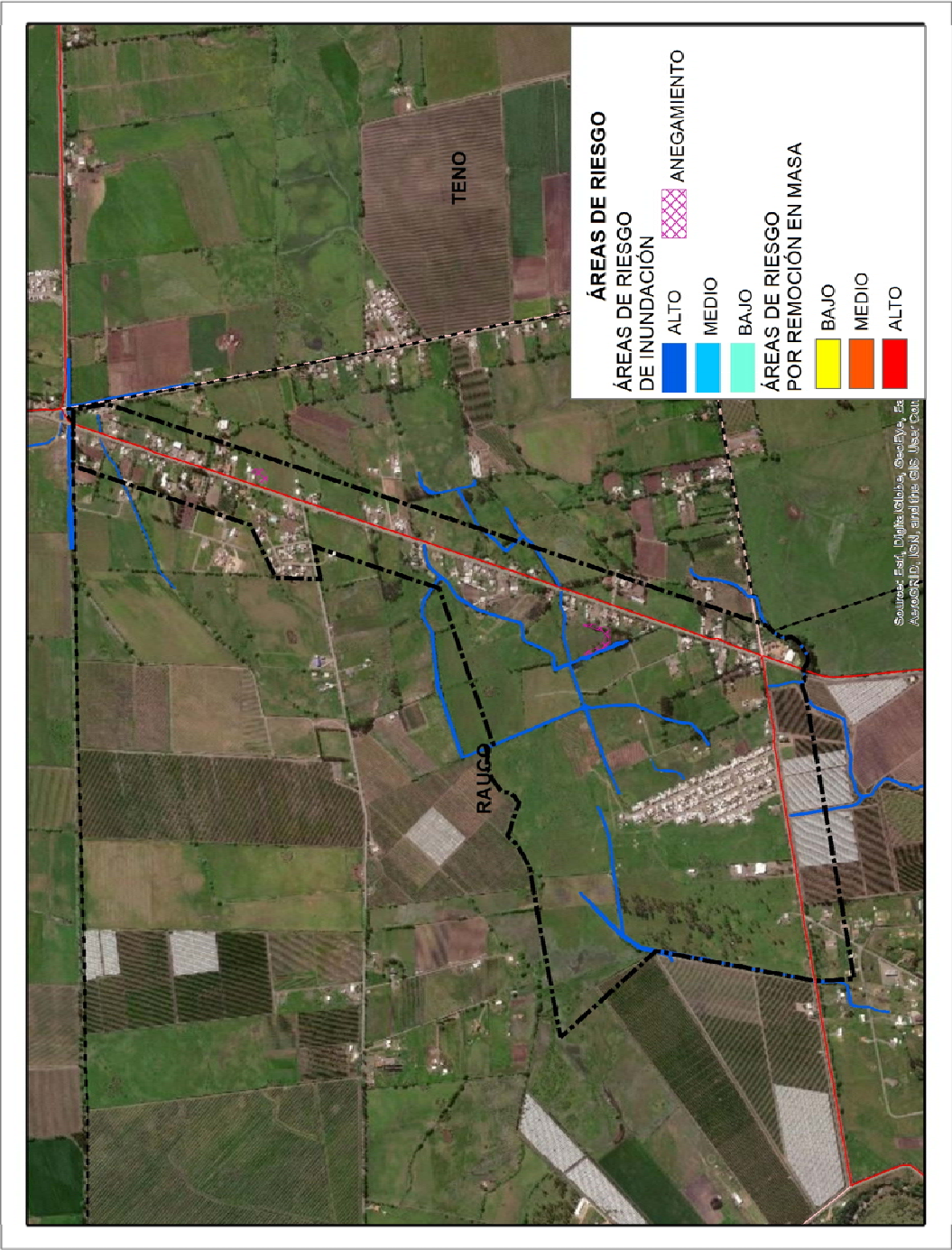
En las zonas urbanas consolidadas, las acumulaciones de aguas lluvia ocurren especialmente en cruces viales, donde la evacuación de las aguas lluvias es insuficiente, ya sea por el colapso de los sistemas de colección, acumulación de basuras que obstruyen los desagües, la no existencia de redes de evacuación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

Figura 23 Áreas de riesgo Rauco



Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Áreas de riesgo Quicharco - Plumero



Fuente: Elaboración propia

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

6 ZONAS NO EDIFICABLES

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

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

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

7.1 Áreas de protección del recurso de valor natural

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

7.2 Áreas de protección del recurso de valor cultural

En la comuna no existen Monumentos Históricos o Zona típica declarados por el Consejo de Monumentos Nacionales.

8 CONCLUSIONES

Las principales áreas de riesgos en la comuna corresponden a los riesgos por remoción en masa, que se concentran principalmente en las serranías, que comprenden a estribaciones de la Cordillera de la Costa. En ella se aprecian pendientes sobre 20° que de acuerdo a la geología y cubierta vegetal se reconocen como áreas de riesgo. Cabe mencionar que los asentamientos se encuentran distantes de las principales áreas de deslizamiento.

Respecto de las áreas de riesgos de inundación por desborde de cauces, estas corresponden principalmente a los cauces principales y primera terraza del Río Teno y Mataquito, y de los esteros Seco, Trincao y la Palmilla. Por su parte las áreas de riesgo por anegamiento se localizan principalmente En el sector de Palquibudi y Plumeró, dado principalmente por ser terrenos planos (menor a 5°) y por suelos de mal drenaje.

Respecto de las áreas de riesgos no considerados, corresponde a riesgo volcánico, dado que de acuerdo a los estudios consultados, la comuna de Rauco está fuera de las áreas de afectación a riesgo volcánico (flujos y lahares) y no se registró existencia de fallas geológicas en la comuna.

| "Áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 de la OGUC | TIPOS DE PELIGRO (según este informe) | SUSCEPTIBILIDAD | DESCRIPCIÓN | CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U. y C. | |
|--|---|-----------------|---|---|---|
| | | | | ÁREA NO CONSOLIDADA | ÁREA CONSOLIDADA |
| 1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos | Inundaciones por desborde de cauces | MUY ALTA | Cauces principales determinados por depósitos fluviales. | Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde | Riesgo (2.1.17) Excluir equipamiento esencial Mitigación con Normas Urbanística |
| | | ALTA | Terrazas de inundación adyacentes al cauce principal de depósitos fluviales aterrazados y zonas que según el catastro se han inundado con anterioridad. | | |
| | | MODERADA | Zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, relacionándose con las terrazas más antiguas correspondiente a parte de los depósitos fluviales aterrazados o zonas distales que presentan una baja elevación con respecto al cauce principal | | |
| | Inundaciones por anegamiento | ALTA | Corresponde a sectores morfológicamente muy planos (menor a 3°), deprimidos, con mal drenaje, que según el catastro han sido afectados previamente por anegamiento (compilada en el catastro o información obtenida en terreno) Estos bajos topográficos tienen una diferencia de altura de entre 20 cm y 1 m con respecto al nivel base promedio de su entorno | Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde | Riesgo (2.1.17) Excluir equipamiento esencial Mitigación con Normas Urbanística |
| 2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas | Remociones en masa (procesos de ladera) | MUY ALTA | Zonas con pendientes mayores a 35° o zonas con pendiente mayores que 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente. | Riesgo (2.1.17) | Riesgo (2.1.17) |
| | | ALTA | Zonas con pendientes entre 25° y 35° o zonas con pendiente entre 15° y 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente. | | |

9 REFERENCIAS

- González-Ferrán, O., 1995. Volcanes de Chile. Instituto Geográfico Militar, 640 pág.
- Araya-Carcedo, F.; Olcina J. 2002. Riesgos Naturales. Editorial Ariel S.A., 1512 pp.
- Barrientos, S.; Kausel, E. 1993. Características de la Sismicidad Superficial en la Zona Central de Chile; Proceedings 6as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Universidad de Chile, Santiago 9-13 Agosto, 1993, v.1, p. 3-9.
- Belmonte, J. 1997. Análisis del Contacto Sismogénico Interplaca a lo Largo de Chile. Santiago: Tesis de Magíster, Depto. de Geofísica. Universidad de Chile, 148 pp.
- Barrientos, S. (1994). Large Events, Seismic Gaps and Stress Diffusion in Central Chile, Tectonics of the Southern Central Andes, Ed. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Cornell (1968). Engineering Seismic Risk Analysis, Bull. Seism. Society of America, vol. 58.
- Crisafulli, F. & Villafañe, E. (2002). Espectros de Respuesta y de Diseño, Guía de Estudio, Ingeniería Sísmoresistente, Facultad de Ingeniería, U. Nacional de Cuyo.
- DeMets, C., Gordon, R.G., Argur, D.F. & Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, Geophys. Res. Lett., 21, 2191-2194.
- Dmowska, R. & Lovison, L., (1988). Intermediate term Seismic Precursors for some coupled Subduction Zones, Pageoph, 126, 643-664.
- Escobar, F.; Guzman, R.; Vierina, C., 1977. Avance geológico de las Hojas Rancagua – Curicó – Talca – Linares – Chanco, Concepción y Chillán. Escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG). Inédito.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson. 744pp
- Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), Gobierno de Chile, Junio 2011. Registro de Propiedad Intelectual N°: 205-409. I.S.B.N.: 978-956-8468-34-7
- Keller, E.; Blodget, R. 2004. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.
- Leyton, F.; Ruiz, S.; Sepúlveda, S. 2010. Reevaluación del peligro sísmico probabilística en Chile Central. Andean Geology. Versión on-line. ISSN 0718-7106. V. 37, n° 2. Julio 2010, 21 pp.
- Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255 Sismicidad de Chile. Sismicidad en Chile, Física de la Tierra, Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica, 10, Eds. E. Buforn y A. Udías.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR

Moreno P Daniela 2015, Recarga Artificial de Acuíferos En La Cuenca del Río Maule: Determinación de Sectores Favorables y Evaluación Económica. Tesis de grado, Depto. de Geología. Universidad de Chile, 121 pp.

Myers, B. y Brantley, S., 1995, Hazardous Phenomena at Volcanoes: USGS Open-File Report 95-231

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

Ruiz, S. y G.R. Saragoni. 2005. "Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo". IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, p. 16-19.

SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000.

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

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

SERNAGEOMIN. Efectos Geológicos Del Sismo Del 27 De Febrero 2010: Evaluación Preliminar Y Propuesta De Actividades Futuras (Inf-Nac-01) Abril 2010

SERNAGEOMIN. Preliminar de Peligros Volcánicos Complejo Volcánico Laguna Del Maule (escala 1:100.000, año 2012). Álvaro Amigo R. Daniel Bertin U. Escala 1: 100.000

SERNAGEOMIN. Preliminar de Peligros Volcánicos Volcán Cerro Azul – Quizapu (Escala 1: 100.000, año 2012), 71°04' 5°20' TALCA Álvaro Amigo R. Daniel Bertin U. Gabriel Orozco L.

SERNAGEOMIN. Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile.

Susa, D.L. & Comte, D. (2004). Evaluación del Peligro Sísmico Asociado a Sismos de Tipo Interplaca en Chile y Sur de Perú Utilizando una Distribución Bi-Paramétrica de Weibull, Tesis, Dpto. Ing. Civil, U. de Chile.

Rojas, Octavio, Mardones, María, Arumí, José Luis, & Aguayo, Mauricio. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. Revista de geografía Norte Grande, (57), 177-192

Otras Fuentes:

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

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

Diagnóstico del comportamiento del río Mataquito en crecidas entre la confluencia de los ríos Teno y Lontué y su desembocadura, VIII Región: informe final. Ricardo Edwards G. Ingenieros; Dirección de Vialidad. Dpto. de Obras Públicas

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

10 ANEXOS

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

Tabla 19 Catastro de desastres desde 1980, SERNAGEOMIN

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

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

Tabla 20 Registro de alerta roja ONEMI

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

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

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

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

| <i>Fecha</i> | Fuente | Observación |
|---------------------|--------|---|
| | | derivadas de esta condición. Trabajó en la reposición del servicio personal de la empresa eléctrica Emelectric. |
| 25 de junio de 2017 | ONEMI | <p>ONEMI y organismos técnicos actualizan balance por sistema frontal</p> <p>En la Región del Maule, las principales afectaciones se han registrado debido a la salida de canales de regadío, que han generado inundaciones en caminos principales e interiores. Producto de esta situación, se reportan 329 viviendas afectadas, las que se encuentran en evaluación. Se mantienen 4 albergues en las comunas de San Clemente, Linares, San Rafael y San Javier, permaneciendo 23 personas albergadas.</p> |
| 20 de enero de 2015 | ONEMI | <p>Se levanta Alerta Roja para la comuna de San Javier por incendio forestal</p> <p>De acuerdo a lo informado por la Dirección Regional de CONAF Maule, controlado se encuentra el incendio forestal "Canelillo Valdés", el cual afecta una superficie de 13.833 hectáreas de pino, matorral y pastizal, sin embargo aún podrían existir puntos calientes en el área afectada.</p> |

Fuente: www.onemi.cl

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

Tabla 21 Registro de riesgos naturales en prensa y otras publicaciones

| Fecha | Fuente | Observación |
|------------|--------------------|--|
| 25.06.2017 | www.biobiochile.cl | <p>Carabineros auxilia a vecinos y mascotas afectadas por inundaciones en Talca</p> <p>Hasta ahora una de las ciudades más afectadas por el sistema frontal es Talca. La Población Carlos González, Villa la Foresta, Villa Puertas del Sur, Villa Jardín del Este, Doña Antonia y Carlos Carlos Trupp, son algunos de los sectores más perjudicados, dejando una cantidad indeterminada de viviendas inundadas.</p> <p>De acuerdo a lo informado por Carabineros, la lluvia además provocó complicaciones en la ruta CH-115 en San Clemente, específicamente en el kilómetro 24 del sector San Luis, por lo que llamaron a conducir con precaución.</p> |
| 27.06.2017 | www.redmaule.com | <p>En la región el sistema frontal intenso del pasado fin de semana provocó el desborde de diversos canales, provocando el anegamiento de más de 400 casas</p> <p>Pencahue: Se mantienen 2 viviendas afectadas producto de anegamientos en calle Peumo y sector Lo Figueroa, producto al desborde de un estero.</p> <p>Talca: Transitable con precaución se encuentra la Ruta K-520, producto de anegamiento en la vía.</p> <p>San Rafael: Se reportan 14 personas damnificadas y 4 viviendas con daños en evaluación, producto de inundación a raíz de los desbordes del río Alto Pangue, y los canales de los sectores Pangue Arriba, Bajo La Peña y Pelarco Viejo. Las personas damnificadas fueron trasladadas a las sedes sociales de sus sectores habilitados como albergues.</p> <p>Maule: 30 viviendas con daños en evaluación, producto de anegamientos en distintos sectores de las poblaciones La Floresta, Doña Antonia, Puertas del Sur, Carlos González, Villa Francia y Colín, debido a desborde del canal Duao Zapata. Respecto a las 37 personas albergadas en sedes sociales, se informa que ya retornaron a sus domicilios.</p> <p>San Clemente: A raíz del desborde de canales en diversos sectores de la comuna, se reportan viviendas afectadas debido a anegamientos. Adicionalmente, se registra 01 vivienda</p> |

**PLAN REGULADOR COMUNAL DE RAUCO: ESTUDIO DE RIESGOS Y
PROTECCION AMBIENTAL PRELIMINAR**

| Fecha | Fuente | Observación |
|-------|--------|--|
| | | destruida en el sector Bajo Perquín, debido a una remoción en masa. A raíz de lo anterior, 21 personas se mantienen albergadas en la Escuela Santa Elena y la sede social de Bajo Perquín, habilitadas como albergues. |

Fuente: artículos de prensa y publicaciones de estudio técnicos