

ESTUDIO DE RIESGOS

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	Ubicación del área de estudio	5
1.2	Objetivos	5
1.3	Alcance y limitaciones	5
1.4	Marco Jurídico	7
2	METODOLOGÍA	9
2.1	Línea de base geológica y geomorfológica	9
2.2	Caracterización climática e hidrográfica	10
2.3	Catastro de peligros geológicos	10
2.4	Diagnóstico preliminar de peligros geológicos	11
3	LÍNEA DE BASE	12
3.1	Marco geodinámico	12
3.2	Marco geomorfológico	14
3.2.1	Caracterización regional	14
3.2.2	Formas reconocidas localmente	16
3.2.3	Parámetros morfométricos	17
3.3	Marco geológico	19
3.3.1	Litología del área de estudio	19
3.3.2	Estructuras	21
3.4	Marco climático e hidrográfico	23
3.4.1	Clima	23
3.4.2	Precipitaciones	23
3.4.3	Hidrografía y caudales	24
4	CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS	26
4.1	Catastro de inundaciones terrestres	26



Catastro de remociones en masa.....	29
4.2	

4.3	Catastro sismicidad	29
5	DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS	32
5.1	Inundaciones terrestres.....	32
5.1.1	Metodología.....	32
5.1.2	Diagnóstico.....	32
5.2	Remociones en masa	33
5.2.1	Metodología.....	33
5.2.2	Diagnóstico.....	33
5.3	Sismicidad.....	34
5.3.1	Metodología.....	34
5.3.2	Diagnóstico.....	34
5.4	Volcanismo.....	35
6	SUCEPTIBILIDAD Y DEFINICIÓN DEL RIESGO.....	36
7	REFERENCIAS.....	38
8	ANEXOS	42
8.1	Anexo A: Definiciones de peligro y riesgo usadas en este informe.....	42
8.2	Anexo B: Descripción de peligros geológicos analizados.....	45
8.2.1	Procesos internos o endógenos de la Tierra	45
8.2.2	Procesos externos o exógenos de la Tierra.....	55
8.3	Anexo C: Hidrología.....	63
8.3.1	Precipitaciones máximas anuales en 24 horas.....	63
8.4	Anexo D: Catastro de peligros geológicos	64
8.4.1	Fuentes de información consultadas	64
8.4.2	Catastro de inundaciones terrestres	66
8.4.3	Catastro de remociones en masa.....	79
8.4.4	Catastro de sismicidad	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Cuadro de homologación "áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 del OGUC.....	8
Cuadro 2 Detalles estación meteorológica Lo Rojas - DGA.....	23
Cuadro 3 Precipitaciones anuales máximas en 24 horas registradas en la estación meteorológica Lo Rojas asociadas a diferentes periodos de retorno	24
Cuadro 4 Área de las subcuencas del río Aconcagua	25
Cuadro 5 Datos de terremotos históricos de magnitud superior a 7.5 ocurridos en la zona	30
Cuadro 6 Peligros asociados al volcanismo.....	53
Cuadro 7 Base de datos estación meteorológica Lo Rojas.....	63
Cuadro 8 Publicaciones científicas y libros consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos que han afectado la comuna de La Cruz.....	64
Cuadro 9 Artículos de prensa consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos que han afectado la comuna de La Cruz	64
Cuadro 10 Sitios web consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos que han afectado a la comuna de La Cruz.....	65
Cuadro 11 Escala de intensidad de daños para inundaciones terrestres.....	66
Cuadro 12 Catastro de inundaciones que han afectado a la comuna de La Cruz y sus alrededores.....	67
Cuadro 13 Escala de intensidad de daños para inundaciones terrestres.....	79
Cuadro 14 Catastro de remociones en masa que han afectado la comuna de La Cruz y sus alrededores	80
Cuadro 15 Escala modificada de Mercalli de intensidades de sismos.....	84
Cuadro 16 Registro histórico de los sismos que han afectado al área de estudio desde el siglo XVII	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....	6
Figura 2 Dibujo esquemático de subducción a la latitud de La Cruz	12
Figura 3 Esquema de la segmentación andina.....	13
Figura 4 Unidades geomorfológicas	15

Figura 5 Carta de elevaciones de la comuna de La Cruz	17
Figura 6 Carta de pendientes de la comuna de La Cruz	18
Figura 7 Estructuras del entorno de La Cruz	22
Figura 8 Ubicación referencial de los eventos de inundación y remociones en masa catastrados que han afectado a la comuna de La Cruz.....	28
Figura 9 Terremotos de subducción históricos con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2 y sus áreas de ruptura	31
Figura 10 Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso.....	44
Figura 11 Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile.....	45
Figura 12 Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud >5. Nótese como la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo	46
Figura 13 Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto)	47
Figura 14 Tipos de falla y esfuerzos asociados.....	48
Figura 15 Tipos de ondas sísmicas	49
Figura 16 Amplificación de la vibración generada por un terremoto.....	49
Figura 17 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán.....	51
Figura 18 Clasificación de los tipos de inundaciones.....	55
Figura 19 Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera	57
Figura 20 Ejemplos de deslizamientos. A. Deslizamiento rotacional, B. Deslizamiento traslacional	61
Figura 21 Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión	62
Figura 22 Sismos registrados por la red sismológica mundial entre enero 1973 y febrero 2017	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Precipitaciones mensuales entre los años 1964 – 2018 registradas en la estación meteorológica Lo Rojas.....	24
---	----

1 INTRODUCCIÓN

Este documento corresponde a una versión preliminar del Estudio Fundado de Riesgos definido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), y forma parte del “Estudio Diagnóstico Plan Regulador Comunal La Cruz” . En él se incluye la metodología a utilizar durante el estudio, las líneas de base de geomorfología, geología, hidrología y clima, un catastro de los peligros que han afectado a la comuna y sus alrededores y un diagnóstico preliminar de los peligros geológicos reconocidos en ella.

1.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio corresponde a la comuna de La Cruz, ubicada en la provincia de Quillota, Región de Valparaíso. La comuna de La Cruz tiene una superficie de 78,08 kilómetros cuadrados, y limita al norte con la comuna de Nogales, al noreste con la comuna de La Calera, al este con Hijuelas, al sur con la comuna de Quillota y al oeste con Puchuncaví (Figura 1). Se encuentra comunicada con el resto del país a través de la ruta 60-CH.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es elaborar un Estudio Fundado de Riesgos, según se establece en el artículo 2.1.17 de la OGUC, para utilizarlo como un insumo para la actualización de Plan Regulador Comunal de La Cruz.

una línea base de geología y geomorfología para determinar los peligros naturales a las que está expuesta la comuna de La Cruz, que sirva como base para que en etapas posteriores se pueda elaborar una zonificación de peligros geológicos que acompañe y entregue criterios para el desarrollo del estudio “Plan Regulador Comunal de La Cruz” .

1.3 Alcance y limitaciones

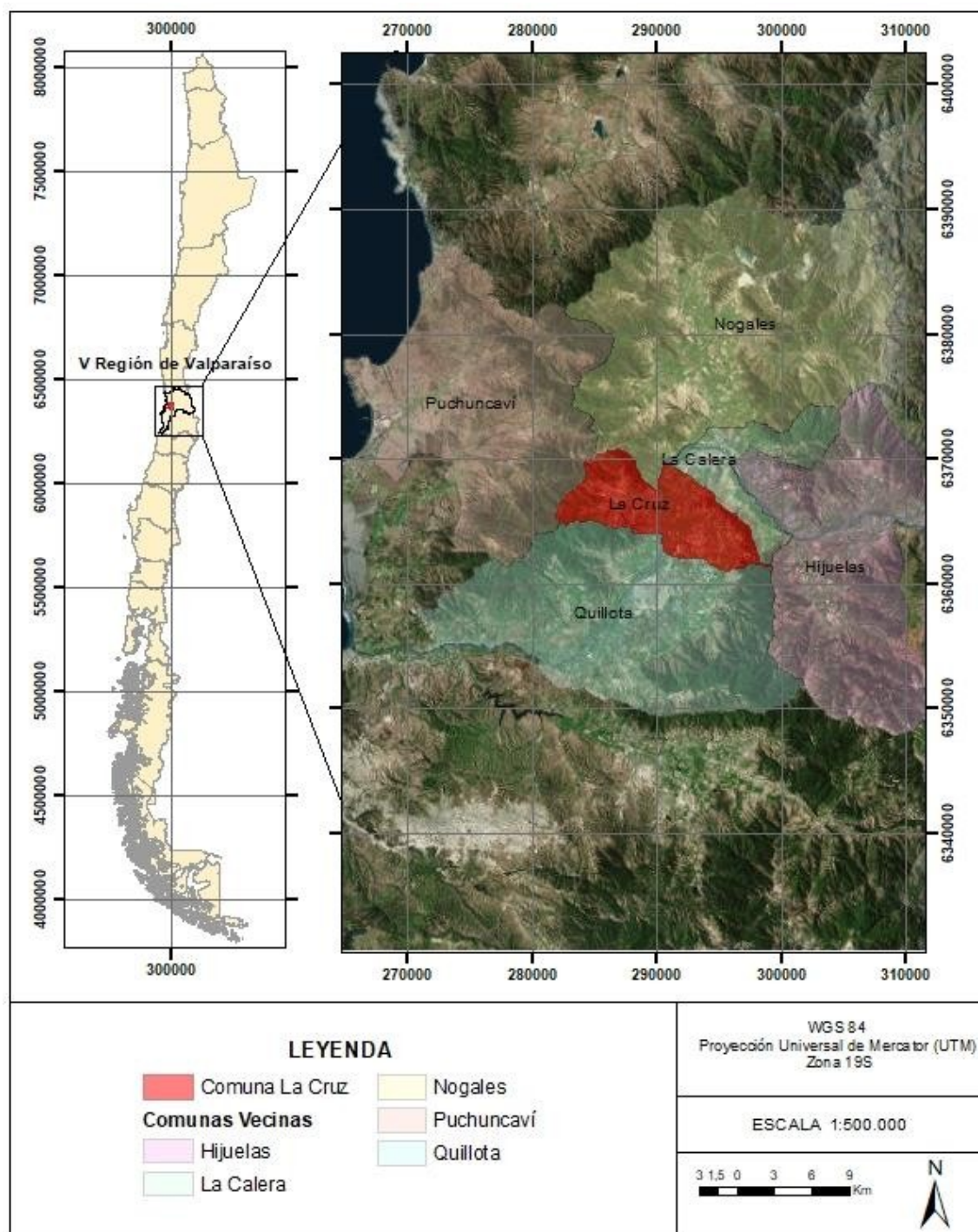
Como primera etapa de trabajo, se realizó una recopilación de información bibliográfica y de antecedentes históricos disponibles en la literatura (libros, publicaciones científicas y prensa).

Se identificaron y evaluaron los factores condicionantes para cada uno de los peligros geológicos analizados (sismos, remociones en masa e inundaciones por desborde de cauces y canales), de acuerdo a las definiciones presentadas en el apartado 8.1 “Anexo A: Definiciones de peligro y riesgo usadas en este informe” .

Como parte del diagnóstico de riesgos del territorio urbano y de extensión urbana, con énfasis en los riesgos por inundaciones terrestres (por desborde de cauces naturales y anegamiento) y los fenómenos de remoción en masa (flujos de barro, caída de bloques y deslizamientos), se presentan como resultado un mapa de catastro de peligros y un diagnóstico preliminar de ellos.

En este informe no se incluyen resultados relacionados con trabajos de terreno ni caracterizaciones de detalle. Estos trabajos se llevarán a cabo en etapas posteriores de este estudio.

Figura 1: Ubicación del área de estudio



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

1.4 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 definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas, se denominarán “zonas no edificables” o bien, “áreas de riesgo” , según sea el caso, como se indica a continuación:

- Por “zonas no edificables” , se entenderán aquéllas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias.
- 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 de este informe, las “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, puesto que la zonificación fue realizada a partir de mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el capítulo 8 “Anexo A: Definiciones de peligro y riesgo usadas en este informe”).

En el Cuadro 1 se presentan los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC y la homologación con la nomenclatura internacional utilizada por este informe¹. A continuación se desglosan los anexos donde se definen estos peligros geológicos y los criterios de zonificación a utilizar.

- Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC: 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.

De acuerdo a las definiciones utilizadas en este informe, el Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de inundaciones terrestres, ya sea por desborde de cauces naturales o por anegamiento.

Este tópico que se explica conceptualmente en el apartado 8.2.2.1 “Inundaciones terrestres y litorales” . El área de estudio no se encuentra expuesta al peligro de inundaciones litorales, pues no se emplaza en una zona costera y su distancia al mar y elevación del terreno imposibilita efectos de tsunamis en la comuna.

- Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC: Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones

El Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa (caída de bloques, deslizamientos y flujos de barro y detritos) y los procesos litorales de erosión acentuada. Estos se explican conceptualmente en el apartado 8.2.2.2 “Procesos de remoción en masa” .

- Apartado 3 del artículo 2.1.17 de la OGUC: Zonas con riesgo de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas

¹ La nomenclatura utilizada en este informe se basa en las definiciones propuesta por la ONU, UNESCO y SERNAGEOMIN, entre otros, y que se tomaron de Varnes (1984), ONU/EIRD (2004), PMA-GAC (2007) JTC-1 (2008).

Dentro de este apartado definido por la OGUC se analizan conceptualmente los procesos endógenos internos de la tierra, descritos en los apartados 8.2.1.1 “Sismicidad” y 8.2.1.2 “Volcanismo”. El área de estudio no se encuentra expuesta al peligro de volcanismo (ver sección 5.4). Por otro lado el peligro sísmico se considera no zonificable por los motivos que se presentan en la sección 5.3.

Cuadro 1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC

“ÁREAS DE RIESGO” SEGÚN ARTÍCULO 2.1.17 DE LA OGUC	PELIGROS GEOLÓGICOS ESTUDIADOS EN ESTE INFORME	
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 terrestres	Por desborde de cauce
		Anegamiento
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Inundaciones litorales	Maremoto
	Remociones en masa	Flujo de barro y detritos
		Caída de bloques
		Deslizamientos Retroceso de laderas
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Sismicidad	
	Volcanismo	Flujo de piroclastos
		Caída de piroclastos Coladas de lava

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración en base a la normativa 2.1.17.

2 METODOLOGÍA

El Estudio fundado de riesgos busca reconocer las áreas que pueden ser afectadas por los distintos peligros existentes en la comuna en base a criterios objetivos. Para lograr lo anterior, la metodología de trabajo considera las actividades que se enumeran a continuación.

- Caracterización del área de estudio, mediante las líneas de base de geología y geomorfología y los estudios hidrológicos, que buscan describir los factores que inciden en la ocurrencia de los peligros en el área.
- Realización de un catastro de peligros geológicos que han afectado el área o lugares cercanos, para conocer las zonas que han sido afectadas.
- Diagnóstico de los peligros que pudieran afectar el área, para conocer las zonas que presentan condiciones favorables para la ocurrencia de los peligros existentes e identificar los factores condicionantes que determinan la ocurrencia de cada peligro.
- Elaboración de mapas de susceptibilidad, que muestren gráficamente las áreas que presentan condiciones para ser afectada por los peligros.
- Definición de criterios para establecer áreas de riesgo, según el artículo 2.1.17 de la OGUC.

Este documento sólo considera la caracterización a escala regional y un diagnóstico preliminar de los peligros existentes en la comuna. El resto de las actividades se realizarán en etapas posteriores del estudio. A continuación se describen las actividades realizadas hasta esta etapa.

2.1 Línea de base geológica y geomorfológica

La caracterización de la geología y la geomorfología tiene como objetivo determinar las unidades de rocas y los depósitos, las estructuras geológicas y las formas presentes en la comuna. Las características de cada uno de los atributos que se nombran son el resultado de diferentes procesos geológicos que han afectado al área de estudio, los que se manifiestan, en muchos casos, como eventos de diferentes peligros geológicos, lo que deja de manifiesto las áreas que presentan condiciones más favorables para cada uno de ellos. En consecuencia, la caracterización de los rasgos antes mencionados permite identificar las zonas que han sido afectadas por los distintos peligros de origen geológico y para reconocer los factores geológicos y geomorfológicos que condicionan la ocurrencia de los peligros.

En este contexto, se construyeron las líneas de base de geología y geomorfología regionales a partir de antecedentes bibliográficos. Estos son:

- Geología de las Hojas Quillota y Portillo, escala 1:250.000 (Rivano, Sepúlveda, Boric, & Espineira, 1993).
- Mapa geológico de Chile, escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003).
- Modelo digital de elevación (DEM) SRTM, con resolución aproximada de 1 segundo de arco.

En base a la información se describió la geología diferenciando las unidades de roca consolidada y los depósitos sedimentarios presentes. Las unidades de roca se diferenciaron por litología y edad, según la información disponible en los antecedentes recopilados. Las unidades de depósitos no consolidados se diferenciaron y caracterizaron según las interpretaciones de las descripciones en la bibliografía. Además, se elaboró, a escala regional, una cartografía de las estructuras geológicas reconocidas en diversas fuentes bibliográficas.

Uno de los problemas que presentan estos estudios es que no se diferencian las unidades de depósitos no consolidados, por lo que, en una próxima etapa de este estudio, se deberá interpretar el origen de cada uno de ellos. Para esto se utilizarán imágenes satelitales, topografía de detalle e información recopilada en terreno.

Por otro lado, la caracterización geomorfológica se realizó a escala regional, a partir de parámetros morfométricos generados con el DEM y recopilación bibliográfica.

2.2 Caracterización climática e hidrográfica

La caracterización del clima tiene como objetivo caracterizar uno de los principales desencadenantes de los peligros geológicos existentes, mientras que la caracterización de la hidrografía busca identificar los cauces que pueden incidir en la ocurrencia de peligros.

La caracterización del clima y la hidrografía de la comuna se realizaron a partir de antecedentes bibliográficos. Adicionalmente, se recopilaron antecedentes de precipitaciones máximas en 24 horas desde los registros de la DGA y se cuantificaron las precipitaciones máximas esperadas para diferentes períodos de retorno.

2.3 Catastro de peligros geológicos

El hecho de que un sector en particular haya sido afectado en el pasado por algún peligro geológico en particular es un indicativo de que dicho sector presenta condiciones para ser afectado por una situación similar. Por esta razón se construyó un catastro de los peligros geológicos que han afectado a la comuna o a sectores cercanos a ella en base a antecedentes provenientes de diversas fuentes.

Las fuentes utilizadas para la construcción del catastro fueron:

- Publicaciones científicas, estudios técnicos y trabajos de recopilación histórica
- Artículos periodísticos de diarios de la zona (El Progreso, Diario Aconcagua, La Época, La Semana, La Dimensión, Impacto, Estrellaquillota) y de diarios regionales (El Mercurio de Valparaíso),
- Páginas web.

En la medida que la información lo permita, el catastro recopila, para cada evento, información acerca de la fecha de ocurrencia, tipo de peligro, descripción del evento, intensidad y zonas afectadas. En nivel de detalle de cada registro depende del grado de información existente y, por lo general, para los eventos más recientes se tienen descripciones más detalladas y más exactas. De esta manera, los peligros catastrados son:

1. Inundaciones terrestres: se consideraron los eventos generados por temporales o deshielos cordilleranos que generaron inundaciones y que tuvieron efectos directos en las comunidades.
2. Remociones en masa: se consideraron los eventos generados por temporales que originaron inundaciones y/o algún tipo de remoción en masa dentro de la misma comuna de La Cruz y/o sus alrededores y que tuvieron efectos directos en las comunidades.

3. Sismos históricos: se consideraron los sismos, obtenidos a partir de la información bibliográfica, cuyos epicentros se ubicaron ya sea en la comuna de La Cruz, en la misma región, o bien cuyos efectos afectaron directamente la zona.

En algunos casos, se ha incluido en el catastro la descripción de eventos ocurridos fuera de la comuna, especialmente en aquellos eventos ocurridos hace más tiempo, cuando no existían antecedentes en La Cruz propiamente tal, lo que ocurre muy frecuentemente antes de la fundación de la ciudad.

Los antecedentes recopilados se sistematizaron en tablas, y se presenta en el capítulo 8.4, Anexo D.

2.4 Diagnóstico preliminar de peligros geológicos

El diagnóstico tiene como objetivo sistematizar la información disponible para determinar los factores que condicionan la ocurrencia de los peligros reconocidos, para que, en una etapa posterior, se pueda definir, con el mayor grado de certeza posible, los sectores que presentan condiciones favorables para ser afectados por los diferentes peligros analizados en la zona estudiada.

Para cumplir con lo anterior, se integró el “Estudio de Riesgos PRI La Campana” (Habiterra S.A., 2013) con la información contenida en la caracterización del área de estudio (líneas de base de geología y geomorfología y caracterización hidrográfica) y con el catastro de peligros geológicos, considerando las características físicas de cada uno de los peligros estudiados. De lo anterior, se identificaron los peligros existentes en la comuna.

3 LÍNEA DE BASE

3.1 Marco geodinámico

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente (Figura 2), donde la Placa Oceánica de Nazca subducta a la Placa Continental Sudamericana bajo su margen occidental. Esta subducción, cuya tasa actual de convergencia se estima en 8 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 1994), se reconoce activa desde, al menos, el Jurásico (Ramos, y otros, 1986; Mpodozis & Ramos, 1989) y ha tenido variaciones en la tasa de convergencia durante el Eoceno – Mioceno que van desde 5 a 15 cm/año (Somoza, 1998).

La región entre los 27°S y los 33°S (aproximadamente) corresponde a la zona de subducción plana, debido a los efectos que produce la subducción del Ridge de Juan Fernández. Esta característica controla la morfología, magmatismo y tectónica de esta latitud (Charrier, Pinto, & Rodríguez, 2007).

El área de estudio se encuentra alrededor de los 32°50' S, es decir estaría enmarcada dentro del esquema de segmentación andina en el límite entre una zona de subducción plana y una zona de subducción normal hacia el sur (Charrier, Pinto, & Rodríguez, 2007; PMA-GCA, 2007). En este contexto se destacan las siguientes características:

- La costa oeste de la Placa Sudamericana tiene, al norte de los 33° S, un rumbo aproximado NS, mientras que hacia el sur tiene rumbo aproximado N20°E.
- En el segmento entre los 27°S y los 33°S no hay desarrollo de una Depresión Central, ni registro de volcanismo cuaternario en la Cordillera Principal, mientras que al sur de los 33° aparece una Depresión Central.
- En Argentina al norte de los 32° se desarrollan las Sierras Pampeanas, que están asociadas a una intensa sismicidad cortical superficial en Argentina y al ensanchamiento del orógeno.
- En la zona de subducción plana la placa de Nazca se dispone en un ángulo bajo (~10°) entre los 100 y 150 km de profundidad (Isaacks, 1988; Ramos, Cristallini, & Pérez, 2002; PMA-GCA, 2007). Mientras que en las zonas de subducción normal se encuentra más inclinada (~30°).
- En la zona de subducción plana no hay registro de volcanismo Holoceno en la Cordillera Principal, a diferencia de la zona ubicada al sur de los 33° S.

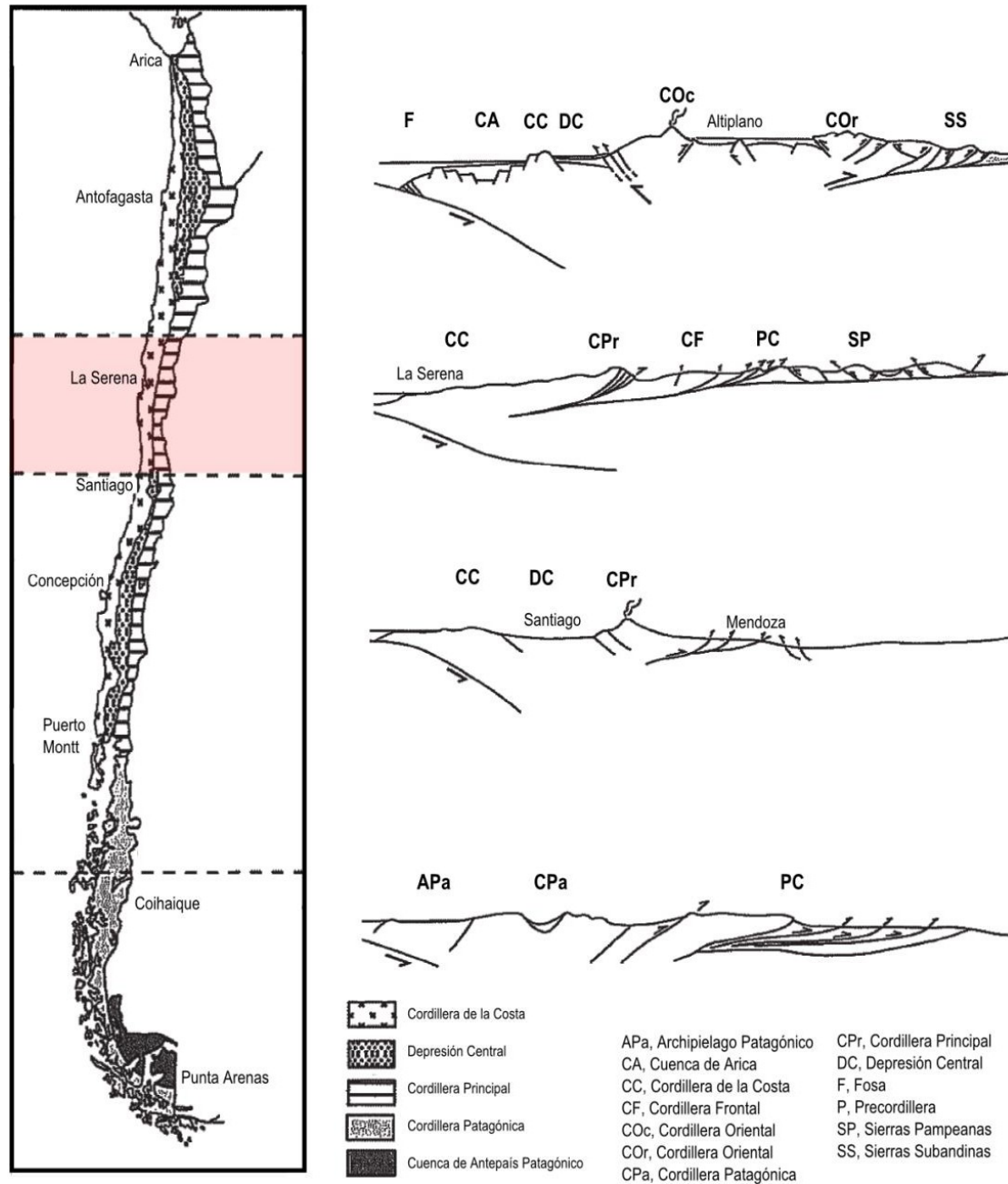
Figura 2 Dibujo esquemático de subducción a la latitud de La Cruz



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Se aprecia la Dorsal Juan Fernández, y el lugar donde es subductada frente a los 33° S. La línea verde señala la fosa (lugar donde subducta la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana), la línea roja indica la ubicación del segmento de subducción plana (entre los 27° y 33° S) y las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas.

La dinámica que ocurre entre la placa subductada y la placa continental, trae consigo una serie de efectos directos e indirectos sobre el margen chileno, tales como: terremotos de gran magnitud, estructuras tectónicas de gran escala, generación de un arco volcánico activo, entre otros (Barrientos S., 1980; 1997). En la Figura 3 se destaca la configuración dada para la latitud en la zona de La Cruz.

Figura 3 Esquema de la segmentación andina



Fuente: Modificado de Charrier et al. (2007). La franja coloreada representa la zona de subducción plana y la ausencia de volcanismo activo reciente. El área de estudio se ubica en el margen inferior de esta franja.

3.2 Marco geomorfológico

3.2.1 Caracterización regional

El segmento entre los 27°S y los 33°S, llamado zona de valles transversales, no se desarrolla la unidad geomorfológica de Depresión Central (la cual se reconoce en el resto de Chile) y, por lo tanto, no es posible diferenciar entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera Principal (Charrier, Pinto, & Rodríguez, 2007).

Por lo tanto, el área de estudio, localizada entre los 32°46' y los 32°52' , se encuentra dentro de una zona de transición geomorfológica entre la zona de valles transversales, y la región al sur del Cordón de Chacabuco, donde comienza a desarrollarse la Depresión Central.

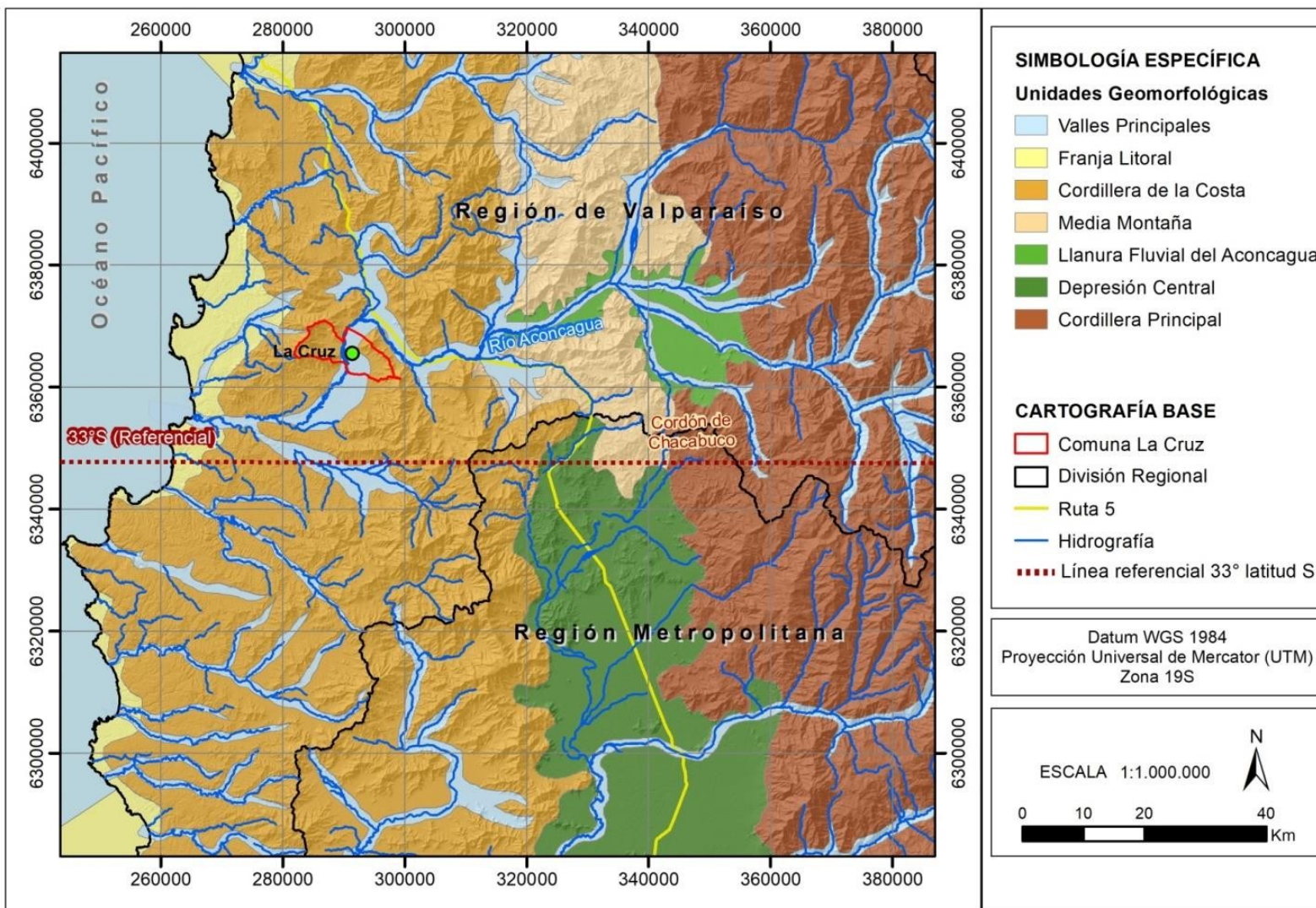
Para el segmento comprendido entre los 30° y los 33° S, Paskoff (1970) describe cuatro grandes unidades de relieve (Figura 4):

- **Franja litoral:** Unidad de altura y ancho variable, fluctuando este último parámetro entre algunos centenares de metros y decenas de kilómetros. Se caracteriza por la presencia de una serie de terrazas marinas (generalmente tres), labradas sobre roca de diversos tipos (metamórficas, granitos y areniscas recientes poco consolidadas).
- **Cordillera de la Costa:** Cadena montañosa más próxima al mar, compuesta por cerros que rara vez sobrepasan los 3.000 m s.n.m.
- **Media Montaña:** Cadena discontinua con cumbres que alcanzan alturas variables entre los 1.000 y 3.000 m s.n.m, que conecta de forma gradual la Cordillera de la Costa con la Cordillera Principal. Al sur de los 33° S comienza a aparecer una **Depresión Central** que reemplaza a la Media Montaña por una zona relativamente plana con presencia de algunos cerros isla, que tienen elevaciones de algunos cientos de metros por sobre el nivel de su base. La Depresión Central separa la Cordillera de la Costa de la Cordillera Principal.
- **Alta Cordillera o Cordillera Principal:** Cadena elevada y maciza, cuyas cumbres sobrepasan los 4.000 m s.n.m., con alturas máximas que superan los 6.000 m s.n.m. En esta unidad se observan vestigios de la acción reciente de glaciares y es donde se identifican las mayores pendientes.

Al norte de los 33° S, los ríos forman valles fluviales que presentan un escurrimiento principal de este a oeste y que se ramifican, formando una red con tributarios que siguen un patrón dendrítico y cortan la Media Montaña y la Cordillera de la Costa, los que suelen conocerse como Valles Transversales. Estas formas, en este trabajo, se han llamado **Valles Principales**. Algunos de estos cauces, en sus cursos medios, forman pequeñas cuencas interiores que en este trabajo se han denominado llanuras fluviales, como es el caso de la **Llanura fluvial del Aconcagua** (Figura 4). En su curso inferior los ríos se caracterizan por la existencia de un sistema de terrazas fluviales (generalmente constituido por tres niveles) que en las proximidades del litoral engranan con plataformas costeras descritas anteriormente.

La comuna de La Cruz se ubica en la Cordillera de la Costa y su población se encuentra instalada, mayoritariamente, sobre el valle del río Aconcagua.

Figura 4 Unidades geomorfológicas



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración a partir de modelo de elevación digital AsterGDEM.

3.2.2 Formas reconocidas localmente

Como se explicó anteriormente, la comuna de La Cruz está emplazada en la Cordillera de la Costa, en un sector donde el río Aconcagua la corta. En consecuencia, a escala de la comuna se identifican formas que responden a la dinámica del río Aconcagua y otras que responden a zonas más montañosas, con afloramiento de rocas, presencia de quebradas y pendientes que pueden ser elevadas.

La combinación de erosión y depositación en el río Aconcagua ha labrado un ancho valle, donde se han asentado distintas localidades en la Provincia de Quillota; de este modo, la comuna de La Cruz se sitúa en un tramo del curso inferior del valle del río Aconcagua, en una zona que tiene un ancho variable entre 2 y 8 km. El curso inferior del valle del río Aconcagua está caracterizado por un sistema de terrazas fluviales subactuales o antiguas que encajonan el sistema fluvial actual del río dentro de los Valles principales, las que se asocian a los **depósitos fluviales aterrazados**. Estas unidades se disponen como franjas dirección norte-sur a lo largo de toda la comuna (aproximadamente 6 km), de ancho variable. Por otra parte, la unidad geológica que se encuentra en el cauce actual del río Aconcagua (y su llanura de inundación) son los **depósitos fluviales actuales**.

Sobre las **unidades de roca** presentes en la Cordillera de la Costa se generan procesos de ladera (ej. de meteorización, erosivos o gravitacionales), que dan origen al material de relleno que conforma las geoformas descritas anteriormente.

Al pie de las laderas, dentro del límite entre la Cordillera de la Costa y los Valles principales se acumulan abanicos aluviales y conos de deyección, según las características morfológicas de la hoya hidrográfica aportante. Ambas unidades toman una forma semi-cónica, debido a que se van depositando gradualmente debido al desconfinamiento y al cambio de pendiente que sufren al llegar al pie de las laderas llegando al Valle principal.

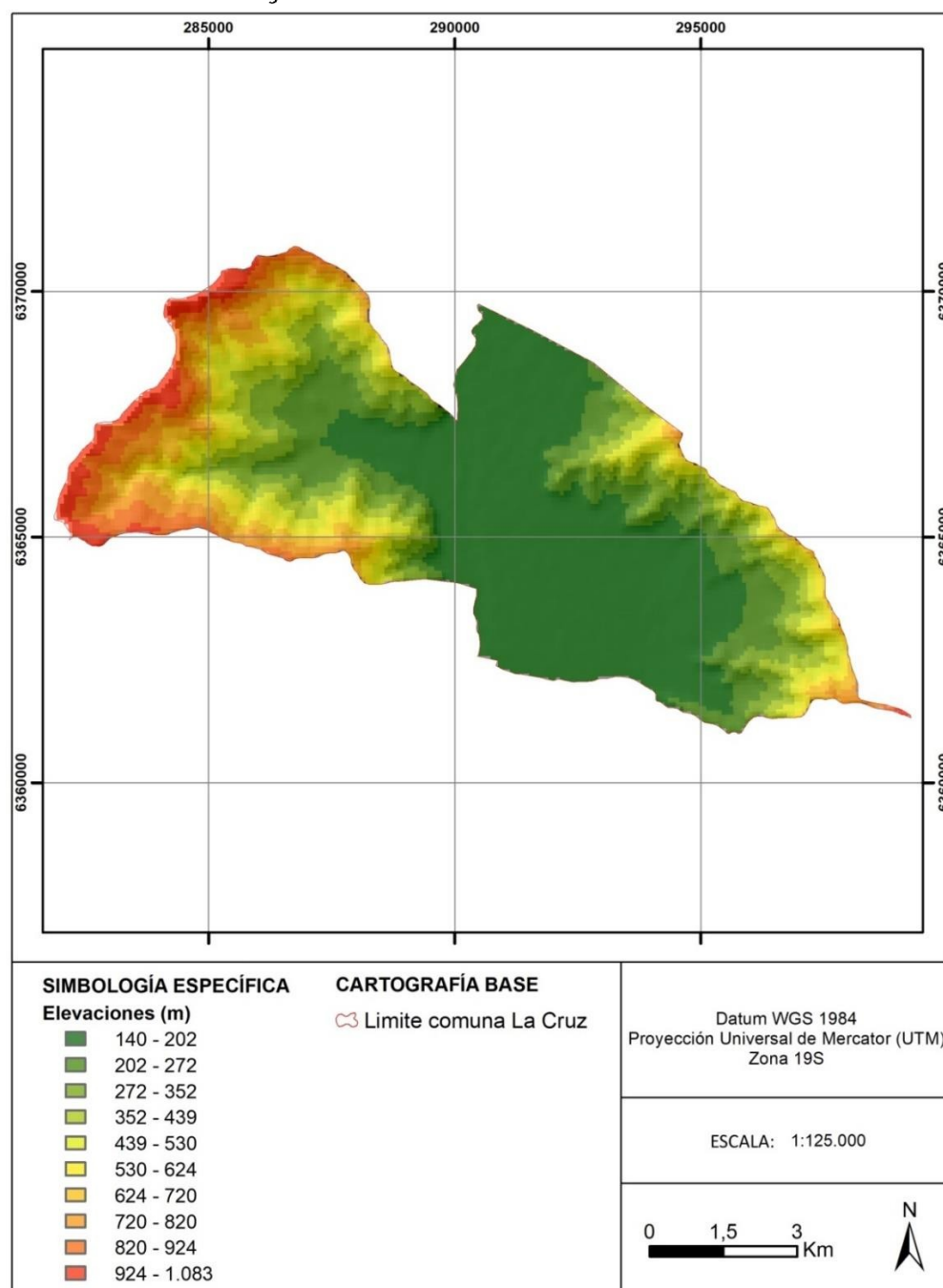
Los conos de deyección se encuentran confinados entre laderas del cerro, y alcanzan aprox. 500 m en su eje transversal; estos se forman a partir de **depósitos aluviales de quebrada**. Por otro lado, los abanicos aluviales se depositan en las desembocaduras de las quebradas mayores, sobre el valle de Aconcagua. Estas unidades tienen mayor radio que los depósitos aluviales de quebrada, provienen de quebradas con mayores hoyas hidrográficas y se depositan sobre áreas más planas, se agrupan dentro de la unidad geológica de **depósitos aluviales de valle**.

Los abanicos aluviales pueden estar ligados a procesos de flujo de detritos o barro, originados por lluvias fuertes y poco frecuentes (clima semi-árido) en combinación con taludes muy inclinados; deslizamientos que pueden incluir caídas de bloques, corrimientos de tierra, gatillados por sismos o lluvias, o flujos de corrientes, cuando los drenajes pierden la capacidad de transportar el material al salir de las quebradas y lo depositan.

Como última geomorfología deposicional se identifican los coluvios, que corresponden a material movilizado por gravedad y depositado a los pies de las laderas de los cerros que componen la Cordillera de la Costa. Se disponen conformando pendientes de hasta 15°. Estas unidades geomorfológicas se conforman por **depósitos coluviales**.

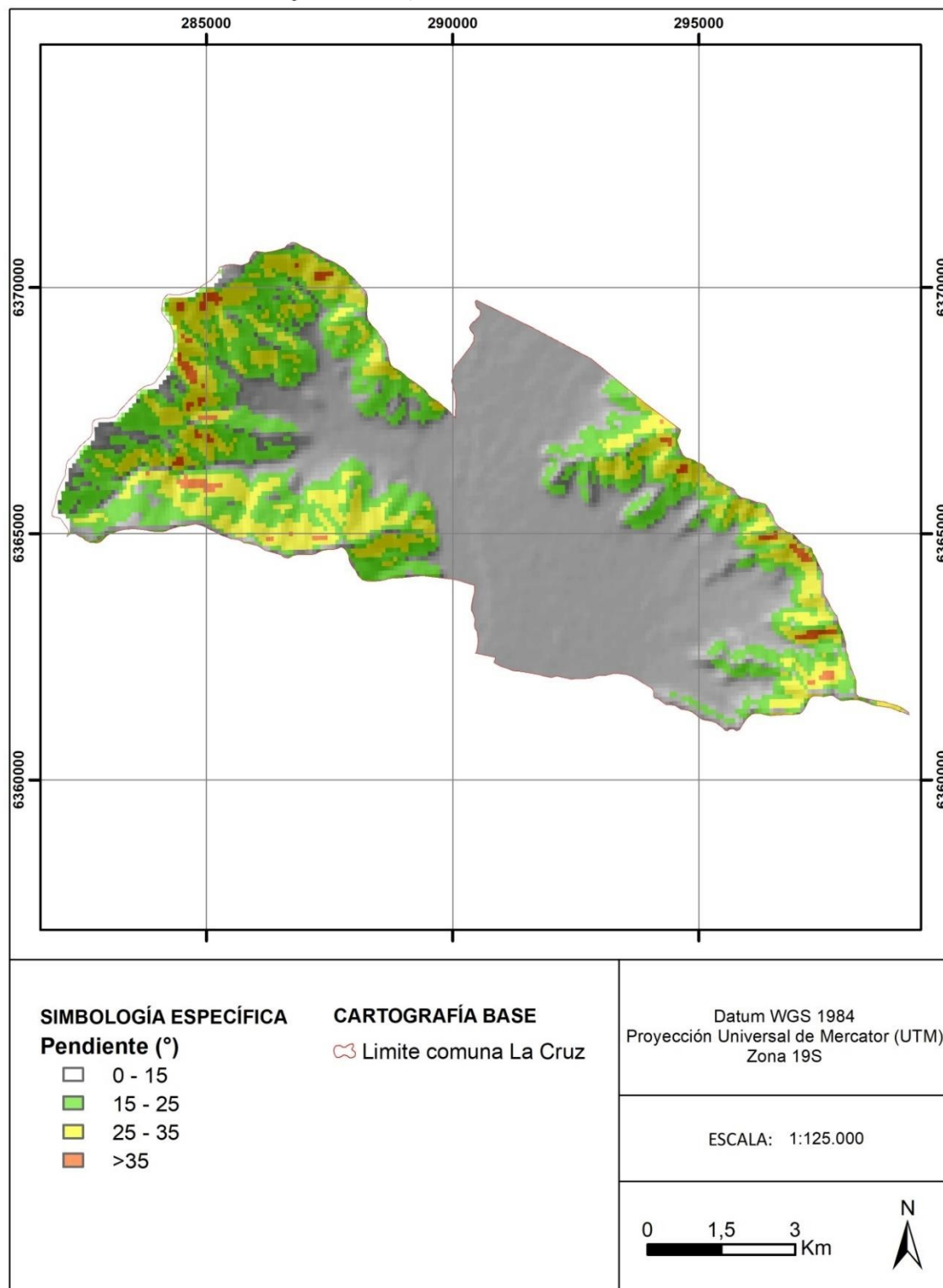
Las elevaciones de la comuna fluctúan entre los 140 y los 1.083 m s. n. m. Los sectores más altos se ubican al oeste de la comuna y los de menos elevación se encuentran en la zona central, donde están los principales centros urbanos (Figura 5). Mediante la carta de pendientes (Figura 6), se puede observar que los sectores urbanos, agrícolas e industriales se sitúan en las zonas más planas. Además, se puede notar que en algunos cerros en los límites de la comuna presenta laderas con pendientes mayores a 35°.

Figura 5 Carta de elevaciones de la comuna de La Cruz



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

Figura 6 Carta de pendientes de la comuna de La Cruz.



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

3.3 Marco geológico

En este informe, y a modo referencial, se presenta la geología de la comuna de La Cruz a escala regional, basada en la Hoja Quillota y Portillo (Rivano, Sepúlveda, Boric, & Espineira, 1993) . En esta comuna afloran rocas del Jurásico, las cuales se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios de diferentes tipos.

De forma general, las unidades geológicas del área de estudio son rocas volcánicas y sedimentarias, de ambiente continental y transicional. Estas rocas, afloran en los cerros que rodean la comuna, correspondiendo al material consolidado y más resistente de la zona.

Por otro lado, de los depósitos no consolidados de edad Pleistocena-Holocena se distinguen: fluviales, asociados al río y emplazados en las zonas más planas; coluviales en la base de laderas de cerro; y aluviales producto de la erosión ejercida por los cauces de agua en quebradas y llanuras más amplias.

Las zonas urbanas, industriales y agrícolas de La Cruz se sitúan en su totalidad sobre depósitos no consolidados.

A continuación, se describen las unidades desde la más antigua a los depósitos más recientes.

3.3.1 Litología del área de estudio

3.3.1.1 Unidades de rocas

A continuación se describen las unidades de roca presentes en la comuna de La Cruz.

Formación Ajial (Jurásico Medio)

Es una unidad volcánica que aflora en los cerros al oeste de la comuna. De edad Bajociana Inferior, está constituida por lavas y depósitos piroclásticos ácidos a intermedios, con intercalaciones calcáreas marinas en su techo (Gawlick & Hubert, 1997). Subyace de manera concordante a la Formación Cerro Calera.

Formación Cerro Calera (Jurásico Medio)

Es un conjunto de rocas sedimentarias clásticas, que afloran en el sector este de la comuna. Está constituida por sedimentos volcanoclásticos y epiclásticos marinos: areniscas, tobas, calizas subordinadas, y calcareniscas con intercalaciones de conglomerados basales de grano fino.

La Formación Cerro Calera, refleja un paleo-ambiente marino transicional, con registro de fase regresiva en la cuenca. Esta unidad, subyace concordantemente a la Formación Horqueta.

Unidad Puerto Oscuro (Jurásico Superior)

Es una unidad intrusiva perteneciente a la Superunidad Mincha. Se ubica en parte de los cerros ubicados en la zona este de la comuna. Consiste en dioritas cuarcíferas de piroxeno y/o anfíbola; monzodiorita de hiperstena y biotita; gabros de piroxeno y olivino de color gris verdoso.

3.3.1.2 Depósitos no consolidados (Pleistoceno-Holoceno)

Dentro de la comuna se pueden reconocer tanto depósitos fluviales, como coluviales y aluviales. Aunque dentro de la Hoja Quillota y Portillo se encuentran definidos como una misma unidad.

Los procesos geomorfológicos que construyen las distintas geoformas dan origen a distintos depósitos no consolidados que se describen a continuación:

Depósitos fluviales:

Corresponde a los sedimentos que rellenan el fondo del Valle del Aconcagua. De acuerdo con sus rasgos morfológicos, se identificaron 2 unidades:

Depósitos Fluviales Aterrazados: Unidad de sedimentos aterrazados a lo largo de los márgenes de la unidad de depósitos fluviales actuales del río Aconcagua. Se caracterizan por la presencia de gravas, arenas y limos. Los depósitos aluviales que descienden desde las quebradas laterales, tienden a engranar con esta unidad, o bien la sobreyacen.

Depósitos fluviales actuales: Corresponden a sedimentos no consolidados que rellenan el fondo de los valles principales, cuya depositación ha estado controlada por la actividad de sus cauces fluviales. Esta unidad se compone de gravas, arenas y limos, ubicados tanto en el curso actual del río Aconcagua como en sus llanuras de inundación.

Depósitos aluviales:

Corresponde a los sedimentos que rellenan el fondo de las quebradas que tributan hacia los valles de los ríos principales, y cuya depositación ha estado controlada por la actividad de sus cauces. Estos depósitos tienden a formar abanicos aluviales en aquellos sectores donde las quebradas desembocan hacia los valles principales, debido al cambio de pendiente de los cursos de agua. De acuerdo con sus rasgos morfológicos, se identificaron 2 unidades:

Depósitos aluviales de valle: Unidad de sedimentos ubicados a lo largo de los cursos de agua actuales de las quebradas tributarias hacia los valles principales. Delimita las zonas hidrológicamente más activas de los abanicos aluviales que descienden desde estas quebradas. Esta unidad suele presentarse encajada en los depósitos fluviales del río Aconcagua.

Depósitos aluviales de quebrada: Esta unidad geológica conforma el cuerpo de los abanicos aluviales que descienden desde las quebradas tributarias (generalmente esporádicas) hacia los valles principales. Corresponden a sedimentos provenientes de la erosión de las quebradas por medio de procesos hídricos, mecánicos y gravitacionales. Los depósitos de esta unidad conforman pequeños abanicos aluviales de ca. 500 m en su eje transversal (en el sector nororiental del mapa) y amplias llanuras aluviales (sector suroccidental). Esta unidad es más activa que los depósitos aluviales de valle ya descritos.

Depósitos coluviales:

Corresponde a sedimentos producidos por la alteración de la roca in situ, y posterior transporte como derrubios de ladera. Frecuentemente están asociados a masas inestables, y suelen acumularse en las laderas de cerros de alta pendiente, y en las faldas de escarpes rocosos. Estos sedimentos son transportados por gravedad, con una participación menor de escorrentía de aguas superficiales. Su generación también puede ser gatillada por movimientos sísmicos. Son depósitos mal

seleccionados que tienden a presentar formas cónicas, generalmente de alta pendiente, y de poco espesor que cubren la roca subyacente.

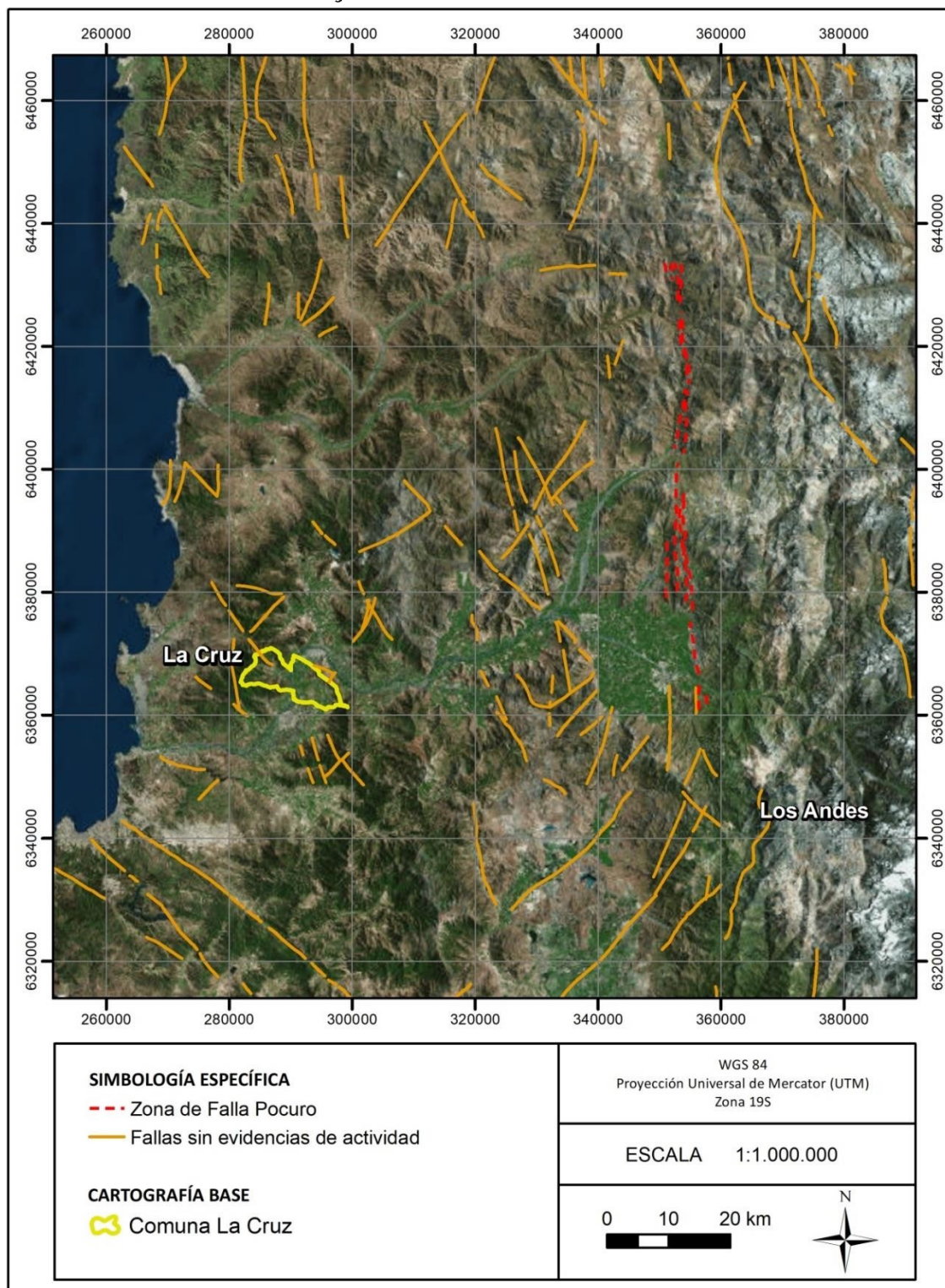
3.3.2 Estructuras

Dentro del área de estudio no se describen estructuras geológicas activas que puedan afectar a la zona con sismos corticales u otros peligros asociados a ellos. Sin embargo, a escala regional se tiene la Zona de Falla Pocuro (ZFP, Figura 7) situada en el margen poniente de la Cordillera Principal; es decir a aproximadamente 65 km de La Cruz.

Esta Zona de Falla fue descrita inicialmente por Aguirre (1960) como una serie de fallas normales de rumbo aproximado NS reconocidas en el valle del estero Pocuro, y su prolongación hacia el norte fue cartografiada al este de la ciudad de Los Andes hasta el río Rocín. La ZFP fue interpretada por Carter y Aguirre (1965) como una falla normal que correspondía al límite entre la Depresión Central, en ese entonces entendida como cuenca extensional, y la Cordillera Principal. Le asignan un desplazamiento total del orden de 2.000 m ocurrido durante el Mioceno.

Estudios realizados durante la última década (e.g. Armijo, y otros, 2012) señalan que el límite occidental de la Cordillera Principal entre los 31°S a 34°S está determinado por una serie de fallas inversas, entre las que se encuentran la ZFP y la Falla San Ramón (más al sur). Este conjunto de fallas habría sido responsable del alzamiento de la Cordillera Principal durante el cuaternario, y su actividad habría comenzado en el Mioceno (Troncoso, Pinto, & Vargas, 2012). Actualmente se realizan estudios que intentan evaluar la amenaza sísmica que representa la Falla Pocuro para la región, sin embargo la distancia entre la ZFP y el área de estudio reduce considerablemente el grado de riesgo al que se enfrentaría La Cruz, en un eventual sismo provocado por la falla.

Figura 7 Estructuras del entorno de La Cruz



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración a partir de SERNAGEOMIN (2003) y Rivano, et al. (1993).

3.4 Marco climático e hidrográfico

3.4.1 Clima

La Región de Valparaíso, ubicada en el segmento central de Chile, se caracteriza por presentar un clima templado cálido con lluvias suficientes, según la clasificación de Koppen, que presenta veranos secos debido a la interacción del Anticiclón del Pacífico y el régimen de vientos del oeste.

Específicamente, la Provincia de Quillota se ubica dentro de la categoría de clima templado con lluvias invernales, donde las precipitaciones se concentran en el invierno, dejando una estación seca prologada de hasta 7-8 meses, por el dominio anticiclónico.

Este clima, también denominado templado mediterráneo, se continentaliza por efecto del relieve costero occidental, lo que disminuye la influencia marítima sobre la regulación de las temperaturas

Particularmente, el área de estudio presenta un subtipo de clima mediterráneo templado semi-seco, característico del interior del valle del Aconcagua (ARCADIS, 2006). En cuanto a los parámetros climáticos, el promedio anual de las temperaturas en la comuna de La Cruz es de 14,8 grados Celsius y su precipitación total anual es de 380 mm (Accuwheater²).

3.4.2 Precipitaciones

La estación más cercana a la comuna de La Cruz corresponde a la estación Lo Rojas, de la Dirección General de Aguas. Esta estación presenta mediciones de precipitación desde el año 1964, de carácter continuo y bastante completo hasta la fecha. En el Cuadro 2 se detalla la información de la estación, incluyendo su ubicación.

Cuadro 2 Detalles estación meteorológica Lo Rojas - DGA

NOMBRE ESTACIÓN	CÓDIGO BNA	COORDENADAS (UTM)			REGISTRO		CANTIDAD DE AÑOS REGISTRADOS
		ESTE	NORTE	ELEVACIÓN (m s.n.m)	INICIO	FIN	
Lo Rojas	05425003-7	287306	6367129	190	1964	vigente	44

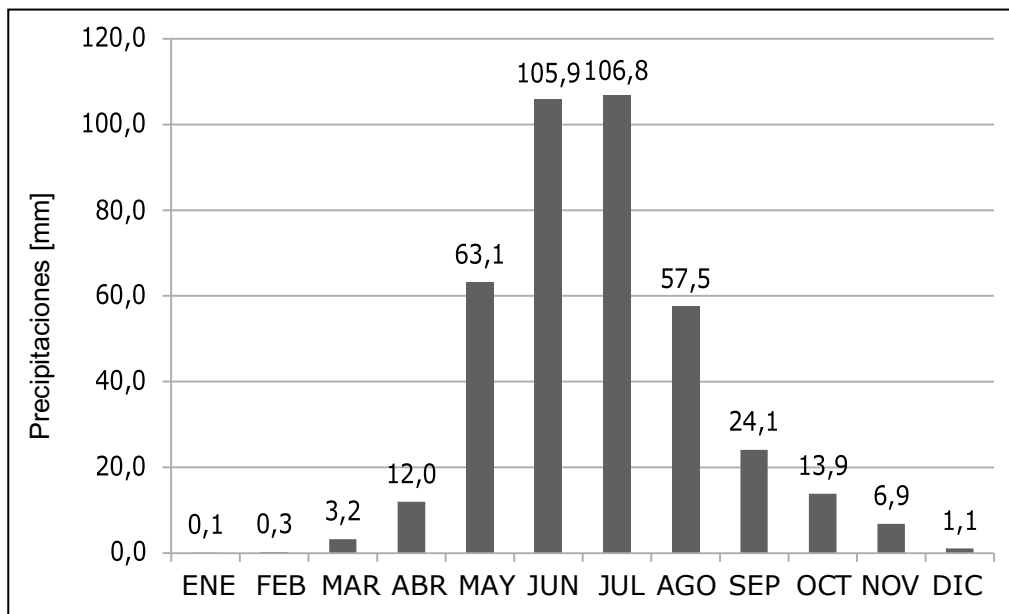
Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración a partir del BNA-DGA (2018).

De acuerdo a los antecedentes de la estación meteorológica Lo Rojas, la precipitación media anual es cercana a los 390 [mm/año] y las lluvias suelen concentrarse en los meses invernales. En el Gráfico 1 se muestran las precipitaciones medias mensuales registradas por la estación meteorológica entre los años 1964 y 2018 (jun). Según lo observado, las lluvias se concentran en los meses invernales, alcanzando en los meses de junio, julio y agosto, un 68% del total de las precipitaciones del año. Por lo tanto, la zona presenta un periodo estival caracterizado por escasas lluvias y uno invernal con abundancia de precipitaciones.



² Parámetros climáticos promedio de La Calera 1960-2010 obtenidos de <http://www.accuweather.com/>

Gráfico 1 Precipitaciones mensuales entre los años 1964 – 2018 registradas en la estación meteorológica Lo Rojas



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración en base a una serie de datos de 1964 a 2018, pertenecientes a la base de datos de la DGA.

Los registros de precipitaciones máximas en 24 horas (ver capítulo 8.3.1: Anexo C: Hidrología), se ajustaron mediante un modelo estadístico log-Normal, lo que se utilizó para calcular caudales asociados a diferentes probabilidades de no excedencia, que a su vez se asocian a distintos períodos de retorno (Cuadro 3). De acuerdo a este ajuste, lluvias como las del año 2001 tienen una recurrencia de 10 años, y lluvias como las del año 2002 ocurren cada más de 50 años (ver descripción de eventos en el Cuadro 12).

Cuadro 3 Precipitaciones anuales máximas en 24 horas registradas en la estación meteorológica Lo Rojas asociadas a diferentes periodos de retorno

PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA (%)	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS (mm)
50	2	65.2
80	5	92.9
90	10	111.7
95	20	130.2

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración en base a una serie de datos, de 1964 a 2018, pertenecientes a la base de datos de la DGA.

3.4.3 Hidrografía y caudales

La red hidrográfica más importante de la comuna corresponde al río Aconcagua, que se forma en la parte alta de la Cordillera de Los Andes, a partir de los alfluentes Blanco y Juncal, y recoge las aguas

de la totalidad de las provincias de Los Andes, San Felipe y Quillota, y un sector de Valparaíso en su desembocadura.

La cuenca andina exorreica del río Aconcagua se separa de oriente a occidente en las subcuencas Aconcagua Alto, Aconcagua Medio, Aconcagua Bajo. En particular, La Cruz se encuentra en la subcuenca Baja del Aconcagua, por lo que recibe aportes desde las otras dos subcuencas aguas arriba. El área total de la cuenca es de 7.333,8 km² (Cuadro 4).

Cuadro 4 Área de las subcuencas del río Aconcagua

NOMBRE SUBCUENCA	ÁREA KM ²
Aconcagua Bajo	2625.82
Aconcagua Alto	1959.49
Aconcagua Medio	2748.97

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración en base al inventario público de cuencas hidrográficas.

El régimen hidrológico del río Aconcagua es de alimentación mixta o nivo-pluvial (DGA, 2004), principalmente pluvial en la zona baja; por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones. Ocasionalmente puede presentar crecidas debidas a deshielos cordilleranos de la época estival, los cuales afectan principalmente a las comunas más altas.

Desde el sector norponiente, frente al sector de Puente Lo Rojas, desemboca la quebrada Las Canteras, de régimen intermitente, que recibe aportes de la Quebrada de Los Olivos y otras menores. Por otro lado, en el sector oriente de la comuna se encuentra la Quebrada El Belloto

4 CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

Mediante recopilación bibliográfica y noticias expuestas en redes sociales, se realizó un catastro histórico de peligros geológicos acontecidos en el área de estudio. El catastro recopila, para cada evento, información acerca de la fecha de ocurrencia, tipo de peligro, descripción del evento, intensidad y zonas afectadas. En nivel de detalle de la información depende del grado de información existente y, por lo general, para los eventos más recientes se tienen descripciones más detalladas y más exactas. De esta manera, los peligros catastrados son:

1. Inundaciones terrestres: se consideraron los eventos generados por temporales o deshielos cordilleranos que generaron inundaciones y que tuvieron efectos directos en las comunidades.
2. Remociones en masa. Se consideraron los eventos generados por temporales que originaron inundaciones y/o algún tipo de remoción en masa dentro de la misma comuna de La Cruz y/o sus alrededores y que tuvieron efectos directos en las comunidades.
3. Sismos históricos: se consideraron los sismos, obtenidos a partir de información bibliográfica, cuyos epicentros se ubicaron ya sea en la comuna de La Cruz, o bien, en la misma región, o cuyos efectos afectaron directamente la zona.

El área de estudio no se encuentra expuesta a peligros volcánicos, dado que el volcán activo más cercano se sitúa a 150 kilómetros aproximadamente. Análogamente, el área de estudio tampoco se encuentra expuesta al peligro de inundaciones litorales, pues no se emplaza en una zona costera y su distancia al mar y elevación del terreno imposibilita efectos de tsunamis en la comuna.

En algunos casos, se ha incluido en el catastro la descripción de eventos ocurridos fuera de la comuna especialmente en aquellos eventos ocurridos hace más tiempo, cuando no existían antecedentes en La Cruz propiamente tal, lo que ocurre muy frecuentemente antes de la fundación de la ciudad.

Cabe aclarar que este catastro contiene eventos desde el 1570 hasta la actualidad. Considerando que la fundación de La Cruz fue en el año 1902, se incluyeron eventos desastrosos ocurridos antes del año de la fundación de la comuna que afectaron a la provincia de Quillota, al río Aconcagua y/o alrededores del área de estudio.

4.1 Catastro de inundaciones terrestres

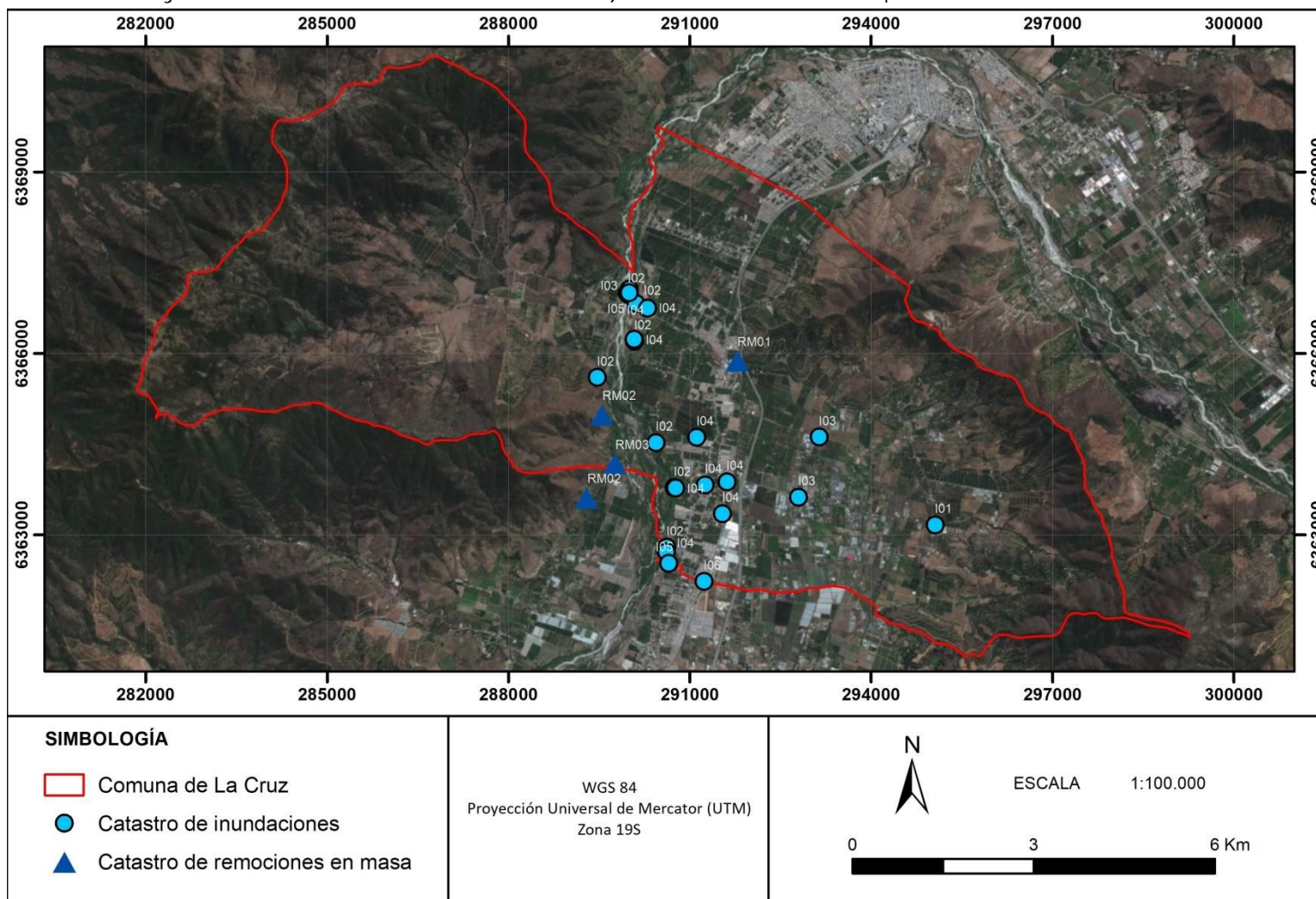
Las inundaciones terrestres, en el sentido de “tierra adentro”, son aquellas en las que aguas dulces anegan territorios al interior de los continentes. Se reconocen dos tipos de inundaciones terrestres: (1) las inundaciones por desborde de cauce y (2) las inundaciones por anegamientos. Como su nombre lo indica, las **inundaciones por desborde de cauce** ocurren cuando ríos o esteros desbordan su cauce natural anegando las terrazas fluviales laterales o adyacentes, debido a la ocurrencia de caudales extremos. Por otra parte, las **inundaciones por anegamientos** se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y deficiente drenaje del terreno. Estas inundaciones se asocian a la zona de desembocadura de algunas quebradas, las que son “embalsadas” por caminos y obstrucciones antrópicas.

Los procesos de inundación pueden originarse por varios factores, tales como lluvias intensas y/o prolongadas en el tiempo durante temporales, pero también pueden originarse por colapso o desbordamiento de represas y canales, o como afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas. Los valores que pueden alcanzar los caudales, así como el tamaño del cauce, dependen también de otros factores como del área de la cuenca correspondiente, su forma, la diferencia de cota, la presencia de rocas o sedimentos permeables, etc.

Estos peligros de inundaciones terrestres se describen en detalle en el capítulo 8.4.1, “Catastro de inundaciones terrestres”. En el Cuadro 12, del mismo anexo, se presenta un catastro detallado de las inundaciones terrestres que han afectado a la comuna de La Cruz y sus alrededores, desde 1748 hasta la actualidad. De acuerdo a la información recopilada, las inundaciones terrestres más significativas de los últimos 40 años que han afectado a la comuna de La Cruz ocurrieron en los años 1982, 1987, 1997 y 2002.

Para facilitar un entendimiento rápido y general de las zonas más problemáticas y/o riesgosas de la comuna, se elaboró un mapa con la ubicación referencial de los eventos de inundaciones que han ocurrido en la comuna de La Cruz, cuyas descripciones hacían referencias a poblaciones, sectores o calles de la comuna (Figura 8). Los sectores más perjudicados históricamente corresponden al sector donde está ubicado el puente lo rojas, el callejón González, la Poza Cristalina y el sector del Molino.

Figura 8 Ubicación referencial de los eventos de inundación y remociones en masa catastrados que han afectado a la comuna de La Cruz



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

4.2 Catastro de remociones en masa

El término “remoción en masa” incluye una amplia variedad de procesos que generan el movimiento aguas abajo de los materiales que constituyen las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores. El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007). Cada uno de ellos se describe detalladamente en el capítulo 8.2.2.2, “Procesos de remoción en masa” .

Al igual que las inundaciones terrestres, el factor gatillante principal para la generación remociones en masa corresponde a lluvias intensas y/o prolongadas. En consecuencia, muchas veces ocurren ambos peligros de manera simultánea y, generalmente, la información es insuficiente para diferenciar entre inundaciones y algunos tipos de remociones en masa (específicamente, flujos de barro y/o detritos).

En el capítulo 8.4.3, “Catastro de remociones en masa” , se presenta un catastro detallado de las remociones en masa que han afectado a la comuna de La Cruz desde 1878 hasta la actualidad (Cuadro 14). En la bibliografía consultada, se encuentran sólo 4 eventos que describen remociones en masa que han afectado a la comuna de La Cruz (Figura 8); las descripciones que existen tienen caracterizaciones muy generales que no permiten distinguir con certeza a qué tipo de remoción corresponde. La mayoría de los eventos se describen como desprendimientos de material proveniente de los cerros que interrumpen o inhabilitan los caminos. Cabe destacar que todos los eventos descritos afectaron e interrumpieron vías de tránsito que comunican La Cruz con las comunas aledañas. Para facilitar un entendimiento rápido y general de las zonas más problemáticas y/o riesgosas de la comuna, se elaboró un mapa con la ubicación referencial de los eventos de remociones en masa que han ocurrido en la comuna de La Cruz, cuyas descripciones hacían referencias a poblaciones, sectores o calles de la comuna (Figura 8).

Es muy probable que en La Cruz hayan ocurrido más eventos de este tipo durante su historia, pero el carácter local de las remociones y su magnitud, junto con ser una comuna de menor envergadura, determinan que sea más difícil encontrar información relativa a éstos en medios de comunicación, libros, registros científicos e inventarios realizados por organismos gubernamentales, especialmente si las consecuencias no fueron catastróficas.

4.3 Catastro sismicidad

La costa de Chile históricamente ha sido afectada por grandes terremotos, varios acompañados de maremotos destructivos. En el capítulo 8.2.1.1, “Sismicidad” , se explica la sismicidad que caracteriza al territorio chileno; y en el capítulo 8.4.4, “Catastro de sismicidad” , se compilan los sismos registrados por la red sismológica mundial y se describen en detalle los sismos históricos que han afectado a la comuna de La Cruz y sus alrededores.

En la Figura 9, se grafican los sismos de subducción más importantes que han afectado al territorio de Chile continental en el período histórico. El área de estudio presenta antecedentes históricos que indican que ha sido afectada por grandes terremotos intraplaca de profundidad intermedia, tales como los de 1965 y 1971, y terremotos interplaca tipo Thrust (ver capítulo 8.4.4.1 y el Cuadro 16) por ejemplo, los terremotos 1647, 1730, 1873, 1906 y 1985 (Lara & Rauld, 2003) Los terremotos ocurridos en Chile previamente al año 1960 no fueron registrados mediante sismómetros modernos, por lo que no poseen información instrumental que permita determinar sus

características. Por lo tanto, las áreas de ruptura de los terremotos previos a dicha fecha han sido estimados en otros estudios utilizando los datos históricos de intensidad de daño mediante la metodología propuesta por (Kausel, 1992).

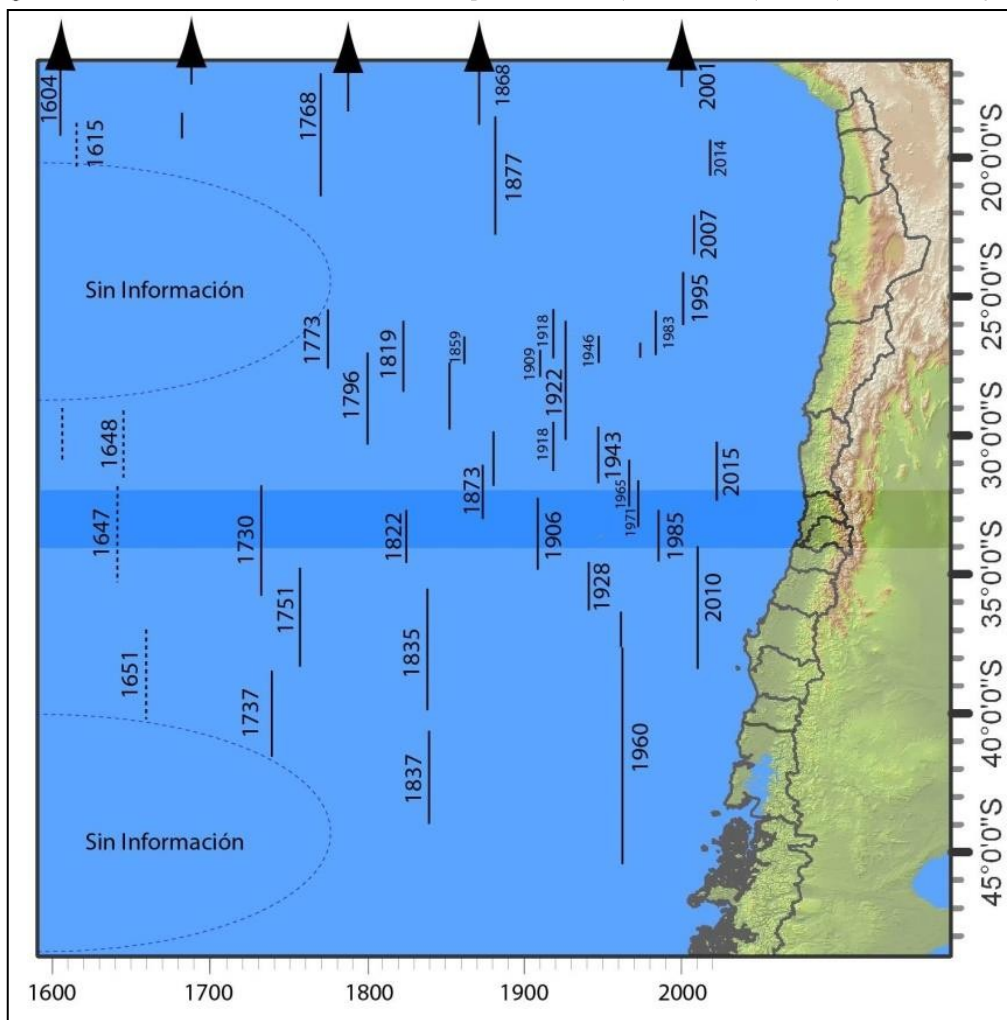
En el Cuadro 5 se presenta una lista de los sismos más significativos (magnitud sobre 7,5) que han afectado a los alrededores de la comuna de La Cruz desde el siglo XVII, donde destacan los terremotos de 1730 y 1906.

Cuadro 5 Datos de terremotos históricos de magnitud superior a 7.5 ocurridos en la zona

LATITUD (°)	LONGITUD (°)	PROFUNDIDAD	MAGNITUD APROX	AÑO	MES	DÍA
-33.05	-71.63	-	8.9	1730	07	07
-33,00	-	-25 km	8.2	1906	08	16
-32,01	-71.17	50 A 60 km-	7.6	1965	03	28
-32.45	-71.57	-60 km	7.7	1971	07	08
-33.24	-72.04	33 km-	7.7	1985	03	03

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración en base a Catálogo NEIC.

Figura 9 Terremotos de subducción históricos con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2 y sus áreas de ruptura



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. En línea continua las zonas de ruptura bien identificadas, en línea discontinua las zonas de ruptura inferidas a partir de los datos históricos.

5 DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

A continuación se resumen las principales características de los factores condicionantes y desencadenantes para cada uno de los peligros geológicos a los cuales se encuentra expuesta el área de estudio, con el objetivo de definir donde se concentran estos peligros y cuáles son las zonas expuestas a cada uno de ellos.

5.1 Inundaciones terrestres

En esta sección se analizan a modo general los peligros asociados a inundaciones terrestres. Los peligros de este tipo que se analizan en la comuna son inundación por desborde de cauces y anegamiento.

5.1.1 Metodología

El diagnóstico de los peligros de inundación se construyeron mediante la integración de varias fuentes de información: la línea base de geología y geomorfología y los antecedentes recopilados en el catastro de peligros.

5.1.2 Diagnóstico

Las peores consecuencias que han dejado las inundaciones en La Cruz han ocurrido en los periodos invernales, y se caracterizan por el desborde del río Aconcagua en diversos sectores. A continuación, se describen los factores condicionantes de cada uno de estos peligros:

5.1.2.1 Inundación por desborde de cauce

Los factores que condicionan su ocurrencia se relacionan con características de la cuenca aportante (área, forma, diferencias de cota, pendiente), tipo de cauce (perenne o intermitente) y capacidad del cauce para infiltrar agua. Mientras que los efectos en la población dependen principalmente de la intensidad de la inundación (que se manifiesta en la altura de inundación y la velocidad de flujo), pero también inciden la densidad de población y medidas preventivas tomadas por la población.

Para el estudio de riesgos del PRI La Campana (Habiterra S.A., 2013), los factores que se consideraron para asignar un grado de susceptibilidad a este peligro fueron los tipos de depósitos geológicos, marcadores geomorfológicos, antecedentes bibliográficos y registros de niveles y caudales en estaciones de la DGA. De esta forma, las zonas que presentan un mayor potencial para inundarse se asocian al río Aconcagua.

Lo anterior es consistente con el catastro de inundaciones (Sección 4.1), que muestra que los sitios más afectados por desborde de cauce se encuentran emplazados sobre antiguas planicies de inundación del río Aconcagua. Son particularmente sensibles los sectores ubicados en la parte externa de las curvas de los cauces. De acuerdo al catastro, los sectores más afectados han sido el sector de Lo Rojas, El Molino, el Callejón González y la Poza Cristalina, pues se han inundado en varias ocasiones.



El factor desencadenante de las inundaciones por desborde de cauces en el área de estudio, son las precipitaciones líquidas intensas y/o prolongadas en el tiempo, y los aumentos de caudal por deshielos cordilleranos en verano.

5.1.2.1.1. Análisis de Riesgo de Inundación en la Ribera del Río Aconcagua, Comuna de La Cruz, Región de Valparaíso

El análisis hidráulico de riesgo por inundación en la ribera colindante al límite urbano de la comuna de La Cruz, Región de Valparaíso, Chile, se realiza en base a la caracterización morfométrica de la cuenca del río Aconcagua, caudales históricos aportados por la Dirección General de Aguas (DGA) y principios de modelación hidráulica simplificada tipo HEC-RAS. El análisis incluye determinación de áreas de inundación para periodos de retorno de hasta 100 años, basado en cálculos de caudales de crecida, pendientes de cauce, perfiles transversales y parámetros hidráulicos típicos.

Caracterización de la Cuenca

Nombre del río: Río Aconcagua
Localización: Tramo urbano de La Cruz, entre coordenadas UTM aproximadas 288000 - 297000 E y 6360000 - 6370000 N (WGS84, 19S).
Área total de la cuenca: 7.334 km² (dato DGA).
Subcuenca relevante: Río Aconcagua Bajo, 2.626 km².
2.1 Parámetros morfométricos locales (tramo La Cruz)

Parámetro	Valor estimado
Longitud tramo analizado	10,5 km
Ancho medio de valle	500 - 900 m
Pendiente media longitudinal	0,0025 m/m (2,5‰)
Altitud media del cauce	220 m.s.n.m
Forma de valle	Abierto, planicie aluvial

5.1.2.2.2 Hidrología del Río Aconcagua

Fuente: DGA - estaciones de aforo La Calera y San Felipe.

Período de Retorno (años)	Caudal punta (m ³ /s) estimado
2 años	200
5 años	400
10 años	600
20 años	800
50 años	1100
100 años	1400

Nota: valores ajustados de curvas de frecuencia de crecidas históricas, corregidos a ubicación La Cruz.

5.1.2.2.3. Análisis Hidráulico

Se realiza un análisis hidráulico de flujo permanente uniforme basado en la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde:



Q: Caudal (m^3/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (adoptado $n = 0,035$ típico para cauce natural con vegetación dispersa)

A: Área hidráulica mojada (m^2)

R: Radio hidráulico (m) ($R = A/P$)

S: Pendiente del cauce (adoptada 0,0025)

5. Modelación de Inundación

5.1 Secciones representativas

Se consideran perfiles transversales promedio en el tramo de La Cruz:

Sección	Ancho fondo (m)	Talud (h:v)	Pendiente longitudinal (m/m)
1 (norte)	100	2:1	0,0025
2 (centro)	120	3:1	0,0025
3 (sur)	90	2,5:1	0,0025

Nota: Perfil trapezoidal típico de valle aluvial.

5.1.2.2.4. Resultados de alturas de flujo (h) para caudales de diseño

Aplicando iteración sobre ecuación de Manning:

Período de Retorno	Caudal (m^3/s)	Altura estimada de lámina de agua (m)
2 años	200	1,8 - 2,0 m
5 años	400	2,5 - 2,8 m
10 años	600	3,0 - 3,5 m
20 años	800	3,7 - 4,2 m
50 años	1100	4,5 - 5,2 m
100 años	1400	5,5 - 6,2 m

5.1.2.2.5 Definición de Áreas de Inundación

Según la altitud de terreno y curvas de nivel del plano aportado:

Hasta 2 m de altura: zona confinada en el lecho actual, sin desbordes importantes.

2 - 4 m de altura: ocupación lateral hacia terrazas fluviales bajas, afectando zonas agrícolas adyacentes y borde urbano noroeste de La Cruz.

4 - 6 m de altura: desbordamiento generalizado, afectando parte de la infraestructura urbana cercana a la ribera norte (sector Lo Rojas, Callejón González, Poza Cristalina).

Área aproximada de inundación para evento de 100 años: $2,5 \text{ km}^2$ en el tramo urbano de La Cruz (estimado).

5.1.2.7. Evaluación del Riesgo

Elemento expuesto	Tipo de riesgo	Grado de afectación (evento 100 años)
Viviendas borde norte	Inundación profunda ($> 1 \text{ m}$)	Alto
Infraestructura vial (Puente Lo Rojas)	Inundación, socavación	Alto
Áreas agrícolas	Anegamiento superficial (0,5-1 m)	Moderado
Equipamiento urbano disperso	Anegamiento superficial	Bajo - Moderado



Cortes Transversales – Tramo Urbano de La Cruz
 Corte 1: Sector Norte – Altura Puente Lo Rojas
 Coordenadas aproximadas: 291800 E – 6374000 N

Perfil topográfico:

Ancho fondo del cauce principal: 90 m

Taludes laterales: 2:1 (h:v)

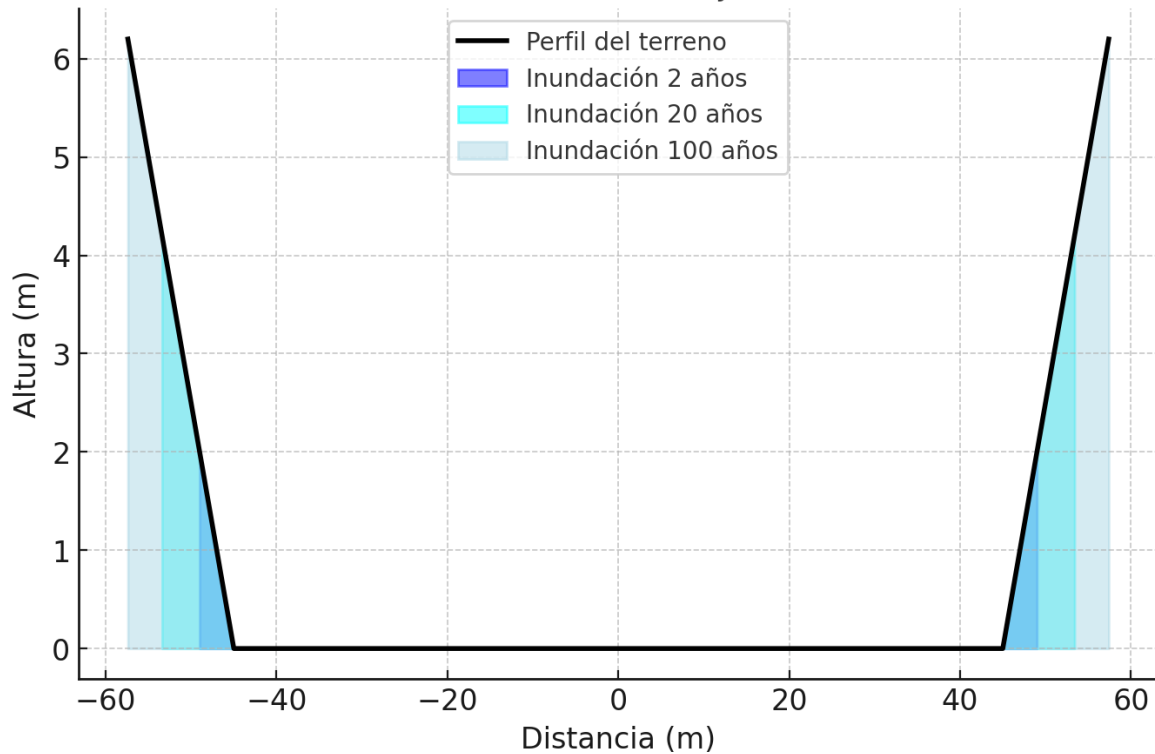
Altura de terrazas: 3 - 5 m sobre fondo de cauce

Caudales y resultados:

Período de Retorno	Caudal (m ³ /s)	Altura lámina agua (m)	Área mojada (m ²)	Ancho inundado (m)
2 años	200	1,8	198	120
20 años	800	4,2	500	180
100 años	1400	6,2	750	280

Ítem	Detalle
Coordenadas aproximadas	291800 E – 6374000 N (WGS84 19S)
Ancho fondo de cauce	90 m
Taludes laterales	2:1 (h:v)
Pendiente longitudinal	0,0025 m/m
Altura terrazas laterales	3 - 5 m
Altura de lámina (2 años)	1,8 - 2,0 m
Ancho de ocupación (2 años)	120 m
Altura de lámina (20 años)	4,2 m
Ancho de ocupación (20 años)	180 m
Altura de lámina (100 años)	6,2 m
Ancho de ocupación (100 años)	280 m

Corte 1 - Puente Lo Rojas (Norte)



Ítem	Detalle
Coordenadas aproximadas	291800 E – 6374000 N (WGS84 19S)
Ancho fondo de cauce	90 m
Taludes laterales	2:1 (h:v)
Pendiente longitudinal	0,0025 m/m
Altura terrazas laterales	3 - 5 m
Altura de lámina (2 años)	1,8 - 2,0 m
Ancho de ocupación (2 años)	120 m
Altura de lámina (20 años)	4,2 m
Ancho de ocupación (20 años)	180 m
Altura de lámina (100 años)	6,2 m
Ancho de ocupación (100 años)	280 m

El perfil transversal en el sector norte evidencia un cauce principal de aproximadamente 90 metros de ancho de fondo con taludes laterales de inclinación 2:1 (horizontal:vertical). Las curvas de inundación muestran que para un caudal de 2 años ($200 \text{ m}^3/\text{s}$), la lámina de agua se mantiene mayormente contenida dentro del lecho principal, alcanzando alturas de 1,8 a 2,0 metros. A partir de crecidas de 20 años ($800 \text{ m}^3/\text{s}$), se observa una expansión significativa lateral, con anegamiento de las terrazas fluviales más bajas. En eventos extremos de 100 años ($1400 \text{ m}^3/\text{s}$), la inundación supera ampliamente las terrazas



inmediatas, alcanzando anchos de ocupación superiores a 280 metros, con riesgos de afectación a las áreas agrícolas y partes del borde urbano norte de La Cruz.

Corte 2: Sector Centro - Frente a Borde Urbano Principal

Coordenadas aproximadas: 293000 E – 6371000 N

Perfil topográfico:

Ancho fondo del cauce principal: 120 m

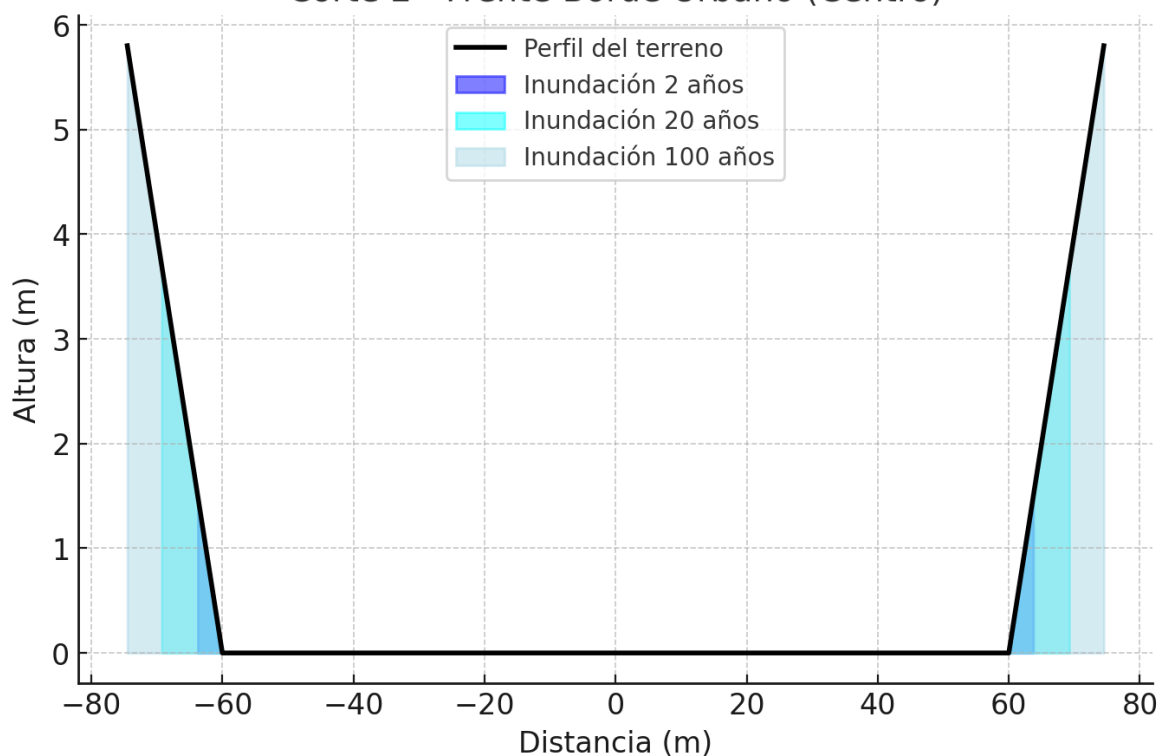
Taludes laterales: 2,5:1 (h:v)

Altura de terrazas: 2 - 3 m sobre fondo de cauce

Caudales y resultados:

Período de Retorno	Caudal (m ³ /s)	Altura lámina agua (m)	Área mojada (m ²)	Ancho inundado (m)
2 años	200	1,5	220	140
20 años	800	3,7	580	210
100 años	1400	5,8	820	300

Corte 2 - Frente Borde Urbano (Centro)



Ítem	Detalle
Coordenadas aproximadas	293000 E – 6371000 N (WGS84 19S)
Ancho fondo de cauce	120 m
Taludes laterales	2,5:1 (h:v)
Pendiente longitudinal	0,0025 m/m
Altura terrazas laterales	2 - 3 m

Ítem	Detalle
Altura de lámina (2 años)	1,5 m
Ancho de ocupación (2 años)	140 m
Altura de lámina (20 años)	3,7 m
Ancho de ocupación (20 años)	210 m
Altura de lámina (100 años)	5,8 m
Ancho de ocupación (100 años)	300 m

Corte 3: Sector Sur - Cercano a Desembocadura de Quebradas

Coordenadas aproximadas: 295000 E – 6369000 N

Perfil topográfico:

Ancho fondo del cauce principal: 100 m

Taludes laterales: 3:1 (h:v)

Altura de terrazas: 4 - 6 m sobre fondo de cauce

Caudales y resultados:

Período de Retorno	Caudal (m ³ /s)	Altura lámina agua (m)	Área mojada (m ²)	Ancho inundado (m)
2 años	200	1,6	190	110
20 años	800	4,0	540	190
100 años	1400	5,9	790	270

Ítem	Detalle
Coordenadas aproximadas	293000 E – 6371000 N (WGS84 19S)
Ancho fondo de cauce	120 m
Taludes laterales	2,5:1 (h:v)
Pendiente longitudinal	0,0025 m/m
Altura terrazas laterales	2 - 3 m
Altura de lámina (2 años)	1,5 m
Ancho de ocupación (2 años)	140 m
Altura de lámina (20 años)	3,7 m
Ancho de ocupación (20 años)	210 m
Altura de lámina (100 años)	5,8 m
Ancho de ocupación (100 años)	300 m

En el sector centro, frente al límite urbano consolidado, el corte transversal presenta un cauce más amplio, de aproximadamente 120 metros de ancho de fondo y taludes más suaves (2,5:1).

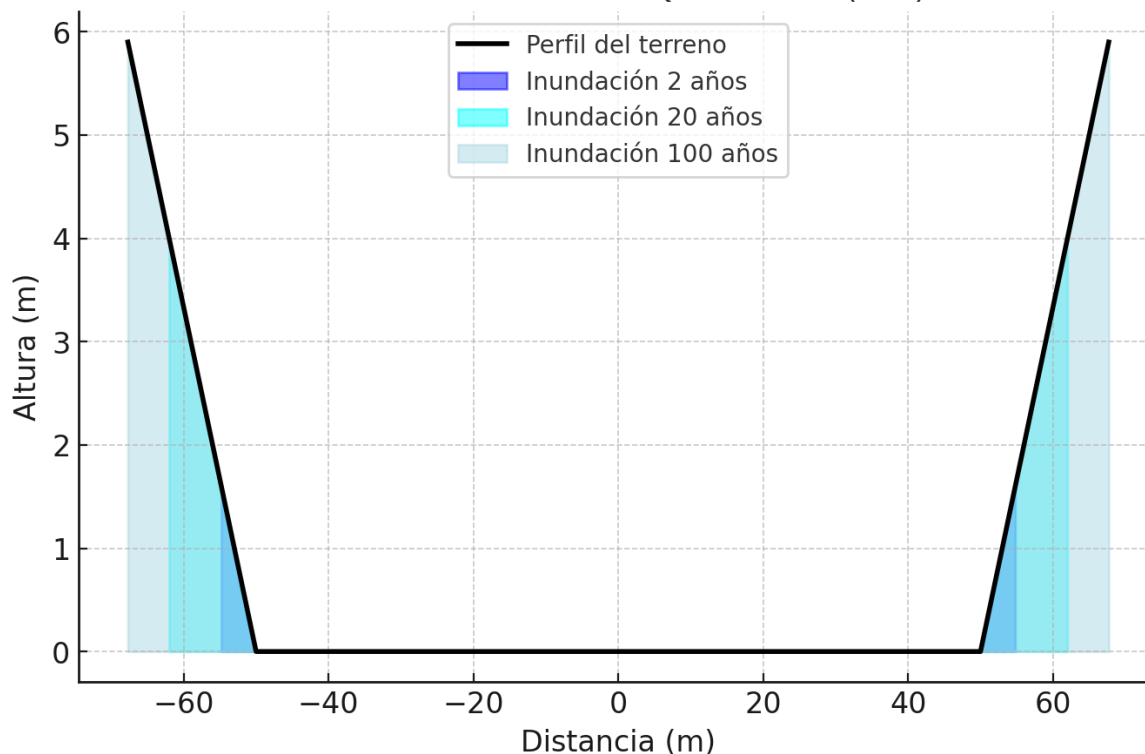
Para eventos de 2 años, la inundación permanece contenida dentro del cauce, con alturas de agua cercanas a 1,5 metros.

Eventos de 20 años provocan desbordes parciales hacia terrazas laterales, afectando áreas agrícolas adyacentes.

En el caso de una crecida de 100 años, el flujo alcanza alturas de aproximadamente 5,8 metros, y se

estima un ancho de ocupación de hasta 100 metros.

Corte 3 - Cercano a Quebradas (Sur)



Ítem	Detalle
Coordenadas aproximadas	295000 E – 6369000 N (WGS84 19S)
Ancho fondo de cauce	100 m
Taludes laterales	3:1 (h:v)
Pendiente longitudinal	0,0025 m/m
Altura terrazas laterales	4 - 6 m
Altura de lámina (2 años)	1,6 m
Ancho de ocupación (2 años)	110 m
Altura de lámina (20 años)	4,0 m
Ancho de ocupación (20 años)	190 m
Altura de lámina (100 años)	5,9 m
Ancho de ocupación (100 años)	270 m

El perfil en el sector sur muestra un cauce de fondo de 100 metros, con taludes más tendidos de 3:1 y terrazas más elevadas respecto al cauce (4-6 m de diferencia).

Para caudales de 2 años, el agua se mantiene confinada en el cauce, con altura de lámina cercana a 1,6 metros.

Eventos de 20 años generan ocupaciones de terreno más pronunciadas, pero aún mayormente dentro de los márgenes agrícolas.

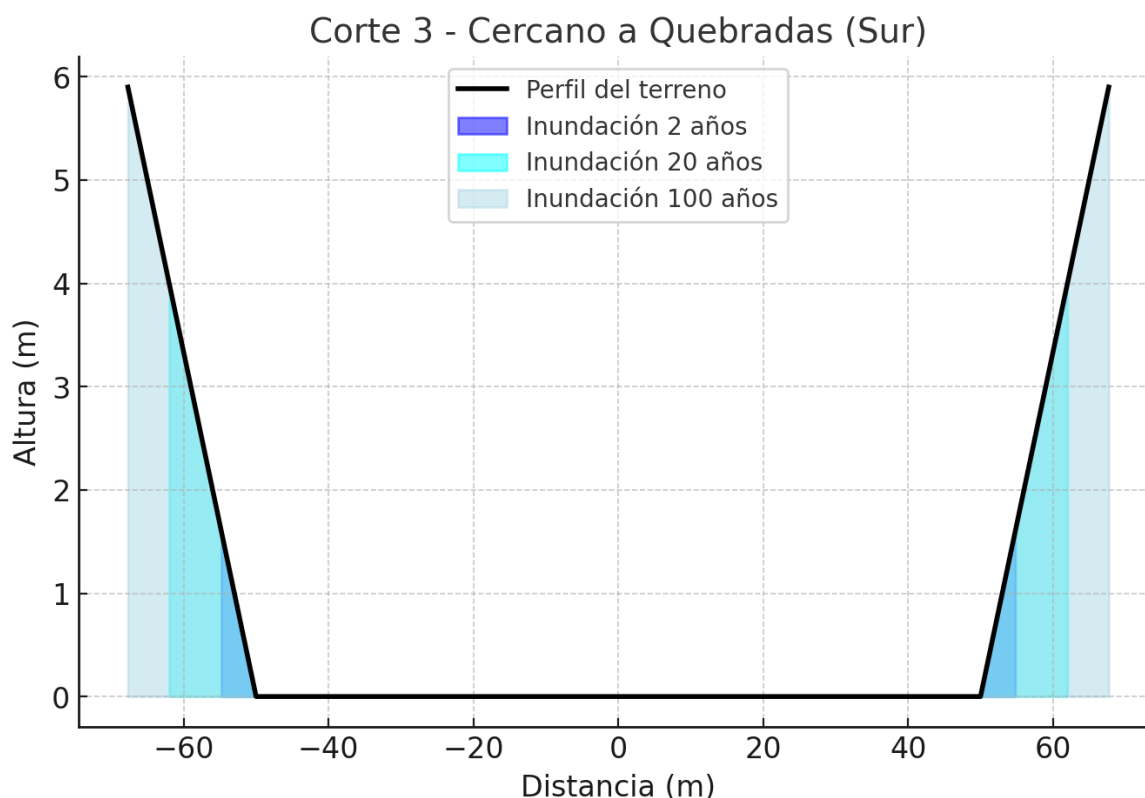
Las crecidas de 100 años expanden la lámina de agua hasta alcanzar anchos de aproximadamente 270 metros, aunque sin afectar directamente las zonas urbanizadas inmediatas. Existe, sin embargo, riesgo de sobrecarga o desborde en las quebradas tributarias.

Observaciones Generales:

El riesgo de inundación severa se concentra en sectores de baja cota adyacentes al lecho principal, especialmente en el límite norte y noreste del área urbana.

Las áreas más vulnerables a desbordes corresponden a zonas donde las curvas de nivel son más amplias y planas, y donde las defensas fluviales naturales son escasas o inexistentes.

El análisis sugiere la necesidad de considerar franjas de resguardo hidráulico de al menos 150 a 200 metros desde el cauce activo para períodos de retorno de 100 años.



5.1.2.2 Inundación por anegamiento

En general, las inundaciones por anegamiento se asocian a condiciones que, localmente, favorecen la acumulación de agua sobre la superficie, debido a que se impide su escurrimiento (zonas deprimidas o barreras físicas) y/o su infiltración (drenaje deficiente o niveles freáticos someros) o a que se favorece su afloramiento en superficie (niveles freáticos someros). Ocurren como consecuencia de lluvias intensas y/o prolongadas. Si bien en el catastro existen menciones a anegamiento ocurrido en la comuna de La Cruz, estas no corresponden a lo que en este estudio se ha denominado anegamiento. Por otra parte, no se reconocieron zonas que por sus características morfológicas presenten condiciones favorables para la ocurrencia de anegamiento, aunque no se puede descartar que existan.



El estudio de riesgos del PRI La Campana (Habiterra S.A., 2013) no identifica este peligro, principalmente debido a la escala del estudio, porque este peligro, por lo general, se asocia a zona de alcance muy acotado.

5.2 Remociones en masa

Aunque en la línea de base que se encuentra en la sección 3.3, se identifican depósitos aluviales activos, en el catastro no se encontraron registros de la ocurrencia de algún flujo de barro y/o detrito que haya ocurrido. Debe tenerse en consideración que, en el caso particular de los flujos, en muchas descripciones estos se confunden con las inundaciones, por lo que no se puede descartar que hayan ocurrido. En consideración a lo expuesto, junto con la poca información que se encontró sobre la ocurrencia de este tipo de peligro, se hará un diagnóstico general de remociones en masa, sin alguna clasificación en particular.

5.2.1 Metodología

Este diagnóstico se construyó basándose en la identificación de los depósitos asociados a las remociones en masa, junto con aquellos factores que condicionan la ocurrencia de este tipo de peligro, como es la pendiente de la ladera. Estos factores se integraron con el catastro de remociones en masa (Sección 4.2 y capítulo 8.4.3) para identificar los sectores que son susceptibles a este tipo de fenómeno.

5.2.2 Diagnóstico

Se diferencian dos grupos de remociones en masa principales: los flujos y los procesos de ladera (caída de bloques y deslizamientos).

En la comuna de La Cruz existen varias quebradas con una cuenca aportante relativamente pequeña, de manera que los flujos debieran relacionarse con eventos de precipitaciones muy



intensos, que canalizan el agua por las quebradas y arrastran material en su camino. El catastro no cuenta con registros de flujos, sin embargo, tal como se señala en el estudio de riesgos del PRI La Campana (Habiterra S.A., 2013), en varios sectores de la comuna se identificaron abanicos aluviales y conos de deyección, que son formas que se pueden asociar con este tipo de procesos. Esto significa que este peligro se encuentra presente en la comuna, y que se puede asociar a los cauces que se encuentran en las quebradas ubicadas en las laderas de cerros, en especial aquellos que cuentan con un abanico aluvial o un cono de deyección. En el estudio de riesgos del PRI La Campana (Habiterra S.A., 2013) se identificaron tres quebradas, sin nombre en la cartografía oficial, que se encuentran expuestas a este peligro.

Los procesos de ladera son controlados por condiciones propias de la roca (como fracturas, discontinuidades, alteración o meteorización y litología) y por la pendiente de las laderas. Además, existen otros rasgos que pueden favorecer su ocurrencia, como cortes de camino. La zonificación de este peligro en el estudio de riesgos del PRI La Campana (Habiterra S.A., 2013) se basó principalmente en la pendiente. El factor desencadenante más común corresponde a lluvias líquidas intensas o sismos, que afectan localmente a las laderas, desestabilizan el material detrítico o generan inestabilidad para que los bloques caigan ladera abajo. En el catastro de procesos de ladera se identificaron algunos eventos en los cerros ubicados al oeste (Formación Ajial) y al este (Formación Cerro Calera) de La Cruz. Muy probablemente estos procesos responden a inestabilidades generadas por cortes de camino.

Aunque no se hayan identificado en el catastro una cantidad importante de eventos de remociones en masa (Figura 8), no significa que la zona no este expuesta a sufrir algún peligro de este tipo.

5.3 Sismicidad

5.3.1 Metodología

Se analizó el catastro de sismos históricos más significativos ocurridos desde el siglo XVII presentado en la Sección 4.3, junto a la evaluación de las posibles fallas activas cerca del área de estudio (Sección 3.3.2). Por medio de dicho análisis se logra comprender que mecanismos de generación de sismos se han registrado en la región, y si hay evidencias que justifiquen la realización de estudios de peligro sísmico específicos para las fallas ubicadas en la comuna o lo suficientemente cerca de ella como para constituir un peligro.

5.3.2 Diagnóstico

Como se explica en el capítulo 8.2.1.1, Chile se ubica en una zona de convergencia de placas desde su extremo norte hasta la Península de Taitao, lo que condiciona la sismicidad a lo largo de toda esta zona. En consecuencia, como se describe en el capítulo 0, ANEXO B, se identifican 2 tipos de sismos que, eventualmente, podrían afectar a la comuna de La Cruz:

- Sismos de interplaca, como el ocurrido en Algarrobo el 3 de marzo de 1985.
- Sismo intraplaca, como el ocurrido en La Ligua el 28 de marzo de 1965.

En cuanto a las fallas activas, la Figura 7 muestra que no se han reconocido fallas con actividad cuaternaria que puedan ser una amenaza para la comuna. Por otro lado, no se encontraron estudios que demuestren que la Zona de Falla Pocuro presente actividad sísmica actual, y además este sistema de fallas se encuentra a más de 50 kilómetro de la comuna. En base a los antecedentes anteriores, se ha considerado que el área de estudio tiene una susceptibilidad baja (o nula) a terremotos corticales, y no es necesario su análisis.

5.4 Volcanismo

El volcán activo más cercano al área de estudio se sitúa a 150 kilómetros aproximadamente (volcán Tupungatito), y sin conexión hidrográfica con las cuencas del área de estudio. Por lo anterior, se considera que la comuna no sería afectada por coladas de lava, flujos piroclásticos o lahares; y en el caso de caída de tefra sólo serían afectadas si fuese resultado de una erupción volcánica de grandes proporciones ocurridas en algún centro volcánico lejano.

6 SUCEPTIBILIDAD Y DEFINICIÓN DEL RIESGO

Inundación por desborde de cauces:

- Susceptibilidad muy alta: Zonas ubicadas en el cauce o junto a él en donde se reconocen evidencias de escurrimiento actual o donde la red de drenaje podría encauzar algunos desbordes menores.
- Susceptibilidad alta: Zonas descritas como depósitos aluviales recientes en donde no se reconocen evidencias de escurrimiento actual y fuera de las zonas por donde se podrían encauzar desbordes menores. Las obras de contención, cuando existen, limitan esta zona.
- Susceptibilidad moderada: Terrazas contiguas a las zonas descritas como depósitos aluviales recientes, a poca altura por sobre el nivel base del río.

Inundación por anegamiento:

- Susceptibilidad moderada: Zonas donde ha ocurrido anegamiento.

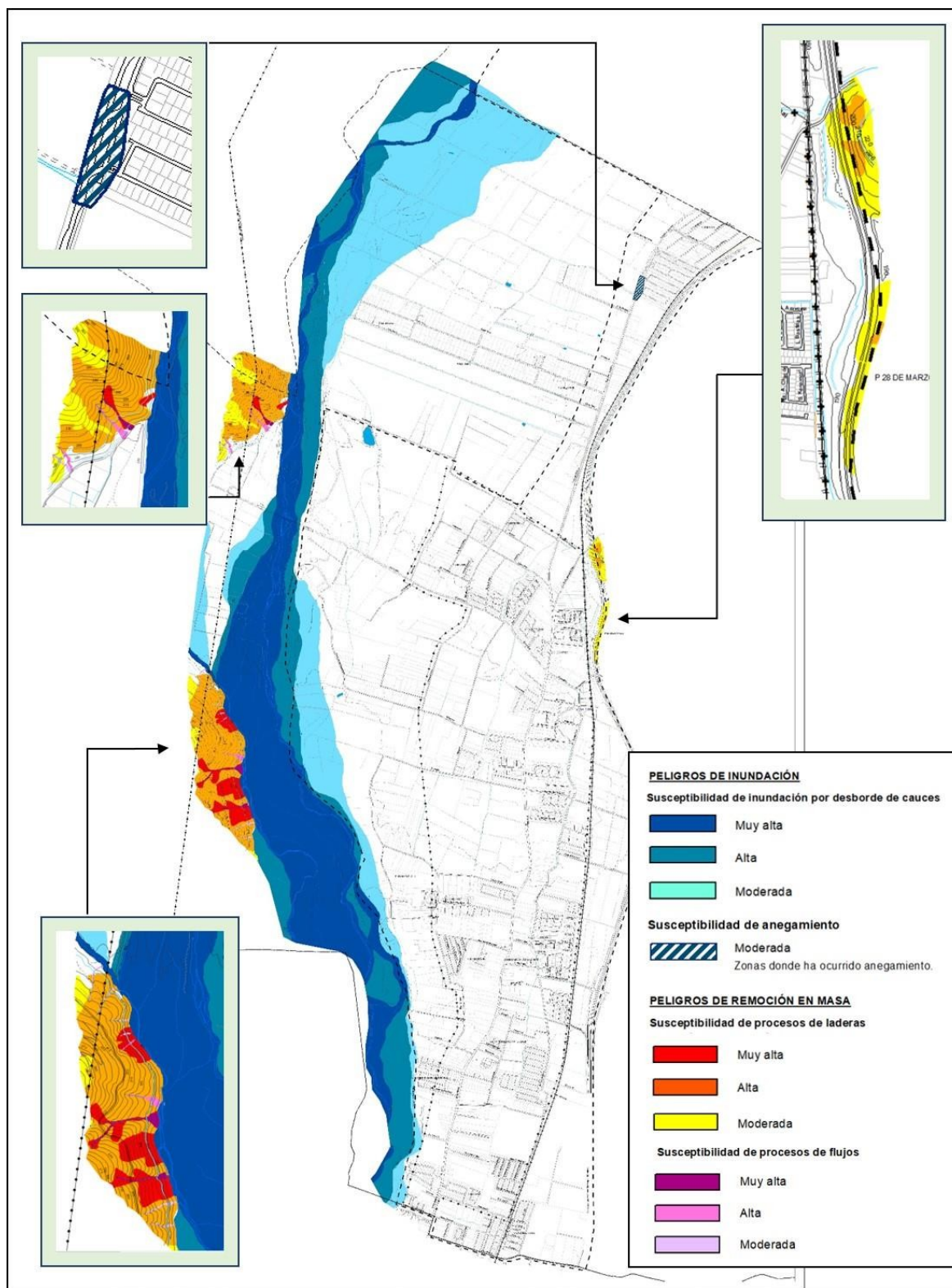
Procesos de ladera:

- Susceptibilidad muy alta: Zonas de pendiente mayor que 35° y zonas ubicadas ladera abajo de las anteriores, hasta donde se alcanza una pendiente de 15°.
- Susceptibilidad alta: Zonas ubicadas fuera de las de susceptibilidad muy alta, con pendientes entre 25° y 35°, además de las zonas ubicadas bajo ellas, hasta alcanzar una pendiente de 15°.
- Susceptibilidad moderada: Zonas ubicadas fuera de las de susceptibilidad muy alta o alta, con pendientes entre 15° y 25°.

Flujos de barro y/o detritos:

- Susceptibilidad muy alta: Cauces ubicados en las laderas de los cerros, en zonas con susceptibilidad de procesos de ladera muy alta y con cuencas aportantes de a lo menos 0,1 km².
- Susceptibilidad alta: Cauces ubicados en las laderas de los cerros, en zonas con susceptibilidad de procesos de ladera muy alta y con cuencas aportantes menores que 0,1 km², o cauces ubicados en las laderas de los cerros, fuera de zonas con susceptibilidad de procesos de ladera muy alta y con cuencas aportantes de a lo menos 0,1 km².
- Susceptibilidad moderada: Cauces ubicados en las laderas de los cerros, fuera de zonas con susceptibilidad de procesos de ladera muy alta y con cuencas aportantes menores que 0,1 km².

Área de riesgo (para todos los peligros): Zonas con susceptibilidad muy alta o alta.



7 REFERENCIAS

- Antinao, J., Fernández, J., Naranjo, J., & Villarroel, P. (2002). Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones en la Cuenca de Santiago. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental, No. 2, 1 mapa escala 1:100.000.
- ARCADIS. (2006). Declaración de Impacto Ambiental. Modificación Plan Intercomunal de Valparaíso. Satélite Quillota.
- Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R., y otros. (2012). The West Andean Thrust, the San Ramón Fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile. *Tectonics*, 29, TC2007.
- Barrientos, S. (1980). Regionalización sísmica de Chile MSc thesis. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Barrientos, S. (1997). Central Chile: An example of quasi-static crustal behaviour. *The Island Arc*, 6, 281-287.
- Carter, W., & Aguirre, L. (1965). Structural geology of Aconcagua Province and its relationship o the Central Valley graben. *Geological society of America Bulletin*. Vol. 84, 651 - 664.
- Centeno, J., Fraile, M., Otero, M., & Pividal, A. (1994). *Geomorfología Práctica. Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental*. Madrid: Ed. Rueda.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En T. Moreno, & W. Gibbons (Edits.), *The Geology of Chile* (págs. 21-114). Londres: Geological Society of London.
- Costa, J. (1984). Physical geomorphology of debris flows. In *Developments and Applications of Geomorphology*. En J. E. Costa, & P. J. Fleisher (Edits.), *Developments and Applications of Geomorphology* (págs. 268-317). Berlin: Springer-Verlag.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes*. Washington D.C.: Special Report 247: Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board.
- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D., & Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters*, 21(20), 2191-2194.
- DGA. (2004). Evaluación de los recursos superficiales de la cuenca del río Aconcagua. Informe Técnico S.D.T 165.
- Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L., & Lloremte-Isidro, M. (2008). Mapas de Peligrosidad por avenidas e inundaciones: Guía metodológica para su elaboración. Madrid: nstituto Geológico y Minero de España. Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia No. 1, 190 pág.
- Gawlick, S., & Hubert, M. (1997). Paleogeografía del borde de una Cuenca tras arco Jurásica (V Región, Chile) y su importancia para el desarrollo de sedimentos calcáreos.

- Gonzalez de Vallejo, L., Ferre, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica (Segunda ed.). Madrid: Pearson Educación.
- González Ferrán, O. (1995). "Volcanes de Chile". Instituto Geográfico Militar (pág. 134-136).
- Habiterra S.A. (2013). Estudio de Riesgos PRI La Campana. Santiago, Chile: Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región de Valparaíso.
- Hasanzadeh Nafari, R., Ngo, T., & Mendis, P. (2016). An assessment of the effectiveness of tree- based models for multi-variate flood damage assessment in Australia. *Water*, v. 8(n. 282), p. 1-18.
- Hauser, A. (1985). Flujos aluvionales de 1870 y 1896 ocurridos en la ladera norte del volcán Yates, X Región: su implicancia en la evaluación de riesgos naturales. *Revista Geológica de Chile*, 25-26, 125-133.
- Hauser, A. (1997). Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 49, 47 pág.
- Hauser, A. (2000). Remociones en masa en Chile (2da ed.). Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.
- Isaacks, B. (1988). Uplift of the Central Andes plateau and bending of the Bolivian Orocline. *Journal of Geophysical Research*, 93, 3211-3231.
- JTC-1. (2008). Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 85-98.
- Karmaker, T., & Dutta, S. (2012). Modeling seepage erosion and bank retreat in a composite river bank.
- Kausel, E. &. (1992). Relaciones entre parámetros focales y macrosísmicos de grandes terremotos chilenos. *Revista Geofísica*, Volumen 37, pp. 36 - 194., 37, 36-194.
- Keeper, D. (1984). Landslides cuased by earthquakes. *Geological Society of América Bulletin*, 95(4), 406-421.
- Keller, E., & Blodgett, R. (2004). Riesgos Naturales. Madrid: Pearson Education S.A., 448 pág.
- Kreibich, H., Piroth, K., Seifert, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwartz, J., y otros. (2009). Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*(n. 9), p. 1679-1692.
- Lara, L., & Rauld, R. (2003). Diagnóstico de la geología ambiental de las grandes ciudades de Chile. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 182 pág.
- Martin, G., & Lew, M. (1999). Recommended Procedures for Implementation of DMG Special Publication 117: Guidelines for Analyzing and Mitigating Liquefaction Hazards in California. Los Angeles: Southern California Earthquake Center, University of Southern California, 63 pág.

- Merz, B., Kreibich, H., & Lall, U. (2013). Multi-variate flood damage assessment: a tree-based data mining approach. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 13, p. 53-64.
- Mpodozis, C., & Ramos, V. A. (1989). The Andes of Chile and Argentina In: Ericksen, G. E.; Cañas, M. T.; Reinemund, J. A. (eds) *Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Energy Resources*. Circum-Pacific Council for Energy and Hydrothermal Resources, American Association of Petroleum Geologists (11 ed.). Houston, Texas: Earth Science Series.
- Myers, B., & Brantley, S. (1995). Hazardous phenomena at volcanoes. Vancouver, Washington.: USGS Open File Report, pág. 95-231.
- Naranjo, J., & Varela, J. (1996). Debris and mud flows that affected the eastern area of Santiago on May 3, 1993. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 47, 42 pág.
- NEIC. (2017). National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey. Disponible en: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
- ONU/EIRD. (2004). *Vivir con el Riesgo, Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres, Versión en español 2004*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.
- Pain, C. (1986). *Scarp Retreat and Slope Development Near Picton, New South Wales, Australia*. Braunschweig.
- Paskoff, R. (1970). *Le Chili semi-aride, recherches géomorphologiques*. Bordeaux: Biscaye Frères, 420 pp.
- Pierson, T., & Scott, K. (1985). Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research*, 21(10), 1511-1524.
- PMA-GCA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p.
- PMA-GCA. (2008). *Atlas de Deformaciones Cuaternarias de Los Andes*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Ramos, V. A., Cristallini, E., & Pérez, D. J. (2002). The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 59-78.
- Ramos, V. A., Jordan, T. E., Allmendinger, C., Mpodozis, C., Kay, S. M., Cortés, J. M., y otros. (1986). Paleozoic Terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, 855-880.
- Rivano, S., Sepúlveda, P., Boric, R., & Espineira, D. (1993). *Hojas Quillota y Portillo. Escala 1:250.000*. Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).
- Samadi, A., Davoudi, M., & Amiri-Tokaldany, E. (2011). Experimental Study of Cantilever Failure in the Upper Part of Cohesive Riverbanks.
- Sancho, C. (1997). Los mapas de riesgos. En J. Peña (Ed.), *Cartografía geomorfológica básica y aplicada* (págs. 181-200). Zaragoza: Geomorfa.

- Scholz, C. (1990). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge: Cambridge University Press, 439 pág.
- Sepúlveda, S., Murphy, W., Jibson, R., & Petley, D. (2005). Seismically-induced Rock Slope Failures Resulting from Topographic Amplification of Strong Ground Motions: The Case of Pacoima Canyon, California. *Engineering Geology*, 80, 336-348.
- Sepúlveda, S., Serey, A., Lara, M., Pavez, A., & Rebolledo, S. (2010). Landslides induced by the April 2007 Aysén Fjord earthquake, Chilean Patagonia. *Landslides*, doi: 10.1007/s1034VI-010-0203-2.
- SERNAGEOMIN. (2003). *Mapa Geológico de Chile: Versión Digital*. Publicación Geológica Digital, N°4. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Somoza, R. (1998). Updated Nazca (Farallon)- South America relative motions during the last 40 My: implication for mountain building in the central Andean region. *Journal of South American Earth Sciences*(11), 211-215.
- Sruoga, P. (2002). El volcanismo reciente y riesgo asociado en la Provincia de Mendoza. Mendoza: IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales, pág. 255-259.
- SUBDERE. (2011). *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*. Santiago: Subsecretaría de Desarrollo Regional.
- Troncoso, M., Pinto, L., & Vargas, G. (2012). Geomorfología de un posible escarpe cuaternario en la Zona de Falla Pocuro al sureste de la ciudad de Los Andes, Región de Valparaíso. *Congreso Geológico Chileno* (No. 13, pp. 308-310).
- USGS. (2008). *The landslide handbook—A guide to understanding landslides*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Varnes, D. (1978). *Slope movement types and processes*. Washington, D.C.: Special report 17VI: Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board.
- Varnes, D. (1984). *Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice*. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO. *Natural Hazards*, 3, 1-61.
- Western Washington University. (2011). *RELIEF GLOBE SLIDES*. Recuperado el 28 de 11 de 2011, de <http://www.smate.wvu.edu/teched/geology/GeoHaz/global/globe-17.jpg>

8 ANEXOS

8.1 Anexo A: Definiciones de peligro y riesgo usadas en este informe

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 catastro, 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, Ferre, Ortuño, & Oteo, 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 (2002); JTC (2008)).

Por otro lado, el concepto de **riesgo** (risk) incorpora consideraciones socio-económicas, y se define como las potenciales pérdidas debidas a un fenómeno natural determinado, por ejemplo vidas

* 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

humanas, pérdidas económicas directas o indirectas, daños en infraestructura, etc (Gonzalez de Vallejo, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002).

Según Varnes (1984), se denomina riesgo específico al grado de pérdidas esperado durante un período de tiempo dado, como consecuencia de la ocurrencia de un determinado proceso, expresado en términos de probabilidad. Puede ser expresado como el producto $A \times V$, donde A corresponde a la amenaza y V a la vulnerabilidad. En este caso no es posible obtener una evaluación cuantitativa de las pérdidas (Gonzalez de Vallejo, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002).

De acuerdo a las definiciones de la UNESCO (Varnes, 1984) el riesgo total corresponde al número esperado de vidas, personas heridas, daños a la propiedad, o a las actividades económicas debido a un fenómeno natural específico y se expresa como el producto del riesgo específico y los elementos expuestos, esto es:

$$R_t = R_e \times E = A \times V \times E$$

Donde R_t corresponde al riesgo total, R_e al riesgo específico y E a los elementos expuestos considerados. La Figura 10 muestra la relación entre el conocimiento y la estimación de la susceptibilidad, amenaza y riesgo.

La definición de riesgo, o áreas de riesgo, utilizadas internacionalmente difieren a la nomenclatura propuesta por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en su artículo 2.1.17. En la OGUC, el concepto utilizado de riesgo corresponde a la definición de "Peligro Natural" definida internacionalmente.

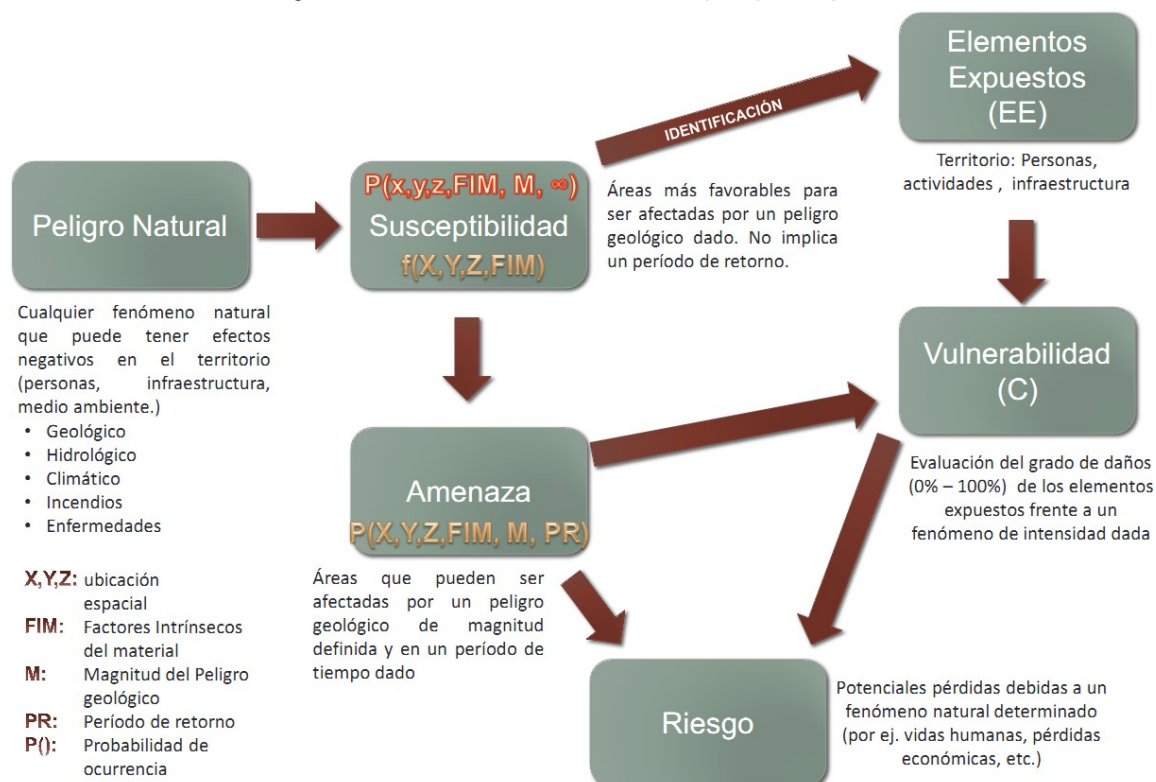
En resumen, los peligros geológicos pueden analizarse desde el punto de vista de las condiciones intrínsecas del material (estudios de susceptibilidad o determinísticos) y desde el punto de vista de los factores desencadenantes de un fenómeno (estudios de amenaza o probabilísticos). Considerando que para un estudio probabilístico es necesario contar con set de datos históricos de los procesos desencadenantes, los que normalmente no se encuentran registrados de manera adecuada, y que para períodos de retornos infinitos los mapas de amenaza tienden a ser similares a los mapas de susceptibilidad, se considera que los mapas de susceptibilidad corresponden al escenario más conservador y adecuado para ser aplicado en la Planificación Territorial.

Finalmente, la reducción y mitigación de los riesgos vinculados a los diversos peligros geológicos presenta igual o mayor importancia que el manejo de las emergencias y la respuesta posterior al evento catastrófico. El desarrollo sustentable de la urbanización está directamente asociado a la reducción y mitigación de estos riesgos. La generación de conciencia a partir del conocimiento de los peligros y riesgos geológicos es fundamental para reducir y mitigar las consecuencias de estos eventos sobre la población (ONU/EIRD, 2004).

Es importante destacar que las definiciones previamente presentadas corresponden a una terminología aceptada y utilizada a nivel internacional, tanto en el ámbito científico (ver por ejemplo JTC-1, (2008)) como en instituciones públicas de diversos países. Estas definiciones son usadas por la Estrategia Internacional para la reducción de Desastres de la ONU (ONU/EIRD, 2004), por UNESCO (ver por ejemplo Varnes (1984)) y por los servicios geológicos de diversos países (ver por ejemplo USGS (2008) y PMA-GCA (2007)). A nivel nacional, estas definiciones han sido adoptadas por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo en la "Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial (SUBDERE, 2011) y por el Servicio Nacional de Geología y Minería (ver por ejemplo PMA-GCA (2007)).

Se recomienda incorporar esta terminología en el ejercicio de los instrumentos de planificación territorial, lo que permitirá que exista concordancia en la terminología y las metodologías adoptadas, tanto a nivel nacional, entre los diferentes servicios públicos relacionados, como a nivel internacional.

Figura 10 Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración a basado en (Varnes, Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO, 1984).

8.2 Anexo B: Descripción de peligros geológicos analizados

En este capítulo se detallan los peligros geológicos que potencialmente podrían afectar o han afectado al área de estudio, constituyendo un riesgo de catástrofe permanente o potencial, amenazando el emplazamiento de población.

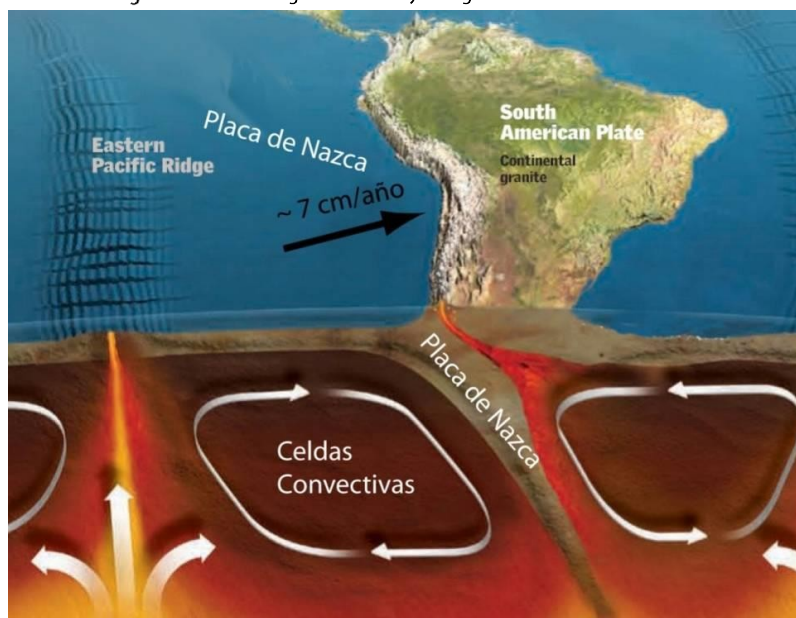
Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los procesos externos o exógenos (remociones en masa, inundaciones).

8.2.1 Procesos internos o endógenos de la Tierra

8.2.1.1 Sismicidad

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde occidental de la placa Sudamericana y se caracteriza por una intensa sismicidad debido a su convergencia con la placa de Nazca (Figura 11). En planta se aprecia una banda sísmica activa muy angosta (100-150 km) y de profundidad variable (~5-200 km) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. La 12 muestra la sismicidad mundial que resalta los márgenes de las placas tectónicas y muestra además, cómo Chilese encuentra en un ambiente de gran producción sísmica.

Figura 11 Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile

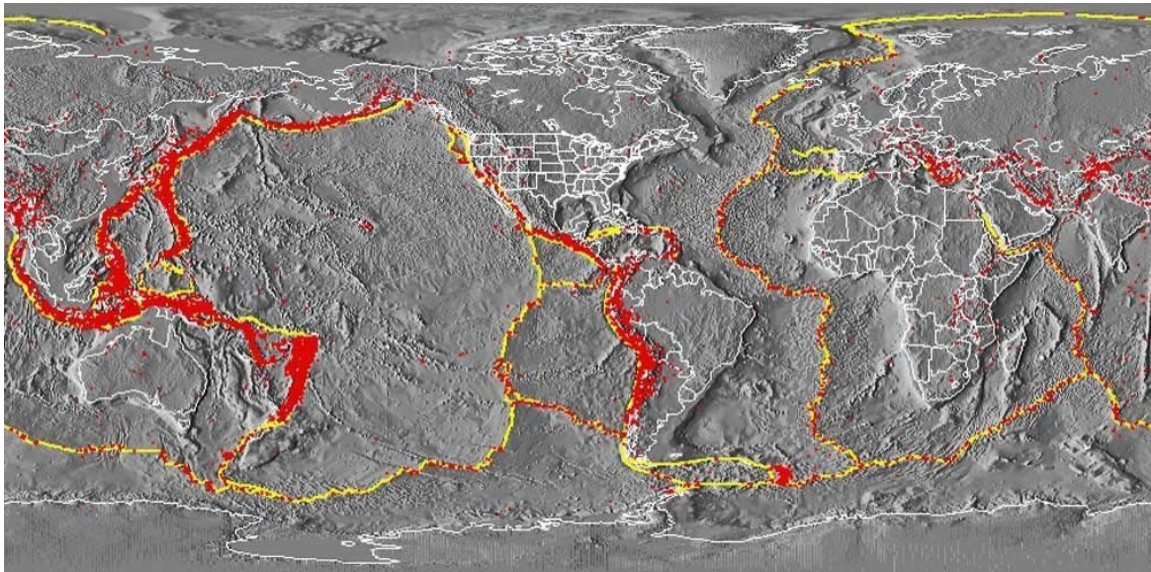


Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 1994) Una serie de fuerzas actúan sobre la Placa de

Nazca, como por ejemplo el flujo convectivo de material del manto, que “mueve” a la placa en dirección al este generando la convergencia, o el mismo peso de la placa oceánica que “tira hacia abajo” esta placa, favoreciendo la subducción (Figura 11) Debido a sus distintas composiciones, la placa oceánica que es comparativamente más densa (de composición basáltica) tiende a introducirse bajo la corteza continental menos densa (de composición granítica). Las fuerzas que actúan sobre la interface entre ambas placas así como las de interacción entre las placas y el manto generan el llamado acoplamiento sísmico interplaca, el que puede entenderse como la resistencia al deslizamiento en la zona de contacto entre ambas. A mayor acoplamiento interplaca la capacidad de generar terremotos de gran magnitud aumenta (Scholz, 1990).

Figura 12 Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud >5. Nótese como la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo



Fuente: Western Washington University (2011).

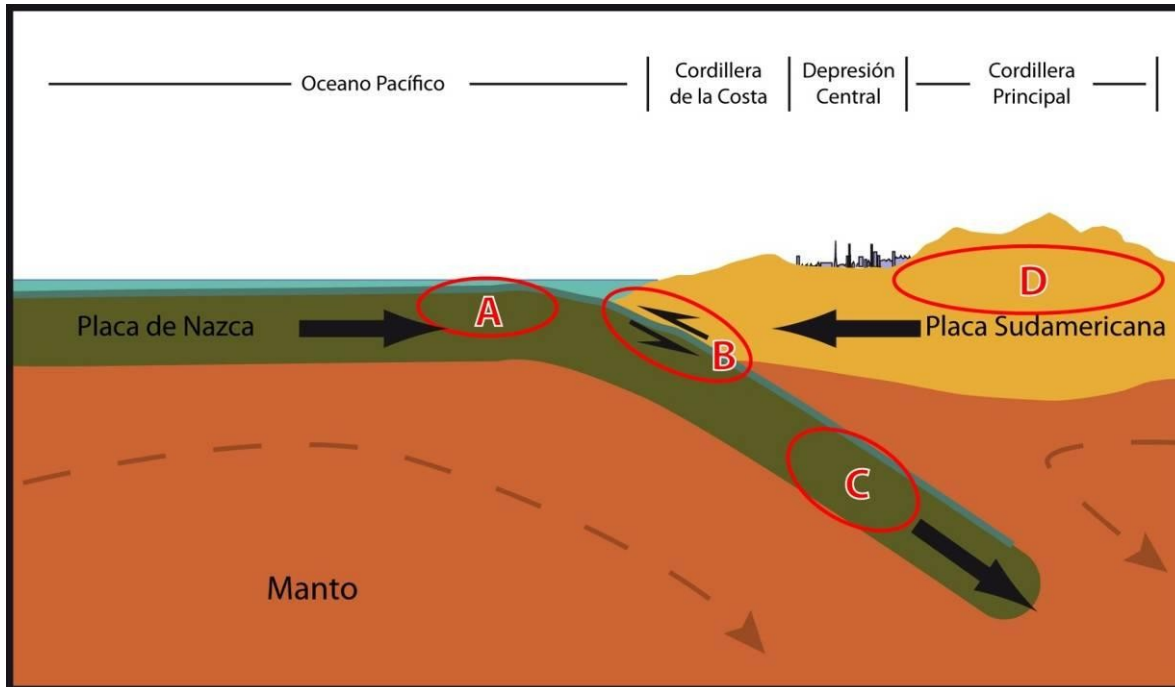
Tipos de sismos en Chile

El sistema de subducción, además de acumular energía que se libera por sismos de interplaca, genera campos de esfuerzos en la placa continental, en la oceánica y en la zona de acople entre ambas. El método para descargar la energía acumulada es a través de diferentes tipos de sismos, ejemplificados en la Figura 13, que corresponde a:

- **Zona A:** Sismos “Costa afuera” , que se producen por los esfuerzos extensivos por abombamiento en la placa subductante antes de la zona de contacto. A pesar de llegar a tener magnitudes cercanas a $M_w = 6$, prácticamente no causan efectos significativos en áreas pobladas debido a su ocurrencia en zonas mar adentro.
- **Zona B:** Sismos asociados al contacto interplaca, como los ocurridos en Antofagasta 1995, Chile Central 1985, Mejillones 2005 y Constitución-Concepción en el 2010. Estos son producto de la liberación de energía acumulada por la convergencia de placas.

- Zona C: Sismos intraplaca de profundidad intermedia, como los sismos de Punitaqui 1997, Copiapó 2002, Calama 1950, Tarapacá 2005 y Chillán 1939. Se producen por el fracturamiento tensional de la placa de Nazca (la placa se quiebra por su propio peso).
- Zona D: Sismos superficiales intraplaca, como los sismos de Las Melosas en 1958, Aroma en 2001, Curicó en 2004 y Aysén, 2007. Son producto del esfuerzo intraplaca inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve. En general, los sismos superficiales intraplaca se encuentran asociados a fallas superficiales que pueden tener movimientos normales, inversos y de rumbo, que responden a campos de esfuerzos compresivos o extensivos.

Figura 13 Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto)



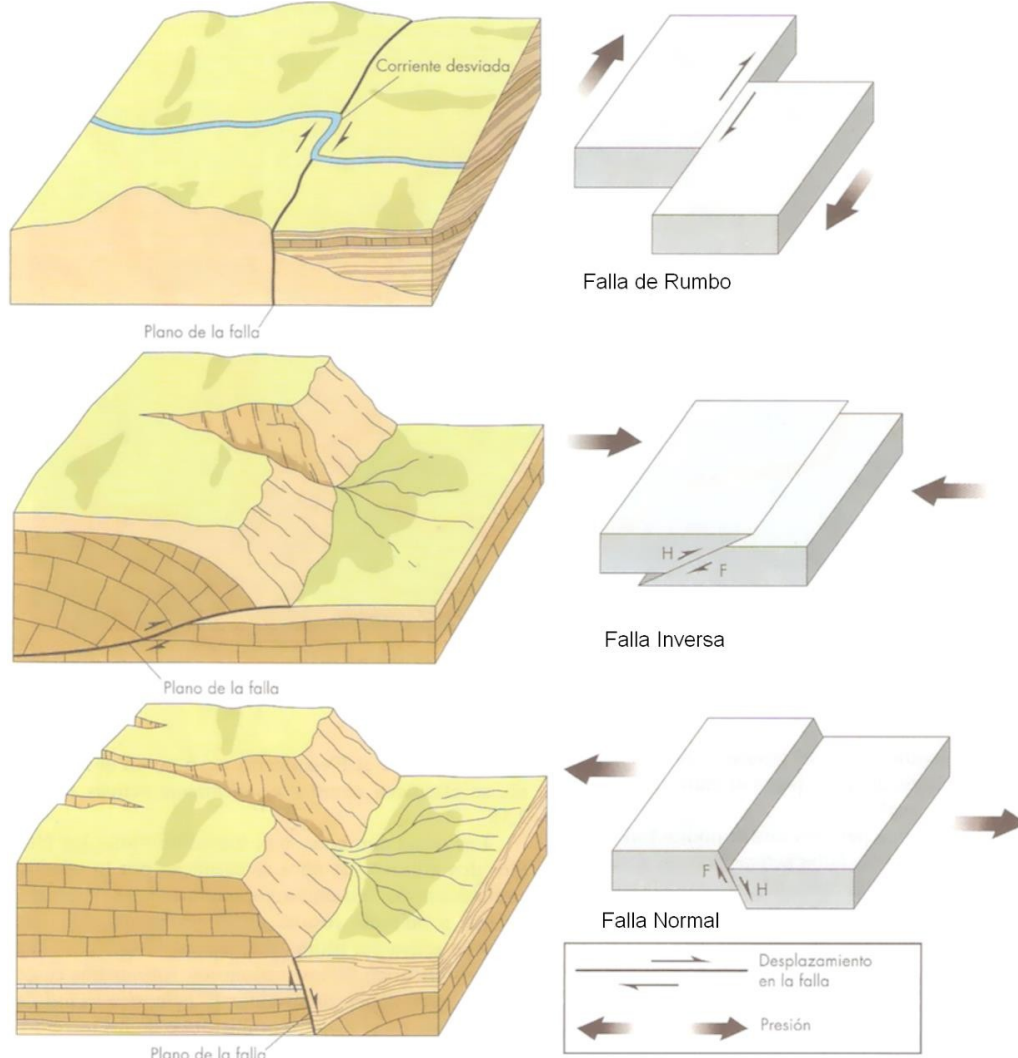
Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

Independientemente de la ubicación particular de uno u otro sismo, todos ellos corresponden a un desplazamiento violento paralelo al plano de falla que libera la energía acumulada en la interfaz. La energía que se acumula producto de la convergencia de placas, tanto en el contacto interplaca como en la corteza, en algún momento supera la resistencia de las rocas. En dicho instante se produce una ruptura que se propaga a través de un plano de falla, el que, de acuerdo a su geometría, generará diferentes tipos de movimientos (Figura 14). A su vez, esta ruptura conlleva una liberación de energía que se propaga por medio de ondas sísmicas.

Las ondas que transmiten la energía sísmica se agrupan en dos tipos principales: ondas de cuerpo y ondas de superficie. Las primeras se dividen en ondas P (compresivas) y ondas S (ondas de corte o de cizalle), mientras que las segundas se dividen en ondas Rayleigh y Love (Figura 15). En las ondas P el movimiento de partículas se produce en forma paralela al de la propagación de la onda y en las ondas S es en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Las ondas Rayleigh tienen un movimiento oscilatorio elíptico y las ondas Love tienen un movimiento oscilatorio horizontal. Con respecto a su impacto en superficie, debido a que las ondas S transportan la mayor cantidad de energía y a que las ondas superficiales tienden a tener movimientos de mayor frecuencia, ambos tipos corresponden a los de carácter más destructivo del movimiento sísmico.

Aun así, a medida que las ondas se alejan de la fuente van perdiendo o disipando energía, siendo cada vez menos destructivas, fenómeno que se conoce como atenuación.

Figura 14 Tipos de falla y esfuerzos asociados

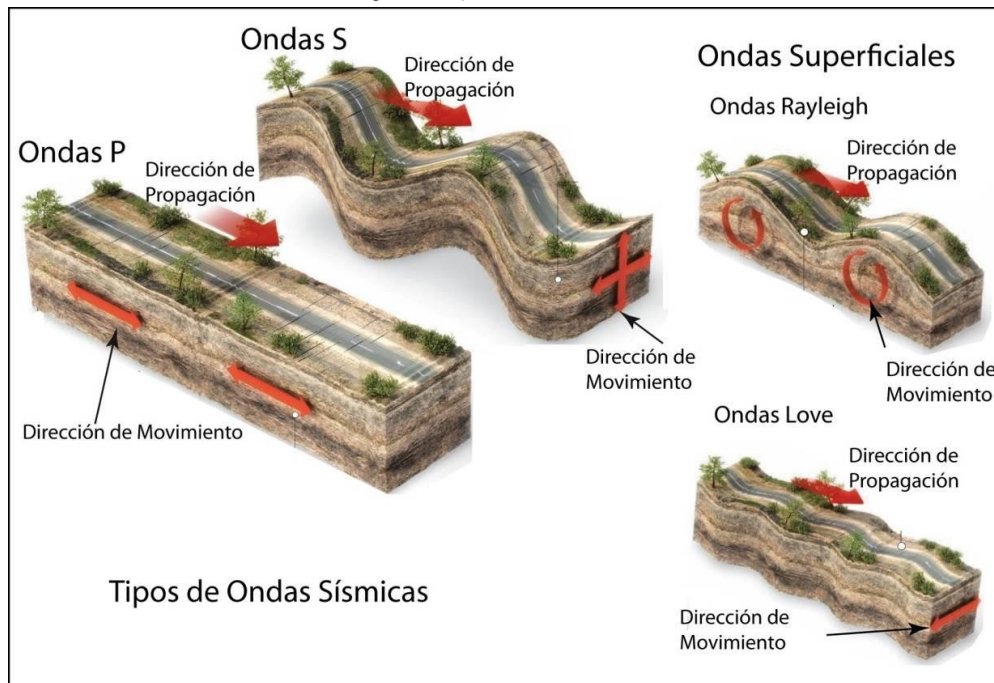


Fuente: Keller y Blodgett (2004).

Para medir los sismos se utilizan, principalmente, dos escalas: magnitud e intensidad. La magnitud es una medida única y objetiva, que normalmente se relaciona con la escala de RICHTER (M_S). Actualmente para grandes sismos se utiliza la escala de magnitud de momento (M_W) que se calcula a partir del tamaño de la zona de ruptura y el desplazamiento medido para un sismo ocurrido, y da cuenta de la energía total liberada por el evento. La intensidad es una medida subjetiva del impacto de un sismo sobre la población, en términos de percepción humana del evento y sus efectos en la infraestructura. Este parámetro se mide en la escala de MERCALLI-CANCANI, denominada también como Modificada de Mercalli (M.M.).

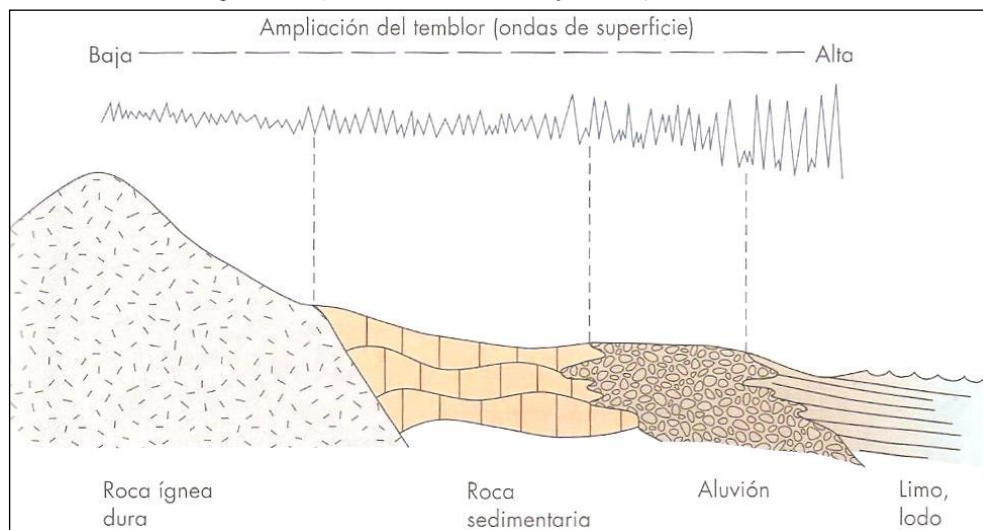
Finalmente, debe destacarse el llamado "efecto sitio", que indica un condicionamiento de carácter local bajo el cual para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde uno se encuentra ubicado, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto (Figura 16).

Figura 15 Tipos de ondas sísmicas



Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

Figura 16 Amplificación de la vibración generada por un terremoto



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

Mecanismos de daño asociado a los sismos

El principal efecto asociado a la ocurrencia de sismos son fuertes movimientos del terreno, que originan un peligro directo sobre las estructuras y sobre las personas, debido a las fuertes aceleraciones generadas por las ondas sísmicas. Sumado a lo anterior, la ocurrencia de estos fenómenos es generalmente sin previo aviso, por lo que la única manera de mitigar el riesgo es con campañas de educación y estrictas normas de construcción. Muchos de estos fenómenos son

acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías. Esto implica en una alta vulnerabilidad estructural, económica y social. Particularmente con respecto a esta última se deben mencionar las potenciales pérdidas de vidas humanas y heridos por el derrumbe de estructuras, además de la vulnerabilidad a enfermedades gastrointestinales y epidemias por el colapso de los sistemas sanitarios y de conectividad, entre los innumerable efectos adversos para la sociedad que provocan este tipo de fenómenos.

Más allá de los efectos directos mencionados anteriormente, los sismos pueden también inducir la ocurrencia de otros fenómenos, como es el caso de procesos de remoción en masa (caídas de bloques y deslizamientos), maremotos y licuefacción.

Los deslizamientos y derrumbes se dan en diversos tipos de suelos y bajo variadas condiciones sismotectónicas, incluso se han detectado en sismos de grado $M_w = 4.0$. La cantidad y severidad de estos están en directa relación con la cercanía al epicentro y la magnitud del evento causante (Keefer (1984); Sepúlveda, et al. (2005); (2010). Sea cual sea su origen, los deslizamientos y derrumbes están asociados principalmente a tres factores: las pendientes del terreno, la resistencia mecánica de los materiales involucrados y antecedentes de eventos anteriores (Centeno, et al. (1994); Sancho (1997)). Para más detalle acerca de estos procesos ver el capítulo 8.2.2.2, "Procesos de remoción en masa" .

Los maremotos o tsunamis corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energía y tamaño que se producen cuando algún fenómeno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua y en aproximadamente un 90% de los casos, estos fenómenos son provocados por terremotos. La energía de un maremoto depende de su altura (amplitud de la onda) y de su velocidad, y estará asociada a la magnitud del evento que lo generó.

Otro proceso que se asocia comúnmente a la actividad sísmica es la licuefacción del terreno, que corresponde al fenómeno donde un material sólido saturado en agua se comporta como líquido a causa de la intensa vibración. Las ondas sísmicas hacen aumentar la presión de agua presente en el sedimento, de forma que los granos de arena o limo pierden el contacto entre ellos causando una pérdida de resistencia del sólido y permitiendo que el depósito pueda fluir. Bajo estas condiciones, el suelo puede perder su capacidad de soporte de estructuras, producir deslizamientos (incluso en superficies con muy bajas pendientes) y formar volcanes de arena. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías.

Para la ocurrencia de licuefacción se requiere de tres factores (Martin & Lew, 1999):

- Depósitos o suelo, granulares poco consolidados (suelos y no cementados) de tamaño fino a medio (limo a arena, aunque en algunos casos se ha presentado en arcillas y en gravas). Típicamente pueden ser rellenos artificiales, especialmente aquellos creados por relleno hidráulico (ej. Puertos y tranques de relaves), depósitos eólicos (dunas), depósitos de playas o de cursos de agua lo suficientemente jóvenes para estar sueltos. Los suelos con partículas de diferentes tamaños son menos propensos a sufrir licuefacción, debido a que las partículas menores tienden a rellenar los espacios entre las mayores, reduciendo así la tendencia a densificación del suelo y evitando los efectos del aumento de presión de agua. También influye la forma de las partículas que conforma el suelo, siendo un depósito de partículas redondeadas más susceptible de sufrir licuefacción.
- Saturación de los depósitos por aguas subterráneas, el agua debe rellenar los espacios entre los granos de limo o arena. Pueden producirse en zonas donde el nivel de agua subterránea es

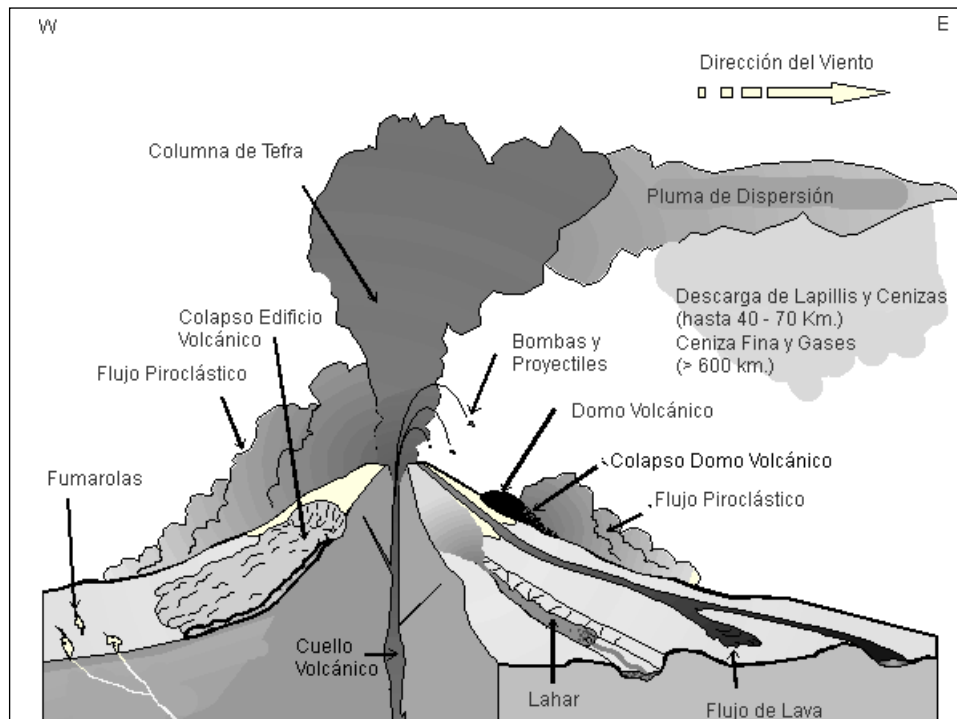
somero como en desembocadura de cursos de agua, humedales, pantanos, vegas y zonas costeras.

- Fuertes movimientos sísmicos, durante los cuales las ondas sísmicas aumentan la presión del agua contenida en los depósitos. Cabe destacar, que todo Chile, en especial desde la península de Taitao al norte, tiene el potencial de ser afectado por grandes terremotos.

8.2.1.2 Volcanismo

El peligro volcánico deriva de los procesos asociados a la erupción de un volcán. En Chile el volcanismo activo se distribuye a lo largo de la Cordillera de los Andes, pero de forma discontinua. En la zona entre los 18° y 27°S y aquella al sur de los 33°S se ubica el volcanismo activo, mientras que entre los 27°-33°S está ausente. Los principales peligros asociados a una erupción volcánica se resumen en la Figura 17 y en el Cuadro 6.

Figura 17 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán



Fuente: Myers y Brantley (1995).

La lluvia de ceniza y tefra se produce durante erupciones explosivas en las que una gran cantidad de material volcánico se inyecta en la atmósfera a gran altura, generando columnas de tefra, compuestas por piroclastos y gases. Estas columnas, ascienden velozmente alcanzando en pocos minutos alturas estratosféricas, siendo dispersadas por el viento y esparcidas las cenizas y piroclastos alrededor de una gran área. En caso de colapso de esta columna se producen flujos y oleadas piroclásticas que pueden alcanzar centenares de kilómetros, en función de la altura de la columna de tefra (energía potencial transformada en energía cinética) y la dirección del viento, generando grandes depósitos de ceniza y piroclastos incandescentes. Adicionalmente, es común que se produzca contaminación de aguas superficiales en todo el sector afectado por la caída de cenizas, así como también de los acuíferos en los alrededores del volcán por la inyección de aguas hidrotermales, además del envenenamiento por dispersión de gases tóxicos hacia la atmósfera.

Los flujos de lava se producen cuando material magmático se desplaza aguas abajo del centro de emisión. El alcance que tendrán estos flujos está determinado por la tasa de efusión (emisión del centro volcánico), la pendiente del terreno sobre el cual la lava escurre y la viscosidad de la lava. Además, en las cercanías del centro de emisión se producen comúnmente temblores de magnitud inferior a 6 en la escala de Richter (M_w), pero a poca profundidad (entre 1 y 20 km), los que están asociados a intensidades mayores a VI en las cercanías del epicentro. Estos sismos provienen de diversos procesos, tales como ascenso del magma y fracturamiento de la corteza, explosiones volcánicas y esfuerzos tectónicos compresivos y expansivos asociados al ciclo eruptivo (González Ferrán, 1995).

Los procesos de remoción en masa asociados a una erupción volcánica se pueden clasificar en tres grandes grupos: lahares, colapso parcial o total del edificio volcánico y deslizamientos de laderas (González Ferrán, 1995). Los lahares se producen por el brusco derretimiento de hielos y nieve durante una erupción volcánica. Corresponden a una mezcla de rocas fragmentadas preexistentes en las laderas de un volcán con materiales efusivos frescos y una gran cantidad de agua. Esta mezcla desciende aguas abajo a altas velocidades y de manera turbulenta, arrasando e incorporando a su flujo todo lo que encuentra en su trayecto (árboles, casas, etc.). Reportes históricos describen que las velocidades que alcanzan estos flujos van desde los 1,3 m/s hasta los 40 m/s, recorriendo decenas de kilómetros aguas abajo del valle, y en casos en que la velocidad sea mayor a 150 Km/h pueden remontar barreras topográficas.

El colapso, total o parcial, del edificio volcánico puede producirse como consecuencia de una gran cantidad de energía liberada durante la erupción. Este proceso puede provocar tsunamis si ocurre en la cercanía de lagos o embalses, ya que puede producir el desplazamiento de volúmenes importantes de agua en pocos minutos generando olas destructivas de gran energía. Finalmente, asociado a la sismicidad producida por la erupción, pueden generarse deslizamientos de terreno en la cercanía del centro eruptivo, lo que puede dar paso a flujos de barro y/o detritos aguas abajo.

El impacto en la población y sus actividades es muy alto en las cercanías de los centros volcánicos, ya que los procesos asociados a una erupción (caída de ceniza, flujos piroclásticos, contaminación de aguas superficiales), pueden generar grandes catástrofes en la vida diaria e infraestructura de las comunidades. Los efectos más directos para la población, aunque la erupción se encuentre a distancia, son:

- Pérdida de tierras cultivables
- Colapso de techos y obras civiles
- Pérdidas de vidas humanas y forraje
- Contaminación de aguas y problemas sanitarios derivados

Se debe destacar que, la duración de una catástrofe por actividad volcánica puede ser considerable dado que un ciclo eruptivo puede extenderse por meses o años (por ejemplo, el ciclo eruptivo del volcán Chaitén), y pueden afectar grandes áreas de terreno, como por ejemplo la erupción del volcán Quizapú en el año 1932, cuya pluma de ceniza alcanzó la ciudad de Johannesburgo, Sudáfrica o la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, cuya pluma de ceniza dió la vuelta al mundo.

Cuadro 6 Peligros asociados al volcanismo

PELIGRO	FACTORES DE PELIGRO	TIPO DE DAÑO	ALCANCE	CONDICIONANTES
Lluvia de Tefra y Proyectiles Balísticos	Proyección de bombas y escorias incandescentes	Daños por impacto, incendios	Alrededores del volcán (<10 km)	Tamaño de proyectiles. Mayor tamaño, menos alcance; menor tamaño, mayor alcance
	Caída de piroclastos y dispersión de cenizas	Recubrimiento de cenizas, colapso de estructuras, daños a la agricultura, daños a instalaciones industriales y viviendas, problemas de tráfico aéreo, falta de visibilidad, contaminación de aguas	Centenares de kilómetros	Dirección del viento
	Flujos y oleadas piroclásticas	Daños a estructuras, incendios, recubrimiento por cenizas	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Gases	Envenenamiento, contaminación aire y agua	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Inyección de aerosoles a la estratósfera	Impacto en el clima, efecto a largo plazo y/o a distancia		Dirección del viento
Lavas y edificio volcánico	Lavas y domos	Daño a estructuras, incendios, recubrimiento por lavas	Alrededores del volcán (<10 km)	
	Deformación del terreno	Fallas, daños a estructuras	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	
	Terremotos y temblores volcánicos	Colapso del edificio volcánico, remociones en masa, daños a estructuras	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología
Remociones en masa	Lahares	Daños a estructuras, arrastre de materiales, recubrimiento por barros	Decenas a centenares de kilómetros	Red de drenaje
	Colapso parcial o total del edificio volcánico	Daños a estructuras, recubrimiento por detritos, avalanchas, tsunami inducido	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos
	Deslizamiento de laderas	Arrastre de materiales, recubrimiento por detritos, daños a estructuras	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos

Otros	Ondas de Choque	-Rotura de cristales y paneles	Decenas de kilómetros	Dirección del viento y geomorfología
	Variaciones en el sistema geotérmico de acuíferos	Cambios de temperatura y calidad del agua	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Red de drenaje

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración partir de González-Ferrán (1995), Myers y Brantley (1995) y Sruoga (2002). (*) El peligro de Flujos y Ondas Piroclásticas, si bien presenta un alcance de hasta centenares de kilómetros, este se restringe únicamente a las hoyas hidrográficas que drenan cada aparato volcánico.

8.2.2 Procesos externos o exógenos de la Tierra

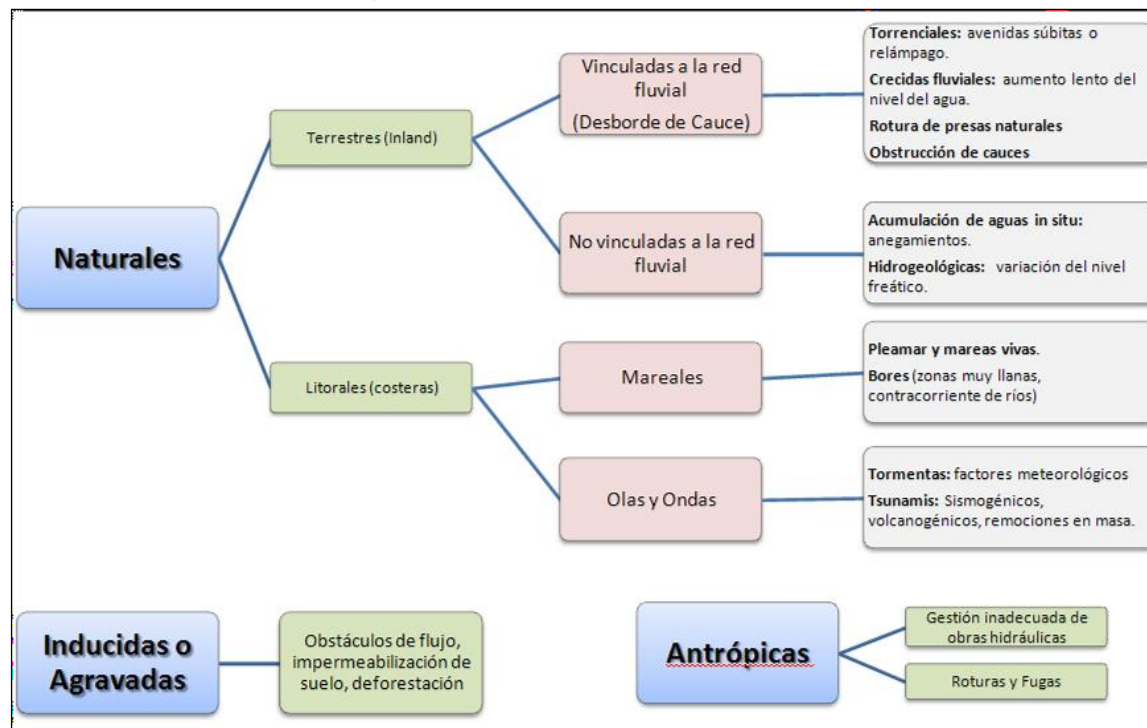
8.2.2.1 Inundaciones terrestres y litorales

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (Figura 18): (1) terrestres, en el sentido de "tierra adentro", en las que aguas dulces anegan territorios al interior de los continentes, y (2) litorales o costeras, en las que aguas marinas o lacustres-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre. Los procesos de inundación pueden originarse por varios factores, tales como lluvias intensas durante temporales, pero también pueden originarse por colapso o desbordamiento de represas y canales, marejadas en zonas costeras, o como afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas.

Cabe notar que existe una estrecha relación entre los fenómenos pluviométricos estacionales y los fenómenos de avalanchas, rodados, aluviones o erosiones. Los últimos se ven acentuados por el aumento de la capacidad de arrastre de material, por inundación y por desborde de cauces, todos ellos asociados a la activación de quebradas por lluvias ocasionales y que ponen en riesgo a la población en los alrededores.

A continuación se presenta una breve descripción de los distintos tipos de inundaciones.

Figura 18 Clasificación de los tipos de inundaciones



Fuente: Modificado de Díez-Herrero, et al. (2008).

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 como del área de la cuenca correspondiente, su forma, la diferencia de cota, la presencia de rocas o sedimentos permeables, etc.

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 condiretan como perennes dado que la mayoría del flujo escurre en el acuífero ubicado debajo de la superficie. Estos presentan cauces de gran extensión, bien definidos, con diferentes niveles de terrazas fluviales, y fácilmente identificables a partir del análisis estereoscópico de fotos aéreas. Las terrazas más altas generalmente están ocupadas 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.

Los efectos que se pueden generar como consecuencia de una inundación estarán dados por varios factores. Naturalmente, los efectos dependen de la intensidad de la inundación, sin embargo, se deben diferenciar los efectos sobre los edificios, que se correlacionan mejor con la altura de inundación, de la afectación a la infraestructura vial, que se correlaciona mejor con la velocidad de escurrimiento (Kreibich, y otros, 2009) aunque, se debe tener en consideración que existe una buena correlación entre ambas variables. Por otra parte, existen otras variables que inciden en el nivel de daño que generan las inundaciones (Merz, Kreibich, & Lall, 2013; Hasanzadeh Nafari, Ngo, & Mendis, 2016):

- Superficie de las construcciones (que se correlaciona con la densidad de población y con el nivel socioeconómico de los habitantes), valor de las propiedades y calidad de la construcción.
- Medidas preventivas, asociadas a la construcción.

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 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. Solo en eventos de pluviosidades extremas, el caudal transportado por las quebradas tiene la

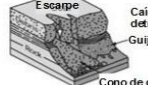
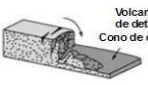
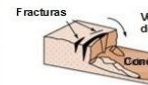
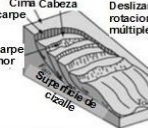
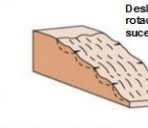
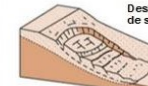
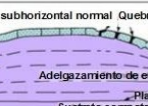
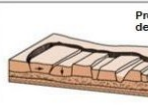
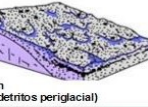
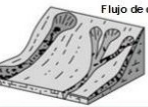
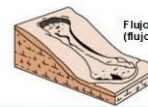
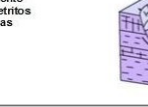
suficiente fuerza para romper esta barrera, atravesándola y provocando inundaciones por desborde de cauces.

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.

8.2.2.2 Procesos de remoción en masa

El término “remoción en masa” incluye una amplia variedad de procesos que generan el movimiento aguas abajo de los materiales que constituyen las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores (Figura 19). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007).

Figura 19 Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera

Material	ROCA	DETRITO	SUELO
Tipo de movimiento			
CAIDA			
VOLCAMIENTO			
DESIZAMIENTO	Rotacional 	Rotacional 	Rotacional 
	Traslacional (planar) 	Traslacional (planar) 	Traslacional (planar) 
PROPAGACIÓN			
FLUJO			
COMPLEJO			

Fuente: Clasificación utilizada por el British Geological Service, modificada de (Varnes, 1978) y (Cruden & Varnes, 1996). Disponible en: http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html.

Flujos de detritos y barro

Los flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones', son remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos viscosos de sedimentos concentrados (Antinao, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 2002). Los flujos de detritos usualmente son descritos como fluidos no-newtonianos o plásticos de Bingham, donde la fracción sólida varía generalmente entre 50 a 90% en volumen (Costa, 1984). En los casos en que la granulometría del material transportado sea predominantemente fina estos flujos se conocen como flujos de barro.

Las partículas sueltas que cubren pendientes denudadas y otros depósitos detríticos no consolidados, disponibles dentro de la cuenca de recepción, son transportadas hacia el cauce principal donde continúa su movimiento. Se remueven así depósitos de gravas y arenas sueltas del lecho, hasta alcanzar el área de depositación, que corresponde al sitio de salida de dichas quebradas a zonas más llanas donde se forman abanicos aluviales. Con la disminución de la pendiente, a medida que aumenta la distancia desde su fuente, los flujos van perdiendo su carga sólida de mayor granulometría, por lo que van pasando paulatinamente a flujos de barro y finalmente a inundaciones o flujos hiperconcentrados donde la fracción sólida varía generalmente entre 1 a 25% en volumen (Pierson & Scott, 1985).

Para la ocurrencia de flujos de detritos es necesario que exista una cuenca donde se colecten los aportes de lluvia y una zona de acumulación de material donde los detritos se acopien para ser posteriormente transportados en el caso de que se cumpla alguna condición desencadenante.

En Chile, el factor desencadenante más común de flujos de detritos son las lluvias esporádicas, de corta duración y de intensidad excepcional. Por otro lado, en nuestro país existen muy pocos estudios que relacionen las intensidades de precipitaciones y este tipo de fenómenos, debido, principalmente, a los escasos registros de intensidad de precipitaciones y de flujos de detritos históricos. Solo durante las últimas décadas se han instalado pluviógrafos que miden la intensidad instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora). Solo se disponen de registros más sostenidos en el tiempo de precipitaciones diarias (mm en 24 horas). Esto dificulta los análisis de relación a estas variables ya que a veces basta una lluvia "corta" pero extremadamente intensa para generar un flujo de detritos.

Los flujos o "aluviones" del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta y del 3 de Mayo de 1993 en la Quebrada de Macul en Santiago Oriente son ejemplos de eventos que han suscitado el interés nacional tanto por el alto grado de daños materiales como el costo de vidas humanas. Estos eventos han sido, por otra parte, un aporte para el conocimiento de los umbrales de intensidad de precipitaciones mínimas para la generación de flujos de detritos en Chile. En el caso de Antofagasta, en una de las zonas más secas del país, se estimaron precipitaciones mínimas de 30 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, 1997). En el caso de Santiago Oriente, se contó con datos pluviográficos más precisos, donde se registraron casi 10 mm en una sola hora (Naranjo & Varela, 1996). Anteriormente, para la Región Metropolitana se estimó un mínimo de 60 mm en 24 horas para la generación de flujos de detritos (Hauser, 1985).

Si bien los casos anteriores se encuentran fuera del área de estudio, cabe destacar que corresponden a los pocos eventos donde se ha relacionado cuantitativamente la ocurrencia de estos fenómenos y la intensidad de precipitaciones. Sin embargo, estos constituyen datos valiosos en cuanto a los umbrales de intensidad de precipitaciones en las que se podrían generar flujos de características catastróficas.

El grado de daño producido por un flujo dependerá de varios factores:

- Tiempo de aviso: Los sistemas de emergencia y alerta a la población disminuyen considerablemente la vulnerabilidad social. Si se tienen mediciones continuas de la intensidad de precipitación, será posible alertar a la población de que existe la posibilidad de que se genere un flujo, entregando quizás minutos valiosos que podrían salvar vidas.
- Distancia al origen del fenómeno: Mientras más alejado sea el origen, y si se cuenta con sistemas de emergencia y alerta a la población, se puede disminuir la vulnerabilidad social.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno (tamaño del flujo): Un flujo de mayor tamaño y rápido tiene mayor capacidad de afectar a una población que uno más pequeño y lento.
- Densidad de población en la zona susceptible a ser afectada: En caso de que la población se encuentre directamente en el cauce del flujo, los daños pueden ser catastróficos, ya que pueden producirse muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales mayores, etc., tal como ocurrió en los casos de Antofagasta (1991) y Quebrada de Macul (1993). Si el cauce no afecta directamente a la población, pueden producirse cortes de caminos y daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destrucción de captaciones de agua para el consumo humano), lo que se traduce en un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

Este peligro geológico será tratado en conjunto con el peligro de inundación por desborde de cauce, ya que estos dos fenómenos comparten una serie de características comunes que permiten estudiarlos como un mismo proceso.

Desprendimiento o caída de bloques o rocas

Los desprendimientos o caída de bloques son remociones en masa en las cuales bloques de rocas o suelo se desprenden a partir de laderas de altas pendientes, como cornisas o acantilados rocosos, para luego desplazarse en caída libre, al menos en parte de su trayectoria (Hauser, 2000). Estos ocurren cuando existe una discontinuidad en la roca (por ejemplo, fracturas, planos de estratificación u otras estructuras propias de las características de la roca) cuya inclinación es superior a su ángulo de fricción interna, con proyección libre a la cara del talud. Entre las zonas susceptibles a sufrir desprendimientos o caídas de bloques destacan los flancos de quebradas profundas, labradas en secuencias estratificadas con niveles más duros hacia el techo, expuestas a erosión fluvial, o acantilados costeros expuestos a erosión marina.

La gravedad es el principal motor del peligro de caída de bloques. Como este es un proceso gravitacional depende de leyes de fricción y es, por consiguiente, caótico. Dentro de los factores desencadenantes destacan los grandes sismos que pueden generar numerosos desprendimientos a partir de laderas con fuerte inclinación y con condiciones geológicas y estructurales favorables

La caída de bloques o desprendimientos, puede producir una serie de efectos en personas, desde contusiones menores hasta la muerte, dependiendo del tamaño del bloque y la fuerza con que este cae. En el caso de estructuras, por lo general los daños son casi nulos, pero puede producirse la rotura de vidrios o daños a muros en función del tamaño del bloque y la distancia recorrida por este. Además, al caer un bloque en el camino puede producirse un accidente debido a maniobras de conducción para evitarlo.

En general, este peligro presenta una vulnerabilidad social, económica y estructural menor que otros peligros geológicos. Además, afecta a escala local, pero tiene una mayor incidencia debido a

que su recurrencia es alta. En este peligro, el tiempo de aviso es mínimo, pero se puede mitigar indicando que la zona es susceptible a ser afectada por caída de bloques.

Deslizamientos

Los deslizamientos son remociones en masa en las cuales las masas de suelo o roca se deslizan principalmente a lo largo de superficies de ruptura, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en su conjunto (Hauser, 2000). Los volúmenes incluidos en estas remociones varían desde algunas decenas hasta varios millones de metros cúbicos y pueden adquirir magnitud catastrófica.

Estos fenómenos pueden ocurrir de varias formas dependiendo de las propiedades del material y las características geológicas y geomorfológicas del entorno, siendo principalmente divididos en rotacionales y traslacionales (Figura 20) Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

Adicionalmente, los deslizamientos que ocurren en escarpes de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial, o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, se les denomina como “Retroceso de laderas” , y es descrito en la Sección 0 de este anexo.

Los factores condicionantes de un deslizamiento corresponden principalmente a: los factores intrínsecos del suelo y la roca, las características geológicas (litología, estructuras, grado de alteración y meteorización, etc.), los factores geomorfológicos (pendiente, aspecto, curvatura, elevación, entre otros), la cantidad y tipo de vegetación y el grado de humedad y posición del agua subterránea.

Por otro lado, estos fenómenos pueden ser generados por factores externos, denominados factores desencadenantes o gatillantes, tales como eventos hidrometeorológicos, sísmicos y actividad antrópica (excavaciones para caminos, canales, terraplenes, etc.).

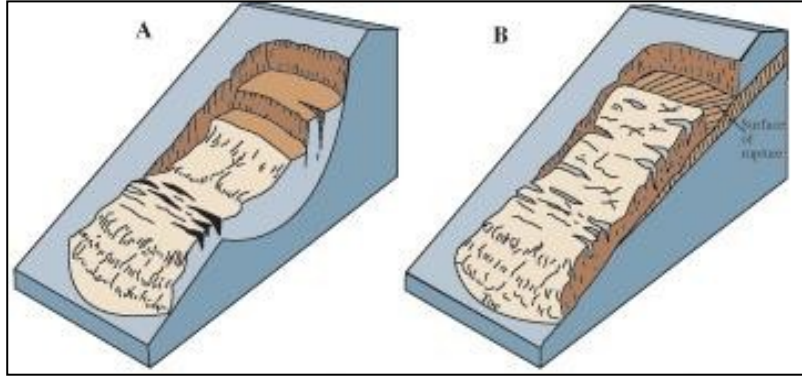
Los daños en el medio antrópico producto de un deslizamiento que afecta a un área determinada, estarán dados por el volumen de material desplazado durante el proceso y la velocidad con la que se produce el deslizamiento.

El grado en que un deslizamiento afecta a la población depende de:

- Distancia al origen del fenómeno: Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m). Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno: En general, dado que estos procesos son de alta velocidad los daños potenciales son altos.
- Densidad de población: A mayor densidad de población y área expuesta susceptible de ser afectada, mayores serán los daños esperados. Si la población se encuentra directamente en el área de alcance de un deslizamiento, la vulnerabilidad, estructural y económica es muy alta ya que la pérdida de vidas, viviendas y productividad son efectos típicos de este peligro geológico. Por otro lado, si un deslizamiento afecta a caminos, acueductos o líneas eléctricas puede producir aislamiento, enfermedades gastrointestinales y pérdidas económicas en general para la población.
- Tiempo de aviso: Sin estudios de detalle no hay forma de predecir este tipo de procesos. Si se realizan estudios específicos, es posible conocer el o los factores gatillantes de las remociones en

masa en un área determinada. Si estos factores gatillantes pueden ser monitoreados, es posible generar sistemas de alerta. Por ejemplo, si el factor gatillante son las precipitaciones sobre un cierto nivel umbral de intensidad, es posible generar sistemas de alerta que se activen cuando se sobrepasa dicho umbral.

Figura 20 Ejemplos de deslizamientos. A. Deslizamiento rotacional, B. Deslizamiento traslacional



Fuente: Modificado de Landslide Types and Process, USGS. Fact Sheet 2004-3072. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/Fig3grouping-2LG.jpg>.

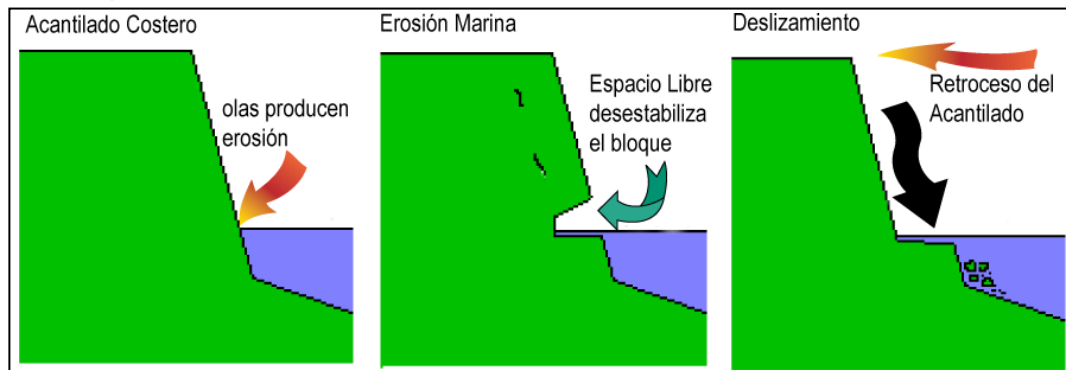
Retroceso de laderas

Tal como se menciona en la Sección 0 de este anexo, los deslizamientos que ocurren en escarpes de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial, o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, se les denomina como "Retroceso de laderas" .

El retroceso de laderas corresponde a la retirada del escarpe en dirección aguas arriba, sin que este sufra cambios en sus rasgos geométricos. Es decir, con posterioridad al movimiento de material, la forma del escarpe permanece constante (Pain (1986)).

En el caso de los acantilados costeros, este proceso es causado por la fuerza de las olas, las que generan cavernas y desestabilizan el bloque superior, provocando que este caiga por su propio peso (Figura 21). Ello produce además que el acantilado costero se encuentre en constante retroceso, lo que permite definir como zona de alta susceptibilidad todas las áreas cercanas a él.

Figura 21 Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

Por su parte, si bien el retroceso de laderas en terrazas fluviales también responde a procesos de desestabilización directa en la base de las mismas (por ejemplo, en las zonas exteriores de meandros), diversos autores han planteado que el factor más importante corresponde al aumento de la presión de poros por efecto de la infiltración de aguas (Karmaker & Dutta (2012), y referencias ahí dentro).

Las tasas de retroceso de laderas son fuertemente variables, y dependen de las características litológicas de las mismas, así como de las condiciones climáticas e hidrológicas en las que se estase asientan. Sin embargo, en algunos lugares del mundo se han medido promedios anuales de erosión horizontal de hasta 2 m, como es el caso del río Kordan, en Irán (Samadi, Davoudi, & Amiri- Tokaldany, 2011).

Lo anterior supone un peligro potencial para los asentamientos que se dispongan en las cercanías de zonas escarpadas. Esto ilumina la necesidad de delimitar adecuadamente la susceptibilidad asociada a este peligro, dependiendo de las características morfológicas y geológicas que presente cada caso de estudio en particular.

9. Incendios Forestales.

Los incendios forestales constituyen una de las principales amenazas ambientales y territoriales en la zona central de Chile. En los últimos años, la frecuencia, intensidad y extensión de estos eventos ha aumentado significativamente, afectando tanto a ecosistemas naturales como a áreas habitadas. La Región de Valparaíso, en particular, ha sido escenario recurrente de incendios de gran magnitud, y la comuna de La Cruz no está exenta de esta amenaza.

Este informe tiene como objetivo identificar, caracterizar y analizar los factores de riesgo de incendios forestales en el territorio de la comuna de La Cruz, integrando herramientas de análisis espacial, imágenes satelitales, interpretación de cobertura vegetal y elementos climáticos y topográficos. El informe busca servir como base técnica para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, planificación urbana y prevención de emergencias, especialmente en el marco del desarrollo o actualización del Plan Regulador Comunal.

9.2. Marco Metodológico

El análisis se realizó a partir de una combinación de técnicas de teledetección, observación satelital y revisión de antecedentes territoriales. Se utilizaron imágenes del satélite Sentinel-2, con enfoque en el índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), capturadas en febrero de 2025. Este índice permite determinar la densidad y vigor de la vegetación, lo que es fundamental para identificar áreas con acumulación de biomasa seca susceptible de combustión. Además, se emplearon herramientas de cartografía base, curvas de nivel, información sobre cobertura de uso de suelo y localización de infraestructura y asentamientos humanos. La integración de estas capas de información permitió construir una interpretación territorial detallada de los factores que inciden en la ocurrencia y propagación de incendios forestales. El NDVI es **clave para la prevención y monitoreo de incendios**, porque:

1. **Permite detectar vegetación seca o en estrés**, que es más inflamable.
2. Ayuda a identificar zonas de **acumulación de biomasa** (material combustible).
3. Se puede usar para hacer **mapas de riesgo estacional** y priorizar sectores de vigilancia.

Se desarrolló una zonificación del riesgo basada en la superposición de variables como pendiente, exposición solar, NDVI y proximidad a zonas habitadas, lo cual permitió clasificar el territorio en zonas de riesgo alto, medio y bajo.

- Imágenes satelitales Sentinel-2 (febrero 2025).
- Índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).
- Cartografía base (relieve, curvas de nivel, localidades).
- Análisis territorial por unidades funcionales (sectores).
- Proyección del riesgo a partir de escenarios climáticos CR2 (2022).

Se identificaron zonas críticas superponiendo capas de vegetación, pendiente, ocupación urbana y conectividad. Se generó una zonificación de riesgo y se formularon recomendaciones técnicas específicas.

Se calcula utilizando la **reflexión de la luz en dos bandas del espectro electromagnético**:

- **Rojo (Red):** la vegetación sana **absorbe mucho** en esta banda para hacer fotosíntesis.
- **Infrarrojo cercano (NIR):** la vegetación sana **refleja mucho** en esta banda.

Donde:

- NIR = luz reflejada en el infrarrojo cercano
- RED = luz reflejada en el espectro rojo

El índice NDVI va desde **-1.0** a **+1.0**.
Interpretación típica:

NDVI	Interpretación
< 0	Agua, nubes o superficies no vegetales
0.0 – 0.2	Suelo desnudo, vegetación muy escasa
0.2 – 0.5	Vegetación rala o en estrés hídrico
0.5 – 0.8	Vegetación sana y activa
> 0.8	Vegetación muy densa y saludable

9.3. Caracterización Territorial

La comuna de La Cruz presenta una geografía compuesta por un valle central agrícola rodeado por quebradas, laderas y cordones montañosos de pendiente media a alta. Las zonas de cultivo ocupan la mayor parte del valle, mientras que los sectores periféricos presentan vegetación natural de tipo matorral mediterráneo y bosques esclerófilos fragmentados.

La expansión urbana se ha desarrollado principalmente en la zona sur y sureste de la comuna, generando una interfaz urbano-rural sin planificación adecuada, lo que incrementa la exposición al riesgo de incendios. Sectores como La Palma, Pocochay, El Trapiche y San Rafael presentan una combinación de viviendas, áreas agrícolas y vegetación natural, configurando un mosaico territorial altamente susceptible.

Las quebradas del Ají, del Olivo y otras de menor escala actúan como corredores naturales para la propagación del fuego debido a la pendiente, la acumulación de vegetación y la orientación.

- Áreas agrícolas intensivas (cultivos de hortalizas, frutales).
- Vegetación natural degradada o en transición (matorral y bosque esclerófilo).
- Núcleos urbanos en expansión como La Palma y Pocochay.
- Zonas periurbanas con crecimiento espontáneo.

Las pendientes, la falta de manejo de vegetación y el aumento de interfaces urbano-rurales generan condiciones de exposición que deben ser gestionadas territorialmente.



Fuente: Elaboración propia

9.4. Análisis de Cobertura Vegetal (NDVI Febrero 2025)

Las imágenes NDVI correspondientes a febrero de 2025 muestran una clara diferenciación entre zonas con vegetación densa y activa (NDVI alto, >0.5) y áreas de vegetación estresada o seca (NDVI bajo, <0.2).

Los sectores agrícolas activos presentan valores intermedios a altos, aunque se identifican zonas de abandono o sin cultivo con baja densidad vegetal. En las laderas orientadas al oeste y suroeste, se detecta vegetación nativa en estado seco, con baja actividad fotosintética, lo que representa un riesgo elevado por acumulación de combustible vegetal.

Las interfaces entre vegetación y urbanización, especialmente en Pocochay y La Palma, presentan valores NDVI medios y fragmentados, con cobertura discontinua. Esto configura un riesgo alto de ignición, especialmente en presencia de viento.

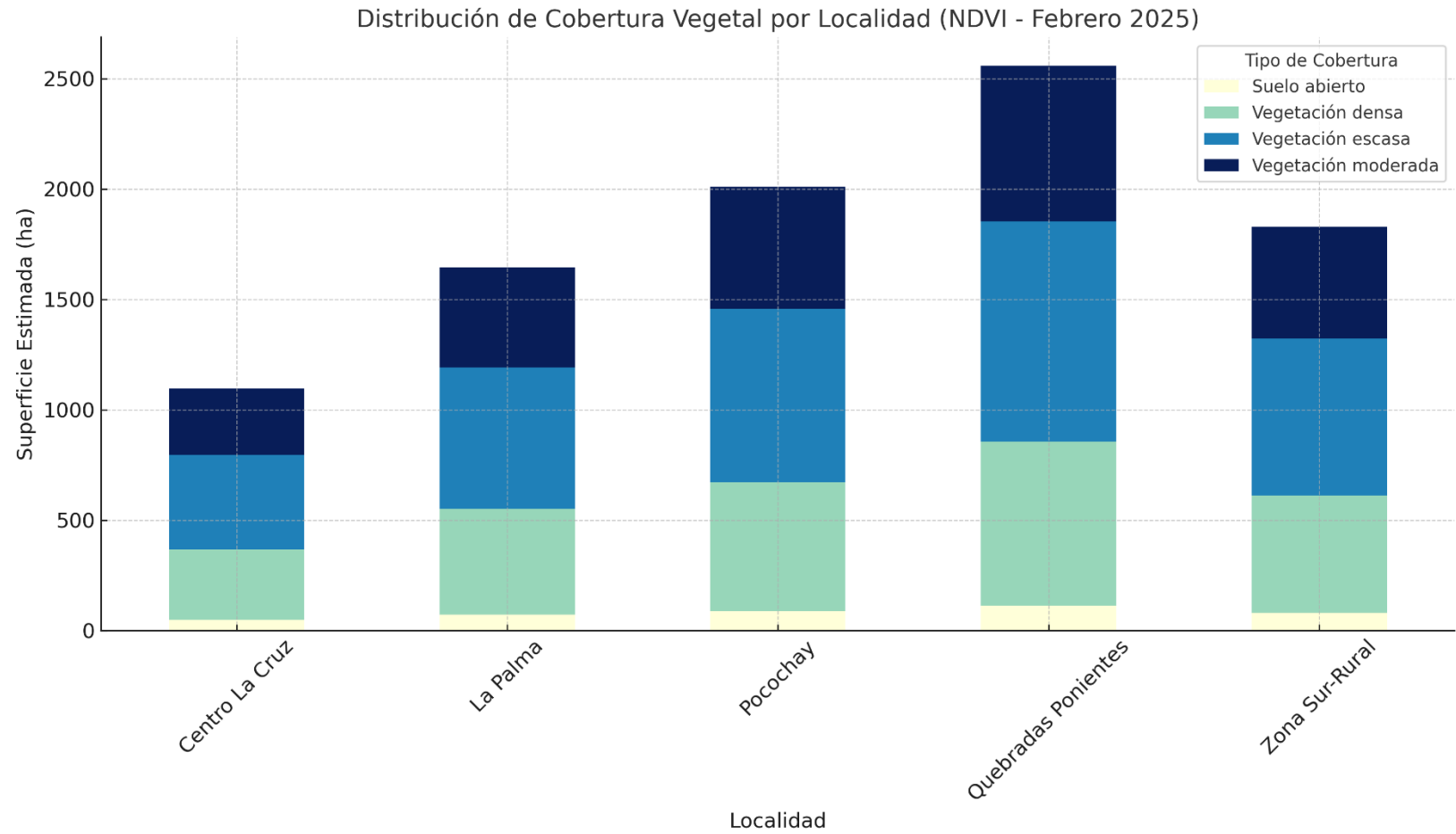
Se identifican tres tipos predominantes:

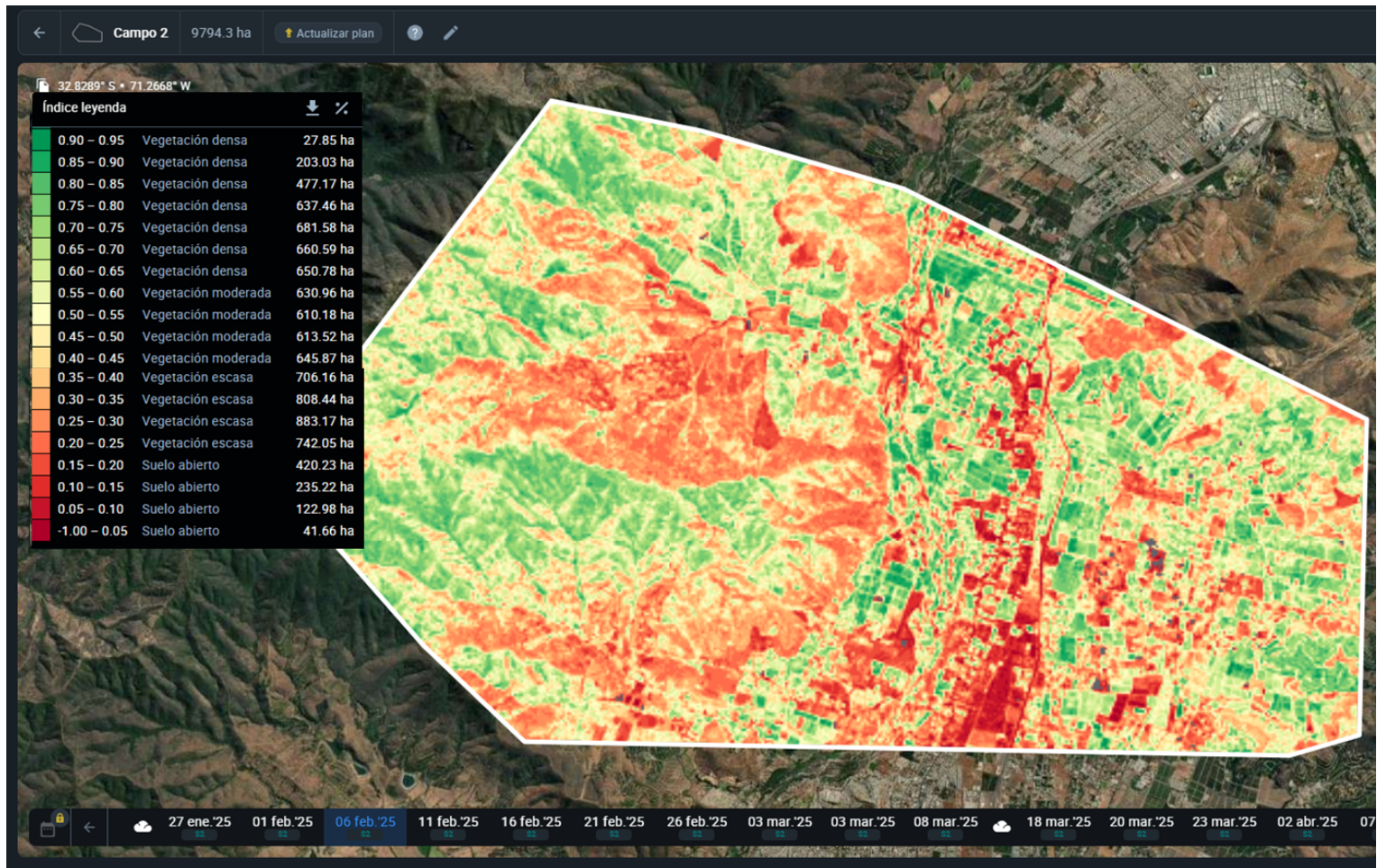
1. **Vegetación agrícola activa:** cultivos de regadío y frutales, riesgo medio si existe continuidad vegetal.
2. **Vegetación nativa seca o estresada:** matorrales y arbustos en laderas, altamente combustibles (riesgo alto).
3. **Áreas agrícolas en abandono:** acumulación de pastizal seco y rastrojos, zonas de ignición frecuente.

Cobertura Vegetal Estimada por Localidad – Comuna de La Cruz

Localidad	Tipo de Cobertura	Superficie Estimada (ha)
Pocochay	Vegetación densa	447.96
Pocochay	Vegetación moderada	428.37
Pocochay	Vegetación escasa	543.59

Localidad	Tipo de Cobertura	Superficie Estimada (ha)
Pocochay	Suelo abierto	226.58
La Palma	Vegetación densa	366.58
La Palma	Vegetación moderada	350.20
La Palma	Vegetación escasa	444.90
La Palma	Suelo abierto	185.55
Centro La Cruz	Vegetación densa	244.39
Centro La Cruz	Vegetación moderada	233.47
Centro La Cruz	Vegetación escasa	296.60
Centro La Cruz	Suelo abierto	123.60
Quebradas Ponientes	Vegetación densa	571.36
Quebradas Ponientes	Vegetación moderada	545.76
Quebradas Ponientes	Vegetación escasa	692.94
Quebradas Ponientes	Suelo abierto	288.60
Zona Sur-Rural	Vegetación densa	407.58
Zona Sur-Rural	Vegetación moderada	389.08
Zona Sur-Rural	Vegetación escasa	493.82
Zona Sur-Rural	Suelo abierto	205.68





Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2

9.5. Factores de Riesgo

Los factores que inciden directamente en la generación y propagación del fuego en La Cruz son:

- **Vegetación seca o en estrés:** matorral, pastizal seco y cultivos en abandono generan acumulación de material combustible.
- **Topografía accidentada:** las pendientes de quebradas facilitan el ascenso rápido del fuego, especialmente con viento ascendente.
- **Interfaz urbano-rural:** zonas donde el crecimiento urbano colinda con vegetación o suelos agrícolas en abandono presentan alta exposición.
- **Condiciones climáticas extremas:** el verano presenta temperaturas superiores a 32 °C, baja humedad relativa (<30%) y viento del oeste.
- **Infraestructura dispersa:** caminos rurales, tendidos eléctricos y zonas sin manejo forestal aumentan el riesgo de ignición antrópica.

9.6. Zonificación del Riesgo

El NDVI de febrero 2025 evidencia:

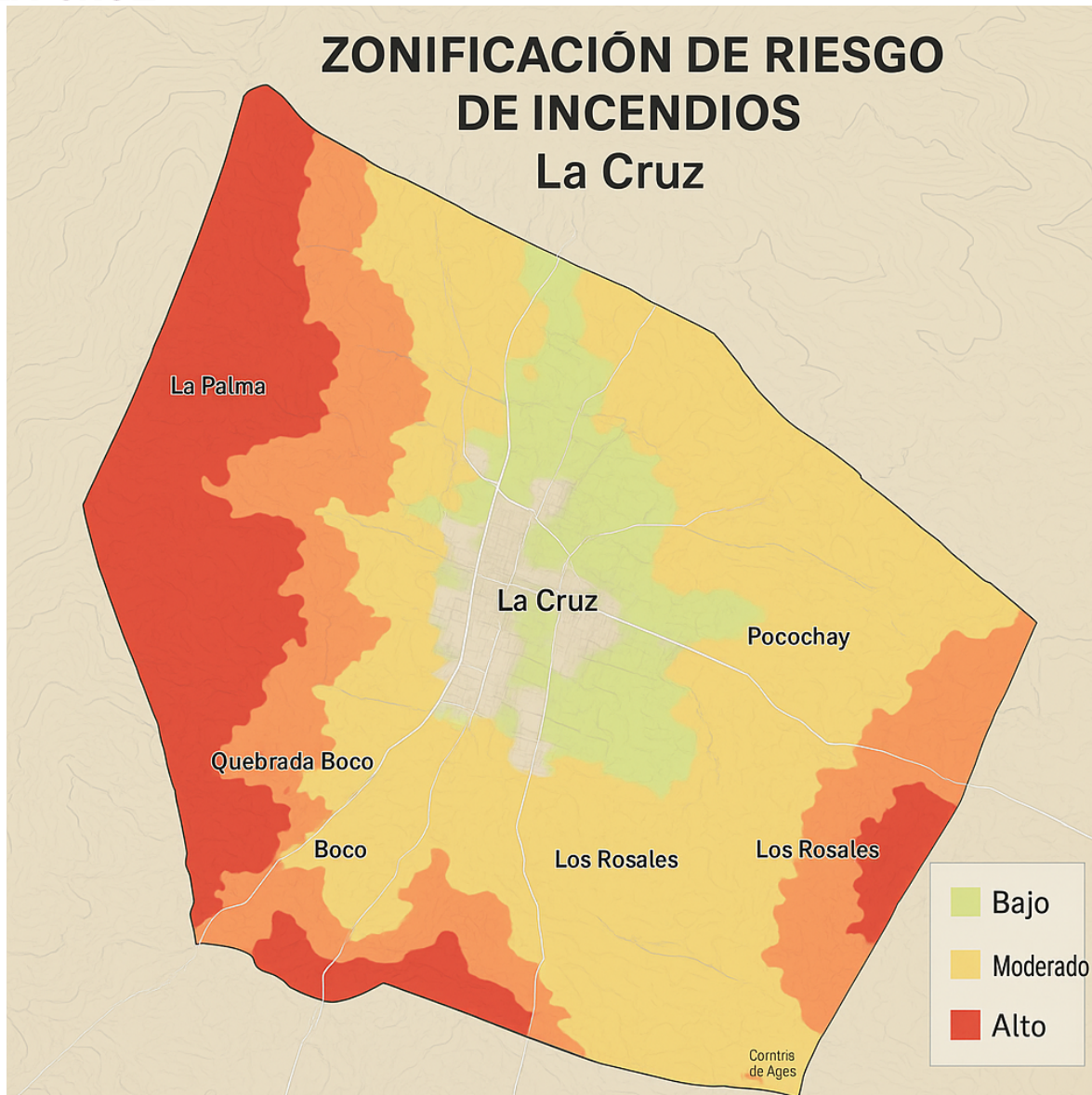
- **NDVI bajo (<0.2):** en quebradas y áreas de abandono agrícola.
- **NDVI medio (0.2–0.4):** zonas de transición rural-urbana.
- **NDVI alto (>0.5):** sectores agrícolas activos, con menor riesgo si existe manejo del suelo.

Las zonas con menor NDVI coinciden con las de mayor pendiente, lo cual agrava la posibilidad de propagación del fuego.

En función del análisis espacial y territorial, se propone la siguiente zonificación:

- **Zona de riesgo alto:**
 - Quebradas ponientes y sur de la comuna (Quebrada del Ají, El Llano): Vegetación natural, abandono agrícola, topografía compleja. Conectividad limitada, riesgo de aislamiento.
 - Laderas con vegetación seca, especialmente entre Pocochay y La Palma: Alta concentración de viviendas en contacto con vegetación.
 - Parcelaciones en expansión y escasa infraestructura de emergencia Sector Lo Rojas
 - Sectores agrícolas abandonados cercanos a zonas habitadas.
- **Zona de riesgo medio:**
 - Sector sur y suroeste (camino a Quillota): Áreas de cultivo activo con continuidad vegetal, pero presencia de caminos o cortafuegos. Zonas periurbanas con menor densidad vegetal.
- **Zona de riesgo bajo:**
 - Centro urbano consolidado de La Cruz.
 - Áreas sin vegetación natural ni combustible superficial.

Zona	Características	Nivel de Riesgo
Pocochay–La Palma	Interfaz urbano-vegetacional, sin cortafuegos	Alto
Centro urbano	Bajo NDVI, infraestructura consolidada	Bajo
Laderas ponientes	Vegetación seca, pendiente alta	Muy Alto
Zonas agrícolas activas	Vegetación ordenada y uso de agua	Medio
Parcelas en expansión	Suelo degradado, expansión informal	Alto



Fuente: Elaboración propia

9.7. Historial de Incendios y Zonas Recurrentes (Versión ampliada)

Durante la última década (2013–2023), la comuna de La Cruz ha registrado incendios forestales de distintas magnitudes, tanto en su zona rural como en sectores periurbanos. Aunque no todos alcanzan niveles catastróficos, la frecuencia y localización permiten identificar zonas críticas de recurrencia. La fuente principal es CONAF, complementada por reportes municipales y prensa regional.

Frecuencia y comportamiento:

- En promedio, se registran entre **6 y 15 incendios forestales por temporada** dentro o en cercanías del límite comunal.
- Los meses más críticos son **enero y febrero**, con extensión de riesgo hacia marzo si las lluvias tardan.
- La mayoría de los incendios tienen origen **antrópico** (quemadas agrícolas, colillas, quema de basura, fogatas, etc.), según CONAF (>99%).

Zonas de mayor recurrencia:

Sector	Características del área	Frecuencia (últimos 10 años)	Riesgo actual
Quebrada del Aji	Vegetación densa, pendiente fuerte	Alta (4–5 eventos)	Muy alto
Laderas de Pocochay	Interfaz urbano-vegetacional, expansión urbana	Alta (4 eventos)	Alto
San Rafael	Suelo agrícola y periurbano, poca vigilancia	Media (2–3 eventos)	Alto
Sector camino La Palma–La Calera	Presencia de matorral seco, caminos rurales	Media (2 eventos)	Medio-Alto
Ruta F-62	Zona de tránsito con vegetación sin manejo	Media-baja	Medio

Patrones territoriales observados:

- Los **focos tienden a repetirse** en zonas de borde urbano con vegetación desordenada.
- La **expansión de parcelaciones rurales** ha incrementado la exposición de viviendas a estos focos.
- El **viento predominante del oeste** favorece la propagación hacia áreas pobladas desde las quebradas.
- En muchos casos, los incendios **reavivan zonas previamente afectadas**, lo que indica procesos de acumulación de biomasa no controlados tras eventos anteriores.

Consideraciones adicionales:

- Varios incendios han ocurrido **en las inmediaciones de caminos rurales sin señalización**, dificultando la respuesta.
- Existen **reincidencias en zonas de matorral y pastizal abandonado**, especialmente donde hay falta de cortafuegos o vigilancia.
- La **falta de fiscalización en quemas agrícolas y el uso de fuego doméstico en sectores rurales** sigue siendo una debilidad estructural.

Ahora bien, una consideración especial corresponde a las zonas circundantes al área urbana consolidada de uso habitacional que contienen dentro del límite urbano aún la persistencia de grandes paños agrícolas, principalmente de cultivos de **palto**, que si bien aportan cobertura vegetal y generan actividad económica, **no actúan como zonas seguras ni cumplen funciones de amortiguación frente a incendios forestales**. Por el contrario, estas plantaciones, muchas veces **inmersas dentro de la trama urbana o colindantes a áreas habitadas**, representan una amenaza directa en términos de continuidad del combustible vegetal, acumulación de biomasa seca, y dificultad para establecer cortafuegos o zonas de evacuación eficaces.

Esta situación es especialmente relevante hacia el **borde norte del límite urbano, en dirección al río Aconcagua**, donde existen predios activos con cultivo de palto que no presentan separación funcional respecto a las viviendas cercanas. Estas áreas, al no estar sujetas a normativas de urbanización ni a prácticas forestales de mitigación, permanecen **sin gestión del combustible vegetal ni restricciones en el uso del fuego**, incrementando significativamente la exposición de la población y la infraestructura.

De esta manera la presencia de plantaciones de palto dentro del límite urbano presenta algunas características de cuidado:

1. Cobertura vegetal dentro del límite urbano ≠ espacio público verde

El hecho de que dentro del límite urbano haya **extensos paños agrícolas (paltos)** implica que no

estamos hablando de áreas verdes planificadas, sino de monocultivos productivos que:

- **Acumulan biomasa** altamente inflamable en verano (ramas, hojas secas).
- Son **difíciles de intervenir en emergencias** por su parcelación privada.
- No actúan como zonas seguras ni como cortafuegos naturales.

Esto rompe con la lógica típica de “vegetación urbana” como mitigante del riesgo y **la convierte en una amenaza latente**, especialmente en borde de quebradas o franjas colindantes a viviendas.

2. Fragmentación y continuidad del combustible

Las plantaciones de palto crean **un continuo vegetacional dentro del límite urbano**, especialmente hacia el río Aconcagua. Esto tiene dos efectos:

- **Facilitan la propagación horizontal del fuego**, desde quebradas o zonas agrícolas hacia áreas habitadas.
- **Dificultan la implementación de cortafuegos**, ya que las calles urbanas no interrumpen necesariamente el manto vegetal.

3. Aumento de la exposición residencial

Estas zonas están muchas veces en áreas **sin planificación vial ni cortafuegos internos**, lo que significa:

- Mayor dificultad de acceso para bomberos o brigadas.
- Mayor exposición de viviendas en contacto directo con vegetación productiva.
- Riesgo de reactivación del fuego por biomasa no removida tras la cosecha.

4. Riesgos sociales e institucionales

- Conflictos entre usos del suelo: vivienda vs. agricultura intensiva.
- Dificultad para implementar normativas de seguridad (porque son predios privados).
- Falta de fiscalización de medidas preventivas (manejo de rastrojo, limpieza de fajas).

8. Escenario Proyectado al 2030 (Cambio Climático)

Según proyecciones regionales (CR2, MMA), hacia el año 2030 se espera:

- Aumento de la temperatura media anual entre 1.5 °C y 2.0 °C.
- Reducción de las precipitaciones anuales entre un 10% y 20%.
- Extensión de la temporada seca en más de 30 días.
- Mayor frecuencia de olas de calor e incendios de alta intensidad.

Estos factores modificarán las condiciones actuales del territorio, incrementando el riesgo estructural de incendios, especialmente en zonas que hoy son clasificadas como de riesgo medio.

La continuidad del proceso de urbanización en zonas rurales sin criterios de gestión del riesgo aumentará la exposición de la población a eventos extremos.

9. Recomendaciones Técnicas y de Gestión

- **Prevención:**
 - Implementar cortafuegos en bordes de quebradas y zonas de interfaz.
 - Monitoreo satelital en tiempo real con sensores térmicos y NDVI estacional.
 - Campañas de educación permanente en comunidades vulnerables.
- **Planificación Territorial:**
 - Incorporar la zonificación de riesgo al Plan Regulador Comunal.
 - Restringir la urbanización en áreas de alta pendiente y vegetación densa.
 - Diseñar zonas de amortiguación y protección alrededor de áreas críticas.
- **Infraestructura:**
 - Mejorar rutas de evacuación y señalización.

- Instalar reservorios de agua y acceso a fuentes hídricas para respuesta rápida.
- **Gestión de Emergencias:**
 - Protocolos coordinados con CONAF, bomberos y municipalidades vecinas.
 - Sistemas de alerta temprana con participación comunitaria.

Sin perjuicio de lo anteriormente señalado en cuanto a recomendaciones, también cabe considerar que en las áreas urbanas en vez de intentar normar prácticas agrícolas dentro de ellas, lo cual escapa a las facultades del Plan Regulador Comunal conforme a la Ley General de Urbanismo y Construcciones, se propone como estrategia prioritaria **reclasificar los paños agrícolas activos dentro del límite urbano, especialmente los dedicados a cultivo de palto, hacia zonas urbanas consolidadas**. Esta transformación permitiría establecer criterios urbanísticos, generar continuidad vial, establecer franjas de seguridad, e integrar estos sectores a la planificación comunal desde una lógica de ciudad resiliente. La reducción de riesgo, en este caso, se logra no regulando la actividad agrícola per se, sino **transformando la categoría de suelo para evitar la exposición urbana directa a fuentes de ignición y propagación**.

Esto implica:

- Que dejen de ser tratados como suelos agrícolas activos dentro del límite urbano.
- Pasar a formar parte del tejido urbano consolidado con reglas claras de urbanización.
- Aplicar criterios de densidad, vialidad y tipología urbana que sí están dentro del marco del PRC.

En términos concretos se pueden entonces inferir que una zona urbana consolidada al interior del límite urbano trae como disminución del riesgo forestal:

1. **Reduce la continuidad de combustible vegetal** en zonas colindantes a viviendas.
2. Permite generar **cortafuegos urbanos reales**, a través de planificación vial, plazas o usos compatibles.
3. Facilita el diseño de **rutas de evacuación**, zonas de seguridad y espacios públicos amortiguadores.
4. Abre la posibilidad de integrar estos predios a **instrumentos de mitigación urbana y normativas de edificación**, que sí son competencia municipal.

9.10. Conclusiones

La comuna de La Cruz enfrenta un riesgo estructural de incendios forestales derivado de su configuración geográfica, su cobertura vegetal y las condiciones climáticas actuales y proyectadas. La existencia de zonas de interfaz urbano-rural mal gestionadas, combinadas con vegetación seca, laderas empinadas y expansión urbana, configuran un escenario de alta exposición.

La planificación territorial debe incorporar herramientas técnicas como este tipo de análisis para orientar la toma de decisiones. La prevención, la educación comunitaria, la vigilancia satelital y el manejo del paisaje son fundamentales para reducir la vulnerabilidad de la comuna ante futuros eventos extremos.

Un aspecto crítico dentro del límite urbano de La Cruz es la persistencia de **grandes paños agrícolas, principalmente de cultivos de palto**, que si bien aportan cobertura vegetal y generan actividad económica, **no actúan como zonas seguras ni cumplen funciones de amortiguación frente a incendios forestales**.

Por el contrario, estas plantaciones, muchas veces **inmersas dentro de la trama urbana o colindantes a áreas habitadas**, representan una amenaza directa en términos de **continuidad del combustible vegetal, acumulación de biomasa seca, y dificultad para establecer cortafuegos o zonas de evacuación eficaces**.

Esta situación es especialmente relevante **hacia el borde norte del límite urbano**, en dirección al **río Aconcagua**, donde existen predios activos con cultivo de palto **sin separación funcional respecto a viviendas**. Estas áreas, al no estar sujetas a normativas de urbanización ni a prácticas forestales de mitigación, permanecen **sin gestión del combustible vegetal ni restricciones en el uso del fuego**, incrementando significativamente la **exposición de la población y la infraestructura**.

La comuna de La Cruz enfrenta una situación territorial compleja, en la que convergen elementos

rurales, agrícolas y urbanos dentro de un mismo límite normativo. La existencia de extensos paños agrícolas, en especial de cultivo de palto, al interior del límite urbano constituye un factor crítico de exposición frente al riesgo de incendios forestales, al generar continuidad vegetal, acumulación de biomasa y dificultades operativas para la prevención y el control del fuego.

Dado que el Plan Regulador Comunal **no tiene atribuciones para regular directamente las prácticas agrícolas dentro de predios privados**, y considerando además la tendencia expansiva de la urbanización informal hacia zonas de interfaz, se concluye que **una de las estrategias más efectivas de mitigación estructural es promover la urbanización planificada y consolidada dentro del límite urbano ya propuesto por el PRC.**

Esta urbanización dirigida permitiría:

- Reemplazar coberturas vegetales inflamables por estructuras reguladas.
- Generar vialidades interconectadas que actúen como cortafuegos urbanos.
- Incorporar normativas de densidad, uso y seguridad desde el diseño urbano.
- Reducir presiones sobre bordes rurales y quebradas vulnerables.

Así, en lugar de expandir el riesgo hacia nuevas zonas, **el territorio puede ser conducido hacia un patrón urbano más compacto, seguro y normativamente gestionable**, alineando el desarrollo local con criterios de sustentabilidad, resiliencia climática y justicia territorial.

Esta conclusión no busca promover la pérdida de suelo agrícola sin criterio, sino advertir que **el manejo pasivo de estos espacios dentro del límite urbano representa un riesgo real y creciente** que debe abordarse con visión técnica, jurídica y territorial.

8.3 Anexo C: Hidrología

8.3.1 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas.

Cuadro 7 Base de datos estación meteorológica Lo Rojas

AÑO	FECHA	MÁXIMO EN 24 HRS. PRECIPITACIÓN (mm)
1974	27/06	80.50
1975	03/07	49.50
1976	02/11	49.50
1977	22/07	74.50
1978	19/07	92.00
1979	26/07	65.80
1980	18/07	83.00
1981	11/05	121.70
1982	12/08	96.00
1983	20/06	70.00
1984	04/07	122.50
1985	28/07	45.00
1986	27/05	68.70
1987	11/08	143.50
1988	13/08	46.00
1989	25/07	55.00
1990	16/07	34.00
1991	18/06	91.00
1992	24/06	87.00
1993	29/08	33.50
1994	22/05	68.00
1995	13/08	48.50
1996	06/07	49.00
1997	29/05	78.50
1998	05/06	17.50
1999	28/06	51.00
2000	12/06	101.50
2001	29/07	111.50
2002	03/06	165.00
2003	20/05	67.30
2004	02/08	62.00
2005	27/06	43.00
2006	25/07	75.50
2007	13/06	40.00
2008	20/05	100.00
2009	19/06	68.00
2010	17/06	41.00
2011	18/06	51.00
2012	26/05	78.00
2013	27/06	47.00
2014	11/06	58.00
2015	06/08	76.00
2016	24/07	63.00
2017	16/06	43.00
2018	10/06	82.00

Fuente: Periodo 01/01/1974 – 10/06/2018. Datos extraído de Red Hidrometeorológica DGA el 09/11/2018.

8.4 Anexo D: Catastro de peligros geológicos

8.4.1 Fuentes de información consultadas

A continuación, se presenta el detalle de las publicaciones científicas y libros (Cuadro 8), artículos de prensa (Cuadro 9) y sitios web (Cuadro 10) consultadas para la construcción del catastro de peligros geológicos:

Cuadro 8 Publicaciones científicas y libros consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos que han afectado la comuna de La Cruz

AÑO DE PUBLICACIÓN	AUTOR	TÍTULO
1993	Urrutia y Lanza	Catástrofes en Chile 1541-1992
2003	Lara y Rauld	Los Desastres Naturales en Chile durante el Siglo XVI-
2002	Miguel Núñez Mercado y Roberto Silva Bijit	Apuntes para una historia de La Cruz-
2012	Habiterra S.A	Diagnóstico Plan Regulador Intercomunal de la Campana, Región de Valparaíso-

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

Cuadro 9 Artículos de prensa consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos que han afectado la comuna de La Cruz

DÍA	MES	AÑO	DIARIO	TITULAR
1	12	1898	El Progreso	Los Desastres del río
8	1	1899	El Progreso	El río
15	1	1899	El Progreso	El río
22	1	1899	El Progreso	Río Aconcagua
26	2	1899	El Progreso	El río Aconcagua
11	6	1899	El Progreso	Río Aconcagua
20	8	1899	El Progreso	Espantosas ruinas por las lluvias del centro de la República
27	3	1934	Diario Aconcagua	Los Damnificados reciben el beneficio de los Porteños
5	1	1935	Diario Aconcagua	Ha aumentado el caudal del río Aconcagua
S/I	S/I	1941	La Época	S/I
22	6	1972	La Semana	70 damnificados por lluvias
13	7	1984	El Mercurio Valparaíso	S/I
16	7	1987	La Época	S/I
16	7	1987	El Mercurio Valparaíso	S/I
4	5	1993	El Mercurio Valparaíso	S/I
25	6	1997	Diario Dimensión	4 mil damnificados, 1 muerto y 1 desaparecido
25	6	1997	Diario Dimensión	El drama de Las Cabritas
20	7	2001	La Época	S/I
30	7	2001	Impacto	Alud de piedras y rocas obstaculizó nueve horas el camino de Pachacama
4	6	2002	El Mercurio Valparaíso	Peor temporal desde 1997
13	06	2012	Estrella Quillota	Balance por sistema frontal tiene en alerta a varios sectores de Quillota

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

Cuadro 10 Sitios web consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos que han afectado a la comuna de La Cruz

TÍTULO	SITIO WEB
Datos sismológicos de Chile, del Servicio Sismológico Nacional CSN	http://www.sismología.cl
Sistema de Inventario de efectos de desastres, Chile	http://www.desinventar.org/database
Centro regional de sismología para América del Sur. CERESIS	http://www.ceresis.cl
Catálogo NEIC, National Earthquake Information Center	https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/
www.t13.cl Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.	http://www.t13.cl/noticia/nacional/Onemi-3-personas-damnificadas-y-942-aisladas-por-sistema-frontal

8.4.2 Catastro de inundaciones terrestres

En el Cuadro 12, se presenta un catastro detallado de las inundaciones terrestres que han afectado a la comuna de La Cruz y sus alrededores, desde 1748 hasta 2012. De acuerdo a la información recopilada, las inundaciones terrestres más significativas de los últimos 40 años que han afectado a la comuna de La Cruz ocurrieron en los años 1982, 1987, 1997 y 2002.

El catastro obtenido fue ordenado de acuerdo a los siguientes datos:

- **Fecha:** día (si existe esta información), mes (si existe esta información) y año en que ocurrió el evento catastrado.
- **Tipo:** tipo de inundación terrestre. Se especifica cuando se trata de una inundación por "desborde de cauce" y/o "anegamiento". Cuando no es posible distinguirlos, se expresa sólo como "inundación".
- **Mm de agua:** los registros de precipitaciones en milímetros de agua caída durante el evento catastrado en las localidades señaladas. Los datos de agua caída, tanto la cantidad de agua máxima caída en 24 horas como las precipitaciones mensuales o anuales se extrajeron de los reportes meteorológicos de la Dirección Nacional de Aguas.
- **Descripción del evento:** explicación sobre el evento ocurrido enfocada a los daños ocasionados.
- **Intensidad:** interpretación de intensidad de daños. Para estimar esta intensidad, se utiliza una escala basada en la descripción obtenida a partir de las descripciones de los eventos catastrados, dándole a cada evento un valor cualitativo local (Cuadro 11). Se han definido 5 clases de intensidades, que integran fuerza, alcance y tipo de daños realizados por el evento en cuestión. Se denota con un signo de interrogación ("?") cuando no existe suficiente información para estimar el daño.
- **Zonas afectadas:** sectores afectados por el evento catastrado (a modo general).
- **Referencias:** fuentes de la bibliografía que describen el evento.

Cuadro 11 Escala de intensidad de daños para inundaciones terrestres

INTENSIDAD			DESCRIPCIÓN DE INTENSIDAD
0	SD	Sin Daños	Cauces de agua corren por los lugares habituales aumentando su caudal. Agua caída corre por canalizaciones naturales y artificiales. Piscinas de contención acumulan agua sin llenarse. Se generan anegamientos cerca de los terraplenes de caminos, ferrovías y viviendas.
1	B	Baja	Cauces de agua aumentan su caudal hasta desbordarse. Se inundan canales secos, calles y casas en sectores ribereños. Daños leves en construcciones ligeras. Anegamientos pueden sobrepasar caminos y ferrovías generando acumulaciones de barro.
2	M	Media	Cauces de agua y canales secos transportan barro y materiales de menor tamaño. Se generan acumulaciones de barro en calles y construcciones ligeras, daños leves en construcciones sólidas. Se socavan levemente cimientos y terraplenes de caminos y ferrovías, generando interrupciones de caminos. Menos de 1 decena de damnificados.
3	A	Alta	Cauces de agua y quebradas transportan barro, piedras y materiales de mayor tamaño. Construcciones ligeras son destruidas por los cauces, al igual que automóviles pequeños, personas o durmientes de la ferrovía, inundación parcial de sectores más alejados de cauces. Las construcciones sólidas son socavadas y tienen daños importantes. Defensas fluviales son sobrepasadas. Hay casas aisladas, decenas de damnificados, caminos inhabilitados.
4	MA	Muy Alta	Cauces de agua y quebradas transportan grandes rocas o materiales de gran tamaño. Árboles, estructuras sólidas u objetos de gran tamaño son removidos de sus cimientos y arrastrados por el cauce. Destrucción de defensas fluviales, anegación de sectores no próximos a cauces. Personas desaparecidas, fallecidos, cientos de damnificados. Poblaciones anegadas. Ferrovías son deformadas o cortadas. Evacuaciones de emergencia.

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

Cuadro 12 Catastro de inundaciones que han afectado a la comuna de La Cruz y sus alrededores

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
1748	Inundación por desborde de cauce	-	Temporal de invierno desbordó el río Aconcagua en los primeros días de mayo, llevándose puente y el material de construcción de sus orillas, obras que buscaban dar mayor auge a San Felipe y al Tráfico de los comerciantes de Cuyo y Bs. Aires.	MF	Cuenca del río Aconcagua	Urrutia & Lanza (1993)	-
1827	Inundación por desborde de cauce	-	Temporales de lluvia, vientos y aun nieve, azotaron desde Copiapó hasta más al sur de Curicó. En Quillota, el río Aconcagua se desbordó, inundando grandes extensiones de terrenos agrícolas, destruyendo las viñas, plantaciones y las viviendas de las partes bajas de la ciudad.	M	Copiapó a Curicó	Urrutia & Lanza (1993)	-
1835	Inundación por desborde de cauce	-	Año muy lluvioso, en Quillota hubo que construir un dique, con aporte estatal, para defender a la ciudad de las inundaciones.	SD	Copiapó a Colchagua	Urrutia & Lanza (1993)	-
1864	Inundación por desborde de cauce	-	Temporales provocaron el desborde de varios esteros y ríos en la zona central. Se inundaron los caminos que unían a Santiago con Quillota.	B	Región de Valparaíso y RM	Urrutia & Lanza (1993)	-
1878	Inundación *	-	Fuerte temporal de viento, lluvia y nieve afectó la zona central del país. Entre La Calera y Valparaíso la línea férrea se interrumpió con los deslizamientos de tierra ocasionados por las fuertes lluvias.	F	Zona central	Urrutia & Lanza (1993)	-

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
Agosto 1888	Inundación por desborde de cauce	-	Temporal que causa desborde del río Aconcagua. En La Calera se inundaron los barrios del lado norte y los del barrio sur; se interrumpieron las comunicaciones telegráficas; los caminos quedaron cortados; la línea férrea hacia el norte y hacia el sur quedó destruida por los desbordes del río, que también arrasó con los puentes. El río Aconcagua se llevó parte de los terraplenes a la altura de Curimón y dejó aislados por varios días a los habitantes del barrio El Boco, en Quillota.	MF	Copiapó a Concepción	Urrutia & Lanza (1993)	
01/12/ 1898	Inundación por desborde de cauce	-	El río Aconcagua ha aumentado el caudal, desviando el curso de sus corrientes aguas, dejando en ruinas habitaciones y sembrados. El viaducto del ferrocarril Deucauville de los hornos de cal, en Las Cabritas, junto con la línea férrea se inhabilitaron, con el río amenazando en llevarse la línea central.	F	La Calera y alrededores	Diario El Progreso	-
Enero-Febrero 1899	Inundación por desborde de cauce	-	Crecidas del río Aconcagua se toman calles, destruyendo tiendas y habitaciones, dejando en peligro de derrumbe a varias casas. Las barreras para desviar el curso del río son sobrepasadas, provocando que el río arrastre casas y lo que encuentre a su paso. Luego de su retirada deja lecho del río, zanjas y quebradas donde había poblaciones.	F	La Calera y alrededores	Diario El Progreso	-
Invierno 1899	Inundación por desborde de cauce	-	Espantosas ruinas por las lluvias, grandes inundaciones por río Bío-Bío, Mapocho, Aconcagua entre otros. Entre Calera y Cabildo hay destrucción de puentes y terraplenes, suspendiendo el tráfico. En el puente que atraviesa el Aconcagua se cortó terraplén parte norte. Puente de fierro del Estero El Litre quedó completamente inundado amenazando ser destruido como el del madero paralelo a este.	F	Zona central	Diario El Progreso	-

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
1900	Inundación por desborde de cauce	-	Temporales en Julio azotaron desde Valparaíso hasta Valdivia. El puente Rabuco, se destruyó parcialmente a consecuencia de la caída de uno de los machones; el puente Las Ovejas, situado entre Ocoa y Las Vegas, también se destruyó en parte, por el represamiento artificial de las aguas del Río Aconcagua, interrumpiendo el tránsito del tren.	F	Valparaíso a Valdivia	Urrutia & Lanza (1993)	-
06/05/ 1919 07/05/ 1919	Inundación	-	Un fuerte temporal de lluvia con vientos huracanados azotó a la zona central del país. Ciudades, pueblos y campos quedaron inundados, se perdieron las comunicaciones telefónicas y telegráficas, se cortó la energía eléctrica y se interrumpió el tráfico. Quilpué, Quillota, Limache y Llay Llay sufrieron inundaciones en las poblaciones donde las calles se convirtieron en verdaderos ríos.	M	Zona central	Urrutia & Lanza (1993)	-
Agosto de 1920	Inundación *	-	Un frente de mal tiempo con temporales de vientos, lluvia y nieve azotó a la zona central del país. En Valparaíso el temporal ocasionó la interrupción del servicio telegráfico hacia el sur y el servicio de la misma índole de ferrocarriles hasta La Calera.	B	Zona central	Urrutia & Lanza (1993)	-
Junio de 1926	Inundación por desborde de cauce	-	Temporales azotaron la zona central del país ocasionando daños en Valparaíso, Santiago y los pueblos y ciudades cercanos. En La Calera se inundaron bastantes sectores debido al desborde del río Aconcagua. Entre Limache y Peñablanca se destruyó el planchón central del puente Aranda debido a la crecida del estero Marga Marga.	B	Zona central	Urrutia & Lanza (1993)	-

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
1934	Inundación por desborde de cauce	-	El río Aconcagua produjo anegamientos en varios sectores de San Felipe, barrió las defensas de concreto en Quillota e inundó dos veces La Calera. En esta última ciudad el río se llevó las viviendas ubicadas en las riberas y el 3 de junio anegó en más de un metro todo el sector céntrico, dañando inmuebles y establecimientos comerciales. El día 27/06 los damnificados reciben el beneficio de los porteños.	F	Copiapó a Magallanes	Urrutia & Lanza (1993) Diario Aconcagua	-
Enero 1935	Inundación	-	Debido a los grandes deshielos producidos en la cordillera como consecuencia de los grandes calores, se ha constatado que el río Aconcagua ha aumentado de caudal, amenazando los sectores aledaños al río.	SD	La Cruz y alrededores	Diario Aconcagua	-
08/08/1941 15/08/1941	Inundación por desborde de cauce e inundaciones	-	Entre el 8 y 15 de agosto el desborde del estero Pocochay provocó graves problemas a la producción agrícola de la Cruz y Quillota. El río Aconcagua se salió en varias partes.	B	La Cruz y Quillota	Apuntes para una historia de La Cruz	I01
Diciembre de 1941	Inundación por desborde de cauce	-	Deshielos en la cordillera provocaron que en La Calera el río Aconcagua arrasara con cuarenta metros de defensas, inundando parte de la ciudad.	B	La Calera y alrededores	Diario La Epoca	-
Julio – Agosto 1944	Inundación por desborde de Cauce	-	En invierno de ese año, se salió el río Aconcagua y, después de las lluvias, se encontraron 4 personas muertas en el cauce. Ese mismo año, hubo temporales entre el 6-9 de agosto, lo que se volvió a repetir a fines del mes.	M?	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
23/05/1953	Inundación por desborde de cauce e inundaciones	-	Se registró uno de los temporales más grandes que se tenga recuerdo en la comuna. Hubo millonarios daños en las siembras y en el ganado. El río Aconcagua y los esteros se salieron de su cauce y ocurrieron las mayores heladas registradas en la comuna.	M?	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-
18/05/1957 20/05/1957	Inundación por desborde de cauce y anegamiento	-	Un nuevo temporal hizo salirse el río Aconcagua en varias partes, los esteros anegaron las siembras, los canales perdieron sus bocatomas, y las acequias anegaron y cortaron el tránsito por las calles.	M	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-
Diciembre 1963	Inundación por desborde de cauce	-	A mediados de diciembre de 1963 debido a una brusca alza de temperaturas, el río Aconcagua creció enormemente su caudal, desbordándose en 3 puntos de la comuna y provocando enormes daños.	B?	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-
Agosto de 1965	Inundación por desborde de cauce	E. Lo Rojas (09/08): 101,4 mm.	Fuerte Temporal de viento y lluvia de larga duración afectó a 22 provincias del país desde los primeros días de julio hasta mediados de agosto. La vía férrea tuvo destrozos entre La Paloma y La Calera, provocando el bloqueo total del transporte por tierra. En Petorca, La Ligua, Longotoma, Quillota, Los Nogales, Quilpué, Villa Alemana, Peñablanca, Limache, La Calera, La Cruz, Puchuncaví, Quintero, Casablanca los damnificados sumaron más de cinco mil personas que fueron ubicadas en estadios, escuelas, recintos policiales, de bomberos, municipales y del ejército. Los ríos y esteros se desbordaron arrasando con las poblaciones ribereñas, las pequeñas industrias caseras, crianza de aves y animales y con los caminos transversales.	F	Atacama a Aysén	Urrutia & Lanza (1993)	-

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
06/067 1969	Inundación por desborde de cauce y anegameinto	-	Un violento temporal de lluvia terminó con la sequía de dos años. Lamentablemente la enorme cantidad de precipitaciones también hicieron que se saliera el río y los esteros y se inundara gran parte de la comuna y la zona.	M*	La Cruz y alrededores	Apuntes para una historia de La Cruz	-
Julio de 1970	Inundación por desborde de cauce	-	En los primeros días de julio 1970: hubo un temporal de tres días seguidos "y llovió ininterrumpidamente por cien horas». Se salieron el río, los esteros y las acequias. Incluso descarriló un tren.	M	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-
Mayo de 1972	Inundación por desborde de cauce	-	Temporal hizo salirse al río de su cauce y las lluvias anegaron la comuna	?	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-
Junio de 1972	Inundación por desborde de cauce	E. Lo Rojas (13/06): 78,2 mm.; E. Estero Rabuco (13/06): 52 mm.	Por causa de lluvias y viento la zona se ve afectada por crecida de ríos Aconcagua y cerca de La Calera, el desborde del canal Serrano cortó el tráfico ferroviario entre Santiago y Valparaíso.	M	Norte Chico a Puerto Montt	Urrutia & Lanza (1993) Diario La Semana	-
Mayo 1074	Inundación		Entre el 21 y 22 de mayo, se repitieron los temporales, las inundaciones y los daños en la parte urbana y rural de la comuna.	?	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
Julio 1975	Inundación		El 1 Y 3 de julio de 1975, la situación se repitió. Las lluvias e inundaciones volvieron entre el 10 y 13 de julio del mismo año.	?	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-
Mayo de 1976	Inundación por desborde de cauce	-	Desde el 26 al 30 llovió sin parar en la zona. El río volvió a salirse de su cauce e inundó amplios terrenos.	?	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-
14/07/1978	Inundación *	E. Lo Rojas (19/07): 92 mm.; E. Estero Rabuco (19/07): 72,5 mm.; E. Quillota (13/07): 51,5 mm.	Una semana de lluvia en la zona central y 14 días en el sur, dejaron por lo menos 12 muertos y 4000 damnificados. En la provincia de Quillota hubo inundación de calles y terrenos agrícolas	M*	Zona central y sur	Urrutia & Lanza (1993) El Mercurio	-
07/12/1980	Inundación por desborde de cauce	-	Inundación por causa de deshielos del Rio Aconcagua, se contabilizaron 8 damnificados y 2 viviendas afectadas en la comuna.	B	La Calera y alrededores	La Tercera Desinventar.org	-
11/05/1981	Inundación *	E. Lo Rojas (11/05): 121,7 mm.; E. Estero Rabuco (11/05): 106 mm.; E. Quillota (11/05): 98 mm.	Temporal aqueja la comuna y se deben evacuar a 23 damnificados, siendo albergados en la Junta de Vecinos Nueva Calera. Se contabilizan 5 casas afectadas en la zona.	M	La Calera y alrededores	El Mercurio Desinventario.org	-

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
12/05/1982	Inundación *	-	Inestabilidades atmosféricas ocasionan en el país temporal de viento y lluvia. Entre el 12 y el 17 de mayo de 1982, llovió, prácticamente sin parar, y se salió el río, se rebalsaron los esteros y acequias, se cortaron puentes y caminos. La comuna debió asumir el dolor de decenas de familias damnificadas y «el destrozo en obras sanitarias y rebasamiento de cauces que inundaron La Cruz y Quillota. Hubo más de 320 damnificados.	F	La Cruz y alrededores	El Mercurio Desinventar.org Apuntes para una historia de La Cruz	
27/06/1982	Inundación por desborde de cauce	-	Intensas lluvias provocan el desborde del Río Aconcagua, se evacuan a 50 damnificados.	F	La Calera	El Mercurio Desinventar.org	-
14/07/1982	Inundación por desborde de cauce	-	Temporal por fenómeno del Niño genera evacuación por riesgo de desborde del río Aconcagua, afectando a 300 personas que son evacuadas el día 17 del mismo mes.	F	Cuenca del río Aconcagua	El Mercurio Desinventario.org	-
13/07/1984 14/07/1984	Inundación por desborde de cauce	E. Lo Rojas (04/07): 122,5 mm.; E. Estero Rabuco (04/07): 102 mm.; E. Quillota (03/07): 82 mm.	Producto del desborde del río Aconcagua en la ciudad de La Calera, se debió evacuar a las personas aisladas utilizando helicópteros e improvisación de puentes militares.	M	La Calera y alrededores	El Mercurio Valparaíso	-
Abril y Junio de 1986	Inundación		El 19 y 20 de abril hubo temporales de viento y lluvia e inundaciones del sector urbano y los campos. La situación, con mayor fuerza, se repitió entre el 15 y 17 de junio.	?	La Cruz	Apuntes para una historia de La Cruz	-

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
09/07/1987	Inundación por desborde de cauce		El 9 de julio de 1987 se iniciaron los temporales más grandes del siglo que ha vivido la comuna. Hasta agosto seguía lloviendo y el río, que llegó a superar los dos mil metros cúbicos de agua por segundo, se había llevado gran parte del puente colgante de Lo Rojas, donde murió una persona, que estaba sobre el viaducto. El camino a Boco se cortó y se salió el Estero de Lo Rojas, aislando a cientos de personas. También el río se había salido por varios lados, en El Molino, Chorrillos, Las Barrancas y el callejón González. Se destruyó completamente la Poza Cristalina. La parte urbana y el campo se anegaron completamente. Las pérdidas en la agricultura superaron el 60 por ciento y se habló de decenas de millones en daños. Además, el río destruyó canchas de fútbol, potreros con sembradíos y arboledas. Los damnificados sumaron cientos de familias. Muchas de ellas, por el rebalse del río o los esteros, perdieron todo lo que tenían.	MF	La Cruz y alrededores	Apuntes para una historia de La Cruz	I02
14/08/1987	Inundación por desborde de cauce	E. Lo Rojas (11/08): 143,5 mm.; E. Estero Rabuco (11/08): 90,4 mm.; E. Quillota (03/07): 82 mm.	El 14 de agosto 1987 se repitieron los temporales. El resumen de la época señala que, en esta oportunidad, se reportaron ocho viviendas completamente dañadas; 82 familias damnificadas, y 69 albergadas. Los derrumbes y los anegamientos cerraron el tráfico por el camino de El Naranjal, El Belloto, Ricardo Santa Cruz, Pedro Aguirre Cerda y todos los accesos a Lo Rojas. La lechería de la localidad perdió miles de litros. El río se había salido de nuevo, llevándose miles de hectáreas de terrenos cultivados.	M	La Cruz y alrededores	Apuntes para una historia de La Cruz	I03

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
18/06/1991	Anegamiento		Viviendas anegadas		La Cruz	Desiventar.org El Mercurio	
04/05/1993	Inundación por desborde de cauce	E. Estero Rabuco (05/05): 47,5 mm.	De acuerdo a lo consignado en el diario El Mercurio de Valparaíso, el temporal que afectó a la zona central provocó la crecida de importantes cauces, entre los cuales se hace mención al río Aconcagua. Se señala que en el sector de La Calera, se produjo una situación de riesgos por la crecida del río, ante lo cual el municipio debió realizar trabajos de reforzamiento en el barrio El Trigo y en el distrito rural de Las Cabras.	B	Zona central	El Mercurio Valparaíso	

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
22/06/1997 25/06/1997	Inundación por desborde de cauce	E. El Cobre (22/06): 89 mm.	Las precipitaciones se iniciaron el jueves 29 de mayo y con intervalos, se mantuvieron hasta el viernes 27 de junio, dejando los niveles de agua caída, hasta ese momento, en 562 mm³. El río se desbordó y destruyó la Poza Cristalina, que había sido entregada en concesión a dos empresarios. Además, destruyeron los campos deportivos del Club Riquelme, de Victoria Sportivo, del Aconcagua, Parcelas Unidas e Independencia y causaron daños en otras canchas en construcción. El desborde del río, que llegó a mil 600 metros cúbicos por segundo, dejó decenas de damnificados y a la parte norte de la comuna sin agua por varios días, debido a que se habían roto las bocatomas y no había agua para las plantas de tratamiento de agua potable. Entre los lugares más afectados se contaban Lo Rojas, cuyo puente colgante quedó inhabilitado por problemas en su pilar central. También se anegaron las calles Los Castaños y las Palma. En el sector de El Molino se salió el río y en los sectores ribereños de la Población Juan Pablo Segundo debieron ser evacuadas varias familias. Lo mismo ocurrió la final de Callejón González, donde el río se llevó un terreno sembrado. En Pocochay 18 familias quedaron aisladas. También se produjeron daños en las vías de Apablaza, Pisagua, 21 de Mayo, y Caupolicán. En la estación Romeral de la DGA, a las 13.00 hrs, debido a las fuertes precipitaciones, el caudal registrado fue de 1300 m³/s, lo que constituía un verdadero record de volúmenes de agua para el río Aconcagua.	MF	Región de Valparaíso	El Mercurio Valparaíso Dimensión Apuntes para una historia de La Cruz	I04

FECHA	TIPO	MM DE AGUA CAÍDA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	ZONAS AFECTADAS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
20/07/2001	Inundación	E. Lo Rojas (29/07): 111,5 mm.; E. El Cobre (29/07): 107,5 mm.; Estero Rabuco (18/07): 80 mm.; E. Quillota (29/07): 86 mm.	Temporal de viento y lluvia afecta la región de Valparaíso dejando destrozos en decenas de viviendas y 90 damnificados. Para los vecinos del sector La Palma vieron interrumpido los suministros de energía eléctrica y agua potable, hecho que igualmente afectó a lugareños del sector de Lo Rojas y Villa Los Paltos	F	Región de Valparaíso	Diario La Epoca El Mercurio	I05
04/06/2002	Inundación por desborde de cauce	E. Lo Rojas (03/06): 165 mm.; E. El Cobre (03/06): 108 mm.; Estero Rabuco (03/06): 150 mm.; E. Quillota (03/06): 109,5 mm.; E. Río Aconcagua en Romeral (03/06): 162 mm.	Frente de mal tiempo de 2 semanas deja 6 muertos, 8 desaparecidos y 12.178 damnificados en la V Región. Comunas de Quintero, Puchuncaví y Nogales aisladas y amplios sectores agrícolas completamente inundados. Dentro de la comuna de La Cruz, hubo 50 damnificados, dejó 500 vivienda con daño menos y 15 don daños mayores	MF	Región de Valparaíso	El Mercurio Valparaíso ONEMI	-
17/06/2012	Inundación	-	Frente de mal tiempo afecta la V región. Varias arterias de la provincia de Quillota sufrieron anegamiento. Afectando a viviendas conlindantes como el sector de Rebolar, Pedro Aguirre Cerda, El Crisol, Villa Aconcagua, Bernardino Concha con Alberdi, donde los colectores no dieron abasto por la cantidad de agua y basura que se acumuló.	?	Quillota y alrededores	Estrellaquillota	I06

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

8.4.3 Catastro de remociones en masa

En el Cuadro 14 se presenta un catastro detallado de las remociones en masa que han afectado a la comuna de La Cruz y sus alrededores, desde 1878 hasta 2016. En la bibliografía consultada, se encuentran sólo 4 eventos que describen remociones en masa que han afectado a la comuna de La Cruz; las descripciones que existen tienen caracterizaciones muy generales que no permiten distinguir con certeza a qué tipo de remoción corresponde. La mayoría de los eventos se describen como desprendimientos de material proveniente de los cerros que interrumpen o inhabilitan los caminos. Cabe destacar que todos los eventos descritos afectaron e interrumpieron vías de tránsito que comunican La Cruz con las comunas aledañas.

Es muy probable que en La Cruz hayan ocurrido más eventos de este tipo durante su historia, pero el carácter local de las remociones y su magnitud, dificulta su aparición en medios de comunicación, libros, registros científicos e inventarios realizados por organismos gubernamentales, si las consecuencias no fueron catastróficas.

El catastro obtenido fue ordenado de acuerdo a los siguientes datos:

- **Fecha:** día (si existe esta información), mes (si existe esta información) y año en que ocurrió el evento catastrado.
- **Descripción del evento:** explicación sobre el evento ocurrido enfocada a los daños ocasionados.
- **Intensidad:** interpretación de intensidad de daños. Para estimar esta intensidad, se utiliza una escala basada en la descripción obtenida a partir de las descripciones de los eventos catastrados, dándole a cada evento un valor cualitativo local (Cuadro 13). Se han definido 5 clases de intensidades, que integran fuerza, alcance y tipo de daños realizados por el evento en cuestión. Se denota con un signo de interrogación ("?") cuando no existe suficiente información para estimar el daño.
- **Zonas afectadas:** sectores afectados por el evento catastrado (a modo general).
- **Referencias:** fuentes de la bibliografía que describen el evento.
-

Cuadro 13 Escala de intensidad de daños para inundaciones terrestres

INTENSIDAD			DESCRIPCIÓN DE INTENSIDAD
0	SD	Sin Daños	Se puede observar avance de rocas o sedimentos de unos pocos centímetros por las laderas. Gravilla o arena puede caer en caminos o casas cercanas a los cerros de alta pendiente. No se observan daños a estructuras ni a personas
1	B	Baja	Se observa un avance de rocas o sedimentos en laderas, alcanzando los metros de distancia, pero sin intervenir caminos ni construcciones de asentamientos humanos. Sólo se registran daños leves en construcciones ligeras si es que las hay
2	M	Media	Se registran avances de la ladera de los cerros, en algunos casos tapando parcialmente caminos o entrando a los patios de las casas cercanas a las laderas de alta pendiente. Puede registrarse avance o caída de bloques medianos.
3	A	Alta	Cauces y quebradas transportan barro, piedras y materiales de mayor tamaño. Laderas avanzan tapando caminos o socavándolos, pueden caer bloques (rocas) de gran tamaño, dañando estructuras y edificaciones. Se registran cortes de caminos y caída de postes, es riesgoso permanecer cerca de laderas de alta pendiente. Construcciones ligeras son removidas y arrastradas por los cauces, al igual que automóviles pequeños, personas o durmientes de la ferrovía. Las construcciones sólidas son socavadas y tienen daños importantes
4	MA	Muy Alta	Cauces y quebradas transportan grandes bloques (rocas) o materiales de gran tamaño. Árboles, estructuras sólidas u objetos de gran tamaño son removidos de sus cimientos y arrastrados. Viviendas destruidas. Personas desaparecidas y/o fallecidas. Ferrovías son deformadas o cortadas. Grandes volúmenes de material desprendido de cerros o laderas y/o altas distancias recorridas por el material.

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018.

Cuadro 14 Catastro de remociones en masa que han afectado la comuna de La Cruz y sus alrededores

FECHA	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD	SECTORES AFECTADOS	REFERENCIA	CÓDIGO EN Figura 8
1878	Fuerte temporal de viento, lluvia y nieve afectó la zona central del país. Entre La Calera y Valparaíso la línea férrea se interrumpió con los deslizamientos de tierra ocasionados por las fuertes lluvias.	M	La Cruz y alrededores	Urrutia & Lanza (1993)	RM01
30/07/2001	Alud de piedras y rocas obstaculizó nueve horas el camino de Pachacama, el agrietamiento en el cerro provocó el desprendimiento, como una de las consecuencias del frente de mal tiempo. El material caído correspondía a tierra, piedras y grandes rodados.	F	Pachacama	Diario Impacto	-
04/06/2002	La vía Lo Rojas – Boco presentó erosiones, socavamientos y derrumbes desde el km 0 al 11	F	La Cruz (Ruta Lo Rojas-Boco)	El Mercurio Valparaíso Desinventario.org	RM02
04/06/2016	La Ruta F-366 que conecta las comunas de Quillota y La Cruz se encuentra interrumpido producto de rodados. La ruta se encuentra interrumpida desde el paradero 18 del sector Boco en la Comuna de Quillota, hasta el km 0 en la comuna de la Cruz.	M	Ruta F-366 que conecta las comunas de Quillota y La Cruz	www.t13.cl	

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración a partir de referencias citadas en el cuadro.

8.4.4 Catastro de sismicidad

8.4.4.1 Sismos registrados por la red sismológica mundial

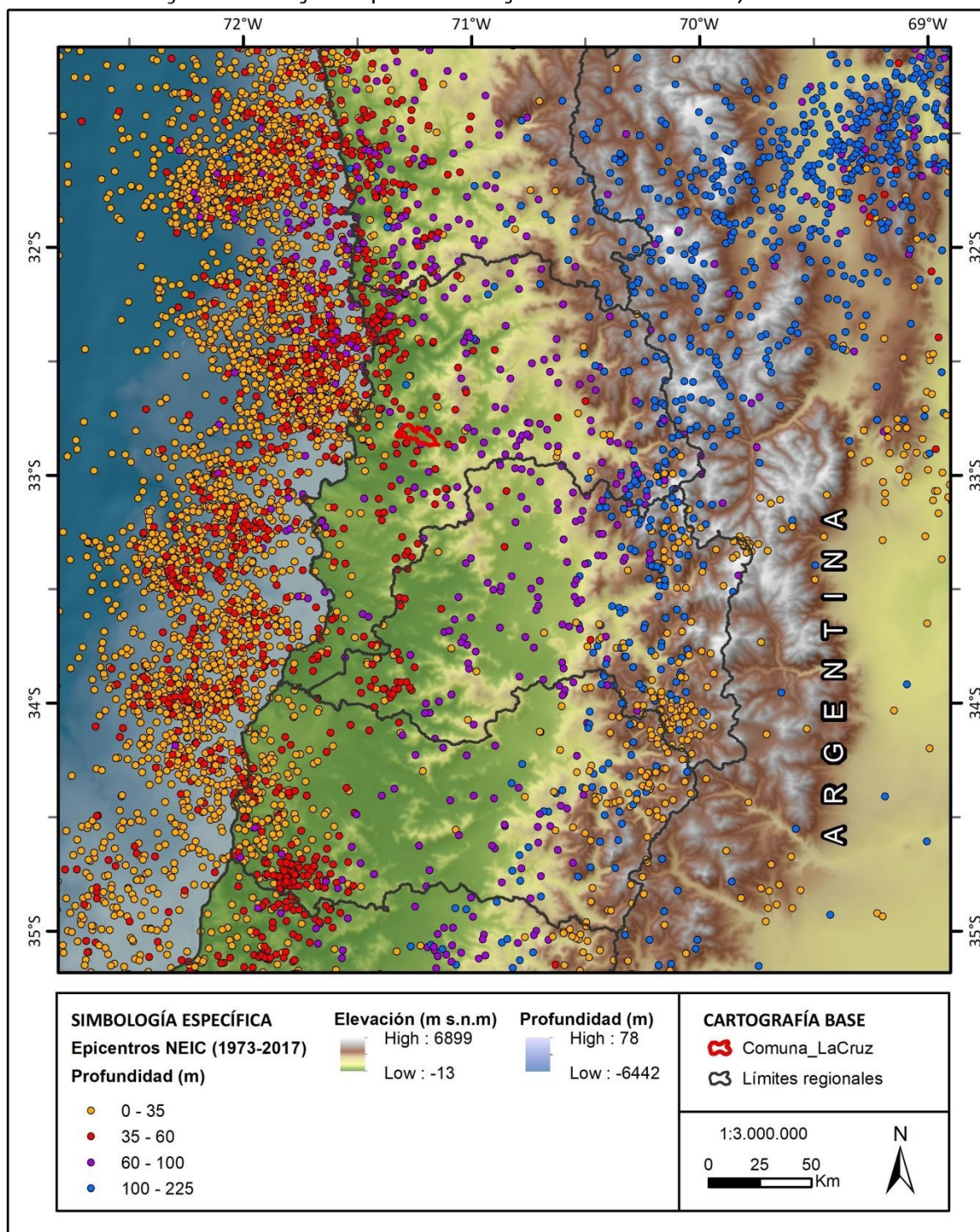
En la Figura 22 se presenta la sismicidad registrada por la red sismológica internacional desde enero de 1973 hasta febrero de 2017, con magnitudes superiores a 4.0. En esta figura, se aprecia que una gran cantidad de eventos se localizan próximos al contacto entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana (puntos distribuidos en el occidente en la Figura 22. Estos eventos sísmicos son denominados como interplaca tipo thrust (dado su bajo ángulo de manteo) (Figura 13) y suelen alcanzar grandes magnitudes.

Además en la Figura 22 se aprecia una gran cantidad de eventos que ocurren al interior de la placa de Nazca, lejos del contacto, a profundidades superiores a 50 km (puntos morados y azules); a este conjunto de eventos se les conoce como intraplaca de profundidad intermedia.

En menor medida, también es posible observar en la Figura 22 sismos corticales en la placa Sudamericana, cerca de la Cordillera de Los Andes. Estos eventos corresponden a sismos producidos por fallas superficiales, cuyos focos se encuentran a una profundidad menor a 30 km, y están asociados a fallas geológicas activas en superficie. De acuerdo al mapa construido en base a SERNAGEOMIN (2003) y a PMA-GCA (2008) (Figura 7 el que recopila antecedentes generales de fallas, no se observan fallas activas en la región que abarca el área de estudio. Cabe destacar que no hay un registro suficiente de este último tipo de sismicidad para proceder a estimar los parámetros necesarios, y de esta manera efectuar estudios probabilísticos.

Cabe destacar que, de acuerdo a la Figura 22, la comuna de La Cruz ha sido afectada, principalmente, por sismos interplaca (puntos rojos y amarillos) desde el año 1973.

Figura 22 Sismos registrados por la red sismológica mundial entre enero 1973 y febrero 2017



Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración partir del Catálogo NEIC (2017) (sismos sobre magnitud 4.0) del USGS.

8.4.4.2 Sismos históricos que han afectado a la comuna de La Cruz y sus alrededores

Se construyó un catastro de los sismos históricos más significativos que han afectado a la comuna de La Cruz desde el año 1570 hasta el 2016, en base a información bibliográfica indicadas en el Anexo D 8.4.1.

El catastro obtenido (presentado en el Cuadro 16 fue ordenado de acuerdo a los siguientes datos:

- **Fecha:** día, mes y año en que ocurrió el evento catastrado.
- **Hora local:** hora local aproximada a la que habría ocurrido el sismo. Si no existe esta información, se indica como S/D (Sin Datos).
- **Lat. (°):** latitud del epicentro del sismo medida en grados sexagesimales. Si no existe esta información, se indica como S/D (Sin Datos).
- **Long. (°):** longitud del epicentro del sismo medida en grados sexagesimales. Si no existe esta información, se indica como S/D (Sin Datos).
- **Magnitud Ms:** magnitud del sismo según escala de Richter. Si no existe esta información, se indica como S/D (Sin Datos).
- **Magnitud Mw:** magnitud del sismo según escala de Richter. Si no existe esta información, se indica como S/D (Sin Datos).
- **Prof. (km):** profundidad medida en kilómetros del foco o hipocentro del sismo. Si no existe esta información, se indica como S/D (Sin Datos).
- **Descripción:** explicación sobre el evento ocurrido enfocada a los daños ocasionados.
- **Intensidad IMM:** la definición de las intensidades para sismos se realizan según las descripciones de la escala modificada de Mercalli, que es una escala subjetiva, que evalúa la percepción del sismo en un determinado lugar a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras (Cuadro 15). Si no existe esta información, se indica como S/D (Sin Datos).
- **Referencia:** fuente de la bibliografía que mencionan el evento

Cabe destacar que las magnitudes asociadas a cada sismo descrito son aproximadas, puesto que no existía instrumental sismológico de precisión hasta la década de 1950.

Cuadro 15 Escala modificada de Mercalli de intensidades de sismos

INTENSIDAD	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍA DE INTENSIDAD
I	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables
II	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios
III	Se percibe en los interiores de los edificios y casas. Sin embargo, muchas personas no distinguen claramente que la naturaleza del fenómeno es sísmica, por su semejanza con la vibración producida por el paso de un vehículo liviano. Es posible estimar la duración del sismo
IV	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. Muchas personas lo notan en el interior de los edificios aún durante el día. En el exterior, la percepción no es tan general. Se dejan oír las vibraciones de la vajilla, puertas y ventanas. Se sienten crujir algunos tabiques de madera. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen
V	La mayoría de las personas lo percibe aún en el exterior. En los interiores, durante la noche, muchas despiertan. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y aún pueden derramarse. Los objetos inestables se mueven o se vuelcan. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico
VI	La mayoría de las personas lo percibe aún en el exterior. En los interiores, durante la noche, muchas despiertan. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y aún pueden derramarse. Los objetos inestables se mueven o se vuelcan. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico
VII	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. El fenómeno es percibido por los conductores de automóviles en marcha. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Sufren daños menores (grietas) las estructuras corrientes de albañilería bien construidas. Se dañan los muebles. Caen trozos de estucos, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Las chimeneas débiles se quiebran al nivel de la techumbre. Se producen ondas en los lagos; el agua se enturbia. Los terraplenes y taludes de arena o grava experimentan pequeños deslizamientos o hundimientos. Se dañan los canales de hormigón para regadío. Tañen todas las campanas
VIII	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aún el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. En estructuras de albañilería bien proyectadas y construidas sólo se producen daños leves. Caen murallas de albañilería. Caen chimeneas en casa e industrias; caen igualmente monumentos, columnas, torres y estanques elevados. Las casas de madera se desplazan y aún se salen totalmente de sus bases. Los tabiques se desprenden. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos. Aparecen grietas en el suelo húmedo, especialmente en la superficie de las pendientes escarpadas
IX	Se produce pánico general. Las estructuras de albañilería mal proyectadas o mal construidas se destruyen. Las estructuras de albañilería bien construidas se dañan y a veces se derrumban totalmente. Las estructuras de albañilería bien proyectadas y bien construidas se dañan seriamente. Los cimientos se dañan. Las estructuras de madera son removidas de sus cimientos. Sufren daños considerables los depósitos de agua, gas, etc. Se quiebran las tuberías (cañerías) subterráneas. Aparecen grietas aún en suelos secos. En las regiones aluviales, pequeñas cantidades de lodo y arena son expelidas del suelo
X	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. Se destruyen los cimientos de las estructuras de madera. Algunas estructuras de madera bien construidas, incluso puentes, se destruyen. Se producen daños en represas, diques y malecones. Se producen grandes desplazamientos del terreno en los taludes. El agua de canales, ríos, lagos, etc. sale proyectada a las riberas. Cantidades apreciables de lodo y arena se desplazan horizontalmente sobre las playas y terrenos planos. Los rieles de las vías férreas quedan ligeramente deformados
XI	Muy pocas estructuras de albañilerías quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las tuberías (cañerías subterráneas) quedan totalmente fuera de

	servicio
XII	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados

Fuente: Sitio web del SHOA.

Cuadro 16 Registro histórico de los sismos que han afectado al área de estudio desde el siglo XVII

FECHA	HORA LOCAL	LAT (°)	LONG (°)	Ms	Mw	PROF. [km]	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD IMM	REFERENCIA
1570	S/D	32-34	S/D	S/D	S/D	S/D	La zona epicentral corresponde a La Ligua, afectando entre los 32°-34°	S/D	Lara & Rauld (2003)
17/03/1575	10:00	32-34	S/D	7,5	S/D	S/D	Zona epicentral con foco en La Ligua. Destrucción parcial de Santiago, desplome de murallas y casas.	VIII	Lara & Rauld (2003)
22/01/1582	S/D	32-34	S/D	S/D	S/D	S/D	Terremoto produce gran alarma y rasgaduras en los edificios de Santiago, con zona epicentral en Santiago y foco en La Ligua.	VIII	Lara & Rauld (2003)
06/09/1643	al alba	32-34	S/D	S/D	S/D	S/D	Un fuerte temblor sacudió a Santiago. Se considera el precursor del de 1647. Foco en La Ligua.	VII	Urrutia & Lanza (1993) Lara & Rauld (2003)
13/05/1647	22:30	-35	-72	8,5	S/D	S/D	Un fuerte terremoto de magnitud 8.5 con epicentro en -35.00, -72.00, y que duró entre 7 u 8 minutos; dejó la ciudad de Santiago prácticamente arruinada. Tembló ocho veces durante la noche y continuaron las réplicas los días siguientes, durando las réplicas hasta finales de junio. Durante todo el periodo pereció el 10% de la población. Se contabilizaron 570 muertos en el corregimiento de Quillota y 140 en el de Aconcagua. El río de Aconcagua quedó seco en la desembocadura, y en Quillota solo quedaron escombros.	X	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993)
15/03/1657	19:30	-36,83	-73,03	8	S/D	S/D	Un fuerte terremoto de magnitud 8 y epicentro en -36.830, -73.030, asoló Concepción, debido al maremoto que se generó. El movimiento sísmico al norte se notó	VIII	Sismologia.cl Urrutia &

FECHA	HORA LOCAL	LAT (°)	LONG (°)	Ms	Mw	PROF. [km]	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD IMM	REFERENCIA
							hasta Quillota, donde las cercas y posesiones que había en el valle quedaron asoladas.		Lanza (1993)
12/07/1687	2:00	-32,75	-70,73	7,3	S/D	S/D	Un fuerte terremoto de intensidad aproximada de VII. Su epicentro se ubica entre San Felipe y La Ligua, con latitud entre los 32° y 34° sur. Daños en convento en San Felipe y daños en Santiago.	VII	Sismologia.cl Lara & Rauld (2003)
12/07/1688	S/D	32-34	S/D	S/D	S/D	S/D	Temblor con foco en La Ligua, deja ruinas en Santiago y mar en Valparaíso se presentó muy agitado.	VII	Lara & Rauld (2003)
09/07/1690	S/D	32-34	S/D	S/D	S/D	S/D	Gran temblor con foco en La Ligua, daños en algunos edificios de Santiago.	VII	Lara & Rauld (2003)
24/05/1722	S/D	32-34	S/D	S/D	S/D	S/D	Fuerte temblor en Santiago y Valparaíso. En Valparaíso el fuerte defensivo del puerto se derrumbó.	S/D	Urrutia & Lanza (1993)
24/05/1724	S/D	32-34	S/D	S/D	S/D	S/D	Temblor con foco en La Ligua, provoca daños en Santiago, deando murallas derrumbadas, algunos muertos y muchos heridos.	VII	Lara & Rauld (2003)
8/07/1730	4:45	-33,05	-71,63	8,7	S/D	S/D	Fuerte terremoto de magnitud 8.7 (magnitud estimada entre 8.5 y 9) conmovió a la población entre La Serena y Valdivia. Es considerado uno de los mayores sismos que han afectado el territorio de Chile. En Quillota la iglesia y el colegio de los jesuitas quedaron en el suelo. Grandes daños en San Felipe, Tiltil y Renca. Y un maremoto que afectó la zona centro y sur de Chile.	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993)

FECHA	HORA LOCAL	LAT (°)	LONG (°)	Ms	Mw	PROF. [km]	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD IMM	REFERENCIA
25/05/1751	1:00	-36,83	-73,03	8,5	S/D	S/D	Del 23 a 25 de mayo de 1751 se produjeron 3 sismos fuertes, el mayor fue de 8.5 con epicentro en -36.830, -73.030, cada uno más fuerte que el anterior que causaron daños entre San Felipe y Valdivia. Se cayeron gran parte de las construcciones de las ciudades y pueblos del valle central. En Quillota se desmoronaron varias iglesias y la mayoría de los tejados quedaron averiados.	Quillota 6	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993) Ceresis
30/03/1796	6:45	-27,35	-70,35	7,7	S/D	S/D	Un terremoto de magnitud 7.7 y epicentro -27.350, -70.350, dejó casi en la ruina a la ciudad de Copiapó y a las villas de Huasco y Coquimbo. El movimiento se sintió hasta Santiago.	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993)
19/11/1822	22:30	-33,05	-71,63	8,5	S/D	S/D	Un fuerte terremoto de magnitud 8.5 y epicentro -33.050, -71.630, se sintió entre Illapel y el archipiélago de Chiloé. Duró alrededor de 2 minutos 30 segundos. Se sintió muy fuerte en Valparaíso, Quillota y Santiago. Valparaíso quedó casi arruinada, con 66 fallecidos. En Santiago no hubo pérdidas humanas y hubo pocos derrumbes. Casablanca, Illapel, Melipilla, Aconcagua y La Ligua quedaron semidestruídas. En Quillota se derrumbaron casi todos los edificios, quedando sólo en pie 20 casas y una iglesia.	Quillota 8	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993) Ceresis
26/09/1829	14:00	-33,05	-71,63	7	S/D	S/D	Temblor en Valparaíso dejó en estado ruinoso varios edificios en la región.	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993)
20/02/1835	11:30	-36,83	-73,03	8,5	S/D	S/D	Fuerte Terremoto con epicentro en Concepción se sintió desde Copiapó hasta Chiloé, con un maremoto	S/D	Sismologia.cl Urrutia &

FECHA	HORA LOCAL	LAT (°)	LONG (°)	Ms	Mw	PROF. [km]	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD IMM	REFERENCIA
							después de una hora del terremoto que termino por destruir las ciudades costeras.		Lanza (1993)
06/12/1850	6:52	-33,81	-70,22	7,3	S/D	S/D	Un fuerte sismo sacudió la ciudad de Santiago y sus alrededores.	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993)
02/04/1851	6:48	-33,32	-71,42	7,1	S/D	S/D	Un sismo causó daños considerables en Valparaíso. En Quillota las casas particulares tuvieron daños de consideración y las iglesias de San Francisco y La Merced quedaron con los techos y murallas deterioradas.	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993)
07/07/1873	pasada las 2:00	-32,77	-73,73	8,9	S/D	S/D	Un sismo estremeció la zona central del país. En Quillota hubo una víctima, más de cien casas con daños de bastante consideración y la mayoría de los techos quedaron hundidos o en el suelo. Hubo daños en la estación de ferrocarril y se destruyeron tapias y cercos. El terremoto afectó la zona central del país produciendo los mayores daños en Petorca, la Ligua y los alrededores.	S/D	Lara & Rauld (2003) Urrutia & Lanza (1993)
11/11/1876	18.00	-32,51	-71,21	7,5	S/D	S/D	Un sismo en Illapel de magnitud 7.5 y epicentro en - 32.510, -71.212, derrumbo varias murallas de Los Andes, San Felipe, Santiago y Valparaíso.	S/D	Lara & Rauld (2003) Urrutia & Lanza (1993)
15/08/1880	8:48	-31,62	-71,18	7,7	S/D	S/D	Un sismo en Illapel afectó a las comunas de Petorca, Chicolco, Hierro Viejo, Ovalle, Salamanca, Chalinga, La Ligua y Llay Llay tuvieron serios daños en las edificaciones. En Quillota se arruinó la iglesia de La Matriz.	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993)

FECHA	HORA LOCAL	LAT (°)	LONG (°)	Ms	Mw	PROF. [km]	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD IMM	REFERENCIA
16/08/1906	19:48	-33,00	-72,00	7,9	8,2	25	Un terremoto con epicentro situado entre Limache y Valparaíso afectó en toda esa región con movimientos que fueron verticales e irradiaron en forma ondulatoria al resto del país. Percibido con intensidad X según escala de Mercalli en La Calera. En la comuna de La Cruz dejó en el suelo la mayoría de las edificaciones y las calles principales de la comuna estaban llenas de escombros.	La Calera X	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993) Ceresis Apuntes para una historia de La Cruz
28/04/1909	2:15	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	Un violento y largo temblor alarmó a la población de Santiago. Se agrietaron algunas murallas y desmoronamiento de casas viejas. Se sintió con la misma intensidad en Valparaíso, Viña del Mar, Limache, Quillota, Llay Llay y hasta Talca.	S/D	Urrutia & Lanza (1993)
10/11/1922	23:53	-28,50	-70,00	8,39	8,5	25	Un sismo con epicentro entre Copiapó y Coquimbo afectó a gran parte del país. Su radió de alcance fue de 1200 Km y se registró en las estaciones sismológicas de Bélgica, Italia, España, Brasil, Grecia, Argelia, Egipto y Argentina.	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993)
14/04/1927	1:41	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	Un fuerte sismo con foco en Santiago de intensidad VIII en escala Mercalli, se sintió entre Antofagasta y Valdivia, con mayor intensidad en Santiago, Valparaíso y Los Andes. El servicio telefónico quedo interrumpido en Llay Llay, Melipilla, Rancagua, Talagante, La Calera, San Felipe y Limache. Quilpué se quedó sin alumbrado público y sin servicio ferroviario. El epicentro fue entre los volcanes Tupungato y Aconcagua.	S/D	Urrutia & Lanza (1993)

FECHA	HORA LOCAL	LAT (°)	LONG (°)	Ms	Mw	PROF. [km]	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD IMM	REFERENCIA
29/08/1930 17/10/1930	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	Dos fuertes temblores se sintieron en Quillota y sus alrededores. El del 29 de agosto produjo daños considerables en Quillota. El 17 de octubre se produjo un sismo que dejó 2 muertos en Quillota y un total de 35 heridos. En La Calera los perjuicios en el comercio fueron considerables, también se agrietaron murallas, la vía ferroviaria se interrumpió cerca de la ciudad debido a derrumbes de los cerros.	S/D	Urrutia & Lanza (1993)
28/03/1965	12:33	-32,42	-71,10	7,4	7	68	Un sismo cuyo epicentro se ubicó en las cercanías de La Ligua generó daños en Limache, Olmué, Quilpué, Casablanca, Villa Alemana, Quillota, Puchuncaví, Nogales, Hijuelas, La Calera, La Cruz, Ocoa, Quintero, Las Ventanas, Algarrobo y el Quisco, afectando a las viviendas y obligando a la población a vivir en carpas los primeros días. Este terremoto hasta ese momento fue el que causó más daños en la comuna de La Cruz, donde hubo decenas de viviendas totalmente destruidas, una cantidad mayor de casas resultaron seriamente dañadas; y otras, cuyos destrozos mayores no se notaban desde fuera de la propiedad. Solo se registraron dos crucinos muertos por ataques cardíacos y varios heridos por la caída de murallas y el desprendimiento de cornisas.	La Cruz VII	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993) Apuntes para una historia de La Cruz
08/07/1971	23:03	-32,51	-71,21	7,5	S/D	40	Un terremoto afectó principalmente las zonas de Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso y Santiago, dejando miles de viviendas destruidas. En la Cruz se lamentó solo dos heridos graves. En la noche cundió el pánico en la ciudad, al cortarse la luz eléctrica y todos los sistemas de comunicación con Santiago y Valparaíso, el agua potable y gas licuado. También el tránsito se	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993) Desinventar.org ; Apuntes para una historia de La

FECHA	HORA LOCAL	LAT (°)	LONG (°)	Ms	Mw	PROF. [km]	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD IMM	REFERENCIA
							interrumpió y se rompieron puentes sobre canales y acequias. Un 80% de las casas de la comuna presentaban algún daño y 30% se consideraba inhabitable. Todos los edificios públicos resultaron dañados, excepto Correos.		Cruz
16/10/1981	0:25	-33,13	-73,07	7,5	S/D	33	Movimiento se sintió en La Calera, dejando como resultado grieta en el puente que une La Calera-Artificio. Hubo 6 heridos, 18 viviendas afectadas y un centro hospitalario.	S/D	Sismologia.cl El Mercurio La Red (Desinventar.org)
03/03/1985	19:46	-33,24	-71,85	7,8	8	33	El movimiento se sintió desde la III y IX región. Su epicentro se ubicó en la latitud treinta y tres grados, catorce minutos y veinticinco segundos, y longitud de setenta y dos grados, dos minutos y veinticuatro segundos. Con este terremoto hubo destrucción de viviendas que causaron víctimas fatales, destrucción de pavimentos, caída de puentes. El saldo humano del sismo indica que hubo 177 muertos y 2.575 heridos en la zona del movimiento telúrico. El informe de la época entregado por las autoridades municipales, indicaba que, en La Cruz, había «hay 28 casas destruidas, 35 por demoler; 90 con daños mayores y en estado inhabitables; y otras 30 con daños mayores, pero recuperables».	S/D	Sismologia.cl Urrutia & Lanza (1993) Apuntes para una historia de La Cruz.
10/08/2001	17:45	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	Fuerte temblor sacudió a la región, causó alarma en la población por el fuerte ruido que acompañó a un leve movimiento ondulatorio. Informes extraoficiales señalan que el sismo tuvo grado 4 a 5 en Quillota y La Calera. El sismo fue perceptible en toda la cuarta, quinta y Región Metropolitana. No se produjeron	La Cruz V	Diario Impacto

FECHA	HORA LOCAL	LAT (°)	LONG (°)	Ms	Mw	PROF. [km]	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD IMM	REFERENCIA
							daños materiales, ni resultaron personas lesionadas.		
11/03/2010	11:39	-34,30	-72,13	6,3	6,9	33,1	Un sismo de magnitud Mw 6.9 con epicentro en - 34.301, -72.130, a una profundidad de 33.1 km, se sintió en Quillota con intensidad IV.	Quillota IV	Sismologia.cl
17/04/2012	0:50	-32,79	-71,81	6,2	6,5	35	Un sismo de magnitud Mw 6.5 se produjo 54 Km al Oeste de Quillota con epicentro en -32.787, -71.812, a una profundidad de 35 km, sintiéndose con intensidad VII en La Calera.	La Calera VII	Sismologia.cl
23/08/2014	18:32	-32,74	-71,50	S/D	6,4	40,1	Sismo de magnitud Mw 6.4 se produjo 36 km al N de Valparaíso con epicentro en -32.737, -71.498, a 40,1 km de profundidad. En La Calera tuvo intensidad VI en la escala de Mercalli.	La Calera VII	Sismologia.cl

Fuente: PROCIUDAD Consultores, 2018. Elaboración partir de las referencias citada en el cuadro.