



ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS NATURALES

" PLAN REGULADOR INTERCOMUNAL DE CAUQUENES"

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS PARA EL PLAN REGULADOR INTERCOMUNAL
DE CAUQUENES
REGIÓN DEL MAULE

EQUIPO CONSULTOR:

Felipe García-Huidobro C., Geólogo, MSc en Ciencias de la Ingeniería

Rodrigo Rauld Plott, Geólogo, Doctor en Ciencias

Valeska Farías Sarmiento, Geóloga, Magíster en Ciencias mención Geología

Tamara Aránguiz Medel, Geóloga

Héredi Jara Rivera, Geóloga

CONTRAPARTE TÉCNICA:

SEREMI MINVU, Región del Maule

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	4
1.1 UBICACIÓN	4
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES	6
1.4 MARCO JURÍDICO.....	6
2. Metodología.....	9
2.1 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO	10
2.2 ELABORACIÓN DE LA LÍNEA DE BASE.....	10
2.2.1 <i>Línea de base geológica</i>	10
2.2.2 <i>Línea de base geomorfológica</i>	10
2.2.3 <i>Línea de base de clima e hidrología</i>	10
2.3 CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS.....	11
2.3.1 <i>Recopilación bibliográfica</i>	11
2.3.2 <i>Visita técnica de terreno al área de estudio</i>	12
2.4 ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD DE PELIGROS GEOLÓGICOS	12
2.5 PROPUESTA DE CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN URBANA	12
3. Línea de Base.....	13
3.1 MARCO GEODINÁMICO	13
3.2 MARCO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO	13
3.2.1 <i>Unidades morfológicas a escala regional</i>	13
3.2.2 <i>Unidades geológicas de la provincia</i>	16
3.2.3 <i>Parámetros morfométricos</i>	18
3.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y PRECIPITACIONES	22
3.4 HIDROGRAFÍA Y CAUDALES	22
4. Inundaciones costeras.....	25
4.1 CATASTRO	25
4.1.1 <i>Maremoto del 20 de febrero de 1835</i>	25
4.1.2 <i>Maremoto del 27 de febrero de 2010</i>	25
4.2 DIAGNÓSTICO.....	26
4.3 ZONIFICACIÓN	27
5. Inundaciones terrestres	30
5.1 CATASTRO	30
5.2 DIAGNÓSTICO.....	30
5.3 ZONIFICACIÓN	32
5.3.1 <i>Inundación por desborde de cauce</i>	32
5.3.2 <i>Inundación por anegamiento</i>	37
6. Flujos de barro y/o detritos	39
6.1 CATASTRO	39
6.2 DIAGNÓSTICO.....	39
6.3 ZONIFICACIÓN	42
7. Procesos de ladera.....	44
7.1 CATASTRO	44
7.2 DIAGNÓSTICO.....	46
7.3 ZONIFICACIÓN	46
8. Avance de dunas	50

8.1	CATASTRO	50
8.2	DIAGNÓSTICO.....	50
8.3	ZONIFICACIÓN	51
9.	Sismicidad.....	54
9.1	CATASTRO	54
9.1.1	Marco tectónico.....	54
9.1.2	Sismicidad registrada por la red sismológica mundial.....	54
9.1.3	Descripción de fuentes sísmicas	54
9.2	DIAGNÓSTICO.....	57
10.	Volcanismo	58
10.1	CATASTRO	58
10.2	DIAGNÓSTICO.....	60
11.	Recomendaciones.....	62
11.1	ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD.....	62
11.2	DEFINICIÓN DE LAS ÁREAS DE RIESGO.....	64
11.3	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	67
12.	Referencias citadas en el texto.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1—1	Ubicación del área de estudio.....	5
FIGURA N° 2—1	Diagrama de flujo del trabajo realizado.....	9
FIGURA N° 3—1	Principales elementos geológicos y geomorfológicos a escala regional.....	15
FIGURA N° 3—2	Geología de la provincia de Cauquenes.....	19
FIGURA N° 3—3	Mapa de elevaciones de la provincia de Cauquenes.....	20
FIGURA N° 3—4	Mapa de pendientes de la provincia de Cauquenes.....	21
FIGURA N° 3—5	Estaciones cercanas al área de estudio.....	24
FIGURA N° 4—1	Daños ocasionados por el maremoto del 27 de febrero en diversos sectores de la comuna de Pelluhue.....	26
FIGURA N° 4—2	Susceptibilidad de inundaciones costeras en la Provincia de Cauquenes.....	29
FIGURA N° 5—1	Catastro de inundaciones en la Provincia de Cauquenes.....	31
FIGURA N° 5—2	Río Curanilahue. Zona de susceptibilidad muy alta (cauce del río) y susceptibilidad alta (zonas adyacentes a ambos lados de río).....	34
FIGURA N° 5—3	Río Cauquenes. Zona de susceptibilidad muy alta (donde se observa el río) y zona de susceptibilidad alta (toda la zona arenosa).....	34
FIGURA N° 5—4	Zona de inundación moderada asociada al Río Cauquenes.....	35
FIGURA N° 5—5	Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces en la Provincia de Cauquenes.....	36
FIGURA N° 5—6	Zona deprimida en la localidad de Chanco.....	38
FIGURA N° 5—7	Zona de anegamiento en la ciudad de Cauquenes.....	38
FIGURA N° 6—1	Catastro de flujos de barro y/o detritos en la Provincia de Cauquenes.....	40
FIGURA N° 6—2	Quebrada ubicada en Chanco, con abundante vegetación.....	41
FIGURA N° 6—3	Quebrada ubicada en La Vega, amplia y de baja pendiente.....	41
FIGURA N° 6—4	Susceptibilidad de flujos de barro en la Provincia de Cauquenes.....	43
FIGURA N° 7—1	Remociones en masa en la comuna de Pelluhue. -A: Roca de basamento en acantilados costeros. -B: Remoción en masa gatillada por el terremoto del 27 F. -C: Bloque de basamento.....	44
FIGURA N° 7—2	Catastro de procesos de ladera identificados en la Provincia de Cauquenes.....	45
FIGURA N° 7—3	Deslizamiento de suelo en la comuna de Pelluhue, donde se evidencia los árboles caídos.....	48
FIGURA N° 7—4	Escarpe asociado a deslizamiento en la comuna de Pelluhue.....	48
FIGURA N° 7—5	Susceptibilidad de procesos de ladera en la Provincia de Cauquenes.....	49

FIGURA N° 8—1 Fotografía aérea del campo de dunas al noroeste del pueblo de Chanco, tomadas en los años 1978 y 2016. A: anteduna artificial; B: dunas transversales controladas; C: dunas transversales móviles (1978); D: dunas estabilizadas mediante vegetación.	51
FIGURA N° 8—2 Dunas estabilizadas al sur de la comuna de Pelluhue	52
FIGURA N° 8—3 Susceptibilidad de avance de dunas en la Provincia de Cauquenes	53
FIGURA N° 9—1 Terremotos de subducción históricos (interplaca e intraplaca de profundidad intermedia) con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura.	55
FIGURA N° 9—2 Sismos registrados por la red sismológica mundial entre julio de 1971 y febrero 2019.	56
FIGURA N° 10—1 Distancia al área de estudio de los volcanes catastrados de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule y del Ñuble.	59
FIGURA N° 10—2 Dispersión de productos piroclásticos de caída, para meses de otoño.	61
FIGURA N° 11—1 Esquema del daño provocado por eventos de inundación por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad.	64

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1—1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC.	8
CUADRO N° 3—1 Valores representativos de las precipitaciones en la provincia de Cauquenes	22
CUADRO N° 3—2 Resumen del registro de las estaciones fluviométricas.	23
CUADRO N° 10—1 Volcanes ubicados cerca de la provincia de Cauquenes	58
CUADRO N° 11—1 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad	63
CUADRO N° 11—2 Criterios de definición de las áreas de riesgo en los centros poblados (escala 1:25.000) según el artículo 2.1.17 de la OGUC para cada peligro estudiado.	65
CUADRO N° 11—3 Criterios de definición de las áreas de riesgo a escala de la Provincia de Cauquenes (escala 1:50.000) según el artículo 2.1.17 de la OGUC para cada peligro estudiado.	66

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe	B-1
ANEXO B Descripción Peligros Geológicos Analizados	B-1
B.1 PROCESOS INTERNOS O ENDÓGENOS DE LA TIERRA	B-1
B.2 PROCESOS EXÓGENOS O EXTERNOS DE LA TIERRA	B-10
ANEXO C Tablas del catastro	C-1
C.1 CATASTRO EVENTO HIDROMETEOROLÓGICOS	C-1
C.2 MAREMOTOS HISTÓRICOS	C-10
C.3 SISMOS DE GRAN MAGNITUD	C-13
ANEXO D Mapas de las áreas de estudio de las localidades	D-1
D.1 GEOLOGÍA DE LAS LOCALIDADES	D-3
D.2 SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIONES COSTERAS Y TERRESTRES	D-13
D.3 SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA Y AVANCE DE DUNAS	D-23

1. INTRODUCCIÓN

El informe que se presenta a continuación corresponde al Estudio Fundado de Riesgos Geológicos para la actualización del Plan Regulador Intercomunal de la Provincia de Cauquenes. Este informe se basa en los criterios y definiciones que se establecen en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones¹.

Los resultados de este estudio corresponden a la identificación y zonificación de las áreas urbanas susceptibles a ser afectadas por un peligro natural de acuerdo a las definiciones expuestas en el ANEXO A “Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe”. Los resultados se presentan en mapas de riesgos y cuadros de resumen, de acuerdo a la nomenclatura propuesta por la OGUC. La zonificación aquí presentada sirve de base para definir las zonas de riesgo para la formulación de los respectivos instrumentos de planificación territorial (IPT).

1.1 Ubicación

La Provincia de Cauquenes se localiza entre los 35.5° y 36.3° Latitud Sur y los 72.6° y 72.1° de Longitud Oeste en la Región del Maule. Esta provincia está formada por las comunas de Chanco, Pelluhue, y Cauquenes. Limita al norte con la Provincia de Talca, al este con la Provincia de Linares, al sur con la Región del Ñuble y al oeste con el Océano Pacífico (FIGURA N° 1—1).

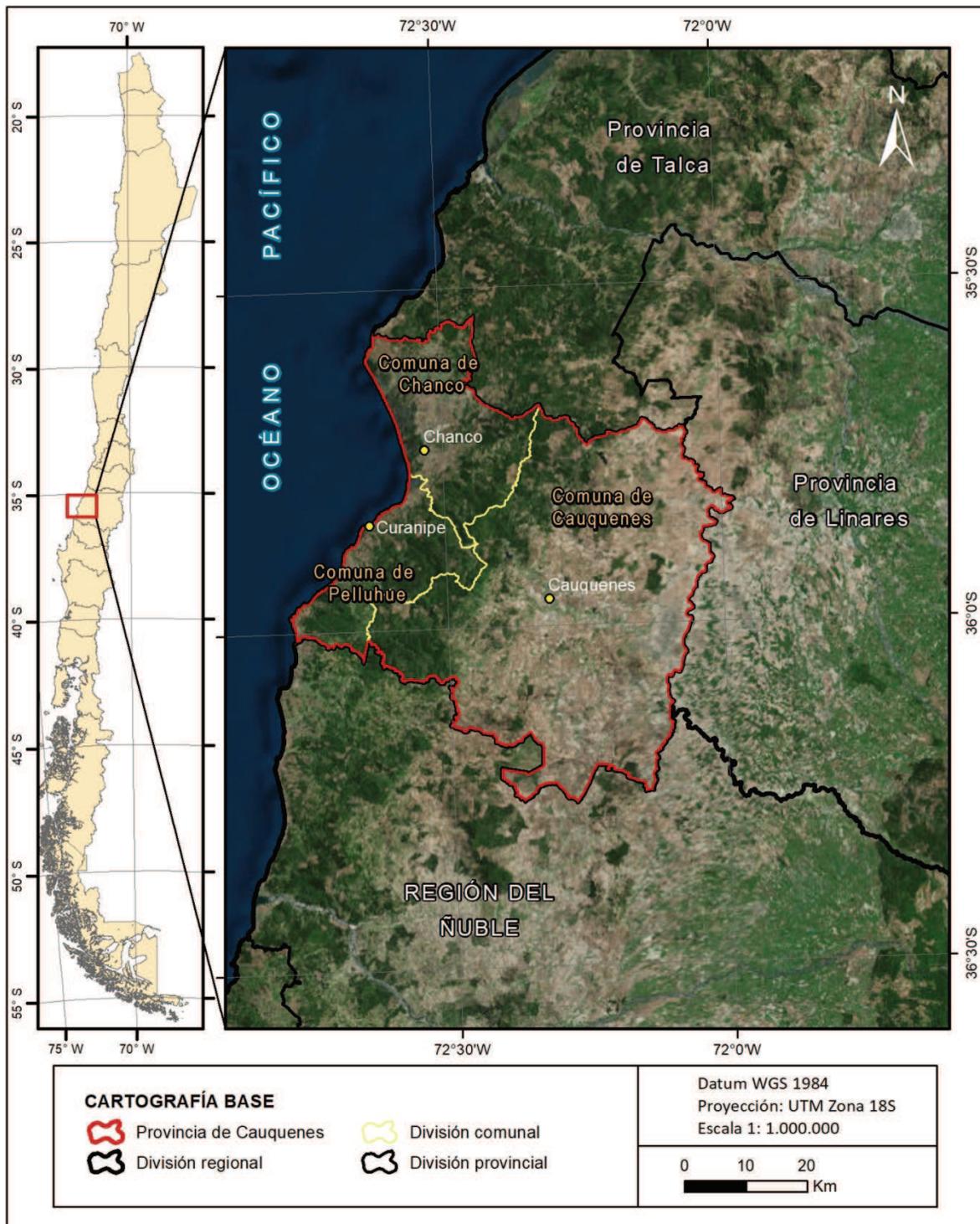
1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la elaboración del Estudio Fundado de Riesgos Geológicos que acompañe y entregue criterios para el desarrollo del Plan Regulador Intercomunal de Cauquenes. Asociado al objetivo propuesto es necesario reconocer y delimitar las áreas de riesgos, de acuerdo a los criterios y definiciones expuestos en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, que han de ser incorporadas y/o adecuadas en el desarrollo del Plan Regulador Intercomunal de Cauquenes. Los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC son:

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.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

¹ OGUC, versión 22 de febrero de 2018.

FIGURA N° 1—1 Ubicación del área de estudio.



1.3 Alcance y limitaciones

Este estudio corresponde al estudio fundado de riesgos del PRI de la Provincia de Cauquenes, y por lo tanto, responde a lo requerido por el artículo 2.1.17 de la OGUC, entonces no debe ser utilizado para fines diferentes de los establecidos en la norma mencionada.

En este estudio se catastran los peligros que han afectado a la provincia y se identifican los factores que condicionan la ocurrencia de peligros naturales. Lo anterior se utiliza para definir criterios que permitan delimitar las zonas que son propensas a la ocurrencia de cada uno de ellos, con diferentes niveles de susceptibilidad. De esta forma, el resultado del estudio corresponde a mapas de susceptibilidad de diferentes peligros, que se utilizan para definir las “áreas de riesgo”, según lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC. Por otra parte, no se llevó a cabo un análisis de los períodos de retorno, y en consecuencia, no existe un análisis de peligrosidad o amenaza (ver definiciones en el ANEXO A).

Las metodologías utilizadas para analizar cada uno de los peligros se escogen en función de las características físicas propias del peligro, las condiciones de la zona estudiada y la escala de análisis.

Los peligros se analizan a escala 1:50.000 en la provincia y a escala 1:25.000 en las áreas urbanas y de extensión urbana. En la práctica, esto significa que la resolución máxima se aproxima a 50 y 25 m, respectivamente, de manera que no es posible diferenciar rasgos geológicos o geomorfológicos ni condiciones que se relacionen con la ocurrencia de los peligros analizados, cuyo tamaño sea menor que las dimensiones señaladas para cada una de las escalas.

Se desprende de lo señalado en los párrafos precedentes que mapas elaborados a diferentes escalas pueden presentar diferencias en los resultados expuestos.

Este trabajo, al igual que las figuras y cuadros que se presentan, fue elaborado por el equipo consultor, a excepción de aquello que se señala expresamente.

1.4 Marco jurídico

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su apartado 2.1.17 “Disposiciones complementarias”, indica lo siguiente:

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 restrinja 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, “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, dado que la zonificación se realizó a partir de mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el ANEXO A “Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe”).

En el CUADRO N° 1—1 se presentan los peligros identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC y la homologación con la nomenclatura internacional utilizada por este informe². A continuación, se desglosa dónde se presenta la definición de estos peligros geológicos y los criterios de zonificación utilizados.

- 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 inundación, ya sea continental o costera.

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

El Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa (caída de bloques y flujos de barro y detritos) y los procesos litorales de erosión acentuada.

- 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.

Dentro de este apartado definido por la OGUC se analizan conceptualmente los procesos endógenos (internos) de la tierra, es decir, sismicidad y volcanismo.

- Apartado 4 del artículo 2.1.17 de la OGUC: Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Dentro de este apartado definido por la OGUC se analizan conceptualmente los peligros asociados a actividades antrópicas.

² 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).

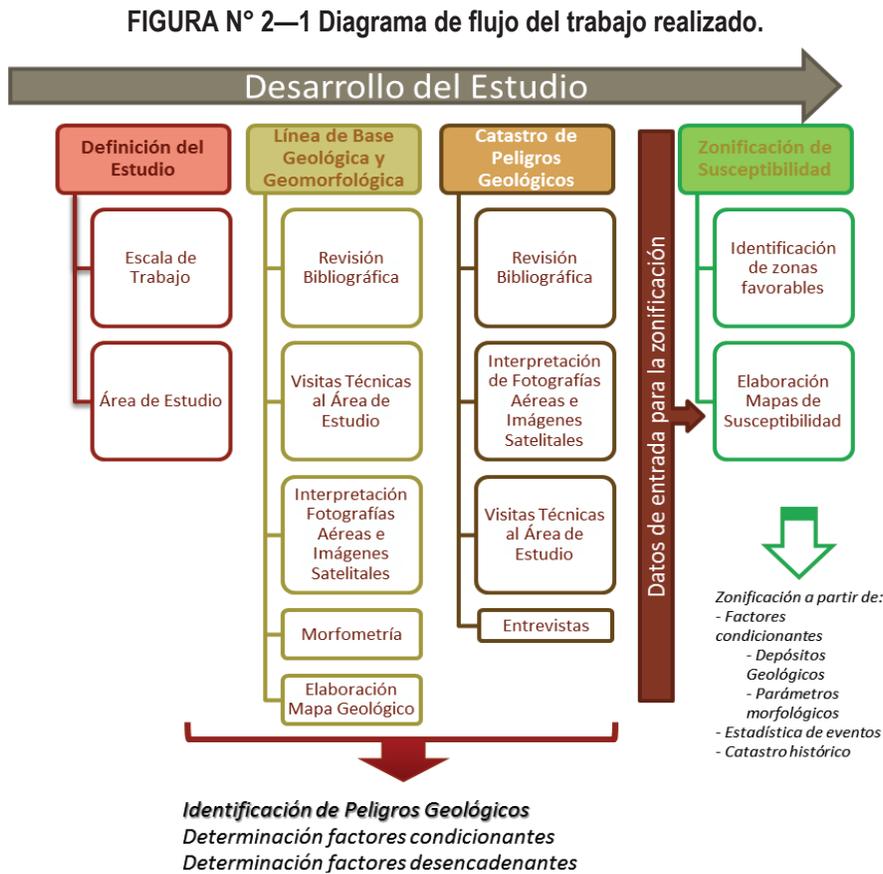
CUADRO N° 1—1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC.

“Áreas de riesgo” según artículo 2.1.17 de la OGUC	Peligros geológicos estudiados en este informe		Capítulo de 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 costeras		4
	Inundaciones terrestres	Por desborde de cauce	5
Anegamiento			
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas	Remociones en masa	Flujo de barro y/o detritos.	6
		Procesos de ladera: <ul style="list-style-type: none"> • Caída de bloques • Deslizamientos • Retroceso de laderas 	7
	Avance de dunas		8
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Sismicidad		9
	Volcanismo		10

2. METODOLOGÍA

El artículo 2.1.17 de la OGUC establece que el estudio fundado de riesgos tiene como objetivo delimitar las “áreas de riesgo”, donde se limiten determinados tipos de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes. Para ello, se identifican los peligros que pudieran afectar a la Provincia de Cauquenes y, posteriormente, se reconocen y delimitan las áreas que pueden ser afectadas por los peligros reconocidos, con base en criterios objetivos. Para lograr lo anterior, la metodología de trabajo debe incluir las actividades que se enumeran a continuación (FIGURA N° 2—1).

- Definición del estudio.
- Elaboración de una línea de base.
- Catastro de peligros geológicos.
- Zonificación de susceptibilidad de peligros geológicos.
- Propuesta de criterios de zonificación urbana.



2.1 Definición del estudio

Se definieron dos escalas de trabajo para este estudio:

- Un área de estudio intercomunal, que abarca la totalidad de la provincia de Cauquenes, que se analiza a escala 1:50.000.
- Un área de estudio urbana, que incluye diez sectores que abarcan las zonas urbanas y de extensión urbana de la intercomuna, y que se analizan a escala 1:25.000.

2.2 Elaboración de la línea de base

La línea de base tiene por objetivo identificar y caracterizar elementos que condicionan y/o gatillan los eventos peligrosos que pudieran ocurrir en el área de estudio.

2.2.1 Línea de base geológica

Las únicas fuentes de información corresponden al mapa geológico de Chile a escala 1:1.000.000, publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería el año 2003, y trabajos científicos a escala local.

Esta cartografía se encuentra a una escala de menor detalle a la acordada para este estudio, y en ella no se diferencian con precisión los depósitos no consolidados. Dado lo anterior, esta geología fue ajustada a escala 1:50.000, con base a fotointerpretación de imágenes satelitales de dominio público (Google Earth y Bing Maps)³ y las curvas de nivel utilizadas en la actualización del PRI Cauquenes, generadas por el Instituto Geográfico Militar, con lo que se ajustó el contacto entre unidades y se diferenció las unidades de depósitos no consolidados de las unidades de roca. Este resultado se presenta dentro del informe a escala 1:750.000.

2.2.2 Línea de base geomorfológica

La caracterización geomorfológica se realizó a escala regional, con base en observación del relieve. En ella se diferenciaron localmente las macro-unidades geomorfológicas que se encuentran a lo largo de Chile y se identificaron y caracterizaron las formas presentes en las áreas estudiadas. Además, se caracterizaron los parámetros morfométricos del área de estudio (pendiente y alturas). Para esto se utilizó como base un modelo de elevación digital SRTM 1 Arc-Second Global (descargado de www.earthexplorer.cl).

2.2.3 Línea de base de clima e hidrología

Se revisaron antecedentes relativos a la hidrología de la zona y, fundamentalmente, los datos que aportan información para la determinación de eventos máximos. Esta revisión incluye la estadística hidrológica de las estaciones hidrométricas cercanas a la zona, considerando datos fluviométricos y meteorológicos, desde la base de datos de la DGA o de estudios anteriores. Los parámetros considerados son precipitaciones mensuales y caudales instantáneos máximos anuales y mensuales.

³ Existen varias imágenes satelitales de acceso público, como las del catálogo de Google Earth, que tienen un nivel de precisión acorde con la escala de estudio. En consecuencia, aunque existen otras fuentes de información de mayor detalle, estas no aportarán información adicional. Por otra parte, esta plataforma presenta otras ventajas como una herramienta para reconocer fácilmente la evolución en el tiempo del área estudiada, visualizar el territorio mediante un modelo 3D, referenciar la descripción del territorio a calles u otros hitos conocidos, generar información que complemente el catastro y acceder a fotografías de usuarios.

2.3 Catastro de peligros geológicos

El catastro tiene como objetivo recopilar antecedentes relativos a peligros que han afectado al área de estudio, con la finalidad de identificarlos, ubicarlos espacialmente y ordenarlos cronológicamente, en la medida que la información lo permita. Por lo general, para los eventos más recientes se tienen descripciones más detalladas y exactas.

Los peligros geológicos catastrados corresponden a aquellos contenidos dentro del artículo 2.1.17 de la OGUC, y fueron tratados con los nombres explicados en el 1.4 “Marco jurídico”, resumidos en el CUADRO N° 1—1. Estos corresponden a:

1. Procesos Endógenos: Actividad sísmica.

Se consideraron los sismos históricos, obtenidos a partir de información bibliográfica, cuyos epicentros se ubicaron en la misma región, o cuyos efectos afectaron directamente la zona.

2. Procesos Endógenos: Actividad volcánica.

Se da una breve descripción acerca de los volcanes activos más cercanos al área de estudio.

3. Procesos Exógenos: Inundaciones terrestres y litorales por maremotos.

En el caso de las inundaciones terrestres, se consideraron los eventos generados por temporales que provocaron inundaciones y que tuvieron efectos directos en las comunidades. Por otro lado, en el caso de los maremotos, se consideraron aquellos que fueron generados por terremotos cuyos epicentros ocurrieron frente a la costa Chilena, y aquellos con origen en zonas lejanas que llegaron atenuados a nuestro litoral.

4. Procesos Exógenos: Remociones en masa.

Se consideraron los eventos generados por temporales o sismos que originaron flujos de barro y/o detritos o algún otro tipo de remoción en masa que tuviera efecto en las comunidades.

5. Procesos Exógenos: Avance de dunas.

Se consideraron las dunas costeras presentes en la zona noroeste de la provincia y la vegetación que se encuentra en ellas, además de la evolución de su avance.

La información recopilada en el catastro se sistematizó mediante listas de referencias y tablas que recogen las características relevantes que aportaron las fuentes revisadas, las cuales son presentadas en el ANEXO C. Este catastro se utilizó para construir mapas de eventos de peligros geológicos históricos, a escala regional, ocurridos en la intercomuna.

El catastro histórico de peligros geológicos acontecidos en la provincia se realizó a través de recopilación bibliográfica, análisis mediante fotointerpretación, una visita técnica al área de estudio y reuniones con el personal comunal encargado de emergencias. A continuación se describen las fuentes de información utilizadas para construir el catálogo.

2.3.1 Recopilación bibliográfica

Parte importante de los antecedentes relativos a peligros que han afectado al área de estudio se encuentran en antecedentes bibliográficos (recopilaciones históricas, archivos de prensa, publicaciones científicas, etc.).

Las fuentes consultadas corresponden a:

- “Catástrofes en Chile 1541-1992” (Urrutia & Lanza, 1993).

- “Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile” (SERNAGEOMIN, en permanente actualización).
- Las dunas de las costas de Chile (Paskoff y Manríquez, 2004)
- Web de Servicio Nacional de Geología y Minería (<https://www.sernageomin.cl/>)
- Web de ONEMI (<http://www.onemi.cl/>).
- Catálogo desinventar (<https://www.desinventar.org/>)

2.3.2 Visita técnica de terreno al área de estudio

Como parte de este proyecto, se realizó una campaña de terreno con el objetivo de recolectar datos locales, información por parte de la comunidad, verificar el catastro realizado, realizar observaciones directas de las condiciones geológicas y geomorfológicas del área estudiada y dimensionar la escala de los procesos que ocurren dentro de la provincia de Cauquenes. Esta campaña de terreno fue llevada a cabo entre los días 11 y 15 de marzo de 2019 y consistió en observaciones directas en terreno y conversaciones con habitantes de las zonas visitadas. Durante la estadía, se sostuvieron reuniones con los encargados de emergencia comunales de Cauquenes y Pelluhue y se participó en los procesos de participación ciudadana de las comunas de Chanco y Pelluhue.

2.4 Zonificación de susceptibilidad de peligros geológicos

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

Peligros No Zonificables a escala urbana: Corresponde a los peligros geológicos de volcanismo y sismicidad. Dada la magnitud de estos peligros, las áreas afectadas no son representables y/o diferenciables a una escala urbana (mayor a 1:10.000), y solo pueden ser analizados en un contexto regional (escala 1:100.000 o menor). Por ejemplo, toda la provincia de Cauquenes está expuesta de manera similar a terremotos y no se puede diferenciar, a escala urbana, cuáles áreas son más susceptibles que otras.

Peligros Zonificables a escala urbana: Corresponde a los peligros de remociones en masa (procesos de ladera y flujos de barro y/o detritos) e inundaciones litorales y terrestres. Estos peligros son representables a una escala urbana, pudiendo diferenciarse claramente, dada la escala de trabajo, que áreas son más susceptibles a la ocurrencia de un peligro geológico dado. Por ejemplo, las zonas de mayor pendiente son más favorables a la ocurrencia de deslizamientos que las áreas planas.

2.5 Propuesta de criterios de zonificación urbana

Con base en los resultados de la zonificación de la susceptibilidad, se propusieron criterios para definir las áreas de riesgo, según la definición del artículo 2.1.17 de la OGUC, para cada uno de los peligros analizados. Es importante destacar que no todas las zonas donde se identificó algún nivel de susceptibilidad de peligro, se definieron como áreas de riesgo.

Adicionalmente, se propondrán recomendaciones generales respecto al uso del territorio en función del nivel de susceptibilidad identificado.

3. LÍNEA DE BASE

Para caracterizar los peligros que pueden afectar al área de estudio, se elaboraron líneas de base de aquellos factores que, por sus características locales, pueden condicionar la ocurrencia de diferentes peligros. Estos factores son geomorfología, geología, clima, precipitaciones y caudales.

3.1 *Marco geodinámico*

Chile, desde su frontera norte hasta la península de Taitao, se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente, donde la Placa Oceánica de Nazca subducta a la Placa Continental Sudamericana bajo su margen occidental, con una tasa actual de convergencia estimada en 8 cm/año (DeMets, et al., 1994). Esta subducción se encuentra activa al menos desde el Jurásico (Ramos, et al., 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).

Esta convergencia se traduce en una lenta acumulación y posterior relajación, generalmente súbita, de esfuerzos, lo que determina que el país sea frecuentemente afectado por terremotos que presentan diferentes características dependiendo del lugar donde se originan. Las características de los diferentes tipos de sismos que se producen en un ambiente de subducción se describen en el capítulo 9. Por otra parte, la subducción condiciona completamente la morfología, dando origen a unidades morfoestructurales de orientación principal norte-sur, perpendicular a la dirección de subducción. Estas unidades se describen en la sección 3.2.1.

3.2 *Marco geomorfológico y geológico*

3.2.1 Unidades morfológicas a escala regional

La provincia de Cauquenes abarca tres unidades morfológicas principales que corresponden a Planicies litorales, Cordillera de la Costa, y Depresión central, además de llanuras fluviales de los ríos principales.

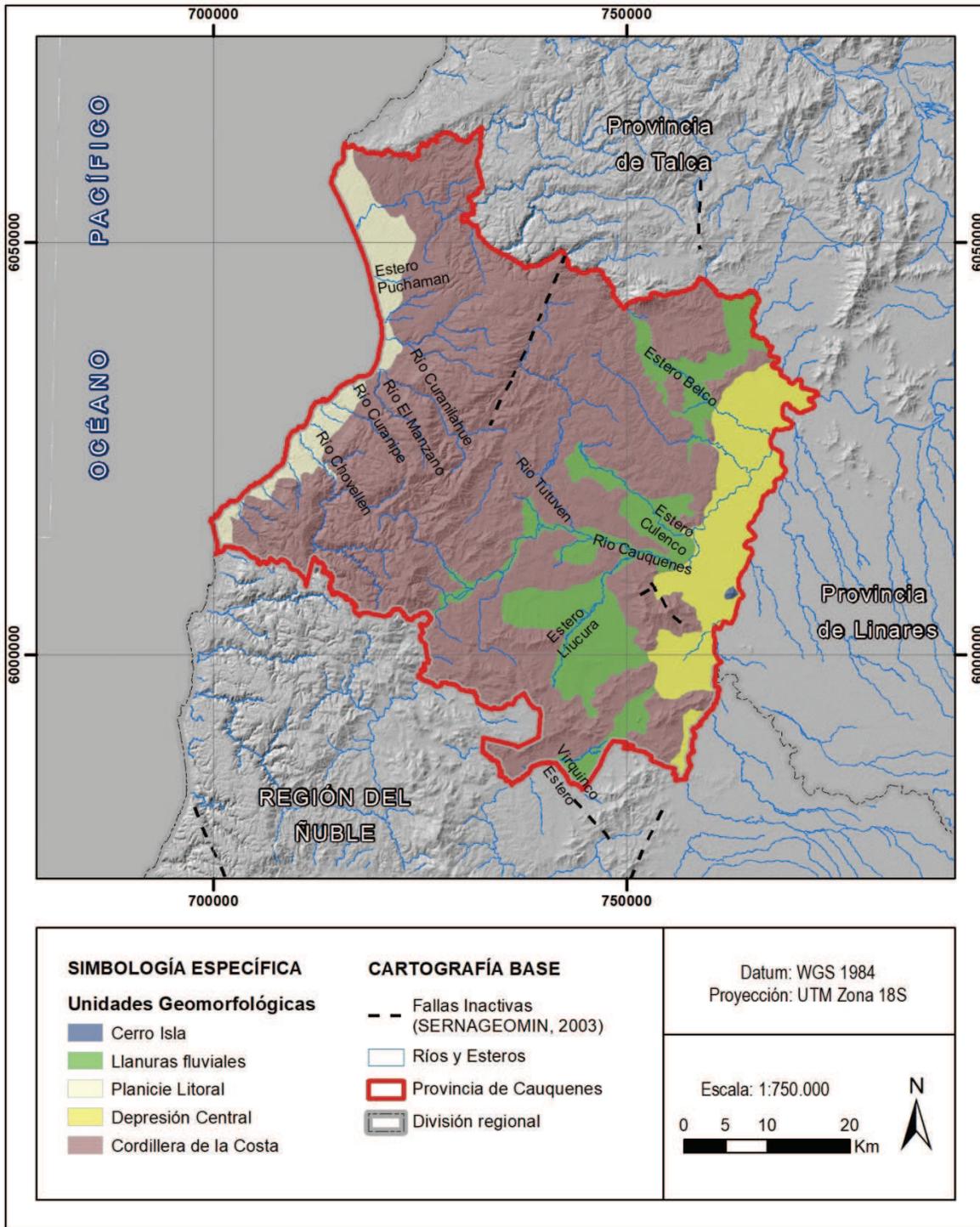
- Planicies litorales: Unidad plana, de pendiente promedio menor a 10° de altura y ancho variable, fluctuando este último parámetro entre algunos centenares de metros hasta menos de 10 kilómetros y se encuentran en elevaciones menores a 50 m s.n.m.
- Cordillera de la Costa: Es la unidad que predomina en la mayor parte de la provincia. Es la cadena montañosa más próxima al mar y está formada por cerros que superan los 800 m s.n.m. Se conforma por rocas metamórficas, intrusivas y sedimentarias, cuyas edades van desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior. Presenta un relieve de suaves lomajes, sobre los cuales se depositaron sedimentos aluviales y fluviales durante el Cenozoico.
- Llanuras fluviales de los ríos principales: Corresponden a pequeñas cuencas interiores que se forman en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, asociadas al trabajo de los cursos medios de los valles de algunos ríos (río Cauquenes, y esteros Virquinco, Liucura, Culenco y Belco). Estas se presentan formando amplias llanuras que cortan el relieve ya suavizado en este sector de la Cordillera de la Costa.
- Depresión central: Corresponde a una cuenca rellena por depósitos aluviales, fluviales y volcánicos (principalmente cenizas) cuyas edades van desde el Pleistoceno hasta el Holoceno. En el área de estudio, esporádicamente sobresalen algunas cumbres de “cerros islas” con alturas superiores a 300 m s. n. m. Las pendientes en esta zona de la provincia son inferiores a 10°. Finalmente, asociado a los cursos de agua que cruzan la Depresión Central,

se forman pequeñas terrazas fluviales con muy poca incisión, generando pequeños escarpes relacionados a la erosión causada por estos cursos de agua.

En cuanto a las estructuras geológicas presentes en el área, sólo se infieren algunas fallas inactivas de acuerdo al mapa geológico 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003).

En la FIGURA N° 3—1 se muestran las principales unidades morfológicas identificadas a escala regional para la comuna, así como las fallas y redes hidrográficas presentes.

FIGURA N° 3—1 Principales elementos geológicos y geomorfológicos a escala regional.



3.2.2 Unidades geológicas de la provincia

El basamento de la provincia se constituye por rocas intrusivas y metamórficas de edad paleozoica (Aguirre, et al., 1972), las cuales afloran principalmente en la Cordillera de la Costa. Estas rocas son intruidas por rocas graníticas del Paleozoico, y cubiertas por unidades sedimentarias mesozoicas y por depósitos piroclásticos pleistocenos. Sobre todas estas unidades se disponen los depósitos no consolidados, los cuales se forman a partir de procesos erosivos actuales.

A continuación se describen las unidades de rocas y depósitos reconocidos, utilizando, como fuentes principales de información el “Mapa geológico de Chile” (SERNAGEOMIN, 2003) y el “Estudio de Riesgos de Pelluhue” (Infracon, 2011). El mapa geológico de la Provincia de Cauquenes se muestra en la FIGURA N° 3—2 y fuera de texto en el PLANO GEOLOGÍA. Los mapas geológicos de las áreas urbanas se presentan entre la FIGURA D—2y la FIGURA D—11.

3.2.2.1 Unidades de roca

- *Basamento Metamórfico Silúrico (edad incierta) - Carbonífero (Pzm)*

Corresponde a una unidad compuesta por micaesquitos, metacherts, serpentinitas, metagrauwacas, filitas, rocas corneas y gneises. Dentro de esta unidad, Aguirre *et al.* (1972) definen dos series metamórficas, la Serie Occidental y la Serie Oriental. En el área de estudio aflora la Serie Oriental, la cual está constituida por metagrauwacas, filitas, rocas córneas y gneises asociados a granitoides (Ferraris, 1981). Esta unidad es la que conforma los acantilados a lo largo de la línea de costa.

Hay varios sectores donde el basamento metamórfico se encuentra meteorizado y otros donde se exhibe con cobertura de suelo. La edad de esta unidad corresponde al Silúrico (edad incierta)-Carbonífero.

- *Intrusivos del Carbonífero - Pérmico (CPg)*

Rocas ígneas que cortan a la unidad del Basamento Metamórfico, corresponden a granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita, localmente de muscovita. Esta unidad se ubica a lo largo y ancho de Cordillera de la Costa, ha sido erosionada por acción de los ríos y cauces menores, generando depósitos fluviales y de origen aluvial que se disponen de manera discordante sobre ella.

- *Rocas Metamórficas del Paleozoico - Triásico (PzTrm)*

Corresponde a una unidad de rocas metamórficas que afloran hacia la costa, en la localidad de Pelluhue. Está conformada por metapelitas, metacherts, metabasitas y en menor proporción por gneises y rocas ultramáficas con protolitos de edades del Devónico al Triásico y metamorfismo del Pérmico al Jurásico. Se puede observar cercana a la línea de costa en el acantilado activo del área estudiada. Se encuentran erosionadas por la acción marina y por quebradas rellenas con depósitos fluvio-aluviales del Holoceno.

- *Secuencias sedimentaras marinas y transicionales del Triásico Superior (Trs)*

Estas unidades se ubican en el sector sureste de la provincia de Cauquenes y corresponden a rocas sedimentarias. Han sido descritas como areniscas, conglomerados, limolitas y calizas, que representan ambientes marino y transicional.

- *Intrusivos del Jurásico Inferior (Jig)*

Se ubican en el sector sureste intruyendo las unidades sedimentarias anteriormente descritas. Corresponden a dioritas, gabros y monzodioritas de piroxeno, dioritas cuarcíferas y granodioritas y

tonalitas de hornblenda y biotita. En contacto con esta unidad se ubican en los depósitos piroclásticos del Pleistoceno al este de la provincia.

- *Secuencias sedimentarias marinas, litorales o transicionales del Cretácico Superior (Kss)*

Estas unidades ubicadas al noroeste de la provincia que afloran en las localidades de Loanco, Pahuil y Chanco. Corresponden a areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásticas y oolíticas, y a sucesiones turbidíticas de la Formación Quiriquina. Esta unidad tiene un alto contenido fósil de invertebrados marinos, y representan un ambiente marino, litoral y transicional.

3.2.2.2 Unidades semiconsolidadas

- *Depósitos Piroclásticos del Pleistoceno (Plp)*

Corresponden a depósitos piroclásticos, de composición principalmente riolítica, que se encuentran asociados a calderas de colapso. Se extienden en el sector este de la provincia ubicándose en zonas planas en la depresión longitudinal, son erosionados por los cauces y, por ende, sobre ellos se disponen depósitos cuaternarios asociados a la acción fluvial.

Está constituida por cenizas de colores claros de carácter ácido con diferentes grados de consolidación. Su origen sería producto de flujos piroclásticos provenientes del grupo volcánico Nevados de Chillán (Moreno & Varela, 1985).

3.2.2.3 Depósitos no consolidados

- *Depósitos lacustres Pleistoceno-Holoceno (PIHla)*

Limos y arcillas asociados a humedales y pequeños lagos estacionales o permanentes.

- *Depósitos de llanura aluvial Pleistoceno-Holoceno (PIHa)*

Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; que se encuentran formando abanicos aluviales, y rellenando valles fluvio-glaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos. Son cortados por depósitos fluvio-aluviales y aluviales.

- *Depósitos fluvio-aluviales de quebradas Pleistoceno-Holoceno (PIHaf)*

Corresponden a bolones, gravas, arenas y limos de origen fluvial y aluvial, que se encuentran rellenando el curso actual de cauces y quebradas, así como también sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Corresponden a depósitos de baja a media consolidación.

- *Depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno (PIHl)*

Corresponden a depósitos conformados por arenas y gravas de playas actuales, incluyendo depósitos eólicos que se encuentran formando dunas poco cohesivas de color gris en las unidades geológicas de escala 1:50.000.

En el caso del mapeo a escala 1:25.000 de las localidades estudiadas, esta unidad corresponde a las terrazas marinas que se ubican paralelas a la línea de costa, las que se constituyen de arenas y gravas semiconsolidadas. Estos depósitos se encuentran ocasionalmente interrumpidos por depósitos fluviales y fluvio-aluviales asociados al río Curanilahue, río Curanipe y otros cursos menores.

- *Depósitos de playa Holoceno (PIHp)*

Se distinguen en las localidades costeras que se han caracterizado a escala 1:25.000. Se ubican paralelos a la costa y corresponden a las arenas no consolidadas de las playas actuales, las que se encuentran expuestas a la erosión del mar.

- *Depósitos eólicos Pleistoceno-Holoceno (PIHe)*

En el mapeo de las localidades a escala 1:25.000 se pueden distinguir los depósitos de origen eólico que generan los campos dunares de Chanco. Estos se extienden desde el pueblo de Pelluhue hacia el norte.

Corresponden a arenas negras de origen basáltico y algunas intermedias, provenientes de rocas graníticas y metamórficas de la Cordillera de la Costa. Han sido transportadas por cauces y por la acción eólica. Por lo anterior, se encuentran condicionados a los cambios en la trayectoria e intensidad de los vientos. Sin embargo, gran parte de los campos dunares se encuentran estabilizados por vegetación.

- *Depósitos fluviales aterrizados Pleistoceno-Holoceno (PIHf2)*

Estos depósitos se distinguen para las localidades caracterizadas a escala 1:25.000. Corresponden a bolones, gravas, arenas, limos y arcillas que afloran en las riberas de los actuales ríos, esteros y quebradas. Están medianamente consolidados y morfológicamente corresponden a niveles aterrizados, cuyas alturas no superan los 5 metros sobre los cursos fluviales actuales.

- *Depósitos fluviales Holoceno (PIHf en 1:50.000 y PIHf1 en 1:25.000)*

Corresponden a depósitos no consolidados asociados a la acción de los ríos y cauces activos del área de estudio. Esta unidad está constituida por bolones, gravas y arenas.

3.2.3 Parámetros morfométricos

En el área de estudio, las alturas varían desde los 0 hasta los 830 m s.n.m. Las zonas de mayor altura están hacia el oeste, en la Cordillera de la Costa, cordón de orientación noreste que separa las localidades costeras de las del valle central de la Provincia de Cauquenes. Por otro lado, los sectores con menores elevaciones se encuentran en la Planicie Litoral, en las Llanuras fluviales de la Cordillera de la Costa y en la Depresión Central (FIGURA N° 3—3).

En relación a las pendientes, se observa que la Cordillera de la Costa presenta la mayor distribución de pendientes mayores a 15°, las cuales se asocian principalmente a quebradas presentes en este cordón montañoso. Además, las mayores pendientes, superiores a 35°, se encuentran entorno a los ríos y esteros que nacen en esta cordillera, tales como los ríos Curanilahue, El Manzano y Curanipe, entre otros, esto debido a la alta erosión que estos sistemas fluviales generan en la roca (FIGURA N° 3—4).

FIGURA N° 3—2 Geología de la provincia de Cauquenes.

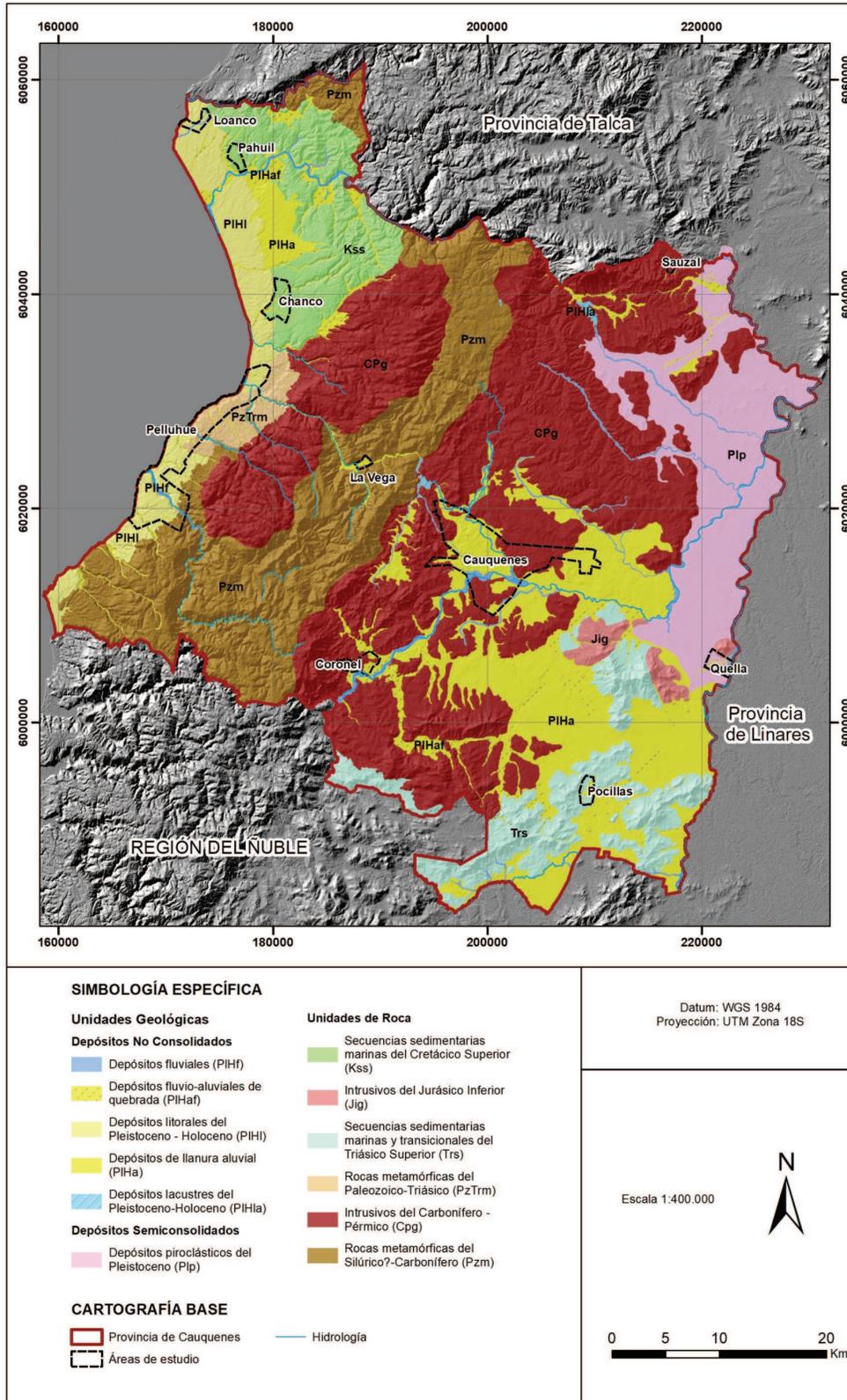
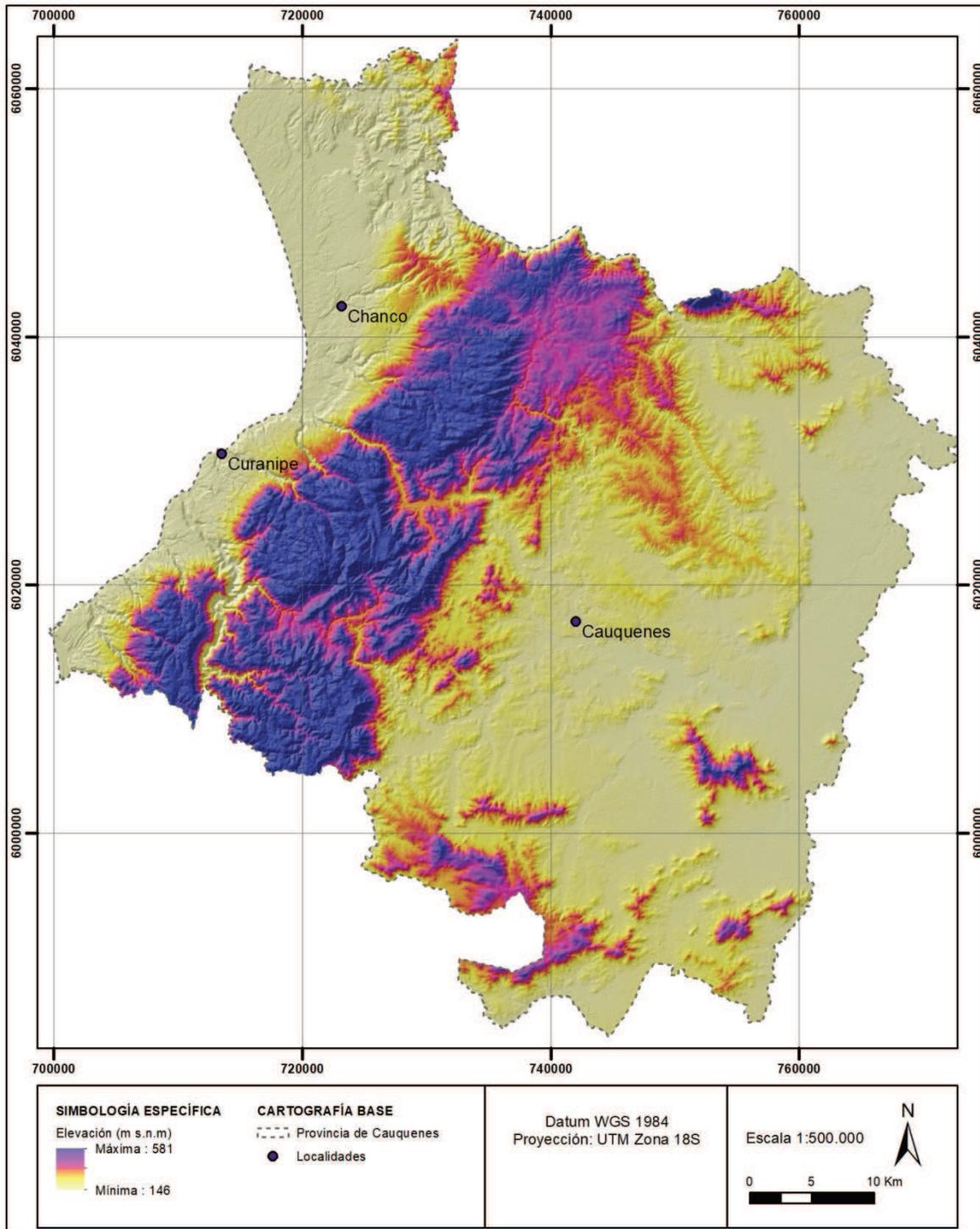
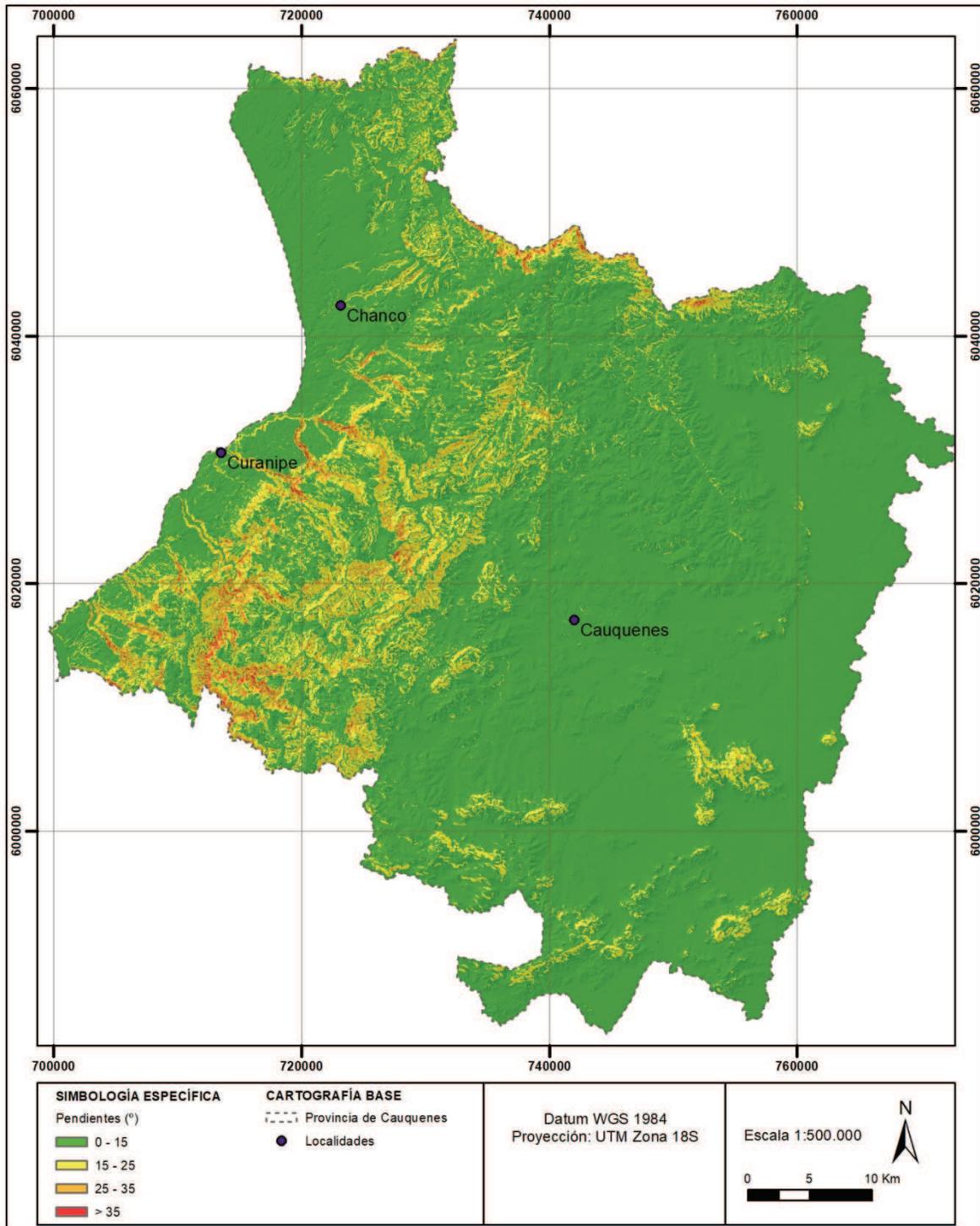


FIGURA N° 3—3 Mapa de elevaciones de la provincia de Cauquenes.



Fuente: Elaborado con base en DTM de 1 m por pixel

FIGURA N° 3—4 Mapa de pendientes de la provincia de Cauquenes.



Fuente: Elaborado con base en DTM de 1 m por pixel.

3.3 Caracterización climática y precipitaciones

El clima en la provincia de Cauquenes se clasifica como templado cálido, con estación seca de 5 a 4 meses (Dirección Meteorológica de Chile, 2008) y con precipitaciones anuales cercanas a 700-800 mm que se concentran principalmente en los meses de invierno, entre mayo y agosto.

Las precipitaciones de la provincia se han caracterizado en base a tres estaciones: la estación Constitución, representativa de la zona costera, la estación Tutuvén Embalse, representativa de la Cordillera de la Costa, y la estación Quella, representativa de la Depresión Intermedia (CUADRO N° 3—1 y FIGURA N° 3—5). El resumen de los datos de estas estaciones muestra que las precipitaciones son algo mayores en la zona costera que en la Depresión Intermedia, pero también muestran que el efecto de la altitud incide más en las precipitaciones.

CUADRO N° 3—1 Valores representativos de las precipitaciones en la provincia de Cauquenes

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Constitución													
Datos	25	25	25	23	24	24	25	25	25	25	25	24	
Promedio	4,1	6,2	10,6	33,8	100,6	167,5	147,5	124,0	63,9	38,9	15,6	6,6	719,5
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	1,7	16,0	5,3	0,0	0,0	0,0	
Perc. 25%	0,0	0,0	0,0	5,5	48,4	101,9	71,1	64,5	28,4	9,0	1,5	0,0	
Perc. 50%	0,2	0,1	1,0	30,5	76,3	151,4	134,7	127,6	55,9	24,9	9,0	1,4	
Perc. 75%	4,8	2,5	15,1	50,5	150,1	216,8	202,7	162,0	75,8	51,1	19,5	6,2	
Máximo	36,0	62,8	67,7	150,0	301,5	495,0	393,0	320,2	264,0	143,7	88,1	44,0	
Tutuvén Embalse													
Datos	41	41	39	41	43	42	42	41	40	39	39	39	
Promedio	4,0	10,1	15,8	45,1	156,5	191,4	196,5	122,1	69,3	33,1	19,6	8,4	871,8
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,9	10,0	11,7	4,5	0,0	0,0	0,0	
Perc. 25%	0,0	0,0	0,0	5,0	61,2	127,4	107,6	57,0	34,5	6,2	2,1	0,0	
Perc. 50%	0,0	0,0	3,0	23,8	103,0	193,0	166,3	110,1	61,9	25,7	8,3	3,1	
Perc. 75%	5,5	8,5	21,8	76,8	224,6	239,1	254,3	167,9	91,3	48,6	26,9	15,6	
Máximo	24,3	69,1	88,3	221,2	518,5	557,3	506,0	339,1	229,5	118,2	110,2	36,7	
Quella													
Datos	56	56	55	56	56	56	56	56	56	56	56	55	
Promedio	4,6	10,1	12,4	38,2	124,3	145,5	133,9	91,5	57,8	35,6	18,2	11,2	683,4
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,8	4,2	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	
Perc. 25%	0,0	0,0	0,0	10,4	56,4	72,3	78,0	43,8	26,4	10,0	1,8	0,0	
Perc. 50%	1,0	0,0	5,0	26,4	92,0	141,3	118,0	81,3	44,0	28,6	12,5	1,1	
Perc. 75%	7,6	9,3	14,2	55,9	155,1	204,8	198,0	117,9	81,0	54,5	23,8	11,5	
Máximo	29,5	122,5	73,0	193,6	501,5	407,0	352,5	249,0	170,0	145,0	100,0	104,5	

3.4 Hidrografía y caudales

La red de drenaje de la Provincia de Cauquenes se presenta como dos sistemas, separados entre sí por la divisoria de aguas de orientación aproximada norte-sur ubicada a lo largo de la Cordillera de la Costa, quedando una en la vertiente oriental y otra en la occidental.

La red de drenaje ubicada al lado occidental está formada por esteros y ríos que nacen en la Cordillera de la Costa, escurren en dirección principal de este a oeste y descargan hacia el mar. Las hoyas de cada uno de estos cauces forman redes rectilíneas o dendríticas, con superficies drenadas que, como máximo, se aproximan a 550 km², de manera que los cauces tienen pendientes relativamente altas.

Los ríos más importantes de este sistema son el Loanco y el Reloca, que corresponden a parte del límite norte de la provincia, el Rahue, que separa las comunas de Chanco y Pelluhue, y el Chovellén, ubicado en la comuna de Pelluhue.

La red de drenaje ubicada al lado oriental se ubica completamente en la comuna de Cauquenes y está formada por ríos y esteros que escurren de oeste a este y descargan en una serie de cauces que escurren en dirección principal nor-noreste, y que está compuesta por el estero Liucura y por los ríos Cauquenes y Perquillauquén, que van descargando sucesivamente cada uno en el siguiente, y que, finalmente, son afluentes del río Maule. Esta red está compuesta por una cantidad de cauces menor que la ubicada en la vertiente occidental, pero que drenan superficies más grandes, y con pendientes más bajas. Las principales hoyas hidrográficas, de sur a norte, son, el río Cauquenes, el estero Culenco, el estero El Arenal, el Estero Belco y el río Purapel.

Se recopilaron datos de 9 estaciones fluviométricas, distribuidas en los ríos Cauquenes, Loanco, Perquillauquén, Purapel y Tutuvén (FIGURA N° 3—5). La información disponible en cada una de las estaciones se resume en el CUADRO N° 3—2.

CUADRO N° 3—2 Resumen del registro de las estaciones fluviométricas.

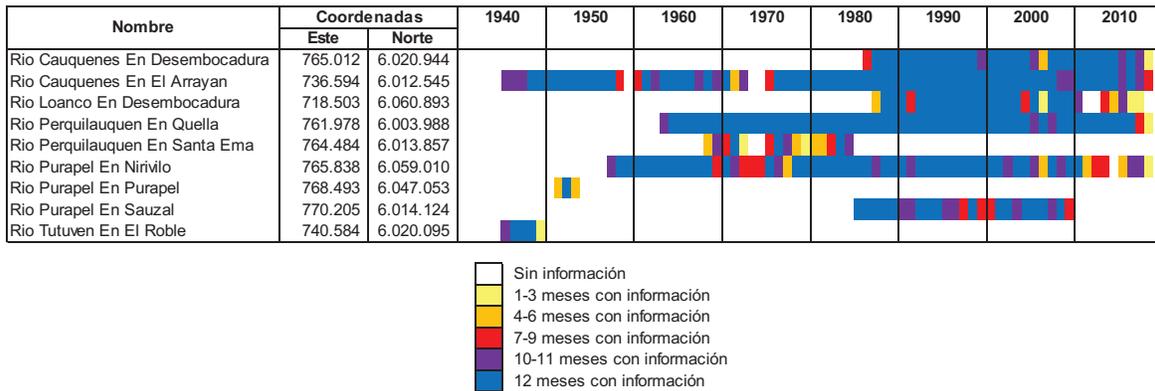
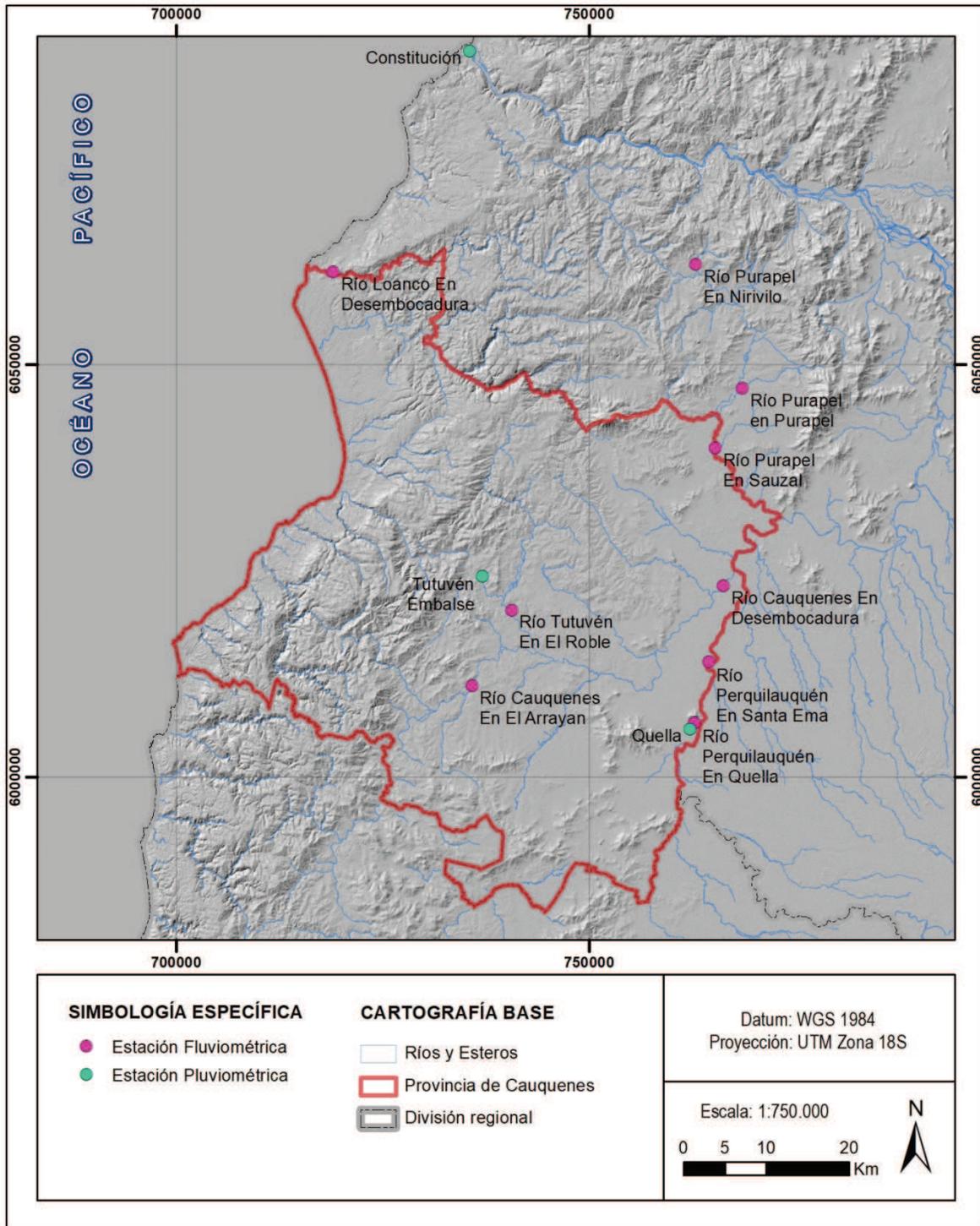


FIGURA N° 3—5 Estaciones cercanas al área de estudio.



4. INUNDACIONES COSTERAS

Las inundaciones costeras son el resultado de tsunamis o maremotos, que 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. También pertenecen a esta categoría marejadas, relacionadas con procesos climáticos, que generan olas más pequeñas que los maremotos, pero son más recurrentes. Las características de estas inundaciones se describen detalladamente en el Anexo B.2.1.3.

4.1 Catastro

De acuerdo al registro de maremotos recopilados en Urrutia y Lanza (1993), la provincia de Cauquenes ha sido afectada por maremotos en los años 1570, 1575, 1657, 1730, 1751, 1835, 1837, 1928, 1949, 1952 (asociado a un terremoto lejano a las costas de Chile), 1960, 1985 y 2010 (este último no incluido en el registro anterior).

Los maremotos más desastrosos producidos en la zona central de Chile fueron generados por sismos cuyos epicentros ocurrieron frente a la costa, específicamente por sismos Interplaca tipo *thrust*. En el CUADRO C-4 (ANEXO C) se presenta un catastro de los maremotos históricos que han afectado al entorno de la costa de la Provincia de Cauquenes, aunque no existe registro de daños en la provincia en todos estos eventos. Sólo se encontraron registros de daños en la zona para los maremotos de 1835 y 2010.

4.1.1 Maremoto del 20 de febrero de 1835

El terremoto de 1835 fue acompañado por la salida del mar que, en Chanco, derribó muchos edificios, entre otros la iglesia de la villa que se levantaba donde ahora se encuentra ubicada la plaza del pueblo (Aguilera, 1947)⁴.

4.1.2 Maremoto del 27 de febrero de 2010

Las mayores alturas de las olas de este tsunami se registraron en la Región del Maule, donde alcanzaron alturas de hasta 14 m., específicamente, la mayor altura fue medida en Loanco, al norte de Pelluhue (Vargas, et al., 2011). Este mismo estudio señala que, para diferentes localidades de la provincia de Cauquenes, la altura de la ola se encuentra entre 9 y 14 m.

El tsunami devastó el litoral de la Región del Maule y causó la mayor cantidad de pérdidas humanas y de infraestructura del país. En Pelluhue y Curanipe fallecieron 48 y 6 personas, respectivamente; la vegetación fue arrasada, y tanto las casas como las construcciones públicas y privadas fueron destruidas (FIGURA N° 4—1) (Vargas, et al., 2011; Contreras & Winckler, 2013).

En la escala de Mercalli Modificada, el terremoto tuvo una Intensidad VIII en la Región del Maule, sin embargo, el impacto del tsunami fue variable a lo largo de la costa, debido a factores geomorfológicos y batimétricos locales.

⁴ Se hace notar que en el año 1849, el pueblo de Chanco fue trasladado al sitio contiguo, que actualmente ocupa, debido a que estaba siendo invadido por las dunas (Urrutia & Lanza, 1993). En el relato de los daños del maremoto no queda claro si estos hacen referencia a la ubicación actual o a la anterior.

SERNAGEOMIN realizó un levantamiento de la altura máxima de inundación en Pelluhue y Curanipe (González, et al., 2010)

FIGURA N° 4—1 Daños ocasionados por el maremoto del 27 de febrero en diversos sectores de la comuna de Pelluhue.



Fuente: Extraído del Estudio de Riesgos Pelluhue, Plan Regulador Comunal de Pelluhue (2011).

4.2 Diagnóstico

El maremoto ocurrido con posterioridad al terremoto de 2010 se encuentra bien documentado y se puede considerar, en gran medida, como un elemento importante para la definición de las zonas que pueden ser afectadas por un tsunami.

Por otra parte, la altura de inundación generada por un tsunami depende de características propias de cada evento, como la ubicación de la zona de ruptura y la magnitud del sismo, y otras características locales que dependen de la zona afectada, como la morfología del terreno y la orientación de la costa (Annunziato, 2007). Por esta razón, los efectos de un evento no pueden asumirse como un predictor exacto de otros que ocurran en el futuro.

En cuanto a las condiciones morfológicas, las zonas más bajas presentan condiciones para que el agua alcance mayores alturas, tal como se constata con la carta de inundación generada para la zona de Pelluhue y Curanipe a partir de datos recopilados con posterioridad al maremoto de 2010 (González, et al., 2010). De esta forma, el agua ingresa más en zonas planas que en zonas escarpadas, y más aún en las zonas donde se encuentran ríos.

4.3 Zonificación

La cartografía utilizada en este estudio se generó a partir de los levantamientos generados por el Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000, y con curvas cada 50 m. En consecuencia, la primera curva disponible para definir las áreas de susceptibilidad por maremoto se encuentra en la cota 50 m s. n. m., lo que no permite zonificar este peligro. Por esta razón se debió recurrir a otras fuentes de información, que apoyaran la definición de las distintas zonas de susceptibilidad. Estas fuentes son:

- Mapa Área de inundación por tsunami del 27 de febrero de 2010 Curanipe – Pelluhue (SERNAGEOMIN, 2010).
- Estudio de riesgo de sismos y maremoto para comunas costeras de las regiones de O'higgins y del Maule (PUC, 2010). Usado para localidades de Pelluhue, Curanipe y Loanco.
- Levantamiento cosísmico e impacto del tsunami a lo largo de la costa de Chile central asociado al terremoto del Maule Mw 8.8 de 2010 (Vargas, et al., 2011).
- Datos del evento del tsunami del terremoto de Valdivia del 2010 del National Centers for environmental information (NOAA) ⁵.
- Imágenes Satelitales del Catálogo Basemap.
- Topografía elaborada a partir del modelo digital de elevación SRTM.

Se asignó la susceptibilidad en función de los daños esperados, a la recurrencia estimada y al nivel de certeza de la información. De esta forma, se asignó una susceptibilidad muy alta a los eventos con mayor recurrencia, dentro de esta categoría se incluyen tanto tsunamis generados por terremotos menores en magnitud al terremoto del 27 de Febrero de 2010, y eventos de marejadas por fenómenos climáticos extremos.

A un maremoto como el del año 2010, cuya recurrencia es del orden de 150 años, se le asignó una susceptibilidad alta. Se debe tener en consideración que no se cuenta con documentos que definan la zona alcanzada por el maremoto en la totalidad de la provincia. Como se señaló anteriormente, la altura máxima del tsunami de 2010 ocurrió en la zona de Loanco, donde tuvo una altura de 14 m, por lo tanto, se propuso como criterio general que en aquellos lugares que no se cuenta con información, la susceptibilidad alta llega hasta una cota de 15 m s. n. m.

La susceptibilidad moderada está representada por terremotos extremos, como el de Valdivia de 1960, cuya magnitud 9,5 y efectos asociados corresponden a un evento de menor recurrencia que el del 2010. Este terremoto ocurrió lejos de la provincia de Cauquenes, pero se asemejaría al peor escenario esperable. La altura máxima de este tsunami fue de aproximadamente 25 m, por lo que se propuso como criterio general que los lugares ubicados por debajo de la cota 25 m s. n. m. tuvieran una susceptibilidad moderada.

⁵ https://ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?EQ_0=1902&t=101650&s=9&d=99,91,95,93&nd=display

Para suplir la falta de información topográfica, se utilizó el modelo digital de elevación SRTM, con resolución aproximada de 30 m.

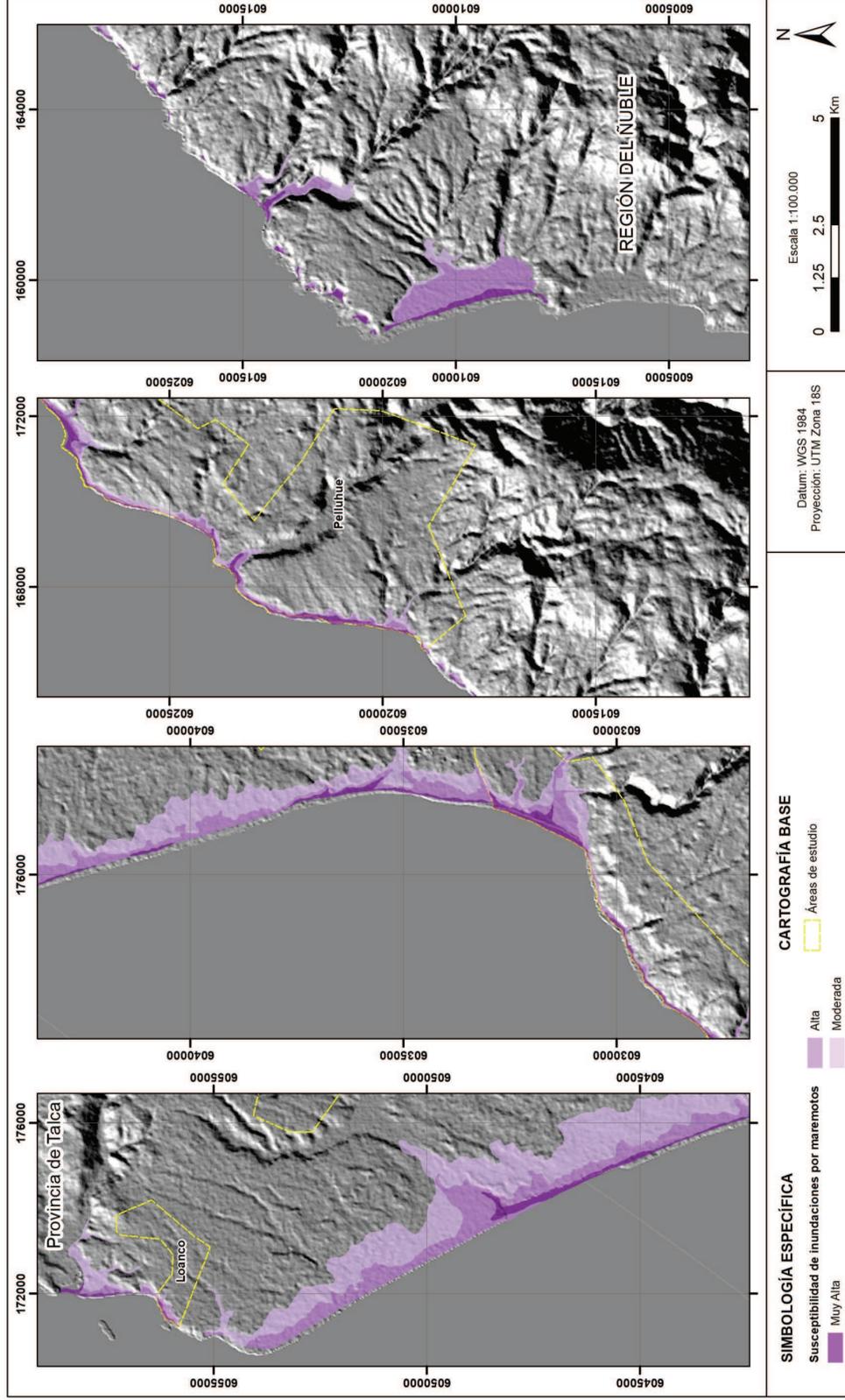
En consecuencia, los criterios para definir la susceptibilidad de inundaciones son los siguientes:

- **Susceptibilidad de maremoto muy alta:** zonas que se encuentran a una altura de hasta 10 m s. n. m.
- **Susceptibilidad de maremoto alta:** corresponde a las zonas inundadas por el maremoto del 27 de Febrero de 2010 en los sectores en que se cuenta con registro. Para las zonas sin registro descrito en mapas o documentos, corresponde a la zona ubicada a una altura entre 10 y 15 m s. n. m.
- **Susceptibilidad de maremoto moderada:** zona que se encuentra a una altura entre 15 y 25 metros con respecto al nivel del mar.

La metodología aquí descrita y los criterios de zonificación utilizados fueron los mismos para la escala 1:25.000 en las localidades de la Provincia de Cauquenes, y para la Provincia de Cauquenes a una escala de 1:50.000. Por esta razón, dentro los resultados de zonificación a 1:50.000 se incluyen sin modificaciones la zonificación de 1:25.000.

La susceptibilidad asociada a este peligro, a escala de la provincia, se presenta en la FIGURA N° 4—2 y fuera de texto en el PLANO SUSCEPTIBILIDAD PELIGROS, y a escala de las localidades entre la FIGURA D—12 y la FIGURA D—21 (ANEXO D).

FIGURA N° 4—2 Susceptibilidad de inundaciones costeras en la Provincia de Cauquenes



5. INUNDACIONES TERRESTRES

Las inundaciones terrestres son aquellas en que aguas dulces inundan el territorio al interior del continente, estas pueden producirse por desbordes de cauces o por acumulación de aguas in situ (anegamientos). El peligro de inundaciones por desborde de cauces se asocia al crecimiento de caudales en ríos o esteros, los cuales inundan sectores aledaños a sus cauces. Este peligro se describe detalladamente en el Anexo B.2.1.1. Por otro lado, las inundaciones por anegamientos se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y/o deficiente drenaje del terreno. Este peligro se describe detalladamente en el anexo B.2.1.2.

5.1 Catastro

El catastro de inundaciones terrestres y precipitaciones extremas que han afectado a la provincia de Cauquenes, considera eventos documentados desde mediados del siglo XIX, que hayan afectado a la zona Central del país, descritos como inundaciones y temporales, tanto en la literatura como en la prensa. Además, se incluyó la información recopilada en la visita técnica al área de estudio y en las participaciones ciudadanas de la Provincia de Cauquenes.

La mayor parte de las inundaciones registradas han ocurrido por el desborde de los ríos Cauquenes, Curanilahue y Tutuvén, estas han producido anegamiento y han afectado la infraestructura vial y viviendas de la zona. Las inundaciones más importantes ocurrieron los años 2002 y 2008. Además, precipitaciones intensas han provocado anegamientos en las poblaciones José Toribio Merino, Santa Rosa y Cauquenes (FIGURA N° 5—1). En el CUADRO C-1 se presenta un catastro de los eventos de inundaciones o fuertes precipitaciones que han afectado a la provincia de Cauquenes.

5.2 Diagnóstico

El diagnóstico se elaboró a partir del catastro recopilado, la red hídrica de la zona, estudios de peligro previo y la información obtenida en la visita a terreno realizada en marzo de 2019.

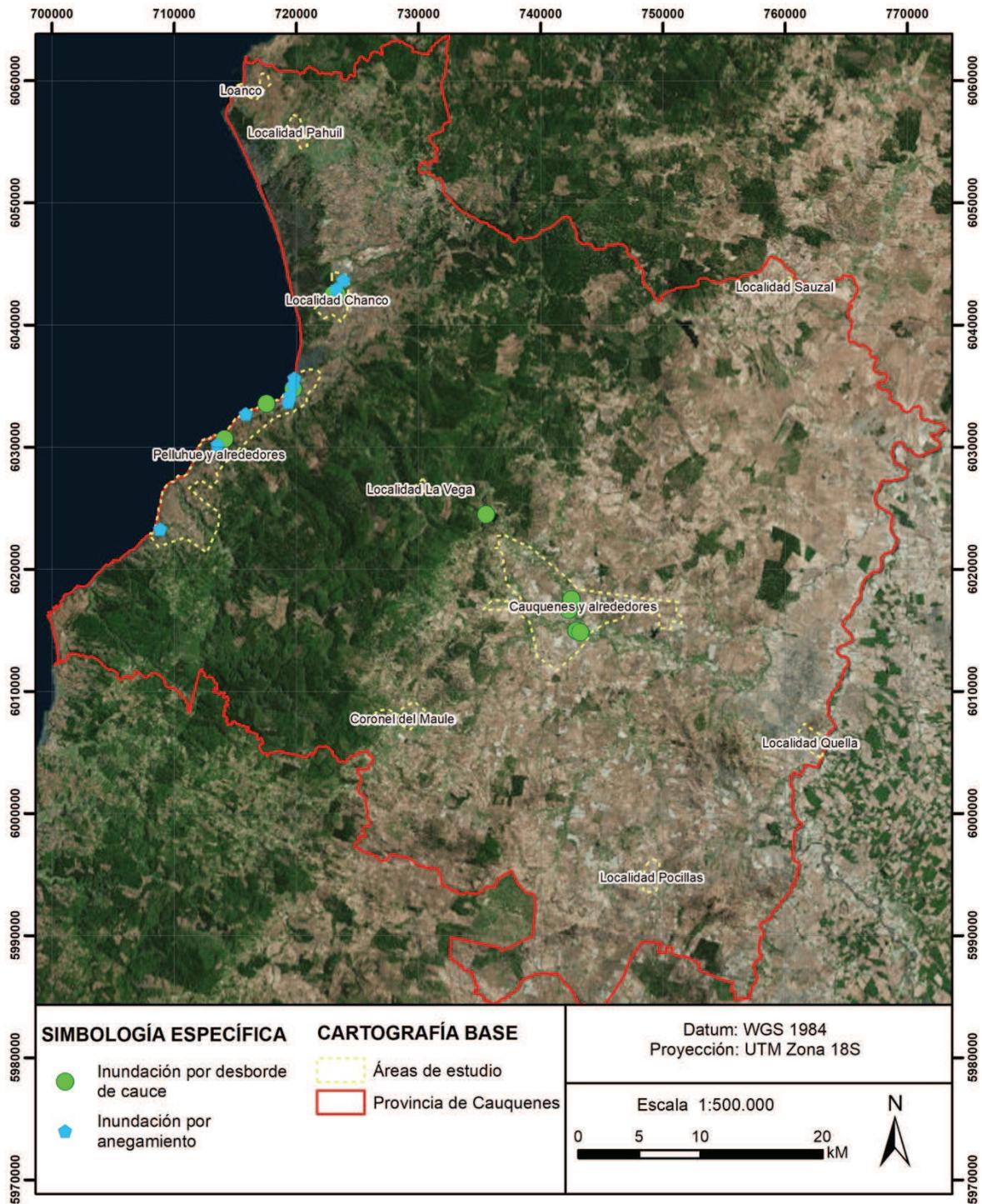
Los ríos más propensos a causar inundaciones por desbordes de cauces, en zonas urbanas, son los ríos Cauquenes, Tutuvén, Curanilahue, y Curanipe y los esteros El Molino y Chanco según el catastro realizado.

En particular, las zonas que podrían ser afectadas son los sectores donde se encuentran cauces de ríos y esteros con depósitos fluviales activos, sus respectivas llanuras de inundación y, en menor medida, zonas con depósitos de terrazas fluviales.

Por otro lado, se tiene antecedentes de anegamientos en las poblaciones Cauquenes, José Toribio Merino, Santa Rosa, Los Acacios y el sector de la estación de servicio Copec, ubicada en la esquina de las calles Maipú y San Martín, en la localidad de Cauquenes. La población Don Emiliano y el estadio en Pelluhue. Zonas cercanas a la ruta M-50 en Chanco, al este de la localidad. Lo que indica que en el futuro estas mismas podrían ser afectadas por este tipo de proceso.

Estos eventos tienen mayor probabilidad de desencadenarse entre los meses de Mayo a Septiembre, al ser los meses que registran, estacionalmente, mayores precipitaciones en esta zona del país. Sin embargo, no se puede descartar la ocurrencia de algún fenómeno climático excepcional que desencadene intensas lluvias en otro mes del año.

FIGURA N° 5—1 Catastro de inundaciones en la Provincia de Cauquenes



5.3 Zonificación

5.3.1 Inundación por desborde de cauce

Este peligro la mayor parte de las veces nace y se relaciona con la poca diferencia de altura entre los cauces principales y las zonas aledañas a estos, que hacen que los ríos, esteros o quebradas no tengan una gran capacidad de transportar el agua.

El análisis de este peligro se realizó a dos escalas distintas. Por un lado a una escala a nivel provincial (1:50.000) y por otro lado, a una mayor escala (1:25.000) que incluye las diez áreas urbanas. Para identificar las zonas que presentan condiciones para ser afectadas por inundaciones por desborde de cauce, se analizaron las fuentes de información disponibles, es decir, registro histórico o catastro de eventos de inundaciones, la geología de la zona donde se identifican depósitos aluviales o fluviales y la hidrografía. El uso de estos dos insumos se describe a continuación.

1. El catastro general de eventos entrega información respecto de las zonas que han sido afectadas por eventos de inundación. Este tipo de información se utilizó únicamente para el análisis de peligro a escala local (1:25.000).
2. Geología: Se identificaron las unidades geológicas en toda el área de estudio, tanto a escala provincial (1:50.000) como local (1:25.000), que se puedan asociar a este tipo de peligro. Donde se identificaron depósitos fluviales (PIHf1), depósitos fluviales aterrizados (PIHf2) y depósitos fluvio-aluviales de quebrada (PIHhaf)
3. Hidrografía: Los cauces definidos utilizando la topografía del área de estudio se consideraron como información relevante para definir las áreas inundables.

De esta forma, para la zonificación a escala 1:50.000, se le asigna un grado de susceptibilidad muy alta a los cauces principales de los ríos, esteros y grandes quebradas que se designaron como depósitos fluviales (PIHf) y depósitos fluvio-aluviales de quebrada (PIHhaf). A partir de esta zona de susceptibilidad muy alta, se determinó como área de inundación alta a las terrazas adyacentes al cauce principal, redes aportantes de menor envergadura y parte central de depósitos fluvio-aluviales.

En base a lo recién expuesto, se estableció que los criterios adecuados para definir los grados de susceptibilidad asociados a inundaciones por desborde de cauce a escala 1:50.000 son los siguientes:

- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauce muy alta:** Estas áreas consideran los cauces actuales principales determinados por la unidad geológica PIHf (depósitos fluviales), las áreas cubiertas por ríos esteros o canales, hasta una distancia de 30 m medida desde el eje del cauce y los embalses.
- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauce alta:** Estas áreas incluyen la unidad PIHhaf (depósitos fluvio-aluviales de quebrada), excepto en aquellos sectores distantes de los cauces donde estos depósitos se encuentran estabilizados, y las quebradas permanentes e intermitentes, hasta una distancia de 30 m medida desde el eje del cauce.
- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces moderada:** Estas áreas incluyen los sectores más distantes de la unidad PIHhaf (depósitos fluvio-aluviales de quebrada), donde los depósitos se encuentran más estabilizados.

Para la zonificación a escala 1:25.000, se usaron criterios similares con respecto a la geología, sin embargo al ser una escala de mayor detalle se tomó en consideración el catastro. Por lo tanto, al cauce principal correspondiente a la unidad de depósitos fluviales (PIHf1), se le asignó una

susceptibilidad muy alta (FIGURA N° 5—2 y FIGURA N° 5—3). A las terrazas asociadas a los ríos, asignadas como la unidad depósitos fluviales aterrazados (PIHf2), junto con zonas cercanas al cauce principal que ya se han inundado anteriormente según el catastro, se le asignó una susceptibilidad alta (FIGURA N° 5—2 y FIGURA N° 5—3). Finalmente se otorgó una susceptibilidad moderada, a las zonas adyacentes a estas dos últimas recién mencionadas que presentan características que se puedan inundar (FIGURA N° 5—4), que pueden corresponder a depósitos fluviales aterrazados distales o en zonas más elevadas o depósitos de llanura aluvial (PIHa)).

Según lo recién mencionado, los criterios utilizados para definir los grados de susceptibilidad asociados a las inundaciones por desborde de cauce a estaña 1:25.000 son:

- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauce muy alta:** cauces principales determinados por la unidad geológica PIHf1 (depósitos fluviales).
- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauce alta:** terrazas de inundación adyacentes al cauce principal determinados por la unidad geológica PIHf2 (depósitos fluviales aterrazados) y zonas que según el catastro se han inundado con anterioridad.
- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauce moderada:** zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, relacionándose con las terrazas más antiguas correspondiente a parte de los depósitos fluviales aterrazados o zonas distales que presentan una baja elevación con respecto al cauce principal correspondiente a PIHa (depósitos de llanura aluvial)

La susceptibilidad asociada a este peligro, a escala de la provincia, se presenta en la FIGURA N° 5—5 y fuera de texto en el PLANO SUSCEPTIBILIDAD PELIGROS, y a escala de las localidades entre la FIGURA D—12 y la FIGURA D—21 (ANEXO D).

FIGURA N° 5—2 Río Curanilahue. Zona de susceptibilidad muy alta (cauce del río) y susceptibilidad alta (zonas adyacentes a ambos lados de río)



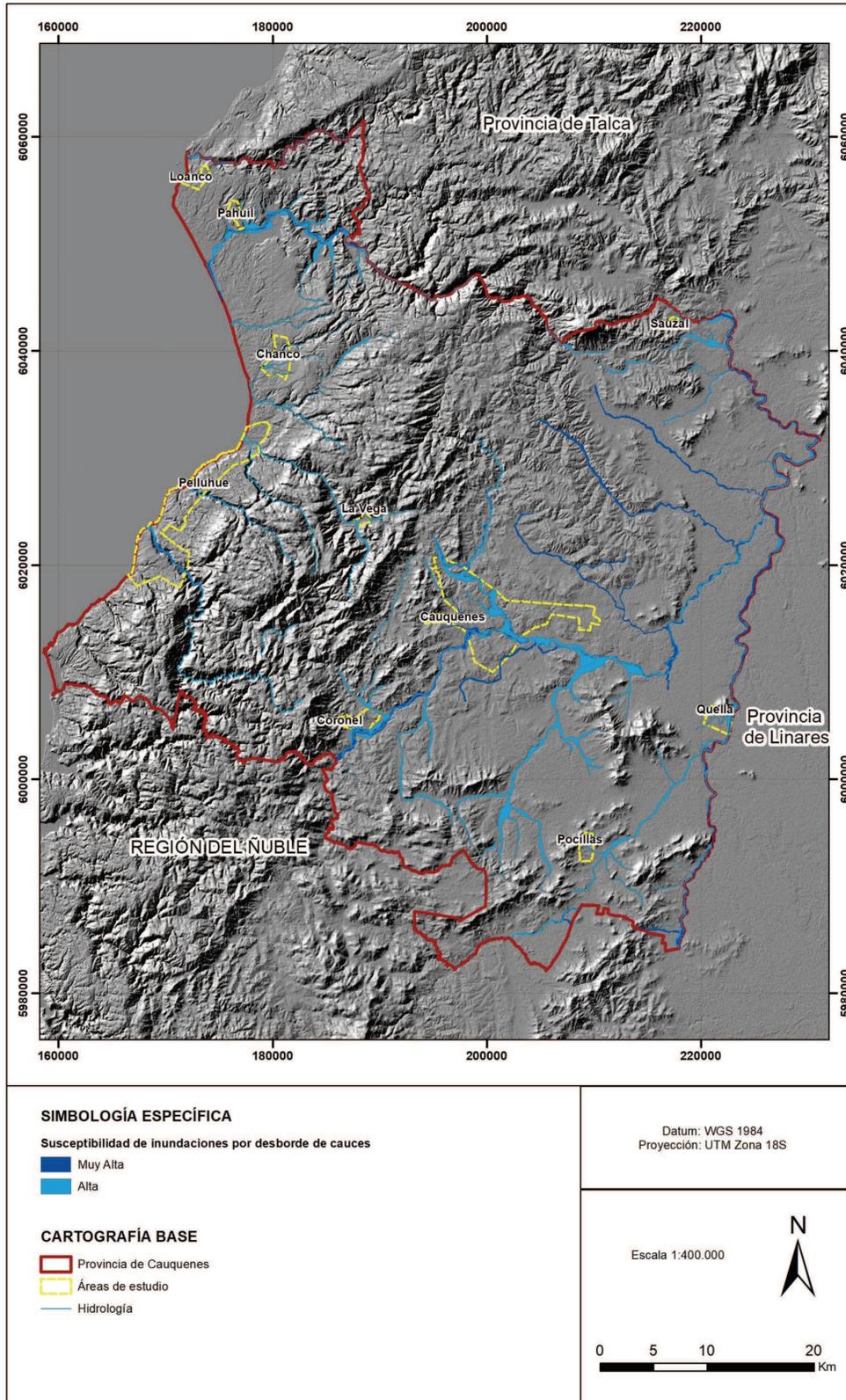
FIGURA N° 5—3 Río Cauquenes. Zona de susceptibilidad muy alta (donde se observa el río) y zona de susceptibilidad alta (toda la zona arenosa)



FIGURA N° 5—4 Zona de inundación moderada asociada al Río Cauquenes



FIGURA N° 5—5 Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces en la Provincia de Cauquenes



5.3.2 Inundación por anegamiento

Este tipo de inundaciones se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y/o deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas. Esto puede ocurrir debido a que los cauces activos encuentran bloqueada su red de drenaje por algún obstáculo, o bien por aguas lluvia que quedan “entrampadas” en sectores llanos y de vegas.

Para reconocer las zonas más propensas a ser afectadas por anegamientos, se buscaron sitios que tuvieran evidencias previas de anegamiento según el catastro y que correspondieran a zonas topográficamente deprimidas respecto a su entorno. El modo en que fue identificado cada uno de estos factores, y la importancia de su aplicación, se detalla a continuación.

- Catastro general de Cauquenes: obtenido por medio de la recopilación de antecedentes, observaciones de terreno, presencia en la participación ciudadana y entrevistas con vecinos locales y con el encargado de emergencia municipal de la comuna de Cauquenes y Pelluhue. Corresponde a un importante insumo para un primer reconocimiento de las zonas anegables.
- Observación de imágenes satelitales: por medio de la observación detallada de imágenes satelitales en Google Earth que permiten ver la zona en distintas épocas del año es posible identificar las zonas deprimidas que se han inundado anteriormente, y además reconocer de manera apropiada su extensión. Para este análisis se ha decidido utilizar imágenes de Google Earth ya que además de que tienen un nivel de precisión adecuado para la escala del estudio, éstas permiten conocer la evolución en el tiempo, ver un modelo 3D, conocer referencias a calles, observar objetos complementarios al catastro, y acceder a fotografías de usuarios.

En base a lo recién mencionado, se observa que los anegamientos suelen ocurrir en sitios topográficamente deprimidos, como se muestra en la FIGURA N° 5—6 y FIGURA N° 5—7, muchos de los cuales previo a la intervención antrópica, parecen haber pertenecido a cauces naturales que ya han sido modificados. Estas zonas sujetas a anegamientos se caracterizan por no contar con puntos para evacuación de agua, debido, en muchos casos, a la obstrucción producida por el alzamiento de terrenos (terraplenes de calles) o edificaciones, que impide el escurrimiento del agua a través de sus vías de escorrentía naturales. Además, se observa que estas zonas tienen la posibilidad de estar conectadas directamente con una red hidrológica primaria. En los casos en que se encuentran desconectadas, la situación es aún más desfavorable durante los eventos meteorológicos extremos, puesto que se supera la capacidad de infiltración de sus suelos. Por lo tanto, la zonificación se realizó en sectores identificados por el catastro y fue complementado con imágenes satelitales de Google Earth.

Este peligro solo se realizó a escala 1:25:000, puesto que son eventos que ocurren de manera local asignándole únicamente una susceptibilidad alta. De este modo, el criterio de zonificación es:

- **Susceptibilidad de inundación por anegamiento alta**: sectores que ya han sido anegados anteriormente, identificados tanto en el catastro como en imágenes satelitales de Google Earth.

La susceptibilidad asociada a este peligro se presenta a escala de las localidades en la FIGURA D—12, la FIGURA D—15, la FIGURA D—18 y la FIGURA D—19 (ANEXO D).

FIGURA N° 5—6 Zona deprimida en la localidad de Chanco



FIGURA N° 5—7 Zona de anegamiento en la ciudad de Cauquenes



6. FLUJOS DE BARRO Y/O DETRITOS

Los flujos de detritos, referidos comúnmente como “aluviones”, son remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos saturada en agua se moviliza pendiente abajo como un flujo viscoso de sedimentos concentrados (Antinao, et al., 2002). Este peligro se describe detalladamente en el Anexo B.2.2.3.

6.1 *Catastro*

No se encontraron antecedentes bibliográficos acerca de flujos ocurridos en la provincia. Las quebradas que se encuentran en la provincia, por lo general, presentan pendientes relativamente bajas, lo que reduce la probabilidad de ocurrencia de flujos. Por otra parte, durante la visita a terreno se recopilieron varias descripciones que pudieran interpretarse como flujos, aunque, en general, estos serían de magnitud más bien acotada. Estas descripciones corresponden a varias quebradas pequeñas ubicadas en Curanipe, siendo la más importante la que se asocia al puente Paiva, y en Tregualemu, además de varias quebradas pequeñas que cortan caminos de la comuna de Cauquenes (FIGURA N° 6—1).

En general, estas quebradas se caracterizan por no presentar escurrimiento permanente, una incisión relativamente profunda y, en muchos casos, ausencia de vegetación.

6.2 *Diagnóstico*

Los flujos parecen ser más recurrentes en quebradas relativamente pequeñas con escurrimiento ocasional, donde los cauces presentan pendientes e incisiones mayores, no así en los cauces más importantes, que suelen ser más amplios y de menor pendiente (FIGURA N° 6—2 y FIGURA N° 6—3), donde el escurrimiento presenta una componente sólida menor. En consecuencia, se consideró que las quebradas con pendientes más altas son las que más podrían favorecer la ocurrencia de flujos. Para estas quebradas, en la medida que el escurrimiento avanza y se junta con otros cauces, el comportamiento del flujo es más similar a una inundación, hasta que alcanza un cauce mayor donde el flujo se diluye. Debe tenerse en consideración que, por el tamaño de las cuencas aportantes y por la profundidad de cauces más favorables, los efectos de los flujos suelen ser más bien acotados.

Con respecto a lo anterior, debe señalarse que en la Provincia de Cauquenes no existen condiciones para que ocurran flujos de carácter regional, como los ocurridos en los ríos Copiapó y Salado en el año 2015.

Una situación que podría favorecer la ocurrencia de flujos podría ocurrir en condiciones de precipitaciones muy intensas, que gatillen un deslizamiento que bloquee un cauce y genere acumulación de agua, y que, posteriormente, el agua se libere violentamente.

FIGURA N° 6—1 Catastro de flujos de barro y/o detritos en la Provincia de Cauquenes

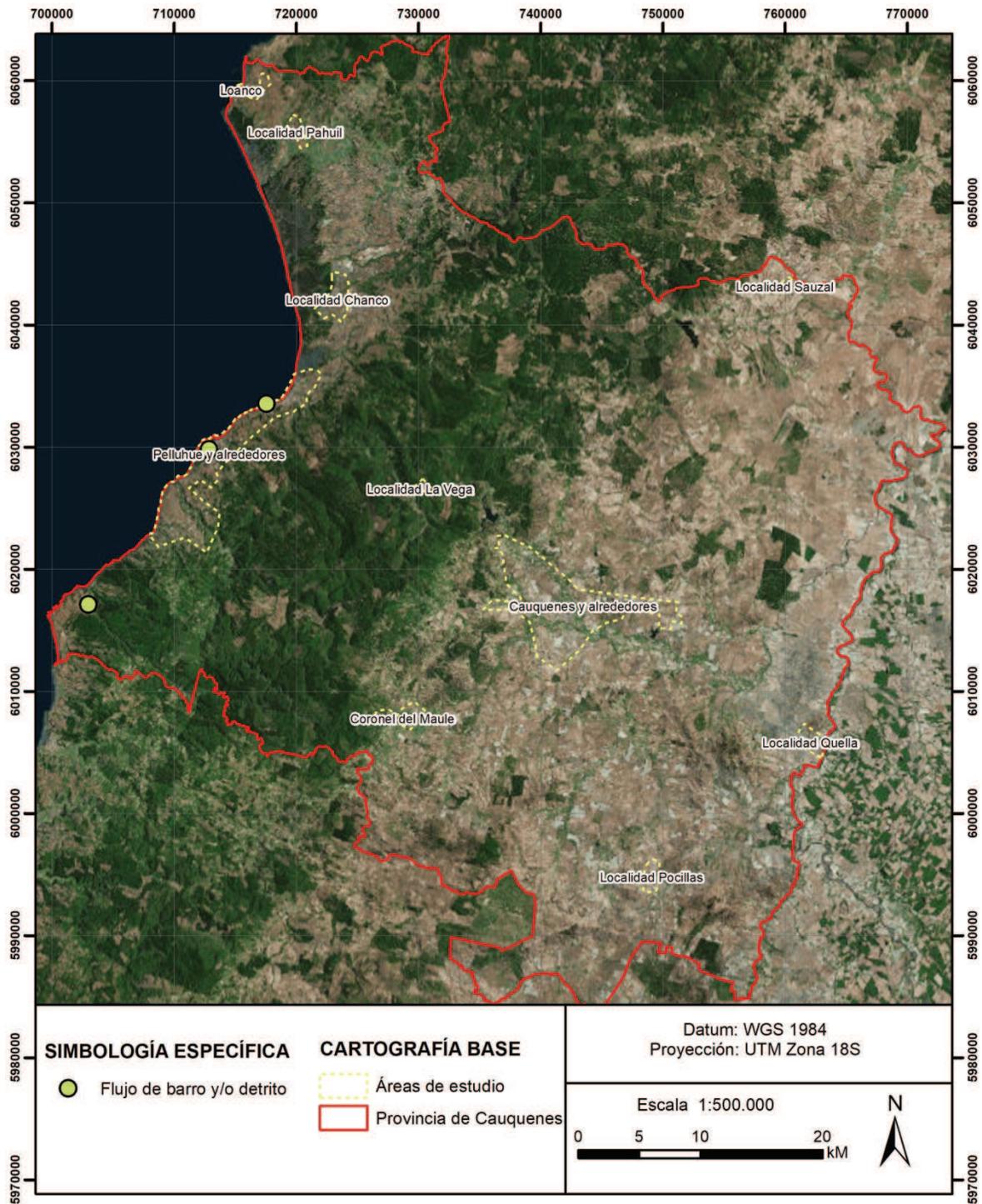


FIGURA N° 6—2 Quebrada ubicada en Chanco, con abundante vegetación.



FIGURA N° 6—3 Quebrada ubicada en La Vega, amplia y de baja pendiente.



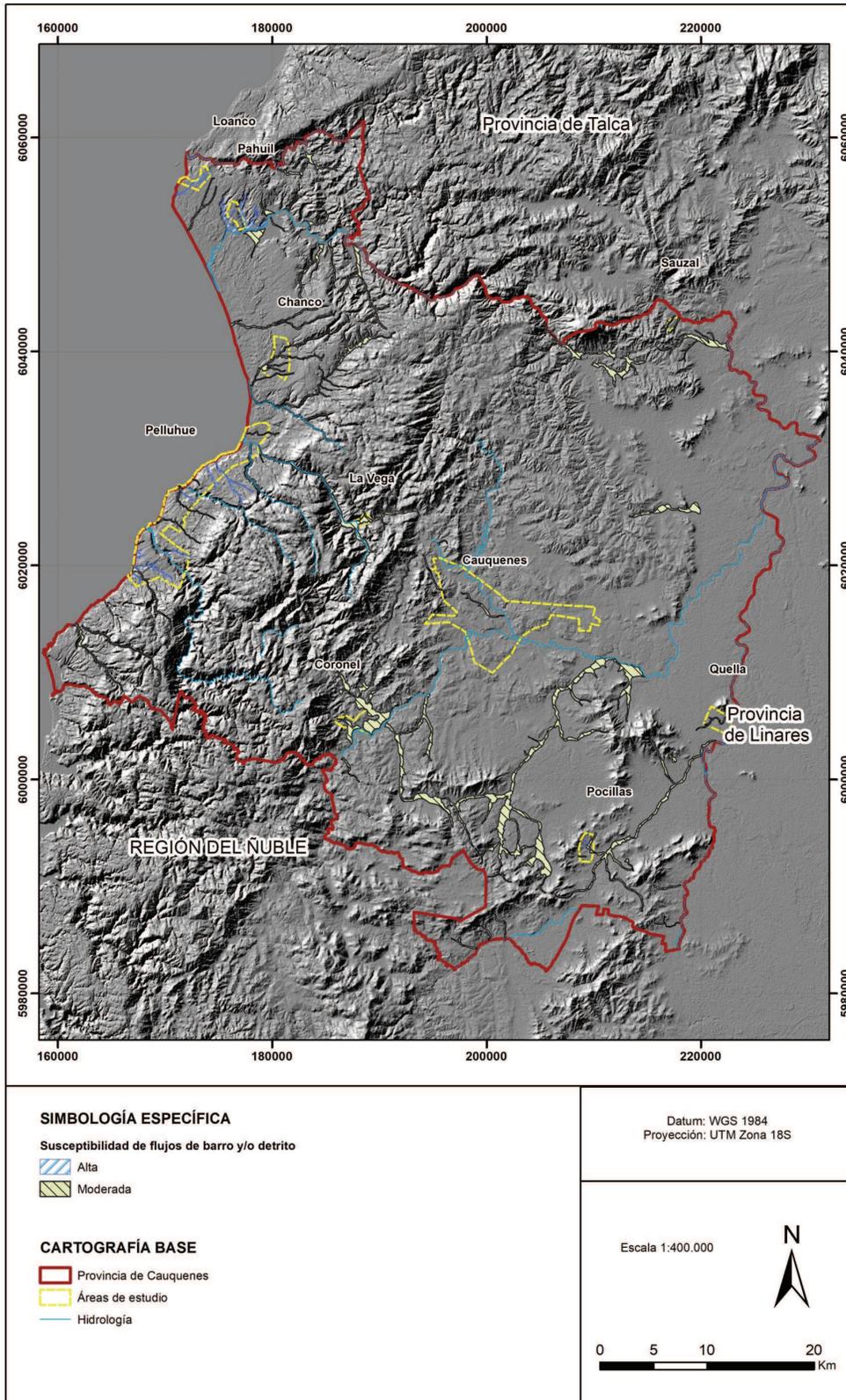
6.3 Zonificación

Las metodologías para zonificar los flujos pueden ser de tipo cualitativas, basadas en patrones geomorfológicos y geológicos, o cuantitativas, que consisten principalmente en análisis estadístico. Las primeras siempre se pueden aplicar, mientras que las segundas no debieran aplicarse en zonas donde no se cuenta con un amplio registro de remociones en masa (Muñoz, 2018), como ocurre en la zona estudiada. De esta forma, en consideración del catastro de flujos de barro y de las características morfológicas de los cauces, sintetizados en el diagnóstico de este peligro, se definieron los siguientes niveles de susceptibilidad, tanto para la escala provincial (1:50.000) como para la urbana (1:25.000):

- **Susceptibilidad de flujos alta:** Cauces que generan una incisión bien definida, o quebradas que cuentan con registro de flujos ocurridos en ellas.
- **Susceptibilidad de flujos moderada:** Cauces que generan una incisión poco profunda o que escurren por cauces amplios, y quebradas que no cuentan con registro de flujos ocurridos en ellas.

La susceptibilidad asociada a este peligro, a escala de la provincia, se presenta en la FIGURA N° 6—4 y fuera de texto en el PLANO SUSCEPTIBILIDAD PELIGROS, y a escala de las localidades entre la FIGURA D—22 y la FIGURA D—31 (ANEXO D).

FIGURA N° 6—4 Susceptibilidad de flujos de barro en la Provincia de Cauquenes



7. PROCESOS DE LADERA

Los procesos de ladera corresponden a una categoría de remociones en masa que involucra la ocurrencia de caída de bloques y deslizamientos de tierra o roca. En las caídas de roca, los bloques de rocas o suelo se desprenden a partir de laderas con altas pendientes, para luego desplazarse en caída libre (ver Anexo B.2.2.1). Por otro lado, en los deslizamientos, el material se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura (ver Anexo B.2.2.2).

7.1 Catastro

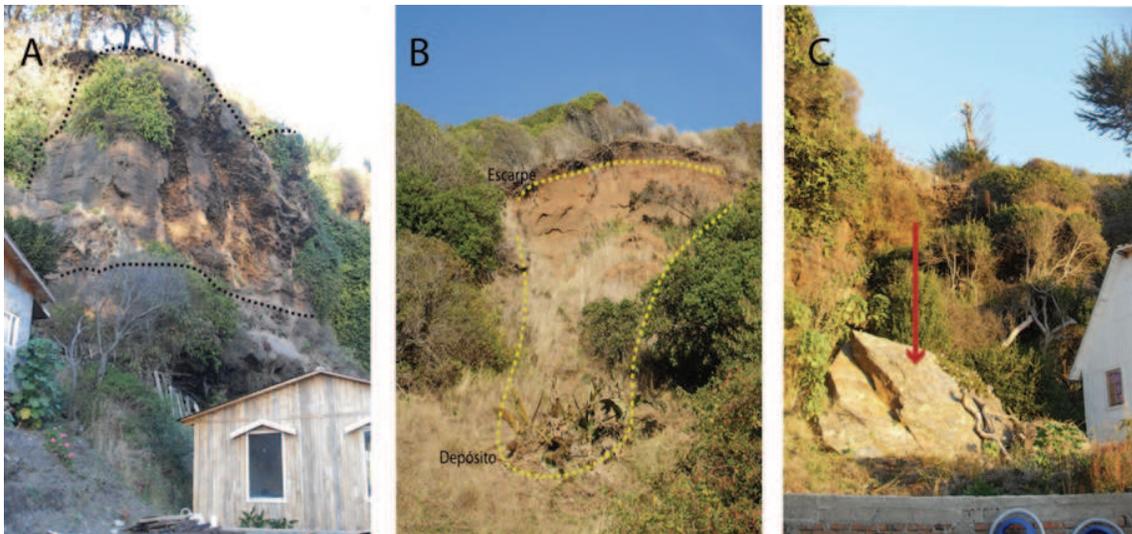
El catastro de este tipo de peligro geológico se realizó a partir de la recopilación de antecedentes bibliográficos de remociones históricas, informes de estudio de riesgos anteriores (Infracon, 2011), y datos obtenidos en una visita técnica al área de estudio. Así fue como se identificaron remociones en masa principalmente en la localidad de Pelluhue.

Estas remociones corresponden principalmente a deslizamientos de bloques y deslizamientos rotacionales en el basamento meteorizado, deslizamientos traslacionales en la cobertura de suelo del basamento metamórfico y caídas de bloques en acantilados de rocas metamórficas de basamento (FIGURA N° 7—1), muchos de los cuales fueron gatillados por el terremoto del 27 de febrero de 2010.

Finalmente, en la comuna de Cauquenes, se catastró un deslizamiento al norte del Hospital San Juan de Dios, el cual consiste en un talud afectado por deslizamientos de suelo (Ilustre Municipalidad de Cauquenes, 2017).

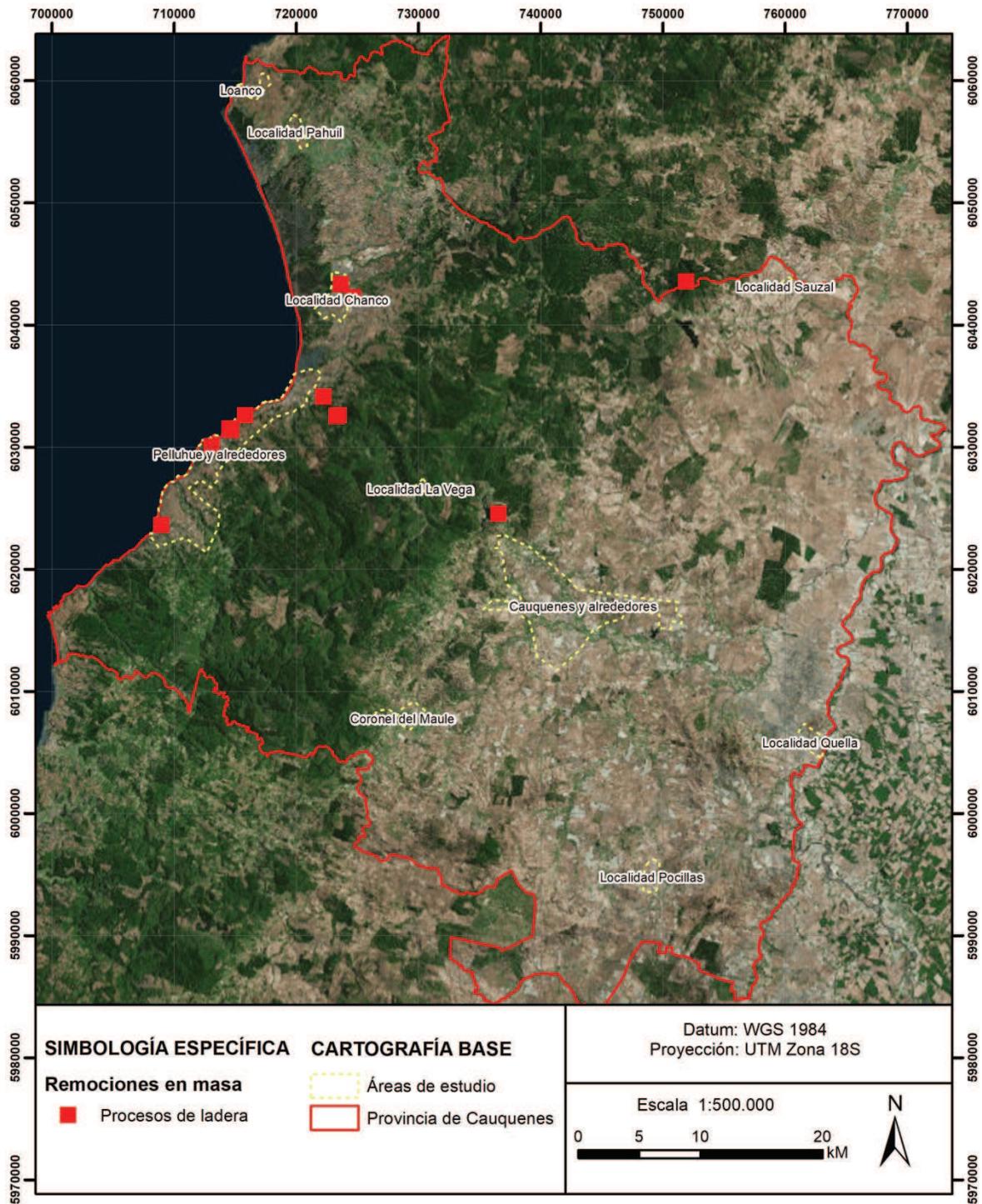
El catastro realizado por medio de la incorporación de estas fuentes, se presenta en la FIGURA N° 7—2. Es importante recalcar que este catastro debe ser ampliado y complementado luego de visitar y analizar en terreno el área de estudio.

FIGURA N° 7—1 Remociones en masa en la comuna de Pelluhue. -A: Roca de basamento en acantilados costeros. -B: Remoción en masa gatillada por el terremoto del 27 F. -C: Bloque de basamento



Fuente: Extraído del Estudio de Riesgos Pelluhue, Plan Regulador Comunal de Pelluhue (2011).

FIGURA N° 7—2 Catastro de procesos de ladera identificados en la Provincia de Cauquenes



7.2 Diagnóstico

El catastro muestra que, en torno a la localidad de Pelluhue, se tiene registro de remociones en masa tipo caída de bloques, deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales, según el estudio de Infracon (2011). Caso que se reafirma con la visita a terreno, puesto que esta localidad es la que presentó más evidencias de este peligro.

Los deslizamientos en la zona costera se asocian a laderas poco estables, de basamento meteorizado, basamento con cobertura de suelo y sectores con presencia de depósitos no consolidados, además de sectores con altas pendientes ($<35^\circ$) y taludes en los cortes de los caminos. Por otro lado, en el caso de la Villa Las Dunas, los sectores de arenas grises no consolidadas generan deslizamientos rotacionales que podrían repetirse en el futuro.

En el Estudio de Riesgos Pelluhue, del Plan Regulador Comunal de Pelluhue (2011), se reconocieron procesos de ladera que fueron gatillados por el terremoto del 27 de febrero de 2010, razón por la cual ante un terremoto de alta magnitud podrían desencadenarse nuevas remociones en masa en esta zona de la Provincia de Cauquenes.

En el caso de Cauquenes, el PRC de esta comuna expresa que las áreas de riesgo por remoción en masa se concentran en las zonas de escarpe de la ribera norte del río Cauquenes y la ribera sur del río Tutuvén, lo que hace considerar que en estas áreas podrían ocurrir futuras remociones en masa.

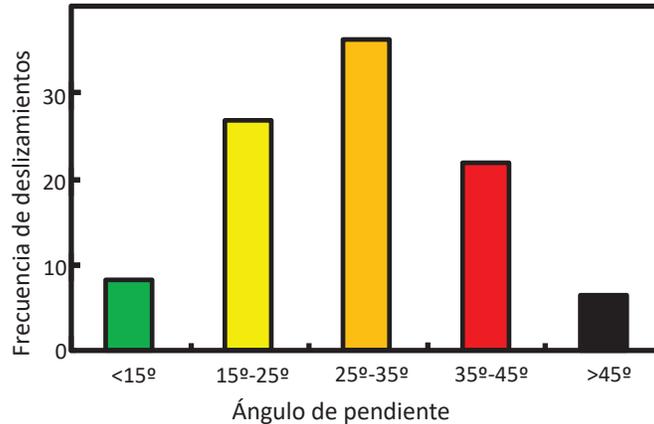
Finalmente, es importante considerar que la ruta M-50 está expuesta a ser afectada por procesos de remoción en masa en su tramo occidental. Al cruzar la Cordillera de la Costa y bordear el río Curanilahue, esta vía está inserta en una zona con altas pendientes (mayores a 35°), donde podrían ocurrir caídas de roca o deslizamientos que cortarían el tránsito en la ruta.

7.3 Zonificación

La generación de procesos de ladera para la zona de estudio requiere de un componente principal que son laderas de alta pendiente. De acuerdo a los resultados del diagnóstico, estas se encuentran cubiertas por tupida vegetación (lo que reduce la susceptibilidad de caída de bloques o deslizamientos) ubicadas generalmente en las zonas cercanas a los ríos de la zona. Por lo tanto, el factor condicionante primordial corresponde a la pendiente.

Para diferenciar qué pendientes son las más susceptibles de ser removidas, se utilizó la información compilada a partir de diversas fuentes que han generado catastros de deslizamientos en distintos lugares del mundo. Esaki *et al.* (2005) y Giraud y Shaw (2007), así como otros catálogos de deslizamientos, indican que la mayor frecuencia de deslizamientos se observa en pendientes de 25° a 35° de inclinación (FIGURA N° 7-1).

FIGURA N° 7-1 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Modificado de Esaki *et al.* (2005)

Por lo tanto este criterio fue el que se utilizó para la susceptibilidad de generación de procesos de ladera a escala 1:50.000. De este modo la zonificación fue la siguiente:

- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera muy alta:** Zonas con pendientes mayores a 35°.
- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera alta:** Zonas con pendientes entre 25° y 35°.
- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera moderada:** Zonas con pendientes entre 15° y 25°.

Para el caso de la zonificación a escala 1:25.000 aparte de la pendiente se incluyó la información del catastro y las observaciones de terreno, donde se subió un grado de susceptibilidad a las zonas donde haya registro de algún tipo de proceso de ladera, como se muestra en la FIGURA N° 7—3 y FIGURA N° 7—4 . Por consiguiente los criterios de zonificación a escala 1:25.000 fue el siguiente:

- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera muy alta:** Zonas con pendientes mayores a 35° o zonas con pendiente mayores que 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.
- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera alta:** Zonas con pendientes entre 25° y 35° o zonas con pendiente entre 15° y 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.
- **Susceptibilidad de generación de procesos de ladera moderada:** Zonas con pendientes entre 15° y 25° o zonas con pendiente menor a 15° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.

La susceptibilidad asociada a este peligro, a escala de la provincia, se presenta en la FIGURA N° 7—5 y fuera de texto en el PLANO SUSCEPTIBILIDAD PELIGROS, y a escala de las localidades entre la FIGURA D—22 y la FIGURA D—31 (ANEXO D).

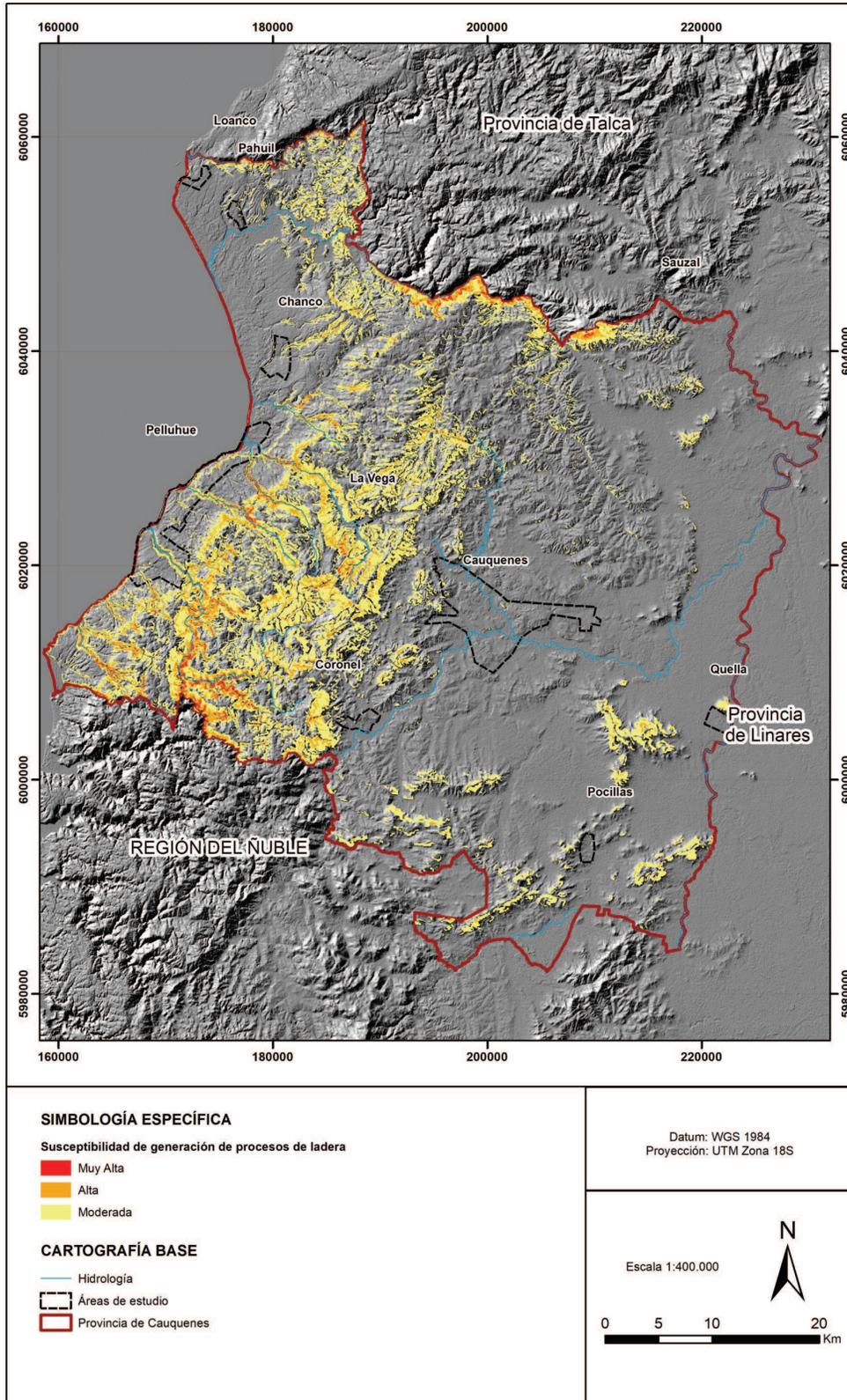
FIGURA N° 7—3 Deslizamiento de suelo en la comuna de Pelluhue, donde se evidencia los árboles caídos



FIGURA N° 7—4 Escarpe asociado a deslizamiento en la comuna de Pelluhue



FIGURA N° 7—5 Susceptibilidad de procesos de ladera en la Provincia de Cauquenes



8. AVANCE DE DUNAS

Las dunas en si no constituyen un peligro, pero si lo es su avance, en cuanto a que pueden cubrir edificios o una parte del territorio, afectando la vida de las personas. Este peligro se describe con mayor detalle en el Anexo B.2.2.4.

8.1 *Catastro*

En la zona noroeste de la Provincia de Cauquenes, resaltan las denominadas “dunas de Chanco”. Este campo de dunas se extiende por alrededor de 25 km, desde el pueblo de Pelluhue hasta el Cabo de Carranza y se compone por un conjunto de dunas transversales compactas y móviles, que forman cordones orientados en dirección NW-SE, los cuales alcanzan alturas promedio de decenas de metros. (Paskoff & Manríquez, 2004).

El medio climático de la zona es favorable para la ocurrencia de procesos eólicos en la costa, ya que los vientos predominantes soplan desde el sur-suroeste, por lo general con fuertes velocidades y, además, los meses secos sin precipitaciones favorecen la acción eólica (Paskoff & Manríquez, 2004).

Las dunas de Chanco comenzaron a moverse a partir de la década de 1830. Se tiene registro de que, al inicio de esta década, existían plantaciones fértiles a la orilla de la costa en la zona de Chanco, las cuales se fueron perdiendo por el avance de las dunas. En esta misma época se relata que las dunas habrían enterrado de 12 a 15 casas en las cercanías de Chanco. El avance de las dunas, en dicha época, fue estimado como de una cuadra por año⁶ (Albert, 1900).

En julio de 1849, por acuerdo municipal, el pueblo de Chanco se trasladó a un sitio contiguo, más elevado, donde actualmente se emplaza la localidad. Este cambio se realizó ya que el pueblo estaba siendo invadido por las dunas (Urrutia & Lanza, 1993).

Por otro lado, Federico Albert (1900), relata que en torno a esos años, en la parte rural de la localidad de Chanco, durante un verano, una quincha de 2 m de alto habría sido enterrada por las dunas en un período de 3 días. A la vez, relata que cerca de la Municipalidad había que mover los postes y cercas dos o tres veces al año, ya que estos eran enterrados por las dunas. Finalmente, expone el antecedente de que el fundo Loanco, terreno de 20 cuadras, fue completamente cubierto por la arena en un período de 5 años.

En la actualidad, no parece haber un movimiento de arena considerable, por lo que se puede asumir que este peligro se encuentra relativamente controlado.

8.2 *Diagnóstico*

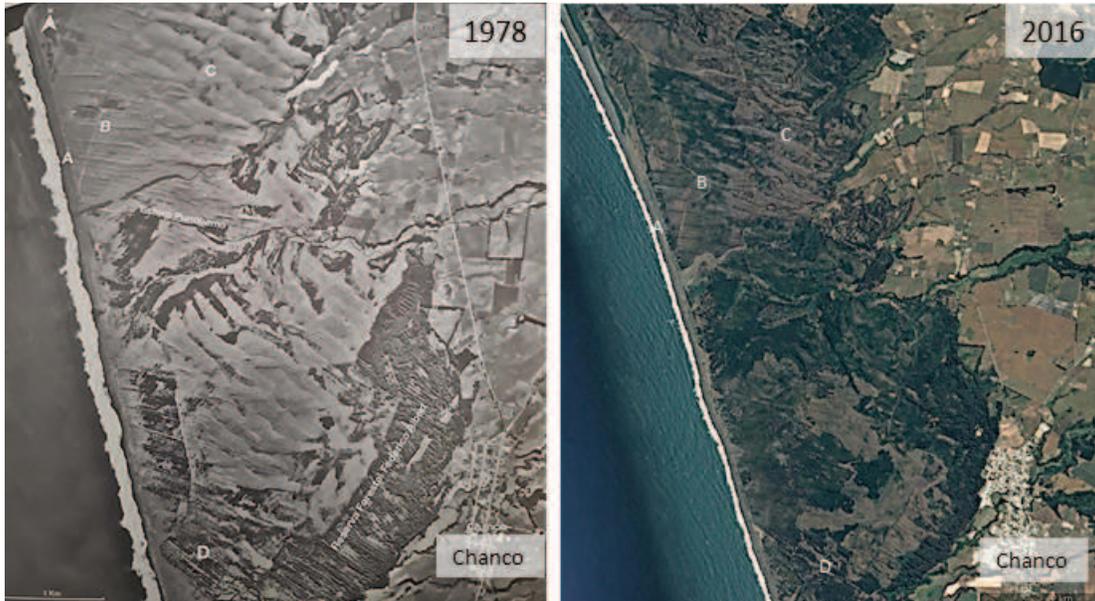
El plan de control de dunas mediante vegetación, desarrollado en Chanco a fines del siglo XIX y principios del siglo XX, fue exitoso, en cuanto a que detuvo el avance de las dunas. Adicionalmente, la forestación del final del siglo XX, probablemente destinada a la producción maderera, ha complementado la protección del avance de las dunas, como se puede observar en la FIGURA N° 8—1, donde se muestra un incremento importante de la vegetación en zonas de dunas cercanas a la

⁶Una cuadra mide entre 100 y 150 metros, sin embargo, una ley de fecha 29 de enero de 1848 establece que equivale a 125,39 m.

costa entre 1978 y 2006. Gracias a esto, en la actualidad este peligro se encuentra controlado en la mayor parte de la costa de la provincia.

Si bien las dunas de Chanco parecieran estar estabilizadas por la vegetación, en imágenes satelitales se observa que en la parte sur del campo de dunas, entre el río Rahue y Pelluhue, las dunas parecieran tener aún cierta movilidad. Las únicas localidades en donde se identifican dunas que necesiten analizarse son Chanco y Pelluhue.

FIGURA N° 8—1 Fotografía aérea del campo de dunas al noroeste del pueblo de Chanco, tomadas en los años 1978 y 2016. A: anteduna artificial; B: dunas transversales controladas; C: dunas transversales móviles (1978); D: dunas estabilizadas mediante vegetación.



Fuente: Paskoff & Manríquez (2004). Imagen SAF-78 2866, 1978 (izquierda). Imagen Google Earth, 2016 (derecha).

8.3 Zonificación

A partir de los antecedentes recién mencionados el criterio de zonificación para el avance de dunas se basó en la geología de la zona. Por un lado, a escala 1:50.000 consistió en parte de la unidad de depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno (PIHI). Por otro lado, a escala 1:25.000 correspondió únicamente a los depósitos eólicos (PIHe).

El grado de susceptibilidad se asignó como moderado a la mayoría de los depósitos, debido a su alto contenido de vegetación que las estabiliza (FIGURA N° 8—2). La excepción a esta categoría corresponde a las dunas del río Rahue, en vista de que presenta menor cantidad de vegetación y presenta varios antecedentes de su avance.

En base a esto la zonificación a ambas escalas corresponde a:

- **Zona de susceptibilidad de avance de dunas alta:** Corresponde a las dunas del río Rahue que a escala 1:50.000 consiste en parte de la unidad de depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno y a escala 1:25.000 de eólicos.

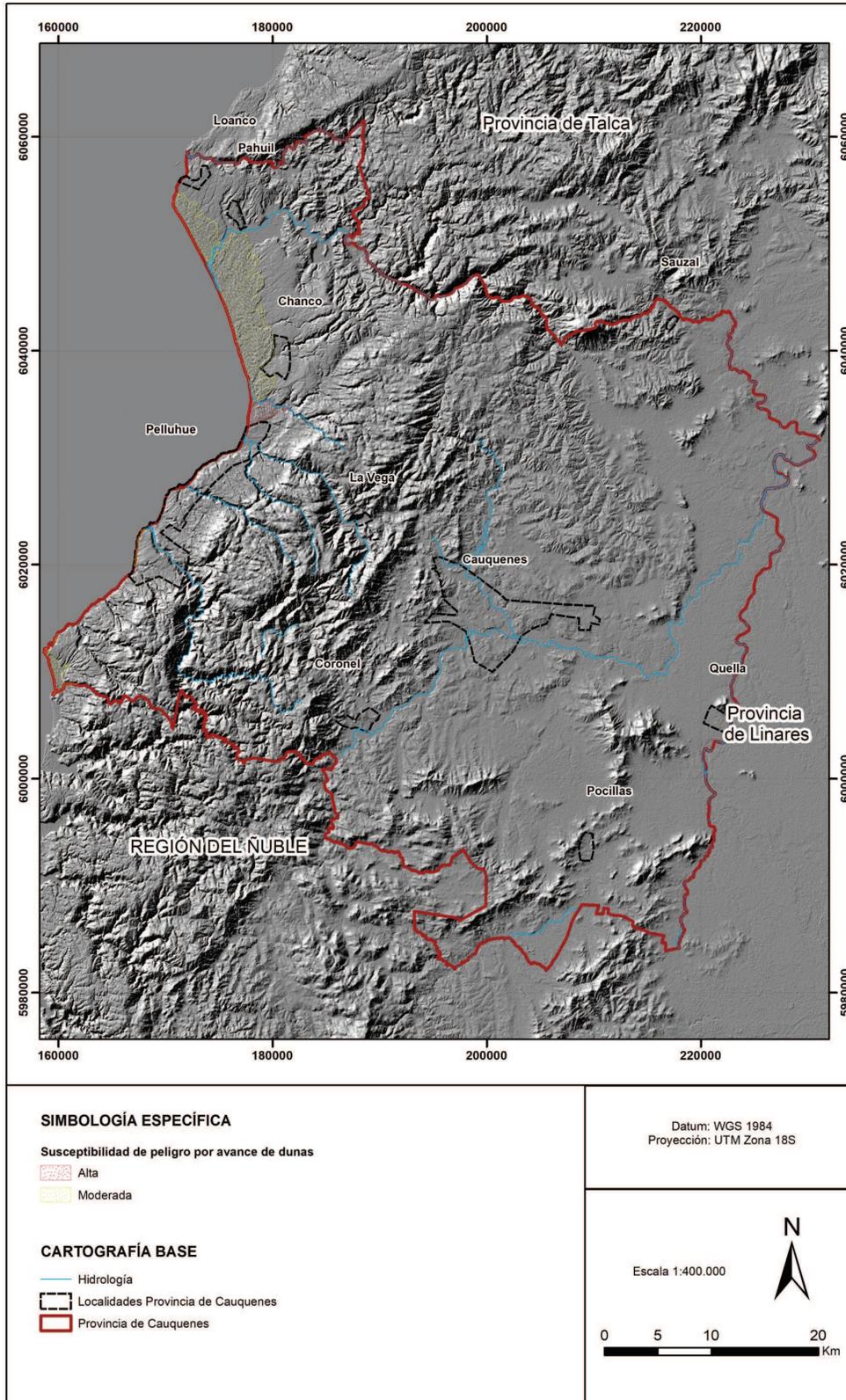
- **Zona de susceptibilidad de avance de dunas moderada:** Corresponde todo le resto de las unidades, que a escala 1:50.000 consiste en parte de la unidad de depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno y a escala 1:25.000 a depósitos eólicos.

La susceptibilidad asociada a este peligro, a escala de la provincia, se presenta en la FIGURA N° 8—3 y fuera de texto en el PLANO SUSCEPTIBILIDAD PELIGROS, y a escala de las localidades entre la FIGURA D—22 y la FIGURA D—31 (ANEXO D).

FIGURA N° 8—2 Dunas estabilizadas al sur de la comuna de Pelluhue



FIGURA N° 8—3 Susceptibilidad de avance de dunas en la Provincia de Cauquenes



9. SISMICIDAD

La costa oeste de Sudamérica se caracteriza por su alta sismicidad, en una banda sísmica activa de 150 a 200 km de ancho, con profundidad variable que aumenta hacia el este, entre aproximadamente 5 km de profundidad en la fosa Perú-Chile y aproximadamente 150 km de profundidad bajo el cordón montañoso de Los Andes. Los factores que condicionan lo anterior se describen en el Anexo B.1.1.

9.1 Catastro

9.1.1 Marco tectónico

La costa de Chile históricamente ha sido afectada por grandes terremotos, varios acompañados de maremotos destructivos. Particularmente, la zona Centro-Sur del país (33°-46° S) se caracteriza por poseer una intensa actividad sísmica, la cual ha sido registrada desde los tiempos de la Conquista por los daños provocados en ciudades como Valparaíso, Santiago, Concepción y Valdivia.

En la FIGURA N° 9—1 se grafican los más importantes sismos de subducción que han afectado al territorio de Chile continental en el período histórico y las zonas de ruptura asociadas a ellos. Las magnitudes expuestas previas a la década de 1950 son estimadas, puesto que no existía instrumental sismológico hasta esa época.

A escala regional, donde se enmarca el área de estudio, existen antecedentes históricos de grandes terremotos interplaca tipo *thrust*, el más reciente, ocurrido en el año 2010, de magnitud Mw 8.8, dejó severas consecuencias en la Región del Maule y en el resto del país.

9.1.2 Sismicidad registrada por la red sismológica mundial

En la FIGURA N° 9—2 se presenta la sismicidad registrada por la red sismológica internacional con magnitudes superiores a 6 desde julio de 1971 a febrero de 2019. Hacia el oeste se distingue un grupo importante de sismos que se localizan en el contacto entre las placas, estos sismos se denominan como interplaca o tipo *thrust*. De manera más dispersa se observan otros eventos que ocurren hacia el continente, de mayor profundidad, estos sismos se conocen como intraplaca de profundidad intermedia. Finalmente se distingue un grupo de sismos que ocurren a menores profundidades y se ubican en el sector cordillerano, estos sismos se identifican como sismos corticales cordilleranos, gran parte de ellos se encuentra asociado a la actividad de los complejos volcánicos de la región. Se construyó un catastro de los sismos históricos más significativos que han afectado a la provincia de Cauquenes desde el año 1570 hasta el 2019 (CUADRO C-5).

9.1.3 Descripción de fuentes sísmicas

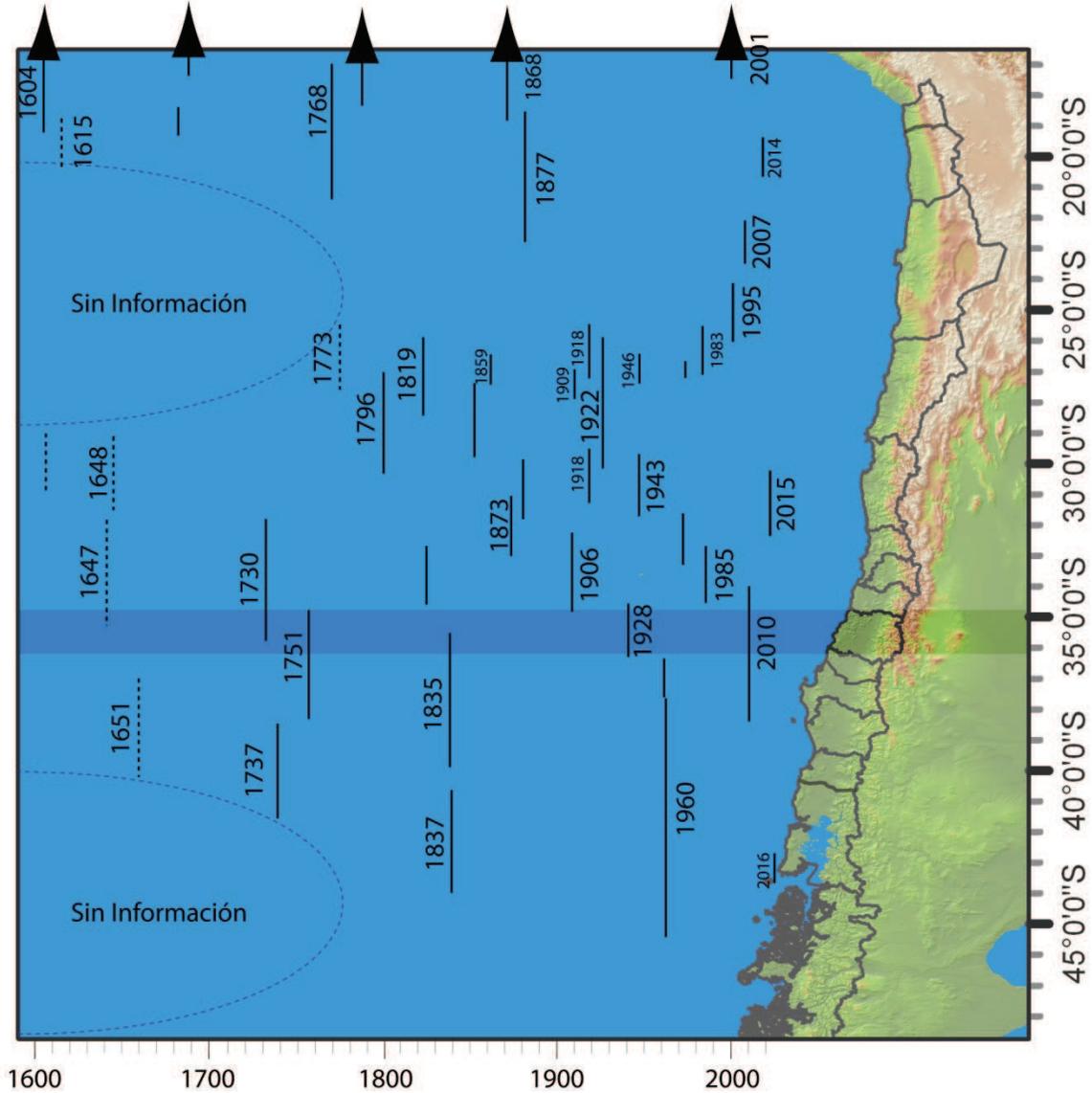
A partir de la recopilación de los eventos sísmicos ya citados, se pueden reconocer tres fuentes sísmicas: sismos interplaca, intraplaca de profundidades intermedias, y corticales.

- Sismos Interplaca tipo *thrust*: Corresponden a los sismos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana, en general alcanzan grandes magnitudes y pueden generar maremotos. Un ejemplo de este tipo de eventos es el Terremoto del Maule de 2010 y el Terremoto de Valdivia de 1960.
- Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia: Son aquellos que ocurren en el interior de la placa de Nazca a profundidades mayores a 50 km hasta los 150-200 Km. Suelen ser muy destructivos

si alcanzan mayores magnitudes, pero son menos frecuentes que los sismos interplaca. De estos, destaca el caso del Terremoto de Chillán de 1939.

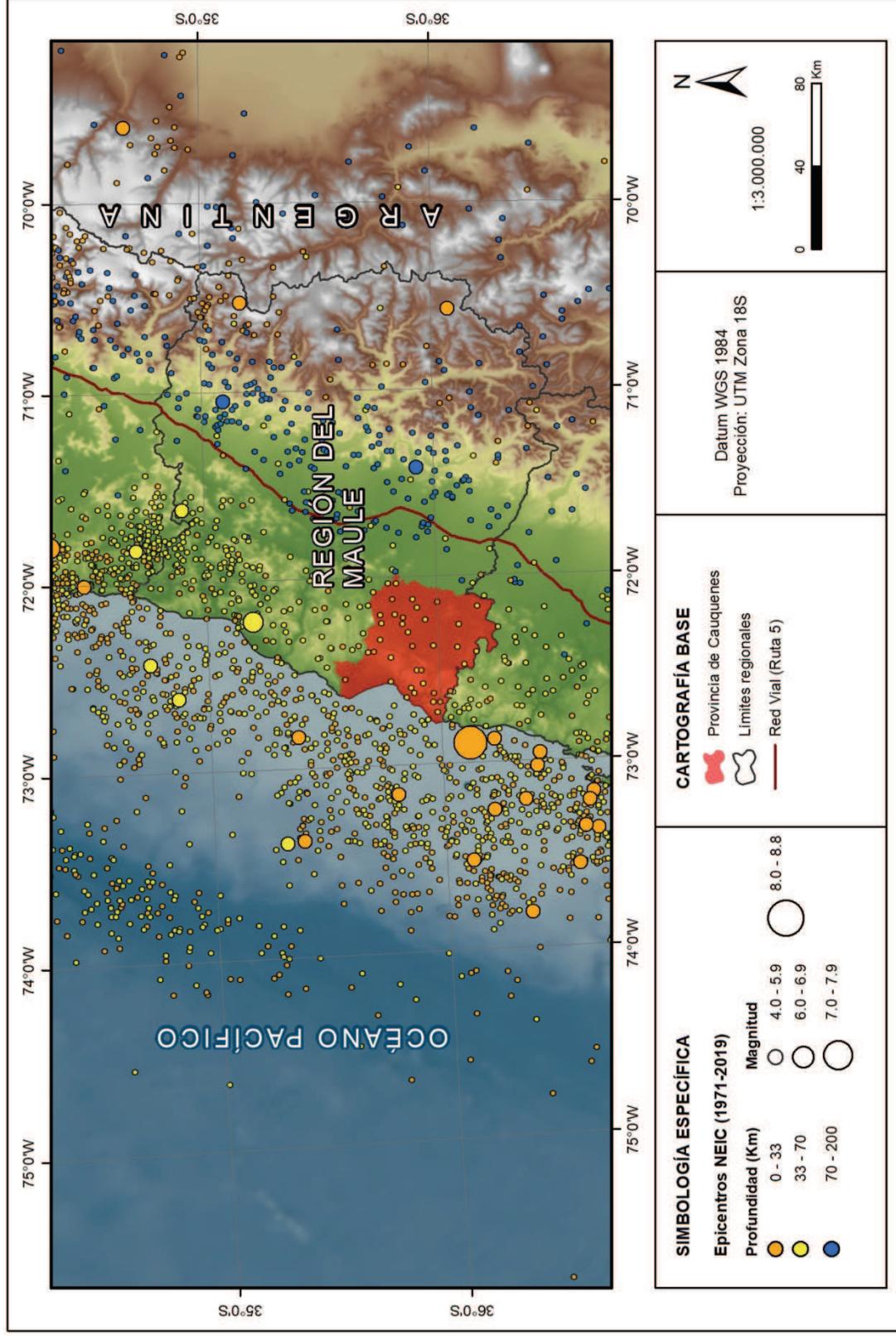
- Sismos Corticales: Estos sismos están asociados a la presencia de fallas geológicas activas y a procesos de deformación cortical.

FIGURA N° 9—1 Terremotos de subducción históricos (interplaca e intraplaca de profundidad intermedia) con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura.



Fuente: Elaboración propia. En línea continua las zonas de ruptura bien identificadas, en línea discontinua las zonas de ruptura inferidas a partir de datos históricos.

FIGURA N° 9—2 Sismos registrados por la red sismológica mundial entre julio de 1971 y febrero 2019.



Fuente: Elaboración propia a partir del Catálogo NEIC (2017) (sismos sobre magnitud 4.0) del USGS.

9.2 Diagnóstico

Considerando lo expuesto en el catastro sísmico, se concluye que el área de la Provincia de Cauquenes tiene antecedentes desde la época de la Conquista de haber sido afectada por terremotos de magnitud M_w mayor a 7. Aun cuando terremoto del 27 de febrero de 2010, de origen Interplaca tipo thrust, liberó una gran cantidad de energía, no se puede descartar la ocurrencia de un sismo de alta magnitud en el mediano y largo plazo. Lo anterior dada la recurrencia de estos fenómenos en la Zona Central de Chile.

Los sismos de tipo Intraplaca de profundidad intermedia se registran a lo largo de todo el país, incluyendo el área de estudio, sin embargo, la mayor parte de estos corresponden a sismos de baja magnitud. Un ejemplo de este tipo de sismo fue el terremoto de Chillán de 1939, de magnitud M_s 8.0, con este precedente, no se puede descartar un evento de magnitud importante en la Zona Central del país en el futuro cercano.

Finalmente, en cuanto a los sismos Corticales, se tiene como precedente del terremoto de Curicó del año 2004, de magnitud M_w 6.4. Pese a esto, en las cercanías del área de estudio no existen Fallas activas descritas, al contrario de lo que ocurre en el área de Curicó, por lo que un sismo de estas características es menos probable.

10. VOLCANISMO

Chile se encuentra en una zona de convergencia de placas tectónicas en las costas del Océano Pacífico, lo que condiciona que se concentre una intensa actividad volcánica, que se asocia a peligros como flujos de piroclastos, escurrimiento de lava, caída de piroclastos y lahares, entre otros. Los factores que determinan la existencia de condiciones favorables para la ocurrencia de los peligros mencionados se describen en el Anexo B.1.2.

10.1 Catastro

En la provincia de Cauquenes no se encuentra ningún volcán. En Chile solo existe registro histórico de una erupción de índice de explosividad volcánica (IEV) mayor que 4. Por otra parte, las erupciones con IEV 4 o menor suelen tener efectos hasta una distancia de 150 km. Por lo anterior, se recopiló información relativa a actividad volcánica, riesgo específico y actividad reciente de volcanes ubicados hasta una distancia de 200 km, como se resumen en el CUADRO N° 10—1.

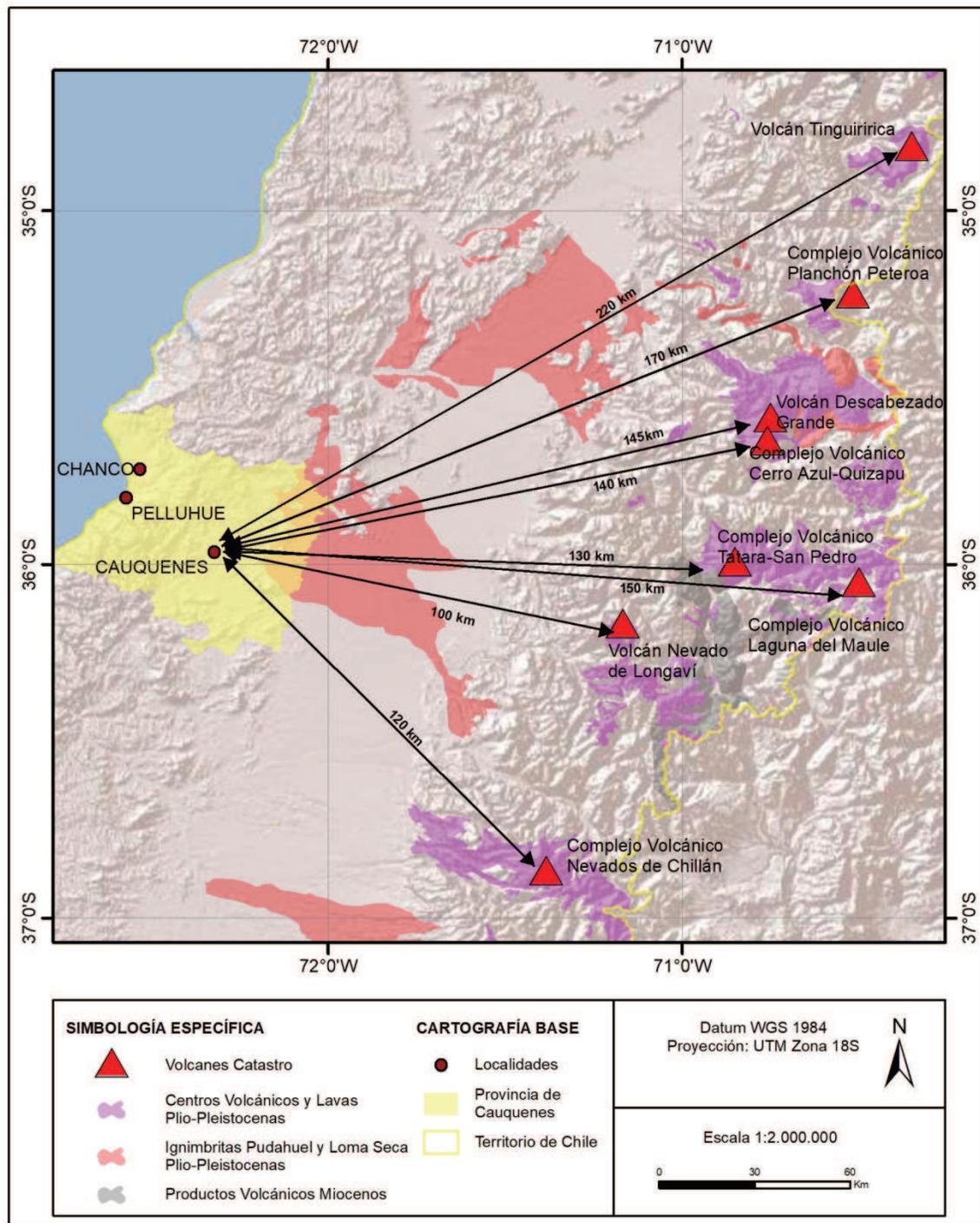
CUADRO N° 10—1 Volcanes ubicados cerca de la provincia de Cauquenes

Volcán	Distancia a Cauquenes (km)	Actividad volcánica ⁷	Riesgo específico ⁸	Actividad reciente
Tinguiririca	220	47	33	Su última actividad eruptiva fue en el año 1917, desde ese entonces ha presentado una constante actividad fumarólica en el interior del cráter.
Complejo Volcánico Planchón-Peteroa	170	15	8	Su última erupción mayor fue en el año 1762, mientras que en el año 2018 presentó actividad de menor intensidad. Ambas erupciones fueron de carácter explosivo y generaron columnas eruptivas y caída de piroclastos.
Volcán Descabezado Grande	145	27	11	Su última erupción mayor fue el año 1932, la que se caracterizó por una violenta explosión y columnas eruptivas de 7 a 8 km de altura.
Complejo volcánico Cerro Azul-Quizapu	140	10	16	Su última erupción mayor fue el año 1932 y su última actividad eruptiva fue en el año 1967.
Complejo volcánico Tatara-San Pedro	130	31	55	Su última actividad fue hace más de 10.000 años.
Complejo volcánico Laguna del Maule	150	28	31	Su última erupción mayor fue hace cerca de 3.000 años. Estudios de la tefra en Argentina, han identificado al menos 3 erupciones plinianas durante el Holoceno, sin embargo, no se tiene registro de erupciones históricas.
Volcán Nevados de Longaví	100	29	45	No posee registro de erupciones históricas.
Complejo volcánico Nevados de Chillán	120	7	5	Su último ciclo eruptivo inició el año 2016 y se mantiene hasta el día de hoy. Las erupciones históricas más explosivas que ha tenido este volcán se desarrollaron en los años 1749 y 1864.

⁷ Ranking SERNAGEOMIN volcanes activos: <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/archivos/Ranking-de-Volcanes.pdf>

⁸ Esta nómina se establece de acuerdo a tres criterios: (1) que el volcán haya tenido algún nivel de actividad comprobable en los últimos 10.000 años o que los instrumentos muestren que tiene actividad, (2) que se encuentre cerca de centros poblados y (3) que represente un riesgo para las personas o la infraestructura pública y privada.

FIGURA N°10—1 Distancia al área de estudio de los volcanes catastrados de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule y del Ñuble.



10.2 *Diagnóstico*

En el caso de que alguno de los volcanes descritos en el catastro iniciara un nuevo ciclo eruptivo, el área de estudio no estaría expuesta a peligros volcánicos proximales, tales como flujos de lava, flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas ni lahares. Esto se debe a la distancia de más de 80 km que separa a la Provincia de Cauquenes del volcán más cercano, además de que ninguna de las cuencas hidrográficas de Cauquenes se encuentra conectada con alguno de los centros eruptivos mencionados.

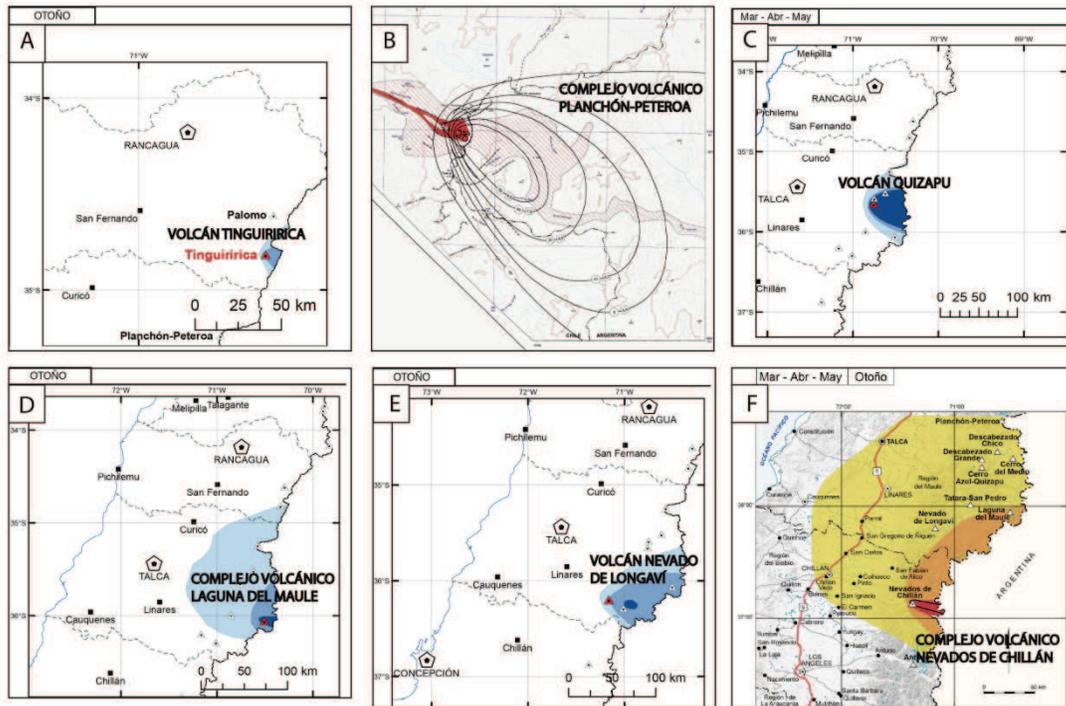
Los depósitos piroclásticos ubicados en el abanico del río Perquilauquén, que afloran al este de la Provincia de Cauquenes (FIGURA N°10—1) son de edad Pleistocena y son el resultado de varios eventos eruptivos que generaron flujos piroclásticos, cuyos depósitos se intercalan con depósitos cineríticos lacustres y un nivel lahárico en la confluencia de los ríos Purapel y Perquilauquén (Moreno & Varela, 1985).

Los mapas de peligro volcánico publicados por SERNAGEOMIN modelan posibles escenarios, utilizando parámetros estándar de Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de 3 a 5-6, altura de columnas eruptivas de 10 a 25 km y el viento predominante en la zona (proveniente desde el SW en la mayor parte del año). Estos mapas indican que la dispersión de ceniza ante un eventual evento eruptivo de los volcanes mencionados sería hacia el Este o Noreste, en cualquier época del año (FIGURA N°10—2), por lo que los piroclastos afectarían mayormente el territorio argentino y zonas aledañas a los volcanes, de manera local. Cabe recalcar que este panorama se cumple bajo estos parámetros de modelamiento, pero si por alguna razón el viento cambiase de dirección la dispersión de ceniza podría ser diferente.

Esta misma fuente bibliográfica indica que el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, en el caso de tener una explosión extraordinariamente explosiva (IEV 6), podría depositar material piroclástico en la zona Este de la Provincia de Cauquenes. Sin embargo, al ser un volcán que se encuentra a más de 100 km, los productos que llegarían serían de tamaño milimétrico (ceniza) y el espesor depositado sería pequeño, por lo que no constituiría un riesgo para la población.

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

FIGURA N°10—2 Compilación de mapas de dispersión de productos piroclásticos de caída, para meses de otoño



LEYENDA

Probabilidad de acumulación de al menos 1 cm de tefra.

ALTA	MEDIA	BAJA
Probabilidad > 50%	Probabilidad 25% - 50%	Probabilidad 12% - 25%

LEYENDA CV NEVADOS DE CHILLÁN

Zonificación de peligro asociado a caída piroclástica en función de un escenario eruptivo de índice de explosividad IEV 6. Estimación basada en simulaciones numéricas y condiciones meteorológicas estacionales representativas de la región. Se considera un umbral de acumulación de al menos 1 cm de espesor.

- Peligro Alto. Área con más de 50% de probabilidad de acumulación superior a 1 cm de material piroclástico de caída en cada estación.
- Peligro Moderado. Área con entre el 25 y 50% de probabilidad de acumulación superior a 1 cm de material piroclástico de caída en cada estación.
- Peligro Bajo. Área con entre el 12.5 y 25% de probabilidad de acumulación superior a 1 cm de material piroclástico de caída en cada estación.

Fuente: Extraído de SERNAGEOMIN de los siguientes trabajos. -A: Volcán Tinguiririca (Orozco, 2013). -B: Complejo Volcánico Planchón-Peteroa (Naranjo & Haller, 1999). -C: Complejo Volcánico Cerro Azul-Quizapu (Amigo, et al., 2012). -D: Complejo Volcánico Laguna del Maule (Amigo & Bertin, 2012). -E: Volcán Nevado de Longaví (Kraus, 2012). -F: Complejo Volcánico Nevados de Chillán (Orozco, et al., 2016).

11. RECOMENDACIONES

Una vez identificados los peligros, definidos los grados de susceptibilidad y el alcance territorial de ellos, es necesario incorporar estos resultados en los instrumentos de planificación. Esto debe realizarse a través de la aplicación del artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y/o tomando otras medidas de planificación acordes a las atribuciones que otorga la LGUC y la OGUC a los Instrumentos de Planificación Territorial, como por ejemplo, la diferenciación de usos de suelo y regulación de la forma e intensidad de su ocupación.

11.1 *Zonificación de la susceptibilidad*

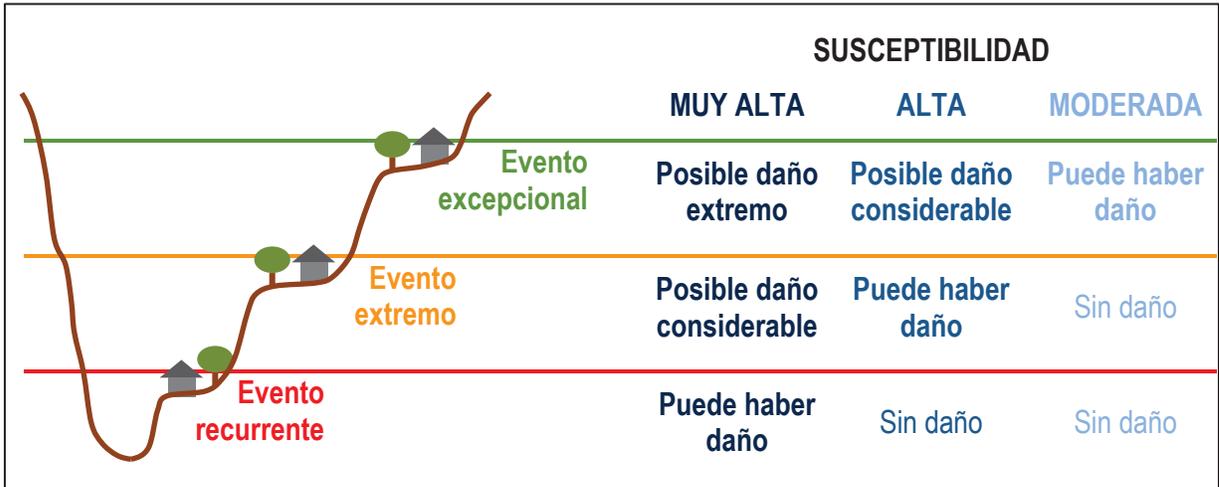
Para definir los criterios que permitan incorporar los peligros naturales dentro de la zonificación urbana, es necesario tener claros los criterios utilizados en la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. En este sentido, en el CUADRO N° 11—1 se resumen los factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y los elementos metodológicos con los que se asignó la distribución espacial de la susceptibilidad, los que son descritos en detalle en los capítulos 4 al 10.

Es muy relevante comprender que la categorización de susceptibilidad se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno dado en un área determinada, pero corresponde a una categorización cualitativa, de carácter relativo, y no cuantitativa. Pese a que el concepto de susceptibilidad no contempla la cuantificación de períodos de retorno, ni probabilidades de ocurrencia, sí estipula niveles que indican de manera relativa la frecuencia con que ocurre un cierto fenómeno. En este sentido, las zonas de ‘muy alta’ susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir un evento del peligro analizado, las zonas de ‘alta’ susceptibilidad serán aquellas afectadas por eventos extremos (en muchos casos son los más grandes de los que se tengan registros históricos) y las de ‘moderada’ susceptibilidad se asocian a eventos excepcionales, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero si otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas. Por otra parte, mientras la magnitud de un evento sea más intensa, se producirán daños mayores, pero los daños serán más importantes en la medida que mayor sea la susceptibilidad del territorio, de la forma que se ejemplifica en la FIGURA N° 11—1 para el caso de las inundaciones por desborde de cauce. En consecuencia, se recomienda que, mientras mayor sea la susceptibilidad de un área específica, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

CUADRO N° 11—1 Resumen de factores que condicionan y desencadenan cada peligro geológico y criterios de zonificación de la susceptibilidad

Peligro	Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Elementos de zonificación
Inundaciones costeras	- Poca elevación con respecto al nivel del mar	- Maremotos	- Topografía - Imágenes satelitales - Estudios anteriores
Inundaciones por desborde de cauce	- Características morfológicas de la red de drenaje	- Lluvias intensas	- Catastro de eventos de inundación - Unidades geológicas - Red de drenaje - Observaciones de terreno
Inundaciones por anegamiento	- Morfología - Malas condiciones de drenaje	- Lluvias	- Imágenes satelitales - Catastro
Flujos de barro y/o detritos	- Morfología de las quebradas y sus zonas de descarga. - Características de la cuenca aportante (tamaño, pendiente, altura, materiales).	- Lluvias intensas	- Observaciones de terreno - Catastro - Características morfológicas de la red de drenaje (pendiente, forma de los cauces)
Procesos de ladera	- Pendientes - Material que compone la ladera (geología)	- Sismos - Lluvias intensas - Viento	- Pendiente del terreno - Catastro de remociones en masa
Avance de dunas	- Viento - Disponibilidad de arena	- Indeterminado	- Unidades geológicas - Presencia de vegetación
Sismicidad	- Características de los depósitos	- Sismos	- No se zonificó a escala de la intercomuna
Volcanismo (caída de ceniza)	- Distancia a los centros eruptivos - Morfología del terreno - Dirección del viento	- Erupciones	- No susceptible

FIGURA N° 11—1 Esquema del daño provocado por eventos de inundación por desborde de cauces con diferente magnitud en zonas que presentan distinto grado de susceptibilidad.



11.2 Definición de las áreas de riesgo

Para los peligros que es posible zonificar a escala del Plan Regulador Intercomunal de Cauquenes, desde la perspectiva de la relación entre la magnitud de un evento, su recurrencia y el daño generado, y con el fin de homologar las categorías de susceptibilidad al lenguaje de la OGUC, se propone aplicar el concepto de área de riesgo establecido en el artículo 2.1.17 a las zonas de ‘muy alta’ y ‘alta’ susceptibilidad de cada uno de los peligros, pero no a las zonas de susceptibilidad ‘moderada’ (CUADRO N° 11—2 y CUADRO N° 11—3). Pese a esto, no se debe considerar que las zonas de susceptibilidad moderada no puedan ser afectadas por los peligros analizados.

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

Finalmente, no se asignó susceptibilidad a los peligros relacionados con el volcanismo, por lo que no corresponde aplicar la definición de área de riesgo.

CUADRO N° 11—2 Criterios de definición de las áreas de riesgo en los centros poblados (escala 1:25.000) según el artículo 2.1.17 de la OGUC para cada peligro estudiado.

PELIGRO GEOLÓGICO ESTUDIADO EN ESTE TRABAJO	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	“Áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 de la OGUC
Inundaciones costeras	MUY ALTA	Zonas que se encuentran a una altura de hasta 10 m s. n. m.	X
	ALTA	Zonas inundadas por el maremoto del 27 de Febrero de 2010 en los sectores en que se cuenta con registro. Para las zonas sin registro descrito en mapas o documentos, corresponde a la zona ubicada a una altura entre 10 y 15 m s. n. m.	X
	MODERADA	Zona que se encuentra a una altura entre 15 y 25 metros con respecto al nivel del mar.	
Inundaciones por desborde de cauces	MUY ALTA	Cauces principales determinados por la unidad geológica PIHf1 (depósitos fluviales).	X
	ALTA	Terrazas de inundación adyacentes al cauce principal determinados por la unidad geológica PIHf2 (depósitos fluviales aterrazados) y zonas que según el catastro se han inundado con anterioridad.	X
	MODERADA	Zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, relacionándose con las terrazas más antiguas correspondiente a parte de los depósitos fluviales aterrazados o zonas distales que presentan una baja elevación con respecto al cauce principal correspondiente a PIHa (depósitos de llanura aluvial).	
Inundaciones por anegamiento	ALTA	Sectores que ya han sido anegados anteriormente, identificados tanto en el catastro como en imágenes satelitales de Google Earth.	X
Flujos de barro y/o detritos	ALTA	Cauces que generan una incisión bien definida, o quebradas que cuentan con registro de flujos ocurridos en ellas.	X
	MODERADA	Cauces que generan una incisión poco profunda o que escurren por cauces amplios, y quebradas que no cuentan con registro de flujos ocurridos en ellas.	
Procesos de ladera	MUY ALTA	Zonas con pendientes mayores a 35° o zonas con pendiente mayores que 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.	X
	ALTA	Zonas con pendientes entre 25° y 35° o zonas con pendiente entre 15° y 25° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.	X
	MODERADA	Zonas con pendientes entre 15° y 25° o zonas con pendiente menor a 15° con registro de algún evento ocurrido anteriormente.	
Avance de dunas	ALTA	Corresponde a las dunas del río Rahue que a escala 1:50.000 consiste en parte de la unidad de depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno y a escala 1:25.000 de eólicos.	X
	MODERADA	Corresponde todo el resto de las unidades, que a escala 1:50.000 consiste en parte de la unidad de depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno y a escala 1:25.000 a depósitos eólicos.	
Sismicidad	ALTA	El territorio de la provincia se encuentra expuesto de manera homogénea a este peligro.	
Volcanismo	NO EXPUESTO	No se identificó este peligro en la provincia.	

CUADRO N° 11—3 Criterios de definición de las áreas de riesgo a escala de la Provincia de Cauquenes (escala 1:50.000) según el artículo 2.1.17 de la OGUC para cada peligro estudiado.

PELIGRO GEOLÓGICO ESTUDIADO EN ESTE TRABAJO	SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	“Áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 de la OGUC
Inundaciones costeras	MUY ALTA	Zonas que se encuentran a una altura de hasta 10 m s. n. m.	X
	ALTA	Zonas inundadas por el maremoto del 27 de Febrero de 2010 en los sectores en que se cuenta con registro. Para las zonas sin registro descrito en mapas o documentos, corresponde a la zona ubicada a una altura entre 10 y 15 m s. n. m.	X
	MODERADA	Zona que se encuentra a una altura entre 15 y 25 metros con respecto al nivel del mar.	
Inundaciones por desborde de cauces	MUY ALTA	Cauces actuales principales determinados por la unidad geológica PIHf (depósitos fluviales), áreas cubiertas por ríos esteros o canales, hasta una distancia de 30 m medida desde el eje del cauce y embalses.	X
	ALTA	Unidad geológica PIHaf (depósitos fluvio-aluviales de quebrada), excepto en aquellos sectores distantes de los cauces donde estos depósitos se encuentran estabilizados, y quebradas permanentes e intermitentes, hasta una distancia de 30 m medida desde el eje del cauce.	X
	MODERADA	Sectores más distantes de la unidad geológica PIHaf (depósitos fluvio-aluviales de quebrada), donde los depósitos se encuentran más estabilizados	
Inundaciones por anegamiento		No se caracterizó este peligro a esta escala.	
Flujos de barro y/o detritos	ALTA	Cauces con pendientes importantes en su parte alta, que generan una incisión más bien profunda y estrecha, o quebradas que cuentan con registro de flujos ocurridos en ellas.	X
	MODERADA	Cauces con pendientes relativamente bajas, que generan una incisión poco profunda o que escurren por cauces amplios, y quebradas que no cuentan con registro de flujos ocurridos en ellas.	
Procesos de ladera	MUY ALTA	Zonas con pendientes mayores a 35°.	X
	ALTA	Zonas con pendientes entre 25° y 35°.	X
	MODERADA	Zonas con pendientes entre 15° y 25°.	
Avance de dunas	ALTA	Corresponde a las dunas del río Rahue que a escala 1:50.000 consiste en parte de la unidad de depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno y a escala 1:25.000 de eólicos.	X
	MODERADA	Corresponde todo el resto de las unidades, que a escala 1:50.000 consiste en parte de la unidad de depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno y a escala 1:25.000 a depósitos eólicos.	
Sismicidad	ALTA	El territorio de la provincia se encuentra expuesto de manera homogénea a este peligro.	
Volcanismo	NO EXPUESTO	No se identificó este peligro en la provincia.	

11.3 *Recomendaciones específicas*

Para mitigar los riesgos asociados a remociones en masa e inundaciones, se recomienda construir obras destinadas a controlar el escurrimiento de flujos superficiales, su intercepción, captación, conducción y descarga controlada hacia cauces establecidos y otras, todo esto con una asesoría técnica-profesional apropiada, tal como lo indica la OGUC.

Paralelamente, se recomienda realizar capacitaciones a la población con respecto a los peligros geológicos, considerando sus causas y consecuencias, en las que además se informe adecuadamente acerca de las medidas a adoptar frente a situaciones de emergencia (sistemas de alerta, vías de evacuación, zonas seguras), con el objetivo de promover el autocuidado. En caso de que la autoridad no pueda dar una alerta oportuna, la educación y conocimiento acerca de los diferentes peligros y riesgos geológicos pueden salvar vidas, ya que condiciona una reacción correcta y autónoma por parte de la población. Como ejemplo, se suele citar lo ocurrido durante el terremoto y maremoto del 27 febrero de 2010, en la zona centro sur de Chile, donde la población de varias localidades se alejó de la costa por iniciativa propia una vez ocurrido el sismo.

En el caso de las acciones necesarias para autorizar el emplazamiento de proyectos en áreas de riesgo, el análisis debe considerar los efectos que tendrán los peligros estudiados en las áreas adyacentes al proyecto, como consecuencia de las obras a ejecutar, de manera que estos no afecten a terceros.

Para reducir los efectos de futuros eventos desastrosos se debieran tomar medidas de largo plazo destinadas a reducir el uso del territorio en las zonas con susceptibilidad 'muy alta' o 'alta' de inundaciones o remociones en masa, priorizando la reducción del uso en las primeras. Asimismo, se debe evitar la localización de equipamiento esencial en las zonas susceptibles a ser afectadas por peligros naturales, en cualquiera de sus grados, con el fin de resguardar la inversión del Estado y dotar de una mayor capacidad de reacción a los organismos públicos.

Finalmente, se hace notar que el análisis de los peligros destinados a la planificación territorial es diferente al que se debe hacer para la elaboración de planes de emergencia. Por lo tanto, este documento no debe ser utilizado con ese fin, aunque si puede servir como referencia.

12. REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

Aguilera, H., 1947. El pueblo de Chanco y el santuario de la Candelaria. *En viaje*, Issue N° 147, pp. p. 98-100.

Aguirre, L., Hervé, F. & Godoy, E., 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile. An outline. *Kristalinikum*, No. 9, p. 7-19..

Albert, F., 1900. Las Dunas, o sea, las arenas volantes, voladeros, arenas muertas, invasión de las arenas, playas y médanos del Centro de Chile.

Amigo, A. & Bertín, D., 2012. *Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos Complejo Volcánico Laguna del Maule, escala 1:100.000*, s.l.: SERNAGEOMIN.

Amigo, A., Bertin, D. & Orozco, G., 2012. *Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos Volcán Cerro Azul-Quizapu, escala 1:100.000*, s.l.: SERNAGEOMIN.

Annunziato, A., 2007. The Tsunami Assessment Modelling System by the Joint Research Centre. *Science of Tsunami Hazards*, v. 26((2)), p. p. 70.

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.

Barrientos, S., 2010. *Informe técnico actualizado 27 mayo 2010 Terremoto Cauquenes 27 febrero 2010*, s.l.: Servicio Sismológico.

Campos, J. y otros, 2005. Terremotos corticales de las Melosas 1958, Chusmiza 2001 y Curicó 2004: un análisis comparativo con los terremotos de Northridge 1994 y Kobe 1995: Nuevos antecedentes para el peligro sísmico en Chile. *Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica*.

Centeno, J., Fraile, M., Otero, M. & Pividal, A., 1994. *Geomorfología Práctica. Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental*. Madrid: Ed. Rueda.

Contreras, M. & Winckler, P., 2013. *Pérdidas de vidas, viviendas, infraestructura y embarcaciones por el tsunami del 27 de febrero de 2010 en la costa central de Chile*. s.l.:s.n.

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*. Berlin: Springer-Verlag, pp. 268-317.

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), pp. 2191-2194.

Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L. & Llorente-Isidro, M., 2008. *Mapas de Peligrosidad por avenidas e inundaciones: Guía metodológica para su elaboración*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia No. 1, 190 pág.

Dirección Meteorológica de Chile, 2008. *Guía Climática Práctica*, Santiago, Chile: Dirección Meteorológica de Chile.

- Esaki, T., Thapa, P., Mitani, Y. & Ikemi, H., 2005. *Landslide and debris flow characteristics and hazard mapping in mountain hillslope terrain using GIS, Central Nepal*. Vancouver, En: Eberhardt, E., Hungr, O., Fell, R., Couture, E. (eds), Proceedings, International Conference on Landslide Risk Management, p. 657-669..
- Ferraris, F., 1981. *Hoja Los Ángeles - Angol. Región del Biobío. Escala 1:250.000.*, Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones GEológicas.
- Giraud, R. & Shaw, L., 2007. *Landslide Suceptibility Map of Utah.*, s.l.: Utah Geological Survey, 16 p..
- 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*. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 410 pág.
- González, S. y otros, 2010. *Área de inundación por tsunami del 27 de febrero de 2010. Curanipe-Pelluhue. Región del Maule*, Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- 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*, Volumen 25-26, pp. 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.
- Ilustre Municipalidad de Cauquenes, 2017. Memoria Explicativa PRC Cauquenes, Barrio Estación y Santa Sofía.
- Infracon, 2011. *Estudio de Riesgos Pelluhue*, s.l.: Seremi MINVU Maule.
- JTC-1, 2008. Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), pp. 85-98.
- Keeper, D., 1984. Landslides cuased by earthquakes. *Geological Society of América Bulletin*, 95(4), pp. 406-421.
- Keller, E. & Blodgett, R., 2004. *Riesgos Naturales*. Madrid: Pearson Education S.A., 448 pág.
- Kraus, S., 2012. *Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos Volcán Nevado de Longaví, escala 1:100.000*, s.l.: SERNAGEOMIN.
- Leeder, M., 2011. *Sedimentology and sedimentary basins: from turbulence to tectonics.. 2° edición ed.* West Sussex, Inglaterra: Wiley-Blackwell.
- 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.
- Moreno, H. & Varela, J., 1985. Geología, volcanismo y sedimentos piroclásticos cuaternarios de la región central y sur de Chile. En: J. Tosso, ed. *Suelos volcánicos de Chile*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), pp. p. 492-526.
- 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 Pet. 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. & Haller, M., 1999. *Peligros volcánicos potenciales del Complejo Planchón-Peteroa, escala 1:100.000*, s.l.: SERNAGEOMIN.

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.

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.

Orozco, G., 2013. *Mapa Preliminar de Peligros Volcánicos Volcán Tinguiririca, escala 1:75.000*, s.l.: SERNAGEOMIN.

Orozco, G., Jara, G. & Bertín, D., 2016. *Peligros del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, escala 1:75.000*, s.l.: SERNAGEOMIN.

Paskoff, R. & Manríquez, H., 2004. *Las dunas de las costas de Chile*. s.l.:Institute Geográfico Militar de Chile.

Pierson, T. & Scott, K., 1985. Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research*, 21(10), pp. 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..

PUC, 2010. *Estudio de riesgo de sismos y maremoto para comunas costeras de las comunas de O'Higgins y del Maule.*, s.l.: Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales y Observatorio de Ciudades UC..

PUC, 2010. *Estudio de riesgo de sismos y maremoto para comunas costeras de las regiones de O'higgins y del Maule*, s.l.: s.n.

Ramos, V. A. y otros, 1986. Paleozoic Terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, pp. 855-880.

Sancho, C., 1997. Los mapas de riesgos. En: J. Peña, ed. *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Zaragoza: Geomorfa, pp. 181-200.

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*, Volumen 80, pp. 336-348.

Sepúlveda, S. y otros, 2010. Landslides induced by the April 2007 Aysén Fjord earthquake, Chilean Patagonia.. *Landslides*, pp. doi: 10.1007/s1034VI-010-0203-2.

SERNAGEOMIN, 2003. *Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. Versión digital. Publicación Digital N° 4.*, Santiago, Chile.: Servicio Nacional de Geología y Minería..

SERNAGEOMIN, 2010. *Área de inundación por tsunami del 27 de febrero de 2010 Curanipe - Pelluhue*, s.l.: Atlas Mapas de Inundación por Tsunami del 27 de Febrero de 2010.

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*, Issue 11, pp. 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.

Urrutia, R. & Lanza, C., 1993. *Catástrofes en Chile 1541-1992*. 1° Edición ed. Santiago, Chile: Editorial La Noria.

USGS, 2008. *The landslide handbook—A guide to understanding landslides*, Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p..

Vargas, V. y otros, 2011. *Coastal uplift and tsunami effects associated to the 2010 M 8.8 earthquake in Central Chile*. s.l.:Andean Geology.

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*, Volumen 3, pp. 1-61.

Western Washington University, 2011. *RELIEF GLOBE SLIDES*. [En línea] Available at: <http://www.smate.wvu.edu/teched/geology/GeoHaz/global/globe-17.jpg> [Último acceso: 28 11 2011].

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 inventario, en los que se identifican las áreas que han sido afectadas por determinados procesos, y mapas de factores condicionantes que favorecen o entorpecen el desarrollo de estos procesos. Además, los mapas de susceptibilidad apuntan a cubrir el peor escenario posible en el área de estudio.

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

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

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

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 humanas, pérdidas económicas directas o indirectas, daños en infraestructura, etc. (Gonzalez de Vallejo, et al., 2002).

* 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

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, et al., 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 A—1 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.

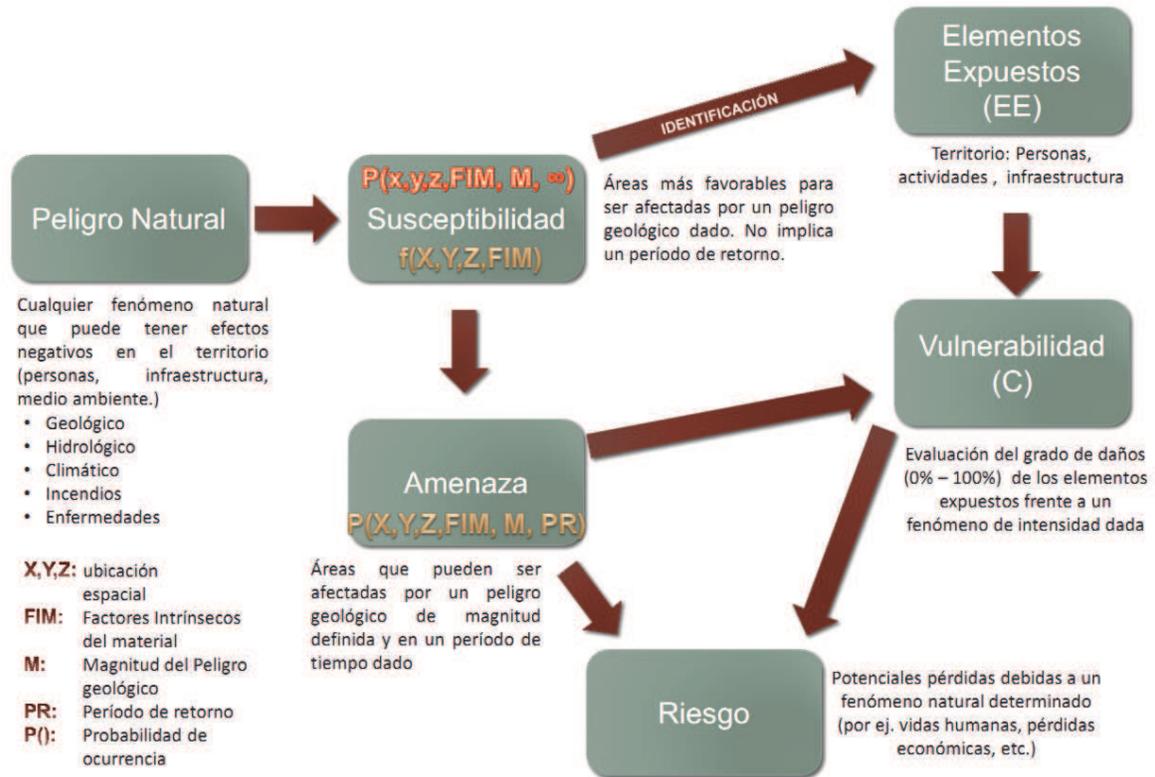
En resumen, los peligros geológicos pueden analizarse desde el punto de vista de las condiciones intrínsecas del material (estudios de susceptibilidad o determinísticos) y desde el punto de vista de los factores desencadenantes de un fenómeno (estudios de amenaza o probabilísticos). Considerando que 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 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 A—1 Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984)

ANEXO B Descripción 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.

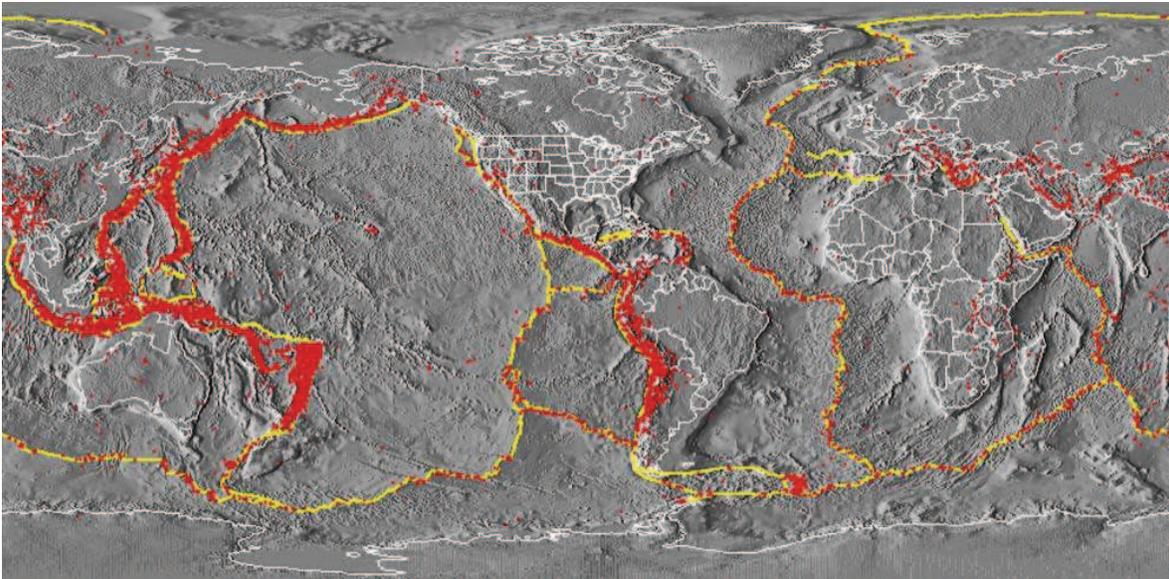
Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los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

B.1 Procesos Internos o Endógenos de la Tierra

B.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. 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 FIGURA B—1 ilustra la sismicidad mundial que resalta los márgenes de las placas tectónicas y muestra además, cómo Chile se encuentra en un ambiente de gran producción sísmica.

FIGURA B—1 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

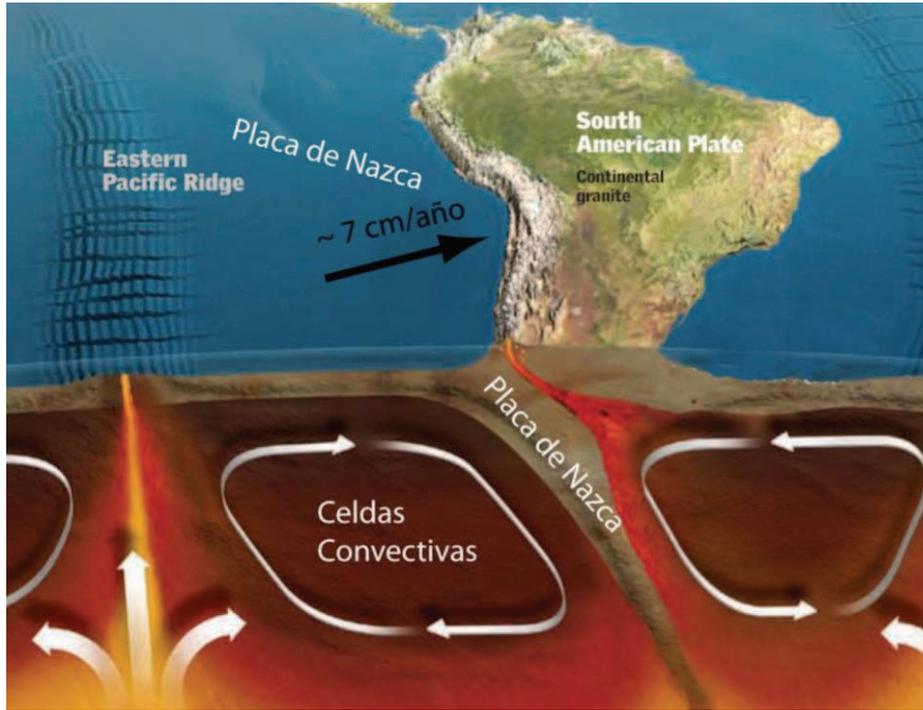


Fuente: Western Washington University (2011).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, et al., 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 B—2). 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 B—2 Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile



Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

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 B—3, 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.

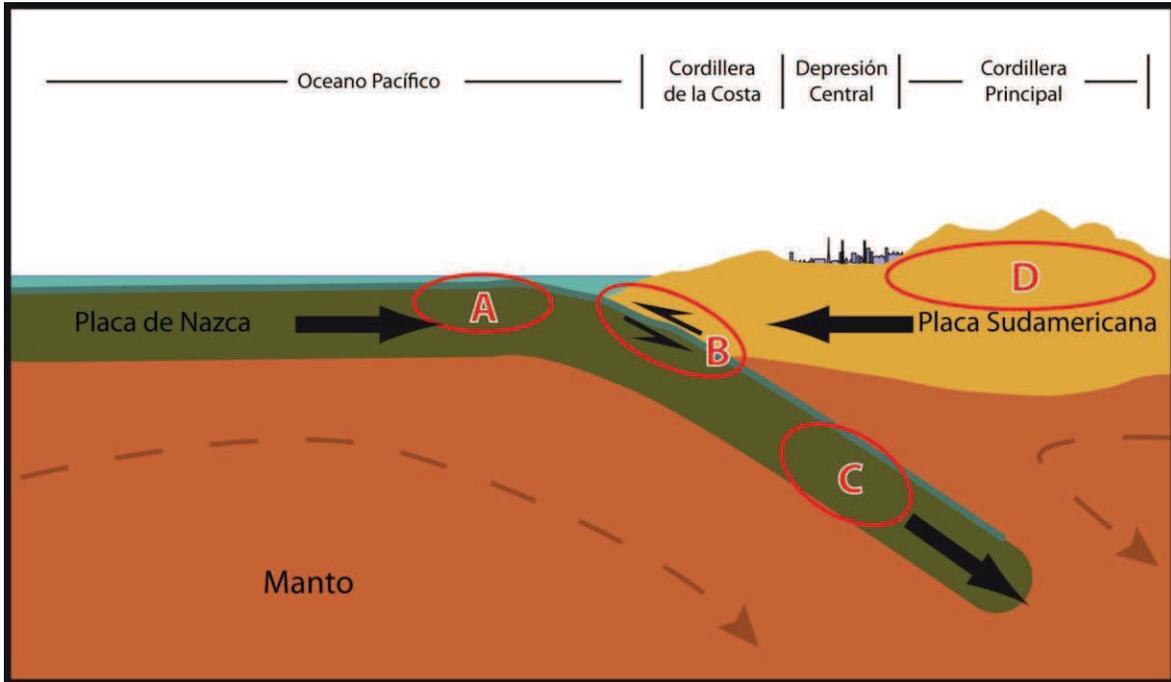
Zona B: Sismos asociados al contacto interplaca, como los ocurridos en Antofagasta 1995, Chile Central 1985, Mejillones 2005, Constitución-Concepción en el 2010, Coquimbo 2015. Estos son producto de la liberación de energía acumulada por la convergencia de placas.

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 B—3 Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción (explicación en el texto)

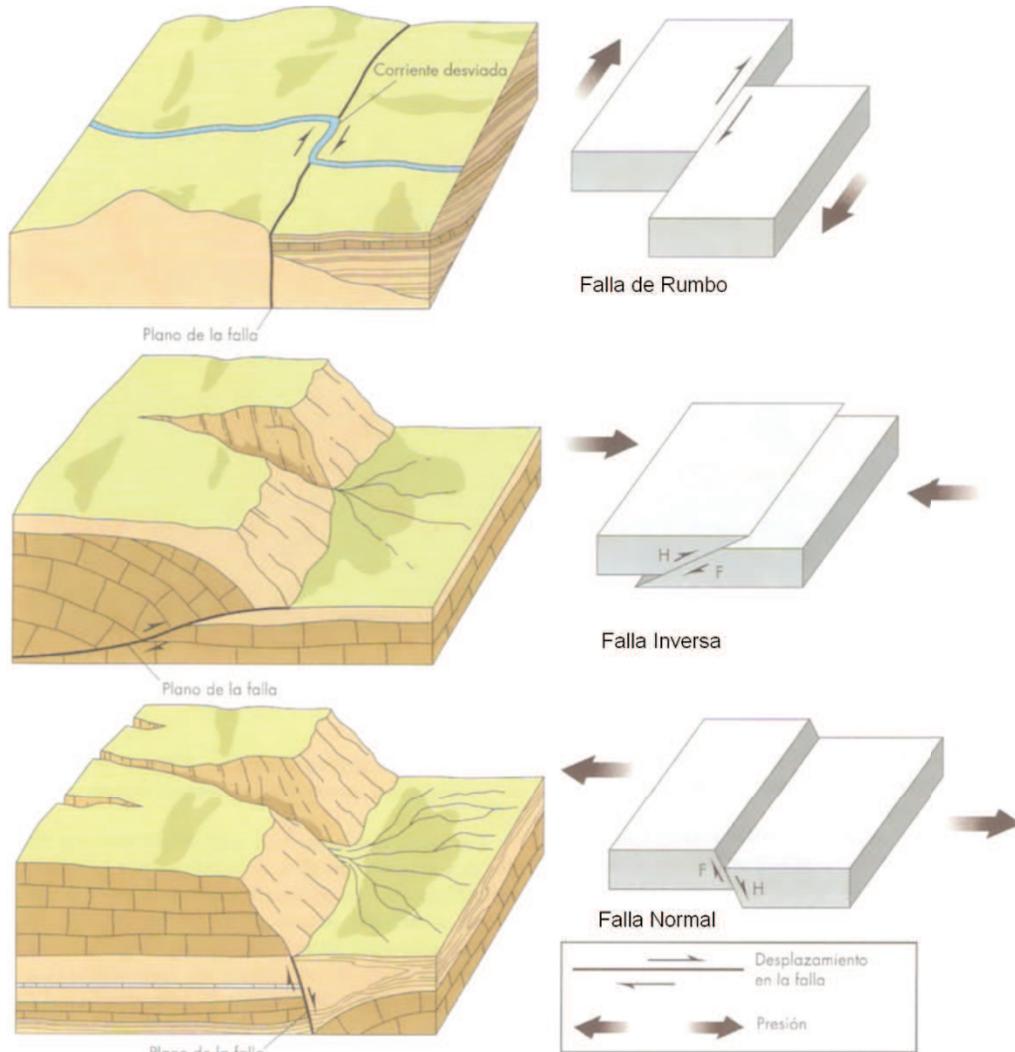


Fuente: Elaboración propia.

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 B—4). 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 B—5). 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 B—4 Tipos de Falla y esfuerzos asociados

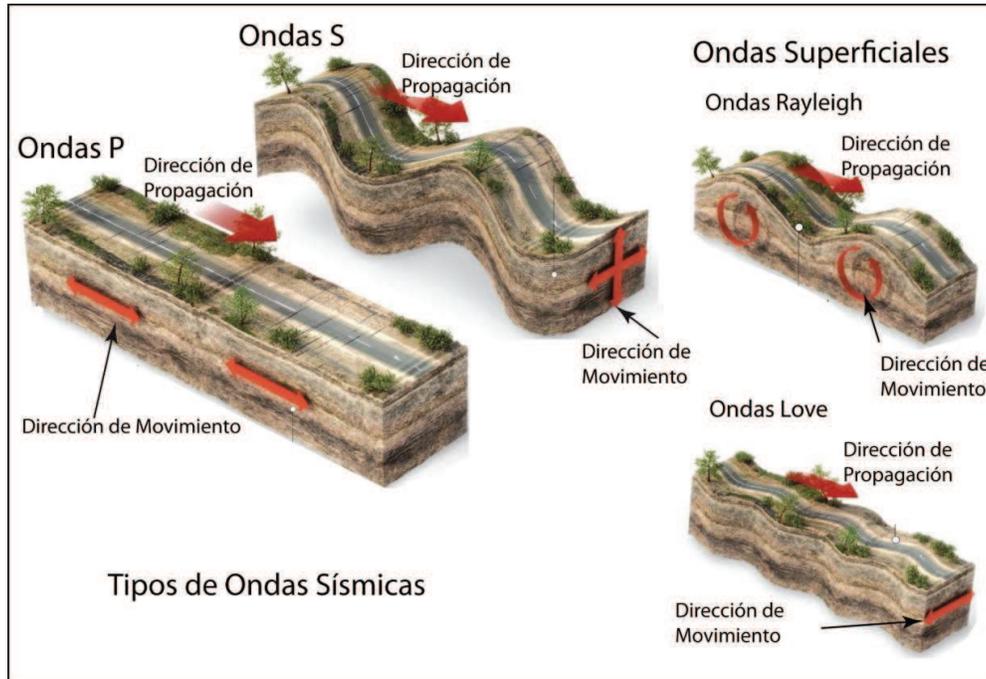


Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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 B—6).

FIGURA B—5 Tipos de ondas sísmicas



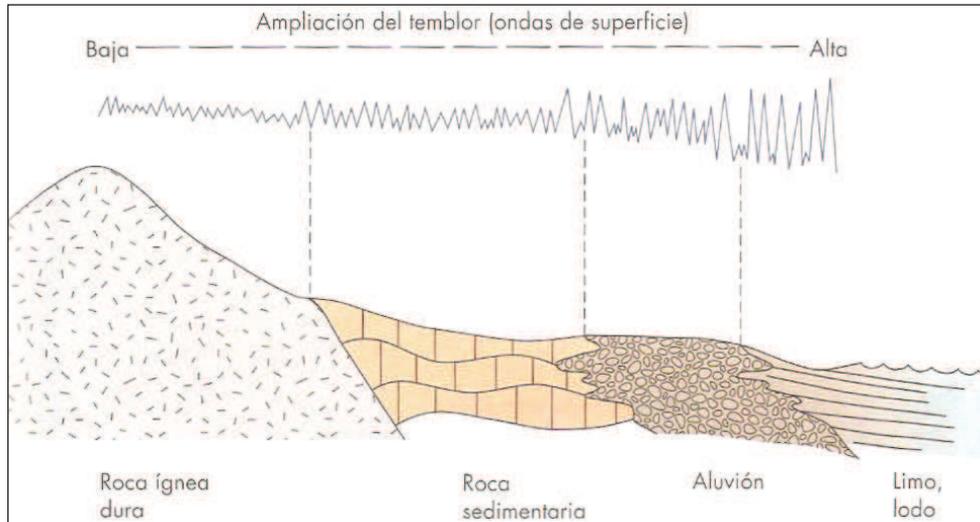
Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

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 Keeper (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 Anexo B.2.2 "Procesos de Remoción en Masa".

FIGURA B—6 Amplificación de la vibración generada por un terremoto



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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 suelos, 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 conforman 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. Puede producirse en zonas donde el nivel de agua subterránea es somero como en desembocadura de cursos de agua, humedales, pantanos, vegas y zonas costeras.

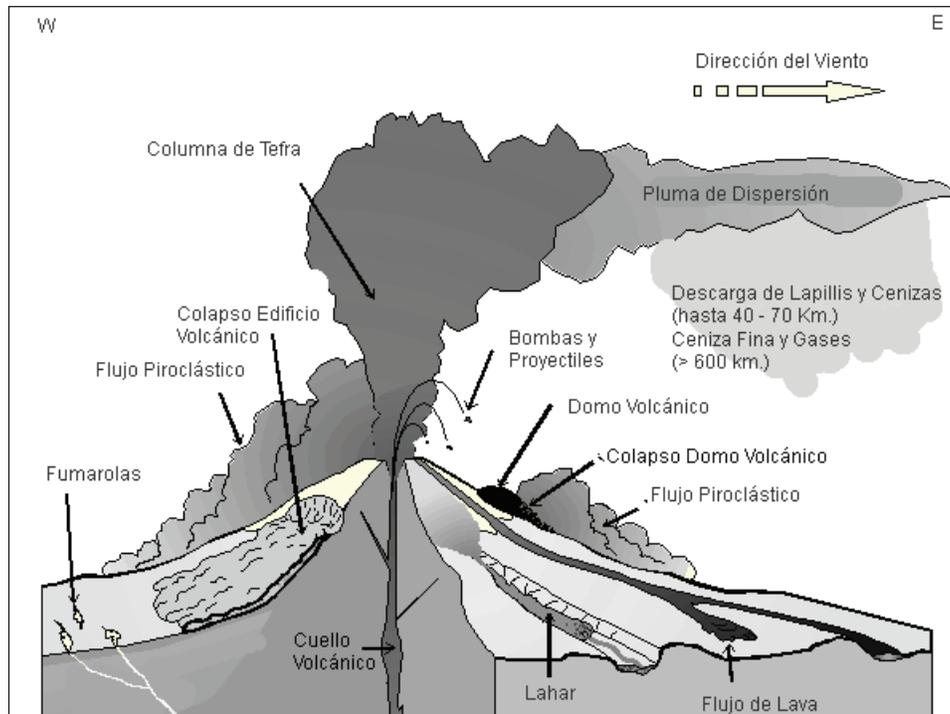
Fuertes movimientos sísmicos, durante los cuales las ondas sísmicas aumentan la presión del agua contenida en los depósitos. Cabe destacar, que todo Chile, en especial desde la península de Taitao al norte, tiene el potencial de ser afectado por grandes terremotos.

B.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 B—7 y en el CUADRO B-1.

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.

FIGURA B—7 Peligros volcánicos asociados a la erupción de un volcán



Fuente: Myers y Brantley (1995).

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.

CUADRO B-1 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, menor 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
Lavas y Domos	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 Domos	Daño a estructuras, incendios, recubrimiento por lavas.	Alrededores del volcán (<10 km)	
Remociones en masa	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
	Lahares	Daños a estructuras, arrastres de materiales, recubrimiento por barro.	Decenas a centenares de kilómetros	Red de drenaje
Otros	Colapso Parcial o Total del Edificio volcánico	Daños 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
	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: Elaboración propia a partir de González-Ferrán (1995), Myers y Brantley (1995) y Sruoga (2002).

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 Quizapu 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 dio la vuelta al mundo.

B.2 Procesos Exógenos o Externos de la Tierra

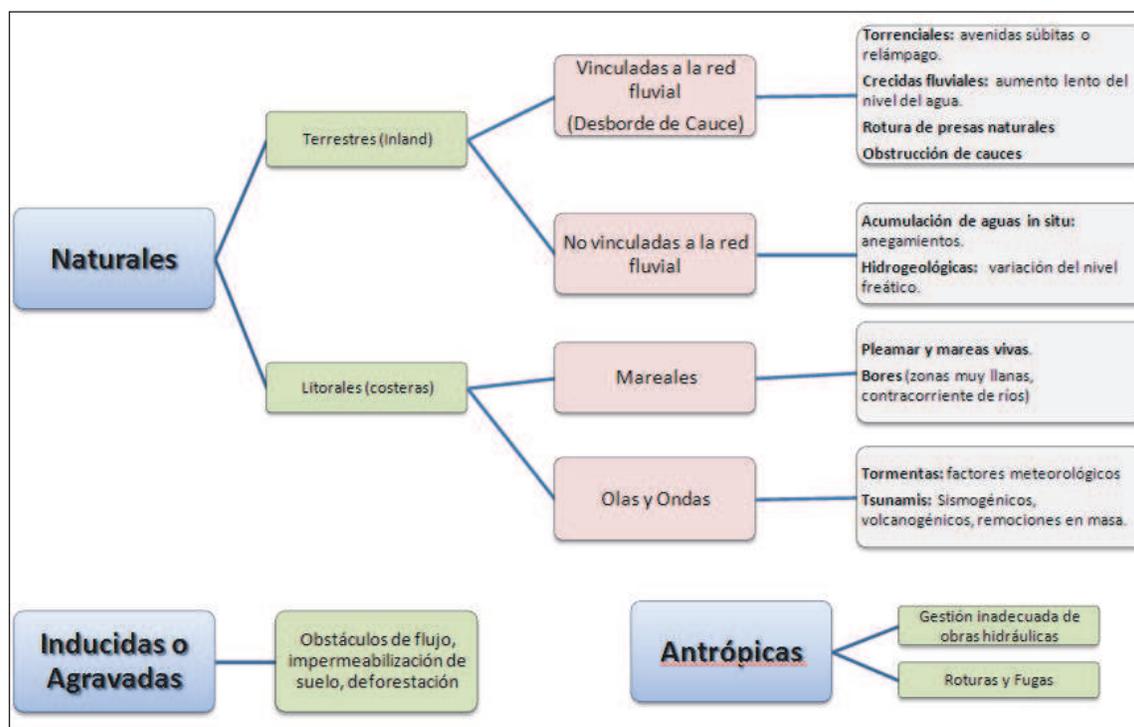
B.2.1 Inundaciones Terrestres y Litorales

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (FIGURA B—8): (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 B—8 Clasificación de los tipos de inundaciones



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

B.2.1.1 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 consideran como perennes dado que la mayoría del flujo escurre en el acuífero ubicado bajo la superficie. Estos presentan cauces de gran extensión, bien definidos, con diferentes niveles de terrazas fluviales, y fácilmente identificables a partir del análisis estereoscópico de fotos aéreas. Las terrazas más altas generalmente 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 en la población y sus actividades estarán dados por:

- Tiempo de aviso: En general, las inundaciones por desborde de cauce tienen un tiempo de aviso suficiente, ya que los procesos de inundación son paulatinos y permiten evacuar a la población.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
- Densidad de población: En caso de que la población se encuentre directamente en la zona de inundación y no sea evacuada oportunamente, pueden ocurrir muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales, etc. Si la inundación no afecta directamente a la población, puede producir cortes de camino, daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destruir captaciones de agua para el consumo humano) con un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

B.2.1.2 *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.

B.2.1.3 *Inundaciones costeras asociadas a maremotos*

Los tsunamis o maremotos 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. Se conocen tres orígenes posibles:

Maremotos generados producto de un sismo mayor: durante un terremoto se genera una rápida elevación o hundimiento del fondo marino, provocando un gran movimiento vertical de agua que es propagado en forma de olas que se alejan radialmente desde la zona de ruptura, movimiento que puede considerarse lineal (FIGURA B—8). A diferencia de las olas generadas por el viento, en las cuales las partículas tienen un movimiento circular ondulante, las olas generadas por un maremoto fluyen en línea recta hacia adelante (FIGURA B—9).

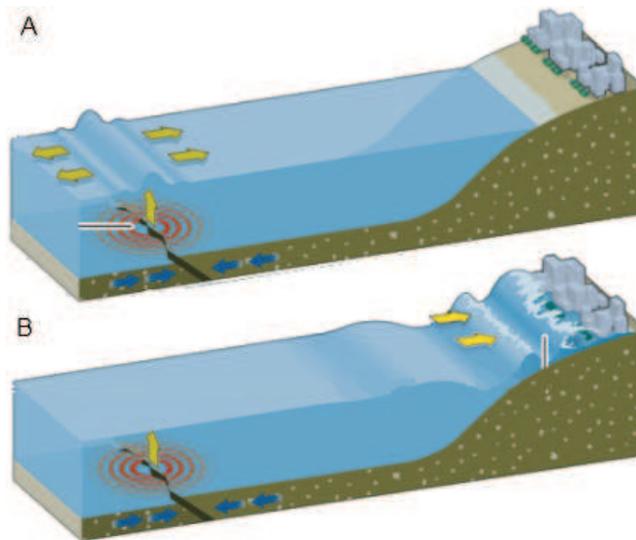
Se pueden definir dos tipos de maremotos: (1) los de “origen cercano”, donde la población siente el terremoto que generará el maremoto, y (2) los de “origen lejano”, donde la población no es alertada por un movimiento sísmico previo al arribo del maremoto. Se debe recalcar que, aun cuando los

maremotos están generalmente relacionados a sismos de magnitud mayor a 8.0° con un epicentro bajo la superficie marina ésta no es la única forma de generación de este tipo de fenómenos.

Maremotos generados por erupción volcánica submarina: Se producen por erupciones volcánicas submarinas, las que generan un pulso de agua vertical que es disipado en forma de olas (FIGURA B—10). Cómo la generación es puntual, la energía liberada es menor a la generada por sismos.

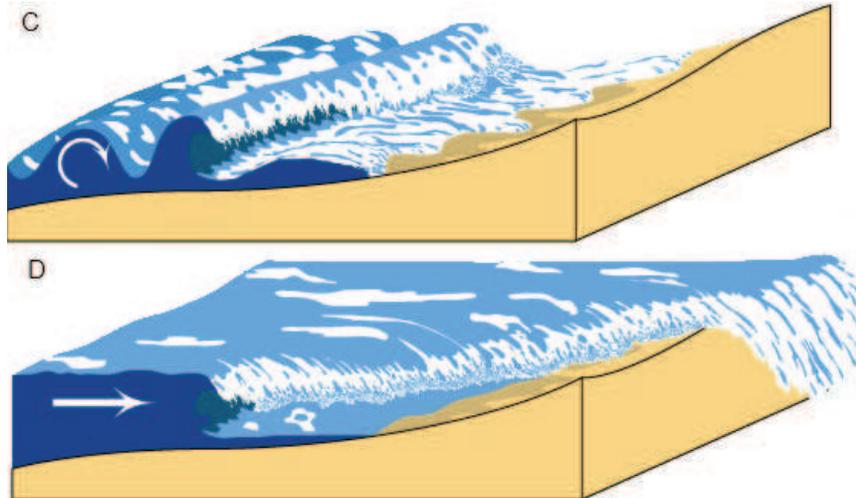
Maremotos generados por deslizamientos: Corresponden a deslizamientos submarinos o superficiales, que generan perturbaciones en el nivel del mar o en lagos (FIGURA B—11). Ejemplos de este tipo se han registrado en el fiordo de Aysén asociado al ciclo sísmico desarrollado durante abril de 2007 (Sepúlveda & Serey, 2009).

FIGURA B—9 Mecanismo de formación de un maremoto asociado a un terremoto cuyo epicentro es submarino. A. Sismo genera un pulso vertical que mueve las aguas superficiales. B. Corresponde al momento en que arriba la onda a las costas



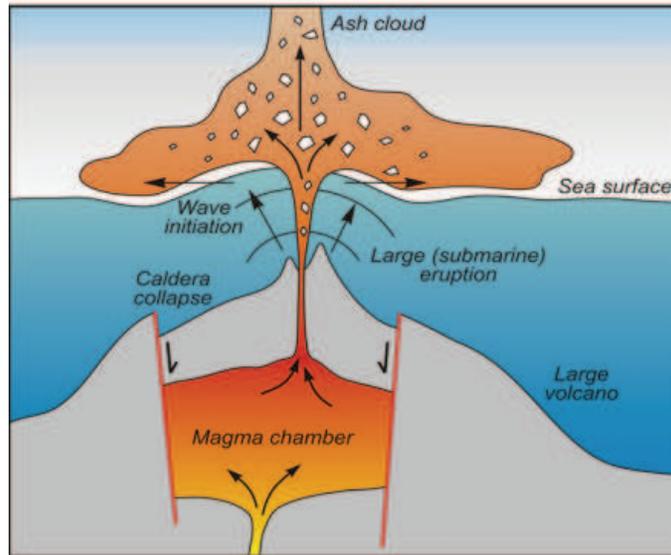
Fuente: Modificado de Keller y Blodgett, (2004)

FIGURA B—10 Comparación entre olas generadas por el viento y el frente de olas de un maremoto



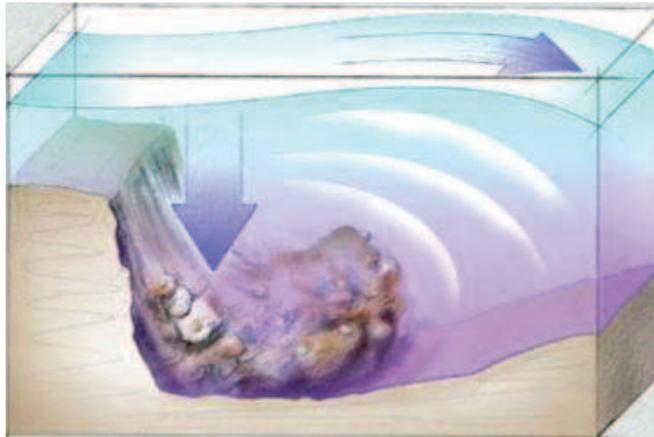
Fuente: Modificado de Department of Earth and Space Sciences, University of Washington, en <http://www.ess.washington.edu/tsunami/images/tsulg.jpg>

FIGURA B—11 Mecanismo de generación de maremotos por erupciones volcánicas submarinas



Fuente: Tomado de Natural Resources of Canadá, de http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/environment/naturalhazards/tsunami/fig4_tsunami_volcano_eruption.jpg

FIGURA B—12 Mecanismo de generación de maremotos asociado a deslizamientos



Fuente: Tomado de Universidad de Santa Cruz, California. <http://scicom.ucsc.edu/scinotes/9901/kill/images/slidesfinal.jpg>

La propagación del frente de ondas del maremoto se produce superficial y concéntricamente, similar al efecto en la superficie de un estanque de agua al lanzar una piedra. En aguas abiertas, la altura de la ola es casi imperceptible (menores a un metro) y se desplaza a velocidades que llegan a los 800 km/h, pero esta velocidad disminuye a menos de 60 km/h al acercarse las olas al continente transformando así la energía cinética (velocidad) en energía potencial (altura de ola). La altura máxima de la ola (medido sobre el nivel medio del mar) y su penetración en el continente estará condicionada por la distancia al epicentro del terremoto, así como también por la morfología, pendiente y profundidad del fondo marino, pudiendo alcanzar hasta 30 metros de elevación sobre el nivel del mar en el continente.

Aun cuando la mayoría de los maremotos son generados por sismos, su impacto e intensidad están determinados en primer lugar por la topografía submarina del sitio donde se produce el sismo (por

ejemplo, profundidad y consistencia del suelo marino). De esta forma, según los estudios científicos, se sabe que ante un temblor de epicentro poco profundo y cuya intensidad sea inferior a los 6.4 grados en la escala de Richter, existen pocas probabilidades de que se genere un maremoto. Aquellos con magnitudes superiores a los 7.5 grados son los principales causantes de maremotos de alto riesgo.

Dadas estas características, es preciso señalar que los maremotos son muy frecuentes en el Océano Pacífico, pues el margen de su cuenca oceánica se distribuyen alberga en conjunto una de las zonas con mayor actividad sísmica en el planeta: el Cinturón de Fuego del Pacífico. Basta decir que por ejemplo, entre los años de 1900 y 1986, fueron registrados en esta cuenca 247 maremotos de los cuales 29% incidieron en las costas japonesas.

Se han definido diversas escalas para medir la magnitud e intensidad de los maremotos. Una de las más conocidas es la escala Inamura (1942, 1949) que en función de la altura de las olas y los daños que estas producen en la costa clasifica el impacto y la intensidad de estos fenómenos, de manera similar a la medición de la Escala de Mercalli de los eventos sísmicos (TABLA 11.3-1).

TABLA 11.3-1: Escala de grados de maremotos según Inamura (1942, 1949)

Grado de maremotos m	Altura de la ola H (en metros)	Descripción de los daños
0	1-2	No produce daños.
1	2-5	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5-10	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10-20	Daños extendidos a lo largo de 400km de la costa.
4	>30	Daños extendidos sobre más de 500km a lo largo de la línea costera.

Fuente: Inamura (1942) e Inamura (1949)

Posteriormente, Iida (1963) relacionó la energía liberada por un terremoto con la energía del maremoto asociado, estimando el desplazamiento vertical de agua de este último (TABLA 11.3-2). Esta metodología en, en términos generales, análoga a la escala de Richter (que mide la magnitud del sismo) con la energía del maremoto. Por último, Wiegel (1970) combinó las escalas de Inamura e Iida con lo cual logró identificar y diferenciar con mayor claridad la magnitud de un maremoto (TABLA 11.3-3).

TABLA 11.3-2: Escala de grados de maremoto según Iida (1963)

Grado de maremoto m	Energía (Erg) x 10^{23}	Máxima altura de inundación R (metros)
5.0	25.6	> 32
4.5	12.8	24 - 32
4.0	6.4	16 - 24
3.5	3.2	12 - 16
3.0	1.6	8 - 12
2.5	0.8	6 - 8
2.0	0.4	4 - 6
1.5	0.2	3 - 4
1.0	0.1	2 - 3
0.5	0.05	1.5 - 2
0.0	0.025	1 - 1.5
-0.5	0.0125	0.75 - 1
-1.0	0.006	0.50 - 0.75
-1.5	0.003	0.30 - 0.50

Grado de maremoto m	Energía (Erg) x 10 ²³	Máxima altura de inundación R (metros)
-2.0	0.0015	< 0.30

Fuente: lida (1963)

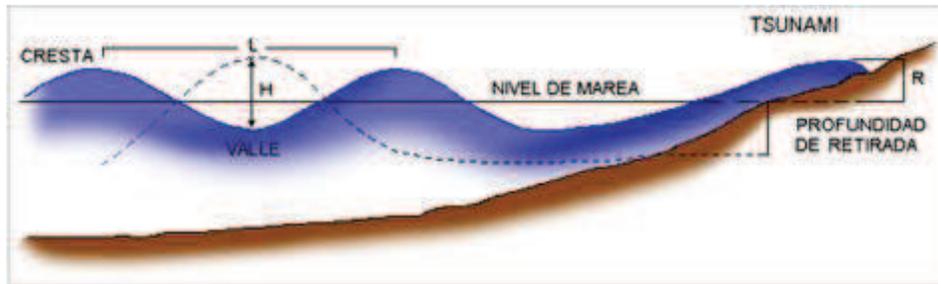
Los parámetros considerados por Wiegel (1970) son los siguientes (FIGURA B—12): la altura de la ola (H) como la diferencia de nivel entre la cresta y el valle; altura máxima de inundación (R), corresponde al lugar de la costa donde los efectos del maremoto son mayores.

TABLA 11.3-3: Escala de grados de maremoto según Inamura e lida; transcrita por Wiegel (1970)

Grado maremoto m	Altura de la ola H (metros)	Altura máxima de inundación R (metros)	Descripción de los daños.
0	1 – 2	1 – 1.15	No produce daños.
1	2 – 5	2 – 3	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5 – 10	4 – 6	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10 – 20	8 – 12	Daños extendidos a lo largo de 400km de la costa.
4	> 30	16 – 24	Daños extendidos sobre más de 500km a lo largo de la línea costera.

Fuente: Wiegel (1970)

FIGURA B—13 Elementos básicos considerados en la escala de Magnitud Inamura-lida definida por Wiegel



Fuente: Modificado de Wiegel (1970)

En resumen, los efectos de un maremoto a lo largo de una línea costera dependerán de la magnitud del sismo o manifestación que lo origina, la topografía del suelo marino a lo largo y ancho de la zona de propagación del maremoto (existencia de arrecifes, malecones, etc.), la distancia de la costa al epicentro, y la orientación y forma de la bahía afectada respecto al epicentro. Existen relaciones directas entre la magnitud del sismo y del maremoto: a mayor magnitud del sismo, mayor el tamaño de la ola. Sin embargo, de acuerdo a la morfología de la costa, la extensión de la inundación puede crecer o verse disminuida, variar en los tiempos de llegada a puerto, o simplemente perder energía y afectar a la costa con menor intensidad.

El daño en el continente será proporcional a población que habita y a la infraestructura presente en la zona afectada, y puede verse amplificado en aquellas zonas de la costa que actúan como concentradoras de la energía de maremotos, esto es, aquellos sectores con líneas de costa que presenten cañones submarinos como la desembocadura de los grandes ríos hacia el mar y en bahías.

- Tiempo de Aviso: Lamentablemente, el daño a la infraestructura es inevitable, pero puede salvarse una cantidad considerable de vidas si de alerta adecuadamente a la población.

- Maremoto de origen cercano: es de aproximadamente 15 minutos a una hora si el sismo fue percibido por la población, la que debe dirigirse hacia los sectores altos inmediatamente después de ocurrido el terremoto.
- Maremoto de origen lejano: el tiempo de aviso puede ser nulo si no se activa una alerta de maremoto de origen lejano, como el ejemplo presentado de la Península de Kamchatka o los eventos ocurridos en el océano Índico durante el 2004.
- La distancia al origen del maremoto, así como la morfología, pendiente y profundidad del fondo marino. En este sentido, científicos japoneses han determinado que a menor pendiente de la ola (relación entre altura y longitud de onda), mayor será la altura máxima de inundación. Por ello, una costa que presente una plataforma continental escalonada (como si fuera una gran escalera), reduce la energía cinética del maremoto y con ello sus potenciales riesgos; mientras que una línea costera con una plataforma continental de pendiente suave permite que la energía del maremoto sea recibida en su totalidad.
- El daño será proporcional a la población y la infraestructura presente en la zona afectada y puede verse amplificado en aquellas zonas de la costa que actúan como concentradoras de la energía de maremotos, esto es, aquellos sectores con líneas de costa que presenten cañones submarinos, como la desembocadura de los grandes ríos hacia el mar y en bahías.

El grado de daño producido por una inundación, dependerá de varios factores:

- Tiempo de aviso: Los sistemas de emergencia y aviso a la población disminuyen considerablemente la vulnerabilidad social. Por lo demás, en general los procesos de inundación son paulatinos y permiten evacuar a la población.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
- Densidad de población: En caso de que la población se encuentre directamente en la zona de inundación, pueden ocurrir muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales, etc. Si la inundación no afecta directamente a la población, puede producir cortes de camino, daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destruir captaciones de agua para el consumo humano) o un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

B.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 B—14). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007).

B.2.2.1 Desprendimientos o Caída de Rocas

Los desprendimientos o caída de rocas 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). Normalmente, las superficies de rotura corresponden a planos de estratificación, 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 rocas 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 rocas. 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.

B.2.2.2 *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 B—15). Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

Estos fenómenos incluyen los deslizamientos que ocurren durante el retroceso de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, en especial al desarrollo de terrazas de abrasión. Este proceso es causado por la fuerza de las olas, las que cavan cavernas y desestabilizan el bloque superior, provocando que este caiga por su propio peso (FIGURA B—16). 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 al acantilado costero. Los mismos procesos de erosión ocurren en valles con erosión fluvial activa.

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 desencadenantes, tales como eventos hidrometeorológicos, sísmicos y actividad antrópica (excavaciones para caminos, canales, terraplenes, etc.).

FIGURA B—14 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			
DESPLAZAMIENTO	Rotacional			
	Traslacional (plana)			
PROPAGACION				
FLUJO				
COMPLEJO				

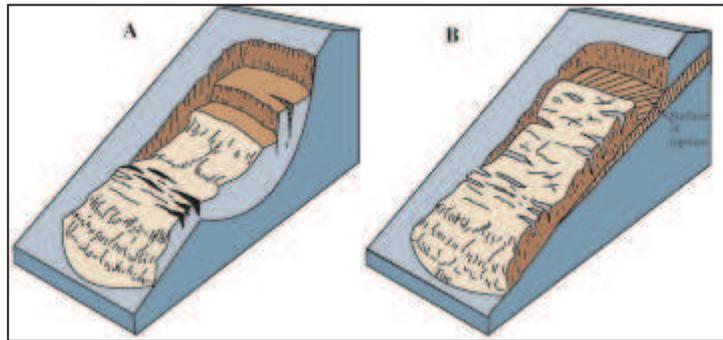
Fuente: Clasificación utilizada por el British Geological Service, modificada de (Varnes, 1978) y (Cruden & Varnes, 1996).
 Disponible en: http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

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:

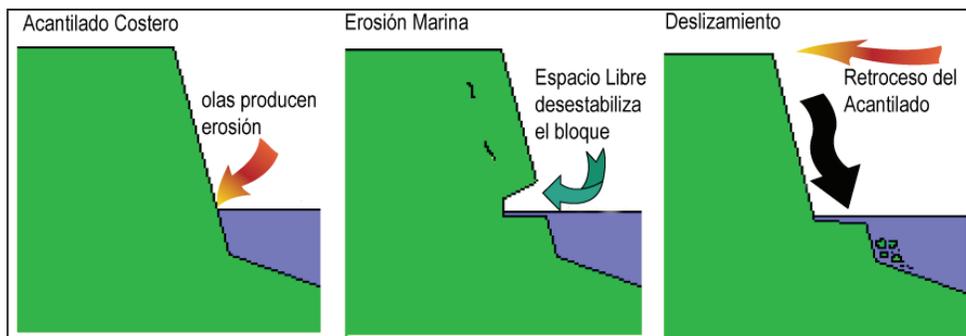
- Distancia al origen del fenómeno: Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m). Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno: 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 desencadenantes de las remociones en masa en un área determinada. Si estos factores desencadenantes pueden ser monitoreados, es posible generar sistemas de alerta. Por ejemplo, si el factor desencadenante 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 B—15 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>

FIGURA B—16 Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión



Fuente: Elaboración propia.

B.2.2.3 *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, et al., 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 desnudas 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.

B.2.2.4 Avance de dunas

Las dunas son acumulaciones de depósitos eólicos de granos tamaño arena, muy susceptibles a ser erosionados por algún agente externo. En Chile, son una forma dominante en las zonas cercanas a la costa, pudiendo encontrarse en lugares con climas y morfologías diversas. Su presencia se justifica por dos factores (Paskoff & Manríquez, 2004):

- Una gran disponibilidad de arena, de origen continental, acarreadas hasta las costas por los ríos.
- Vientos dominantes en dirección desde el oeste.

Un estudio realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales, de la CORFO en 1966, estimó la superficie de los principales campos de dunas en 131 mil hectáreas, sin incluir aquellas que tienen un uso agrícola o ganadero, y de ellas, 75 mil se encuentran activas o vivas.

La forma de las dunas depende de las direcciones del viento predominantes y de la cantidad de arena disponible para ser transportada (Leeder, 2011). Por otra parte, la vegetación y la humedad del suelo juegan un importante rol en la estabilización de las dunas. De esta forma, se diferencian los siguientes tipos de dunas:

- Barjanas: Dunas solitarias en forma de media luna, que se forman cuando el suministro de arena es limitado y la superficie donde se forman es relativamente plana, dura y carente de vegetación.
- Dunas transversas: Son comunes en la costa y en zonas áridas, y algunas veces se les llama mar de arena. Se asocian a un viento predominantemente unidireccional, abundancia de arena y vegetación dispersa o inexistente.
- Barjanoides: Es una forma intermedia entre las dunas transversas y los barjanas, que tienen una forma similar a una serie de barjanas superpuestos.

- Dunas longitudinales: Son acumulaciones de arena alargada en dirección más o menos paralela al viento predominante, que se asocian a condiciones en que la arena es escasa. Algunas veces, estas dunas coalescen, formando una unión en forma de Y.
- Dunas en estrella o pirámide: Estos tipos de duna se forman cuando la dirección del viento es variable, y tienen formas complejas, de montículos con 4 o más brazos.
- Dunas parabólicas con vegetación: Estas dunas se forman donde la vegetación cubre parcialmente la tierra. Tienen una forma parecida a los barjanes, salvo porque sus extremos apuntan en dirección contraria al viento. Se suelen formar a lo largo de costas con fuertes vientos que soplan hacia el interior y con abundante arena.

El principal peligro que se asocia al avance de las dunas es que cubran edificios y otras obras de infraestructura, como carreteras.

ANEXO C Tablas del catastro

C.1 Catastro evento hidrometeorológicos

En el CUADRO C-1 se presenta un catastro de los principales eventos hidrometeorológicos que han afectado a la provincia de Cauquenes, desde 1856 hasta 2018, obtenidos de diversas fuentes bibliográficas. Por otra parte en el CUADRO C-2 y el CUADRO C-3 se incluye, respectivamente, información de inundaciones y remociones en masa que han afectado a la Provincia de Cauquenes, que se obtuvo de la consulta a pobladores y personal municipal y de observaciones en terreno. En estos casos, se presentan las coordenadas del lugar afectado, la descripción del lugar registrado y las fuentes de información.

CUADRO C-1 Catastro de eventos hidrometeorológicos que han afectado a la Provincia de Cauquenes.

Evento	Fecha	Lugar	Descripción	Fuente
Temporal	10-03-1856	Norte Chico y Zona Central	Un fuerte temporal afectó a toda la zona del Norte Chico y el Valle Central. En Talca y en Ñuble se perdió parte de la cosecha de trigo. En Maule se malogró la cuarta parte de la cosecha.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Julio de 1877	Entre Atacama y Chiloé	A mediados de julio, se produjeron fuertes temporales que afectaron desde el desierto de Atacama hasta Chiloé. Próximo a la provincia de Cauquenes, los ríos Claro, Maule, Ancoa, Achibueno y Ñuble produjeron variados destrozos.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Agosto de 1895	Entre Curicó y Temuco	En los primeros días de agosto un temporal dejó daños de consideración en puentes, caminos, vías del ferrocarril, viviendas y terrenos de cultivo, tanto a consecuencia de las lluvias y viento, como de las crecidas de los ríos.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Junio de 1899	Entre Vallenar y Osorno	Un temporal a mediados de junio produjo daños en gran parte del país.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Agosto de 1899	Entre la Región del Maule y Concepción	Un temporal acompañado por nevadas produjo diversos tipos de daños, especialmente a la vía del ferrocarril.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Julio de 1900	Entre Valparaíso y Valdivia	Distintos temporales ocasionaron por lo menos dos muertos, cientos de damnificados, viviendas destruidas y ríos, esteros y quebradas desbordados. En la Región del Maule se interrumpió la línea del tren por desborde del río Maule. Talca y Chillán fueron fuertemente afectados.	Urrutia y Lanza (1993)
Inundación	27-05-1904	Entre Santiago y Concepción	Entre Concepción y Santiago, el paso de los ríos quedaron obstruidos y los senderos intransitables. Los temporales costaron la vida de 120 personas que murieron ahogadas, se perdieron aproximadamente 20.000 cabezas de ganado y se inundaron graneros.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	01-05-1911	Entre Talca y Temuco	Un temporal a mediados de mayo dejó como daños el corte de 12 puentes, la interrupción del tráfico ferroviario y las comunicaciones telegráficas y el desborde de algunos ríos.	Urrutia y Lanza (1993)

Evento	Fecha	Lugar	Descripción	Fuente
Temporal	1912	Entre Antofagasta y Valdivia	Un temporal afectó a gran parte del país. Próximo a la comuna, produjo del desborde del río Maule.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	06-05-1919	Entre Valparaiso y Valdivia	Un fuerte temporal de lluvias con vientos huracanados azotó la zona central del país entre el 6 y 7 de mayo de 1919. En los sectores aledaños a Talca, los daños en los fundos, chacras y viñas se calcularon en 3 millones de pesos. En Concepción las calles quedaron a oscuras debido a la violencia del huracán.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	05-05-1921	Entre Illapel y Ancud	Entre el 5 y 10 de mayo, un fuerte temporal se extendió entre Illapel y Ancud.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	09-08-1929	Entre Antofagasta y Puerto Montt	Entre el 9 y 10 de agosto, un fuerte temporal azotó el territorio chileno. La mayoría de las ciudades sufrió anegamientos en os sectores bajos y caída de árboles y postes derribados por el viento.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	12-06-1930	Entre Valparaiso y Los Angeles	Entre el 12 y 13 de junio, un fuerte temporal afectó la zona central.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	17-05-1934	Entre Copiapó y Magallanes	Sucesivos frentes de mal tiempo entre el 17 de mayo y el 4 de junio azotaron desde Copiapó hasta Magallanes.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Julio de 1936	Entre Antofagasta y Concepción	Un temporal afectó a una extensa zona del país, dejando cuantiosas pérdidas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Mayo de 1940	Entre Concepción y Los Angeles	Un temporal que duró un mes y medio (entre mayo y junio) provocó inundaciones como consecuencia del desborde de ríos y esteros.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Agosto de 1941	Entre Andacollo y Osorno	Un frente ocurrido entre los días 8 y 15 de agosto ocasionó daños de todo tipo en la zona central: desbordes de tranques, canales y ríos, derrumbes de cerros, inundaciones. Hubo un centenar de muertos y las pérdidas se calcularon en varios millones de pesos.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	06-08-1944	Entre Valparaiso y Temuco	Un temporal de viento, lluvia y nieve se desencadenó en la zona centro y sur, entre el 6 y 9 de agosto.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	29-05-1945	Chillán, Concepción, Mulchén y Puerto Varas	Un frente produjo inundaciones, dejando pérdidas por varios millones de pesos.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	05-05-1948	Zona Norte y Sur de Chile	Un gigantesco ciclón barrió Chile de norte a sur, durante el día 5 de mayo. Este evento dejó pérdidas del orden de 60 millones de pesos.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	19-05-1949	Entre Santiago y Aisén	Un largo temporal de viento y lluvia azotó al país entre Aconcagua y la Antártida, desde el 19 de mayo, prolongándose por 102 días entre Concepción y Aysén, con un total de 12 muertos y pérdidas estimadas en más de 100 millones de pesos, con la destrucción de puentes y caminos, poblaciones inundadas, desbordes de ríos y lagos, decenas de ciudades y pueblos aislados y cientos de damnificados.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Junio de 1950	Entre Concepción y Puerto Montt	En el mes de junio, intensas lluvias causaron grandes daños entre Concepción y Puerto Montt	Urrutia y Lanza (1993)

Evento	Fecha	Lugar	Descripción	Fuente
Temporal	Junio de 1951	Entre Valparaíso y Valdivia	Frente de mal tiempo que dejó una estela de daños materiales, muertos y diversas calamidades	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Mayo de 1952	Zona Centro y Sur de Chile	Una lluvia de 5 días de duración azotó desde Los Vilos al sur. Cerca de Talca un tren saltó de la vía férrea y, por otro lado, Constitución quedó aislada.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	24-05-1953	Zona Centro de Chile	Un temporal con vientos huracanados afectó al país durante 3 días. Se estimaron daños de 4 mil millones de pesos.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Junio de 1961	Entre Valparaíso y Ancud	Temporal que duró más de 70 horas, acompañado de una tromba marina en Concepción. Tuvo daños por sobre los 100 millones de escudos en infraestructura y familias damnificadas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	23-06-1962	Zona Central de Chile	Este temporal, que tuvo una duración de 72 horas, tuvo como consecuencia 6 muertos, varios heridos, viviendas derrumbadas, naufragios y centenares de casas inundadas. Afectó principalmente entre Valparaíso y Linares.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Agosto de 1965	Entre Atacama y Aisén	Diversos frentes de mal tiempo afectaron el país, lo que generó daños en viviendas, obras públicas, agricultura, electrificación y bosques.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	06-06-1969	Entre Los Vilos y Puerto Montt	Un frente de mal tiempo de 3 días ocasionó inundaciones en Santiago, Valparaíso y Linares, resultando miles de familias damnificadas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	03-05-1970	Pelluhue, Provincia de Cauquenes	Temporal provoca el cierre del puerto de Pelluhue.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Julio de 1970	Entre Iliapel y Puerto Montt	Un frente de mal tiempo de 3 días dejó cuantiosas pérdidas materiales, cientos de damnificados y dos personas fallecidas.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	17-05-1971	Cauquenes	Casas y calles inundadas. Techos dañados y camino de acceso a la ciudad cortado.	El Mercurio Desinventar.org
Lluvias	01-07-1971	Cauquenes Chanco Pelluhue	Lluvias destruyen caminos, lo que prácticamente paraliza la producción, transporte y entrega agrícola y maderera en Cauquenes, Chanco y Pelluhue.	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	30-05-1972	Chanco, Provincia de Cauquenes	Temporal deja cuantiosas pérdidas en el sector agrícola.	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	05-06-1972	Norte Chico hasta Puerto Montt	Decenas de damnificados en esta zona del país.	El Mercurio Desinventar.org
Inundación	13-08-1972	Cauquenes	No se encuentra descripción disponible	El Mercurio Desinventar.org
Inundación	16-09-1972	Cauquenes	No se encuentra descripción disponible	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	25-06-1974	Zona Central de Chile	El río Cauquenes se desborda en diferentes sectores. Se suspendieron las clases por 3 días y se declaró zona de catástrofe.	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	09-07-1975	Chanco, Provincia de Cauquenes	El agua caída en el temporal provocó daños en distintas viviendas, las cuales debieron ser demolidas.	El Mercurio Desinventar.org

Evento	Fecha	Lugar	Descripción	Fuente
Temporal	Mayo de 1976	Norte Chico hasta Aisén	Fuerte temporal de viento, lluvia y nieve, entre el 26 y 30 de mayo. Se registran daños entre Antofagasta y Valdivia.	Urrutia y Lanza (1993)
Inundación	28-09-1976	Cauquenes	No se encuentra descripción disponible	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	Julio de-1977	Entre La Serena y Puerto Montt	Dos frentes de mal tiempo, uno entre el 2 y 5 de julio y otro entre el 20 y 22 del mismo mes, ocasionan daños en el Norte Chico y en la zona central.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	12-07-1978	Zona Central y Sur	En Cauquenes, la caída de árboles producto del temporal genera la interrupción de caminos. Se produce corte de energía eléctrica en la localidad de Sauzal. Pelluhue queda sin agua potable, por destrucción de planta y sin energía eléctrica.	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	20-02-1980	Entre Calama y Puyehue	Entre el 20 y 23 de febrero, intensas lluvias con tempestad eléctrica causan destrozos en varias zonas del país	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	Abril de 1980	Entre Copiapó y Arauco	Sistema frontal deja miles de damnificados a lo largo del país.	Urrutia y Lanza (1993)
Inundación	30-06-1980	Cauquenes	No se encuentra descripción disponible.	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	Mayo de 1981	Entre Región de Valparaíso y Región de Los Lagos	Dos frentes de mal tiempo dejan muertos, heridos y graves daños en las carreteras, puentes, viviendas, puertos y servicios de utilidad pública entre el Norte Chico y el extremo austral.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	25-06-1982	Entre Región de Coquimbo y Región del Maule	Sistema frontal deja 18 muertos, 802 heridos y casi 20 mil personas damnificadas en todo el país. En la Región del Maule los desbordes de los ríos y canales dejaron localidades aisladas y puentes cortados.	Urrutia y Lanza (1993)
Inundación	27-06-1982	Chanco, Provincia de Cauquenes	Fenómeno del niño provoca intensas lluvias que cortan el camino a Constitución.	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	Julio de 1982	Entre La Serena y Valdivia	Sistema frontal afecta principalmente las zonas rurales del país.	Urrutia & Lanza (1993)
Temporal	06-07-1983	Entre Quintero y Concepción	En Cauquenes hubo personas damnificadas por voladuras de techos; anegamiento de casas y calles; y cortes de línea telefónica.	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	Julio 1984	Entre Región de Atacama y Región de Los Lagos	Graves daños a lo largo del país: 70 personas fallecidas, cerca de 141 mil damnificados, 70 heridos, decenas de miles de viviendas dañadas, localidades aisladas por desbordes de ríos, caminos cortados y puentes destruidos.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	24-05-1986	Entre Región de Coquimbo y Región del Bío Bío	Diversos daños en la población: 9 muertos, heridos y miles de damnificados. Valparaíso y San Antonio fueron los lugares más perjudicados.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	14-06-1986	Entre Región de Valparaíso y Región del Bío Bío	Temporal que dejó 15 muertos y miles de damnificados. Fueron declaradas "zona de catástrofe" 18 comunas de la Región Metropolitana y todas las comunas de las Regiones VI y VII.	El Mercurio Desinventar.org

Evento	Fecha	Lugar	Descripción	Fuente
Temporal	Julio de 1987	Entre Región de Antofagasta y Región de Los Lagos	Dos frentes de mal tiempo azotan a gran parte del país, dejando casi 120 mil damnificados. Otro frente de similares características se produjo en el mes de agosto del mismo año.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	28-03-1990	Zona Central y Sur de Chile	En Cauquenes, hubo daños en cosechas de uvas (40%) producto de las viñas anegadas.	El Mercurio Desinventar.org
Inundación	26-05-1991	Entre Santiago y la Región del Bío Bío	El temporal provocó la crecida de la mayoría de los ríos de la VII y VIII regiones. En Cauquenes resultaron numerosas viviendas anegadas y varias familias damnificadas.	El Mercurio Desinventar.org Urrutia & Lanza (1993)
Temporal	Mayo de 1992	Entre Arica y Puerto Montt	Cortes de camino y daños estructurales en numerosos puntos del país.	Urrutia y Lanza (1993)
Temporal	09-06-1999	Cauquenes	Once familias damnificadas por intensas lluvias.	El Mercurio Desinventar.org
Inundación	30-06-2000	Cauquenes	La crecida del río Pelluhue, debido a intensas lluvias inundó el gimnasio municipal.	El Mercurio Desinventar.org
Temporal	02-06-2002	Entre Región de Atacama y Región de Los Lagos	Un temporal de 3 días generó anegamientos de viviendas, calles y pasos bajo nivel, desprendimientos de techumbres, caminos cortados e inhabilitados, puentes colapsados, sectores aislados e interrupción de energía eléctrica y servicio telefónico. Diecisiete personas perdieron la vida como consecuencia directa e indirecta de las lluvias.	repositoriodigitalonemi.cl
Temporal	Agosto de 2004	Entre Región de Coquimbo y Región del Bío-Bío	Temporal azota la zona central del país. La ciudad más afectada fue Constitución. Las mayores precipitaciones cayeron en Andacollo, Valparaíso y Cauquenes.	El Mercurio
Inundación	Junio de 2005	Entre Región Metropolitana y Región de los Lagos	Temporal deja 6 casas destruidas en Constitución y Cauquenes. 240 damnificados en total. En la Séptima Región hubo viviendas inundadas en distintas comunas, por desborde de canales.	cooperativa.cl
Temporal	10-07-2006	Zona Central de Chile	Intensas precipitaciones provocaron un socavón en Cauquenes.	El Mercurio
Lluvias	Diciembre de 2007	Cauquenes	Tormenta eléctrica colapsó los sistemas de alcantarillados en varios lugares produciendo incluso la inundación de algunas viviendas.	cauquenesnet.cl
Inundación	Mayo de 2008	Provincia Cauquenes	Hubo 30 mil personas afectadas por frente de mal tiempo en la provincia, el cual provocó inundaciones, colapsos de alcantarillados, cortes de calles, caminos y puentes, cortes de energía eléctrica y anegamientos.	cauquenesnet.cl emol.com
Temporal	28-06-2009	Provincia Cauquenes	La provincia no tuvo mayores dificultades ante este temporal. Cayeron 40,9 mm de lluvia en 48 horas.	cauquenesnet.cl
Temporal	Junio de 2010	Provincia Cauquenes	Fuertes lluvias y ráfagas de viento de unos 40 kilómetros por hora provocaron anegamientos y algunos problemas en viviendas.	cauquenesnet.cl
Temporal	26-05-2012	Provincia Cauquenes	Lluvias y fuertes vientos provocaron anegamientos, voladuras de techo, caídas de árboles y cortes de energía en la provincia.	cauquenesnet.cl

Evento	Fecha	Lugar	Descripción	Fuente
Temporal	Mayo de 2013	Provincia Cauquenes	Temporal causó daños menores, como un desprendimiento de roca hacia la calzada de la ruta Los Conquistadores, sector El Durazno.	cauquenesnet.cl
Temporal	Mayo de 2014	Provincia Cauquenes	Temporal causa voladuras de techos, anegamientos e inundaciones, además de otros daños como cortes de energía eléctrica y caída de árboles.	cauquenesnet.cl
Temporal	Agosto de 2014	Provincia Cauquenes	Temporal provocó desizamiento de terreno, camino a la costa, inhabilitando una de las pistas de la ruta. Esto complicó el tránsito hacia Chanco y Pelluhue	cauquenesnet.cl
Temporal	Julio de 2015	Provincia Cauquenes	El temporal causó caída de árboles e inundaciones en diversos sectores.	cauquenesnet.cl
Temporal	Agosto de 2015	Provincia Cauquenes	Temporal provocó cortes de caminos y cortes de energía eléctrica. Los daños a propiedades y personas fueron prácticamente nulos. Además, hubo marejadas en las costas de Curanipe, Pelluhue y Chanco. El río Curanilahue se desbordó e inundó 800 casas.	cauquenesnet.cl eldesconcierto.cl
Inundación	Junio de 2017	Provincia Cauquenes	Temporal provocó anegamientos de caminos que conectan a la capital provincia con sectores rurales y comunas aledañas. Además, hubo cortes de energía eléctrica en sectores rurales y marejadas en el sector costero. Se decreta Alerta Amarilla Regional.	cauquenesnet.cl
Temporal	28-05-2018	Provincia Cauquenes	Temporal de lluvias y viento provoca cortes de energía eléctrica en sectores rurales de la provincia.	cauquenesnet.cl

CUADRO C-2 Catastro de inundaciones y flujos sin información temporal

Ubicación	Coordenadas		Descripción	Fuente
	Este	Norte		
Cauquenes	742.305	6.016.679	Las inundaciones han llegado hasta la intersección de Carrera con Maipú, es lo más alto que han llegado las inundaciones. En el sector del bypass se corta la calle. Elevación 148 m.	Encargado de emergencia comunal; observado en terreno
Cauquenes	742.919	6.014.968	Hace unos 2 o 3 años se inundó todo este lado (lado sur) del río Cauquenes.	Encargado de emergencia comunal
Cauquenes	735.520	6.024.481	El Embalse Tutuvén tiene una capacidad de 22 millones de m ³ , que cuando alcanza el superávit se vacía a 3000 m ³ /s. Esto ha producido inundaciones en el sector norte de Cauquenes. Son recurrentes las inundaciones por este motivo en población Los Acacios (E: 793.799; N: 6.018.360) y sector de Petrobras y Copec (E: 742.351; N: 6.016.748). También han ocurrido inundaciones por este motivo en calles Villalobos y La vega (E: 742.474; N: 6.016.939).	Encargado de emergencia comunal
Cauquenes	743.254	6.014.847	Vecinos comentaron que hace 2-3 años se inundó el sector. La terraza se encuentra a 2 m sobre el nivel del río.	Conversación con vecinos, observaciones de terreno
Cauquenes	742.507	6.017.526	Según comentarios de vecinos; el agua ha llegado hasta unos 200 m al sur del río Tutuvén.	Conversación con vecinos, observaciones de terreno
Quella	761.354	6.006.027	Zona muy plana, no hay obras y no se ve que cruce el cauce por el camino	Observación de terreno
Quella	762.599	6.006.068	Hay obras y está seco. Quebrada no encajonada de unos 50-100 m de ancho	Observación de terreno
Quella	762.417	6.005.500	Quebrada de menos de 1 m de incisión y está muy seca.	Observación de terreno
Comuna de Cauquenes			Según el encargado de emergencias comunal, en general, "las caídas de agua cortan caminos, pero no es tan importante".	Encargado de emergencia comunal
Curanipe			Esterio el Parrón nunca se ha rebalsado en la Villa las Dumas.	Conversación con vecino
Curanipe	714.137	6.030.688	El río Curanipe se desborda cada más de 4 años en villa Lourdes.	Encargado de emergencia comunal
Curanipe	717.549	6.033.586	El camino se corta todos los años en el Puento Paiva por "agua y deslizamientos". Se observó una quebrada de incisión muy profunda y pendientes muy altas, sin agua.	Encargado de emergencia comunal, observaciones de terreno
Curanipe	713.558	6.030.201	Quebrada con poca agua de unos de 2 m de ancho pero muy profunda. Vecino dice que el agua baja por el camino y se anega la zona que esta al sur de la quebrada.	Conversación con vecino
Curanipe	712.866	6.029.835	Pequeña quebrada al lado del camino, podría producir flujos, pero muy pequeños..	Observación de terreno
Pelluhue	719.681	6.034.786	Anegamiento todos los años frente al estadio.	Encargado de emergencia comunal
Pelluhue	719.753	6.034.763	El río Curanilahue se abre hacia las vegas ubicadas al norte. en el sector del cruce de la ruta M-80-N. Más abajo, el río también se abre (E: 719.759; N: 6.035.286).	Encargado de emergencia comunal
Pelluhue	719.737	6.035.077	Anegamiento en ruta M-80-N por falta de colector entre Tiempo Nuevo y Caleta Blanca, en el río Curanilahue. El agua baja desde el norte, anegando la calle.	Encargado de emergencia comunal

Ubicación	Coordenadas		Descripción	Fuente
	Este	Norte		
Pelluhue	719.491	6.034.207	Anegamiento de las vegas todos los años. Anegamiento de casas atrás del servicentro.	Encargado de emergencia comunal
Pelluhue	719.364	6.033.689	Inundaciones afectan la Población Don Emiliano cada 2-4 años.	Encargado de emergencia comunal
Pelluhue	719.855	6.035.636	El agua baja por esta calle y se anega la calzada. Este año se trabajará en poner colectores.	Encargado de emergencia comunal
Pelluhue	715.868	6.032.702	Pequeña quebrada amplia que forma un bajo topográfico que se podría anegar.	Observación de terreno
Pelluhue	715.343	6.032.385	Pequeña quebrada muy encajonada que nace muy cerca del camino. Tiene un canal profundo de unos 3 m con abundante vegetación y sin agua. Poco probable que se genere un flujo. Podría haber deslizamientos por la alta pendiente.	Observación de terreno.
Tregualemu	702.967	6.017.128	Ocurren deslizamientos y aluviones todos los años durante precipitaciones, en sector Tregualemu. Los pobladores indicaron derrumbes usuales en este sector durante la participación ciudadana.	Encargado de emergencia comunal, participación ciudadana
Puente Los Molinos, Comuna de Peyuhue	708.860	6.023.276	Con anterioridad al terremoto (2010), el agua solía sobrepasar el puente e inundar vegas cultivadas. Esto porque las obras "eran como un cajón" que acumulaba agua.	Pobladora (no individualizada)
Chanco	723.887	6.043.658	Se inunda calle Santa Rosa desde Loma Parada hasta Batuco (se corta ese camino). Hay dos acequias que pasan por los costados del camino.	Observación de terreno
Chanco	723.298	6.042.411	Río Matadero, o Los Pasos se suele rebalsar.	Participación ciudadana
Chanco	723.120	6.042.296	En esquina San Ambrosio con Germán Riesco (Shell), se producen inundaciones provenientes del río Los Pasos. En ese entonces no existía la calle Santiago Buenas. Toda la parte baja de Chanco se puede inundar.	Participación ciudadana.
Chanco	723.062	6.042.393	El estero de Chanco venía entubado desde la población San Martín, y se desbordó, dividiendo la población en dos. Existe desacuerdo entre los participantes, por lo que se considera este dato como impreciso.	Participación ciudadana
Chanco	723.134	6.042.468	Marca el punto hasta donde ha llegado el agua del estero Chanco, aproximadamente en el cruce de la ruta M-50 y la calle Santiago Arenas.	Participación ciudadana
Chanco	723.341	6.042.527	El agua ha subido hasta el nivel del puente cuando llueve mucho y hace años atrás se lo llevó. Río abajo se sale el estero. Antes el estero pasaba unos 50m más abajo y la casa que está en ese lugar se inunda.	Conversación con vecino
Chanco	723.261	6.042.537	Esta zona se inunda	Conversación con vecino
Chanco	723.013	6.042.512	Durante invierno se rebalsa el río Chanco, debido a crecida, desemboca agua desde la carretera de Constitución y se inunda. Sector abajo del matadero, y parte baja de Abdón Fuentealba.	Participación ciudadana
Chanco	723.268	6.042.952	Se produce embancamiento de agua en la calle San Ambrosio, el agua fluye paralela al camino.	Participación ciudadana.

CUADRO C-3 Catastro de remociones en masa sin información temporal

Ubicación	Coordenadas		Descripción	Fuente
	Este	Norte		
Cerro Name	751.922	6.043.580	La ladera sur del cerro Name sufrió un incendio que dejó el suelo inestable, susceptible a deslizamientos.	Encargado de emergencia comunal
Puente La Compuerta, comuna de Cauquenes	736.554	6.024.541	Deslizamiento de tierra en puente La Compuerta. Se produjo un socavón producto de las lluvias, habían caído 212 mm de agua. El puente se encuentra camino a la costa (M-50) a 100 m del estanque.	Encargado de emergencia comunal
Ruta M-50, comuna de Cauquenes	723.312	6.032.571	Desmoronamiento (derrumbe) y caída de rocas en sector el corte, por lluvia y por sismos. Ruta M-50.	Encargado de emergencia comunal
Curanipe	714.527	6.031.493	Deslizamientos a este lado de la quebrada.	Observación de terreno
Curanipe	714.664	6.031.418	Deslizamientos en laderas de quebrada.	Observación de terreno
Curanipe	714.548	6.031.544	Quebrada canalizada de 1 m de ancho y 2m de profundidad. En la ladera sur se ven árboles caídos por deslizamientos	Observación de terreno
Curanipe	713.075	6.030.078	Ocurren deslizamientos en población Las Dunas cada 2-4 años. Después del 2010.	Encargado de emergencia comunal
Curanipe	708.937	6.023.634	Amplia quebrada con evidencias de remociones en masa a los pies del cerro.	Observación de terreno
Pelluhue	715.810	6.032.610	Condiciones para la generación de deslizamientos	Observación de terreno
Pelluhue	722.237	6.034.146	Rodados sobre ruta M-810 todos los años. Sector Las Conejas. Pobladores indican durante participación que hay derrumbes entre Las Conejas y El Molino.	Encargado de emergencia comunal
Pelluhue	723.457	6.032.622	En el sector "El Corte" se corta la ruta M 80 N (tramo de 2 km) todos los años debido a intervención. Ocurren remociones en masa desde la ladera (rodados caídas de roca y deslizamientos que incluyen vegetación).	Encargado de emergencia comunal
Pelluhue			Entre Nueva Esperanza y Lo Verbán siempre han ocurrido derrumbes. Pobladores piensan que con la nueva carretera habrá más.	Participación ciudadana
Chanco	723.649	6.043.359	Hay una casa al borde de la quebrada la ladera norte que esta sin vegetación, donde se observan pequeños escarpes. y abundante material suelto.	Observación de terreno
Chanco	724.641	6.042.284	Se observan pequeños deslizamientos alrededor del camino.	Observación de terreno

C.2 Maremotos históricos

El CUADRO C-4 contiene un catastro de los sismos históricos más significativos que han afectado a la provincia desde el año 1562 hasta el 2019, en base a información bibliográfica indicadas en la columna Referencias.

CUADRO C-4 Maremotos históricos que han afectado la zona costera de la provincia de Cauquenes.

Año	Fecha	Hora	Coord. Epicentro	Magnitud Sismo (Richter)	Descripción del evento	Referencias
1562	28-Oct		38,0°S / 73,5 °W	8	Un tsunami, que siguió al terremoto registrado en Arauco y La Concepción, afectó la costa por una distancia de 1200 kilómetros y causó numerosas víctimas entre los aborígenes. Sin embargo, el investigador Tomás Thayer Ojeda, en 1913 da a conocer antecedentes que desmienten que este sismo hubiera ocurrido en Chile, por lo que su ocurrencia es incierta.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1570	08-Feb	09:00	36,8°S / 73°W	8,3 (Ms)	El océano en La Concepción retrocedió alrededor de diez kilómetros, luego de un fuerte sismo, para posteriormente inundar completamente la ciudad, dejando algunas embarcaciones encalladas y terminando de destruir lo poco que se había salvado del terremoto. Aunque la mayor parte de los habitantes se las arreglaron para salvarse desplazándose a terrenos altos, hubo alrededor de 2.000 víctimas.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1575	16-Dic	14:30	39°S / 73,2°W	8,5 (Ms)	Este terremoto desencadenó un maremoto que afectó la costa chilena, documentado en Tolón y Valdivia. Además, la onda sísmica se extendió a gran parte del litoral, hundiendo una nave que se encontraba en la desembocadura del río Maule.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1657	15-Mar	19:30	36,83°S / 73,03W	8 (Ms)	Dos horas después de este terremoto, sentido entre Cautín y Quillota, un maremoto dejó a Concepción en ruinas, muriendo numerosas personas.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1730	08-Jul	4:45	33,05°S / 71,63°W	8,7 (Ms)	Un fuerte terremoto conmovió a la población entre La Serena y Valdivia. En La Concepción el mar retrocedió una gran distancia, para posteriormente devolverse con gran velocidad. Hubo tres flujos principales del tsunami, siendo el segundo el de mayor impacto. Dos tercios de la ciudad fueron destruidos, incluyendo más de 200 casas y edificaciones localizadas en la parte más baja de la ciudad aledaña a la playa. Sin embargo, solamente perecieron dos o tres personas, ya que al ver el retro inicial del mar, los habitantes huyeron a los cerros. Este tsunami también causó daños en Honshu, Japón.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl

Año	Fecha	Hora	Coord. Epicentro	Magnitud Sismo (Richter)	Descripción del evento	Referencias
1751	25-May	01:00	36,83°S / 73,03°W	8,5 (Ms)	Un terremoto se produjo con mayor incidencia en Concepción, que fue afectada por un gran maremoto que destruyó la ciudad. El tsunami arribó a La Concepción alrededor de media hora después del terremoto, con un retiro inicial del mar seguido por tres grandes ondas de tsunami. Las oscilaciones del mar continuaron con menores amplitudes hasta por lo menos el mediodía. El tsunami fue el más grande experimentado en la ciudad y al poco tiempo se planteó su traslado tierra adentro hasta su ubicación actual.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1835	20-Feb	11:30	36,83°S / 73,03°W	8,5 (Ms)	Este movimiento telúrico se sintió desde Copiapó hasta Chiloé. La zona de Concepción fue afectada por un maremoto con olas de sobre 13 m. Hubo 50 muertos y 30 desaparecidos en la ciudad de Concepción, pero también hubo víctimas en Talcahuano, Chillán, Constitución, Cauquenes y Talca. El tsunami comenzó con una gran retirada del mar que, media hora después de ocurrido el terremoto, dejó casi seca la bahía de Talcahuano dejando varadas a numerosas embarcaciones. La primera onda llegó en la bahía a alturas de 9 metros sobre el nivel de la marea alta, seguidas en un corto lapso por dos ondas más de alturas superiores. Las casas ubicadas en isla Quiriquina a alturas de 13 metros sobre el nivel del mar fueron destruidas por el tsunami que inundó completamente a Talcahuano y también a las instalaciones portuarias ubicadas en Juan Fernández.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1837	07-Nov	08:00	39,8°S / 73,2°W	8 (Ms)	De acuerdo a las crónicas, este terremoto no produjo un maremoto con grandes efectos en Chile, que se propagó por el océano Pacífico, siendo registrado en Samoa, Archipiélago Tuamotu, islas Tonga, Hilo, Hawái, donde murieron alrededor de 50 personas y en Honshu, Japon.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1928	01-Dic	00:06	35°S / 72°W	8,3 (Ms)	Este terremoto, conocido como el "Terremoto de Talca" inundaciones inusuales a lo largo de la costa de Chile central. En Constitución el agua se elevó 1,5 metros sobre el nivel de la alta marea.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1949	19-Abr	23:29	38°S / 73,5°W	7,3 (Ms)	Este terremoto produjo un maremoto que afectó a la ciudad de Lebu, donde parte de la ciudad hasta la plaza de armas. La resaca siguiente fue brusca y rápida, arrastrando numerosos objetos al mar.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl

Año	Fecha	Hora	Coord. Epicentro	Magnitud Sismo (Richter)	Descripción del evento	Referencias
1960	22-May	15:11	39,5°S / 74,5°W	9,5 (Mw)	El "Terremoto de Valdivia" en Curanipe se sintió suave y largamente, el maremoto asociado afectó al sector del Mariscadero en Pelluhue. En Curanipe el mar entró por el río Curanipe hasta llegar al puente y sucedió similar en el río El Parrón al extremo sur del pueblo. El maremoto se propagó por toda la cuenca del océano Pacífico causando daños y víctimas en Hawaii, Oceanía y Japón.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
1985	03-Mar	19:46	33,24°S / 71,85°W	8 (Mw)	Este terremoto produjo un pequeño maremoto que no produjo daños, pero fue registrado a lo largo de la costa de Chile.	SHOA; Urrutia y Lanza (1993); Simologia.cl
2010	27-Feb	03:34	36,29°S / 73,24°W	8,8 (Mw)	<p>En el sector de Pelluhue fallecieron 48 personas. En cuanto a infraestructura, el daño fue principalmente en segundas residencias. La caleta de pescadores también se vio fuertemente afectada y el edificio de bomberos y dos establecimientos educacionales fueron inundados por el maremoto. El Puente el Durazno sufrió daños leves al igual que el Puente Mariscadero. Los escombros arrastrados por la ola del maremoto fueron depositados en gran cantidad en un sector más bajo que se encuentra al este del área urbana y es parte de la llanura de inundación del río Curanilahue. Mientras que en Loanco la caleta se vio fuertemente afectada por el tsunami.</p> <p>En el sector de Curanipe, fallecieron 6 personas. La caleta de pescadores fue destruida casi en su totalidad, el centro de salud y la multicancha fueron fuertemente afectados. La Municipalidad sufrió gran cantidad de daños y se registraron profundidades de agua de hasta 50 centímetros en el edificio. Los puentes El Parrón y Curanipe resultaron dañados.</p>	PUC (2010)

C.3 Sismos de gran magnitud

El CUADRO C-5 contiene un catastro de los sismos históricos más significativos que han afectado a la provincia desde el año 1562 hasta el 2019, en base a información bibliográfica indicadas en la columna Referencias.

CUADRO C-5 Terremotos que han afectado los alrededores del área de estudio.

Año	Fecha	Hora	Coord. Epicentro	Magnitud Sismo (Richter)	Descripción del evento	Referencias
1562	28-Oct		38,0°S / 73,5°W	8 (Ms)	Se informa que un fuerte terremoto ocurrió en Arauco y Concepción al atardecer. Muchas casas fueron destruidas y el terremoto provocó cambios topográficos tales como la desaparición de algunos cerros y lagunas y la aparición de otros. Posterior al terremoto, un tsunami dejó numerosas víctimas. Sin embargo, el investigador Tomás Thayer Ojeda, en 1913 da a conocer antecedentes que desmienten que este sismo hubiera ocurrido en Chile, por lo que su ocurrencia y epicentro es incierta.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1570	08-Feb	09:00	36,8°S / 73,0°W	8,3 (Ms)	Un fuerte sismo afectó la costa de Chile entre las latitudes 36 y 38° S. En La Concepción, ubicada entonces donde hoy está Penco, colapsaron la mayoría de las estructuras. En Santiago también se registraron daños por el terremoto. De acuerdo a varias fuentes, La Concepción fue afectada por un tsunami posterior al terremoto.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1575	16-Dic	14:30	39,0°S / 73,2°W	8,5 (Ms)	El último terremoto del siglo causó los mayores destrozos en Valdivia, La Imperial, Villarrica, Osorno y Castro, los que fueron arrasados por el sismo. Un maremoto afectó, por lo menos, a Toltén y Valdivia. Tembló por lo menos 40 días.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1647	13-May	22:30	35,0°S / 72,0°W	8,5	El terremoto dejó la ciudad de Santiago prácticamente arruinada. Los efectos alcanzaron hasta los ríos Limarí y Choapa por el norte hasta Cauquenes y Maule por el sur.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1657	15-Mar	19:30	36,8°S / 73,0°W	8 (Ms)	Un fuerte movimiento sísmico, que se sintió entre Cautín y Quillota, impidió a los habitantes de Concepción mantenerse de pie e hizo sonar las campanas. Las casas, edificios e iglesias se cayeron con el movimiento. La Concepción fue afectada por un maremoto.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1730	08-Jul	4:45	33,0°S / 71,6°W	8,7 (Ms)	Un fuerte terremoto conmovió a la población entre La Serena y Valdivia. En Santiago y Concepción no era posible mantenerse en pie, este terremoto fue seguido por un gran maremoto que afectó alrededor de 1000 kilómetros de costa, desde Callao a Valdivia. En los campos, (por lo menos entre La Serena y Concepción), los graneros que no se derrumbaron quedaron con los techos hundidos o dañados, perdiéndose, por las lluvias posteriores, gran parte del trigo, del maíz, del sebo y del charqui.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl

Año	Fecha	Hora	Coord. Epicentro	Magnitud Sismo (Richter)	Descripción del evento	Referencias
1751	25-May	01:00	36,8°S / 73,0°W	8,5 (Ms)	Un terremoto se produjo con mayor incidencia en Concepción. Fueron tres remezones, cada uno más fuerte que el anterior, seguidos por un maremoto. En Talca, se partió la tierra en varias partes, de donde salió agua, formándose pequeñas lagunas. En Cauquenes, se derrumbaron los edificios de las órdenes religiosas. En las pequeñas villas del valle del Maule se cayeron las incipientes construcciones que habían sido levantadas. Un gran maremoto arribó a La Concepción, destruyendo la ciudad, por lo que luego se trasladó hacia su ubicación actual.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1835	20-Feb	11:30	36,8°S / 73,0°W	8,5 (Ms)	Un fuerte terremoto sacudió al país el 02 de febrero. El movimiento telúrico se sintió desde Copiapó hasta Chiloé. Concepción fue fuertemente afectado. Un maremoto, una hora después del sismo, destruyó ciudades costeras. Varios edificios ubicados entre Curicó por el norte y Los Angeles por el sur fueron destruidos. Hubo 50 muertos y 30 desaparecidos en la ciudad de Concepción, pero también hubo víctimas en Talcahuano, Chillán, Constitución, Cauquenes y Talca. Todas las ciudades al sur de Rancagua sufrieron daños.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1837	07-Nov	08:00	39,8°S / 73,2°W	8 (Ms)	De acuerdo a los escritos dejados por Claudio Gay, el terremoto de Valdivia afectó a las ciudades de Talca, Concepción, Valdivia y Osorno, y reporta un gran daño a los edificios fiscales. Este terremoto provocó un maremoto que afectó a gran parte del país.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1871	25-Mar				Un sismo afectó a Valparaiso, Santiago, Rancagua, Curicó, Talca y Curepto. En Curicó y Linares se abrieron algunas murallas.	Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1914	29-Ene	23:30	35,0°S / 73,0°W	8,2 (Ms)	La noche del 29 de enero, un temblor de extraordinaria magnitud se sintió en Talca y Curicó. Hubo por lo menos tres muertos, varios heridos y daños en las construcciones de ambas ciudades.	Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1928	01-Dic	00:06	35,0°S / 72,0°W	8,3 (Ms)	En la madrugada del 01 de diciembre, un terremoto sacudió la zona central de Chile, principalmente la zona entre Talca y Constitución. Este terremoto, conocido como el "Terremoto de Talca" dejó 300 muertos, centenares de heridos y daños económicos gigantes. El sismo se sintió entre Antofagasta y Puerto Montt. En Cauquenes se derrumbaron el teatro, la torre de la iglesia de San Francisco y un costado de la catedral. Además, el hospital, la escuela de hombres y muchas viviendas quedaron con considerables daños estructurales. Las pérdidas se estimaron en 4 millones de pesos.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl

Año	Fecha	Hora	Coord. Epicentro	Magnitud Sismo (Richter)	Descripción del evento	Referencias
1939	24-Ene	23:32	36,2°S / 72,2°W	8,3 (Ms)	En la noche del 24 de enero, un sismo catastrófico azotó a las provincias del Maule, Linares, Ñuble y Concepción. El terremoto afectó un área de 45 mil km ² . Las mayores cifras indican que hubo 30 mil muertos. En Cauquenes, el hotel Plaza, el Banco de Talca, el cabaret Shangai y el hospital quedaron en el suelo. Sin embargo, la ciudad más afectada fue Chillán. Sismo que sacudió a Chillán y a todas las ciudades colindantes, con una intensidad registrada de 7,8° en la Escala Richter. Ostenta el record de la mayor cantidad de muertos en un sismo en la historia de Chile, con alrededor de 30.000 víctimas fatales. A diferencia de los otros sismos nombrados, corresponde a un terremoto de intraplaca, asociado al quiebre de la placa de Nazca en profundidad. Además la crónica detalla que en Curanipe se derrumbaron todas las casas del lado sur de la calle Arturo Prat y hace referencia al fenómeno de licuefacción "No quedan dudas que a causa del terreno que ha sedimentado el Estero del Cementerio, el que debe tener serias deficiencias de solidez, se han producido esos desastres".	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1949	19-Abr	23:29	38°S / 73,5°W	7,3 (Ms)	Diez años después del Terremoto de Chillán, un terremoto de magnitud 7.2, destruye el 80% de la ciudad de Angol provocando un ambiente de pánico y confusión en la población. Tuvo una intensidad de IX en la escala de Mercalli Modificada. VIII en Concepción, Temuco y Los Ángeles y VII en Chillán, Valdivia y Talca.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1953	06-May	13:16	36,5°S / 72,6°W	7,6 (Ms)	Un terremoto afectó a Chillán y Concepción. Hubo 9 víctimas fatales en Chillán, Concepción y Talcahuano. Terremoto frente a las costas de Tomé, alcanzando una magnitud de 7,6 en la escala de Richter y provocando 12 muertes. La zona más afectada, fue la misma del terremoto de 1939, es decir, Concepción y Chillán. En Cauquenes se cayeron murallas de casas viejas. En Coronel la mayoría de los edificios resultaron con grietas en muros y techos y se cortó la luz y agua. En Bulnes el sismo provocó grietas en las murallas y destrozos totales o parciales en las techumbres. Dos heridos graves y 25 casas derrumbadas y semi destruidas, fue el balance en la localidad de Florida.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1960	22-May	15:11	39,5°S / 74,5°W	9,5 (Mw)	El 22 de mayo ocurre el evento más grande registrado en la historia de la sismología moderna, el "Terremoto de Valdivia", al que se le ha estimado una magnitud de momento (Mw) de 9.5, largo de ruptura estimado en cerca de 1000 kilómetros, (Madariaga, 1998). Este mega terremoto fue percibido casi en todo Chile, los daños comenzaban en Talca y terminaban en Chiloé. Este terremoto originó un maremoto de tales proporciones que asoló todos los puertos de esa zona produciendo enormes daños y alrededor de 1.000 víctimas.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1965	28-Mar	12:33	32,4°S / 71,1°W	7,4(Ms)	Terremoto de 7,6 grados en escala Richter que fue percibido desde Copiapó por el norte, hasta Osorno por el sur y el epicentro fue en la comuna de La Ligua.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl
1975	10-May	10:27	38,2°S / 73,2°W	7,7(Ms)	Sismo con epicentro en el mar, frente a Lebu, se percibe en 17 provincias. Cañete fue la localidad más afectada, con una intensidad grado 8 en la escala de Mercalli.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismologia.cl

Año	Fecha	Hora	Coord. Epicentro	Magnitud Sismo (Richter)	Descripción del evento	Referencias
1985	03-Mar	19:46	33,2°S / 71,9°W	8 (Mw)	Terremoto que fue percibido entre la región de Atacama y la Región de la Araucanía. Su epicentro fue a 20 km de la costa de Valparaíso y Algarrobo y su magnitud fue 7,7 grados en la escala Richter. Hubo cientos de muertos, miles de heridos y miles de viviendas dañadas.	SHOA, Urrutia y Lanza (1993), sismología.cl
2004	28-Ago	13:41	35,6°S / 70,5°W	6,4 (Mw)	Terremoto ocurrido en la zona cordillerana, al interior de Curicó, a una profundidad de 5 km.	Campos et al. (2005)
2010	27-Feb	03:34	36,3°S / 73,2°W	8,8 (Mw)	Este terremoto ocurrió el 27 de febrero a las 03:34 a.m. en la zona central de Chile, y tuvo una magnitud Mw 8.8. Se originó debido al desplazamiento súbito de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. El hipocentro, o lugar donde se inició la ruptura, tuvo una profundidad estimada de 30 km y el área de ruptura fue del orden de 450 km por 150 km, con un desplazamiento superior a 10 m. Este terremoto es el quinto terremoto de mayor magnitud registrado en la sismología moderna, y tanto el sismo pero, por sobre todo el tsunami posterior, dejaron más de 500 víctimas fatales en el país, 12.000 heridos y un total de 1,8 millón de personas afectadas, además de enormes daños en infraestructura. En la escala de Mercalli Modificada, el terremoto tuvo una intensidad VIII en la Región del Maule: En el período entre el 27 de febrero y el 26 de abril de 2010, el USGS localizó 304 réplicas de magnitud superior a 5, de las cuales 21 fueron de magnitud 6 o mayor.	Barrientos (2010)

ANEXO D Mapas de las áreas de estudio de las localidades

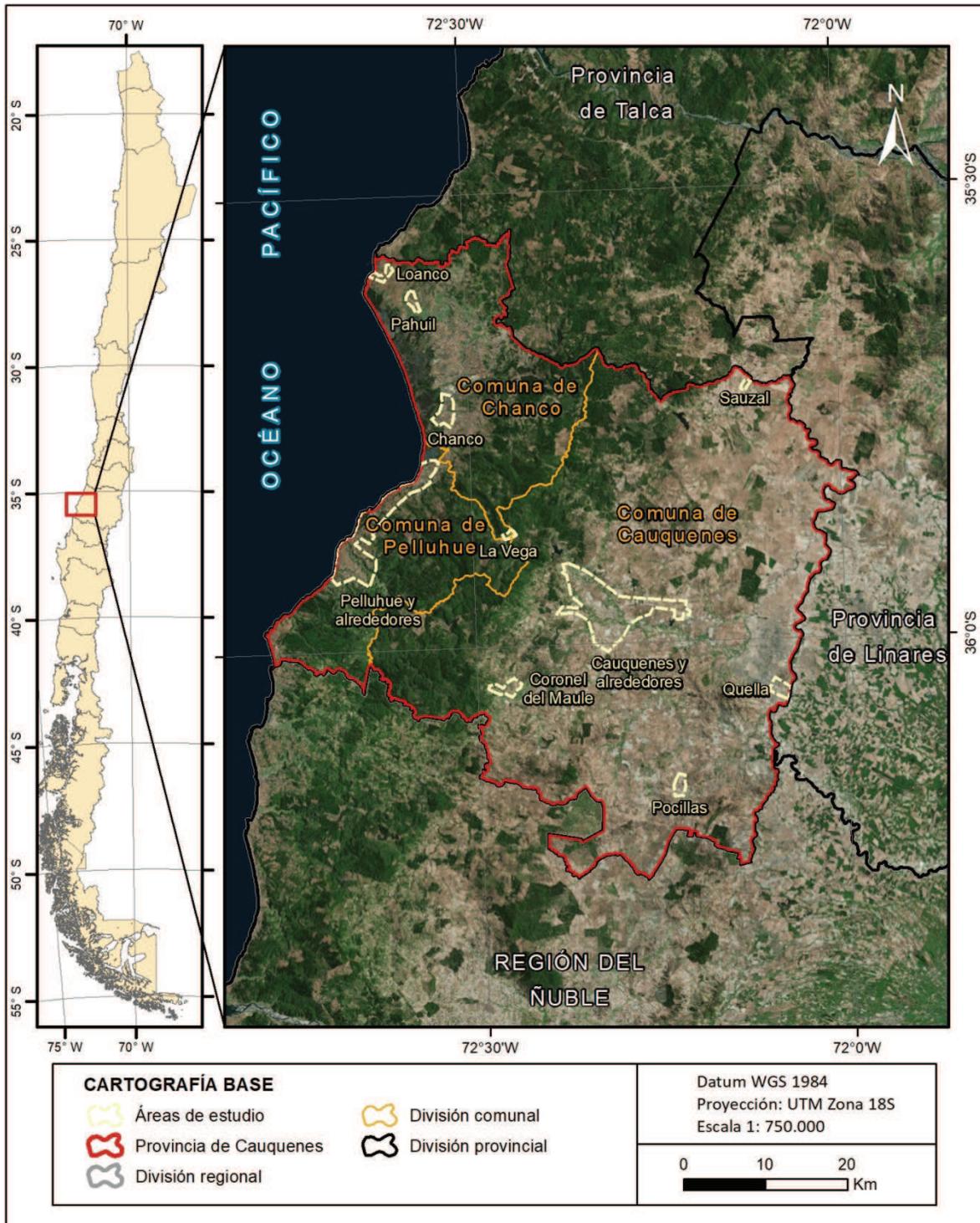
En este anexo se presentan los mapas con los resultados para cada una de las localidades estudiadas a escala 1:25.000, cuya ubicación se presenta en la FIGURA D—1. Los peligros identificados en cada área se resumen en el CUADRO D-1, cabe destacar que estos peligros afectan sectores específicos en cada localidad, y no necesariamente la afectan de manera completa. En cada una de ellas se presentan tres mapas:

- Geología a escala 1:25.000 (FIGURA D—2 a FIGURA D—11).
- 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 (tomado de artículo 2.1.17 de la OGUC). En esta serie de figuras (FIGURA D—12 a FIGURA D—21), a escala 1:25.000, se presentan los peligros de inundaciones costeras e inundaciones terrestres (por desborde de cauces y anegamiento).
- Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas (tomado del artículo 2.1.7 de la OGUC). En esta serie de figuras (FIGURA D—22 a FIGURA D—31), a escala 1:25.000, se presentan los peligros de flujos de barro y/o detritos, procesos de ladera y avance de dunas.

CUADRO D-1 Peligros reconocidos en cada localidad

Localidades	Inundaciones			Remociones en masa		
	Inundación costera	Inundación por desborde de cauces	Inundación por anegamiento	Flujos de barro y/o detritos	Procesos de ladera	Avance de dunas
Cauquenes	-	X	X	X	X	-
Sauzal	-	X	-	X	X	-
Quella	-	X	-	X	X	-
Pocillas	-	-	X	X	X	-
Coronel de Maule	-	X	-	X	X	-
La Vega	-	X	-	X	X	-
Pelluhue-Curanipe	X	X	X	X	X	X
Chanco	-	X	X	X	X	X
Loanco	X	-	-	X	X	-
Pahuil	-	X	-	X	X	-

FIGURA D—1 Ubicación localidades estudiadas a escala 1:25.000



D.1 Geología de las localidades

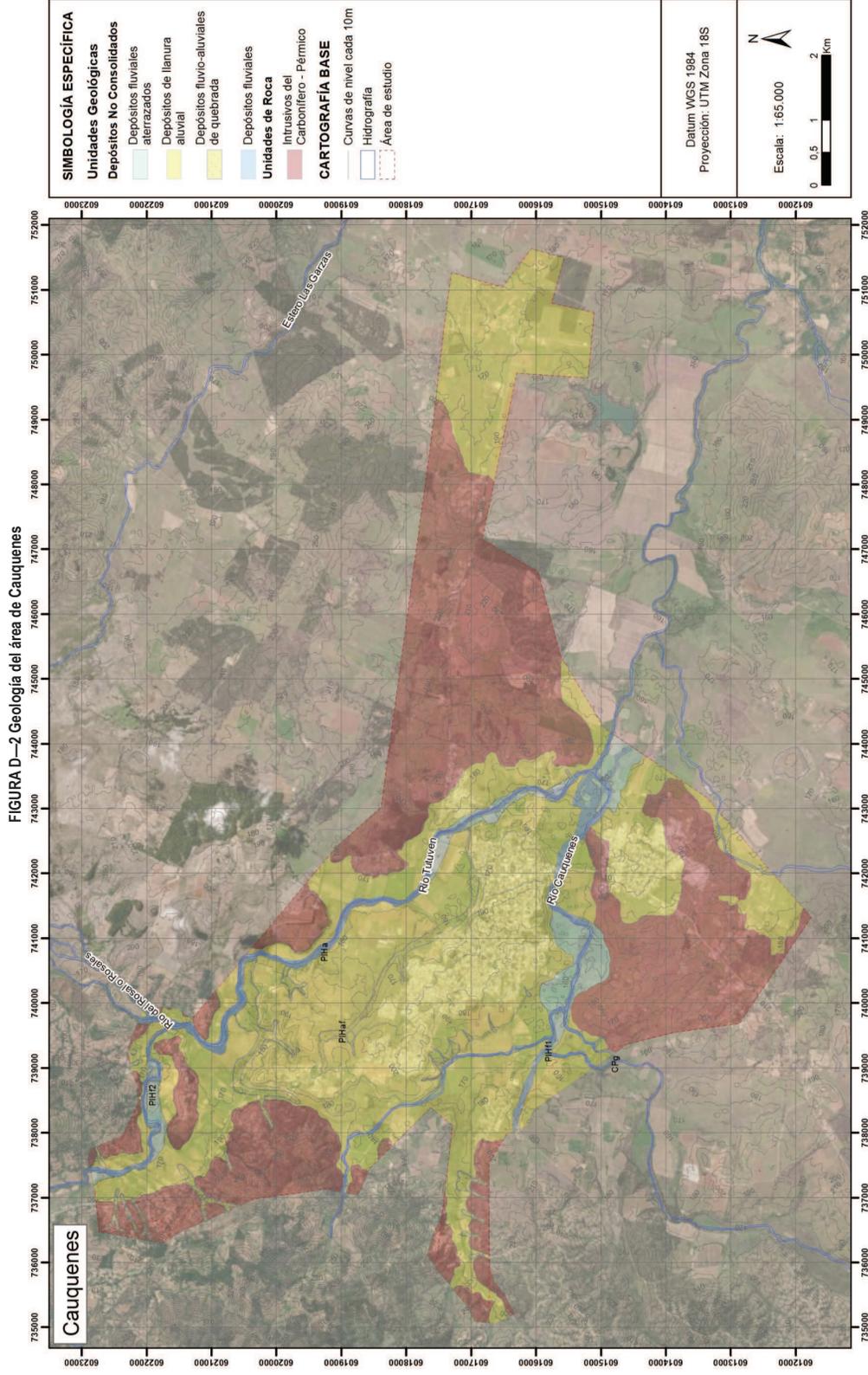


FIGURA D—3 Geología del área de Sauzal

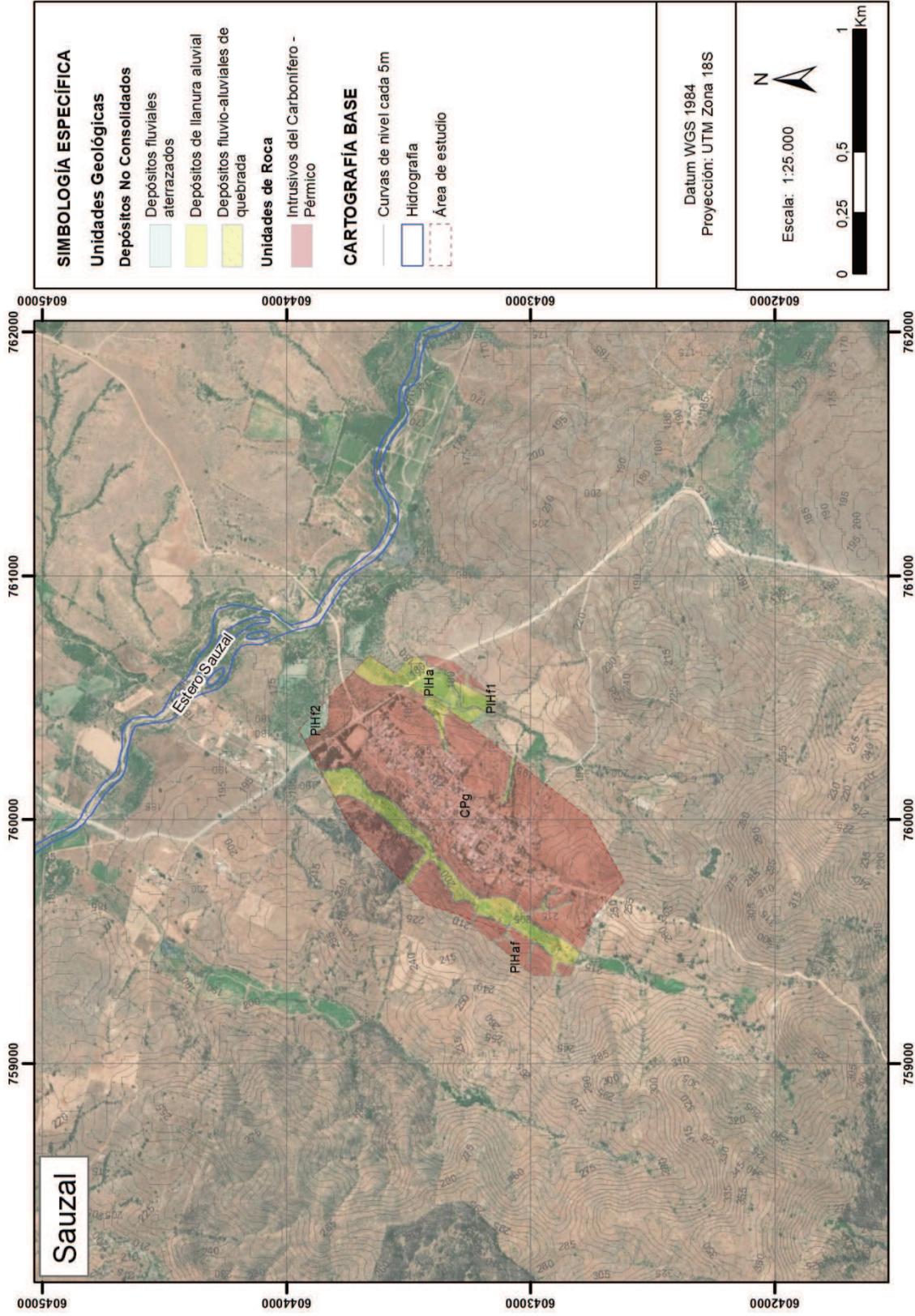


FIGURA D—4 Geología del área de Quella

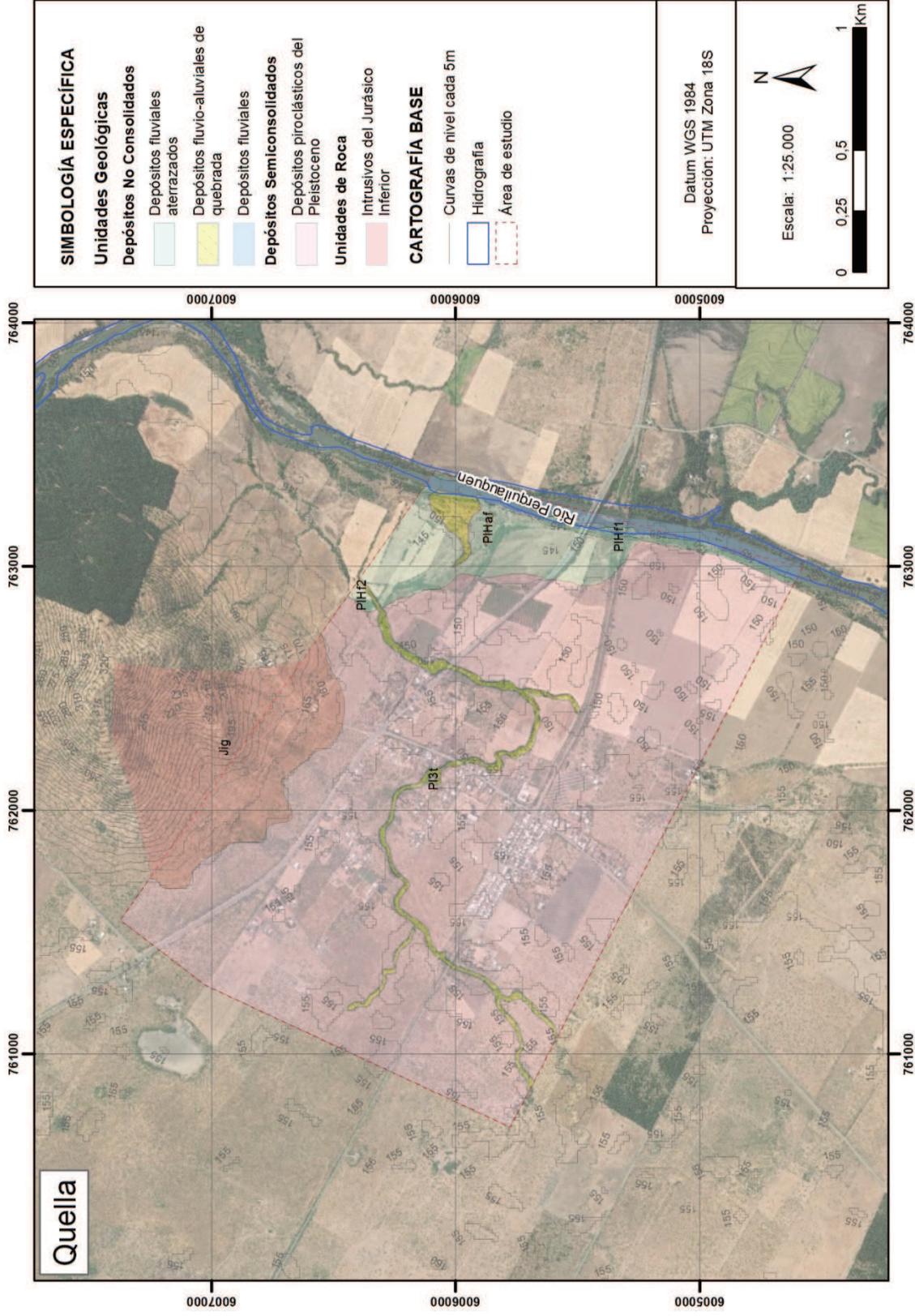


FIGURA D—5 Geología del área de Pocillas

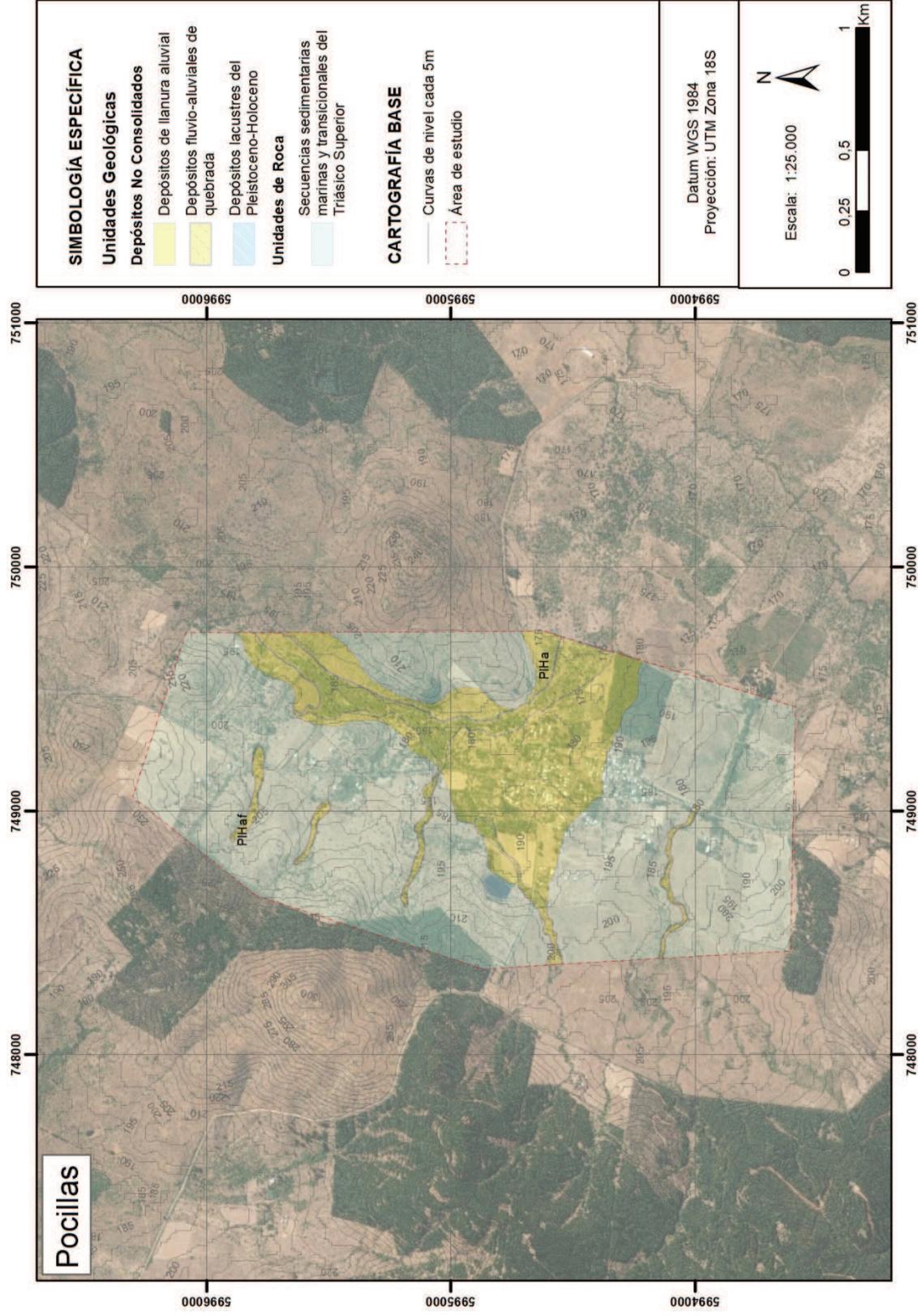


FIGURA D—6 Geología del área de Coronel de Maule

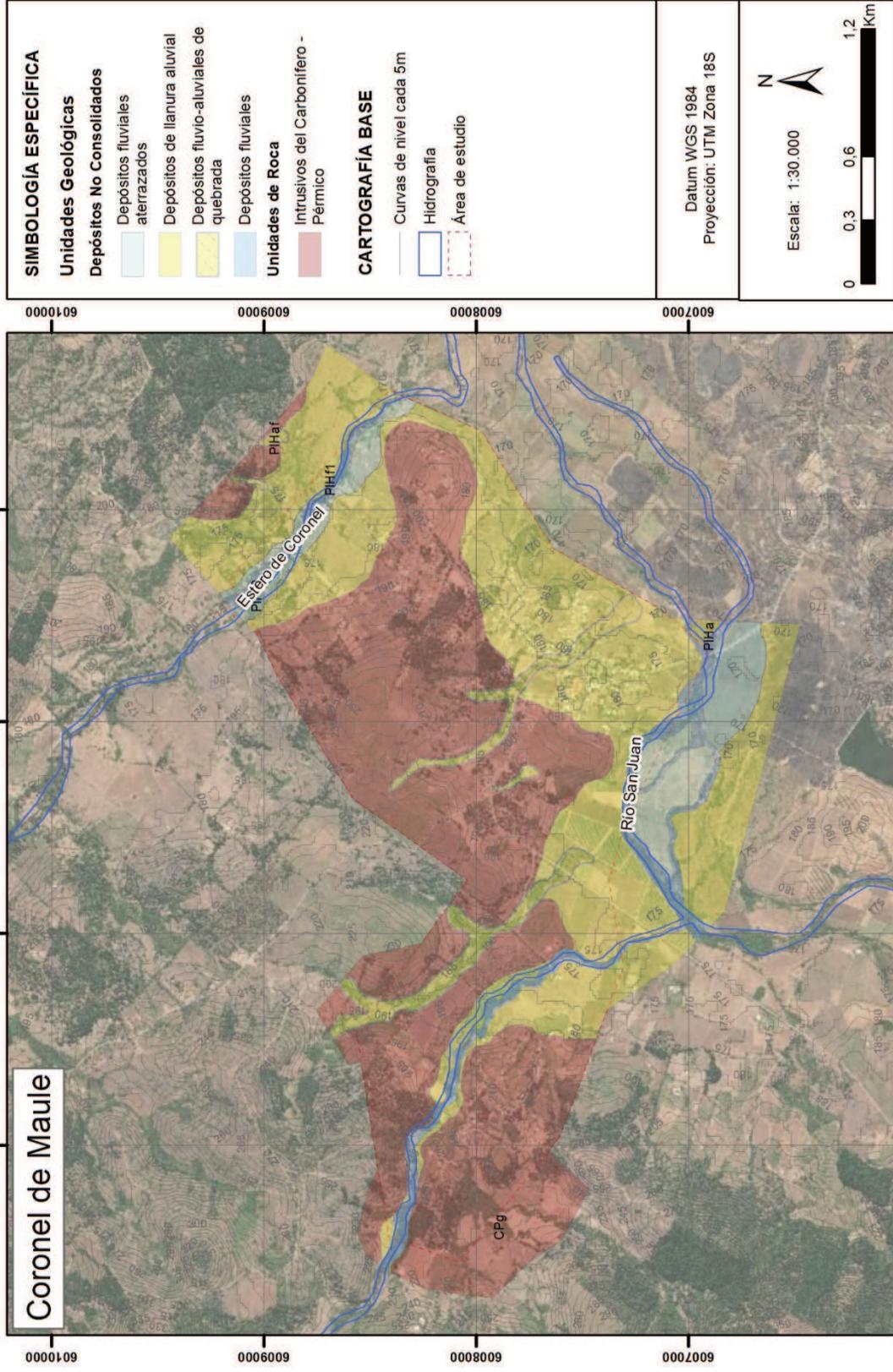


FIGURA D—7 Geología del área de La Vega

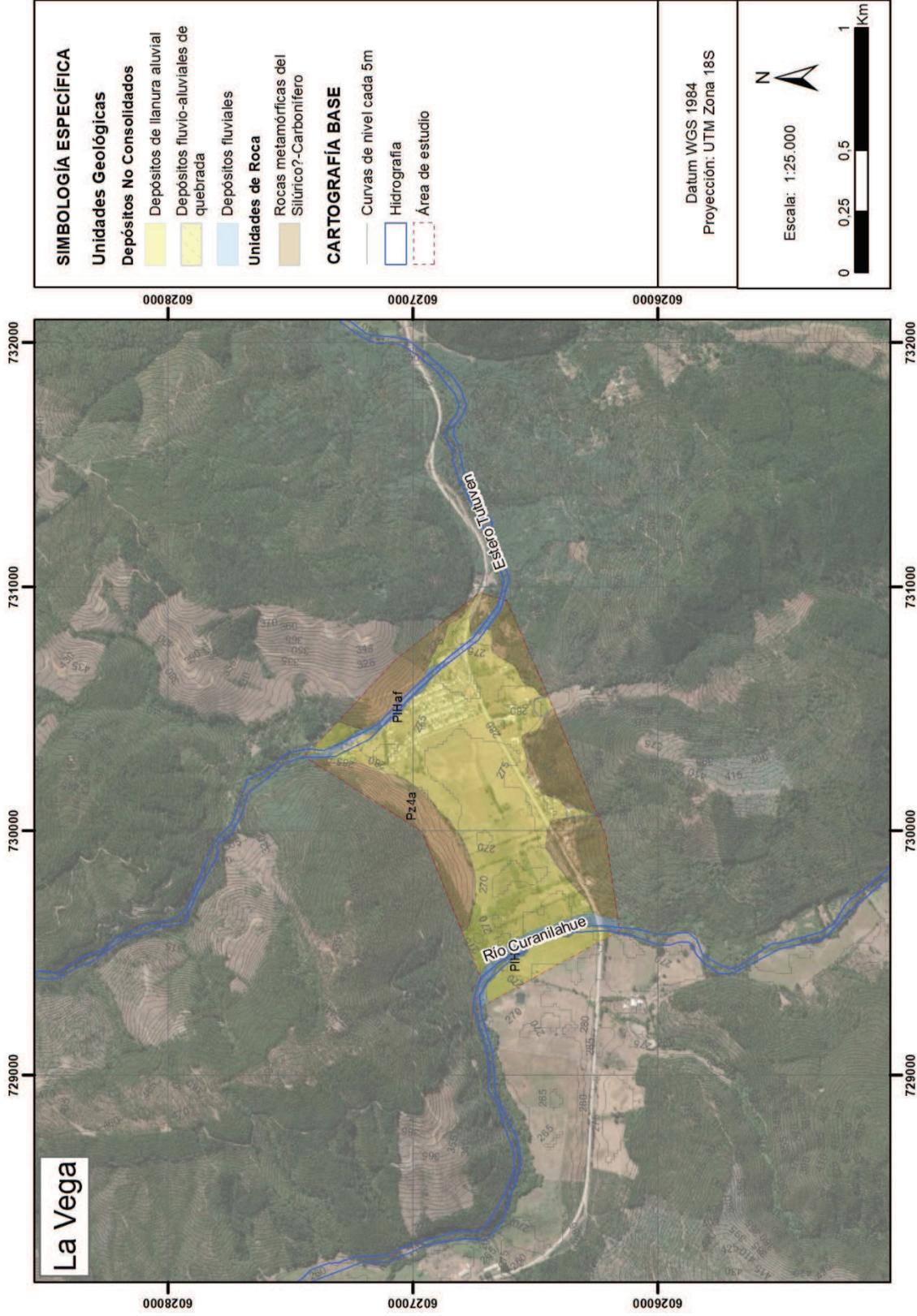


FIGURA D—8 Geología del área de Pelluhue-Curanipe

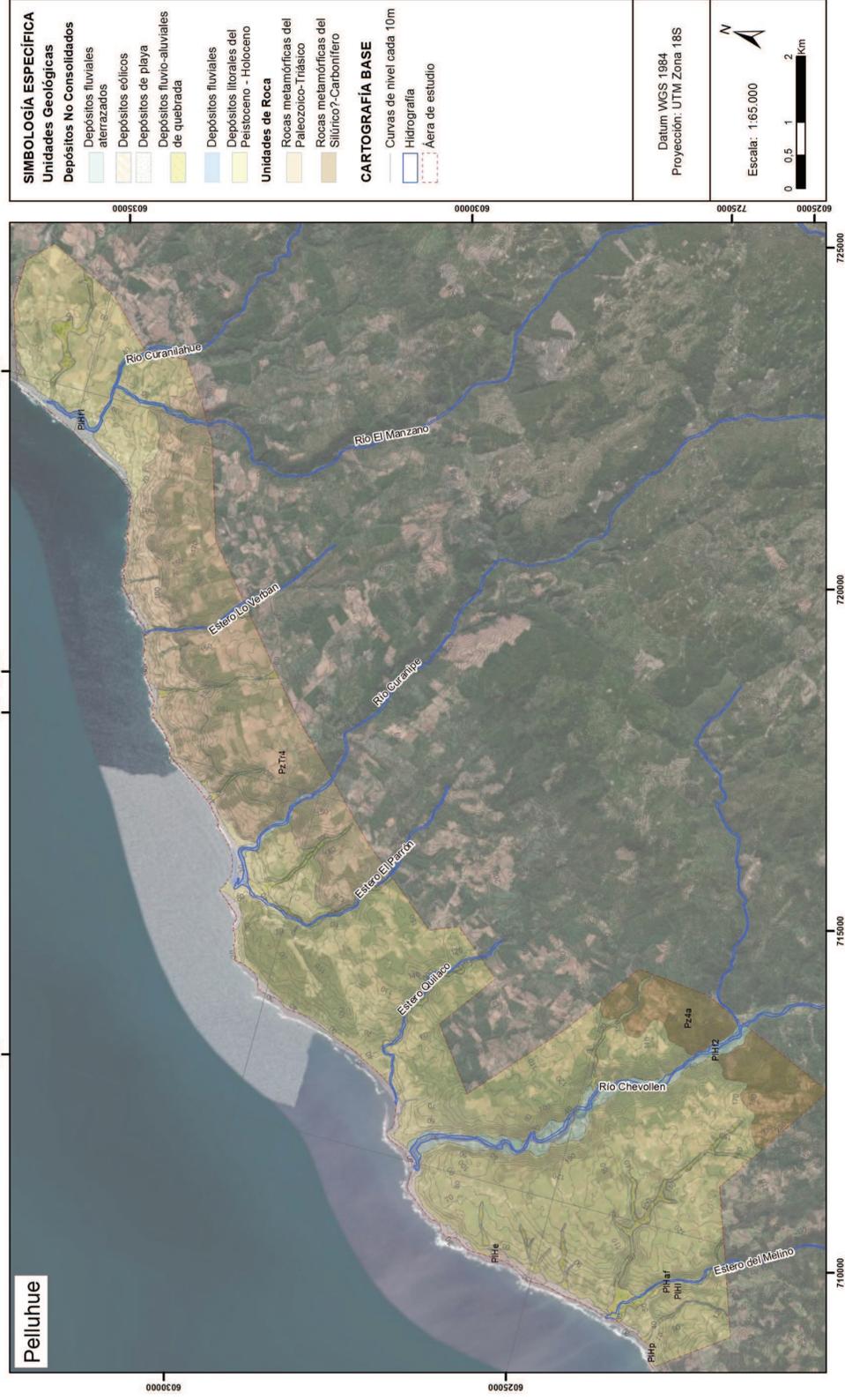


FIGURA D—9 Geología del área de Chanco

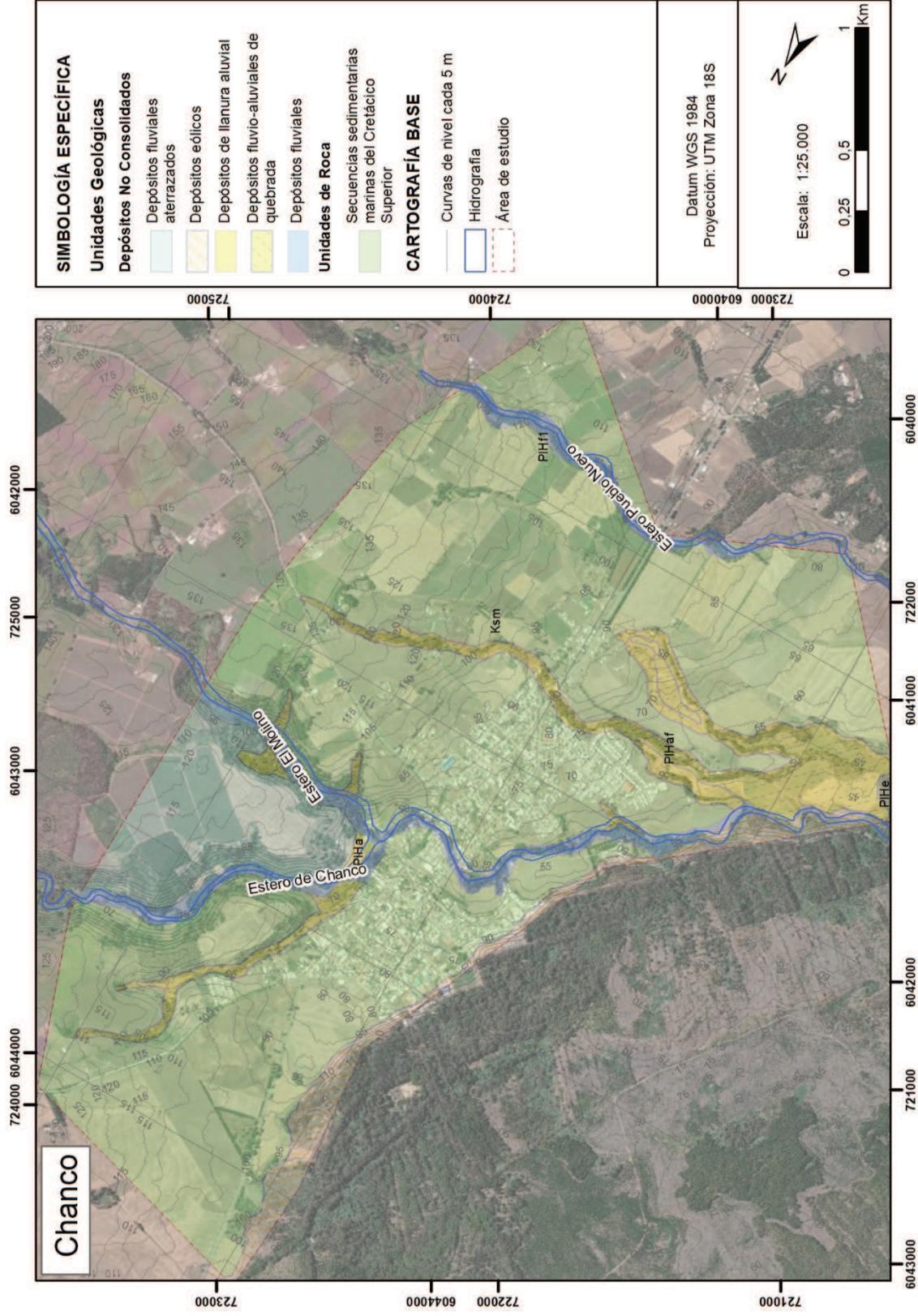


FIGURA D—10 Geología del área de Loanco

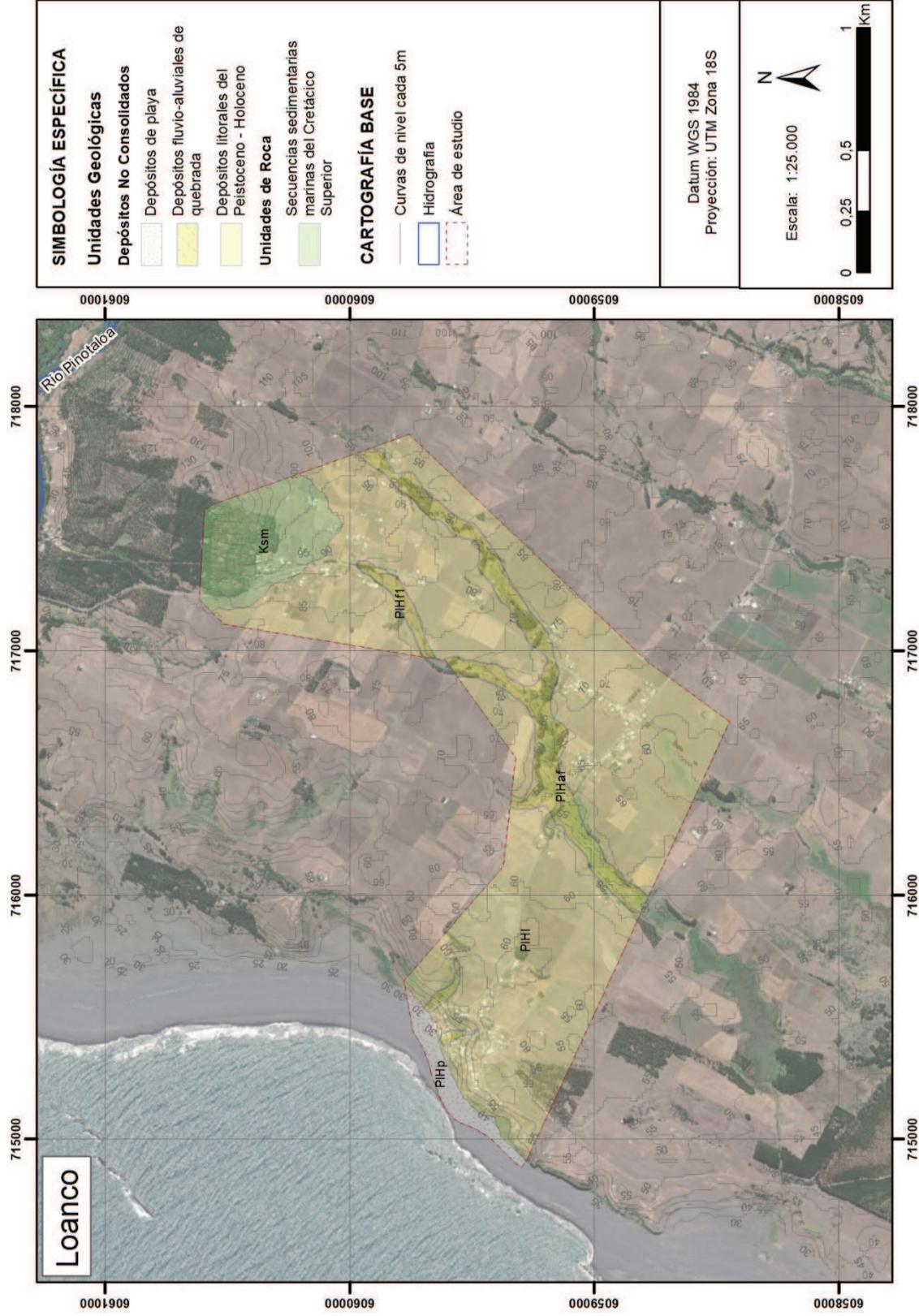
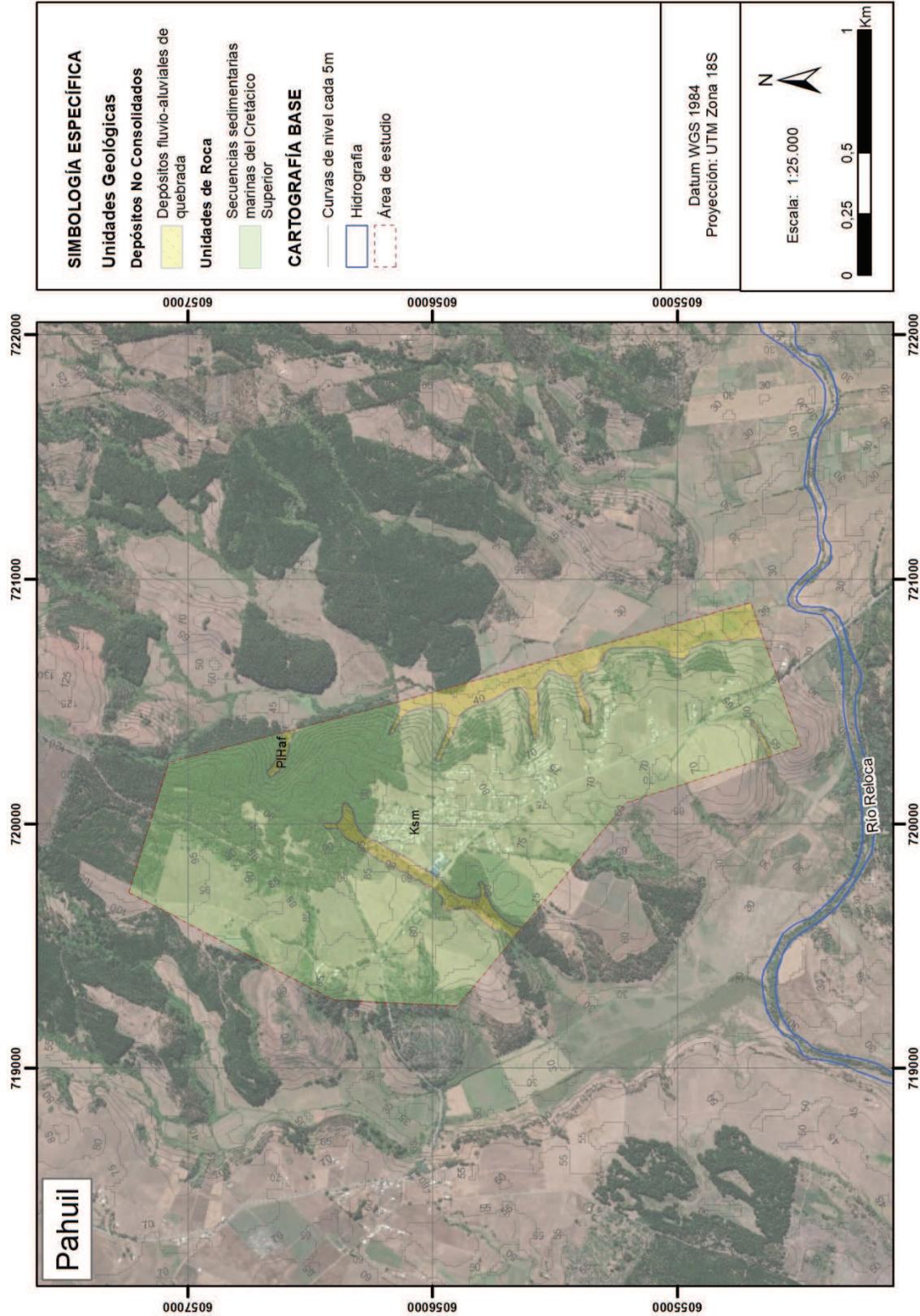


FIGURA D—11 Geología del área de Pahuil



D.2 Susceptibilidad de inundaciones costeras y terrestres

FIGURA D—12 Susceptibilidad de peligros de inundaciones terrestres en el área de Cauquenes

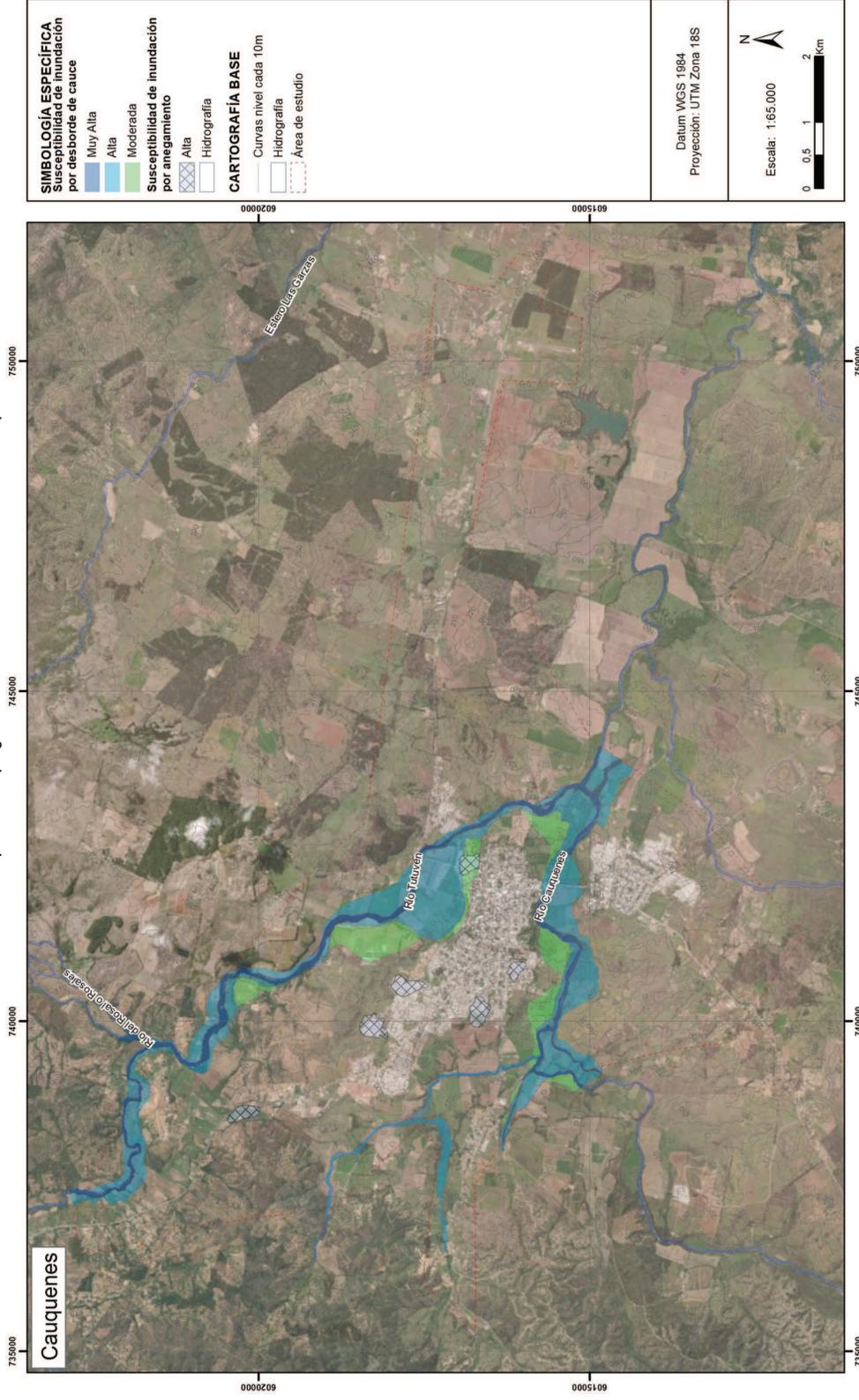


FIGURA D—13 Susceptibilidad de peligros de inundaciones terrestres en el área de Sauzal

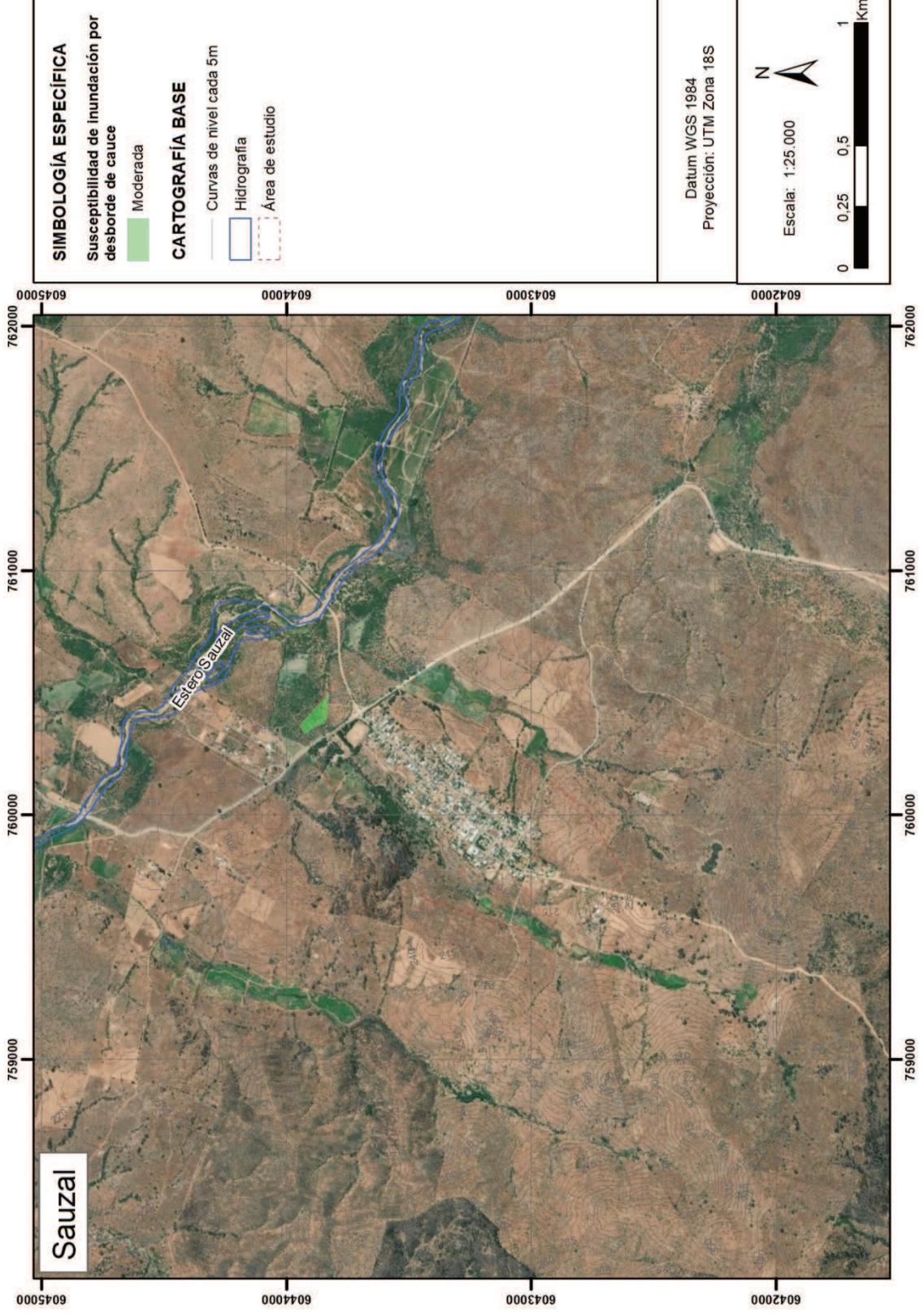


FIGURA D—14 Susceptibilidad de peligros de inundaciones terrestres en el área de Quella

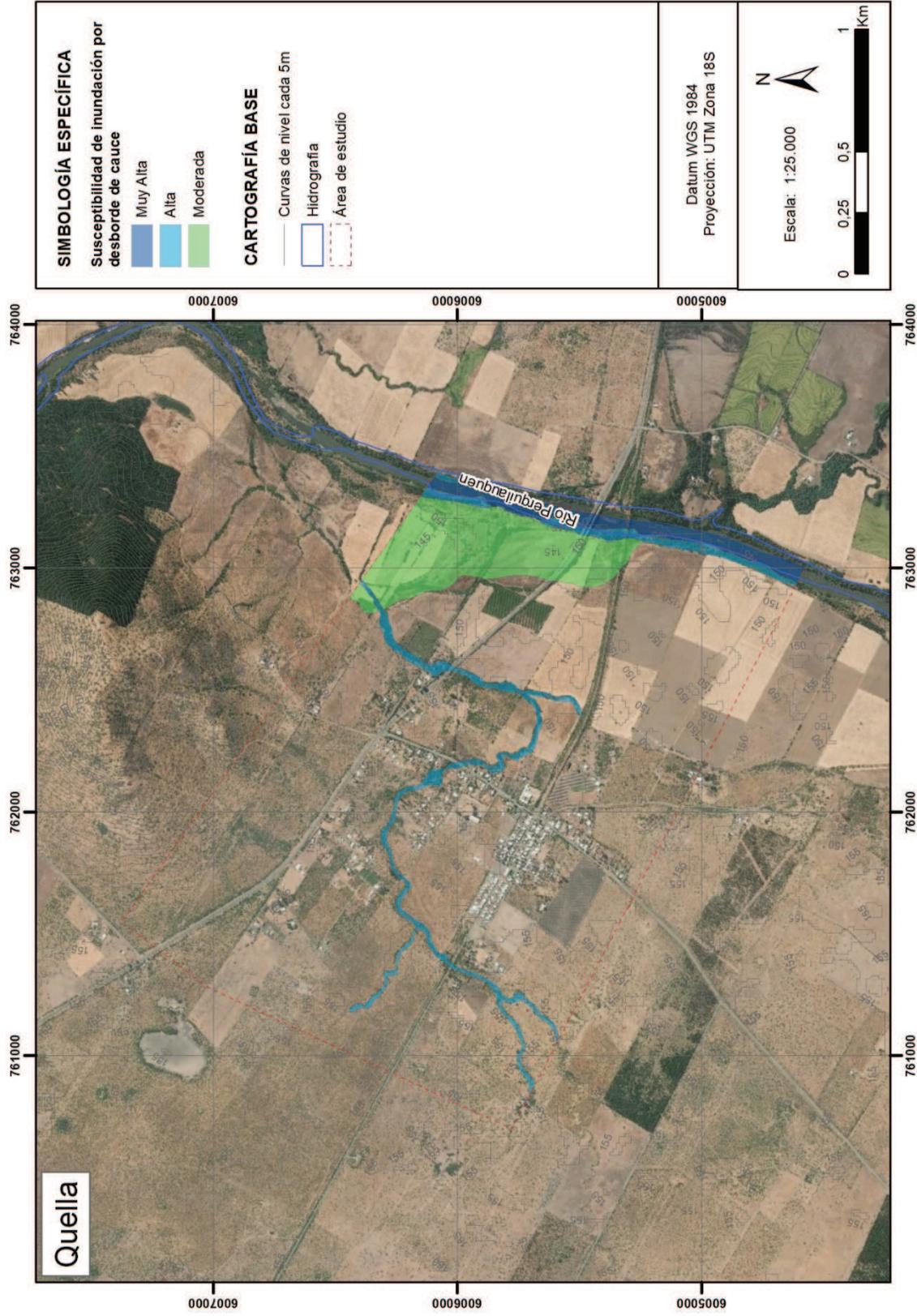


FIGURA D—15 Susceptibilidad de peligros de inundaciones terrestres en el área de Pocillas

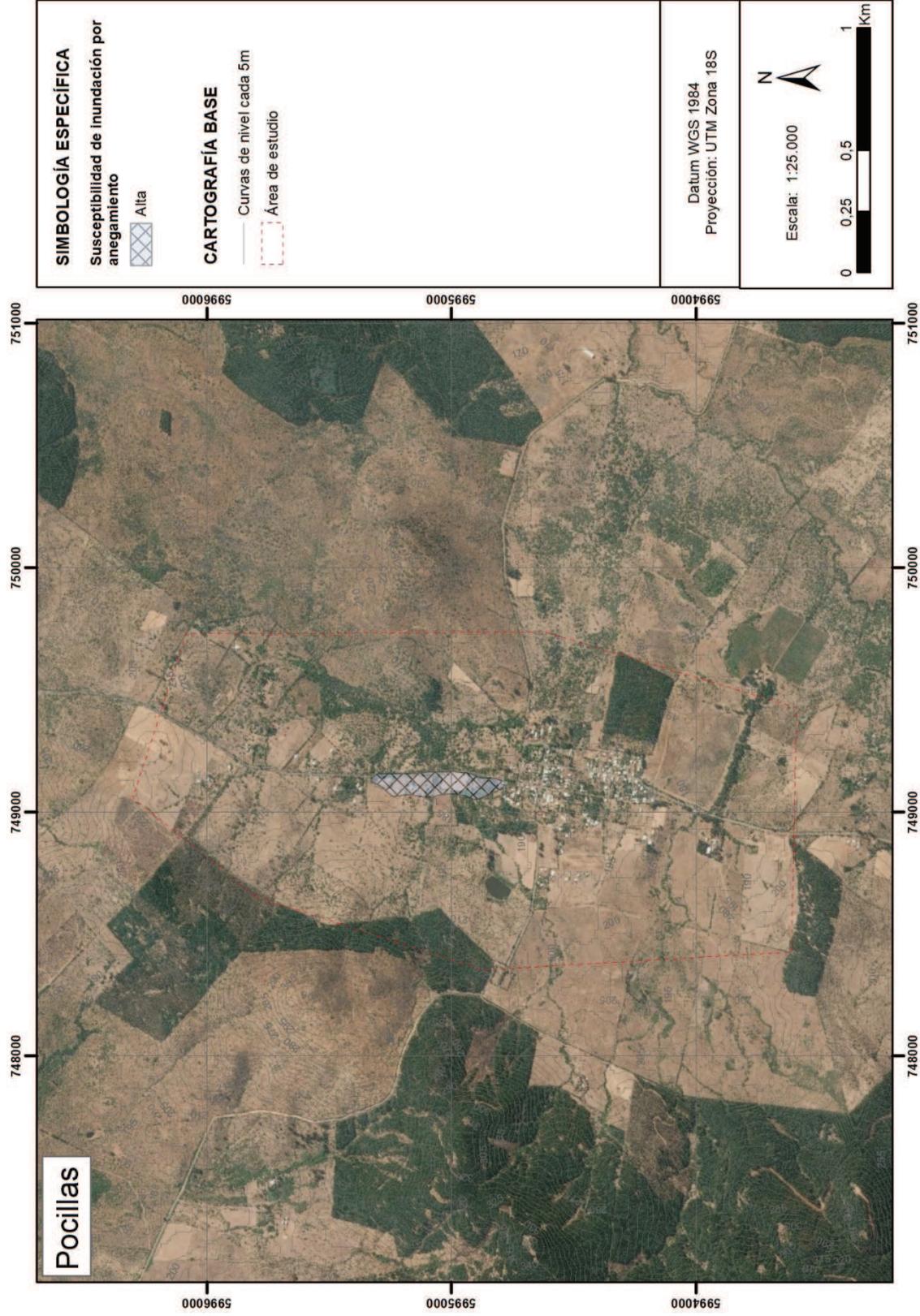


FIGURA D—16 Susceptibilidad de peligros de inundaciones terrestres en el área de Coronel de Maule

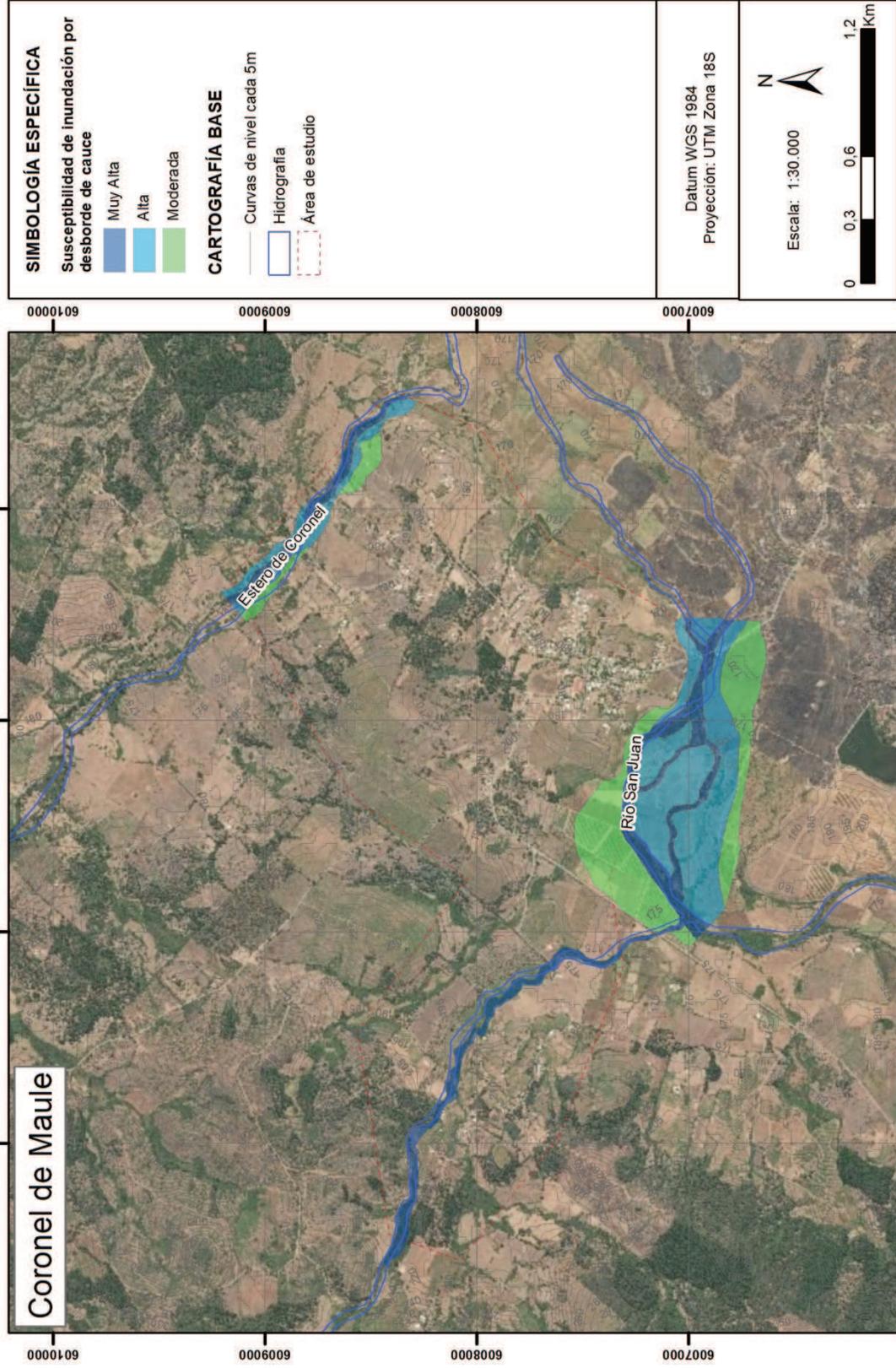


FIGURA D—17 Susceptibilidad de peligros de inundaciones terrestres en el área de La Vega

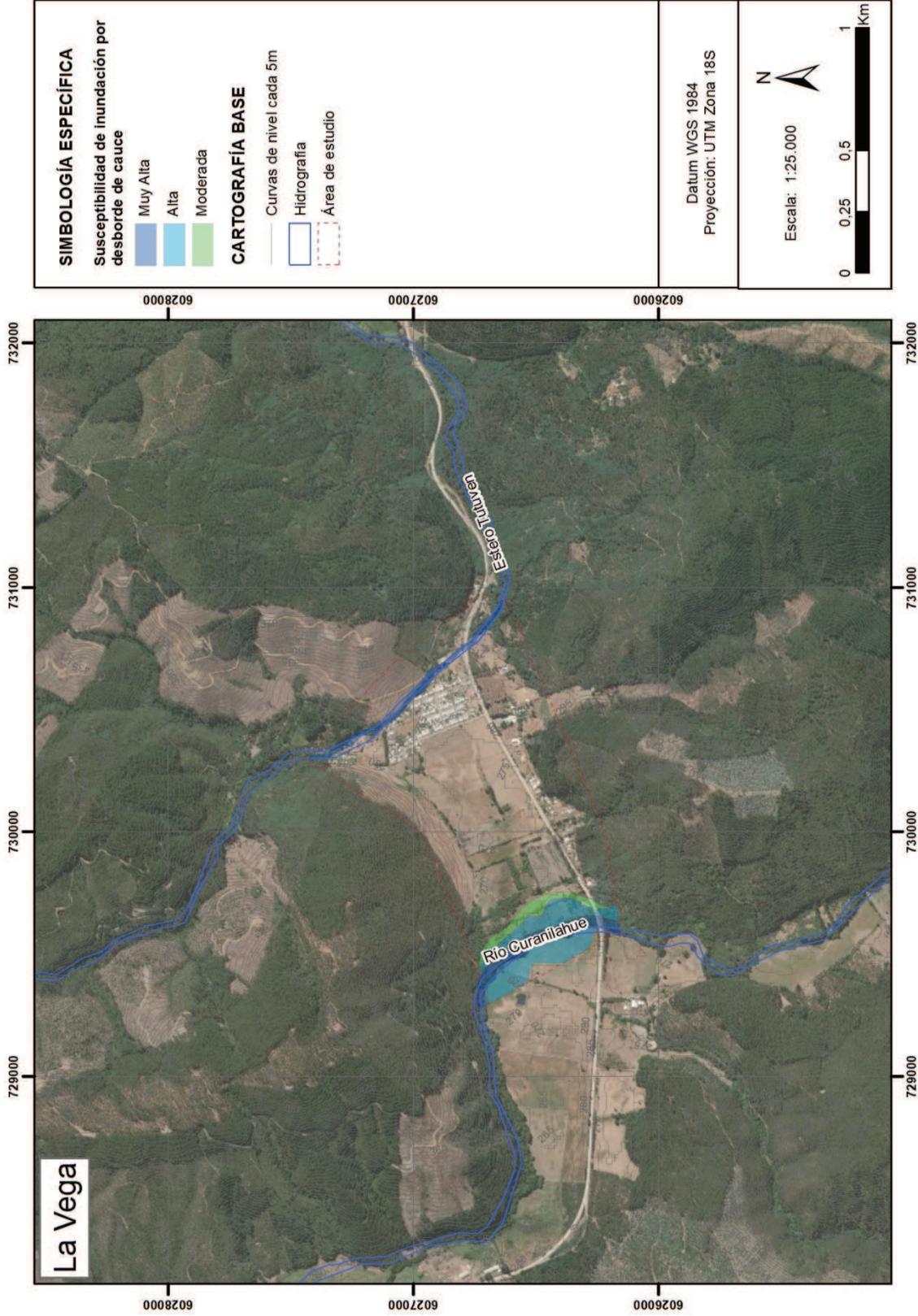


FIGURA D—18 Susceptibilidad de peligros de inundaciones (terrestres y costeras) en el área de Pelluhue-Curanipe

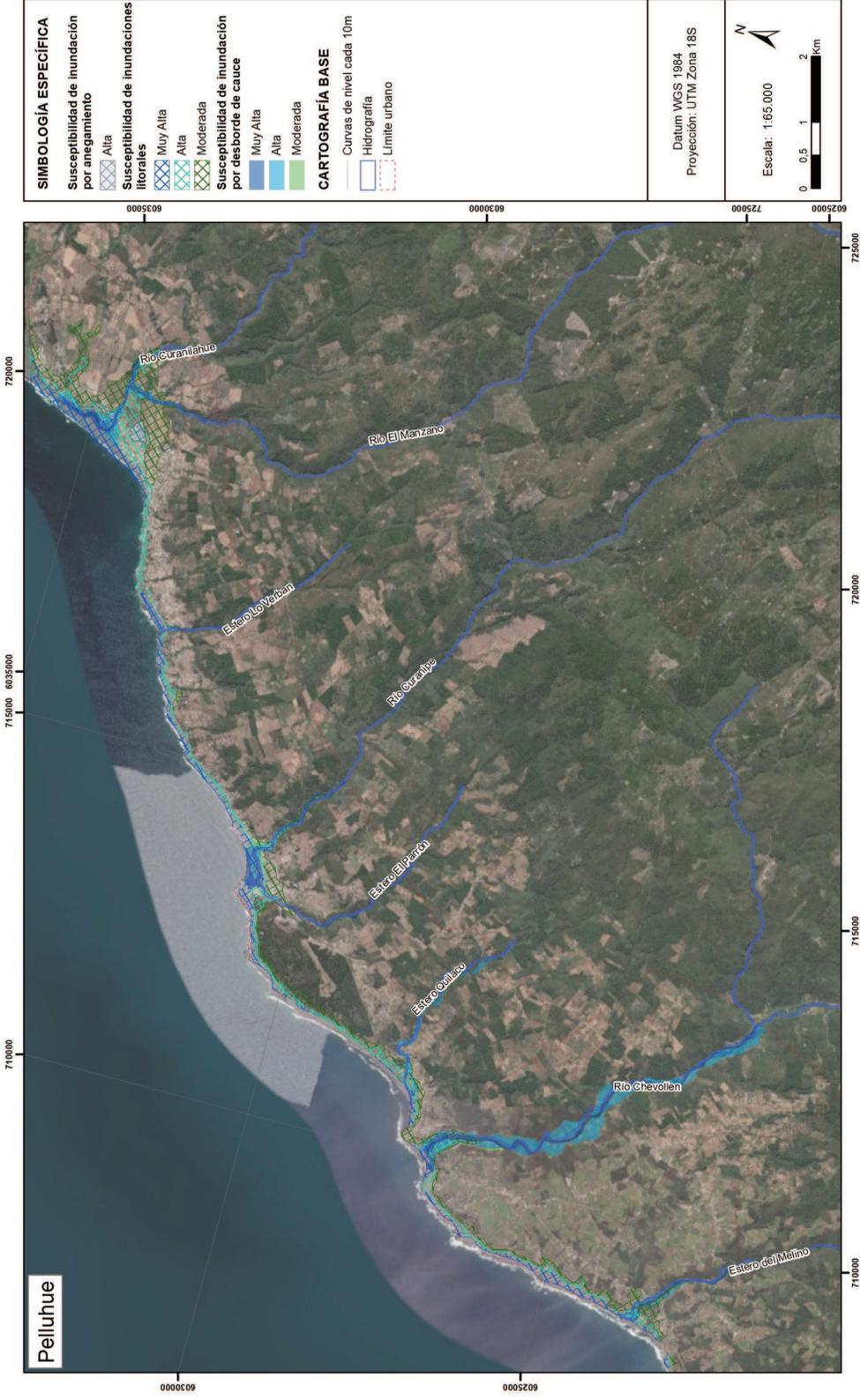


FIGURA D—19 Susceptibilidad de peligros de inundaciones terrestres en el área de Chanco

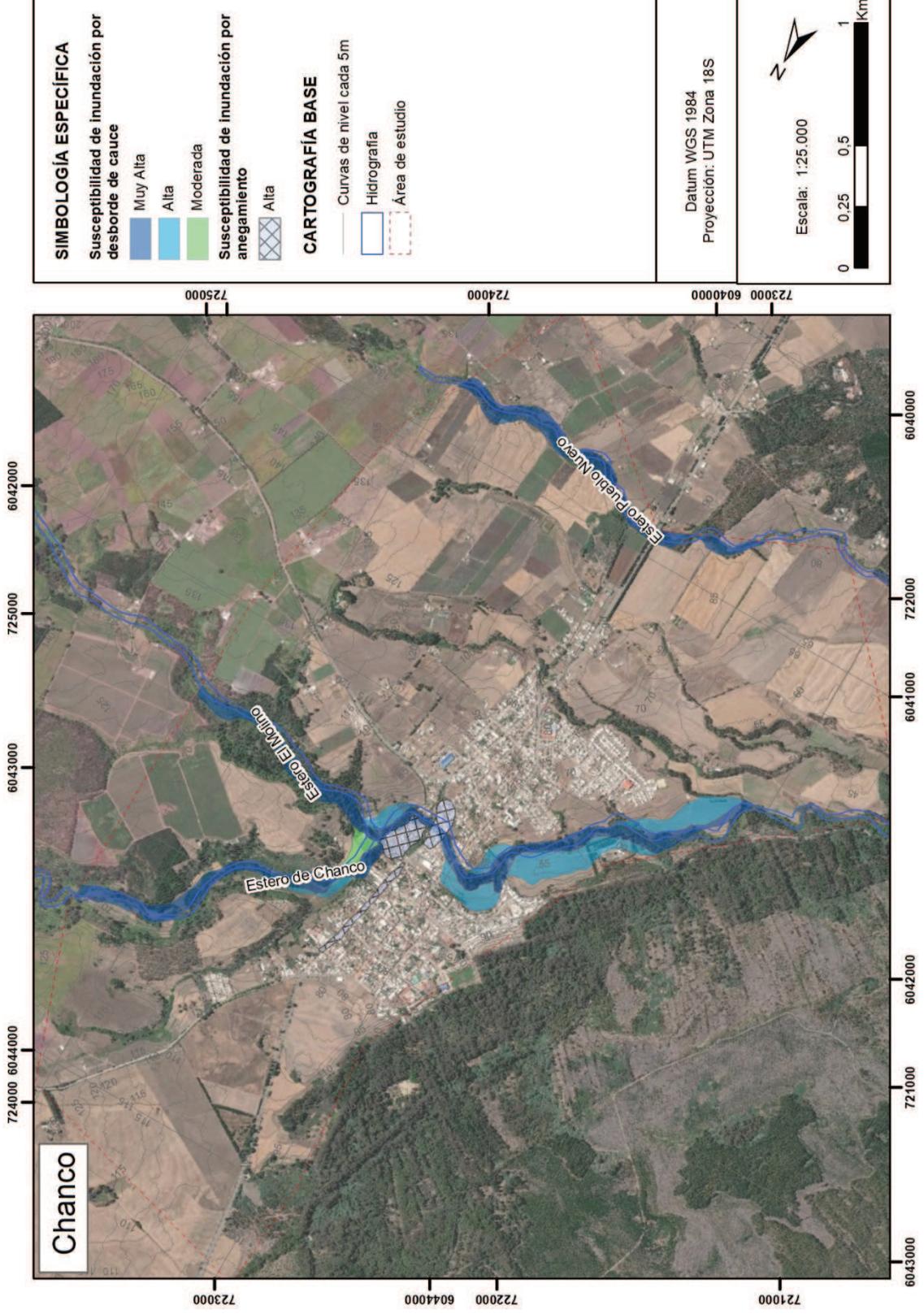
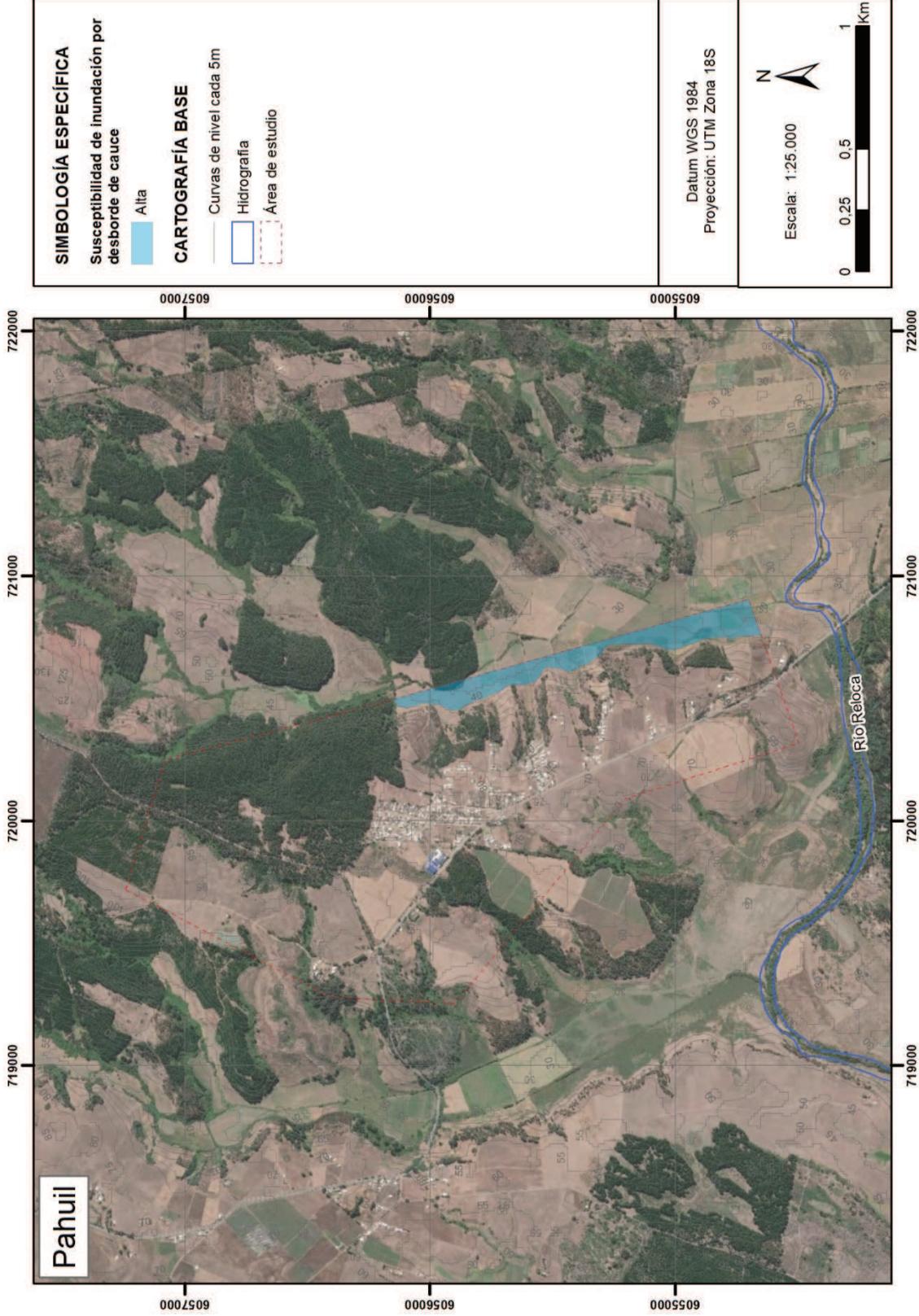


FIGURA D—20 Susceptibilidad de peligros de inundaciones (terrestres y costeras) en el área de Loanco



FIGURA D—21 Susceptibilidad de peligros de inundaciones terrestres en el área de Pahuil



D.3 Susceptibilidad de remociones en masa y avance de dunas

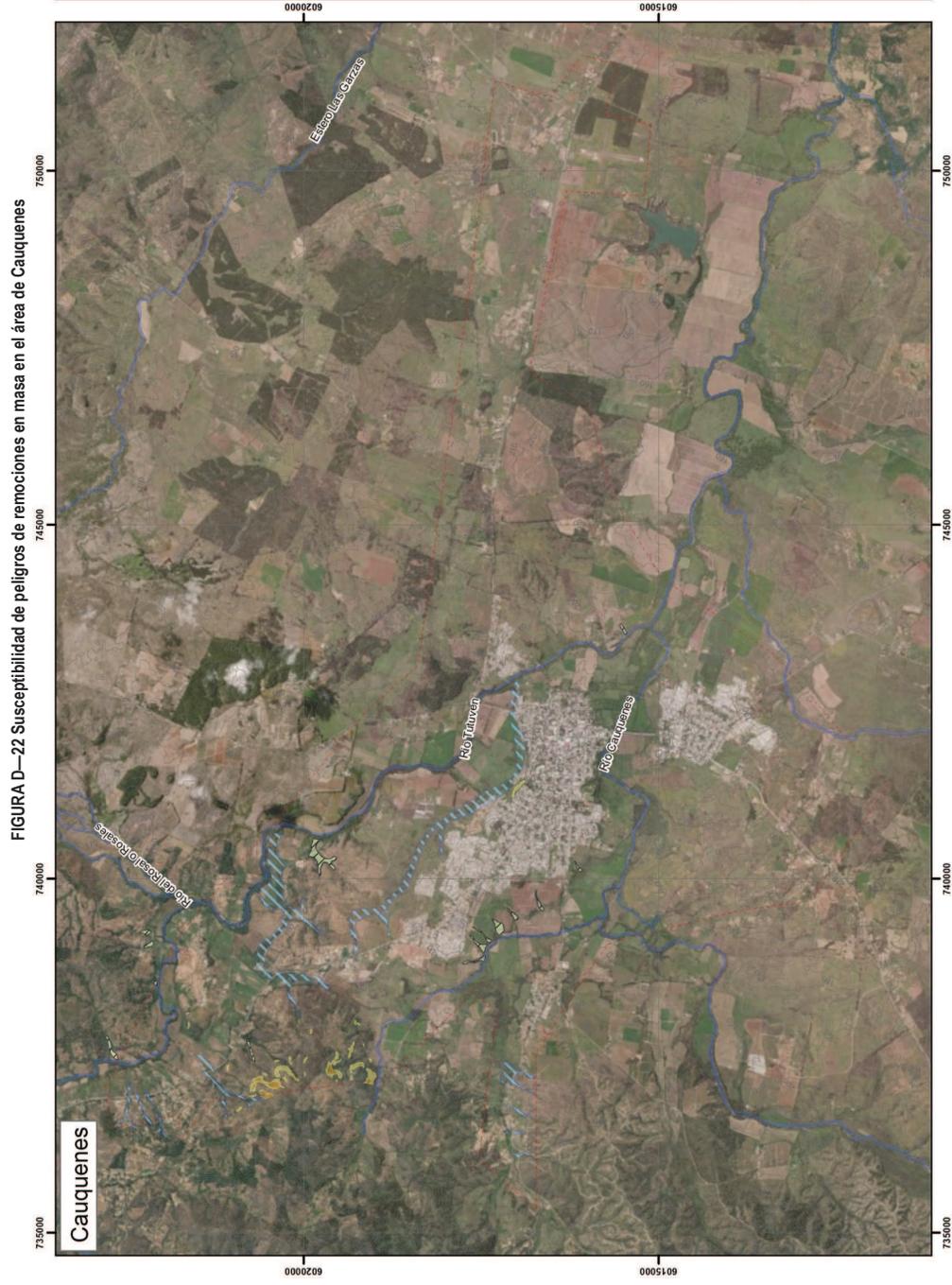


FIGURA D—22 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Cauquenes

FIGURA D—23 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Sauzal

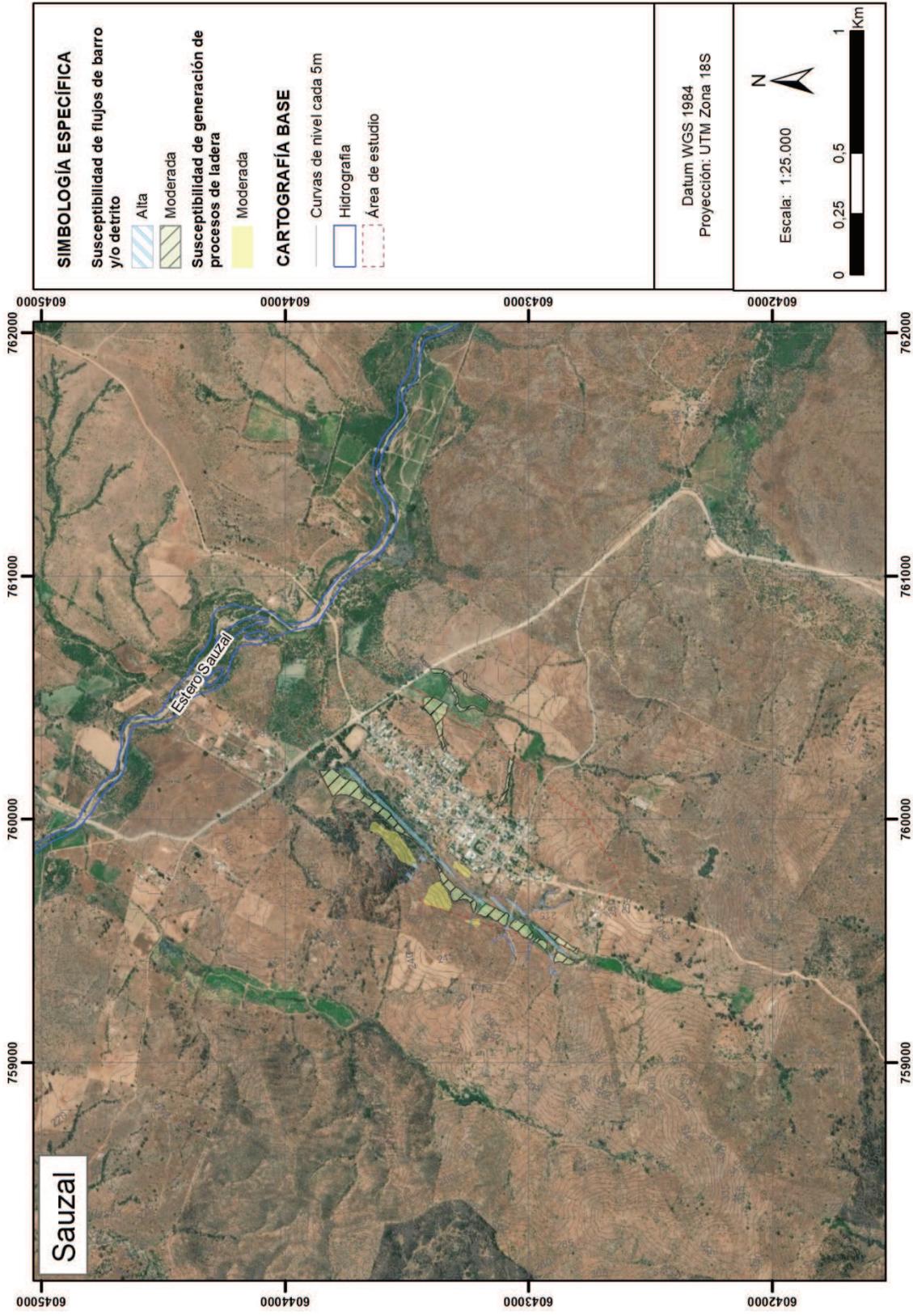


FIGURA D—24 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Quella

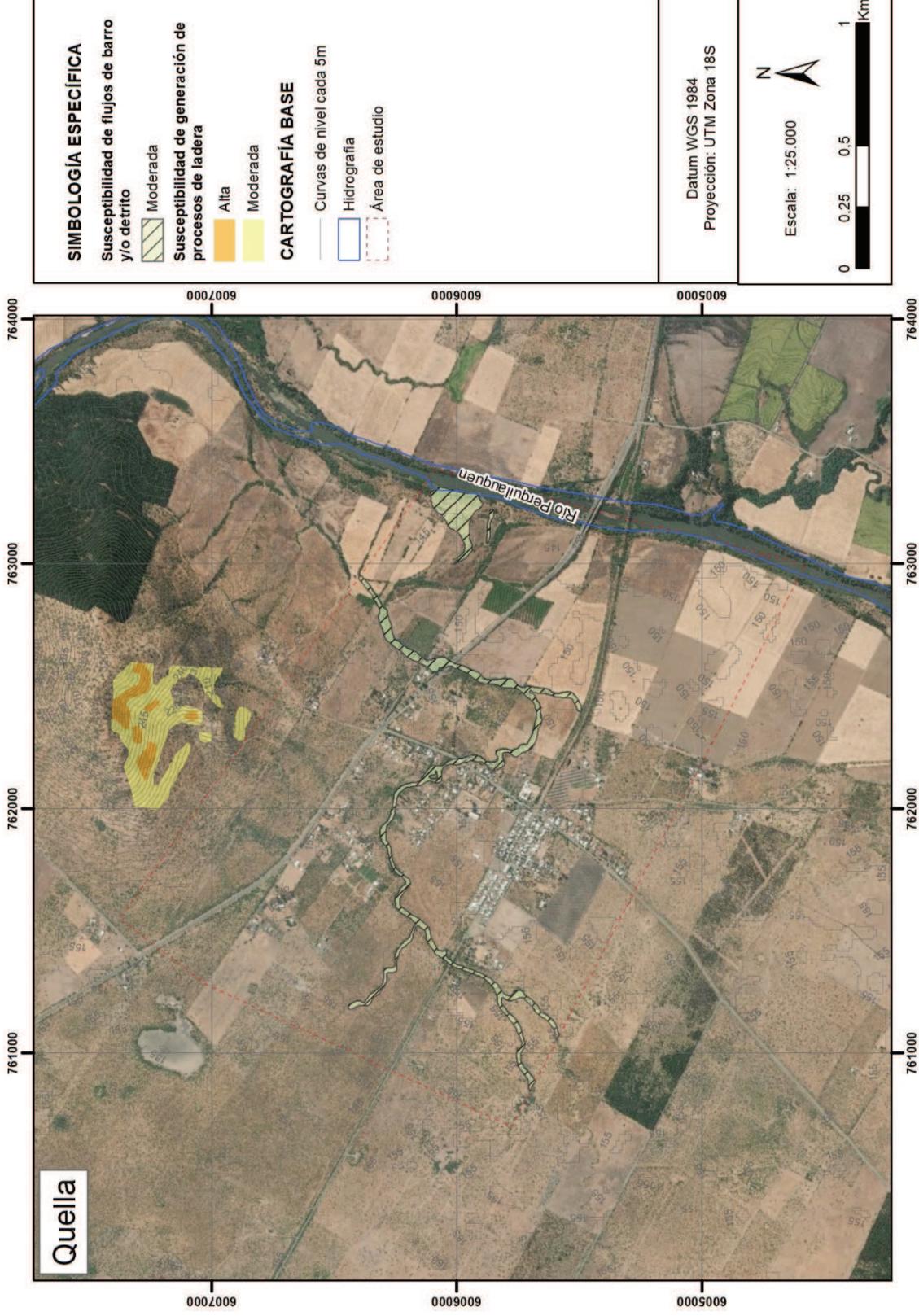


FIGURA D—25 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Pocillas

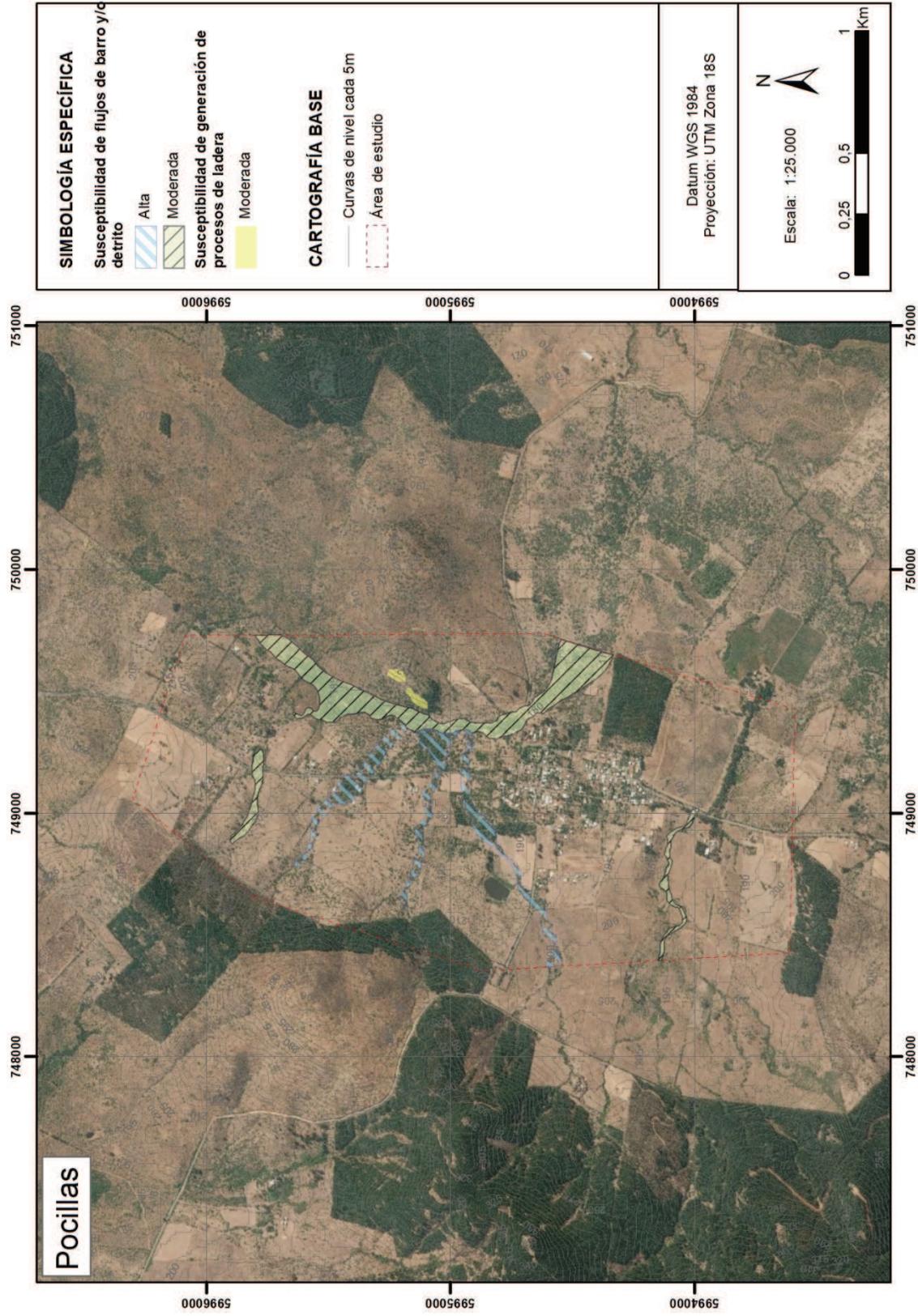


FIGURA D—26 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Coronel de Maule

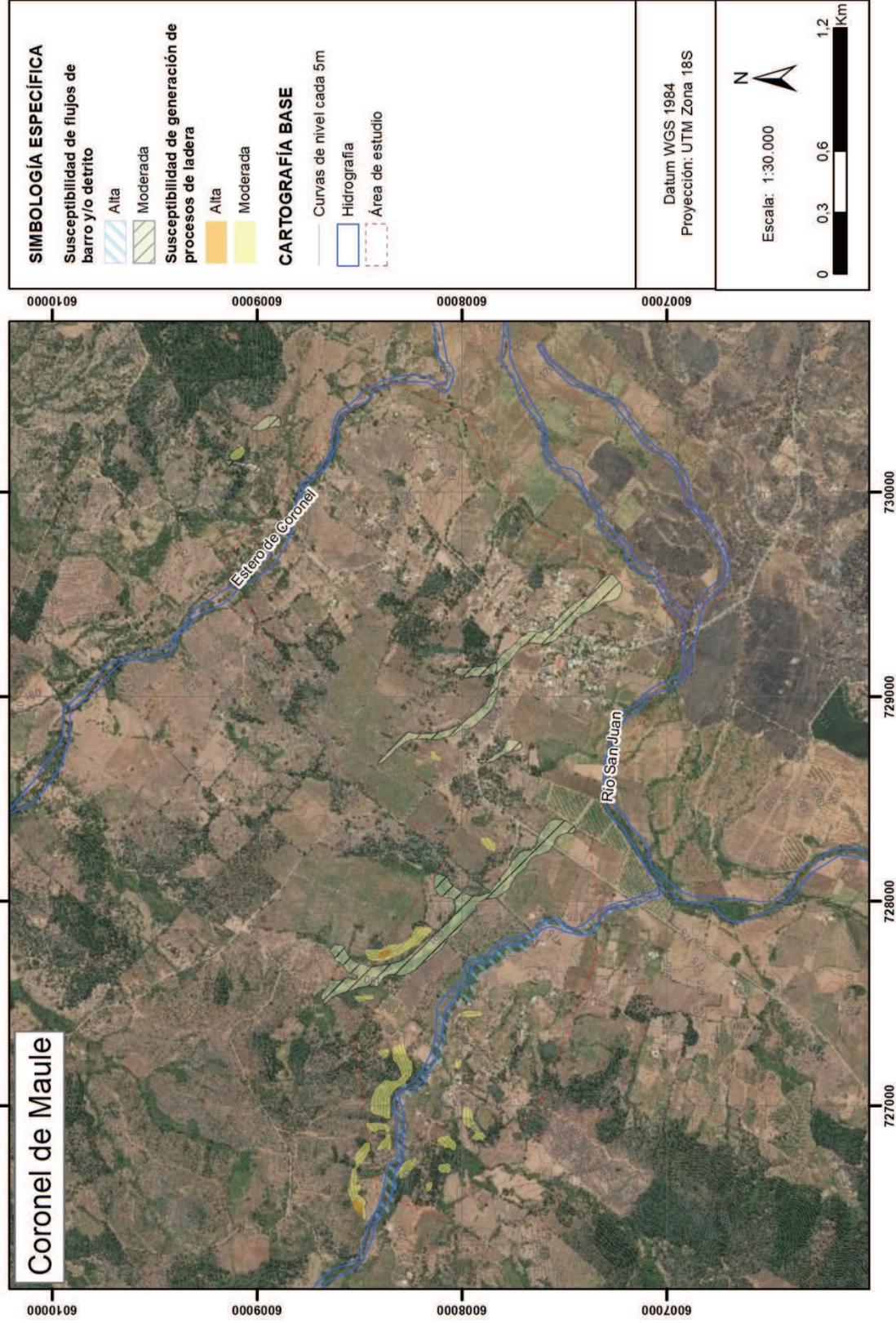


FIGURA D—27 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de La Vega

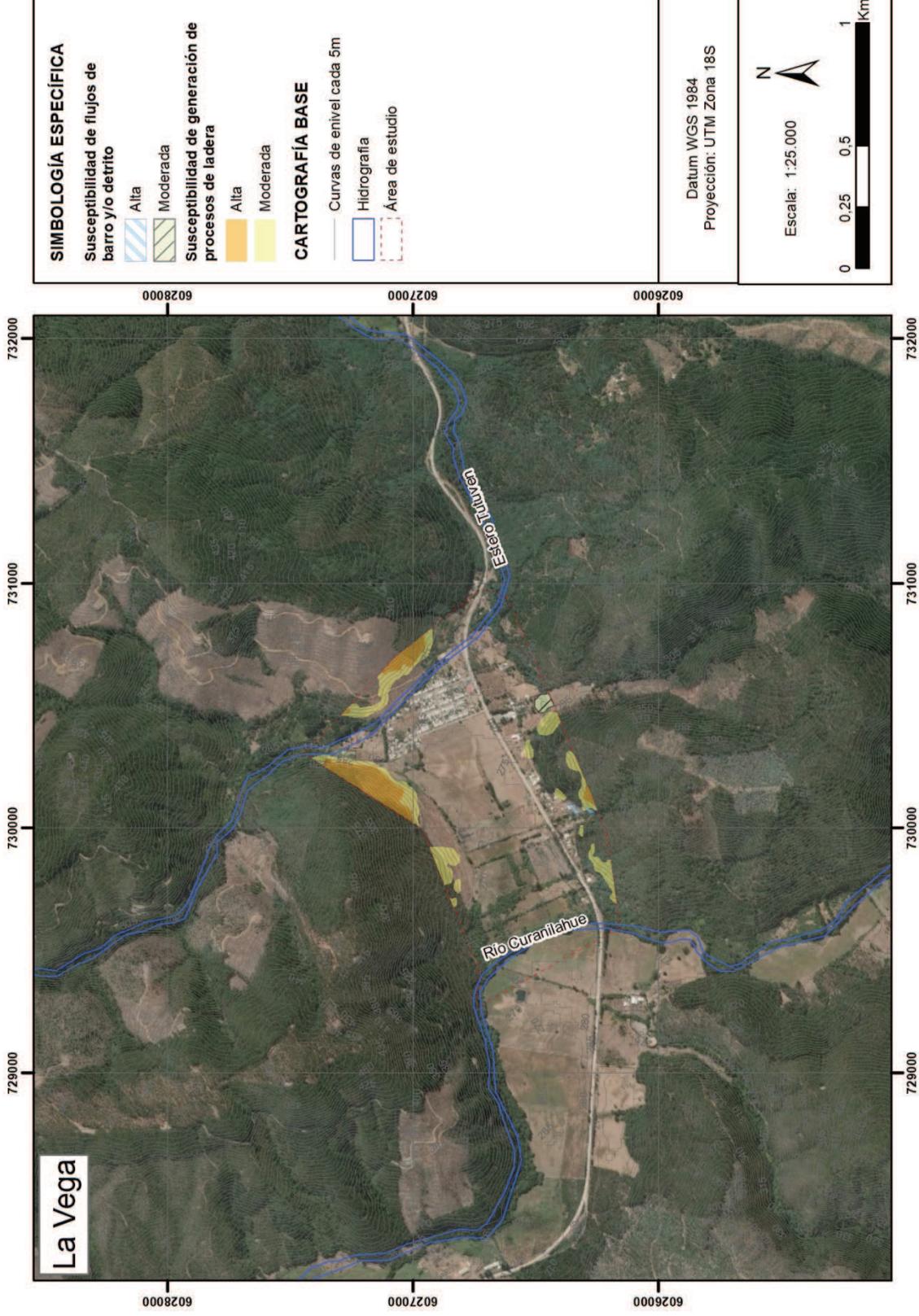


FIGURA D—28 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Pelluhue-Curamipe

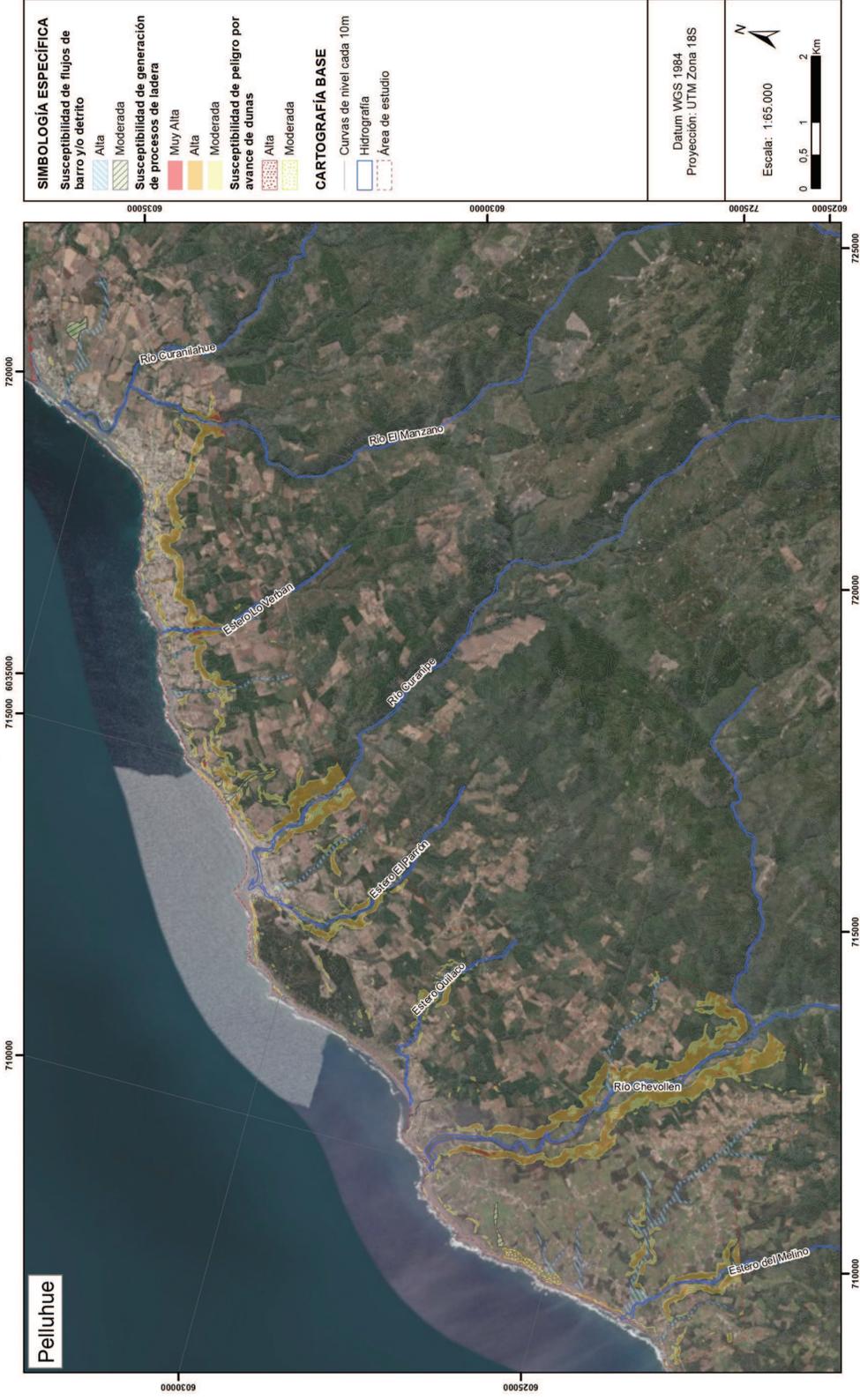


FIGURA D—29 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Chanco

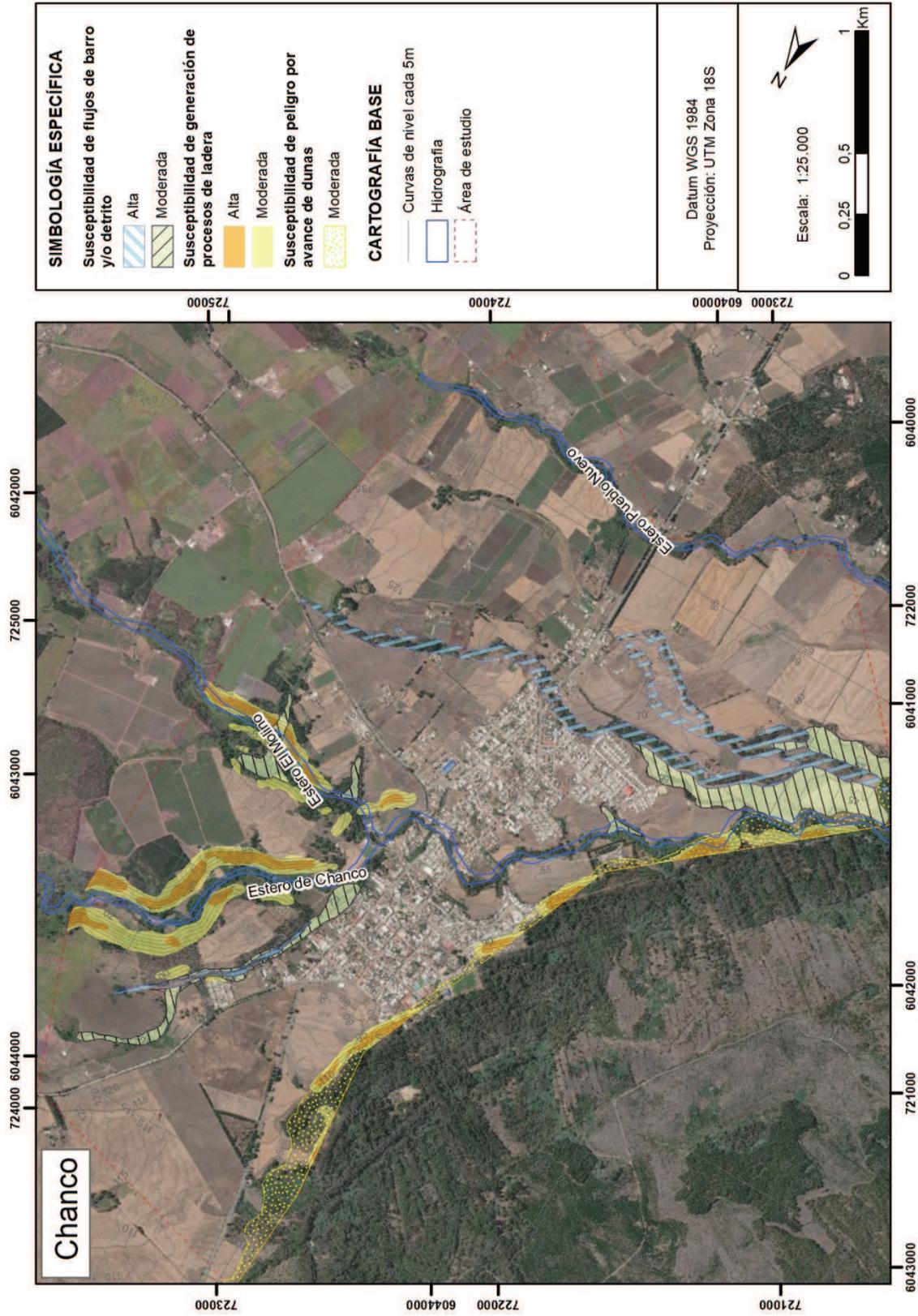


FIGURA D—30 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Loanco

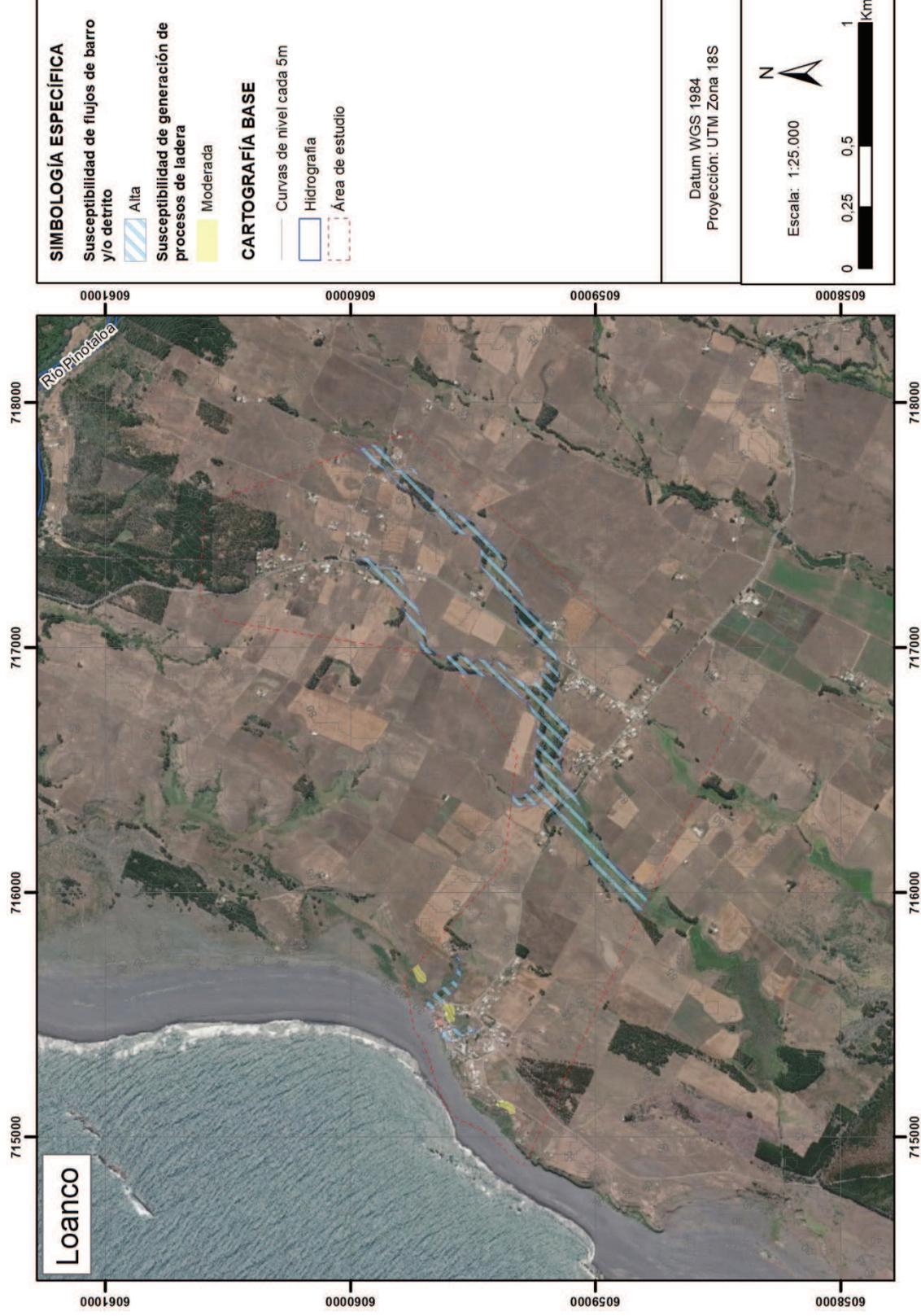


FIGURA D—31 Susceptibilidad de peligros de remociones en masa en el área de Pahuil

