SEREMI MINVU
REGIÓN DE COQUIMBO

PLAN REGULADOR INTERCOMUNAL DE LA PROVINCIA DE LIMARI

ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

I. ÁREAS DE RIESGO DE ORIGEN NATURAL

Febrero 2020

Profesional Responsable
Rodrigo Rauld Plott
Geólogo, Doctor en Ciencias Mención Geología

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 1
1.1 OBJETIVOS 1
1.2 MARCO JURÍDICO Y NOMENCLATURA UTILIZADA EN ESTE INFORME 1
1.3 DEFINICIÓN DE LA ESCALA DE TRABAJO Y DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO 2
1.4 METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO 7
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES 8
2 LÍNEA DE BASE 9
2.1 LÍNEA DE BASE DE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 9
2.1.1 Marco geodinámico 9
2.1.2 Marco geomorfológico 11
2.1.3 Marco geológico 18
2.1.4 Marco estructural 30
2.2 LÍNEA DE BASE DE CLIMA E HIDROLOGÍA 35
2.2.1 Marco climático 35
2.2.2 Marco hidrológico 35
3 CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO 38
3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS 38
3.2 CATASTRO DE INUNDACIONES TERRESTRES Y REMOCIONES EN MASA 39
3.3 CATASTRO DE INUNDACIONES LITORALES 40
3.4 CATASTRO DE SISMICIDAD 41
3.4.1 Antecedentes históricos 41
3.4.2 Sismos registrados por la red sismológica mundial 43
3.5 CATASTRO DE VOLCANISMO 46
4 DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS 48
4.1 CARACTERIZACIÓN DE FACTORES CONDICIONATES Y DESENCADENANTES 48
4.1.1 Inundación por desborde de cauces 48
4.1.2 Anegamientos 48
4.1.3 Inundaciones litorales 48
4.1.4 Flujos de barro y/o detritos 49
4.1.5 Procesos de ladera 49
4.1.6 Sismicidad 50
4.1.7 Volcanismo 50
4.2 CARACTERIZACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DOMINIO GEOMORFOLÓGICO 50
4.2.1 Comuna de Combarbalá 50
4.2.2 Comuna de Monte Patria 52

4.2.3 Comuna de Ovalle 53
4.2.4 Comuna de Punitaqui 56
4.2.5 Comuna de Río Hurtado 57
5 ZONIFICACIÓN DE LOS PELIGROS ANALIZADOS 63
5.1 PELIGROS NO ZONIFICABLES 63
5.1.1 Peligro sísmico 63
5.1.2 Peligro volcánico 64
5.2 PELIGROS ZONIFICADOS A ESCALA 1:5.000 64
5.2.1 Inundaciones 68
5.2.2 Remociones en masa 71
5.3 PELIGROS ZONIFICADOS A ESCALA 1:50.000 77
5.3.1 Inundaciones por desborde de cauce y flujos de barro y/o detritos 78
5.3.2 Procesos de ladera 81
5.3.3 Inundaciones litorales 83
6 CONCLUSIONES 85
7 RECOMENDACIONES 89
7.1 Zonificación de la susceptibilidad 89
7.2 Definición de las áreas de riesgo 90
7.3 Recomendaciones específicas 91
8 REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO 95

1 INTRODUCCIÓN

Este documento corresponde al Capítulo I "Áreas de Riesgos de origen Natural" y consiste en la línea de base geológica y geomorfológica a escala regional y local, líneas de base hidrológica y climática, un catastro de los peligros que han afectado a la provincia, un diagnóstico de los peligros geológicos reconocidos en los centros poblados de la Provincia de Limarí definidos en este estudio la zonificación de los peligros geológicos reconocidos y recomendaciones de restricciones de uso en función de los peligros geológicos.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este documento es identificar los peligros naturales presentes la Provincia de Limarí, mediante cartas de peligros de riesgos naturales, junto con sus respectivas áreas de restricción y condiciones para ser utilizadas.

1.2 MARCO JURÍDICO Y NOMENCLATURA UTILIZADA EN ESTE INFORME

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su artículo 2.1.17 "Disposiciones complementarias" indica que "En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas, se denominarán "zonas no edificables" o bien, "áreas de riesgo", según sea el caso, como se indica a continuación:

Por "zonas no edificables", se entenderán aquéllas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias.

Por "áreas de riesgo", se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se restringa 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 estudio, "áreas de riesgo" son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, dado que la zonificación se realizará (en etapas posteriores) 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 la TABLA 1-1 se presentan los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC, y la homologación con la nomenclatura internacional utilizada por este informe. A continuación se desglosan los anexos donde se definen estos peligros geológicos y los criterios de zonificación a utilizar.

- Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC: <u>Zonas inundables o potencialmente inundables</u>, 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. Este tópico que se explica conceptualmente en el ANEXO B.2.1

- 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, deslizamientos y flujos de barro y detritos) y los procesos litorales de erosión acentuada. Estos se explican conceptualmente en el ANEXO B.2.2. En el diagnóstico de peligros geológicos de este informe (sección 0), los peligros de caída de bloques, deslizamientos y retroceso de laderas se refieren conjuntamente como "procesos de laderas".

- 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, descritos en el ANEXO B.

TABLA 1-1: Cuadro de homologación "áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 de la OGUC

<table>
<tr><th>"Áreas de riesgo" según artículo 2.1.17 de la OGUC</th><th colspan="3">Peligros Geológicos estudiados en este trabajo</th></tr>
<tr><td rowspan="3">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</td><td rowspan="2">Inundaciones Terrestres</td><td colspan="2">Inundación por desborde de cauces</td></tr>
<tr><td colspan="2">Anegamiento</td></tr>
<tr><td>Inundaciones Litorales</td><td colspan="2">Tsunamis</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas</td><td rowspan="3">Remociones en masa</td><td colspan="2">Flujo de barro y detritos.</td></tr>
<tr><td>Caída de bloques</td><td rowspan="2">Procesos de ladera</td></tr>
<tr><td>Deslizamientos</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas</td><td colspan="3">Sismicidad</td></tr>
<tr><td colspan="3">Volcanismo</td></tr>
</table>

Elaborado en base a la definición del peligros establecida en el artículo 2.1.17 de la OGUC.

1.3 DEFINICIÓN DE LA ESCALA DE TRABAJO Y DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

Según lo indicado en las bases técnicas de la licitación, se considera como área de estudio a toda la provincia de Limarí, y dicho análisis intercomunal se realiza a escala 1:50.000. Además se realiza una caracterización comunal, abordando los centros poblados de mayor interés a escala 1:5.000[1].

La precisión cartográfica a estas escalas admite un error aproximado de 5 m y 50 m, para las escalas 1:5.000 y 1:50.000, respectivamente. Esto dado que son las dimensiones equivalentes a un milímetro de diferencia en la cartografía. En consecuencia, no será posible diferenciar rasgos geológicos o geomorfológicos, ni condiciones que se relacionen con la ocurrencia de los peligros geológicos analizados, cuyo tamaño sea menor que las dimensiones señaladas en cada una de las escalas respectivas. Los resultados de este trabajo no deben ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto puede llevar a errores en la planificación territorial.

[1] La escala de trabajo se expresa por medio de una fracción que indica la proporción entre las dimensiones representadas en un mapa y su correspondiente en terreno (distancia de un mapa / distancia real en terreno). Por ejemplo, 1:5.000 quiere decir que una unidad en el mapa equivale a 5.000 en la realidad, y por lo tanto 1 cm en el mapa equivale a 5.000 cm en la realidad (o 50 m).

Se analizaron con mayor detalle (escala 1:5.000) 74 centros poblados de las 5 comunas que conforman la Provincia de Limarí, que corresponden a áreas urbanas y a sus áreas de extensión urbana, además de otras localidades no incluidas en el Plan Regulador Intercomunal vigente. De ellos, 11 se ubican en la comuna de Combarbalá; 21, en la comuna de Monte Patria; 31, en la comuna de Ovalle; 3, en la comuna de Punitaqui; y 8 en la comuna de Río Hurtado (ver TABLA 1-2 y FIGURA 1.3-2).

Algunos de estos centros poblados no están cubiertos completamente por levantamiento topográfico a escala 1:5.000. En acuerdo con la contraparte de este estudio, se realizaron análisis complementarios ("Áreas con estudios complementarios" en la FIGURA 1.3-2) a escala aproximada 1:25.000 (en base al SRTM de 30 m), con la finalidad de identificar las zonas que pudiesen ser afectadas por riesgo geológico.

En la TABLA 1-3 se detallan las localidades que debieron ser complementadas con estudio de detalle, y el área que fue cubierta con este tipo de análisis. En particular, la localidad de Semita fue analizada a escala aproximada 1:25.000 por completo, ya que no se contaba con levantamiento topográfico a escala 1:5.000 para esta localidad.

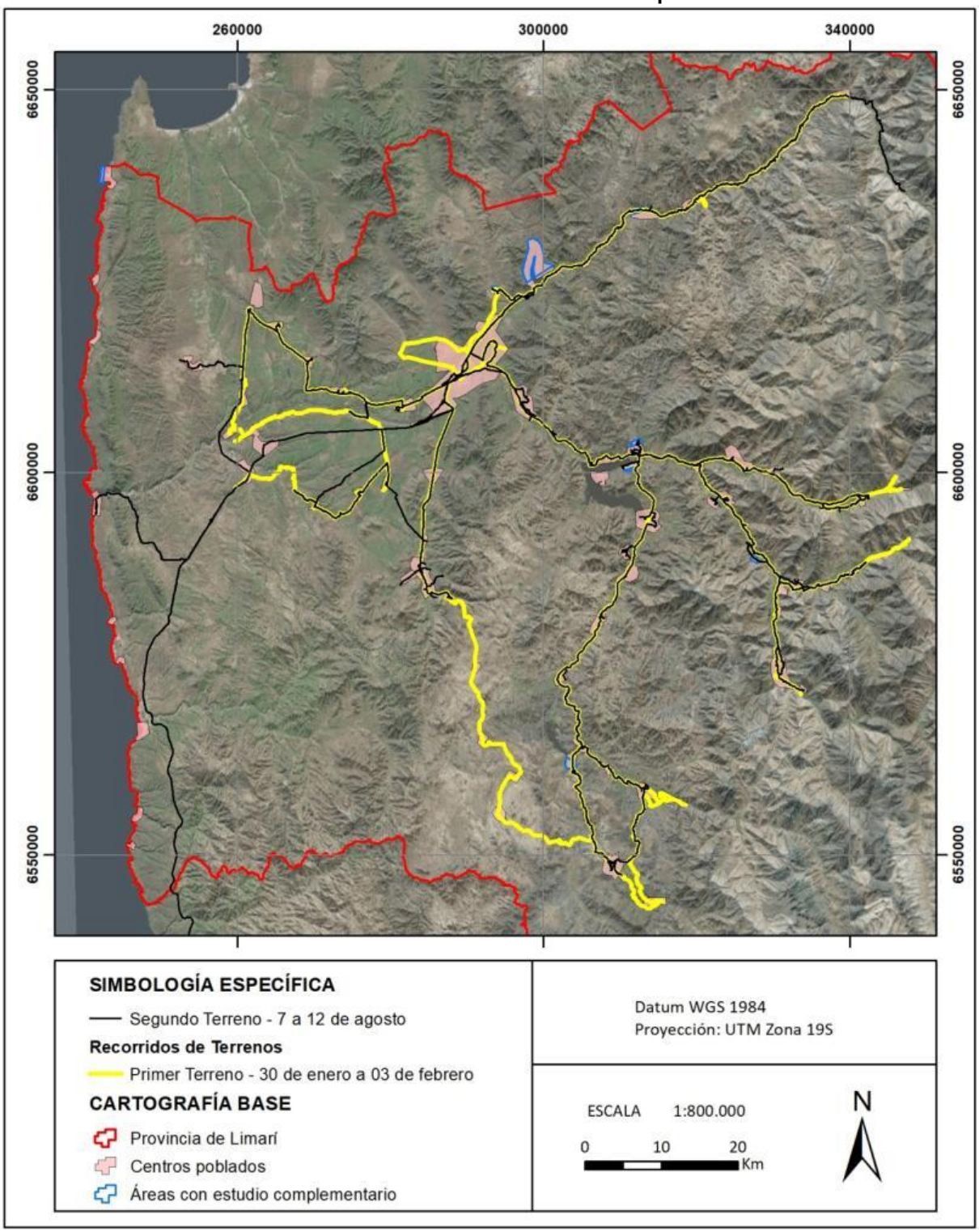
TABLA 1-2: Centros poblados a analizar en la Provincia Limarí

Nº	Comuna de Combarbalá	Comuna de Monte Patria	Comuna de Ovalle	Comuna de Punitaqui	Comuna de Río Hurtado
1	Cogotí	Carén	Barraza	El Toro	Huampulla
2	Combarbalá	Cerrillos de Rapel	Caleta El Sauce	Las Ramadas	Hurtado
3	El Huacho	Chañaral de Caren	Caleta La Cebada	Punitaqui	Las Breas
4	El Sauce	Chañaral Alto	Caleta Limarí		Pichasca
5	La Isla	Chilecito	Caleta Sierra		La Puntilla
6	La Ligua	El Coipo	Caleta Talca		Samo Alto
7	Ramadilla	El Pedregal	Caleta Talcaruca		Serón
8	Manquehua	El Tome Alto	Caleta Talquilla		Tabaqueros
9	Quilitapia	El Palqui	Caleta Totoral		Tahuínco
10	San Marcos	Huana	Camarico Chico - Viejo		
11	Sector Embalse	Huatulame	Carachilla		
12		La Península	Cerrillos de Tamaya		
13		Las Mollacas	Chalinga		
14		Las Paceras	El Trapiche		
15		Las Juntas	Embalse Recoleta		
16		Los Tapia	La Sossa		
17		Mialqui	La Torre-La Placa		
18		Monte Patria	Limarí		
19		Rapel	Los Nogales		
20		Tulahuén	Nueva Aurora		
21			Ovalle		
22			Quebrada Seca		
23			Quebrada Seca Industrial		
24			Recoleta		
25			San Julián		
26			Santa Cristina		
27			Socos		
28			Sotaquí		
29			Tabalí		
30			Unión Campesina		
31			Valdivia de Punilla		

TABLA 1-3 Localidades con análisis complementario a escala 1:25.000.

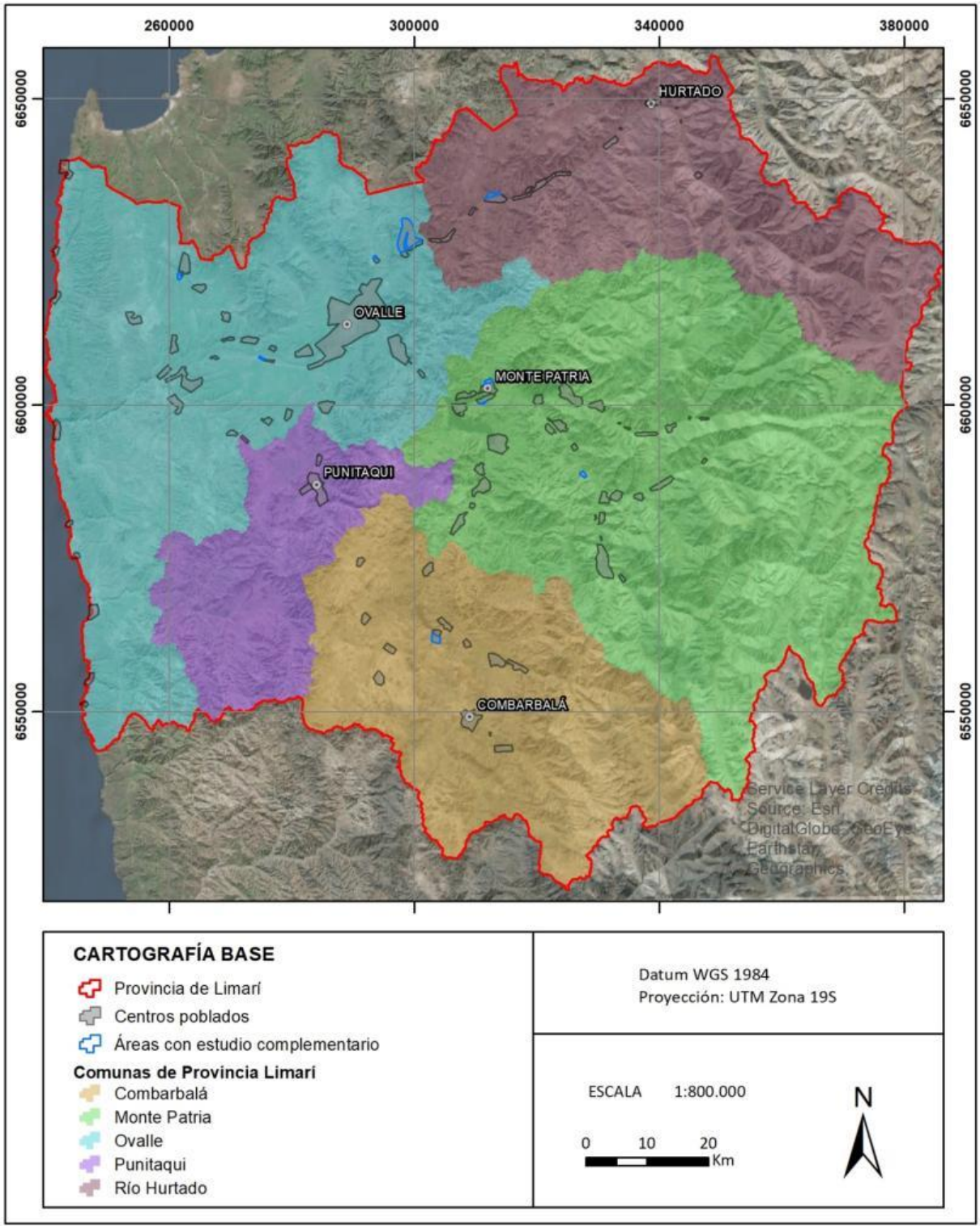
Localidad	Comuna	Área complementada [km2]
Sector Embalse Cogotí	Combarbalá	1,57
Huana	Monte Patria	0,27
Monte Patria	Monte Patria	0,70
Semita	Monte Patria	0,69
Caleta Totoral	Ovalle	0,20
Embalse Recoleta	Ovalle	10,94
Recoleta	Ovalle	0,16
San Julián	Ovalle	0,29

FIGURA 1.3-1: Recorrido realizado durante las campañas de terreno*



*Recorridos de terreno entre el 30 de enero y el 3 de febrero 2017 y entre el 7 y el 12 de agosto 2017

FIGURA 1.3-2: Delimitación de centros poblados a analizar en este estudio.



1.4 METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO

Las actividades realizadas se detallan a continuación:

a. Definición del estudio. El trabajo comienza con la definición del área a analizar. Para esto se debe considerar el objetivo del estudio completo, que en este caso es identificar y zonificar los peligros a los cuales se encuentran expuestos los centros poblados (ver sección 1.3).

b. Campañas de terreno: Se realizó un primer reconocimiento del área de estudio, mediante una visita a terreno llevada a cabo entre los días 30 de enero y 03 de febrero de 2017. Posteriormente, entre los días 7 y 12 de agosto 2017, se realizó una segunda campaña de terreno, con énfasis en revisar y validar el diagnóstico preliminar de peligros geológicos, junto con visualizar en terreno las características de la morfología de las cuencas, las coberturas, los tipos de suelo, y la revisión e identificación de los cauces y quebradas que atraviesan las zonas en estudio, y sus principales características. En la FIGURA 1.3-1, se muestran los recorridos del primer y segundo terreno.

c. Elaboración de la línea de base. Las líneas de base elaboradas son la de geología y geomorfología y la de clima e hidrología. Para la línea de base de geología y geomorfología se recopilaron y analizaron variadas fuentes de información: recopilación bibliográfica, interpretación de imágenes satelitales y caracterización en base a parámetros morfométricos. Como resultado, se obtuvieron los mapas geológico y geomorfológico, a escalas 1:1.000.000 y 1:50.000 respectivamente, así como un marco estructural a escala 1:50.000. Además se realizaron los mapas geológicos a escala 1:5.000 para los 74 centros poblados que fueron analizados y zonificados en detalle.

   Para la línea de base de hidrología se caracterizó la precipitación del área de estudio y los caudales disponibles. Para ello, se recolectaron y analizaron datos pluviométricos y fluviométricos. El resultado es un rango de precipitaciones esperadas para el área de estudio y de los caudales en los cauces que cuentan con información, para distintos períodos de retorno.

d. Catastro de peligros geológicos. Se identificaron los peligros que han afectado a la Provincia de Limarí, con énfasis en los centros poblados. El catastro de peligros se construye en base a la información obtenida mediante recopilación de antecedentes bibliográficos y registros históricos. El resultado es una lista de los principales eventos de cada uno de los peligros reconocidos que han afectado al área de estudio, que incluye, de ser posible, la fecha en que ocurrió, la superficie afectada y las consecuencias en las áreas urbanas.

e. Análisis de factores condicionantes y desencadenantes. Mediante la integración de la información de la línea de base y del catastro de peligros geológicos, se realizó una síntesis de los factores que condicionan y desencadenan los peligros reconocidos.

f. Diagnóstico de peligros geológicos en centros poblados. Se realizó una caracterización de los peligros geológicos que podrían afectar a los centros poblados, mediante la delimitación de zonas y segmentos indicadores de procesos de laderas, flujos de barro y/o detritos, inundaciones por desborde de cauce e inundaciones litorales, considerando rasgos geomorfológicos característicos de cada uno de los centros poblados.

g. Zonificación y elaboración de mapas de susceptibilidad. La zonificación de las áreas de estudio se realizó con posterioridad a la segunda campaña de terreno, en la cual se corroboró y mejoraron las observaciones obtenidas en las etapas previas. La zonificación de toda el área de la Provincia de Limarí se realizó a escala 1:50.000, para los riesgos: (1) flujos de barro y/o detritos y (2) procesos de ladera e inundaciones. Mientras que la zonificación para los centros poblados fue realizada a escala 1:5.000, para: (1) inundaciones por desborde de cauces, (2) anegamientos, (3) inundaciones litorales, (4) flujos de barro y/o detritos, (5) procesos de ladera.

h. Criterios de zonificación urbana en áreas de riesgo: Una vez conocidos los tipos de riesgos presentes, su magnitud y su alcance territorial, se propuso una serie de criterios que debieran aplicarse en la zonificación del área normada (a ambas escalas de zonificación), entendiendo que las herramientas de prevención y/o mitigación que se disponen son solamente las normas urbanísticas contenidas en la OGUC. Los criterios siguen los siguientes principios básicos: (1) Ocupar un área expuesta es más costoso que ocupar un área no expuesta; (2) Con las medidas de mitigación el peligro puede disminuir pero no desaparecer; (3) en un área expuesta no se deben localizar equipamientos esenciales (educación, salud, seguridad y gobierno) ni tampoco infraestructura pública sensible (agua potable, tratamientos de aguas servidas, energía, telecomunicaciones); y (4) las normas urbanísticas en áreas expuestas deben ser graduales respecto a la intensidad del uso, al porcentaje de ocupación del suelo y diferenciar si el área está ya consolidada o aún está sin ocupar.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Este trabajo corresponde al estudio fundado de riesgos y forma parte del estudio de Actualización del PRI de la Provincia de Limarí, que tiene por objetivo definir “áreas de riesgo” según lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC.

Incluye un catastro de los peligros que han afectado a las comunas estudiadas (Ovalle, Río Hurtado Monte Patria, Combarbalá y Punitaqui), un análisis de los factores que condicionan y desencadenan la ocurrencia de peligros de origen geológicos (geología, geomorfología, clima, hidrología), un diagnóstico y zonificación de aquellos peligros. Con base en lo anterior, se propusieron restricciones a los criterios de zonificación urbana para el área estudiada.

Por otro lado, debido a las limitaciones de los catastros elaborados, no se llevó a cabo un análisis de períodos de retorno (es decir, de peligrosidad o amenaza). En consecuencia, los mapas entregados corresponden a mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el ANEXO A).

Como se menciona en la Sección 1.3, las escalas de análisis que se utilizan en este informe son de 1:5.000 y 1:50.000, que en la práctica significa que la resolución máxima se aproxima a 5 m y 50 m, respectivamente, y en consecuencia, no es posible diferenciar rasgos geológicos o geomorfológicos, ni condiciones que se relacionen con la ocurrencia de los peligros geológicos analizados, cuyo tamaño sea menor que las dimensiones señaladas en cada una de las escalas respectivas. En consecuencia, los resultados de este trabajo no deben ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto puede llevar a errores en la planificación territorial.

Cabe mencionar que el levantamiento topográfico a escala 1:5.000 no abarcó la totalidad del área de estudio de 10 localidades de la provincia. El listado detallado de estas localidades se encuentra en la TABLA F-1 del Anexo F. Por lo tanto, en dichas localidades se realizaron análisis complementarios a escala aproximada 1:25.000 (en base a un modelo de elevación digital SRTM con resolución de 30 m), con el objetivo de identificar las zonas que pudiesen ser afectadas por riesgo geológico. Es importante destacar que este análisis a escala 1:25.000 tiene una aplicación referencial y los resultados para estos sectores no pueden ser considerados equivalentes a las áreas susceptibles identificadas en los estudios desarrollados con base en los insumos cartográficos de detalle (1:5.000). Por lo anterior, deben hacerse estudios de detalle específicos para estas áreas.

Este trabajo fue preparado en su totalidad por el equipo consultor, incluidas figuras y cuadros, excepto en aquellos casos que se señalan expresamente.

2 LÍNEA DE BASE

2.1 LÍNEA DE BASE DE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

2.1.1 MARCO GEODINÁMICO

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente, donde la Placa Oceánica de Nazca subducta a la Placa Continental Sudamericana bajo su margen occidental (Uyeda, 1979). Esta subducción, cuya tasa actual de convergencia se estima en 8 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 1994), se reconoce activa desde, al menos, el Jurásico (Mpodozis & Ramos, 1989). Durante el Eoceno – Mioceno, se reconocen importantes variaciones en l

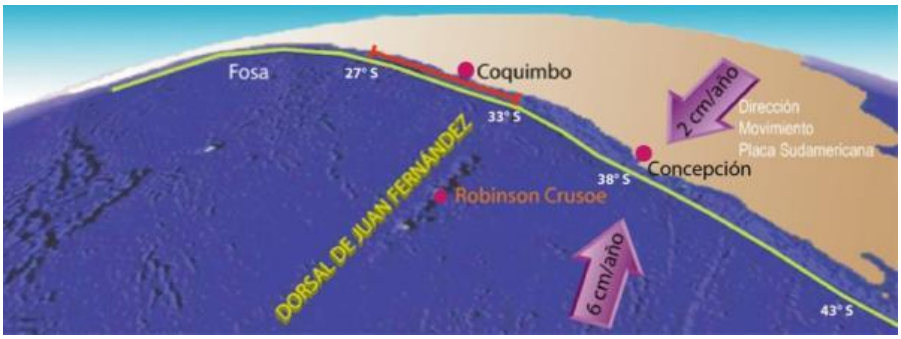
a tasa de convergencia, que van desde 5 a 15 cm/año (Somoza, 1998).

El área de estudio se encuentra a los ~30° S, dentro del segmento morfoestructural ubicado entre los 27° y los 33° S (FIGURA 2.1-1), que según el esquema de segmentación andina de Mpodozis & Ramos (1989), corresponde a una zona de subducción plana (FIGURA 2.1-2). Esta zona, a nivel regional, se destaca por presentar las siguientes características (Mpodozis y Ramos (1989)):

a) La subducción entre la Placa Oceánica de Nazca y la Placa Continental Sudamericana es de bajo ángulo (~10°).
b) La costa Oeste de la placa Sudamericana tiene un rumbo aproximado NS, mientras que al sur de los 33º la costa posee un rumbo aproximado N 20º E
c) No se aprecia el desarrollo de una depresión central en el antearco, y en cambio, se presentan valles transversales que fluyen en dirección este – oeste.
d) No hay registro de volcanismo cuaternario en la Cordillera Principal.
e) En Argentina se desarrollan las Sierras Pampeanas, que están asociadas a una intensa sismicidad cortical superficial y al ensanchamiento del orógeno.

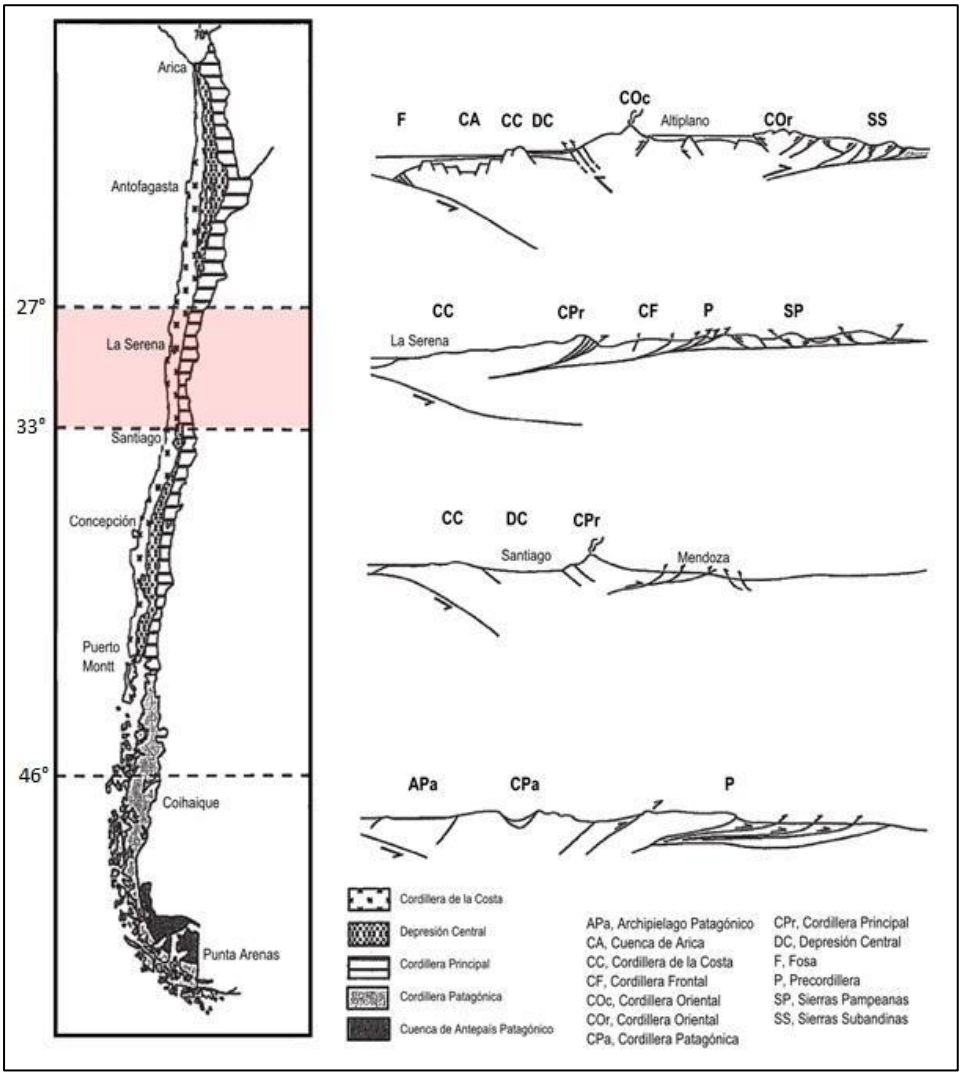
La acumulación y posterior relajación de los esfuerzos producto del régimen de subducción, es la causa de que todo Chile, desde Arica y hasta la península de Taitao por el sur, sea afectado frecuentemente por terremotos. La mayoría de estos sismos, y la totalidad de los eventos de gran magnitud, se originan en la zona del contacto entre placas, y corresponden a la liberación súbita de la mayor parte de la energía acumulada durante el proceso de subducción (Ej. sismo de Vallenar (1922), Ovalle (1943), Valparaíso (1985), Coquimbo (2015)). Los esfuerzos causados por la subducción también se propagan hacia el interior de la placa continental, y se liberan mediante sismos superficiales, normalmente de menor magnitud, pero más destructivos localmente. (Ej. sismo de Las Melosas (1958), Chusmiza (2001), Aysén (2007)). Otros sismos son provocados por la relajación de esfuerzos al interior de la placa de Nazca, una vez que esta ya se ha subductado a grandes profundidades. Estos últimos, a pesar de no tener las mayores magnitudes, pueden llegar a ser muy destructivos (Ej. sismo de Chillán (1939), Punitaqui (1997), Tarapacá (2005)).

FIGURA 2.1-1: Marco Geodinámico de Chile, al norte de los 43°S.



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

FIGURA 2.1-2: Segmentación Andina



Fuente: Charrier et al. (2007).

2.1.2 MARCO GEOMORFOLÓGICO

Las caracterizaciones geológica y geomorfológica se realizaron simultáneamente. Para ello, se utilizaron como antecedentes, principalmente, los siguientes trabajos del Sernageomin, correspondientes a cartas y hojas que incorporan distintos sectores de la Provincia de Limarí: Mpodozis & Cornejo (1988), Rivano & Sepúlveda (1991), Emparán & Pineda (2006), Emparán C. (200X), Pineda y Calderón (2008), Pineda & Emparán (2006) y Thomas (1967) y SERNAGEOMIN (2003).

Adicionalmente, se estudiaron trabajos científicos regionales, que se citan a lo largo del texto, y cuya referencia bibliográfica se presenta en la sección 0.

2.1.2.1 Caracterización regional

A una escala regional, el segmento andino comprendido entre los 27º S y los 33º S (la zona del *flat slab,* o subducción plana), muestra extensas unidades morfoestructurales (de centenas a miles de kilómetros de largo) dispuestas en franjas orientadas norte – sur. De oeste a este, y distribuidas entre Chile y Argentina, estas son la Cordillera de la Costa, Cordillera Principal, Cordillera Frontal, Precordillera y las Sierras Pampeanas (ver sección 2.1.1, FIGURA 2.1-2).

Para el segmento chileno comprendido entre los 30º y 33º S, Paskoff (1970) identifica 4 grandes unidades geomorfológicas que, de oeste a este, corresponden a la Franja Litoral, Cordillera de la Costa, Media Montaña y Alta Cordillera. En estudios posteriores (*e.g.* Mpodozis & Cornejo (1988), Rivano & Sepúlveda (1991)), se han mantenido estas unidades geomorfológicas, con variaciones en los nombres.

En el presente trabajo, la Franja Litoral fue dividida en las unidades Terrazas de Abrasión Marina y Terrazas de Acumulación Marina; adicionalmente, se incorporaron las unidades Terrazas Aluviales Antiguas y Valles Principales. A continuación, se describen cada una de las unidades geomorfológicas mencionadas, las cuales se presentan gráficamente a escala 1:750.000 en la FIGURA 2.1-3.

a) Terrazas de Abrasión Marina: corresponde a numerosas superficies rocosas relativamente planas, con diferentes altitudes (4 niveles, que oscilan entre los 40 m s. n. m y sobre los 480 m s. n. m.) y anchos que varían entre los 800 m y 15 km aprox. Se disponen como una franja norte sur que limita al occidente toda la Provincia de Limarí, y están labradas sobre rocas de diversos tipos, entre metamórficas, granitos y areniscas recientes poco consolidadas (Chávez en Herbert (1967), (Paskoff, 1970)).

b) Terrazas de Acumulación Marina: corresponde a superficies llanas, alzadas (hasta 150 m s. n. m.), y profundamente incididas por la red de drenaje actual. Aflora en el sector noroccidental de la Provincia de Limarí, y se extienden hacia la bahía de Tongoy. Estas terrazas están constituidas por secuencias sedimentarias marinas fosilíferas, asociadas a la Formación Coquimbo (Emparán & Pineda, 2006).

c) Cordillera de la Costa: cadena montañosa ubicada inmediatamente al occidente de las unidades Terrazas de Abrasión Marina y Terrazas de Acumulación Marina. Se compone de cerros desde 200 m s. n. m. hacia arriba, y cuyas cumbres rara vez sobrepasan los 1.000 m s. n. m. Esta unidad presenta un ancho variable, de entre 20 y 40 km, y limita al oriente con la unidad Media Montaña.

d) Media Montaña: cadena montañosa discontinua con alturas variables, entre los 500 y 2200 m s. n. m. Se desarrolla al oriente de la Cordillera de la Costa, como una zona transicional hacia la unidad de la Alta Cordillera. Presenta un ancho que oscila entre los 40 y 60 km. Además de las serranías, aproximadamente entre las localidades de Punitaqui y Combarbalá, se desarrollan extensos llanos labrados directamente sobre roca, donde la incisión fluvial actual es incipiente. Hacia el sector oriental, las altitudes de las

cumbres y las pendientes de las laderas tienden a ir en un aumento progresivo, alcanzando estos últimos valores que, en general, superan los 30°.

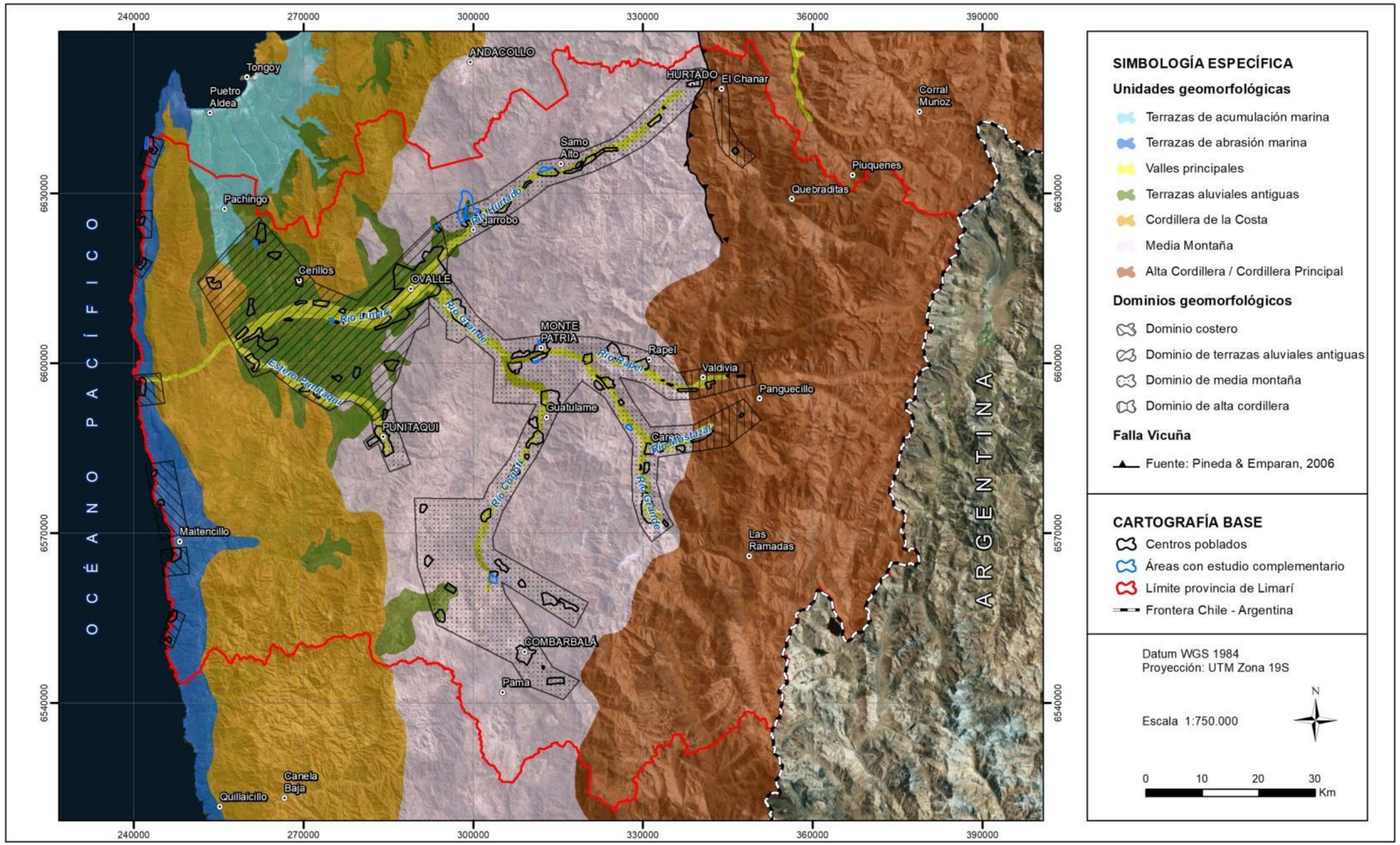
e) Alta Cordillera / Cordillera Principal: cadena montañosa elevada y maciza, cuyas alturas se inician desde los 2.200 m s. n. m., y cumbres sobrepasan los 4000 m s. n. m., con alturas máximas que incluso superan los 5500 m s. n. m. En esta unidad se observan vestigios de la acción reciente de glaciares, y es el lugar donde se identifican las mayores pendientes (Paskoff, 1970). De acuerdo con Mpodozis & Cornejo, la Alta Cordillera, entre los 30° y 31°S, presenta enormes desniveles con respecto a los fondos de sus valles, los que sobrepasan los 2.000 m, e incluso llegan a tener hasta 3.000 m de diferencia de cotas. Esta unidad se encuentra intensamente glaciada, con valles en forma de U, circos orientados al sur y al este, morrenas, escombros crionivales, glaciares residuales y glaciares de roca. Estos rasgos corresponden a remanentes de las glaciaciones del Cuaternario, las que modelaron vigorosamente el relieve sobre los 3.000 m s. n. m. El límite entre la Alta Cordillera y la Media Montaña, en el sector norte, está claramente definido por la ubicación de la falla Vicuña. Hacia el sur de la misma (latitud de Ovalle, a los ~30,6°S), al desaparecer la falla Vicuña, se desvanece también el fuerte salto topográfico entre ambos conjuntos morfológicos. Por lo tanto, el límite entre estas 2 unidades, en este trabajo, se definió aproximadamente a los 2.200 m s. n. m., tal como indican Rivano & Sepúlveda (1991).

f) Valles Principales: corresponden a los valles fluviales de mayores dimensiones (ríos Limarí, Hurtado, Grande, Rapel, Mostazal, Guantulame y Estero Punitaqui). En sus partes medias y distales (al oeste de Ovalle), escurren aproximadamente de este a oeste y, aguas arriba, se ramifican formando una red con tributarios dendríticos, que fluyen en variadas direcciones. En la parte superior de las hoyas hidrográficas (es decir, en la Alta Cordillera), es común observar perfiles transversales en forma de "U", que los derrumbes activos y los coluvios no han llegado a obliterar por completo. Esta unidad presenta anchos variables (desde centenares de metros hasta casi 4 km), siendo el curso medio el lugar donde suelen desarrollar su mayor extensión. En el curso inferior del río Limarí (luego de la confluencia con el estero Punitaqui), el valle se angosta (< 1 km de ancho) e incide las unidades Cordillera de la Costa y Terrazas de Abrasión Marina, en un cajón fluvial que no supera los 300 m de altura con respecto al lecho del cauce, y que presenta pendientes entre 30° y 45° en las laderas que lo confinan.

g) Terrazas Aluviales Antiguas: en el sector occidental de la Media Montaña y distribuido en distintos sectores de la Cordillera de la Costa, se observan extensas llanuras aluviales, las cuales se encuentran aterrazadas respecto de los depósitos aluviales de los Valles Principales. Las alturas de estas terrazas llegan hasta los 150 m de altura aprox, y presentan escarpes con pendientes que oscilan entre los 15° y 30°. Los depósitos de esta unidad se correlaciona con la Formación Confluencia (Rivano & Sepúlveda, 1991; Emparán & Pineda, 2006; Emparán C. , 200X).[2]

[2] La denominación 200X explica que se desconoce el año preciso de la edición o publicación del texto citado.

FIGURA 2.1-3: Unidades geomorfológicas regionales y dominios geomorfológicos



PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

2.1.2.2 Dominios geomorfológicos de los centros poblados

Dado que los centros poblados de este estudio (ver sección 1.3) se distribuyen sobre distintas unidades geomorfológicas, en este informe se han definido 4 dominios geomorfológicos, que agrupan dichas áreas según características comunes. Estos dominios corresponden al Dominio costero, Dominio de terrazas aluviales antiguas, Dominio de media montaña y Dominio de alta cordillera (ver sección 2.1.2.1, FIGURA 2.1-3). Las características de cada dominio se describen a continuación, y sus distribuciones de altura y pendiente se presentan en la FIGURA 2.1-4 y FIGURA 2.1-5, respectivamente.

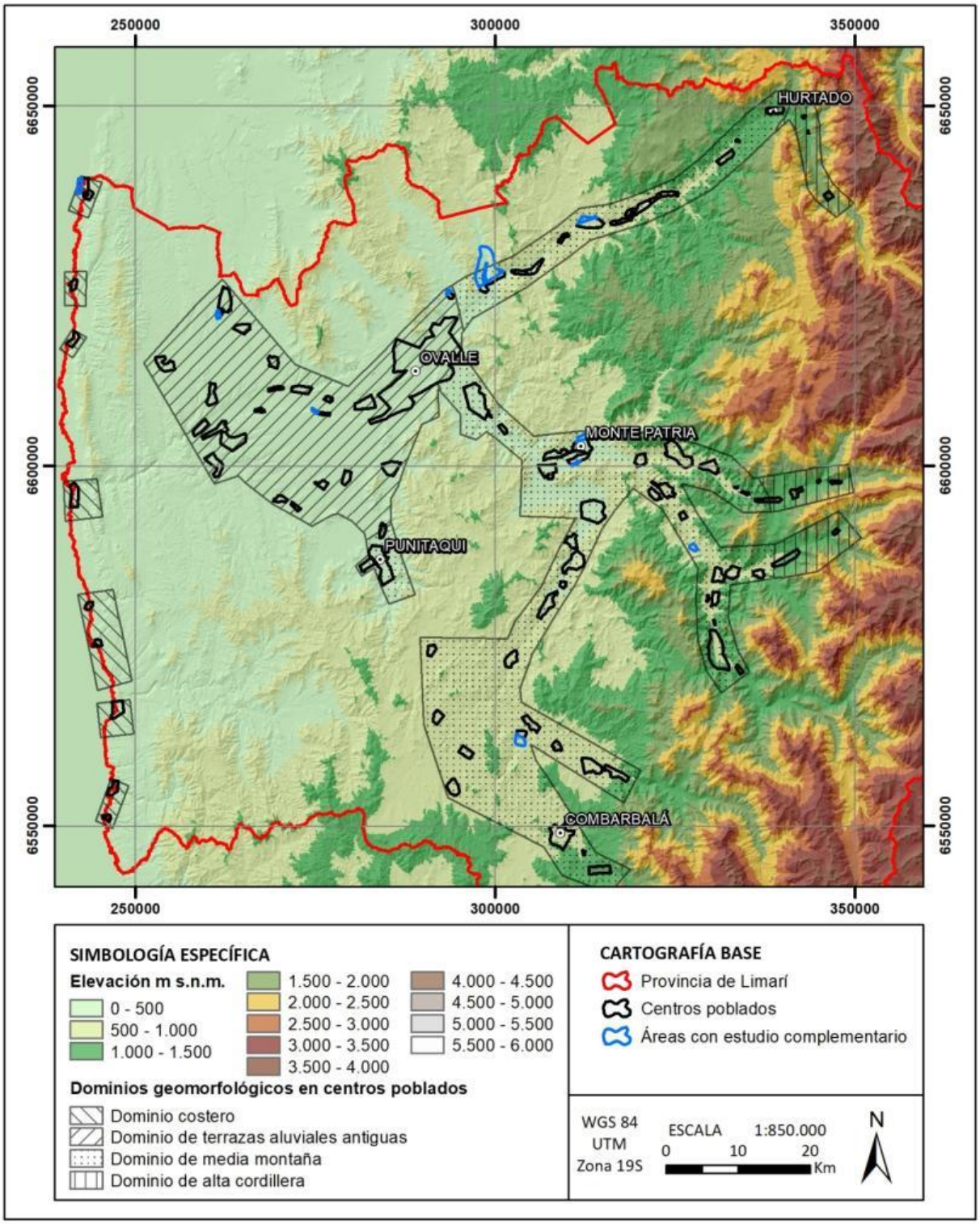
a) Dominio costero: se ubica sobre la unidad geomorfológica Terrazas de Abrasión Marina, en el extremo occidental de la Provincia de Limarí. Se compone de 7 centros poblados, en las que los llanos de rocas labradas son fuertemente incididas por la red de drenaje actual (más de 100 m de altura con respecto al cauce principal). Tanto la incisión de los cauces fluviales, como los resaltos topográficos de los distintos niveles de terrazas, dan origen a escarpes con pendientes que oscilan entre los 30° y 40°.

b) Dominio de terrazas aluviales antiguas: se compone principalmente de la unidad geomorfológica Terrazas Aluviales Antiguas, que es fuertemente incidida a por la unidad Valles Principales (ríos Limarí y Estero Punitaqui). Este dominio corresponde a una única área, ubicada entre las localidades de Ovalle, Punitaqui y la confluencia entre el río Limarí y el Estero Punitaqui. La característica morfológica que más destaca, corresponde a la gran altura de las terrazas aluviales (más de 150 m de altura con respecto al cauce principal), y la gran extensión de los llanos aluviales.

c) Dominio de media montaña: corresponde al entorno de los Valles Principales al oriente de Ovalle y de Punitaqui, que se encajonan en la unidad de Media Montaña. En general, sus valles presentan anchos que no superan los 1.500 m, y las laderas que los confinan tienen a ser menores a 30° en el sector occidental, mientras que hacia el sector oriental, aumentan progresivamente, superando en general los 30°.

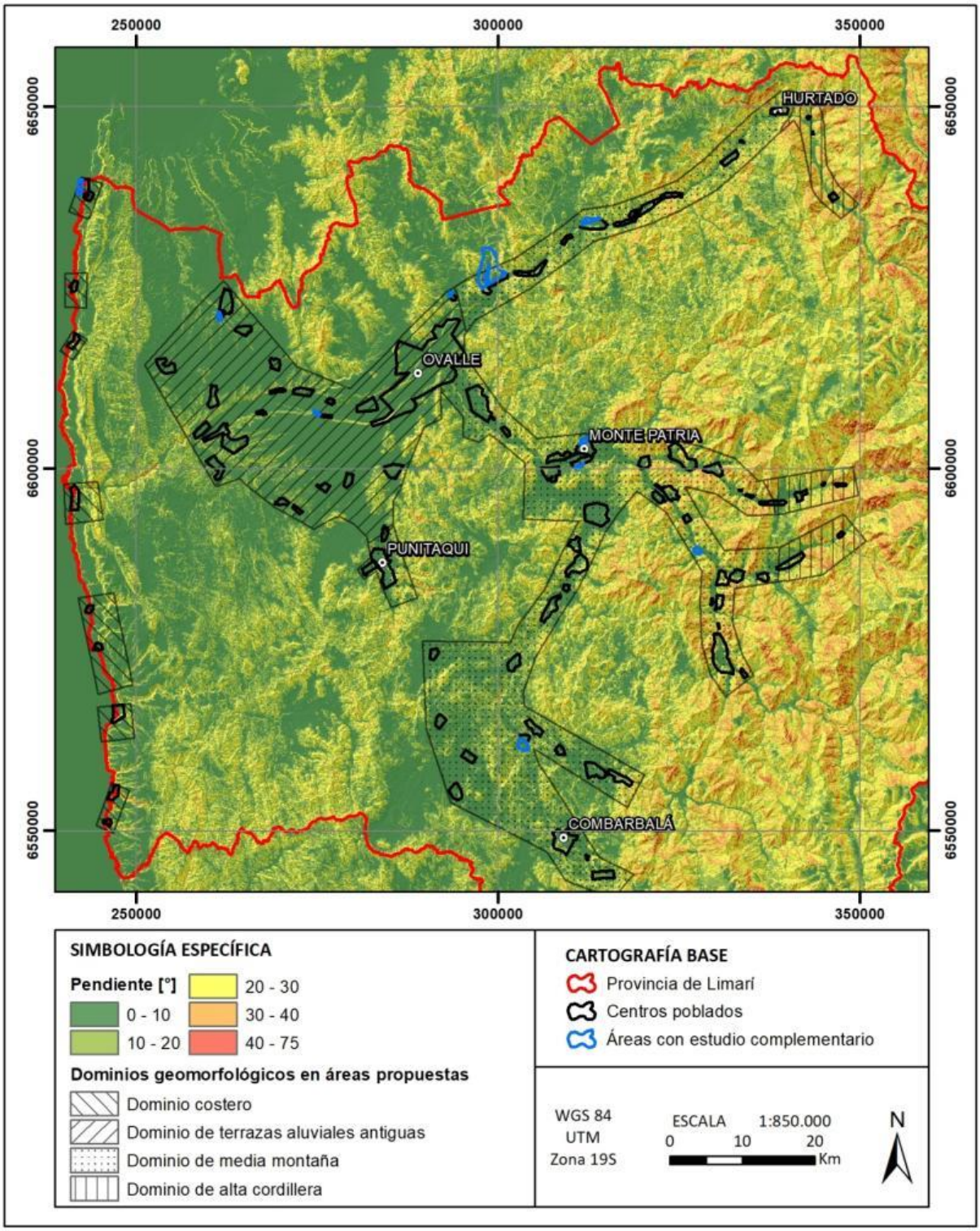
d) Dominio de alta cordillera: corresponde a 2 áreas, de menores extensiones que las áreas de los dominios anteriores, ubicados sobre Valles Principales (ríos Rapel y Mostazal) en la Alta Cordillera. El fondo de los valles fluviales tiende a estrecharse (< 1 km), y las laderas que los confinan presentan grandes diferencias de altura con respecto a los cauces principales (entre 1.000 y 1.300 m), y pendientes que tienden a superar los 35°.

FIGURA 2.1-4: Carta de elevaciones en los dominios geomorfológicos



Elaborado a partir del Modelo Digital de Elevación SRTM de 30 m

FIGURA 2.1-5: Carta de pendientes en los dominios geomorfológicos



Elaborado a partir del Modelo Digital de Elevación SRTM de 30 m

2.1.3 MARCO GEOLÓGICO

2.1.3.1 Caracterización geológica de la provincia de Limarí

En el área de la Provincia de Limarí afloran rocas estratificadas, metamórficas e intrusivas cuyo rango de edades va desde el Paleozoico hasta el Mioceno. Estas rocas a su vez se encuentran cubiertas por depósitos no consolidados cuaternarios de origen fluvial, aluvial y glacial. Principalmente gravas, arenas y limos del curso actual de ríos o de sus terrazas sub actuales y llanuras de inundación (SERNAGEOMIN, 2003).

En la franja costera aflora el basamento metamórfico de edad Paleozoica correspondiente al Complejo Metamórfico del Choapa de edad Devónica-Carbonífera, el que se encuentra cubierto discordantemente por secuencias volcánicas y sedimentarias tanto marinas cómo continentales. Mientras tanto en la faja andina predominan formaciones cretácicas volcánicas o volcano-clásticas con intercalaciones sedimentarias marinas del Cretácico Inferior o continentales del Cretácico Superior-Terciario Inferior en la parte central (Thomas, 1967). Las rocas intrusivas corresponden a franjas con orientación preferencial norte-sur, entre las que se destaca por su extensión el Batolito Elqui-Limarí que aflora en el sector oriental.

En el entorno de intrusivos graníticos de orientación aproximada NNW, de edad Cretácica o Paleógena, se generan zonas de contacto y alteraciones hidrotermales que aportan mineralización de cobre, oro, hierro, manganeso y mercurio al igual que la generación de yacimientos de dos piedras ornamentales: el lapislázuli (en la zona andina) y la combarbalita, en torno a la ciudad de Combarbalá (Oyarzún, 2010).

Finalmente, tanto las rocas metamórficas paleozoicas, las rocas sedimentarias y volcánicas triásico-jurásicas y los intrusivos jurásicos – cretácicos se encuentran cubiertos en discordancia por depósitos del Neógeno Superior a la actualidad, los que a su vez, se encuentran disectados por los actuales cauces fluviales y aluviales que se reconocen en la zona (SERNAGEOMIN, 2003).

Las unidades geológicas que han sido definidas para el área de estudio se describen a continuación y se muestran a escala regional en la FIGURA 2.1-6.

2.1.3.1.1 Unidades de Roca

a) ROCAS METAMÓRFICAS DEL PALEOZOICO

El Complejo metamórfico del Choapa (Rivano & Sepúlveda, 1991), de edad Devónica-Carbonífera, agrupa un conjunto de metasedimentitas y metabasitas. Se conforman por esquistos de actinolita, clorita y plagioclasa color verde, esquistos de cuarzo, epidota y biotita, y filitas de biotita, muscovita, anfíbola, cuarzo y epidota (Emparán & Pineda, 2006).

b) ROCAS INTRUSIVAS DEL PALEOZOICO

El Batolito Elqui Limarí (Mpodozis, Parada, Rivano, & Vicente, 1976) corresponde a un complejo de granitoides con una orientación principal norte - sur, aflora tanto en la Cordillera principal (o Alta Cordillera). Mpodozis y Cornejo (1988) agruparon los plutones que constituyen este batolito en dos superunidades, en base su petrografía, textura, relaciones de contacto y edad, definiendo la Superunidad Elqui y la Superunidad Ingaguas:

- Superunidad Elqui: De edad Carbonífera-Pérmica (Mpodozis & Cornejo, 1988). Agrupa a un conjunto de plutones de grandes dimensiones (decenas de km^2) que constituyen la porción occidental del batolito (Nasi, Mpodozis, Cornejo, Moscoso, & Maksaev, 1985). Corresponden a granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de grano grueso con hornblenda y biotita.
- Superunidad Inguaguás: es una asociación de plutones, en general hololeucocráticos, que se disponen en su mayoría, al oriente de los afloramientos de la Superunidad Elqui. Incluye desde gabros a granitos, los

que intruyen a la Superunidad Elqui y a las secuencias estratificadas y rocas metamórficas del Paleozoico Superior-Triásico Inferior. Mpodozis y Cornejo (1988) le asignan una edad del Pérmico al Triásico Medio.

c) ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCÁNICAS DEL PALEOZOICO

La Formación Hurtado (Mpodozis & Cornejo, 1988) agrupa a secuencias sedimentarias de edad devónica-carbonífera. Se conforma por areniscas, lutitas y pizarras grises y secuencias continentales y marinas del Carbonífero superior-Pérmico de areniscas, conglomerados, lutitas, calizas y mármoles en la Cordillera Principal al noreste de la Provincia.

d) ROCAS VOLCÁNICAS DEL PÉRMICO-TRIÁSICO

El Paleozoico superior. Triásico Inferior, está caracterizando por la Formación Pastos Blancos (Mpodozis & Cornejo, 1988), que se dispone en la Cordillera Principal, en un frnaja de elongación norte-sur, limitando con Argentina. Incluye secuencias volcánicas continentales y complejos subvolcánicos de tobas, brechas, lavas y domos riolíticos y dacíticos con intercalaciones de areniscas y conglomerados.

e) ROCAS SEDIMENTARIAS DEL TRIÁSICO

Secuencia sedimentaria marina y transicionales del Triásico superior que aflora en la zona costera (Thomas, 1967). Se conforma por areniscas, conglomerados, limolitas y calizas.

f) ROCAS INTRUSIVAS DEL TRIÁSICO

El Complejo Plutónico Altos de Talinay (Emparán & Pineda, 2006) de edad triásica superior (213-207 Ma), aflora con orientación norte-sur en el sector más occidental de la Cordillera de la Costa. Se conforma por granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, dioritas y gabros de piroxeno y hornblenda y sienogranitos.

g) ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCÁNICAS DEL JURÁSICO

Las rocas estratificadas del jurásico incluyen a las formaciones sedimentarias Tres Cruces, Algarrobal y al Complejo volcánico Agua Salada.

Se encuentran secuencias sedimentarias marinas litorales o de plataforma pertenecientes a las formaciones y Tres Cruces (Thomas, 1967), de edad jurásica inferior a medio. Las cuales contienen calizas, areniscas calcáreas, lutitas, conglomerados y areniscas con intercalaciones volcanoclásticas y lávicas y basaltos almohadillados en la Cordillera Principal a esta latitud.

El Complejo volcánico Agua Salada (Emparán & Pineda, 2006) corresponde a una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias continentales y marinas. Formadas por lavas y brechas, andesíticas y basálticas con intercalaciones de calizas y areniscas marinas fosilíferas de edad Jurásica en la Cordillera de la Costa.

La Formación Algarrobal (Thomas, 1967) contiene secuencias sedimentarias y volcánicas continentales del Jurásico medio a superior. Compuestas por rocas epiclásticas, piroclásticas, y lavas andesíticas porfíricas de anfíbola a riolíticas que se intercalan con brechas epiclásticas rojas y con lentes de areniscas, ubicadas en la Cordillera Principal.

h) INTRUSIVOS DEL CRETÁCICO

Afloran principalmente en la Cordillera Principal intruyendo las secuencias Cretácicas volcánicas o volcanoclásticas en esta franja norte sur. Entre ellos se encuentran los siguientes intrusivos definidos en Pineda y Calderón (2008):

- Monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornblenda y biotita, granodioritas y tonalitas del Cretácico inferior alto al Cretácico superior bajo en la Cordillera de la Costa al este del sistema de Fallas Atacama-El Romeral y asociados a mineralización de Fe-Cu-Au (Candelaria) y Cu-Au (Andacollo).
- Monzodioritas, granodioritas, gabros y dioritas de piroxeno, biotita y hornblenda, pórfidos andesíticos y dioríticos del Cretácico superior entre las cordilleras de la Costa y Principal (Diorita Pichasca y Monzodiorita, El Pedregoso)
- Pórfidos andesíticos-dioríticos, dacíticos y riolíticos del Cretácico Superior. Entre las cordilleras de la Costa y Principal, asociados a secuencias volcánicas de edad similar.

i) ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCÁNICAS DEL CRETÁCICO

Corresponden a secuencias sedimentarias y volcó-sedimentarias principalmente en la Precordillera y Cordillera Principal de la provincia de Limarí. Incluye a las formaciones Arqueros, Pucalume, Tascadero, Los Elquinos, Viñita, y a los Estratos de Totora.

La Formación Arqueros (Emparán & Pineda, 1999), de edad jurásica superior a cretácica inferior, corresponde a una secuencia volcánica principalmente andesítica - basáltica, de color gris oscuro a pardo oscuro, con intercalaciones sedimentarias marinas, principalmente calizas, areniscas y lutitas. Emparán y Pineda (2006) la han acotado en edad neocomiana (Cretácico Inferior).

La Formación Pucalume (Dediós, 1967) de edad Aptiana-Cenomaniano aflora la Cordillera Principal. Y se comforma por secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y lacustres compuestos por areniscas gruesas, conglomerados de grano medio, limolitas, calcilutitas.

La Formación Río Tascadero (Mpodozis & Cornejo, 1988) se constituye de secuencias sedimentarias marinas litorales carbonatadas, compuestas por calizas de grano fino con intercalaciones de lutitas, calcarenitas, areniscas, margas y coquinas de edad Neocomiana.

Los Estratos de Quebrada de Totora (Emparán & Pineda, 1999), de edad Cretácica superior (Albiano superior-Turoniano) corresponde a una secuencia sedimentaria continental de orientación, que aflora de norte sur a la longitud de la ciudad de Monte Patria. De de base a techo se compone de brechas piroclásticas líticas, conglomerados monomícticos y areniscas calcáreas lacustres, lutitas y tobas intercaladas y finalmente conglomerados tobáceos pardos rojizos y areniscas de guijarro.

La Formación Los Elquinos (Emparán & Pineda, 1999) aflora al oeste de la continuación de la Falla Vicuña. Corresponde a una secuencia volcano-sedimentaria continental, del Cretácico Superior (Campaniano – Maastrichtiano). Está compuesta por areniscas de guijarros, conglomerados, tufitas, tobas cineríticas líticas con intercalaciones de lavas andesíticas y calizas lacustres.

La Formación Viñita corresponde a una secuencia sedimentaria y volcánica del Cretácico superior bajo a Cretácico superior alto, que aflora en la Cordillera Principal. Se conforma por secuencias volcánicas continentales de rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas de anfíbola y piroxeno con intercalaciones de tobas de lapilli y brechas piroclásticas.

También en la Cordillera Principal se encuentran secuencias ignimbríticas y complejos volcánicos ácidos de domos e intrusivos dacíticos a riolíticos asociados a calderas de colapso, además de secuencias volcánicas continentales de lavas, domos y brechas basálticos a dacíticos con intercalaciones piroclásticas y epiclásticas en la Precordillera, ambas secuencias de edad Cretácica superior.

j) INTRUSIVOS DEL PALEÓGENO

Intrusivos que afloran en toda la Cordillera principal e intruyen las secuencias volcánicas y volcano-sedimentarias Cretácicas (SERNAGEOMIN, 2003), los cuales se pueden resumir cómo:

- Intrusivos Paleocenos de Dioritas y dioritas cuarcíferas de grano fino a medio de anfíbola y biotita, y granodioritas de anfíbola y biotita.
- Intrusivos Eocenos consistentes en monzogranitos , granodioritas de biotita, anfíbola y piroxeno, y dioritas cuarcíferas de grano fino a medio de anfíbola y piroxeno florando en la Cordillera Principal al sur principalmente al sur del área de estudio.
- Intrusivos del Oligoceno inferior Granodioritas, tonalitas y dioritas cuarcíferas de grano medio con hornblenda y biotita y del Oligoceno-Mioceno consistentes principalmente en monzogranitos leucocráticos y monzonitas con monzodioritas subordinadas.
- Dioritas de grano medio a fino y gabros de hornblenda de edad Terciaria, de grano fino, además de dioritas cuarcíferas, tonalitas, pórfidos andesíticos subordinados y granodioritas leucocráticas.

k) ROCAS VOLCÁNICAS DEL PALEÓGENO

En la provincia de Limaría aflora un pequeño afloramiento de esta unidad en la Cordillera Principal, en el límite con la provincia de Elqui. De edad Eocena, corresponde a lavas y brechas basálticas a andesíticas con intercalaciones de rocas piroclásticas y domos riolíticos (SERNAGEOMIN, 2003).

l) INTRUSIVOS DEL NEÓGENO

Corresponden a pequeños stocks que afloran en el cordón fronterizo con Argentina de la Unidad Infiernillo (Maksaev, Moscoso, Mpodozis, & Nasi, 1984). Corresponden a pórfidos dacíticos, andesíticos, monzodioritas y dioritas de hornblenda, piroxeno y biotita.

m) ROCAS SEDIMENTARIAS DEL NEÓGENO

Corresponden a afloramientos dispuestos en valles aluviales antiguos y secuencias sedimentarias marinas dispuestos sobre la Cordillera de la Costa. De acuerdo a Emparan y Pineda (2000) corresponden a:

- La Formación Confluencia, compuesta de secuencias sedimentarias clásticas continentales de piedemonte, aluviales, coluviales o fluviales. Incluyen conglomerados gruesos, areniscas y limolitas de edad Miocena superior-Pliocena que se encuentran formando terrazas altas de brechas poco consolidadas polimícticas con matriz de arena, y conos aluviales. Los cuales se encuentran cortados por depósitos aluviales recientes.
- Secuencias sedimentarias marinas transgresivas: areniscas, limolitas, coquinas, conglomerados, calizas y fangolitas de edad Miocena superior-Pliocena.

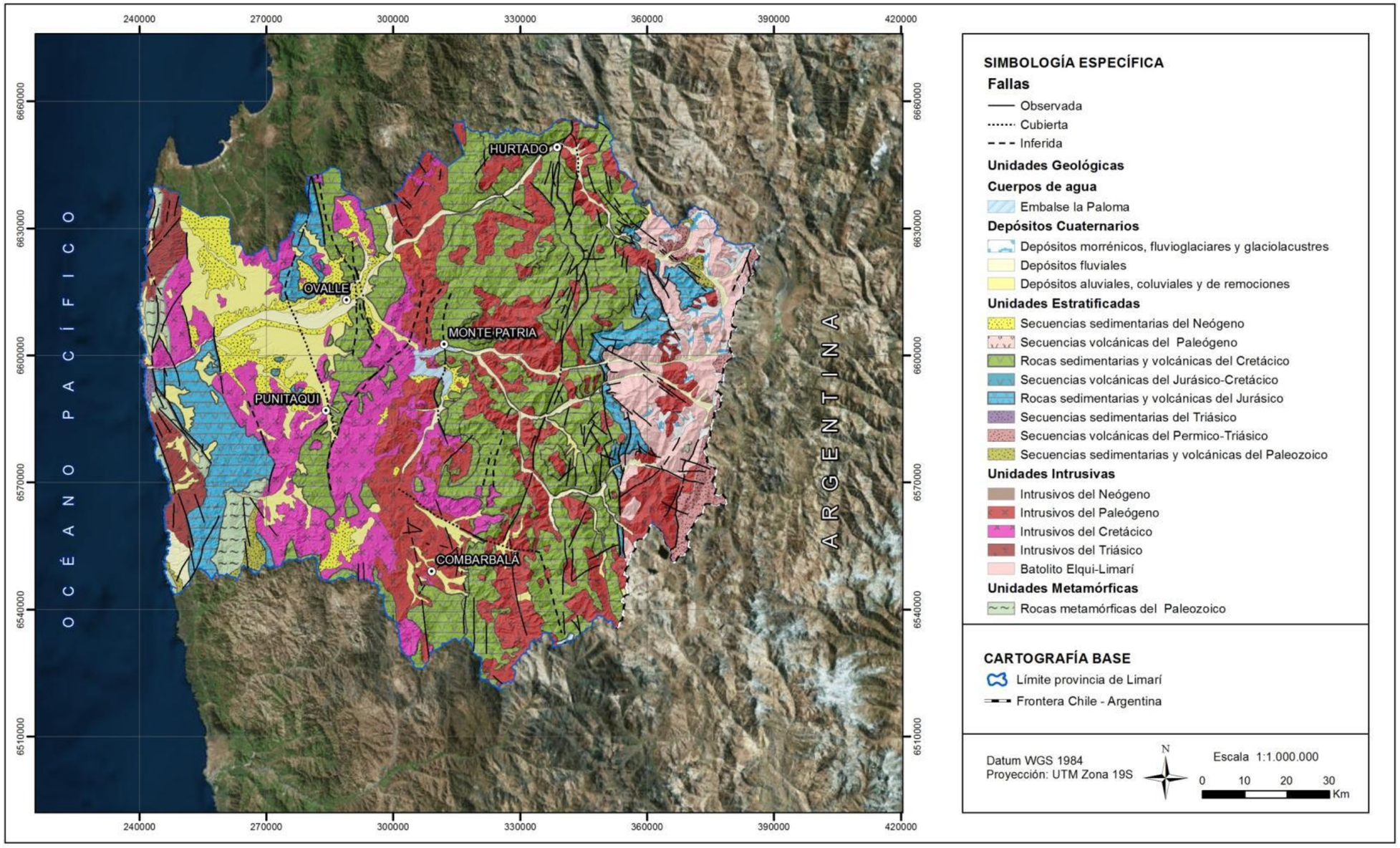
2.1.3.1.2 Depósitos No Consolidados

n) DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Corresponden principalmente a sedimentos aluviales, coluviales, de remociones en masa, fluviales, glaciolacustres, fluvioglaciares y morrénicos distribuidos a lo largo de toda el área de estudio, con edades que van desde el Pleistoceno hasta el Holoceno. Que en la geología a escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003) están definidas como:

- Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glaciolacustres: diamictos de bloques y matriz de limo/arcilla, gravas, arenas y limos ubicados en el sector más oriental de la Cordillera Principal.
- Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados tanto en la Cordillera de la Costa como en la zona de los Valles transversales. Conforman abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
- Depósitos fluviales de gravas arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.

FIGURA 2.1-6: Mapa Geológico de la Provincia de Limarí



Elaborado a partir de SERNAGEOMIN (2003)

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

2.1.3.2 Caracterización geológica de los centros poblados

En el área de análisis de detalle afloran rocas estratificadas e intrusivas, cuyo rango de edades va desde el Paleozoico hasta el Eoceno (Sección 0). Estas rocas, a su vez, se encuentran cubiertas por depósitos no consolidados de origen fluvial, aluvial, fluvio-aluvial, coluvial, de remociones en masa y antrópicos (Sección 2.1.3.2.3) y por depósitos semiconsolidados de origen fluvio aluvial (Sección 2.1.3.2.2).

Para este estudio, y dentro del área de análisis de detalle, las unidades de roca definidas previamente en la literatura científica (en los trabajos de Pineda y Emparán (2006), Emparán y Pineda (1999), Pineda y Calderón (2008), Rivano y Sepúlveda (1986), Bohnhorst (1967), Mpodozis & Cornejo (1988) y SERNAGEOMIN (2003)), fueron agrupadas de acuerdo a criterios litológicos y geocronológicos, con el fin de sintetizar esquemáticamente tal información.

Estas unidades geológicas fueron mapeadas para ser representadas a escala 1:5.000 en los asentamientos poblados de la Provincia de Limarí analizados en este estudio (TABLA 1-2). En este informe, y a modo referencial, los mapas geológicos de detalle para cada una de estas localidades se presentan en el ANEXO F, en el orden que se muestra en las TABLA 2-1, TABLA 2-2, TABLA 2-3, TABLA 2-4 y TABLA 2-5.

TABLA 2-1 Número de las figuras de los mapas geológicos elaborados a escala 1:5.000 en las áreas urbanas de la comuna de Combarbalá (presentadas en el ANEXO C).

Localidad	Número de Figura de Geología	Localidad	Número de Figura de Geología
Cogotí	Figura Nº C-1	Manquehua	Figura Nº C-7
Combarbalá	Figura Nº C-2	Quilitapia	Figura Nº C-8
El Huacho	Figura Nº C-3	Ramadilla	Figura Nº C-9
El Sauce	Figura Nº C-4	San Marcos	Figura Nº C-10
La Isla	Figura Nº C-5	Sector Embalse Cogotí	Figura Nº C-11
La Ligua	Figura Nº C-6		

TABLA 2-2 Número de las figuras de los mapas geológicos elaborados a escala 1:5.000 en las áreas urbanas de la comuna de Monte Patria (presentadas en el ANEXO C).

Localidad	Número de Figura de Geología	Localidad	Número de Figura de Geología
Carén	Figura Nº C-12	Huatulame	Figura Nº C-22
Cerrillos de Rapel	Figura Nº C-13	La Península	Figura Nº C-23
Chañaral Alto	Figura Nº C-14	Las Juntas	Figura Nº C-24
Chañaral de Caren	Figura Nº C-15	Las Mollacas	Figura Nº C-25
Chilecito	Figura Nº C-16	Las Paceras	Figura Nº C-26
El Coipo	Figura Nº C-17	Los Tapia	Figura Nº C-27
El Palqui	Figura Nº C-18	Mialqui	Figura Nº C-28
El Pedregal	Figura Nº C-19	Monte Patria	Figura Nº C-29
El Tome Alto	Figura Nº C-20	Rapel	Figura Nº C-30
Huana	Figura Nº C-21	Tulahuén	Figura Nº C-31

TABLA 2-3 Número de las figuras de los mapas geológicos elaborados a escala 1:5.000 en las áreas urbanas de la comuna de Ovalle (presentadas en el ANEXO C).

Localidad	Número de Figura de Geología	Localidad	Número de Figura de Geología
Barraza	Figura Nº C-32	La Torre-La Placa	Figura Nº C-48
Caleta El Sauce	Figura Nº C-33	Limarí	Figura Nº C-49
Caleta La Cebada	Figura Nº C-34	Los Nogales	Figura Nº C-50
Caleta Limarí	Figura Nº C-35	Nueva Aurora	Figura Nº C-51
Caleta Sierra	Figura Nº C-36	Ovalle	Figura Nº C-52
Caleta Talca	Figura Nº C-37	Quebrada Seca	Figura Nº C-53
Caleta Talcaruca	Figura Nº C-38	Quebrada Seca Industrial	Figura Nº C-54
Caleta Talquilla	Figura Nº C-39		
Caleta Totoral	Figura Nº C-40	Recoleta	Figura Nº C-55
Camarico Chico - Viejo	Figura Nº C-41	San Julián	Figura Nº C-56
Carachilla	Figura Nº C-42	Santa Cristina	Figura Nº C-57
Cerrillos de Tamaya	Figura Nº C-43	Socos	Figura Nº C-58
Chalinga	Figura Nº C-44	Sotaquí	Figura Nº C-59
El Trapiche	Figura Nº C-45	Tabalí	Figura Nº C-60
Embalse Recoleta	Figura Nº C-46	Unión Campesina	Figura Nº C-61
La Sossa	Figura Nº C-47	Valdivia de Punilla	Figura Nº C-62

TABLA 2-4 Número de las figuras de los mapas geológicos elaborados a escala 1:5.000 en las áreas urbanas de la comuna de Punitaqui (presentadas en el ANEXO C).

Localidad	Número de Figura de Geología	Localidad	Número de Figura de Geología
El Toro	Figura Nº C-63	Punitaqui	Figura Nº C-65
Las Ramadas	Figura Nº C-64		

TABLA 2-5 Número de las figuras de los mapas geológicos elaborados a escala 1:5.000 en las áreas urbanas de la comuna de Río Hurtado (presentadas en el ANEXO C).

Localidad	Número de Figura de Geología	Localidad	Número de Figura de Geología
Huampulla	Figura Nº C-66	La Puntilla	Figura Nº C-71
Hurtado	Figura Nº C-67	Serón	Figura Nº C-72
Las Breas	Figura Nº C-68	Tabaqueros	Figura Nº C-73
Pichasca	Figura Nº C-69	Tahuínco	Figura Nº C-74
Samo Alto	Figura Nº C-70		

A continuación se describen en detalle las unidades geológicas mencionadas en los párrafos introductorios anteriores.

2.1.3.2.1 Unidades de roca

a) ROCAS METAMÓRFICAS PALEOZOICAS

El Complejo Metamórfico del Choapa aflora de manera discontínua a lo largo de la Cordillera de la Costa, en cuerpos elongados norte sur, que persisten entre los intrusivos triásicos del Complejo Plutónico Altos de Talinay.

- Complejo Metamórfico del Choapa (Pzch) (Paleozoico inferior?): metasedimentitas y metabasitas de depositación submarina distal. Corresponden principalmente esquistos cuarzo-micáceos, metabasitas y mármol.

b) ROCAS ESTRATIFICADAS PALEOZOICAS

En esta categoría se encuentra la Formación Huentelauquén, que corresponde a la unidad más occidental del área de estudio. Esta aflora en las caletas La Cebada y Sierra.aflora en la zona costera.

- Formación Huentelauquén (CPh(c) – Pzh(h)) (Carbonífero – Pérmico): secuencia sedimentaria marina que representa un delta submarino. Lutitas negras fosilíferas con intercalaciones de areniscas calcáreas finas, y calizas fosilíferas marinas.

c) ROCAS INTRUSIVAS MESOZOICAS

Estas unidades intrusivas se distribuyen en cuerpos elongados con orientación norte sur a lo largo de toda la Provincia de Limarí.

- Complejo Plutónico Altos del Talinay (Trat) (Triásico Superior): principalmente rocas “de falla” con relaciones de contacto y afloramientos de aspecto intrusivo. Esta mantiene relaciones de contacto de falla con el Complejo Plutónico Altos de Talinay.
- Intrusivos monzodioríticos – granodioríticos (Jmg) (Jurásico Medio. Superior): monzodiorita cuarcífera de anfíbola-piroxeno-biotita, granodiorita de biotita-piroxeno-anfíbola y granodiorita leucocrática de anfíbola.
- Intrusivos dioríticos (Jkd) (Jurásico Superior): monzodioritas y dioritas curcíferas.
- Unidad Chalinga de la Superunidad Illapel (Ki1) (Cretácico): Granodioritas a dioritas cuarcíferas de color gris claro a oscuro. Compuesta por gabros y pórfidos dacíticos.
- Intrusivos graníticos a dioríticos (Kigd) (Cretácico Inferior tardío): constituyen plutones de variadas dimensiones en el lado oriental de la Falla Romeral.
- Intrusivos hipabisales andesíticos (Ksih) (Cretácico Superior temprano): pórfidos andesíticos de piroxeno, andesitas de anfíbola y pórfidos dioríticos de piroxeno y olivino.
- Diorita Pischasca (Ksdp- KPadp) (Cretácico Superior – Paleoceno): Dioritas, granodioritas y granitos de grano medio.

d) ROCAS ESTRATIFICADAS MESOZOICAS

Secuencias volcáno sedimentarias marinas o continentales que afloran principalmente en las localidades distribuídas en la Media Montaña, al oriente de la Falla Romeral, y en borde occidental de la Alta Cordillera (Formaciones Río Tascadero y Viñita), a excepción de la Formación el Quereo cuya distribución es costera.

- Formación el Quereo (Trq) (Triásico inferior - medio): secuencia transicional marina. Conglomerados y areniscas, intercalaciones de lutitas negras fosilíferas hacia el techo.

- Complejo Volcánico Agua Salada (Jas) (Jurásico Medio – Superior): rocas volcánicas y subvolcánicas continentales andesíticas y dacíticas, con escasas intercalaciones de areniscas y lutitas. Andesitas porfíricas (ocoiticas), pórfidos dioríticos y andesíticos.
- Formación Río Tascadero (Krt) (Cretácico Inferior): secuencia carbonatada marina. Calizas de grano fino alternadas con calcarenitas fosilíferas, calcilutitas coquinoídeas, areniscas arcósicas y volcanoarenitas.
- Formación Arqueros (Ka) (Cretácico Inferior): secuencia volcánica, andesítico – basáltica, de depositación submarina y subaérea, con intercalaciones sedimentarias marinas)
- Formación Quebrada Marquesa (kqm) (Cretácico Inferior): Secuencia volcánica continental, en parte con intercalaciones marinas.
- Estratos de Quebrada La Totora (a) (Kqlt(q)) (Cretácico Inferior - Superior)): secuencia sedimentaria continental. Conglomerados tobáceos pardos rojizos y areniscas de guijarro. Contenido fosilíferos de planta y fauna.
- Formación Viñita (Kv) (Cretácico Superior): Secuencia volcánica continental. Andesitas, andesitas-basálticas de anfíbola y piroxeno, con intercalaciones de tobas de lapilli, areniscas epiclásticas, brechas piroclásticas de líticos y cristales, e ignimbritas con textura eutaxítica.
- Formación Los Elquinos (Kle) (Cretácico Superior): secuencia volcánica y sedimentaria continental. Tobas de lapilli de cristales y líticos andesíticos, andesitas, areniscas epiclásticas y brechas volcanoclásticas.

e) ROCAS INTRUSIVAS CENOZOICAS (PALEOCENO, EOCENO, OLIGOCENO, MIOCENO, PLIOCENO, PLESITOCENO, HOLOCENO)

Estos cuerpos intrusivos afloran mayormente en las localidades que se ubican en el borde oriental de la Media Montaña, al occidente de la Falla Vicuña hacia el norte y de la Falla Tulahuén hacia el sur. Sin embargo, también aflora el este de estas fallas en la localidad de Las Mollacas.

- Granodiorita Rapelcillo (PaEgdr) (Paleoceno): granodioritas y facies subordinadas de granitos de grano medio de biotita-anfíbola y anfíbola de piroxeno.
- Monzogranito Loma Colorada (PaEmlc) (Paleoceno): monzogranitos y en menor cantidad granodioritas de biotita.
- Monzogranito el Bosque (PaEmb) (Paleoceno): monzogranitos de biotita y granodioritas de biotita-anfíbola y piroxeno
- Diorita Campanario (PaEdc) (Eoceno): dioritas de grano medio de anfíbola-piroxeno.
- Granodiorita Guatulame (PaEgdg) (Eoceno): granodioritas de grano medio.

2.1.3.2.2 Depósitos semiconsolidados

a) FORMACIÓN CONFLUENCIA (MPlc) (Mioceno - Pleistoceno)

Corresponde a una unidad de gravas, arenas y limos, semiconsolidados, continentales, de origen fluvio aluvial. Se expone en la zona central de la Provincia de Limarí, típicamente formando suaves y llanos lomajes que componen parte de la unidad geomorfológica de “Terrazas Aluviales Antiguas”. Sus depósitos se asocian a los ríos Grande, Limarí, Quebrada Seca y Estero Punitaqui y sus afluentes, y se encuentran cubriendo discordantemente las unidades rocosas más antiguas de la Cordillera de la Costa y Media Montaña. Desde Ovalle hacia el occidente se diferenció la “Formación Confluencia aterrazada” (*MPlc (t)*), puesto que allí, asociado al río Limarí y Estero

Punitaqui, se presenta esta unidad formando depósitos aterrazados que acompañan a los lomajes más típicos ya mencionados.

2.1.3.2.3 Depósitos no consolidados

a) DEPÓSITOS FLUVIO – ALUVIALES ANTIGUOS (Nfa)

Corresponde a depósitos aterrazados, usualmente de mayor altura que los *depósitos aluviales recientes PlHa.* Esta unidad se dispone principalmente en las localidades que están al oriente de Ovalle, aunque también es posible encontrarla en Punitaqui y Las Ramadas. Suele formar altas y amplias terrazas paralelas y aledañas a las *unidades fluviales aterrazadas (PlHf)*, adosadas a las laderas de los cerros, aunque también puede conformar abanicos antiguos, en los que se encajonan las unidades de depósitos aluviales actuales y recientes *(Ha y PlHa).*

b) DEPÓSITOS ALUVIALES

Corresponde a sedimentos que rellenan cauces de agua generalmente esporádicos, principalmente en quebradas tributarias de los ríos principales. Son estos eventos esporádicos de transporte de agua los que controlan la depositación de estas unidades. Usualmente se forman abanicos aluviales en donde las quebradas se unen a los valles principales debido al cambio de pendiente del cauce. De acuerdo a sus rasgos morfológicos se identificaron 2 unidades:

- *Depósitos aluviales recientes (PlHa):* Unidad de sedimentos que se presenta como llanuras aluviales flanqueando a la unidad Ha en cauces suficientemente grandes, o como abanicos aluviales de tamaño variable. En su mayoría son abanicos de unos 150 m a 1000 m en su eje transversal, pero pueden ser más grandes, como en la localidad de Tulahuén, donde un abanico alcanza unos 2000 m en su eje transversal. Se encuentra elevada sobre la unidad Ha, desde 2 m hasta 25 m de altura. Los abanicos pueden estar truncados debido a la erosión causada por los ríos principales y quebradas intermitentes en los que se forman. Se suele depositar sobre los depósitos fluviales aterrazados, pero en Ovalle, los abanicos aluviales de esta unidad se encuentran cortando a los depósitos aterrazados de PlHf2.
- *Depósitos aluviales actuales (Ha*): Unidad de sedimentos que se encuentra en el fondo de quebradas con actividad generalmente esporádica. Se encuentra como depósitos alargados, que sigue la forma de la parte baja de las quebradas que los contienen, delimitando las zonas de mayor actividad hidrológica. Usualmente son de ancho menor a 50 m, pero en la zona se encuentran hasta de 200 m de ancho, como en la localidad de Barraza o Socos. No es raro encontrar esta unidad flanqueada por la unidad PlHa y en donde las quebradas desembocan en los valles principales esta unidad se suele encontrar como un sub abanico aluvial de dimensiones acotadas. En las quebradas muy activas esta unidad puede depositarse sobre la unidad Hf y mantenerse a pesar de las crecidas de los ríos principales.

c) DEPÓSITOS FLUVIALES

Corresponde a los sedimentos que rellenan el fondo de los valles principales (valles de los ríos Hurtado, Limarí, Cogotí, Mostazal, Rapel, Grande, Combarbalá, Estero Punitaqui, Quebrada del Ingenio y Quebrada Seca) y cuya depositación ha estado controlada por la actividad de sus cauces fluviales. De acuerdo con sus rasgos morfológicos, se identificaron 2 unidades:

- *Depósitos fluviales aterrazados (PlHf):* unidad de sedimentos que se encuentra aterrazada a lo largo de los márgenes de la unidad de depósitos fluviales actuales (Hf). Se compone por gravas polimícticas gruesas y muy gruesas con abundante matriz de arena, débilmente consolidadas y no consolidadas, indiferenciadas. Morfológicamente está caracterizada por dos terrazas mayores, que en general presentan desniveles de 2 a 3 metros entre sí. Estas terrazas se diferencian en los mapas geológicos como *Depósitos fluviales aterrazados 1 (PlHf1)* y *Depósitos fluviales aterrazados 2 (PlHf2)*, que corresponden a la terraza más joven

(y baja, cercana al cauce actual Hf), y a la más antigua (y alta), respectivamente. Particularmente en Ovalle se presentan tres niveles de terrazas, denominados como *PlHf2, PlHf1 y PlHf0*, desde la más antigua a la más joven, aquí la terraza más alta (*PlHf2)* presenta hasta 10 metros de desnivel con respecto al cauce principal. Mientras que la terraza más cercana al río: *Depósitos fluviales de terrazas bajas de Ovalle (PlHf0)*, se dispone en la zona más occidental de Ovalle, a casi dos metros de altura respecto al cauce activo *(Hf)*.

- *Depósitos fluviales actuales (Hf):* unidad de sedimentos que conforma los cursos actuales de los ríos Hurtado, Limarí, Cogotí, Mostazal, Rapel, Grande, Combarbalá, Estero Punitaqui, Quebrada del Ingenio y Quebrada Seca. Se compone por gravas gruesas y muy gruesas, polimícticas, con abundante matriz de arena, no consolidadas. Se dispone como una franja alargada de ancho variable. Esta unidad se ubica en las partes más bajas de los valles mencionados, suele presentarse encajada en la unidad PlHf, y ocasionalmente corta a los depósitos aluviales que descienden desde las quebradas tributarias.

d) DEPÓSITOS COLUVIALES (PlHc)

Corresponde a sedimentos poco consolidados, producidos por la alteración de la roca in situ, y posterior transporte como derrubios de ladera. Frecuentemente están asociados a masas inestables, y pueden acumularse en las cabeceras de las quebradas, en laderas de cerros de alta pendiente, y en las faldas de escarpes rocosos. Estos sedimentos son transportados por gravedad, con una participación menor de escorrentía de aguas superficiales. Tienden a presentar formas cónicas, generalmente de alta pendiente, aunque también se encuentran como mantos de espesores variables, que cubren la roca subyacente. En este último caso, la litología de la roca que está siendo meteorizada, así como las pendientes de las laderas, ejercen un control determinante en las características de los mantos coluviales generados.

e) DEPÓSITOS LITORALES

Corresponden a sedimentos, principalmente de tamaño arena, cuya depositación fue controlada por las corrientes costeras, rellenando las partes más bajas del ambiente estuarial. De acuerdo a su edad y distancia a la línea de costa actual, se separaron en dos tipos:

- *Depósitos litorales actuales (Hlit): s*e disponen en una franja paralela a la línea de costa actual, conformando el sustrato de las planicies litorales de las caletas de la comuna de Ovalle.
- *Depósitos litorales recientes (Qlit):* corresponden a los sedimentos que se disponen al oriente de los *depósitos litorales actuales,* se caracterizan por estar en el entorno de los abanicos aluviales antiguos, que probablemente en el pasado representaron un ambiente de intercambio con sedimentos marinos.

f) DEPÓSITOS DE REMOCIÓN EN MASA (Hrm)

Corresponden a sedimentos no consolidados compuestos por brechas polimícticas, con matriz de arena. Se depositan por medio de movimientos gravitacionales, tales como deslizamientos o caídas de roca y suelo, que afectan a rocas, detritos o suelo de las laderas a las cuales provienen. Estos provienen de un proceso activo (potencialmente peligroso), por lo que en general se disponen aledaños a las faldas de las laderas en las cuales se producen. Estas laderas suelen ser de alta pendiente (> 35°). Los depósitos de este tipo presentan morfologías cónicas en la base, y ladera arriba sus depósitos se extienden como una franja estrecha. En el nacimiento de estas morfología que da una cicatriz o escarpe, que se puede identificar por su forma semicircular.

g) DEPÓSITOS EÓLICOS (He)

Corresponden depósitos sedimentarios, cuyo tamaño va desde limo hasta arena gruesa, son transportados por el viento y se pueden encontrar conformando dunas. Se encuentran cubriendo depósitos no consolidados más antiguos o bien las sobre las unidades rocosas de la Cordillera de la Costa.

h) DEPÓSITOS ANTRÓPICOS

Los depósitos antrópicos corresponden a aquellos que han sido introducidos o modificados por el ser humano. Por lo que podrían estar alterando las condiciones naturales locales. Fueron identificados dos grupos, (1) zona de embalse, descrita como "Embalse" en las figuras correspondientes; y depósitos antrópicos (*Han*), esta categoría se utilizó sólo para diferenciar zonas de gran intervención antrópica en importantes laderas.

2.1.4 Marco estructural

Siguiendo los dominios estructurales propuestos por Rivano y Sepúlveda (1991) para la Hoja de Illapel, en la Provincia de Limarí es posible reconocer los mismos tres grandes dominios estructurales, definidos por límites geológicos geomorfológicos. Los cuales quedan bien delimitados por la Falla Romeral y las fallas Vicuña, Guanto y Tulahuén (FIGURA 2.1-7).

2.1.4.1 Dominio Costero

Corresponde casi enteramente a las unidades morfoestructurales de las Planicies Litorales y Cordillera de la Costa. Se compone por rocas paleozoicas fuertemente deformadas e intruidas por cuerpos mesozoicos, las cuales se encuentran formando un suave sinclinal de escala regional. En el sector más occidental de este dominio, se reconoce una serie de fallas normales y transcurrentes (de relevo) de orientación NNW, las cuales generan plegamientos locales de escaso desarrollo sobre las unidades que afectan. La falla más oriental de este sistema corresponde a la Falla Salala, que delimita la zona de serranías costeras al oeste, y a la latitud del río Limarí limita hacia el oriente con la unidad morfológica de terrazas aluviales antiguas.

Dentro de la serie de fallas normales de las serranías costeras se encuentran:

- La falla Pachingo (inferida) hacia el sur de la quebrada el Almendro constituye el límite entre unidades estratificadas jurásicas e intrusivos cretácicos que forman el cordón Altos de Talinay (Emparán & Pineda, 2006).
- La falla Puerto aldea, corresponde a una falla normal intraplaca, de manteo este con una componente de movimiento sinestral, que delimita orientalmente el cordón de la Cordillera de la Costa (Emparán & Pineda, 2006).
- La Falla Palo Cortado, falla principal de un conjunto de fallas de rumbo noroeste-suroeste inclinadas, en la que se ha observado deformación dúctil de edad Cretácica inferior (Emparán & Pineda, 2006).
- Falla El Teniente es la falla principal de un sistema de orientación NS-NNW (Rivano & Sepúlveda, 1991) que delimita occidentalmente la unidad de terrazas de abrasión marina con la Cordillera de la Costa a la latitud de la quebrada San Pedro.

2.1.4.2 Dominio Central

Corresponde casi por completo a la unidad morfológica llamada Media Montaña, caracterizada por el afloramiento de rocas estratificadas del Cretácico, que han sido intruidas por cuerpos cretácicos y paleógenos. Las rocas tanto estratificadas cómo intrusivas en el área de Ovalle están fracturadas y desplazadas por dos grupos de fallas principales: uno de rumbo general norte - sur y otro noreste - suroeste. El primero está formado por el Sistema de Fallas Romeral, y el segundo se forma por un conjunto de fallas de rumbo y fallas oblicuas principalmente.

El Sistema de Fallas El Romeral (SFR) corresponde a un sistema de fallas de transcurrentes (de relevo) y fallas aparentemente independientes, de dirección general norte – sur. Se ha correlacionado como la continuación hacia el sur del Sistema de Fallas de Atacama (Arabasz, 1971). Tanto Pineda y Emparán (2006) como Pineda y

Calderón (2008) lo han interpretado como un sistema extensional de fallamiento lístrico, con bloque oriental descendente, desarrollado durante el Cretácico temprano.

Este dominio queda delimitado occidentalmente por el Sistema de Fallas el Romeral, y orientalmente por las fallas inversas Vicuña en el norte, Guanto en el centro y la falla normal Tulahuén en el sur, todas de vergencia oeste.

2.1.4.3 Dominio Cordillerano

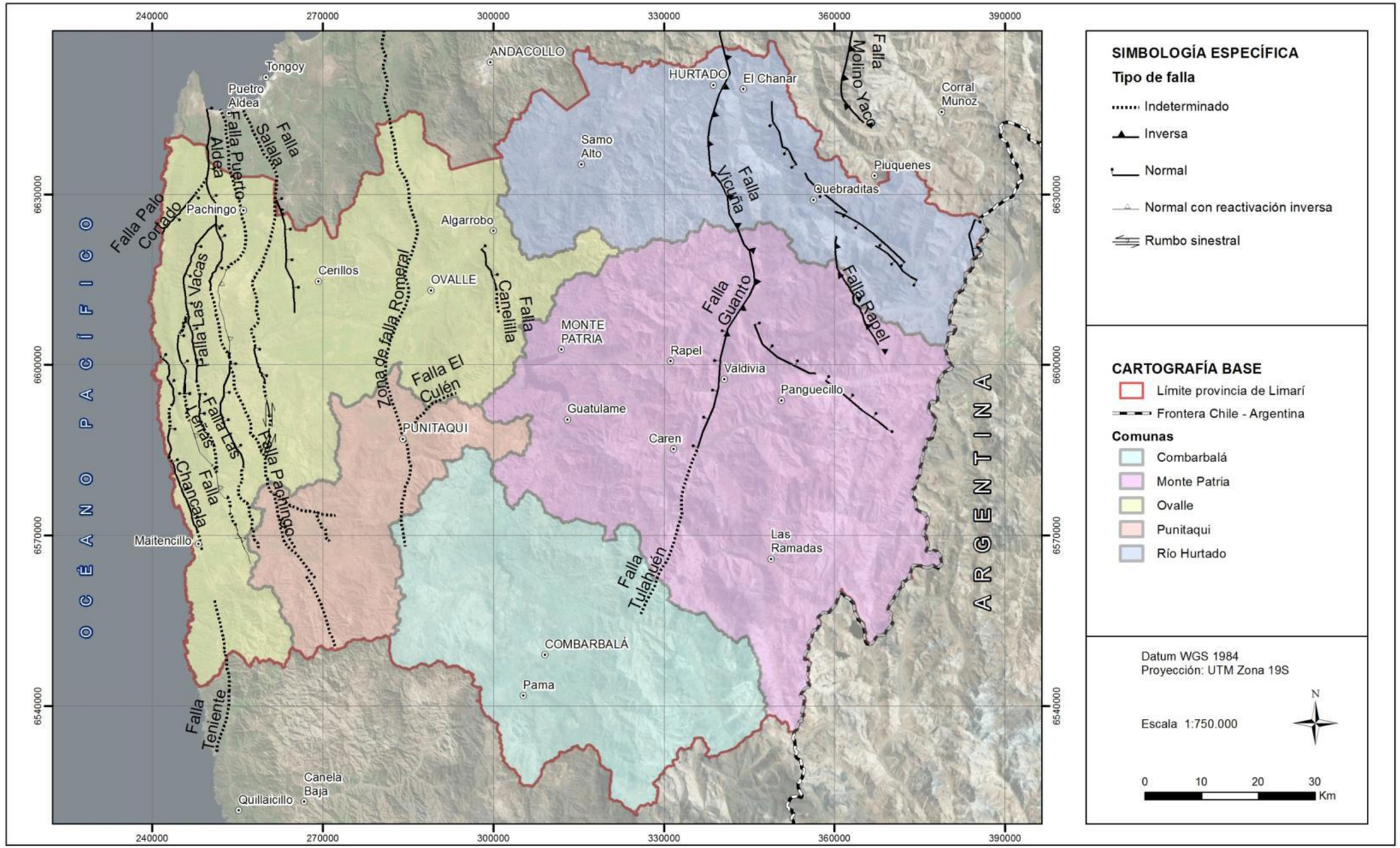
Este dominio estructural se correlaciona con la unidad geomorfológica llamada Alta Cordillera (o Cordillera Principal), y se desarrolla al este de las fallas Vicuña, Guanto y Tulahuén. Corresponde a un ambiente tectónico compresivo de edad eocena, caracterizado por el fuerte replegamiento y cabalgamiento de las unidades mesozoicas y paleozoicas hacia el oeste.

La Falla Vicuña es una falla inversa de vergencia oeste, que se extiende en dirección norte-sur en el sector norte de la provincia, y su traza es continuada hacia el sur por la Falla Guanto. La Falla Vicuña alza unidades jurásico-cretácicas, al este, por sobre rocas cretácicas a eocenas, al oeste (a la altura del río Hurtado). La actividad de esta estructura es principalmente eocena media contemporánea con la fase de deformación Incaica (Emparán & Pineda, 2006).

La Falla Tulahuén pertenece a un sistema de fallas normales verticales de dirección NNE de vergencia oeste. Se expone desde el Portezuelo El Buitre (donde termina la Falla Guanto) hasta el poblado homónimo y de aquí hasta el poblado de Chépica. Pone en contacto la Formación Los Elquinos, al oeste, con los niveles inferiores de la Formación Viñita al este. A lo largo de la traza de la falla (50 km) se reconocen milonitas sinplutónicas ubicadas en el borde oriental de la Diorita Pichasca, de edad 66-64 Ma, lapso que acota la edad máxima conocida de actividad en la estructura (Pineda & Calderón, 2008).

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

FIGURA 2.1-7: Estructuras de la Provincia de Limarí.



Basado en cartas disponibles para la zona de estudio ((Emparán & Pineda, 2006; Rivano & Sepúlveda, 1991; Thomas, 1967).

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

2.2 LÍNEA DE BASE DE CLIMA E HIDROLOGÍA

2.2.1 MARCO CLIMÁTICO

En general, la Región de Coquimbo presenta variaciones moderadas de temperatura en las zonas costeras, que aumentan hacia el interior. En cuanto a las precipitaciones, la región presenta precipitaciones considerablemente más abundantes que las zonas ubicadas hacia el norte (Dirección Meteorológica de Chile, 2001), con un progresivo aumento de norte a sur. El clima de esta región se define como estepa con nubosidad abundante en la zona costera y como estepa con gran sequedad atmosférica en el interior (Cruz & Calderón Janette, 2008).

En la zona costera, la "estepa con nubosidad abundante" se caracteriza por nubosidad baja, localmente intensificada, que se manifiesta con frecuentes nieblas y lloviznas que tienden a disipar al mediodía. Estas características se extienden hacia los valles transversales hasta algunas decenas de kilómetros hacia el interior. La cercanía del mal produce amplitudes térmicas bajas, mientras que las precipitaciones anuales, que en la zona costera de la provincia se encontrarían entre 120 y 160 mm, aumentan de norte a sur y ocurren preferentemente en invierno, en que se concentra alrededor del 80% de las precipitaciones (Dirección Meteorológica de Chile, 2001; Cruz & Calderón Janette, 2008).

Hacia el interior, la "estepa con gran sequedad atmosférica" no se asocia a gran influencia oceánica y las precipitaciones son suficientes para eliminar los rasgos desérticos. Sus principales características son cielos predominantemente despejados, baja humedad relativa y temperaturas elevadas durante el día que en la noche descienden bastante. La amplitud térmica durante el día es del orden de 18 a 20 °C, que duplica o triplica los valores de la zona costera. En cuanto a las precipitaciones, se encuentran entre 120 y 300 mm, con un aumento de norte a sur y de oeste a este, probablemente asociado a la altura (Dirección Meteorológica de Chile, 2001; Cruz & Calderón Janette, 2008). Alrededor del 75-85% de las precipitaciones se concentran en el invierno. En os sectores más altos precipita nieve.

2.2.2 MARCO HIDROLÓGICO

Se identificaron 36 estaciones meteorológicas con medición de precipitaciones en el registro de la DGA, ubicadas en la provincia de Limarí (FIGURA 2.2-1). De estas estaciones, todas tienen registros de precipitación.

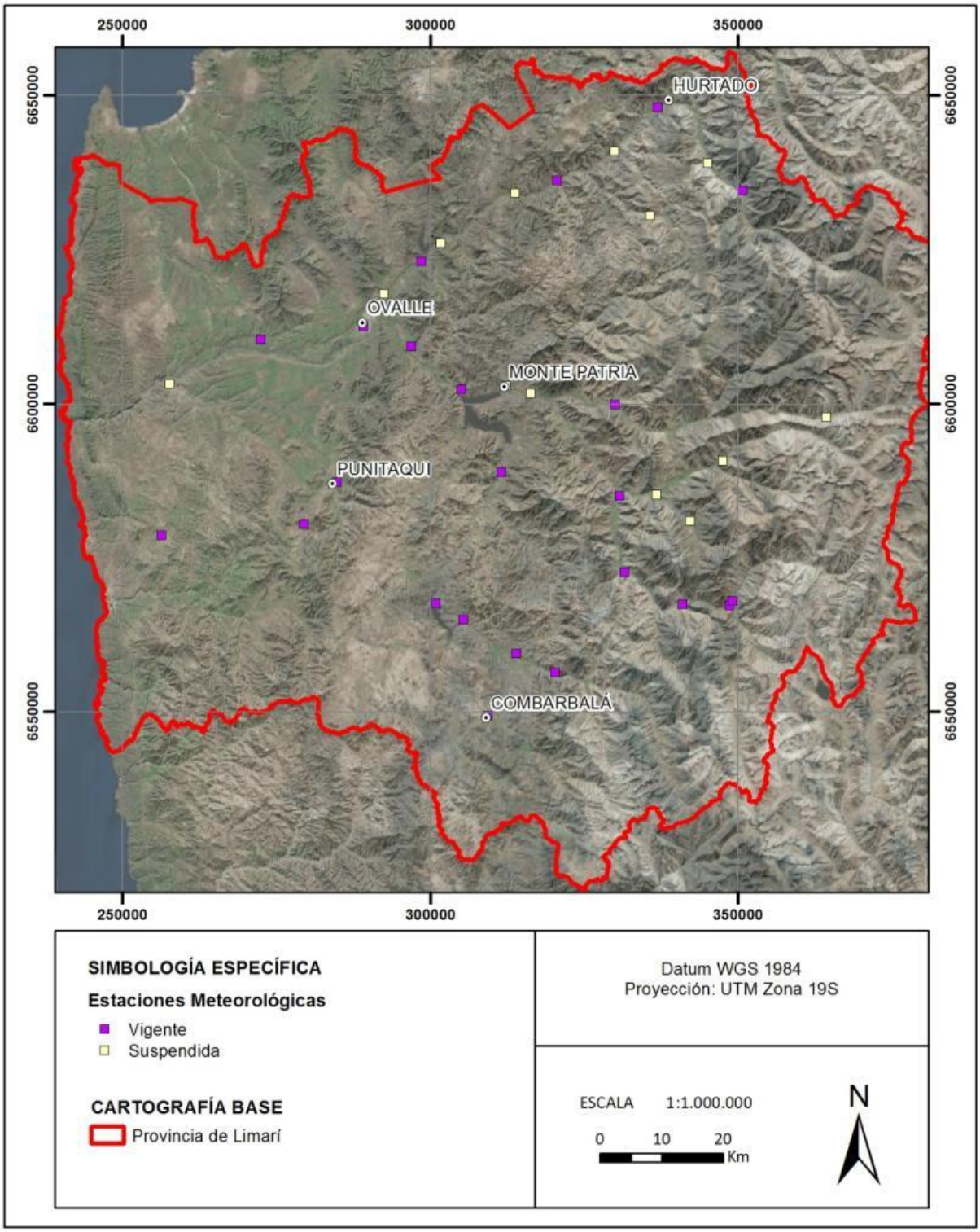
La ubicación de las estaciones meteorológicas con registro de precipitaciones recopiladas y el período con registro se presenta en la TABLA Nº 7.3-5 (ver ANEXO D) y en la FIGURA 2.2-1. Los registros de precipitaciones máximas anuales en 24 horas completos se presentan en la TABLA Nº 7.3-6, TABLA Nº 7.3-7 y TABLA Nº 7.3-8 según las estaciones meteorológicas indicadas (ver ANEXO D). Debe notarse que algunas estaciones tienen períodos de registro muy cortos (menores que 10 años), de manera que los valores medidos en estas puede estar muy influenciado por un período particularmente seco o lluvioso.

Se calculó la probabilidad de excedencia como percentiles en base a los registros de precipitaciones máximas en 24 horas, que a su vez se asocia a distintos períodos de retorno (TABLA 2-6). Los percentiles calculados en cada estación dependen de la cantidad de datos disponibles.

TABLA 2-6: Precipitaciones máximas en 24 horas asociadas a diferentes períodos de retorno

Estación	N° Datos	Probabilidad de no excedencia (%) / Período de retorno (años)				
		0,5 / 2	0,8 / 5	0,9 / 10	0,95 / 20	0,98 / 50
Cogotí 18	74	41,5	64,4	85,8	94,875	
Cogotí Embalse	76	37,5	63	83,75	93,25	110,35
Combarbalá	40	45,85	73,7	96,78	105,87	
Río Cogotí en Fraguita	3					
Río Cogotí entrada Embalse Cogotí	2					
Caren	72	47	71,1	81,8	92,25	
El Maitén	17	44	56	68		
El Tome	51	36	56	82	97	
Las Ramadas	74	50,8	76,8	86,85	95,49	
Los Molles Bocatoma	9	8	36,6			
Monte Patria	17	31	63,2	79,6		
Paloma Embalse	74	36,65	57,2	67,21	79,45	
Pedregal	23	46	79,7	110,4		
Ramadilla	28	60	97,6	109,4		
Rapel	48	37,5	53,2	65,25	83,35	
Río Grande en las Ramadas	6	49,1				
Tascadero	55	52	87	97,4	105,9	
Tulahuen	68	51,5	83,2	102,1	115	
La Torre	73	35	52,5	65,8	69,4	
Ovalle (Escuela Agrícola)	4	31,5				
Ovalle DGA	46	29,15	43,3	57,15	65	
Recoleta Embalse	71	28	49,5	57,8	68,75	
Salala	10	22,25	41,2			
Sotaquí	63	33,5	50,7	64,6	73	
La Placilla	28	50	80,4	92		
Peña Blanca	28	41,5	55,3	70,3		
Punitaqui	56	42,5	65,5	78,5	86,125	
Bocatoma Canal Alimentador	13	30	39,2			
Estancia Chacay	4	11				
Hurtado	74	33	52,4	63,58	72,575	
La Cortadera	7	21,5				
Las Breas	27	34	56,8	67,2		
Pabellón	49	37	58,5	74,2	80,3	
Pichasca	71	30	51,2	69	79,75	
Puntilla San Juan	14	32,45	44,52			
Samo Alto	21	26,5	42	56,5		

FIGURA 2.2-1: Ubicación de estaciones meteorológicas de la Provincia de Limarí



3 CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se detallan los peligros geológicos que afectaron o han afectado al área de estudio, con énfasis en los centros poblados, constituyendo un riesgo de catástrofe permanente o potencial, generando pérdidas tanto humanas como materiales y amenazando el bienestar de la población. Estos eventos incluyen sismos históricos, tsunamis e inundaciones por marejadas, remociones en masa, inundaciones terrestres por desborde de cauce y volcanismo que han afectado el área.

Para la construcción del catastro, los peligros geológicos se dividieron en:

1. Inundaciones por desborde de cauce y remociones en masa. Se consideraron los eventos generados por temporales que generaron inundaciones y/o algún tipo de remoción en masa dentro de la misma Provincia y que tuvieron efectos directos en los centros poblados.
2. Inundaciones litorales. Corresponden a los tsunamis y/o marejadas provocados por sismos mayores que afectaron las costas de la Provincia de Limarí, o bien, otro tramo costero perteneciente a la Región de Coquimbo que causaron efectos directos en la Provincia.
3. Sismos históricos obtenidos a partir de información bibliográfica. Se consideraron los sismos cuyos epicentros se ubicaron ya sea en la Provincia de Limarí, o bien, una cercana a ella en la misma región, o cuyos afectos afectaron directamente la zona y finalmente aquellos para los que existe una descripción tanto al norte como al sur.
4. Volcanismo. Se consideraron los volcanes activos más próximos al área de estudio.

3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

Para la construcción del catastro, se consideraron las siguientes fuentes de información:

1. Publicaciones científicas y libros (TABLA Nº 7.3-9 en ANEXO 8)
2. Publicaciones gubernamentales (TABLA Nº 7.3-10 en ANEXO 8)
3. Páginas web de organismos (TABLA Nº 7.3-11 en ANEXO 8)
4. Artículos periodísticos de diarios de la provincia (El Día, La Provincia, El Ovallino, Ovalle hoy y El Combarbalito), diarios nacionales (El Mercurio, La Tercera y La Cuarta) y otros medios de prensa (Chilevisión, T13, 24horas, Cooperativa, BioBio), tanto en versión digital (TABLA Nº 7.3-12 en ANEXO 8) como en versión impresa (TABLA Nº 7.3-13 en ANEXO 8)
5. Imágenes satelitales (Google Earth y Bing Maps ©)
6. Ortofotos vuelo aerofotogramétrico escala 1:20.000
7. Información entregada por funcionarios municipales

En el ANEXO 8 se detallan las cuatro primeras fuentes de información.

3.2 CATASTRO DE INUNDACIONES TERRESTRES Y REMOCIONES EN MASA

Como su nombre lo indica, las inundaciones por desborde de cauce ocurren cuando ríos o esteros desbordan su cauce natural anegando las terrazas fluviales laterales o adyacentes, debido a la ocurrencia de caudales extremos. 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. Este peligro se describe en detalle en el ANEXO 8 en acápite "Inundación por Desborde de Cauces".

El término "remoción en masa" incluye una amplia variedad de procesos que generan el movimiento aguas abajo de los materiales que constituyen las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores. El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007). Cada uno de ellos se describe detalladamente en el ANEXO 8 en acápite "PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA".

En este catastro, los peligros de inundaciones por desborde de cauce y de remociones en masa se estudian conjuntamente debido a que, en general, ambos ocurren bajo un mismo evento climático, y porque son fácilmente confundibles en los reportes de prensa.

El factor gatillante principal para la generación de inundaciones y remociones en masa corresponde a las lluvias intensas con milímetros de agua caída por hora[3] superiores al promedio registrado en una localidad determinada. En consecuencia, muchas veces ocurren ambos peligros de manera simultánea y, generalmente, la información es insuficiente para diferenciar entre inundaciones y algunos tipos de remociones en masa (específicamente, flujos de barro y/o detritos).

En el ANEXO 8 se presenta un catastro detallado de los temporales que han gatillado eventos de inundación y/o remociones en masa que han afectado a las comunas de Ovalle, Combarbalá, Punitaqui, Río Hurtado y Monte Patria desde 1827 a 2017. De acuerdo a la información recopilada, las principales inundaciones terrestres y/o remociones en masa que han afectado a la Provincia de Limarí ocurrieron en 1877, 1888, 1902, 1905, 1915, 1934, 1941, 1948, 1957, 1983, 1984, 1987, 1991, 1997, 2002, 2015 y 2017 (ver TABLA Nº 7.3-15). Adicionalmente, en la TABLA Nº 7.3-16 se presenta, por comuna, una breve descripción de los eventos más importantes que han afectado a la Provincia de Limarí en los años 1984, 1987, 1997, 2002, 2015 y 2017 y, desde la FIGURA Nº E-1 a la FIGURA Nº E-9, se presenta la ubicación espacial de estos eventos, de manera referencial.

[3] Cantidad de Agua que precipita, un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado y que alcanza una altura de 1 mm.

3.3 CATASTRO DE INUNDACIONES LITORALES

Dentro de las inundaciones litorales se distinguen los tsunamis o maremotos y las marejadas. Estos peligros se describen en el Anexo 8E.3 “INUNDACIONES LITORALES”.

Los tsunamis o maremotos corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energía y tamaño que se producen como consecuencia de algún fenómeno extraordinario que desplaza verticalmente una gran masa de agua. Se reconocen tres orígenes posibles:

- Maremotos generados producto de un sismo mayor, que produce una rápida deformación del fondo marino. Se distinguen dos tipos: los de “origen cercano”, donde la población siente el terremoto que generará el maremoto, como los grandes terremotos ocurridos en Chile (por ejemplo, 1922, 1960 y 2010), y los de “origen lejano”, donde la población no es alertada por un movimiento sísmico previo al arribo del maremoto, como el terremoto de Japón en 2011.
- Maremotos generados por erupción volcánica submarina, que generan un pulso de agua que es disipado en forma de olas.
- Maremotos generados por deslizamientos, submarinos o superficiales, que generan perturbaciones en el nivel del mar o lagos. Ejemplos de este tipo se han registrado en el fiordo de Aysén asociado al ciclo sísmico desarrollado durante abril de 2007 (Sepúlveda & Serey, 2009).

En el ANEXO 8E.3, se presenta un catastro detallado de los eventos de inundaciones litorales provocadas por movimientos tectónicos, tanto tsunamis como marejadas, que han afectado a la Región de Coquimbo desde 1604 a 2015. De acuerdo a la información consultada, inmediatamente después del terremoto del 2015 se generó un tsunami que provocó daños en 8 caletas de la comuna de Ovalle (entre estas, los mayores daños ocurrieron en las caletas Totoral, Sierra, Talquilla, Talcaruca). De acuerdo a la información recopilada, a este tsunami se le asignó una intensidad de daños media, según la clasificación de Inamura (ver TABLA Nº 7.3-18). Cabe destacar, que sólo se ha registrado un evento de inundación por marejada provocada por un temporal ocurrido en 1965 en la comuna de Ovalle (ver TABLA Nº 7.3-15).

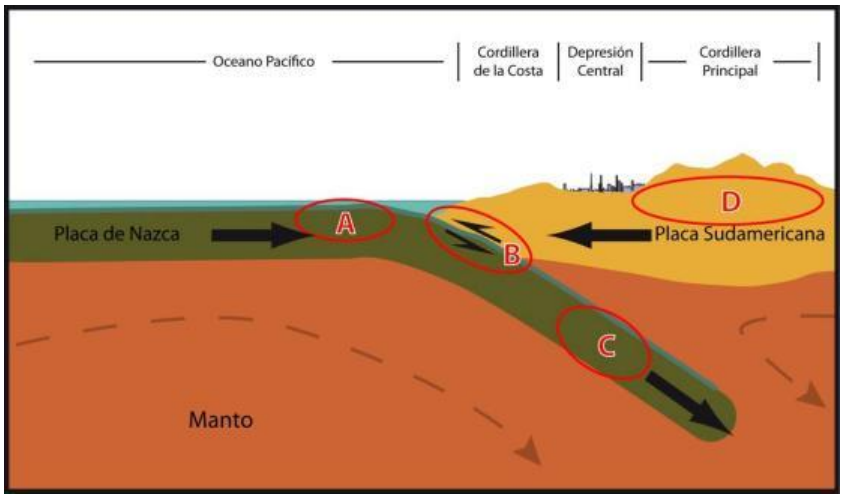
3.4 CATASTRO DE SISMICIDAD

La costa oeste de Sudamérica está delineada por el borde occidental de la placa tectónica Sudamericana y se caracteriza por su sismicidad debido a la convergencia entre esta placa y la placa tectónica de Nazca. Esta convergencia de placas se caracteriza por un nivel particularmente alto de acoplamiento mecánico en la zona de contacto entre las placas, lo que permite la acumulación de grandes niveles de energía. Cuando la energía acumulada supera la resistencia mecánica en la zona de contacto entre las placas, generan sismos de gran magnitud. 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 3.4-1, que corresponde a:

- **Zona A:** Sismos "Costa afuera", que a pesar de tener magnitudes cercanas a MW = 6, prácticamente no causan efectos significativos en áreas pobladas debido a su ocurrencia en zonas mar adentro.
- **Zona B:** Sismos asociados a la zona interplaca, como los ocurridos en Antofagasta 1995, Chile Central 1985, Mejillones 2005 y Constitución-Concepción en el 2010.
- **Zona C:** Sismos intraplaca de profundidad intermedia, como los sismos de Chillán 1939, Punitaqui 1997, Copiapó 2002, Calama 1950 y Tarapacá 2005.
- **Zona D**: Sismos superficiales intraplaca o corticales, cómo los sismos de Las Melosas en 1958, Aroma en 2001, Curicó en 2004 y Aysén, 2007.

En el Anexo 8B.1.1 "SISMICIDAD" se describe este peligro con mayor detalle.

FIGURA 3.4-1: Tipos de sismos que ocurren en un margen de subducción.



Se grafica la ubicación de las zonas A (sismos "costa afuera"; no reconocidos en el área de estudio), B (sismos interplaca), C (sismos intraplaca) y D (sismos corticales) (ver explicación en el texto).

3.4.1 Antecedentes históricos

La costa de Chile históricamente ha sido afectada por grandes terremotos, varios acompañados de maremotos destructivos. En la FIGURA 3.4-2, se grafican los más importantes sismos de subducción (interplaca; ver FIGURA 3.4-1) que han afectado al territorio de Chile continental en el período histórico. En el Anexo 8E.4 "SISMICIDAD", se compilan y describen los sismos históricos que han afectado a la Provincia de Limarí. Las magnitudes asociadas a cada sismo descrito son aproximadas, puesto que no existía instrumental sismológico de precisión hasta la década de 1950.

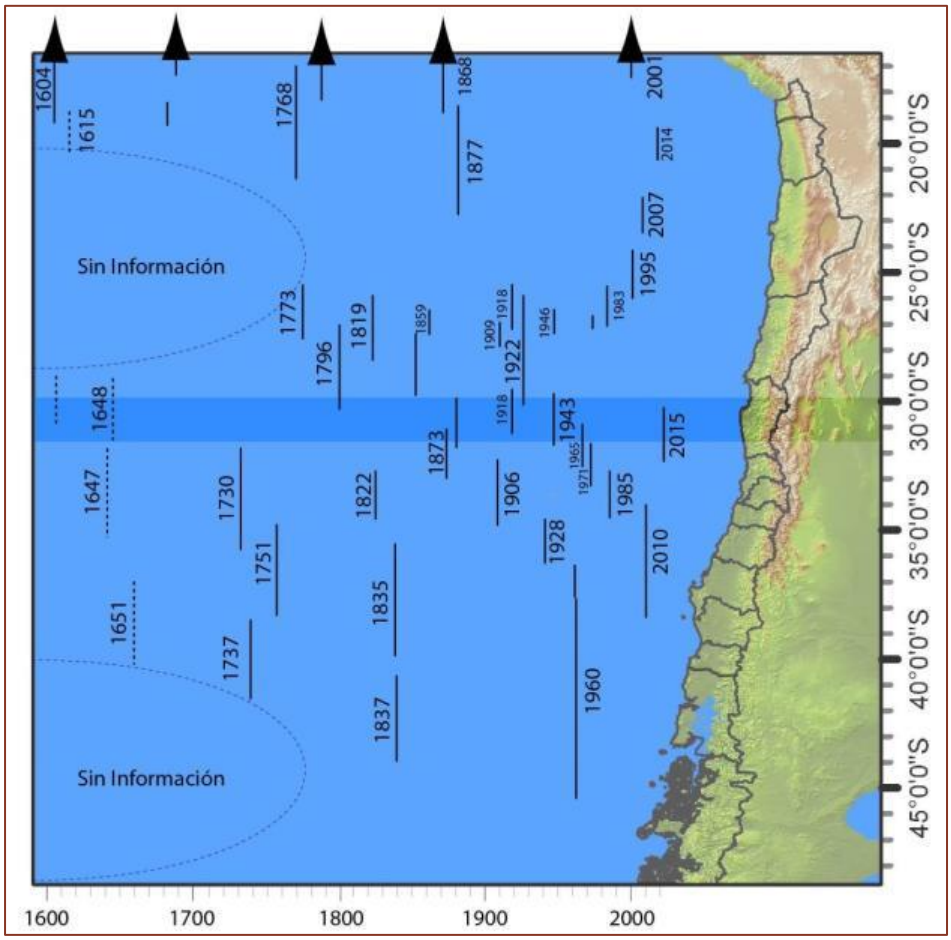
En la TABLA 3-1, se detallan los daños de los sismos más significativos (magnitud sobre 7,7) que han afectado a la Provincia de Limarí desde el siglo XVII, donde destacan los terremotos de 1922 y 2015.

TABLA 3-1: Datos de sismos históricos con magnitud superior a 7,5 ocurridos en el área de estudio.

Latitud (º)	Longitud (º)	Profundidad (km)	Magnitud aproximada	Año	Mes	Día
-33,05	-71,63	-	8,7	1730	07	08
-31,62	-71,18	-	7,7	1880	08	15
-28,5	-70,0	25	8,3	1922	11	10
-30,75	-72,0	55	8,2	1943	04	06
-31,55	-71,86	11,1	8,4	2015	09	16

Elaborado a partir del Catálogo Centro Sismológico Nacional (CSN)

FIGURA 3.4-2: Terremotos de subducción históricos (interplaca e intraplaca de profundidad intermedia) con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura.



En línea continua las zonas de ruptura bien identificadas, en línea discontinua las zonas de ruptura inferidas.

3.4.2 Sismos registrados por la red sismológica mundial

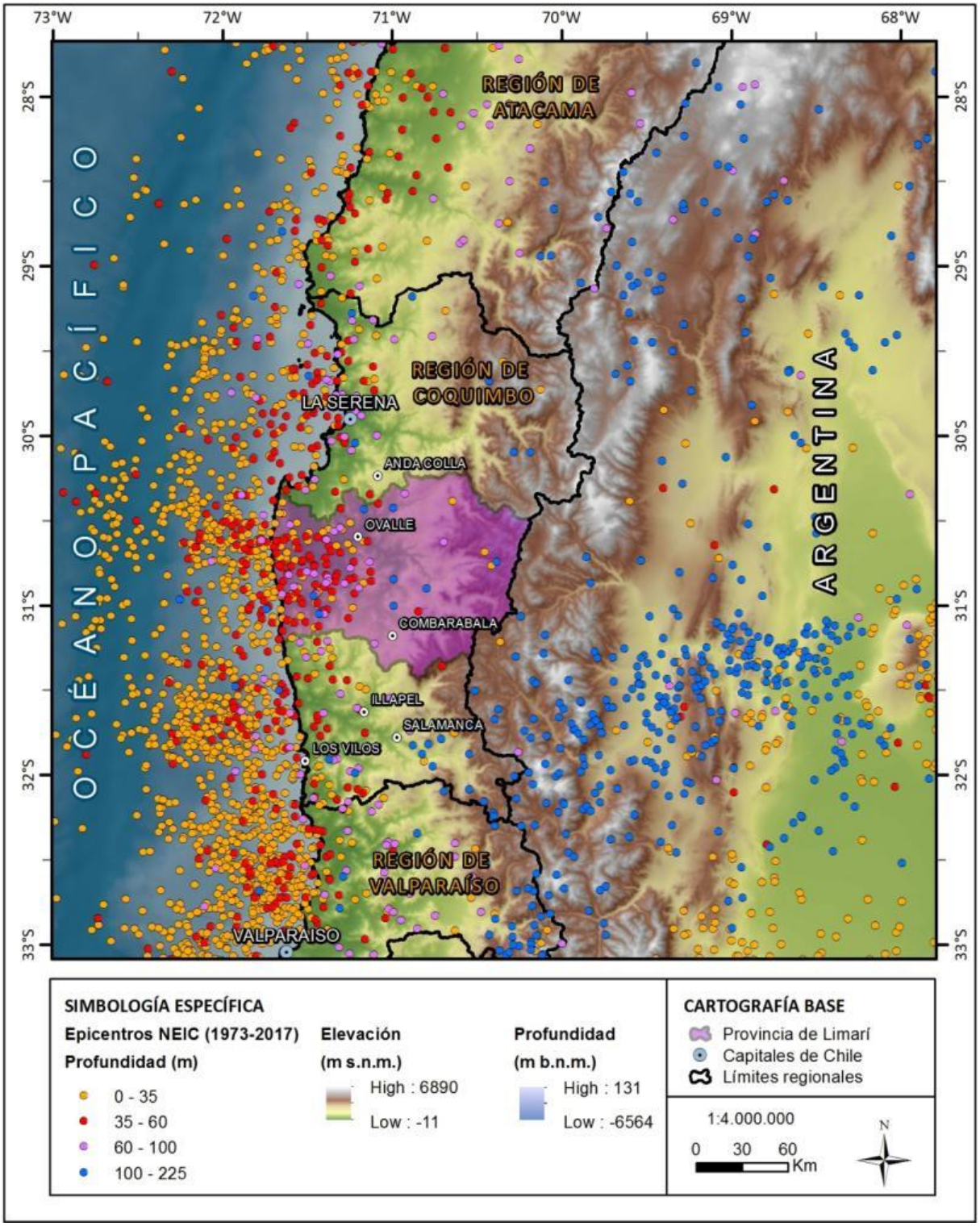
En la FIGURA 3.4-3, se presenta la sismicidad registrada por la red sismológica internacional desde enero de 1973 hasta julio de 2016, con magnitudes superiores a 4.0. En esta figura, se aprecia que una gran cantidad de eventos se localizan próximos al contacto entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana (puntos distribuidos en el occidente en FIGURA 3.4-3). Estos eventos sísmicos son denominados como interplaca tipo *thrust* (dado su bajo ángulo de manteo) (FIGURA 3.4-1), y suelen alcanzar grandes magnitudes. El área de estudio posee antecedentes históricos de grandes terremotos interplaca tipo *thrust,* por ejemplo, los terremotos 1604, 1730, 1796, 1880, 1918, 1922, 1943 (Lara & Rauld, 2003) y 2015 (TABLA Nº 7.3-21 en ANEXO 8E.3), tal como se observa en la FIGURA 3.4-2. Los dos últimos sismos (1943 y 2015) alcanzaron magnitudes de MW = 8.2 y MW = 8.4, respectivamente.

Además, en la FIGURA 3.4-3 se aprecia una gran cantidad de eventos que ocurren al interior de la placa de Nazca, lejos del contacto, a profundidades superiores a 50 km (puntos morados y azules); a este conjunto de eventos se les conoce como intraplaca de profundidad intermedia (FIGURA 3.4-1). El 15 de octubre de 1997 (TABLA Nº 7.3-21 en ANEXO 8E.3), ocurrió un sismo de profundidad intermedia, conocido como el terremoto de Punitaqui con magnitud MW=7.1 (Lemoine et al, 2001; Pardo et al, 2002), que causó importantes daños en el área de estudio y es el único sismo mayor de este tipo registrado a la fecha.

En menor medida, también es posible observar en la FIGURA 3.4-3, sismos superficiales en la placa Sudamericana, cerca de la Cordillera de Los Andes, correspondiendo a sismos corticales cordillerano. Estos eventos corresponden a sismos producidos por fallas superficiales, cuyos focos se encuentran a una profundidad menor a 30 km, y están asociados a fallas geológicas activas en superficie. De acuerdo al mapa construido en base a SERNAGEOMIN (2003) y a PMA-GCA (PMA-GCA, 2008) (FIGURA 3.4-4), el que recopila antecedentes generales de fallas, no se observan fallas activas en la región que abarca el área de estudio. Cabe destacar que no hay un registro suficiente de este último tipo de sismicidad para proceder a estimar los parámetros necesarios, y de esta manera efectuar estudios probabilísticos.

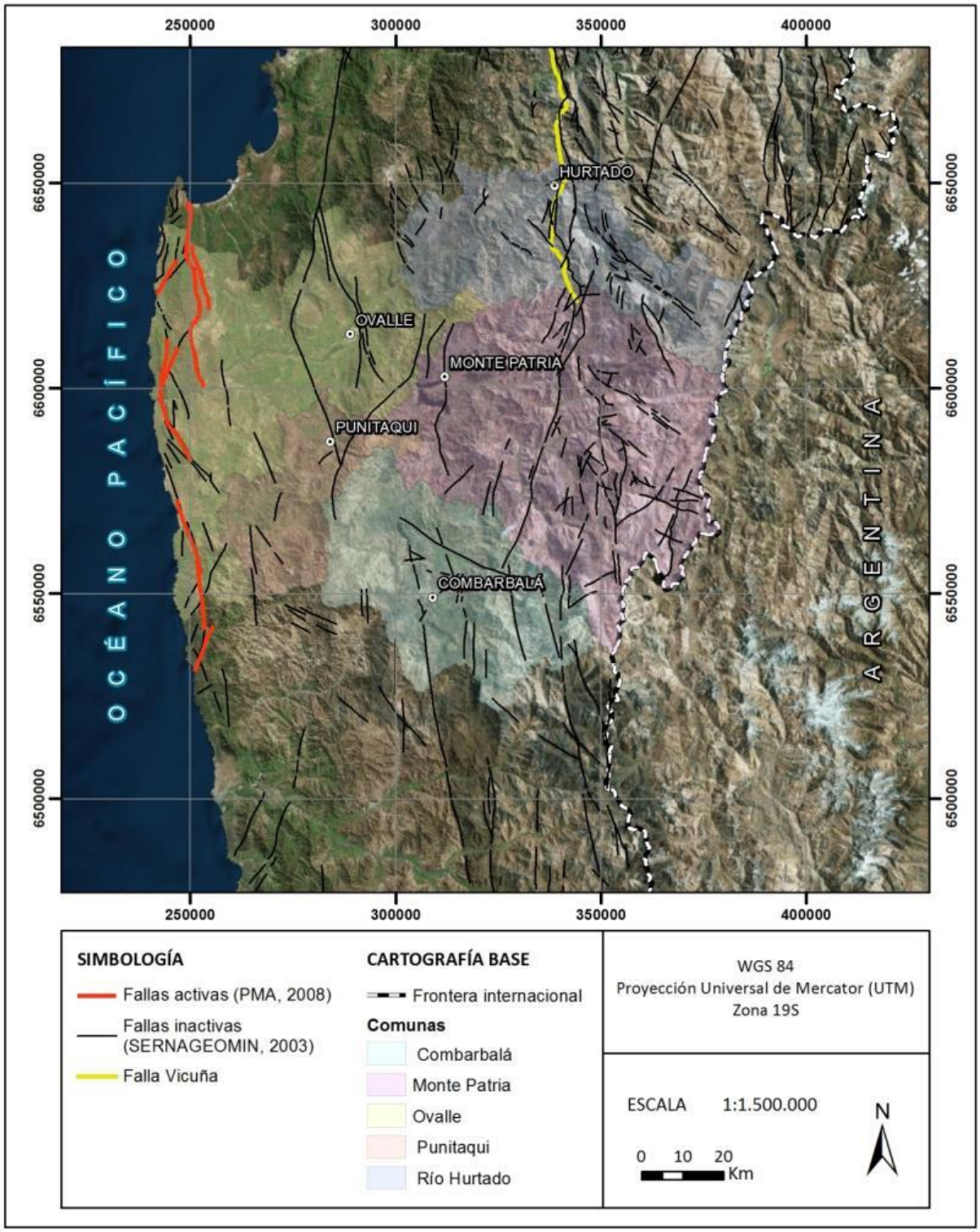
Cabe destacar que, de acuerdo a la FIGURA 3.4-3, la Provincia de Limarí ha sido afectada, principalmente, por sismos interplaca (puntos rojos y amarillos) desde el año 1973.

FIGURA 3.4-3: Sismos registrados por la red sismológica mundial entre enero de 1973 y febrero de 2017.



Elaborado a partir del Catálogo NEIC (2017) del USGS (sismos sobre magnitud 4.0).

FIGURA 3.4-4: Mapa de fallas a nivel regional que comprende a la Provincia de Limarí.



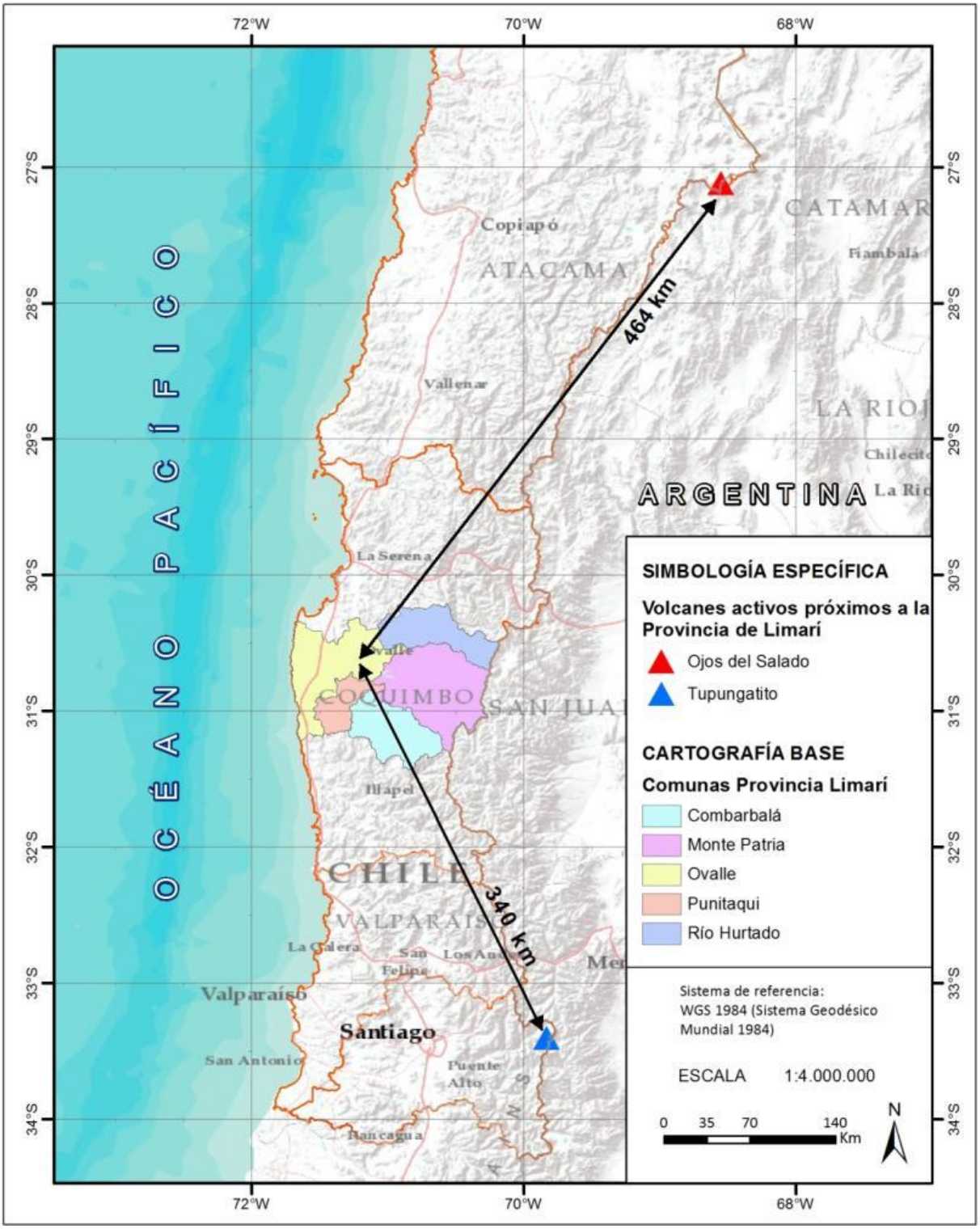
Elaborado en base a SERNAGEOMIN (2003) y PMA (2008).

3.5 CATASTRO DE VOLCANISMO

Chile se dispone en la franja de Fuego del Pacífico, situada en las costas del Océano Pacífico, que se caracteriza por concentrar una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca. En particular, el área de estudio se ubica en el segmento de subducción subhorizontal que se desarrolla entre los 27º S y 33º30' S, conocido como zona de subducción plana (*flat slab*). Como se explicó en el capítulo 2.1.1 "Marco geodinámico", este sector se caracteriza por la ausencia de la Depresión Central, el desarrollo de valles fluviales transversales y la ausencia de actividad volcánica reciente.

Los volcanes activos más próximos al área de estudio corresponden al (1) Ojos del Salado (por el norte), ubicado en las cercanías de Copiapó, a 464 km de la ciudad de Ovalle, y al (2) Tupungatito (por el sur), situado al oeste de Santiago, a 340 km de la capital provincial (FIGURA 3.5-1). Lo anterior indica que, dada la distancia a los centros volcánicos activos más cercanos, el área de estudio no se encuentra expuesta de manera directa al peligro volcánico.

FIGURA 3.5-1: Volcanes activos cercanos al área de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN (2003).

4 DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

En este capítulo, se realiza un diagnóstico de los peligros geológicos a nivel regional y, luego, a una escala local. Primeramente, se resumen las principales características de los factores condicionantes y gatillantes para cada uno de los peligros geológicos a los que se encuentra expuesta la Provincia de Limarí. Posteriormente, se presenta un diagnóstico de los peligros geológicos que podrían generarse en los centros poblados, orientado a identificar, delimitar y describir las zonas más propensas a la ocurrencia de inundaciones (por desborde de cauce y/o litorales o de remociones en masa (flujos de barro y/o detritos y procesos de ladera).

Las características de cada peligro se describen en detalle en el ANEXO B.

4.1 CARACTERIZACIÓN DE FACTORES CONDICIONATES Y DESENCADENANTES

Los factores condicionantes y desencadenantes se estudian de acuerdo a la integración de la línea de base y el catastro de peligros geológicos.

4.1.1 INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES

Los factores que condicionan la ocurrencia de inundaciones por desborde de cauces se relacionan con características de la cuenca aportante (área, forma, diferencias de cota, pendiente), tipo de cauce (perenne o intermitente) y capacidad del cauce para infiltrar agua.

Los efectos en la población dependen principalmente de la intensidad de la inundación (que se manifiesta en la altura de inundación y la velocidad de flujo), pero también inciden la densidad de población y medidas preventivas tomadas por la población.

El factor desencadenante de las inundaciones por desborde de cauces son las precipitaciones líquidas intensas y/o prolongadas en el tiempo. En el área de estudio, es común la ocurrencia de precipitaciones líquidas muy intensa en sectores muy acotados, que generan flujos de barro en las quebradas laterales, las que, cuando pierden energía y depositan el material que arrastran, generan inundaciones aguas abajo del sector donde ha ocurrido la lluvia.

4.1.2 ANEGAMIENTOS

Este tipo de inundaciones se asocia a condiciones que localmente favorecen la acumulación de agua, debido a que se impide el escurrimiento superficial (zonas topográficamente deprimidas o barreras físicas) y la infiltración (drenaje deficiente o niveles freáticos someros). Ocurren como consecuencia de lluvias intensas y/o prolongadas.

4.1.3 INUNDACIONES LITORALES

En base a los daños generados por el tsunami del 16 de septiembre del 2015 que afectó diversas caletas de la comuna de Ovalle, se observó que estos se produjeron a alturas inferiores a la cota 8 m; a excepción de Caleta Talquilla, donde se destruyó una casa y se observa una marca de agua incluso por sobre la cota 15 m s.n.m. De acuerdo a la información recopilada, a este tsunami se le asignó una intensidad de daños media, según la clasificación de Inamura (ver TABLA Nº E 10).

4.1.4 FLUJOS DE BARRO Y/O DETRITOS

La ocurrencia de los flujos de barro y/o detritos, comúnmente llamados “aluviones”, se relaciona con la existencia de cauces que presentan pendientes tan altas como para que, en caso que los cauces puedan colectar un caudal suficiente (el cual depende también del tamaño de la cuenca), el agua pueda alcanzar velocidades que permitan transportar el material que se acumula en los cauces. Por lo tanto, la ocurrencia de flujos está condicionada por la existencia de una cuenca que colecte los aportes de la 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 la zona estudiada, se observa que los abanicos aluviales (en las desembocaduras de las quebradas, donde ocurre un cambio importante de la pendiente) corresponden a la zona terminal donde se deposita el material de los “aluviones”, y por lo tanto, constituyen un indicador de que la quebrada presenta condiciones para ser afectada por flujos de barro y/o detritos.

El factor desencadenante más común de flujos de detritos en la zona son las lluvias líquidas de gran intensidad y poca extensión espacial, que afectan localmente a las quebradas interiores, y que terminan por desestabilizar el material detrítico, transportándolo aguas abajo.

4.1.5 PROCESOS DE LADERA

La caída de bloques se asocia a la existencia de discontinuidades en la roca con condiciones de inestabilidad favorables para que los fragmentos caigan a través de un talud. Entre los factores condicionantes se deben diferenciar aquellos que determinan la probabilidad de ocurrencia de los que controlan el nivel de daño generado. Entre los primeros se cuenta la orientación y la frecuencia de las discontinuidades y la pendiente del talud, mientras que en el segundo grupo se encuentra el tamaño de los bloques que caen y la distancia vertical recorrida por estos. En general, a mayor pendiente y a mayores diferencias de cota con respecto al cauce principal, las laderas presentan una tendencia a la inestabilidad, y por tanto, a la generación de caída de bloques. En este sentido, en el sector oriental de la unidad geomorfológica de Media Montaña, y en la unidad de Alta Cordillera, las laderas presentan más condicionantes que aquellos sectores ubicados hacia el oeste.

El principal factor desencadenante de las caídas de roca son los sismos, y en segundo lugar, los eventos meteorológicos extremos. En ambos casos se tiende a alcanzar la condición de inestabilidad, de tal manera que los bloques caen ladera abajo.

La ocurrencia de deslizamientos está condicionada por factores intrínsecos del suelo y de la roca, las características geológicas, las características geológicas (litología, estructuras, grado de alteración y meteorización, etc.), los factores geomorfológicos (pendiente, curvatura, elevación, entre otros), la cantidad y tipo de vegetación y el grado de humedad y posición del agua subterránea. Sin embargo, los condicionantes que ejercen un mayor control sobre la ocurrencia de los deslizamientos, son la pendiente, la litología, la elevación con respecto al cauce principal y la curvatura. En este sentido, y al igual que en el caso de caída de rocas, en el sector oriental de la unidad geomorfológica de Media Montaña y en la unidad de Alta Cordillera, las laderas presentan mayores pendientes y mayores diferencias de alturas que aquellos sectores ubicados hacia el oeste y, por lo tanto, son sectores más propensos a la ocurrencia de este peligro.

Los deslizamientos pueden ser desencadenados principalmente por sismos, eventos hidrometeorológicos extremos, o en menor medida, por actividad antrópica (excavaciones para caminos, canales, terraplenes, etc.).

4.1.6 SISMICIDAD

Como se explica en la sección 2.1.1, Chile se ubica en una zona de convergencia de placas desde su extremo norte hasta la Península de Taitao. Por otra parte, la FIGURA 3.4-4 muestra que existen fallas con evidencia de actividad cuaternaria en el borde costero de la Provincia de Limarí. En la etapa posterior del estudio, se analizará si existen registros actuales de actividad sísmica, que pudieran estar asociados a esas fallas.

Como se describe en la sección 3.4, se identifican 4 tipos de sismos que, eventualmente, podrían afectar a la Provincia de Limarí:

- Sismos “costa afuera”, que no pueden ocurrir en provincia, y en caso de ocurrir fuera de ésta, no las afectaría.
- Sismos interplaca, como el ocurrido en Coquimbo en septiembre de 2015.
- Sismos intraplaca, como el ocurrido en Punitaqui en octubre de 1997.
- Sismos corticales, no se encontraron registros de sismos superficiales importantes asociados a fallas activas en la provincia.

4.1.7 VOLCANISMO

De acuerdo a lo que se explica en la sección 3.5, la Provincia de Limarí no es susceptible de ser afectada por volcanismo.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DOMINIO GEOMORFOLÓGICO

A continuación, se presenta una caracterización de los peligros geológicos que podrían afectar a los centros poblados, tales como inundaciones por desborde de cauce, inundaciones litorales, flujos de barro y/o detritos y procesos de laderas. Esto se presenta con el objetivo de definir una base para los criterios que se utilizaron en la zonificación de la susceptibilidad, cuyos resultados se presentan en el siguiente capítulo (Capítulo 0).

Para cada comuna, desde la sección 4.2.1 a la sección 4.2.5, la descripción de los peligros a los cuales se encuentran expuestos los centros poblados se presentan por sectores, determinados de acuerdo a sus características morfológicas que, en su mayoría, se relacionan con la hidrografía comunal.

4.2.1 COMUNA DE COMBARBALÁ

Combarbalá corresponde a una comuna emplazada en el dominio de Media Montaña, donde los principales asentamientos se ubican sobre laderas, depósitos aluviales y terrazas fluviales.

Para facilitar el diagnóstico, los centros poblados de esta comuna han sido agrupados en tres sectores, los cuales se representan gráficamente en la Figura 4.2-1:

a) Sector de quebradas intermitentes, que contiene los centros poblados de Manquehua, El Sauce, Quilitapia, El Huacho y Sector Embalse Cogotí.
b) Sector próximo al río Combarbalá, que incluye Combarbalá y Ramadilla.
c) Sector adyacente al río Cogotí, que envuelve los centros poblados de Cogotí, La Isla, La Ligua y San Marcos.

Sector de Quebradas Intermitentes

Este sector presenta quebradas que están asociadas a la generación de flujos de barro y/o detritos. El peligro provocado por procesos de laderas está presente en algunas zonas del sector amenazando asentamientos a los pies del cerro. En otros sectores se exhibe en un menor grado por la presencia de laderas suavizadas, sin embargo estas pueden producir remociones de material.

Sector próximo al Río Combarbalá

En este sector el río Combarbalá es la principal amenaza de inundaciones por desborde de cauces en la zona. Las áreas de inundación varían a lo largo del sector pues en algunas zonas el río se muestra encajonado limitando la salida del río.

La generación de flujos de barro y/o detritos ocurre en las quebradas de altas pendientes en los cerros, en algunos casos las quebradas bajan hasta las superficies aterrazadas hasta unirse con el río.

Los procesos de ladera afectan este sector debido a las pendientes medias a altas de los cerros, que en algunos casos evidencian procesos antiguos de remociones de material, algunos asentamientos residenciales se encuentran adyacentes a estas áreas de peligro.

Sector adyacente al Río Cogotí

El sector se encuentra en torno al río Cogotí y por ende el peligro de inundación se encuentra subordinado a su cauce, sin embargo, existen subsidiarios a este río que también pueden ser una amenaza para la zona. El río Cogotí presenta amplias planicies de inundación en torno a su cauce que estarían expuestas en caso de desbordes.

En el caso de los flujos de barro y/o detritos estos podrían ser provenientes de los cerros de mayor altura, que en algunos casos se desarrollan en áreas de procesos de laderas, pudiendo transportar grandes cantidades de material si ambos procesos ocurren. Existen flujos que pueden provenir de quebradas de menor pendiente en algunas zonas del sector.

El sector posee laderas de mediana altura y alta pendiente, lo cual representa peligro de generación de flujos de barro y/o detritos, así como también de procesos de laderas evidenciado en remociones de material.

En la TABLA 4-1se resumen los peligros geológicos que pueden afectar a los sectores de la comuna de Combarbalá.

TABLA 4-1 Peligros geológicos reconocidos en la Comuna de Combarbalá

Comuna	Sector	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Combarbalá	Quebradas Intermitentes	-	X	X	-	-
	Río Combarbalá	-	X	X	X	-
	Río Cogotí	-	X	X	X	-

4.2.2 COMUNA DE MONTE PATRIA

Los centros poblados de la comuna de Monte Patria están distribuidos a lo largo de los principales ríos de la comuna, y abarcan la media montaña y el extremo occidental de la alta cordillera, todas ellas descritas en detalle en la sección 2.1.2. Salvo algunos casos en la parte más baja de la comuna, la mayoría de los centros poblados están ubicados en las laderas de los cerros que limitan los valles o en los abanicos aluviales de las quebradas tributarias a los ríos principales, debido a que los territorios de mayor interés desde el punto de vista agrícola se encuentran en las zonas más planas.

Para la caracterización del diagnóstico elaborado a nivel de los centros poblados, se han definido tres sectores: Embalse La Paloma, Río Cogotí y Río Grande, los cuales se representan gráficamente en la Figura 4.2-1. Las localidades agrupadas en cada sector se detallan a continuación:

a) Sector Embalse La Paloma: El Palqui, Huana, La Península, Las Paceras, y Monte Patria.
b) Sector Río Cogotí: El Tome Alto, Huatulame, Los Tapia, y Chañaral Alto.
c) Sector Río Grande: Carén, Cerrillos de Rapel, Chañaral de Carén, Chilecito, El Coipo, Las Mollacas, Las Juntas, Mialqui, El Pedregal, Rapel, y Tulahuén.

<u>Sector Embalse La Paloma</u>

Este sector reúne los centros poblados ubicados en las zonas más bajas de la comuna de Monte Patria, los cuales están junto al embalse. El sector por lo general presenta zonas amplias y pendientes bajas si se le compara con el resto de la comuna. Presenta zonas expuestas a procesos de ladera, pero en general los elementos vulnerables se encuentran alejados de ellas.

También se reconocen sectores con potencialidad para que ocurran flujos de barro y/o detritos, que es el principal peligro que puede afectar al sector, y algunos sectores que pueden ser afectados por inundaciones.

<u>Sector Río Cogotí</u>

En el sector Río Cogotí existen laderas de cerros con pendientes capaces de exponer algunas zonas al peligro de procesos de laderas.

Se encuentran también quebradas pequeñas, que nacen en las mismas laderas, y medianas a grandes, como la quebrada Cárcamo, que pueden tener la forma y las dimensiones de un río, pero que por lo

general no presentan escurrimiento. Por lo general, en las quebradas se puede esperar la ocurrencia de flujos de barro y/o detritos.

La presencia del Río Cogotí en el sector amenaza con la posible ocurrencia de inundaciones por desborde de cauce. Donde además se incluye la gestión del Embalse Cogotí en el peligro de inundaciones.

Sector Río Grande

Este sector incluye a los centros poblados ubicados junto a los ríos Grande, Rapel, Palomo y Mostazal, desde Las Juntas hacia arriba.

Este sector abarca las laderas de los cerros y los abanicos aluviales de las quebradas tributarias, lo que hace que se encuentre más expuesto a procesos de ladera en el primer caso y a flujos de barro y/o detritos en el segundo.

En el caso de los centros poblados ubicados en los abanicos aluviales, es común que en las cabeceras de las cuencas exista un aporte importante de material producto de procesos de ladera que se acumula en los cauces, lo que genera condiciones para que los flujos tengan una componente detrítica importante. Esto es particularmente relevante en los abanicos de las quebradas Chañaral de Carén, Tulahuén, Cerrillos de Rapel (quebradas El Maqui y El Rincón), y Rapel. En otros casos, las quebradas se encuentran relativamente bien encajonadas (como en el caso de El Coipo) o no tienen un aporte detrítico tan importante, como ocurre en algunas quebradas menores.

Finalmente, debido a la presencia de los ríos se debe tener en consideración el peligro de inundación por desborde de cauces.

En la TABLA 4-2, se presenta un resumen con los peligros geológicos a los cuales se podrían encontrar expuestos los sectores de la comuna de Monte Patria.

TABLA 4-2 Peligros geológicos reconocidos en la Comuna de Monte Patria

Comuna	Sector	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Monte Patria	Embalse La Paloma	-	X	X	X	-
	Río Cogotí	-	X	X	X	-
	Río Grande	-	X	X	X	-

4.2.3 COMUNA DE OVALLE

Para facilitar el diagnóstico los centro poblados de la comuna de Ovalle fueron agrupadas en cinco sectores, uno perteneciente al dominio geomorfológico costero; tres ubicados en el dominio geomorfológico de terrazas aluviales antiguas, agrupados de acuerdo a tres quebradas principales que de norte a sur son: Quebrada Seca, Río Limarí y Estero Punitaqui; y uno en el dominio geomorfológico de media montaña donde comienza el Río Hurtado, los cuales se representan gráficamente en la Figura 4.2-1.

Las localidades de cada uno de los sectores son:

a) En el sector del Dominio Costero: Caleta El Sauce, Caleta La Cebada, Caleta Limarí, Caleta Sierra, Caleta Talca, Caleta Talcaruca, Caleta Talquilla, y Caleta Totoral.
b) Para el sector de Quebrada Seca: Cerrillos de Tamaya, Quebrada Seca, Quebrada Seca Industrial, Valdivia de Punilla, y Santa Cristina.
c) El sector de Río Limarí incluye: Barraza, Carachilla, El Trapiche, La Sossa, La Torre-La Placa, Limarí, Ovalle, Recoleta, San Julián, Sotaqui, y Tabalí.
d) El sector del Estero Punitaqui agrupa: Camarico Chico - Viejo, Chalinga, Los Nogales, Nueva Aurora, Socos, y Unión Campesina.
e) El sector del Río Hurtado contiene solo el Embalse Recoleta.

Sector Dominio Costero

Este sector es el único en toda el área de estudio que se encuentra expuesto al peligro de inundaciones litorales (por tsunamis o marejadas). Dado que este tipo de inundaciones afectan los primeros metros de cota sobre el nivel del mar, todo el borde costero de este sector está delimitado como una zona expuesta a este peligro.

De oriente a poniente, existe una extensa red de quebradas costeras que disecciona distintos niveles de terrazas marinas. Estas quebradas, debido a sus altas pendientes y a la presencia de material disponible para ser movilizado, fueron consideradas como elementos morfológicos susceptibles de generar flujos de barro y/o detritos. Adicionalmente, a lo largo de aquellas quebradas que cuentan con las mayores áreas drenadas, se delimitaron cauces potencialmente expuestos al peligro de inundaciones terrestres (por desborde de cauce).

Por su parte, la existencia de diferentes niveles aterrazados (con al menos 4 escarpes paralelos a la línea de costa), así como la fuerte incisión de las quebradas costeras antes descritas, dan origen a un contexto de laderas de alta pendiente, expuestas a eventuales procesos de laderas.

Sector Quebrada Seca

Este sector se caracteriza morfológicamente por estar ubicado sobre las terrazas aluviales de la Formación Confluencia. La erosión de esta unidad geológica, da origen a una densa red de quebradas cortas y de alta pendiente, cuyos cauces están expuestos al peligro de flujos de barro y/o detritos. Estos pequeños cauces confluyen entre sí, formando progresivamente quebradas de mayores tamaños, las cuales están expuestas al peligro de inundación por desborde de cauce. Ejemplos de lo anterior corresponden a las quebradas Seca, El Romero y quebrada Churque.

La misma erosión de la Formación Confluencia ha generado zonas escarpadas de material no consolidado, de pendientes variables. Aquellas zonas escarpadas de pendientes altas, o que presentaran evidencias de acumulación de material en su base, fueron consideradas como áreas expuestas a procesos de laderas.

Sector Estero Punitaqui

La geomorfología en este sector está controlada por el desarrollo terrazas aluviales antiguas pertenecientes a la Formación Confluencia, cuyos valles aluviales son más amplios en el sector oriental y se van encajonando hacia el occidente, en donde aflora la cordillera de la Costa controlada por la Falla Pachingo. Los centros poblados aquí agrupados se ubican en el entorno de las quebradas afluentes al Estero Punitaqui, y se disponen tanto en terrazas aluviales antiguas, valles fluviales, e incluso abanicos aluviales activos.

En el sector más encajonado del Estero Punitaqui existen zonas que han sido levantadas tanto sobre valles fluviales modernos como sobre las suaves laderas de la Formación Confluencia. Donde, al igual que en quebrada seca, la erosión de esta unidad geológica permite la formación de flujos de barro y/o detritos provenientes desde quebradas intermitentes perpendiculares al estero principal.

El peligro de inundaciones por desborde de cauce se reconoce en el sector debido a la posibilidad del aumento de caudal del Estero Punitaqui y de algunas quebradas durante crecidas de invierno.

Sector Río Limarí

En el sector del Río Limarí al igual que en los casos de los sectores de Quebrada Seca y Estero Punitaqui, la erosión de dicha formación ha generado una red de quebradas menores, que son susceptibles de generar flujos de barro y/o detritos. Sin embargo, la característica más distintiva de este sector, corresponde a la profunda incisión de los ríos Limarí y Grande sobre esta misma formación. La incisión ha tenido como resultado un escarpe de pendiente media a alta, que en algunos sectores supera los 150 m de alto, y que se considera como un elemento morfológico expuesto a procesos de ladera. Los cauces de los ríos Limarí y Grande, así como sus llanuras de inundación y sus terrazas más bajas, están expuestos al peligro de inundaciones terrestres por desborde de cauce.

Dentro de este sector se debe considerar el peligro asociado a inundaciones que se generen como consecuencia de la gestión del Embalse Recoleta.

Finalmente, en algunos centros poblados del sector se han reconocido zonas expuestas al peligro de anegamiento, el cual está determinado por condiciones locales de la topografía que favorecen la acumulación de agua por intensas precipitaciones o inundaciones.

Sector Río Hurtado

En el sector se observan laderas pertenecientes a la Media Montaña, de pendientes medias a altas. Estas laderas, tanto por sus características morfológicas, como por la evidencia de material detrítico acumulado en sus zonas basales, se consideran como zonas expuestas a desarrollar procesos de ladera en general. A su vez, las quebradas que descienden desde ellas también se consideraron como expuestas al peligro de flujos de barro y/o detritos.

La amenaza de inundación por desborde de cauces asociada a la gestión del Embalse Recoleta también está presente en este sector.

En la TABLA 4-3, se presenta un resumen con los peligros geológicos a los cuales se podría encontrar expuesto cada sector de la comuna de Ovalle.

TABLA 4-3 Peligros geológicos reconocidos en los sectores de la Comuna de Ovalle

Comuna	Sector	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Ovalle	Dominio Costero	-	X	X	X	X
	Quebrada Seca	-	X	X	X	-
	Río Limarí	X	X	X	X	-
	Estero Punitaqui	-	X	X	X	-
	Río Hurtado	-	X	X	X	-

4.2.4 COMUNA DE PUNITAQUI

Los centros poblados de Punitaqui, Punitaqui, El Toro y Las Ramadas, se distribuyen sobre el dominio geomorfológico de media montaña, donde la mayor parte de los asentamientos se ubican en antiguas terrazas fluviales o en abanicos aluviales (ver sección 0). Los tres centros poblados de la comuna de se agruparon un mismo sector con el nombre de Punitaqui, el cual se representa gráficamente en la Figura 4.2-1.

Sector Punitaqui

El ambiente en el cual ha sido poblado este sector lo expone al peligro de inundación debido al estero Punitaqui y canales que pueden desbordarse en caso de intensas precipitaciones, como las ocurridas en mayo del año 2017. Estos desbordes amenazan las zonas aledañas al estero que se encuentran al mismo nivel, las cuales corresponden principalmente a terrenos agrícolas y algunos residenciales.

El sector se encuentra expuesto a la generación de flujos de barro y/o detritos, estos provienen de quebradas de pendientes altas a medias, recorren largas distancias hasta perder su energía en sectores planos, uniéndose en algunos casos al estero principal.

El peligro asociado a procesos de ladera amenaza los centros poblados con la caída de bloques y remociones de material en las zonas de mayor pendiente, este material puede caer en el piedemonte y/o alcanzar mayores distancias movilizado por quebradas activas.

En la TABLA 4-4, se presenta un resumen con los peligros geológicos que pueden afectar al sector de Punitaqui.

TABLA 4-4 Peligros geológicos reconocidos en la Comuna de Punitaqui

Comuna	Sector	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Punitaqui	Punitaqui	-	X	X	X	-

4.2.5 COMUNA DE RÍO HURTADO

Los centros poblados de la comuna de Río Hurtado, se ubican en las orillas del río homónimo, en una zona transicional que va desde la Media Montaña (en el oeste) hasta la Alta Cordillera (en el este). Se separó a la comuna en dos sectores para agrupar a las localidades y facilitar el diagnóstico, el dominio geomorfológico de Media Montaña se designó como sector Río Hurtado Bajo, y el dominio de Alta Cordillera se denominó como sector Río Hurtado Alto, los cuales se representan gráficamente en la Figura 4.2-1.

Los centros poblados agrupados en los sectores son:

a) En el sector Río Hurtado Bajo: Huampulla, Hurtado, Pichasca, Samo Alto, La Puntilla, Serón, Tabaqueros y Tahuinco.
b) El sector Río Hurtado Alto contiene solo a Las Breas.

<u>Sector Río Hurtado Bajo</u>

El dominio de Media Montaña se expresa como laderas de pendientes medias a altas, que presentan condiciones favorables para la ocurrencia de procesos de laderas. En este sector, desde de los cordones montañosos emerge una densa red de cauces tributarios al Río Hurtado, que generan incipientes abanicos aluviales en sus zonas de desembocadura (llanos de poca extensión). Estos cauces tributarios se consideran como morfologías expuestas a flujos de barro y/o detritos.

La presencia del Río Hurtado expone al sector al peligro de inundación por desborde de cauce, por tanto se subordina a su actividad tanto en el interior de su cauce como en sus llanuras correspondientes a terrazas fluviales más bajas.

<u>Sector Río Hurtado Alto</u>

Este sector se ubica en el flanco occidental de la Alta Cordillera. Esta zona se caracteriza por presentar laderas de pronunciadas alturas y pendientes, y por tanto, detenta una mayor presencia de procesos de laderas, con respecto a los otros contextos geomorfológicos del área de estudio. A su vez, los cauces tributarios tienden a ser de mayores pendientes, formando abanicos aluviales de mayores tamaños, con morfologías bien preservadas, lo que da cuenta de procesos muy activos de flujos de barro y/o detritos. En este mismo sentido, destaca el abanico aluvial del centro poblado Las Breas, que presenta una morfología cónica de alta pendiente, con lóbulos activos marcados, y que es alimentado por una hoya hidrográfica aportante de gran extensión, de alta pendiente y alta disponibilidad de material para ser movilizado.

De igual manera que el sector bajo del Río Hurtado, este sector de Alta Montaña está expuesto al peligro de inundación por desborde de cauce asociado a la actividad del Río Hurtado.

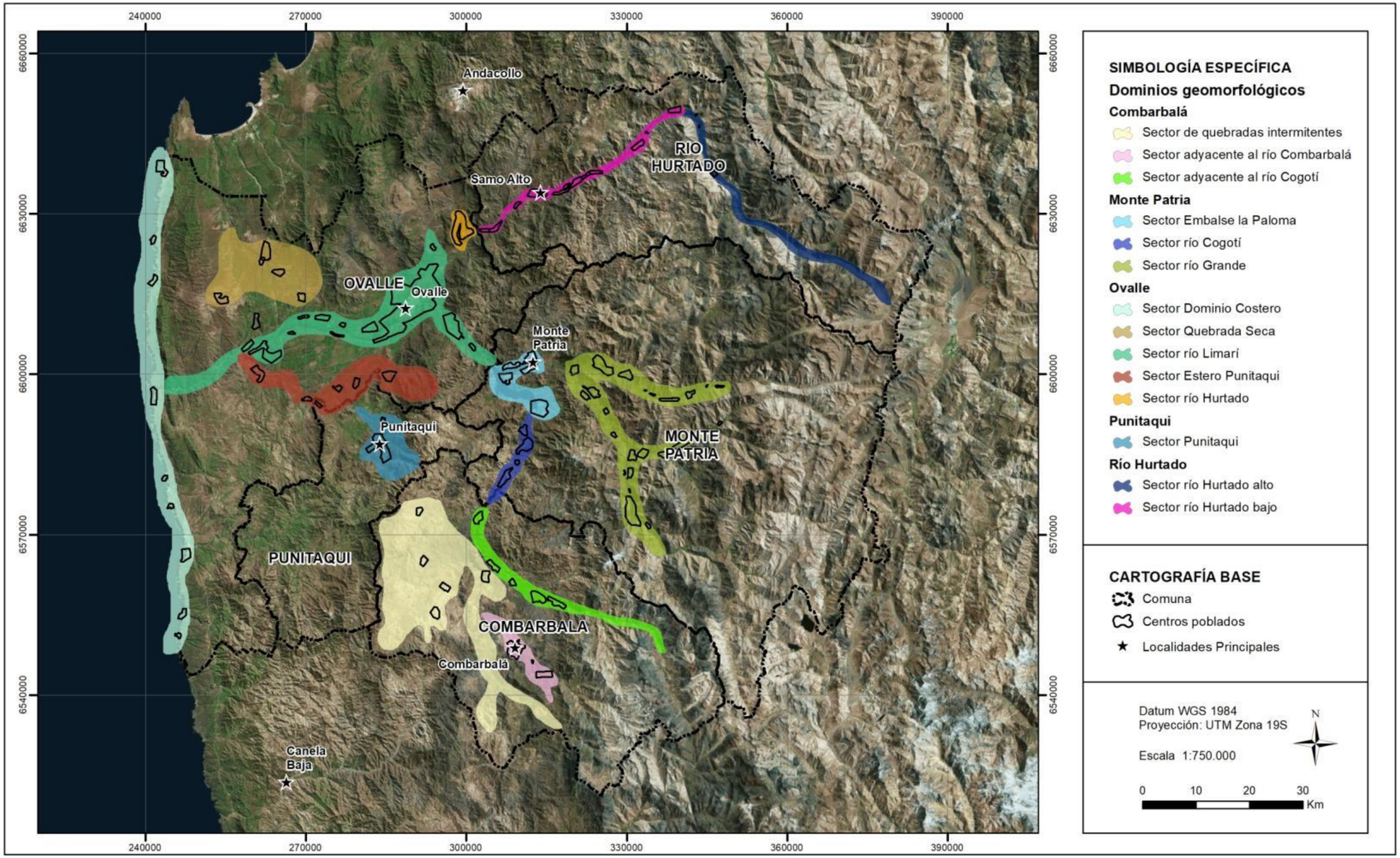
En la TABLA 4-5, se presenta un resumen con los peligros geológicos a los cuales se podrían encontrar expuestos los dos sectores de la comuna de Río Hurtado.

TABLA 4-5 Peligros geológicos reconocidos en la Comuna de Río Hurtado

Comuna	Sector	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Río Hurtado	Río Hurtado Bajo	-	X	X	X	-
	Río Hurtado Alto	-	X	X	X	-

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

Figura 4.2-1 Dominios morfológicos para la caracterización de peligros geológicos.



PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

5 ZONIFICACIÓN DE LOS PELIGROS ANALIZADOS

Los peligros reconocidos en la zona de estudio se pueden diferenciar en dos grupos:

- **Peligros No Zonificables** a escala comunal (escala de trabajo menor a 1:50.000): casos en los que no se pueden zonificar a escala urbana o que requerirían estudios de mayor detalle para poder determinar una zonificación de la susceptibilidad.
- **Peligros Zonificables** a escala comunal (escala de trabajo mayor a 1:25.000): casos en los que se puede categorizar la susceptibilidad y por lo tanto determinar una zonificación de la misma.

Como se mencionó anteriormente, la zonificación de las áreas de estudio se realizó a dos escalas diferentes, además para ambas escalas se ocuparon metodologías de zonificación diferentes. La zonificación de toda el área de la Provincia de Limarí se realizó a escala 1:50.000 (Sección 5.3), para los riesgos: (1) flujos de barro y/o detritos y (2) procesos de ladera e inundaciones. Mientras que la zonificación para los centros poblados fue realizada a escala 1:5.000 (Sección 5.2), para: (1) inundaciones por desborde de cauces, (2) anegamientos, (3) inundaciones litorales, (4) flujos de barro y/o detritos, (5) procesos de ladera.

Para los peligros que pueden ser zonificados a las escalas propuestas, se asignarán tres grados de susceptibilidad: Muy Alta, Alta y Moderada. En términos generales las zonas de 'muy alta' susceptibilidad son aquellas que muy probablemente serán afectadas en caso de ocurrir algún 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 evidencias de otros tipos.

5.1 PELIGROS NO ZONIFICABLES

5.1.1 PELIGRO SÍSMICO

Considerando lo discutido en las secciones 3.4 y 4.1.6 se puede concluir que el área de estudio ha sido afectada por sismos de magnitud importante, al igual como ocurre en casi todo el territorio de Chile. Dado que estos fenómenos son recurrentes y propios de la dinámica de subducción en que se encuentra Chile, no debe descartarse la ocurrencia de grandes sismos en la planificación a mediano y largo plazo.

En particular, no se identificaron fallas activas próximas a los asentamientos poblados, por lo que no se justifica una zonificación asociada a la generación de sismos corticales.

Por su parte, si bien los sismos de profundidad intermedia se registran en todo el país, la mayor parte corresponde a eventos de magnitud pequeña. Sin embargo, sismos de este tipo y de gran magnitud, aunque escasos, también existen, y sus características y recurrencias son poco conocidas. Por lo mismo, se concluye que el área de análisis de detalle sí puede ser afectada por sismos de profundidad intermedia de magnitud importante, aunque tampoco se justifica una zonificación.

A modo de conclusión, para el área de análisis de detalle el peligro sísmico del área debe considerarse uniformemente expuesta a una susceptibilidad alta.

5.1.2 PELIGRO VOLCÁNICO

Dado que los centros eruptivos activos más cercanos a las localidades en estudio de las comunas de Limarí se ubican a más de 300 km de Ovalle (Tupungatito 330 km hacia el sur y Ojos del Salado 460 km hacia el norte), y sin conexión hidrográfica con las cuencas del área de estudio, no se considera que esta pueda ser afectada de manera directa por el peligro volcánico. Por lo anterior, se considera que las localidades en estudio no serían afectadas por coladas de lava, flujos piroclásticos o lahares, y en el caso de caída de tefra sólo serían afectadas si fuese resultado de una erupción volcánica de grandes proporciones ocurridas en algún centro volcánico lejano.

5.2 PELIGROS ZONIFICADOS A ESCALA 1:5.000

Las susceptibilidades de los peligros de inundaciones terrestres (inundaciones por desborde de cauce y anegamientos) y de remociones en masa (deslizamientos, caída de bloques y flujos de barro y/o detritos) fueron mapeadas para ser representadas a escala 1:5.000 en 74 asentamientos poblados (con topografía adecuada).

La representación cartográfica de los mapas de susceptibilidad de peligros de las áreas de análisis en asentamientos poblados se incorpora a modo referencial al interior de este informe, a escala 1:20.000 en el ANEXO F.1 (TABLA 5-1, TABLA 5-2, TABLA 5-3, TABLA 5-4, y TABLA 5-5); o bien, como plano fuera de texto a escala 1:10.000, en los PLANOS 1 A 74. Algunas de estas localidades debieron representarse a dos escalas, lo que se representa en el ANEXO F.2.

TABLA 5-1: Distribución de los planos (a escala 1:10.000, fuera de texto) y mapas susceptibilidad de peligros (a escala 1:5.000) en las áreas de análisis en asentamientos poblados de la comuna de Combarbalá.

Localidad	Número de Figura de Susceptibilidad de Procesos de Laderas	Número de Figura de Susceptibilidad de Inundación	PLANO Nº
Cogotí	Figura Nº F-1	Figura Nº F-2	1
Combarbalá	Figura Nº F-3	Figura Nº F-4	2
El Huacho	Figura Nº F-5	-	3
El Sauce	Figura Nº F-6	-	4
La Isla	Figura Nº F-7	Figura Nº F-8	5
La Ligua	Figura Nº F-9	Figura Nº F-10	6
Manquehua	Figura Nº F-11	-	7
Quilitapia	Figura Nº F-12	-	8
Ramadilla	Figura Nº F-13	Figura Nº F-14	9
San Marcos	Figura Nº F-15	Figura Nº F-16	10
Sector Cogotí Embalse*	Figura Nº F-116	-	11

* Localidades con levantamiento topográfico incompleto. Se presentan en el ANEXO F.2.

TABLA 5-2: Distribución de los planos (a escala 1:10.000, fuera de texto) y mapas susceptibilidad de peligros (a escala 1:5.000) en las áreas de análisis en asentamientos poblados de la comuna de Monte Patria.

Localidad	Número de Figura de Susceptibilidad de Procesos de Laderas	Número de Figura de Susceptibilidad de inundación	PLANO Nº
Carén	Figura Nº F-17	Figura Nº F-18	12
Cerrillos de Rapel	Figura Nº F-19	Figura Nº F-20	13
Chañaral Alto	Figura Nº F-21	Figura Nº F-22	14
Chañaral de Caren	Figura Nº F-23	-	30
Chilecito	Figura Nº F-24	Figura Nº F-25	15
El Coipo	Figura Nº F-26	Figura Nº F-27	16
El Palqui	Figura Nº F-28	Figura Nº F-29	19
El Pedregal	Figura Nº F-30	-	17
El Tome Alto	Figura Nº F-31	Figura Nº F-32	18
Huana*	Figura Nº F-117	Figura Nº F-118	20
Huatulame	Figura Nº F-33	Figura Nº F-34	21
La Península	Figura Nº F-35	Figura Nº F-36	22
Las Juntas	Figura Nº F-37	Figura Nº F-38	25
Las Mollacas	Figura Nº F-39	Figura Nº F-40	23
Las Paceras	Figura Nº F-41	-	24
Los Tapia	Figura Nº F-42	Figura Nº F-43	26
Mialqui	Figura Nº F-44	Figura Nº F-45	27
Monte Patria*	Figura Nº F-119	Figura Nº F-120	28
Rapel	Figura Nº F-46	Figura Nº F-47	29
Semita*	Figura Nº F-121	Figura Nº F-122	75
Tulahuén	Figura Nº F-48	Figura Nº F-49	31

* Localidades con levantamiento topográfico incompleto. Se presentan en el ANEXO F.2.

TABLA 5-3: Distribución de los planos (a escala 1:10.000, fuera de texto) y mapas susceptibilidad de peligros (a escala 1:5.000) en las áreas de análisis en asentamientos poblados de la comuna de Ovalle.

Localidad	Número de Figura de Susceptibilidad de Procesos de Laderas	Número de Figura de Susceptibilidad de inundación	PLANO Nº
Barraza	Figura Nº F-50	Figura Nº F-51	32**
Caleta El Sauce	Figura Nº F-52	Figura Nº F-53	34
Caleta La Cebada	Figura Nº F-54	Figura Nº F-55	35
Caleta Limarí	Figura Nº F-56	Figura Nº F-57	36
Caleta Sierra	Figura Nº F-58	Figura Nº F-59	37
Caleta Talca	Figura Nº F-60	Figura Nº F-61	38
Caleta Talcaruca	Figura Nº F-62	Figura Nº F-63	39
Caleta Talquilla	Figura Nº F-64	Figura Nº F-65	40
Caleta Totoral*	Figura Nº F-123	Figura Nº F-124	41
Camarico Chico - Viejo	Figura Nº F-66	Figura Nº F-67	42
Carachilla	Figura Nº F-68	Figura Nº F-69	43
Cerrillos de Tamaya	Figura Nº F-70	-	44
Chalinga	Figura Nº F-71	Figura Nº F-72	45
El Trapiche	Figura Nº F-73	Figura Nº F-74	46
Embalse Recoleta*	Figura Nº F-125	Figura Nº F-126	47
La Sossa	Figura Nº F-75	Figura Nº F-76	48
La Torre-La Placa	Figura Nº F-77	Figura Nº F-78	49
Limarí	Figura Nº F-79	Figura Nº F-80	50
Los Nogales	Figura Nº F-81	-	51
Nueva Aurora	Figura Nº F-82	-	52
Ovalle	Figura Nº F-83	Figura Nº F-84	53**
Quebrada Seca*	Figura Nº F-127	Figura Nº F-128	54
Quebrada Seca Industrial	Figura Nº F-85	Figura Nº F-86	33
Recoleta*	Figura Nº F-129	Figura Nº F-130	55
San Julián*	Figura Nº F-131	Figura Nº F-132	56
Santa Cristina	Figura Nº F-87	Figura Nº F-88	57
Socos	Figura Nº F-89	Figura Nº F-90	58
Sotaquí	Figura Nº F-91	Figura Nº F-92	59
Tabalí	Figura Nº F-93	Figura Nº F-94	60
Unión Campesina	Figura Nº F-95	-	61
Valdivia de Punilla	Figura Nº F-96	-	62

* Localidades con levantamiento topográfico incompleto. Se presentan en el ANEXO F.2.

** Localidades representadas a escala 1:15.000.

TABLA 5-4: Distribución de los planos (a escala 1:10.000, fuera de texto) y mapas susceptibilidad de peligros (a escala 1:5.000) en las áreas de análisis en asentamientos poblados de la comuna de Punitaqui.

Localidad	Número de Figura de Susceptibilidad de Procesos de Laderas	Número de Figura de Susceptibilidad de inundación	PLANO Nº
El Toro	Figura Nº F-97	-	63
Las Ramadas	Figura Nº F-98	-	64
Punitaqui	Figura Nº F-99	Figura Nº F-100	65

TABLA 5-5: Distribución de los planos (a escala 1:10.000, fuera de texto) y mapas susceptibilidad de peligros (a escala 1:5.000) en las áreas de análisis en asentamientos poblados de la comuna de Hurtado.

Localidad	Número de Figura de Susceptibilidad de Procesos de Laderas	Número de Figura de Susceptibilidad de inundación	PLANO Nº
Huampulla	Figura Nº F-101	Figura Nº F-102	66
Hurtado	Figura Nº F-103	-	67
Las Breas	Figura Nº F-104	Figura Nº F-105	68
Pichasca	Figura Nº F-106	Figura Nº F-107	69
Samo Alto*	Figura Nº F-133	Figura Nº F-134	70
La Puntilla	Figura Nº F-108	Figura Nº F-109	71
Serón	Figura Nº F-110	Figura Nº F-111	72
Tabaqueros	Figura Nº F-112	Figura Nº F-113	73
Tahuínco	Figura Nº F-114	Figura Nº F-115	74

* Localidades con levantamiento topográfico incompleto. Se presentan en el ANEXO F.2.

5.2.1 INUNDACIONES

5.2.1.1 Inundaciones por desborde de cauce

Se determinó que la susceptibilidad a la inundación por desborde de cauces ocurre mayoritariamente en los ríos (Hurtado, Limarí, Cogotí, Mostazal, Rapel, Grande, Combarbalá), pero también pueden ocurrir asociadas al Estero Punitaqui, Quebrada del Ingenio y Quebrada Seca.

La mayor parte de las veces, se relaciona con la poca diferencia de altura entre los cauces y las zonas aledañas a estos, que hacen que los ríos no tengan una gran capacidad para transportar el agua. Esto ocurre, principalmente, aguas arriba de los abanicos aluviales, pero también de otras formas que afectan a los cauces principales a lo largo de sus valles. Por la recurrencia de estos fenómenos, se propone asignar a las zonas donde pueden ocurrir estas inundaciones un grado de susceptibilidad muy alta en los cauces actuales de los ríos y esteros mencionados anteriormente. Y se determinaron zonas de susceptibilidad alta y moderada, para las terrazas de inundación de los cauces principales, las cuales podrían ser ocupadas durante crecidas inusuales de los caudales típicos de dichas quebradas.

Para la determinación de las zonas de susceptibilidad alta, se utilizó una metodología que considera tanto el relieve de las quebradas (cauce principal y sus terrazas de inundación) como el registro de los máximos niveles de crecida. Los registros de las estaciones fluviométricas de la DGA señalan la altura escurrimiento de aguas. Si se considera la diferencia entre la altura de escurrimiento máxima y mínima medida en una estación, se puede asumir que representa el aumento máximo de altura de inundación que podría alcanzar dicho lugar. Se asumió que esta altura es representativa de un sector extenso del cauce, salvo que hubiera información de otra estación que no fuera coherente con ello.

Por lo cual, a partir de la zona de Susceptibilidad Muy Alta, dada por el cauce principal (correspondiente a la unidad geológica de depósitos fluviales actuales, *Hf*), se determinó el área de inundación de Susceptibilidad Alta como el sector de la terraza adyacente al cauce principal (depósitos fluviales recientes, *PlHf*) delimitada superiormente por una altura de inundación dada por la diferencia entre las alturas de escurrimiento máxima y mínima medidas en la estación fluviométrica más cercana aguas arriba. En general, esta diferencia de altura se correlaciona con la diferencia de cota hasta la terraza adyacente. Sin embargo, las características del lecho del río no necesariamente son uniformes, y por lo tanto el lecho puede presentarse más o menos encajonado que en la zona de la medición. En tales casos la altura de las cotas de alcance de Susceptibilidad de Inundación Alta fue estimada de acuerdo a los criterios del equipo consultor.

Cabe mencionar, en algunos casos, se dejó una zona de Susceptibilidad Moderada, suponiendo que podrían ocurrir inundaciones excepcionales, muy infrecuentes, que podrían inundar niveles de terrazas superiores, o bien, zonas más distales de la misma terraza designada con Susceptibilidad Alta.

Por otro lado, para las localidades que no cuentan con una estación fluviométrica aguas arriba, se utilizó criterio geomorfológico, es decir, el relieve dado por las terrazas adyacentes fue asignado a susceptibilidad Alta o Moderada, de acuerdo al criterio del equipo consultor.

Finalmente, la susceptibilidad alta y moderada se excluyó de las zonas en donde el lecho principal del río se encontraba más encajonado, es decir, con pendiente mayor a 15°. En este sentido, la susceptibilidad

alta y moderada, se incluyen en las zonas de pendiente general mayor a 15°, puesto que en esos casos no se puede identificar si dicha pendiente se asocia a las laderas que encajonan los cauces o a la pendiente natural de los ríos.

En base a lo expuesto, se estableció que los criterios geológicos son los más adecuados para definir los grados de susceptibilidad asociados a las inundaciones por desborde de cauces. Los criterios establecidos son los siguientes:

- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces muy alta:** Cauces actuales determinados por la unidad geológica Hf (depósitos fluviales actuales) de los ríos Hurtado, Limarí, Guatulame, Cogotí, Mostazal, Rapel, Grande, Combarbalá, Estero Punitaqui y Quebrada Seca.
- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces alta:** Terrazas de inundación adyacentes (depósitos fluviales recientes PlHf) a los cauces principales de Susceptibilidad Muy Alta hasta una altura máxima dada por la diferencia de cota entre las alturas de escurrimiento máxima y mínima medidas en la estación fluviométrica más cercana aguas arriba. Exceptuando las zonas en las que se identificó una pendiente asociada a la ladera mayor a 15° (en las zonas de pendiente general mayor a 15° no se consideró esta excepción).
- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces moderada:** Zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, se correlaciona con las terrazas más antiguas de los cauces con Susceptibilidad Muy Alta, o bien con las zonas más distales de las terrazas de inundación adyacentes a dichos cauces. Exceptuando las zonas en las que se identificó una pendiente asociada a la ladera mayor a 15° (en las zonas de pendiente general mayor a 15° no se consideró esta excepción).

5.2.1.2 Inundaciones por anegamiento

Los criterios de zonificación de la susceptibilidad de inundación por anegamiento fueron elaborados por medio de la fotointerpretación de las ortofotos levantadas por GEOCEN a escala 1: 5.000 y de acuerdo a las características morfológicas del área de estudio.

Se identificaron zonas anegables en tres localidades de la comuna de Ovalle: Ovalle, Limarí y Tabalí. Y corresponden a zonas pantanosas ubicadas en los alrededores del canal principal del río Limarí, pero que no están necesariamente conectadas superficialmente con él.

Las características morfológicas del área de estudio, muestran que las zonas expuestas a anegamientos corresponden a zonas muy planas, deprimidas (bajos topográficos), con mal drenaje, y localizadas en la ribera del río Limarí. Estas zonas tienen la posibilidad de estar (o no estar) conectadas directamente con una red hidrológica primaria, sin embargo, no se tienen antecedentes de anegamientos previos, lo cual se consideró como determinante de su grado de susceptibilidad. De esta manera, el criterio de zonificación es el siguiente:

- **Susceptibilidad Alta**: Sectores muy planos, deprimidos (bajos topográficos), con mal drenaje, y que no se conectan directamente con la red hidrográfica (es decir, existen condiciones morfológicas para la acumulación superficial de aguas lluvias).

5.2.1.3 Inundaciones litorales

La susceptibilidad de inundaciones por maremotos generados por sismos mayores fue zonificada en base a:

1. Modelación del estudio de Infracon S.A. (Diagnóstico áreas de riesgos localidades costeras de la Región de Coquimbo, 2008) y PRC Coquimbo (2013).
2. Registros históricos (SHOA).
3. Las condiciones geomorfológicas
4. Observaciones de terreno realizadas en Caleta Talca y Caleta Limarí en agosto de 2017.
5. Comparación de imágenes satelitales anteriores y posteriores al terremoto del 16 de septiembre del 2015.
6. Importancia relativa del tsunami del 16 de septiembre del 2015.

Al comparar imágenes satelitales anteriores y posteriores al terremoto del 16 de septiembre del 2015, se observó que en general los daños ocurrieron a una cota inferior a 8 metros de altura s.n.m. (caletas: Totoral, Talcaruca y Sierra). Como se menciona en capítulos anteriores, los daños generados por este tsunami se asocian a una intensidad de daños media, según la clasificación de Inamura (ver ANEX E Tabla 7.3-18)), por esta razón las zonas afectadas por este tsunami debieran correlacionarse a una susceptibilidad Muy Alta.

Las inundaciones producidas por maremotos generalmente no presentan un patrón coincidente con alguna curva de nivel en particular, ya que la altura de inundación depende de muchos otros factores distintos de la topografía, que se relacionan con singularidades locales en el terreno y con características propias de cada evento de inundación. Pese a lo anterior, la utilización de una cota constituye una buena aproximación de las zonas potencialmente inundadas en caso de ocurrir un maremoto, por lo que la zonificación para inundaciones litorales queda descrita como:

- **Zonas de Susceptibilidad Muy Alta:** sectores ubicados por debajo de la cota 8 m s.n.m.
- **Zonas de Susceptibilidad Alta:** sectores ubicados entre las cotas 8 y 12 m s.n.m.
- **Zonas de Susceptibilidad Moderada:** sectores ubicados entre las cotas 12 y 16 m s.n.m.

En el caso de Caleta Talquilla, se presentaron daños incluso por sobre la cota 15 m s.n.m. Por esta razón en esta caleta se hizo una excepción a los criterios de zonificación, considerando que como mínimo el nivel de daño debería correlacionarse a un nivel de susceptibilidad Muy Alta. De esta forma, en la zona poblada, se consideró el límite de la zona inundada según la ola del 2015 (observada en la ortofoto Sector Cebada, escala 1:20.000) como el nivel para susceptibilidad Muy Alta; y las susceptibilidades Alta y Moderada fueron consideradas a aproximadamente 30 m y 60 m hacia zonas topográficamente más altas (medidos en planta) con respecto a esta línea de la ola (Susceptibilidad Muy Alta), respectivamente.

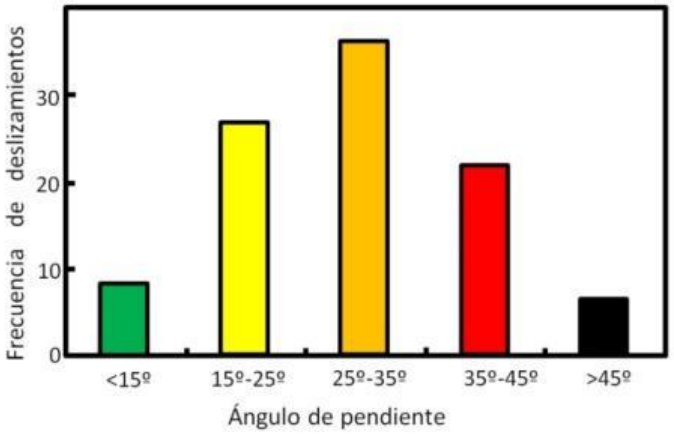
5.2.2 REMOCIONES EN MASA

5.2.2.1 Procesos de ladera

La generación de caída de bloques requiere de 2 componentes: (1) la exposición de rocas en superficie (ya sea directamente en afloramientos rocosos, o bien en depósitos no consolidados que contengan bloques), (2) laderas de altas pendientes para que los fragmentos de roca puedan caer aguas abajo. Por su parte, para la ocurrencia de un deslizamiento o retrocesos de ladera, es necesaria la condición de inestabilidad, la cual está fuertemente determinada por la pendiente de la ladera, así como del material que la compone. Por lo mismo, y tomando en consideración que para estos tres tipos de peligros el factor condicionante principal corresponde a la pendiente, se optó por analizarlos preliminarmente de manera conjunta.

Esaki et al. al. (2005) y Giraud y Shaw (2007) señalan que la mayor frecuencia de ocurrencia de remociones en masa ocurre para taludes y laderas de pendientes entre 25° y 35° (FIGURA 5.2-1).

FIGURA 5.2-1: Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Esaki et al. (2005)

Sin embargo, el criterio de zonificación por pendientes no hace diferencias respecto del tipo de material que está disponible para ser movilizado, el cual ejerce un control de primer orden en la generación de estos eventos. González de Vallejo (2002) propone una integración de ambos componentes (pendiente y tipo de material) para determinar, preliminarmente, el grado de estabilidad del terreno (TABLA 5-6).

TABLA 5-6 Clasificación preliminar del territorio frente a potenciales procesos de ladera

Presencia de movimientos y tipo de materiales		Pendiente		
		Muy baja (<10°)	Baja-Media (10-20°)	Media-alta (>20°)
Sin movimientos activos o antiguos	Sustrato estable	Estable	Estable	Moderadamente estable
	Depósitos superficiales no susceptibles		Generalmente estable	
Con movimientos antiguos	Sustrato estable	Estable	Moderadamente estable	
	Sustrato susceptible	Generalmente	Moderadamente inestable	

	Depósitos superficiales susceptibles	estable	Moderadamente inestable	Inestable
Con movimientos actuales o activos		Inestable		

Fuente: González de Vallejo et al. (2002)

Por lo tanto, en base al catastro (observaciones de terreno y compilación bibliográfica) las unidades litológicas consolidadas y no consolidadas fueron clasificadas de acuerdo a su favorabilidad a presentar procesos de ladera, considerando como unidades favorables (inestables o susceptibles) las que presentaban evidencia previa de procesos de ladera. De este modo, se identificaron cuatro categorías: depósitos superficiales no susceptibles, depósitos superficiales susceptibles, sustrato estable y sustrato inestable, tal como muestra la TABLA 5-7. Los depósitos asociados a actividad antrópica no fueron evaluados.

TABLA 5-7 Clasificación de unidades litológicas de acuerdo a la favorabilidad a generar procesos de ladera identificada.

Depósitos no zonificados	
Han	Depósitos antrópicos o alterados antrópicamente
Embalse	Embalses controlados
Depósitos superficiales no susceptibles	
Ha	Depósitos aluviales actuales
Hf	Depósitos fluviales actuales
He	Depósitos eólicos
Hlit	Depósitos litorales actuales
PlHf0	Depósitos fluviales de terrazas bajas de Ovalle
PlHf1	Depósitos fluviales aterrazados 1
PlHf2	Depósitos fluviales aterrazados 2
Qlit	Depósitos litorales recientes
Nfa	Depósitos fluvio - aluviales antiguos
Depósitos superficiales susceptibles	
PlHa	Depósitos aluviales recientes
PlHc	Depósitos coluviales
Hrm	Depósitos de remoción en masa
Sustrato estable	
MPlc(t)	Depósitos aterrazados de la Formación Confluencia
PaEmb	Monzogranito El Bosque
PaEmlc	Monzogranito Loma Colorada
Jas	Complejo volcánico Agua Salada
Jmg	Intrusivos monzograníticos - granodioríticos
Ka	Formación Arqueros

Ki1	Superunidad Illapel (1)
Krt	Formación Río Tascadero
Ksdp	Diorita Pischasca
Ksih	Intrusivos hipabisales andesíticos
Kv(a)	Formación Viñita
PaEdc	Diorita Campanario
PaEdgdr	Granodiorita Rapelcillo
Pzch(a)	Complejo Metamórfico del Choapa
Cph(c)	Formación Huentelauquén
Trq	Formación El Quereo
Sustrato susceptible	
MPlc	Formación Confluencia
JKd	Intrusivos dioríticos
Kigd	Intrusivos graníticos a dioríticos
Kle	Formación Los Elquinos
Kqlt(q)	Estratos de Quebrada La Totora (a)
Kqm(q)	Formación Quebrada Marquesa
PaEgdg	Granodiorita Guatulame
Trat(a)	Complejo Plutónico Altos de Talinay

Se observó que algunas de las unidades son susceptibles a procesos de ladera (principalmente caída de rocas) incluso a bajas pendientes. Estas unidades corresponden a la Formación Estratos de Quebrada Marquesa y a la Formación Estratos de Quebrada la Totora. Además, el riesgo de que el depósito o escarpe de una remoción en masa sean reactivados es inminente. Por lo cual estas tres unidades fueron evaluadas de una manera más conservadora, considerando susceptibilidad de generación (moderada) incluso para pendientes menores a 15°.

De este modo, utilizando una metodología basada en la de Gonzáles de Vallejos (2002) y los rangos de pendiente de Esaki et al. al. (2005), la susceptibilidad de generación de procesos de ladera de las unidades litológicas del área de estudio queda dada por su relación con la pendiente tal como muestra la TABLA 5-8.

TABLA 5-8 Susceptibilidad de generación de procesos de ladera de las unidades litológicas del área de estudio en relación a la pendiente

Evidencia de procesos de ladera		Pendiente			
		< 15°	15° - 25°	25° - 35°	> 35°
Sin evidencia de procesos de ladera	Unidades no consolidadas no susceptibles *(Ha, Hf, He, Hlit, PlHf, Qlit, Nfa)*	-	Moderada	Alta	Muy Alta
	Unidadades consolidadas no susceptibles *(MPlc(t), PaEmb, PaEmlc, Jas, Jmg, Ka, Ki1, Krt, Ksdp, Ksih, Kv, PaEdc, PaEdgdr, Pzch, Pzh, Cph, Trq)*	-	Moderada	Alta	Muy Alta
Con evidencia de procesos de ladera	Unidadades no consolidadas susceptibles *(PlHa, PlHc)*	-	Alta	Muy Alta	Muy Alta
	Unidadades consolidadas susceptibles *(MPlc, JKd, Kigd, Kle, PaEgdg, Trat(a))*	-	Alta	Muy Alta	Muy Alta
Con evidencia de procesos de ladera a bajas pendientes	Estratos de Quebrada Marquesa y Estratos de Quebrada La Totora *(Hrm, kqm, Kqlt)*	Moderada	Alta	Muy Alta	Muy Alta

Con estos antecedentes, se definieron los siguientes criterios de susceptibilidad de generación de procesos de ladera:

- **Susceptibilidad de generación Muy Alta:** sectores cuyas laderas presentan pendientes mayores a 25°, y su unidad geológica presenta evidencia de procesos de ladera (Unidadades no consolidadas y consolidadas susceptibles: *PlHa, PlHc, Hrm, MPlc, JKd, Kigd, Kle, Kqlt, Kqm, PaEgdg, Trat(a)*). Y sectores cuyas laderas presentan pendientes mayores a 35° pertenecientes a cualquier unidad geológica.

- **Susceptibilidad de generación Alta:** sectores cuyas laderas presentan pendientes entre 15° y 25° y su unidad geológica presenta evidencia de procesos de ladera (Unidadades no consolidadas y consolidadas susceptibles: *PlHa, PlHc, Hrm, MPlc, JKd, Kigd, Kle, Kqlt, Kqm, PaEgdg, Trat(a)).* Y sectores cuyas laderas presentan pendientes entre 25° y 35° pertenecientes el resto de las unidades geológicas (Unidades no consolidadas y consolidadas no susceptibles: *Ha, Hf, He, Hlit, PlHf, Qlit, Nfa, MPlc(t), PaEmb, PaEmlc, Jas, Jmg, Ka, Ki1, Krt, Ksdp, Ksih, Kv, PaEdc, PaEdgdr, Pzch, Pzh, Cph, Trq*).

- **Susceptibilidad de generación Moderada:** sectores cuyas laderas presentan pendientes entre 15° y 25° pertenecientes a cualquier unidad geológica sin evidencia de procesos de ladera (*Ha, Hf, He, Hlit, PlHf, Qlit, Nfa, MPlc(t), PaEmb, PaEmlc, Jas, Jmg, Ka, Ki1, Krt, Ksdp, Ksih, Kv, PaEdc, PaEdgdr, Pzch, Pzh, Cph, Trq*). Y sectores cuyas laderas presentan pendientes menores a 15° pertenecientes a las formaciones Quebrada Marquesa (*Kqm*), Quebrada la TotoraL (*Kqlt*) y a los depósitos de remoción en masa (*Hrm*).

En cuanto a las zonas susceptibles a ser alcanzadas por un deslizamiento o caídas de bloques, se requiere, en primer lugar, que se encuentren pendiente abajo de las zonas de generación alta o muy alta.

Luego, la pendiente constituye el principal factor que define el alcance máximo de este tipo de movimientos. Por lo tanto, se estableció que el alcance máximo referencial de los deslizamientos y caídas de rocas, que se encuentra en las zonas cuya pendiente es de hasta 4°.

Considerando que las remociones en masa que se generan a bajas pendientes que no logran obtener tanta energía durante su proceso tendrían un alcance limitado, en muchos casos el alcance queda contenido dentro de la misma área de generación, y que estos procesos serían muy poco frecuentes, el equipo consultor consideró inapropiado modelar un alcance para susceptibilidad moderada.

En consecuencia, y asumiendo un criterio conservador, la susceptibilidad de alcance asociada a caídas de rocas y deslizamientos se define de la siguiente forma:

- **Susceptibilidad de alcance muy alta:** áreas ubicadas topográficamente bajo zonas de generación de susceptibilidad muy alta, con pendientes entre 4° y 15°, considerando como mínimo un alcance de 30 metros (esto es para los casos en que el alcance, por el criterio de pendientes, tuviera menos de 30 metros). Si antes de llegar a los 30 m de alcance (en la dirección de máxima pendiente) se ubica una quebrada, se asume que el proceso de detendría en su cauce, limitando la distancia de alcance.
- **Susceptibilidad de alcance alta:** áreas ubicadas topográficamente bajo zonas de generación de susceptibilidad alta con pendientes entre 4° y 15°; considerando como mínimo un alcance de 30 metros en caso de presentarse pendientes menores.

Finalmente, la susceptibilidad asociada a deslizamientos y caída de bloques se ha definido de la siguiente forma (TABLA 5-9).

- **Susceptibilidad muy alta:** Zonas expuestas con una susceptibilidad de generación o alcance muy alta.
- **Susceptibilidad alta:** Zonas expuestas con una susceptibilidad de generación o alcance alta, pero que no se encuentran expuestas a una susceptibilidad de generación o alcance muy alta.
- **Susceptibilidad moderada:** Zonas expuestas a una susceptibilidad de generación moderada, que no se encuentran expuestas a una susceptibilidad de alcance muy alta o alta.

TABLA 5-9 Matriz de definición de la susceptibilidad asociada a deslizamientos y caídas de bloques.

		Susceptibilidad de generación		
		Moderada	Alta	Muy Alta
Susceptibilidad de alcance	-	Moderada	-	-
	Alta	Alta	Alta	Muy Alta
	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2 Flujos de barro y/o detritos

Tal como se mencionó en la Sección 4.1.4, la ocurrencia de flujos de barro y/o detritos está determinada por las características de la cuenca aportante, en tanto pendientes de las laderas, tamaño de la hoya hidrográfica y disponibilidad de material para ser movilizado (Blair & McPherson., 2009). Así, a mayores pendientes, mayores áreas de drenaje y mayor disponibilidad de material, se supone una mayor exposición frente a este tipo de fenómenos.

Por su parte, los abanicos aluviales depositados en el área de análisis de detalle, corresponden a la evidencia directa de que, en un sector determinado, se han acumulado sucesivos flujos de barro y/o detritos en el pasado. Ahora bien, para evaluar la exposición actual de dichos abanicos frente a la ocurrencia de nuevos flujos, es necesario analizar las características de sus cauces. Así, los cauces anchos y profundos tienden a mantener encausado el material que desciende cerro abajo, mientras que los cauces angostos y de baja altura tienden a ser sobrepasados en su capacidad de carga, generando así zonas de derrame, en las que el flujo pierde energía de transporte y deposita su material. Este último fenómeno se produce, generalmente, en los sectores bajos y llanos de las quebradas, que corresponde a los lóbulos actualmente activos de los abanicos aluviales; sin embargo también puede ocurrir desborde de material en el tramo medio de curvas muy cerradas o de angostamiento. Estas zonas de derrames se verifican por la ocurrencia de flujos anteriores reportados en el catastro, o por evidencias geológicas (presencia de depósitos actuales) o morfológicas.

En este mismo sentido, existen abanicos aluviales cuyas cuencas aportantes son de gran tamaño, alturas y pendientes, mientras que los cauces en los que estas desembocan corresponden a estrechos canales artificiales, o bien la quebrada no presenta una salida definida (lo que comúnmente se conoce como “quebrada ciega”). En estas quebradas, y en caso de no existir evidencias morfológicas para determinar el curso natural de las aguas, se optó por un criterio de zonificación conservador, considerando el abanico aluvial completo como potencialmente expuesto, con susceptibilidad alta.

En particular se designaron zonas de derrame, con morfología de abanico aluvial, en las zonas distales de quebradas “ciegas”, del mismo grado de susceptibilidad de su cauce principal, fuera activo (*Ha*) o reciente (*PlHa*).

Adicionalmente, la unidad geomorfológica de Media Montaña presenta, en general, menos condicionantes para la generación de flujos, que la unidad geomorfológica de la Alta Cordillera (por ejemplo, mayores pendiente y altura). Por lo mismo, se realizó una distinción en los criterios para cada una de dichas unidades, la cual se detalla más adelante en el texto.

En consideración de todo lo anterior, a continuación se resumen los criterios utilizados para la zonificación:

- **Susceptibilidad muy alta de flujos de barro y/o detritos:** Cauces naturales (*depósitos aluviales actuales, Ha*) de todas las quebradas de la Alta Cordillera, de las quebradas cuyas cuencas fueran mayores a 1 km^2 de la Media Montaña o Cordillera de la Costa. Zonas de derrame de los cauces naturales clasificados con susceptibilidad Muy Alta; es decir, aquellas zonas en donde se puede producir desborde de material detrítico, ya sea en la zona distal de las quebradas (abanico aluvial activo) o el tramo medio en zonas de curvas cerradas de las quebradas. Cauces naturales de las quebradas de cualquier sector y sus zonas de derrame, tal que tuviera evidencias morfológicas o registros catastrados de flujos anteriores.

- **Susceptibilidad alta de flujos de barro y/o detritos:** Cauces naturales (*depósitos aluviales actuales, Ha*) de las quebradas Cordillera de la Costa y Media Montaña, tal que sus cuencas tuvieran un área menor a 1 km^2, y las zonas de derrame para ambos casos. Terrazas de inundación (*PlHa*) y abanicos aluviales recientes (*PlHa*), asociadas a cauces activos que fueron clasificados con susceptibilidad Muy Alta.
- **Susceptibilidad moderada de flujos de barro y/o detritos:** Laderas con presencia abundante de cárcavas, y su zona de escurrimiento; en las cuales se había observado evidencia de flujos recientes. Abanicos aluviales recientes o terrazas de inundación (zonas de derrame), asociadas a cauces activos que fueron clasificados con susceptibilidad Alta.

5.3 PELIGROS ZONIFICADOS A ESCALA 1:50.000

La zonificación de susceptibilidad de toda el área de la Provincia de Limarí se realizó a escala 1:50.000, para los riesgos: (1) flujos de barro y/o detritos e inundaciones y (2) procesos de ladera. Los resultados obtenidos en esta parte, se entregan en 2 planos impresos a escala 1:150.000 fuera de texto.

TABLA 5-10 Distribución de planos de zonificación a escala 1:50.000 para susceptibilidad de flujo de barro y/o detritos e inundaciones y procesos de ladera.

PLANO	Contenido	Escala de representación
76	Mapa de zonificación de susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos e inundaciones por desborde de cauce.	1:150.000
77	Mapa de zonificación de susceptibilidad de procesos de ladera.	1:150.000

La zonificación fue llevada a cabo teniendo como principal insumo el modelo digital de elevación ALOS-PALSAR, con resolución de 12,5 metros, de la cual se extraen como insumos los mapas de pendientes y de sombras. A continuación se detalla la metodología llevada a cabo para ambos análisis de susceptibilidad.

5.3.1 INUNDACIONES POR DESBORDE DE CAUCE Y FLUJOS DE BARRO Y/O DETRITOS

La zonificación a escala 1:50.000 de flujos de barro y/o detritos e inundaciones por desborde de cauce se realizó de forma conjunta, puesto que ambos tipos de procesos ocurren en las redes de drenaje, ya sean cauces activos (ríos) como las quebradas intermitentes.

Para caracterizar este tipo de procesos, se llevó a cabo como primer paso la jerarquización de los ríos y quebradas de acuerdo al Orden de Strahler (Tarboton & Bras, 1991). En general, se encontró que las redes de drenaje de orden 1, 2, 3, 4 y 5 corresponden a quebradas intermitentes, las cuales se asocian a procesos de flujos de barro y/o detritos; por otro lado, las redes de drenaje de orden 6, 7 y 8, se asocian a cauces de ríos activos, y por lo tanto se analizaron para peligro de inundación por desborde de cauce.

Particularmente, las características de un flujo de detritos y/o barro dependen de la pendiente de las quebradas y laderas por las cuales se movilizan, ya que mientras mayor sea la pendiente, mayor velocidad y fuerza puede alcanzar el flujo. Y también dependen de las características geomorfológicas en las que se generan, lo cual se ve reflejado en grupos macro-geomorfológicos similares. En ese sentido, para este análisis se decidió clasificar la provincia de Limarí en base a su pendiente, en las siguientes tres zonas:

- Zona cordillerana: sector más oriental de la provincia, presenta las pendientes más altas, con un predominio de pendientes altas con una inclinación mayor a 35º. Abarca el sector más oriental de la Media Montaña, y la Alta Cordillera.
- Zona central: caracterizado por pendientes medias entre 15 y 35º. Es el sector más occidental de la Media Montaña y Cordillera de la Costa.
- Zona costera: donde hay principalmente pendientes bajas, con una inclinación menor a 15°. Estas pendientes se distribuyen en las unidades de Terrazas de Abrasión Marina y de Terrazas de Acumulación Marina.

Posteriormente, en base a las características geomorfológicas de las redes de drenaje presentes en estos tres ambientes, a la jerarquización de los ríos y quebradas (Orden de Strahler) y a la morfología de las zonas expuestas a flujo e inundaciones mapeadas a escala 1:5.000 (secciones 5.2.1.1 y 5.2.2.2), se determinaron distancias representativas del alcance para este tipo de peligro geológico para Susceptibilidad Muy Alta, Alta y Moderada. Estas distancias se presentan en la TABLA 5-11.

TABLA 5-11 Área de influencia o alcance entorno a las redes de drenaje utilizadas para estimar el área afectada por los distintos grados de susceptibilidad.

Susceptibilidad	Zona	Área de influencia o alcance para los distintos grados de susceptibilidad [m]					
		Orden 1	Orden 2	Orden 3	Orden 4	Orden 5	Orden 6 – 7 - 8
Muy alta	Cordillerana	-			30	40	40
	Central	-					
	Costera	-			25	35	-
Alta	Cordillerana	5	10	20	30-80	40-100	40-100
	Central				30-70	40-90	
	Costera			15	25-60	35-80	-
Moderada	Cordillerana		10-40	20-80	80-130	100-160	100-160
	Central		10-30	20-70	70-110	90-140	
	Costera		10-20	15 - 60	60-100	80-180	-

Finalmente, se determinaron las siguientes categorías de susceptibilidad:

- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces y flujos de detritos muy alta**: corresponden a los cauces actuales de las redes de drenaje de 4 y 5, de las zonas cordillerana y central y su área de influencia localizada a 20 y 40 metros respectivamente, y a las de la zona costera y su área de influencia localizada a 25 y 35 m, respectivamente. También corresponden a los cauces actuales de las redes de drenaje de 6, 7 y8 de las zonas cordillerana y central y a su área de influencia localizada a 40 metros.
- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces y flujos de detritos alta**: corresponde a las terrazas de inundación adyacentes a los cauces principales de Susceptibilidad Muy Alta, cuyos rangos de alcance corresponden a los siguientes. Sector entre 0 y 5 metros respecto a las redes de drenaje de orden 1 para toda el área de estudio; sector entre 0 y 10 metros respecto a las redes de drenaje de orden 2 para toda el área de estudio. Sector entre 0 y 20 metros respecto a las redes de drenaje de orden 3 para las zonas central y cordillerana. Sector entre 0 y 15 metros respecto a las redes de drenaje de orden 3 para la zona costera. Sectores entre 30-80, 30-70 y 25-60 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 4 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 40-100, 40-90 y 35-80 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 5 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 40 y 100 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 6, 7 y 8 de la zona cordillerana y central.
- **Susceptibilidad de inundación por desborde de cauces y flujos de detritos moderada**: corresponden a zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, se correlaciona con las terrazas más antiguas de los cauces con Susceptibilidad Alta, sus zonas de alcance corresponden a áreas de influencia determinadas con respecto a las redes de drenaje, señaladas a continuación. Sector entre 10-40, 10-30 y 10-20 metros respecto a las redes de drenaje de orden 2 para las zonas cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 20-80, 20-70 y 15-60 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 3 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 80-130, 70-110, y 60-100 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 4 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 100-160, 90-140, y 80-180 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 5 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores ubicados

entre 1000 y 160 metros en torno a redes de drenaje de orden 6, 7 y 8 de la zona cordillerana y central.

Dada la escala de trabajo, y las condiciones de este estudio, se realizó llevar a cabo una metodología automatizada por medio del uso de las herramientas SIG disponibles. La metodología elaborada se detalla a continuación.

5.3.1.1 Metodología automatizada por medio del uso de las herramientas SIG

Como primer paso, se realizó la extracción de las redes de drenaje, a partir del DTM (1:12.500), y posteriormente se efectuó una clasificación de la red de drenaje de acuerdo a su orden[4], utilizando distintas herramientas de hidrología del Software ArcGIS. A continuación se detalla la metodología empleada para este proceso y las herramientas GIS ocupadas.

a) Se comenzó calculando la dirección del flujo tomando como base de entrada el DTM de la zona por medio de la herramienta *Flow Direction*. El trayecto que sigue se determina por la dirección de descenso con mayor pendiente, basándose en las diferencias de altura, creando como resultado un ráster que muestra la dirección del flujo que sale de cada una de las celdas de las que se compone el DTM.
b) Luego utilizando como base de entrada el ráster de dirección de flujo, se procedió a calcular su acumulación por medio de la herramienta *Flow Accumulation*, esto se determina tomando el peso acumulado de todas las celdas que fluyen, en la dirección de máxima pendiente, a otras concentrándose en alguna de ellas en particular. El resultado de este proceso es un ráster de flujo acumulado para cada celda.
c) Una vez obtenida la acumulación de flujo, se clasificaron asignándole un valor numérico a cada uno de ellos basándose en el Método de Strahler (Tarboton & Bras, 1991), por medio de la herramienta *Stream Order*. Este método asigna un orden 1 a todas las uniones del ráster de flujo acumulado sin afluentes, luego el número aumenta cuando las uniones de un mismo orden se intersectan, es decir, si dos de orden 1 se juntan, pasan a ser de orden 2 y si dos de segundo orden se unen, se creará uno de tercer orden y así sucesivamente. No obstante, la intersección de dos uniones de distintos órdenes no aumenta. El resultado de esta etapa es una red de drenaje de la zona, donde los órdenes inferiores corresponden a quebradas y los superiores a ríos y sus afluentes.

De acuerdo al orden de cada río o quebrada, se establecieron distintas distancias de alcance transversales a los ejes de los ríos, para representar las zonas sujetas a inundación por desborde de cauces y a flujo de barro y/o detritos de susceptibilidad Muy Alta, Alta y Moderada. Estas distancias se estimaron a partir de la información obtenida con la zonificación a escala 1:5.000, es decir, los mapas de susceptibilidad obtenidos en la etapa anterior (5.2) fueron utilizados para “calibrar” esta metodología.

[4] Los ríos de primer orden son menores y están situados en las regiones de nacientes (no presentan tributarios aguas arriba). Dos ríos de primer orden se combinan para formar un río de segundo orden. El río de tercer orden resulta de la confluencia de dos ríos de segundo orden y así sucesivamente.

Para analizar las áreas de influencia, el análisis se hizo de manera diferenciada de acuerdo al tipo de peligro geológico. Ya que, además de asociarse (en cuanto a su generación) a redes de drenaje de distinto orden, el comportamiento de los flujos de detrito depende además de la pendiente de la zona en la que se encuentra, por lo cual para este peligro, la estimación del área de influencia fue calibrada además, de acuerdo a su ubicación (zona cordillerana, central y costera). Esto último, dado que existe un predominio de pendientes más pronunciadas en zonas cordilleranas y una disminución de estas hacia la costa.

Para esto se tomaron como ejemplo localidades distribuidas en las tres zonas mencionadas anteriormente (cordillerana, central y costera) y se calculó una distancia representativa de alcance para distintas quebradas y caudales con un mismo orden.

Se encontró que las redes de drenaje de orden 1, 2, 3,4 y 5 se relacionaron con quebradas intermitentes por lo tanto se asociaron a susceptibilidad por flujo de barro y/o detrito aunque existen ciertas excepciones en el caso de los dos últimos órdenes (Río Tomes y Quebrada Seca, las que sí fueron analizadas para inundaciones por desborde de cauce). Por otro lado los de orden 6, 7 y 8 se asociaron a cauces de ríos junto con las dos excepciones nombradas recientemente, por lo que podrían provocar inundaciones por desborde de cauce.

Para traspasar lo recién descrito a un mapa de susceptibilidad a escala 1:50.000, la red de drenaje quedó representada por líneas, previamente clasificadas de acuerdo a su orden, y posteriormente se realizaron *buffers* con las áreas de influencia (o alcance) ya estimadas por medio de la etapa de calibración. Estos buffer corresponden a las áreas de influencia entorno a la entidad lineal que representa a las redes de drenaje. Finalmente, se obtienen entidades de polígono, que representan el alcance de inundación para tres niveles de susceptibilidad (Muy Alta, Alta y Moderada).

Finalmente los polígonos que representan las zonas de susceptibilidad Alta y Moderada, fueron recortados según la pendiente de la zona donde se encuentran (FIGURA 5.3-1). Es decir, si la quebrada o el cauce se encuentra en zonas de baja pendiente (menor 15º) y uno de sus lados se encuentra en laderas con pendiente mayor o igual a 15º, esa zona del polígono fue eliminada. Por otro lado, existen casos en que estos polígonos se encuentran en su totalidad en zonas con alta pendiente (mayor a 15º), los cuales no fueron recortados debido a que esa es la pendiente general de la zona.

5.3.2 PROCESOS DE LADERA

Como se mencionó anteriormente (Sección 5.2.2) tanto la generación de caída de bloques como los deslizamientos, están controlados por las pendientes de las laderas. Por lo cual, la zonificación de procesos de ladera a escala 1:50.000 también será realizada tomando como base este elemento indicativo.

Finalmente, en base a la distribución de frecuencia de remociones en masa con la pendiente presentada por Esaki et al. (2005) (Sección 5.2.2.1), se determinaron las siguientes categorías de susceptibilidad:

- **Susceptibilidad Muy Alta de procesos de ladera**: Corresponde a sectores de ladera natural o taludes de pendiente sobre 35°.
- **Susceptibilidad Alta de procesos de ladera**: Corresponde a sectores de ladera natural o taludes cuya pendiente es de entre 25° y 35°.
- **Susceptibilidad Moderada de procesos de ladera**: Corresponde a sectores de ladera natural o taludes cuya pendiente es de entre 15° y 25°.

Dada la escala de trabajo, y las condiciones de este estudio, se realizó llevar a cabo una metodología automatizada por medio del uso de las herramientas SIG disponibles. La metodología elaborada se detalla a continuación.

5.3.2.1 Metodología automatizada por medio del uso de las herramientas SIG

Para el trazado del mapa de susceptibilidad de remociones en masa, se utilizó como base el mapa de pendientes (slope) del terreno, obtenido a partir del archivo ráster DTM de la intercomuna de Limarí. Antes de cualquier modificación, se utilizó la herramienta *Resample*, que permite cambiar el tamaño de las celdas. En este caso, se aumentó el tamaño de las celdas para suavizar los datos del ráster, de modo que no hubiera pequeñas secciones en el mapa que tuvieran muchas diferencias de valores en sus vecindades (por ejemplo una punta).

A continuación, se categorizaron los valores de las celdas de acuerdo a los intervalos de pendiente propuestos por Esaki et al. (2005):

- Categoría 1 : Pendientes entre 0 y 15° (<15°)
- Categoría 2 : Pendientes entre 15° y 25°
- Categoría 3: Pendientes entre 25° y 35°
- Categoría 4: Pendientes sobre 35° (>35°)

La reclasificación para pasar de valores continuos (intervalos) a discretos (categorías) se realizó con la herramienta "*Reclass*".

Hasta este paso, se obtiene un mapa (ráster) con formas aristadas (angulosas) e imperfecciones, lo que no permite zonificar de manera efectiva los niveles de susceptibilidad en el área de estudio. Por lo cual, se requiere utilizar algunas herramientas que ayuden a suavizar la geometría de las figuras para representar de mejor manera la susceptibilidad, especialmente en las zonas donde los cambios de pendiente son más frecuentes.

Para ello, se utilizaron, en este orden, las siguientes herramientas:

1. *Int:* Herramienta que permite transformar cada valor de celda de un ráster en entero por truncamiento, lo que le permite a las siguientes herramientas utilizar los datos de pendiente.
2. *Majority filter*: Herramienta que permite reemplazar celdas aisladas por otras que tienen mayor representación. En este caso, donde existen celdas con categorías distintas a su entorno (ya sea por alturas no representativas o errores en la modelación del mapa), estas son reemplazadas por celdas vecinas que pertenecen a grupos más grandes. Se consideraron 8 celdas vecinas para los reemplazos (se debe indicar en el programa).
3. *Boundary Clean:* Herramienta que permite refinar los límites entre grupos de celdas de una misma categoría. Para esto, se reemplazan celdas de una categoría por otras que suavicen los límites de los grupos y permitan líneas más naturales sobre la zona. En este caso, no se estableció una prioridad (podría ser, por ejemplo, que los grupos más pequeños sean más importantes que los más grandes), ya que solo interesaba que se respetaran las pendientes más representativas.

Las dos primeras herramientas corresponden al filtro general. Para eliminar los grupos de celdas más pequeños y no representativos, se continuó con lo siguiente.

1. *Region Group*: Herramienta que permite asignar un número a cada grupo de celdas, con lo que se puede determinar cuáles son los grupos con menor cantidad de ellas. Esto último es lo que , con la siguientes herramientas, permite eliminar a los grupos pequeños y no representativos.
2. *Set Null*: Herramienta que permite generar una imagen del mapa original pero descartando los grupos de celdas pequeños. En este caso se eliminaron los grupos con una cantidad de celdas menor a 100. Con esto, se construyó una máscara con dos partes: a) Vacío por grupos eliminados; b) Celda ocupada por no ser borrada.
3. *Nibble*: Herramienta que permite, usando la máscara obtenida con la herramienta "*Set Null*", reemplazar los grupos de celdas pequeños de por celdas de categorías más representativas de su alrededor. En este caso, se reemplazaron estos grupos de la imagen obtenida luego de los filtros generales ("*Majority filter*" y "*Boundary Clean*").

Finalmente, luego de todos los filtros, se reemplaza la categorización inicial de la siguiente manera:

- Categoría 1 = Susceptibilidad Baja
- Categoría 2 = Susceptibilidad Moderada
- Categoría 3 = Susceptibilidad Alta
- Categoría 4 = Susceptibilidad Muy Alta

5.3.3 INUNDACIONES LITORALES

Las inundaciones producidas por maremotos generalmente no presentan un patrón coincidente con alguna curva de nivel en particular, ya que la altura de inundación depende de muchos otros factores distintos de la topografía, que se relacionan con singularidades locales en el terreno y con características propias de cada evento de inundación. Pese a lo anterior, la utilización de una cota constituye una buena aproximación de las zonas potencialmente inundadas en caso de ocurrir un maremoto.

En este caso, la base topográfica se obtuvo del modelo digital de elevación ALOS-PALSAR, con resolución de 12,5 metros. Y al igual que la zonificación a escala 1:5.000, la zonificación para inundaciones litorales a escala 1:50.000 queda descrita como:

- **Zonas de Susceptibilidad Muy Alta:** sectores ubicados por debajo de la cota 8 m s.n.m.
- **Zonas de Susceptibilidad Alta:** sectores ubicados entre las cotas 8 y 12 m s.n.m.
- **Zonas de Susceptibilidad Moderada:** sectores ubicados entre las cotas 12 y 16 m s.n.m.

Como se mencionó, la altura de inundación depende de muchos otros factores además de la topografía. Por lo que, para obtener un mapa más preciso de inundaciones por maremotos resulta necesario realizar estudios más específicos, los que deben incluir levantamientos topográficos y batimétricos de detalle en los sectores costeros, y simulaciones basadas en modelos numéricos a escala local y que consideren escenarios basados los eventos más desfavorables posibles. Estos estudios deberían estar contemplados en los planes reguladores comunales.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

6 CONCLUSIONES

En este estudio se identificaron los peligros geológicos que afectan a la Provincia de Limarí, y se zonificaron a dos escalas distintas: por un lado se utilizó una escala de detalle 1:5.000 para zonificar 74 centros poblados específicos (TABLA 1-2), y por otro lado, se zonificó a escala 1:50.000 para todo el resto del área de la provincia (no abordado por las áreas de estos centros poblados).

Para conocer las unidades presentes en el área de estudio se realizó una línea base que incluye la identificación y descripción de las características hidrológica, geomorfológicas, estructurales (fallas) y geológicas. Esta última caracterización se realizó a dos escalas de trabajo diferentes por tratarse de un factor importante para la zonificación.

Luego se realizó un diagnóstico de los peligros identificados en el área de estudio, el cual da cuenta de las características geomorfológicas del área de estudio. Para la realización de este estudio se necesita conocimiento previo de un catastro, así como también la identificación de factores condicionantes y desencadenantes.

Toda esta caracterización teórica de la provincia, fue complementada con campañas de terreno, durante las cuales fueron visitados los centros poblados estudiados y fue posible verificar (o descartar) lo previsto en el diagnóstico. Finalmente se realizó la zonificación y elaboración de mapas de susceptibilidad a escalas 1:5.000 y 1: 50.000 con distintas metodologías.

La zonificación de las áreas expuestas a peligros (mapas de susceptibilidad) en la Provincia de Limarí se realizó a escala 1:50.000 con la información cartográfica disponible, diferenciándose los siguientes riesgos:

(1) Inundaciones por desborde de cauces y flujos de barro y/o detritos
(2) Procesos de ladera.

A esta escala de análisis no es posible mapear diferenciadamente las inundaciones por desborde de cauces y los flujos de barro y /o detritos, por lo que ambos se representan como una sola área.

La zonificación de las áreas expuestas a peligros (mapas de susceptibilidad) para los centros poblados fue realizada con la información cartográfica disponible a escala 1:5.000, diferenciándose los siguientes tipos de peligros:

(1) Inundaciones por desborde de cauces
(2) Inundaciones litorales
(3) Anegamientos
(4) Flujos de barro y/o detritos
(5) Procesos de ladera

La razón de esta diferencia radica en la escala de trabajo. La escala de trabajo 1:50.000 permite diferenciar en los mapas áreas con un margen de error del orden de 50m en tanto a la escala de trabajo 1:5.000 el margen de error se reduce en aproximadamente 10 veces, es decir 5 m sobre la superficie terrestre, lo cual condiciona la posibilidad de diferenciar rasgos geológicos, geomorfológicos o condiciones que se relacionen con la ocurrencia de los peligros geológicos analizados, cuyo tamaño sea menor que las dimensiones señaladas en cada una de las escalas respectivas. En consecuencia, los resultados de este

trabajo no deben ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto puede conducir a tomar decisiones erradas.

Cabe mencionar que el levantamiento topográfico a escala 1:5.000 no abarcó la totalidad del área de estudio de 9 localidades de la provincia y nada del área en el caso de Semita (listado detallado en la TABLA F-1 del ANEXO F). En esas localidades, se realizaron análisis complementarios a escala aproximada 1:25.000 (en base a un SRTM de 30 m), con la finalidad de identificar las zonas que pudiesen ser afectadas por riesgo geológico. Es importante destacar que este análisis a escala 1:25.000 tiene una aplicación referencial y los resultados para estos sectores no pueden ser considerados equivalentes a las áreas susceptibles identificadas en los estudios desarrollados con base en los insumos cartográficos de detalle (1:5.000). Por lo anterior, deben hacerse estudios de detalle específicos para estas áreas.

Finalmente se identificaron criterios de zonificación urbana en áreas de riesgo. Una vez conocidos los tipos de riesgos presentes, su magnitud y su alcance territorial, se procede a proponer una serie de criterios que debieran aplicarse en la zonificación del área normada (a ambas escalas de zonificación), entendiendo que las herramientas de prevención y/o mitigación que se disponen son solamente las normas urbanísticas contenidas en la OGUC.

En las siguientes tablas se detallan los peligros a los cuales se encuentran expuestos los centros poblados de cada comuna, incluyendo la localidad de Semita (TABLA 6-1, TABLA 6-3, TABLA 6-4, y TABLA 6-5).

TABLA 6-1 Peligros zonificados en los centros poblados de la comuna de Combarbalá.

Localidad	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Cogotí	-	X	X	X	-
Combarbalá	-	X	X	X	-
El Huacho	-	X	X	-	-
El Sauce	-	X	X	-	-
La Isla	-	X	X	X	-
La Ligua	-	X	X	X	-
Ramadilla	-	X	X	X	-
Manquehua	-	X	X	-	-
Quilitapia	-	X	X	-	-
San Marcos	-	X	X	X	-
Sector Embalse Cogotí	-	X	X	-	-

TABLA 6-2 Peligros zonificados en los centros poblados de la comuna de Monte Patria.

Localidad	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Carén	-	X	X	X	-
Cerrillos de Rapel	-	X	X	X	-
Chañaral de Caren	-	X	X	-	-
Chañaral Alto	-	X	X	X	-
Chilecito	-	X	X	X	-
El Coipo	-	X	X	X	-
El Pedregal	-	X	X	-	-
El Tome Alto	-	X	X	X	-
El Palqui	-	X	X	X	-
Huana	-	X	X	X	-
Huatulame	-	X	X	X	-
La Península	-	X	X	X	-
Las Mollacas	-	X	X	X	-
Las Paceras	-	X	X	-	-
Las Juntas	-	X	X	X	-
Los Tapia	-	X	X	X	-
Mialqui	-	X	X	X	-
Monte Patria	-	X	X	X	-
Rapel	-	X	X	X	-
Semita	-	X	X	X	-
Tulahuén	-	X	X	X	-

TABLA 6-3 Peligros zonificados en los centros poblados de la comuna de Ovalle.

Localidad	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Barraza	-	X	X	X	-
Caleta El Sauce	-	X	X	-	X
Caleta La Cebada	-	X	X	X	X
Caleta Limarí	-	X	X	X	X
Caleta Sierra	-	X	X	-	X
Caleta Talca	-	X	X	-	X
Caleta Talcaruca	-	X	X	-	X
Caleta Talquilla	-	X	X	-	X
Caleta Totoral	-	X	X	-	X
Camarico Chico - Viejo	-	X	X	X	-
Carachilla	-	X	X	X	-
Cerrillos de Tamaya	-	X	X	-	-
Chalinga	-	X	X	X	-
El Trapiche	-	X	X	X	-
Embalse Recoleta	-	X	X	X	-
La Sossa	-	X	X	X	-

Localidad	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
La Torre-La Placa	-	X	X	X	-
Limarí	X	X	X	X	-
Los Nogales	-	-	X	-	-
Nueva Aurora	-	X	X	-	-
Ovalle	X	X	X	X	-
Quebrada Seca	-	X	-	X	-
Quebrada Seca Industrial	-	X	X	X	-
Recoleta	-	X	X	X	-
San Julián	-	X	X	X	-
Santa Cristina	-	X	X	X	-
Socos	-	X	X	X	-
Sotaquí	-	X	X	X	-
Tabalí	X	X	X	X	-
Unión Campesina	-	-	X	-	-
Valdivia de Punilla	-	X	X	-	-

TABLA 6-4 Peligros zonificados en los centros poblados de la comuna de Punitaqui.

Localidad	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
El Toro	-	X	X	-	-
Las Ramadas	-	X	X	-	-
Punitaqui	-	X	X	X	-

TABLA 6-5 Peligros zonificados en los centros poblados de la comuna de Hurtado.

Localidad	Anegamiento	Procesos de ladera	Flujos	Inundaciones por desborde de cauce	Inundaciones Litorales
Huampulla	-	X	X	X	-
Hurtado	-	X	X	-	-
Las Breas	-	X	X	X	-
Pichasca	-	X	X	X	-
Samo Alto	-	X	X	X	-
La Puntilla	-	X	X	X	-
Serón	-	X	X	X	-
Tabaqueros	-	X	X	X	-
Tahuínco	-	X	X	X	-

7 RECOMENDACIONES

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

7.1 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 para la definición de las diferentes categorías de susceptibilidad y la zonificación resultante. En este sentido, en la TABLA 7-1 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 las secciones 4.1 y 0, respectivamente.

TABLA 7-1 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	
			Zonas urbanas	Zonas rurales
Inundaciones por desborde de cauce	- Condiciones morfológicas de la red hidrográfica	- Lluvias intensas	- Altura de terraza del río - Altura de escurrimiento - Condiciones morfológicas locales	- Orden de red de drenaje - Dominio geomorfológico regional - Área de influencia
Inundaciones litorales	- Relieve	- Terremoto	- Altura con respecto al nivel del mar - Relieve	- Altura con respecto al nivel del mar
Inundaciones por anegamiento	- Morfología - Malas condiciones de drenaje	- Lluvias	- Condiciones de depresión topográfica - Drenaje local	No se aplicó
Flujos de barro y o detritos	- Morfología de depósito aluvial - Características de la cuenca aportante (tamaño, pendiente, altura).	- Lluvias intensas	- Tamaño cuenca aportante - Pendientes y altura - Morfología de depósito aluvial - Evidencia (catastro)	- Orden de red de drenaje - Ubicación en dominio geomorfológico - Área de influencia
Procesos de ladera	- Pendientes - Material que compone la ladera (geología) - Calidad geotécnica de la roca	- Sismos - Lluvias intensas - Viento	- Pendientes - Material que compone la ladera (geología) - Evidencia (catastro) - Distancia en dirección de máxima pendiente	- Pendientes

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 de magnitud normal (de recurrencia frecuente) 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 extraordinarios, de los que muchas veces no existen registros históricos, pero si otro tipo de evidencias, como evidencias geológicas o morfológicas. En términos prácticos, se recomienda que, mientras mayor sea el grado de susceptibilidad de ser afectada un área, mayores sean las restricciones y/o condicionantes para su utilización.

7.2 DEFINICIÓN DE LAS ÁREAS DE RIESGO

Desde esta perspectiva, y con el fin de homologar las categorías de susceptibilidad al lenguaje de la OGUC, **el panel técnico que revisa este estudio, propuso aplicar el concepto de área de riesgo establecido en el artículo 2.1.17 solamente a las zonas expuestas en niveles de susceptibilidad 'muy alto' y 'alto'** de cada uno de los peligros, **pero no a las zonas de susceptibilidad 'moderada'**

Los argumentos para excluir de esta norma a los suelos expuestos a peligros zonificables de categoría Moderada son los siguientes: (i) una parte importante de los centros poblados en área urbana, ZEU e incluso en área rural tiene muchas construcciones en áreas expuestas en esta categoría; lo cual dificulta la gestión de las Direcciones de Obras Municipales y a otros organismos del Estado en relación al otorgamiento de Permisos de Construcción (ii) el nivel moderado de susceptibilidad de que un área sea afectada por un peligro significa que las condiciones geológicas son menos favorables para que ello ocurra y requiere de un evento desencadenante extraordinario, poco común.

Esta **es una decisión de planificación** que estima que, en el contexto territorial, social y político del área en estudio, no es adecuado incluir las áreas de susceptibilidad moderada como Área de Riesgo.

Debe aclararse que las decisiones de planificación no las toman los especialistas a cargo del Estudio de Riesgo, sino que es una materia que compete a quienes tienen la potestad planificadora.

Téngase presente además que el hecho de no aplicar las disposiciones del artículo 2.1.17 OGUC a los territorios expuestos a algún peligro en categoría de susceptibilidad moderada, no los libera de estar expuestos a ese peligro, y por tanto es recomendable que tal circunstancia sea considerada por la población habitante y las instituciones encargadas de la prevención y reducción de desastres.

En relación a la sismicidad, si bien se trata de un peligro presente en el área de estudio, se estima que las normas chilenas NCh 433 ("Diseño sísmico de edificios") y la NCh 2369 ("Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales") definen las exigencias que deben cumplir diferentes tipos de edificaciones en el diseño de sus fundaciones y estructura, y que ellas son suficientes para garantizar la seguridad de esas edificaciones y por tanto no tiene asunto incorporar exigencias adicionales. Por esta razón, aunque se le ha asignado una susceptibilidad 'alta' de manera homogénea a la sismicidad, se ha optado por no incluirla como área de riesgo por sismicidad.

7.3 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.

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.

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.

Cabe nuevamente destacar que los mapas de susceptibilidad, elaborados a escala 1:50.000, señalan las áreas expuestas a peligros naturales en el territorio intercomunal, pero que dado su nivel de detalle (margen de error del orden de 50 m), esta información solamente debe utilizarse para tomar decisiones de planificación territorial de carácter general y en ningún caso sus resultados pueden extrapolarse para tomar decisiones de carácter local o de alguna edificación específica.

De otra parte, los mapas de susceptibilidad elaborados a escala 1:5.000 sobre 74 centros poblados en la intercomuna si entregan información detallada suficiente para tomar decisiones de mayor detalle. En consecuencia, en caso de requerirse mayor detalle en áreas de interés que no están cubiertas, deberán hacerse los estudios específicos de mayor detalle.

En este contexto, dado que la escala de trabajo y representación gráfica de un Plan Regulador Intercomunal es 1:50.000, se recomienda establecer como área de riesgos (y aplicado el artículo 2.1.17 OGUC) solamente a los dos tipos de peligros diferenciables a esa escala: i) inundaciones (desborde de cauces y maremotos) + flujos de barros y/o detritos y ii) Procesos de Laderas, y no mezclar los resultados obtenidos en escala 1:5.000, por resultar confusa y poco práctica esta representación en dos escalas distintas. Así la recomendación es que al interior de las áreas urbanas y zonas de extensión urbana se use la misma nomenclatura que en el resto del área rural a escala 1:50.000.

Los resultados de los mapas a escala 1:5.000 se entregan como insumo para la planificación detallada de nivel comunal.y en la TABLA 7-2 se muestran las recomendaciones para la aplicación de criterios para determinar las áreas de riesgos en el nivel de planificación comunal.

Finalmente, 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, identificado como aquellos destinados a educación, salud y seguridad y gobierno, 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.

TABLA 7-2 Criterios de definición de las áreas de riesgo según el artículo 2.1.17 de la OGUC en la Provincia de Limarí. PRI Limarí (Área intercomunal estudiada a escala 1:50.000).

"Áreas de riesgo" según la definición de peligros de la . TABLA 1-1	**SUSCEPTIBILIDAD**	**DESCRIPCIÓN**	**"Áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 de la OGUC**
Inundación por anegamiento		No zonificable a esta escala	NO
Inundaciones litorales	MUY ALTA	Sectores costeros ubicados por debajo de la cota 8 m s.n.m.	SI
	ALTA	Sectores costeros ubicados entre las cotas 8 y 12 m s.n.m.	SI
	MODERADA	Sectores costeros ubicados entre las cotas 12 y 16 m s.n.m.	NO
Inundaciones por desborde de cauces **Flujos de barro y/o detritos** **(1)**	MUY ALTA	Cauces actuales de las redes de drenaje de 4 y 5, de las zonas cordillerana y central y su área de influencia localizada a 20 y 40 metros respectivamente, y a las de la zona costera y su área de influencia localizada a 25 y 35 m, respectivamente. También corresponden a los cauces actuales de las redes de drenaje de 6, 7 y 8 de las zonas cordillerana y central y a su área de influencia localizada a 40 metros.	SI
	ALTA	Terrazas de inundación adyacentes a los cauces principales de Susceptibilidad Muy Alta, cuyos rangos de alcance corresponden a los siguientes. Sector entre 0 y 5 metros respecto a las redes de drenaje de orden 1 para toda el área de estudio; sector entre 0 y 10 metros respecto a las redes de drenaje de orden 2 para toda el área de estudio. Sector entre 0 y 20 metros respecto a las redes de drenaje de orden 3 para las zonas central y cordillerana. Sector entre 0 y 15 metros respecto a las redes de drenaje de orden 3 para la zona costera. Sectores entre 30-80, 30-70 y 25-60 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 4 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 40-100, 40-90 y 35-80 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 5 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 40 y 100 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 6, 7 y 8 de la zona cordillerana y central.	SI
	MODERADA	Zonas que pueden ser inundadas como consecuencia de una crecida excepcional, se correlaciona con las terrazas más antiguas de los cauces con Susceptibilidad Alta, sus zonas de alcance corresponden a áreas de influencia determinadas con respecto a las redes de drenaje, señaladas a continuación. Sector entre 10-40, 10-30 y 10-20 metros respecto a las redes de drenaje de orden 2 para las zonas cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 20-80, 20-70 y 15-60 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 3 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 80-130, 70-110, y 60-100 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 4 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores entre 100-160, 90-140, y 80-180 metros ubicados en torno a redes de drenaje de orden 5 de la zona cordillerana, central y costera, respectivamente. Sectores ubicados entre 1000 y 160 metros en torno a redes de drenaje de orden 6, 7 y 8 de la zona cordillerana y central.	NO
Procesos de ladera	MUY ALTA	Corresponde a sectores de ladera natural o taludes de pendiente sobre 35°.	SI
	ALTA	Corresponde a sectores de ladera natural o taludes cuya pendiente es de entre 25° y 35°.	SI
	MODERADA	Corresponde a sectores de ladera natural o taludes cuya pendiente es de entre 15° y 25°.	NO
Sismicidad	ALTA	No zonificable.	NO
Volcanismo	NO EXPUESTO		NO

(1) A esta escala, no es posible diferenciar las inundaciones por desborde de cauces y los flujos. Por lo tanto, la zonificación de estos dos peligros se hizo junta.

TABLA 7-3 Recomendación de criterios de definición de las áreas de riesgo según el artículo 2.1.17 de la OGUC para la planificación de nivel comunal (Centros poblados estudiados a escala 1:5.000).

PELIGRO GEOLÓGICO ESTUDIADO EN ESTE TRABAJO	SUSCEPTIBILIDAD		DESCRIPCIÓN	"Áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 de la OGUC
Inundaciones por desborde de cauces	MUY ALTA		Cauces actuales determinados por la unidad geológica Hf (depósitos fluviales actuales) de los ríos Hurtado, Limarí, Guatulame, Cogotí, Mostazal, Rapel, Grande, Combarbalá, Estero Punitaqui y Quebrada Seca.	SI
	ALTA		Terrazas de inundación adyacentes (depósitos fluviales recientes PlHf) a los cauces principales de Susceptibilidad Muy Alta hasta una altura máxima dada por la diferencia de cota entre las alturas de escurrimiento máxima y mínima medidas en la estación fluviométrica más cercana aguas arriba.	SI
	MODERADA		Terrazas más antiguas de los cauces con Susceptibilidad Muy Alta, o bien las zonas más distales de las terrazas de inundación adyacentes a dichos cauces.	NO
Inundaciones por anegamiento	ALTA		Sectores muy planos, deprimidos (bajos topográficos), con mal drenaje, y que no se conectan directamente con la red hidrográfica (es decir, existen condiciones morfológicas para la acumulación superficial de aguas lluvias).	SI
Inundaciones litorales	MUY ALTA		Sectores costeros ubicados por debajo de la cota 8 m s.n.m.	SI
	ALTA		Sectores costeros ubicados entre las cotas 8 y 12 m s.n.m.	SI
	MODERADA		Sectores costeros ubicados entre las cotas 12 y 16 m s.n.m.	NO
Remociones en masa	**Flujos de Barro y detrito**	MUY ALTA	Cauces naturales (depósitos aluviales actuales, Ha) de todas las quebradas de la Alta Cordillera, de las quebradas cuyas cuencas fueran mayores a 1 km^2 de la Media Montaña o Cordillera de la Costa. Zonas de derrame de los cauces naturales clasificados con susceptibilidad Muy Alta; es decir, aquellas zonas en donde se puede producir desborde de material detrítico, ya sea en la zona distal de las quebradas (abanico aluvial activo) o el tramo medio en zonas de curvas cerradas de las quebradas. Cauces naturales de las quebradas de cualquier sector y sus zonas de derrame, tal que tuviera evidencias morfológicas o registros catastrados de flujos anteriores.	SI
		ALTA	Cauces naturales (depósitos aluviales actuales, Ha) de las quebradas Cordillera de la Costa y Media Montaña, tal que sus cuencas tuvieran un área menor a 1 km^2, y las zonas de derrame para ambos casos. Terrazas de inundación (PlHa) y abanicos aluviales recientes (PlHa), asociadas a cauces activos que fueron clasificados con susceptibilidad Muy Alta.	SI
		MODERADA	Laderas con presencia abundante de cárcavas, y su zona de escurrimiento; en las cuales se había observado evidencia de flujos recientes. Abanicos aluviales recientes o terrazas de inundación (zonas de derrame), asociadas a cauces activos que fueron clasificados con susceptibilidad Alta.	NO
	Procesos de ladera	MUY ALTA	Sectores cuyas laderas presentan pendientes mayores a 25°, y su unidad geológica presenta evidencia de procesos de ladera (Unidades no consolidadas y consolidadas susceptibles: PlHa, PlHc, Hrm, MPlc, JKd, Kigd, Kle, Kqlt, Kqm, PaEgdg, Trat(a)). Y sectores cuyas laderas presentan pendientes mayores a 35° pertenecientes a cualquier unidad geológica.	SI
		ALTA	Sectores cuyas laderas presentan pendientes entre 15° y 25° y su unidad geológica presenta evidencia de procesos de ladera (Unidades no consolidadas y consolidadas susceptibles: PlHa, PlHc, Hrm, MPlc, JKd, Kigd, Kle, Kqlt, Kqm, PaEgdg, Trat(a)). Y sectores cuyas laderas presentan pendientes entre 25° y 35° pertenecientes el resto de las unidades geológicas (Unidades no consolidadas y consolidadas no susceptibles: Ha, Hf, He, Hlit, PlHf, Qlit, Nfa, MPlc(t), PaEmb, PaEmlc, Jas, Jmg, Ka, Ki1, Krt, Ksdp, Ksih, Kv, PaEdc, PaEdgdr, Pzch, Pzh, Cph, Trq).	SI
		MODERADA	Sectores cuyas laderas presentan pendientes entre 15° y 25° pertenecientes a cualquier unidad geológica sin evidencia de procesos de ladera (Ha, Hf, He, Hlit, PlHf, Qlit, Nfa, MPlc(t), PaEmb, PaEmlc, Jas, Jmg, Ka, Ki1, Krt, Ksdp, Ksih, Kv, PaEdc, PaEdgdr, Pzch, Pzh, Cph, Trq). Y sectores cuyas laderas presentan pendientes menores a 15° pertenecientes a las formaciones Quebrada Marquesa (Kqm), Quebrada la Totora (Kqlt) y a los depósitos de remoción en masa (Hrm).	NO
Sismicidad	ALTA		No zonificable.	NO
Volcanismo	NO EXPUESTO			NO

Fuente: Elaboración propia.

8 REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

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.

Arabasz, W. (1971). Geological and geophysical studies of the Atacama Fault Zone in northern Chile. *Ph.D. Thesis. California Institute of Technology*, 264 p. Pasadena U.S.A.

Blair, T., & McPherson., J. (2009). *Processes and forms of alluvial fans. Springer Science Business Media.*

Bohnhorst, T. (1967). *Geología de la hoja Ovalle : Provincia de Coquimbo.* Instituto de investigaciones geológicas - Chile.

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

Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En T. Moreno, & W. Gibbons (Edits.), *The Geology of Chile* (págs. 21-114). Londres: Geological Society of London.

Costa, J. (1984). Physical geomorphology of debris flows. In Developments and Applications of Geomorphology. En J. E. Costa, & P. J. Fleisher (Edits.), *Developments and Applications of Geomorphology* (págs. 268-317). Berlin: Springer-Verlag.

Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes.* Washington D.C.: Special Report 247: Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board.

Cruz, C., & Calderón Janette. (2008). *Guia Climática Practica* (Dirección Meteorológica de Chile ed.). Santiago, Chile.

Dediós, P. (1967). *Cuadrángulo Vicuña, Provincia de Coquimbo, Carta Geológica de Chile, No. 28, 20 p..* Santiago: Instituto de Investigaciones Geológicas.

DeMets, C., Gordon, R., Argus, D., & Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters, 21*(20), 2191-2194.

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

Dirección Meteorológica de Chile. (2001). *Climatología Regional.* Santiago, Chile.

Emparán, C. (200X). *Geología del área Ovalle - Peña Blanca, Región de Coquimbo. Carta geológica de Chile, 1:100.000.* SERNAGEOMIN.

Emparán, C., & Pineda, G. (1999). *Mapa geológico área Condoriaco-Rivadavia, Región de Coquimbo. Escala 1:100.000. No. 12.* Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Emparan, C., & Pineda, G. (2000). *Área La Serena-La Higuera, Región de Coquimbo. Mapas Geológicos 1:100.000. No 18.* Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Emparán, C., & Pineda, G. (2006). Geología del área Andacollo-Puerto Aldea. Región de Coquimbo. *Carta Geológica de Chile. Serie geología básica. N°96. Escala 1:100.000*.

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 Managment, p. 657-669.

Giraud, R., & Shaw, L. (2007). *Landslide Suceptibility Map of Utah. .* 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". Instituto Geográfico Militar (pág. 134-136).*

Hauser, A. (1985). Flujos aluvionales de 1870 y 1896 ocurridos en la ladera norte del volcán Yates, X Región: su implicancia en la evaluación de riesgos naturales. *Revista Geológica de Chile, 25-26*, 125-133.

Hauser, A. (1997). *Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre.* Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 49, 47 pág.

Hauser, A. (2000). *Remociones en masa en Chile* (2da ed.). Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.

Herbert, T. (1967). *Geología de la Hoja de Ovalle, Provincia de Coquimbo. Boletín N° 23.* Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile.

Infracon S.A. (2008). *Diagnóstico áreas de riesgos localidades costeras de la Región de Coquimbo.* Santiago: Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, Región de Coquimbo.

JTC-1. (2008). Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for land use planning. *Engineering Geology, 102*(3-4), 85-98.

Karmaker, T., & Dutta, S. (2012). *Modeling seepage erosion and bank retreat in a composite river bank.*

Keeper, D. (1984). Landslides cuased by earthquakes. *Geological Society of América Bulletin, 95*(4), 406-421.

Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos Naturales.* Madrid: Pearson Education S.A., 448 pág.

Lara, L., & Rauld, R. (2003). *Diagnóstico de la geología ambiental de las grandes ciudades de Chile., Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 182 pág.*

Maksaev, V., Moscoso, R., Mpodozis, C., & Nasi, C. (1984). Las unidades volcánicas y plutónicas del Cenozoico Superior en la Alta Cordillera del Norte Chico (29°-31°S): geología, alteración hidrotermal y mineralización. *Revista Geológica de Chile, 21*.

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.

Mpodozis, C., & Cornejo, P. (1988). *Hoja Pisco Elqui, IV Región de Coquimbo.Carta Geológica de Chile. 68. 1:250.000.* Santiago: Servicio Nacionald e Geología y Minería.

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.

Mpodozis, C., Parada, M., Rivano, S., & Vicente, J. (1976). Acerca del plutonismo Tardi-Hercínico de la Cordillera Frontal entre los 30° y 33°S (Provincias de Mendoca y San Juan, Argentina, Coquimbo, Chile). Bahía Blanca: Congreso Geológico Argentino No6, A.

Myers, B., & Brantley, S. (1995). *Hazardous phenomena at volcanoes.* Vancouver, Washington.: USGS Open File Report, pág. 95-231.

Naranjo, J., & Varela, J. (1996). *Debris and mud flows that affected the eastern area of Santiago on May 3, 1993.* Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín No. 47, 42 pág.

Nasi, C., Mpodozis, C., Cornejo, P., Moscoso, R., & Maksaev, V. (1985). El Batolito Elqui-Limarí (Paleozoico Superior-Triásico): Caraterísticas petrográficas, geoquímicas y significado tectónico. *Revista Geológica de Chile, 25-26*, 77-111.

NEIC. (2017). *National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey. Disponible en: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/.*

ONU/EIRD. (2004). *Vivir con el Riesgo, Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres, Versión en español 2004.* Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.

Oyarzún, R. (2010). Estudio de caso: Cuenca del Limarí, Región de Coquimbo, CHILE. Compilación Resumida de Antecedentes Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas. *Universidad de la Serena (CEAZA-ULS)*.

Pain, C. (1986). *Scarp Retreat and Slope Development Near Picton, New South Wales, Australia.* Braunschewig.

Paskoff, R. (1970). *Le Chili semi-aride, recherches géomorphologiques.* Bordeaux: Biscaye, 420 pág.

Pierson, T., & Scott, K. (1985). Downstream dilution of Lahar: transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow. *Water Research, 21*(10), 1511-1524.

Pineda, G., & Calderón, M. (2008). Geología del área de Monte Patria - El Maqui. Región de Coquimbo. *Carta geológica de Chile. Serie básica. No, 116. Escala 1:100.000*.

Pineda, G., & Emparán, C. (2006). *Geología del Área Vicuña-Pichasca. Región de Coquimbo. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica No 97. Escala 1:100.000.* Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

PMA-GCA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas.* Santiago: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p.

PMA-GCA. (2008). *Proyecto Multinacional Andino. Geociencia para las Comunidades Andinas. Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes.* Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, no. 7, 320 p., 1 CD-ROM.

Rivano, S., & Sepúlveda, P. (1991). *Hoja Illapel, Región de Coquimbo. Carta Geológica de Chile. No 69. 1:250.000.* SERNAGEOMIN.

Samadi, A., Davoudi, M., & Amiri-Tokaldany, E. (2011). *Experimental Study of Cantilever Failure in the Upper Part of Cohesive Riverbanks.*

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

Scholz, C. (1990). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting.* Cambridge: Cambridge University Press, 439 pág.

Sepúlveda, S., & Serey, A. (2009). *Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the 21st of April 2007 Aisén earthquake, Southern Chile (45.5ºS). Andean Geology 36(1), 131-136.*

Sepúlveda, S., Murphy, W., Jibson, R., & Petley, D. (2005). Seismically-induced Rock Slope Failures Resulting from Topographic Amplification of Strong Ground Motions: The Case of Pacoima Canyon, California. *Engineering Geology, 80*, 336-348.

Sepúlveda, S., Serey, A., Lara, M., Pavez, A., & Rebolledo, S. (2010). Landslides induced by the April 2007 Aysén Fjord earthquake, Chilean Patagonia. *Landslides*, doi: 10.1007/s1034VI-010-0203-2.

SERNAGEOMIN. (2003). *Mapa Geológico de Chile: Versión Digital. Publicación Geológica Digital, Nº4.* Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Somoza, R. (1998). Updated Nazca (Farallon)- South America relative motions during the last 40 My: implication for mountain building in the central Andean region. *Journal of Soth American Earth Sciences*(11), 211-215.

Sruoga, P. (2002). *El volcanismo reciente y riesgo asociado en la Provincia de Mendoza.* Mendoza: IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales, pág. 255-259.

SUBDERE. (2011). *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial.* Santiago: Subsecretaría de Desarrollo Regional.

Tarboton, D., & Bras, L. R.-I. (1991). *On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data.* Hydrological Processes. 5: 81–100.

Thomas, H. (1967). Geología de la Hoja Ovalle y Carta Geológica (1:250.000). *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín Nº 23, 58 p. Santiago, Chile*.

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

Uyeda, S. K. (1979). *Back-arc opening and the mode of subduction.* (8 (NO B3): 1049-1059. ed.). Journal of Geophysical Research .

Varnes, D. (1978). *Slope movement types and processes.* Washington, D.C.: Special report 17VI: Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board.

Varnes, D. (1984). Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO. *Natural Hazards, 3*, 1-61.

Western Washington University. (2011). *RELIEF GLOBE SLIDES*. Recuperado el 28 de 11 de 2011, de http://www.smate.wwu.edu/teched/geology/GeoHaz/global/globe-17.jpg

ANEXOS

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

ANEXO A DEFINICIONES DE PELIGRO Y RIESGO USADAS EN ESTE INFORME

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

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

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

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

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

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

Según Varnes (1984), se denomina riesgo específico al grado de pérdidas esperado durante un período de tiempo dado, como consecuencia de la ocurrencia de un determinado proceso, expresado en términos de probabilidad.

* 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

Puede ser expresado como el producto A x V, donde A corresponde a la amenaza y V a la vulnerabilidad. En este caso no es posible obtener una evaluación cuantitativa de las pérdidas (Gonzalez de Vallejo, Ferre, Ortuño, & Oteo, 2002).

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

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

Donde R_t corresponde al riesgo total, R_e al riesgo específico y E a los elementos expuestos considerados. La FIGURA Nº 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.

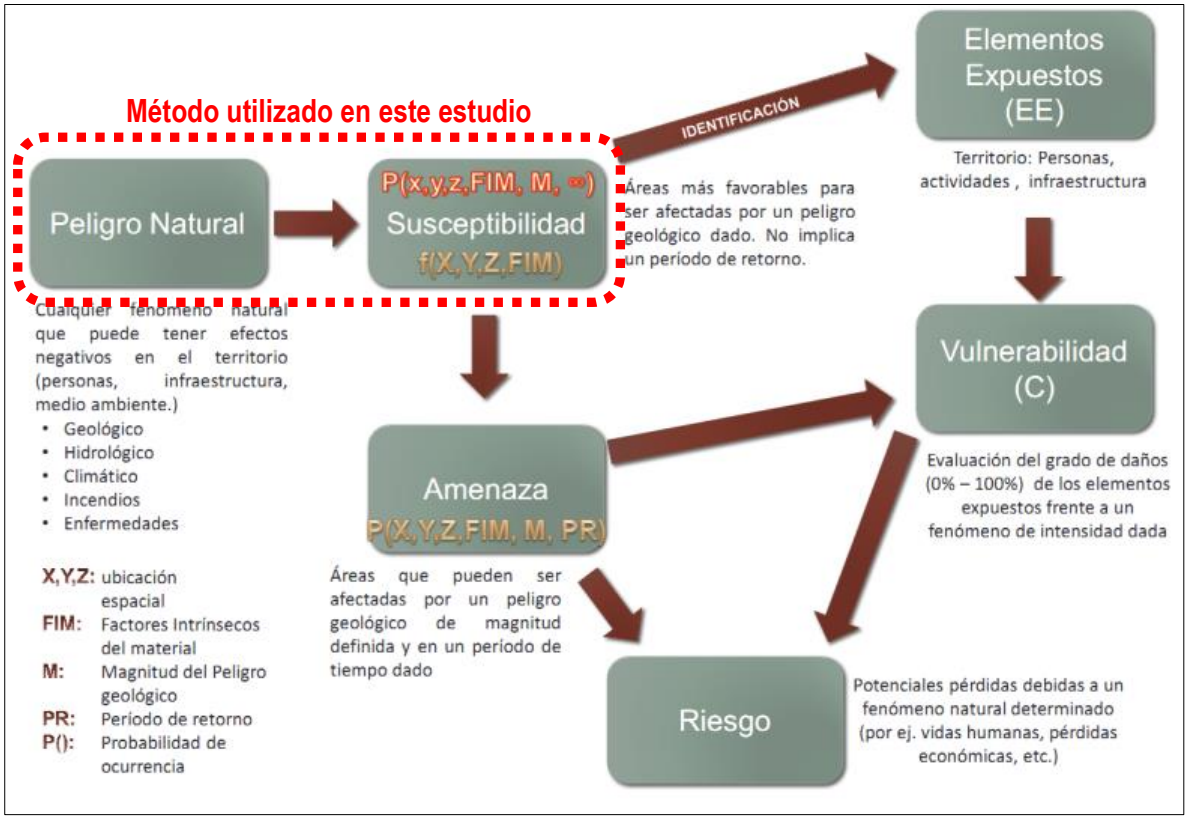
Finalmente, la reducción y mitigación de los riesgos vinculados a los diversos peligros geológicos presenta igual o mayor importancia que el manejo de las emergencias y la respuesta posterior al evento catastrófico. El desarrollo sustentable de la urbanización está directamente asociado a la reducción 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.

En este estudio **sólo se utilizó la susceptibilidad como herramienta para zonificar los peligros**, porque no se cuenta con suficiente información para cuantificar la recurrencia de los peligros, es decir, cuantificar la amenaza, lo que impidió, posteriormente, asignar un valor al riesgo.

FIGURA Nº A-1: Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984)

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

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.

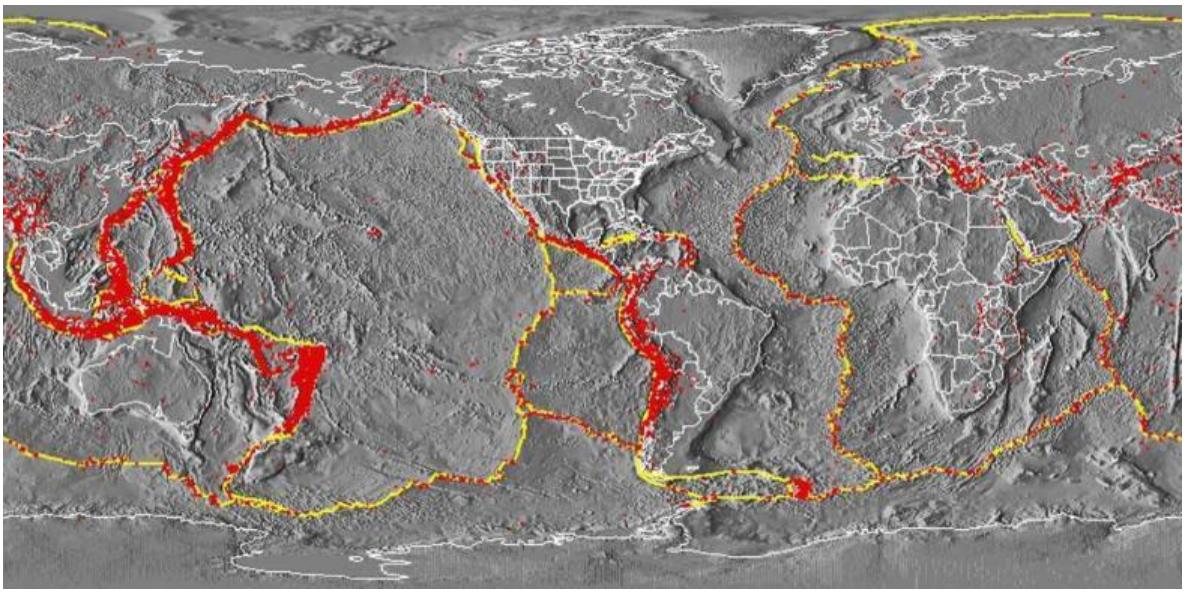
Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los 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 Nº 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 Nº 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

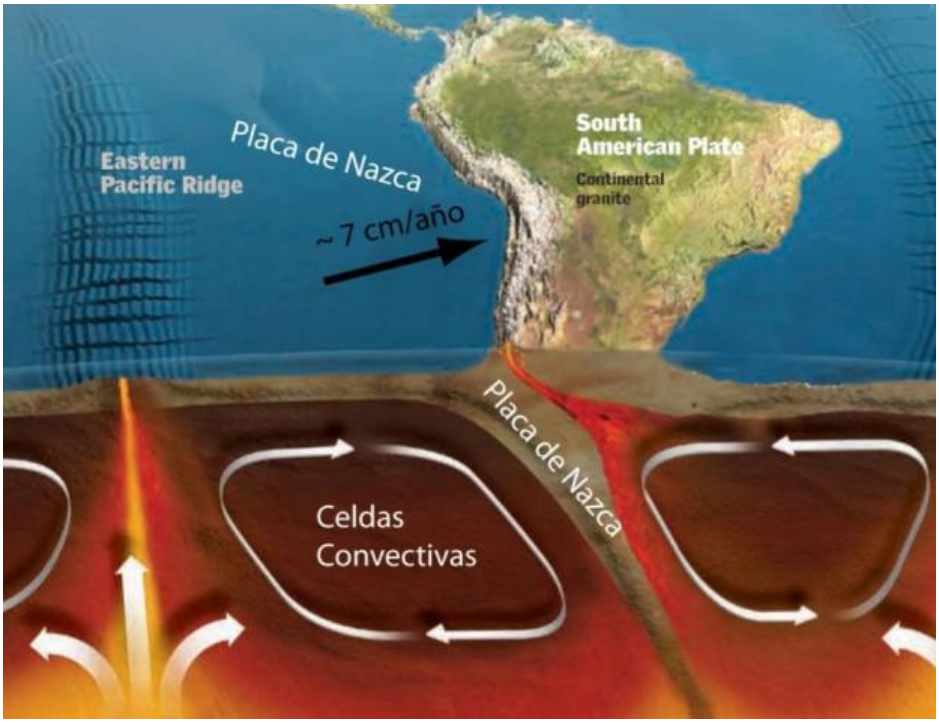


Fuente: Western Washington University (2011).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, Gordon, Argus, & Stein, 1994). Una serie de fuerzas actúan sobre la Placa de Nazca, como por ejemplo el flujo convectivo de material del manto, que "mueve" a la placa en dirección al este generando la convergencia, o el mismo peso de la placa oceánica que "tira hacia abajo" esta placa, favoreciendo la subducción (FIGURA Nº 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 Nº B-2: Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile

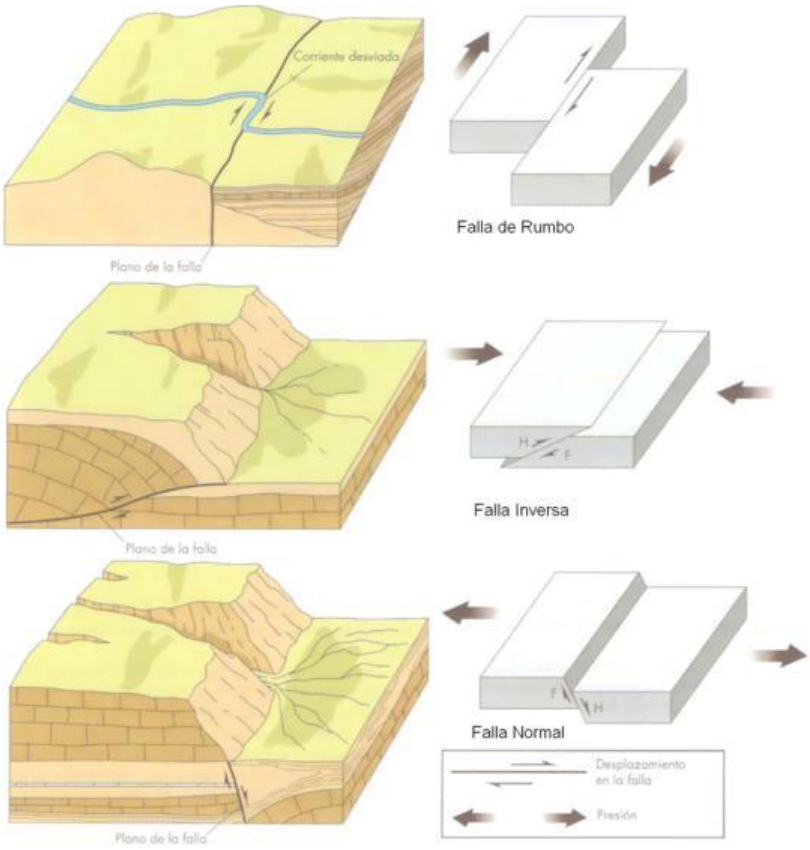


Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

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 Nº B-3). 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 Nº B-4). 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 Nº B-3: Tipos de Falla y esfuerzos asociados

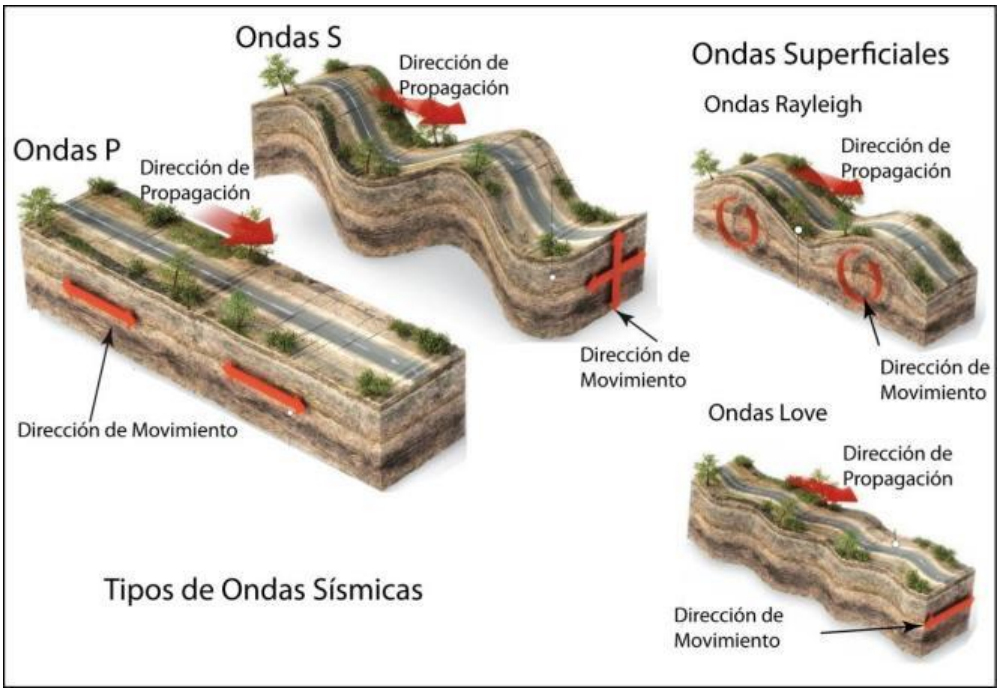


Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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 Nº B-5).

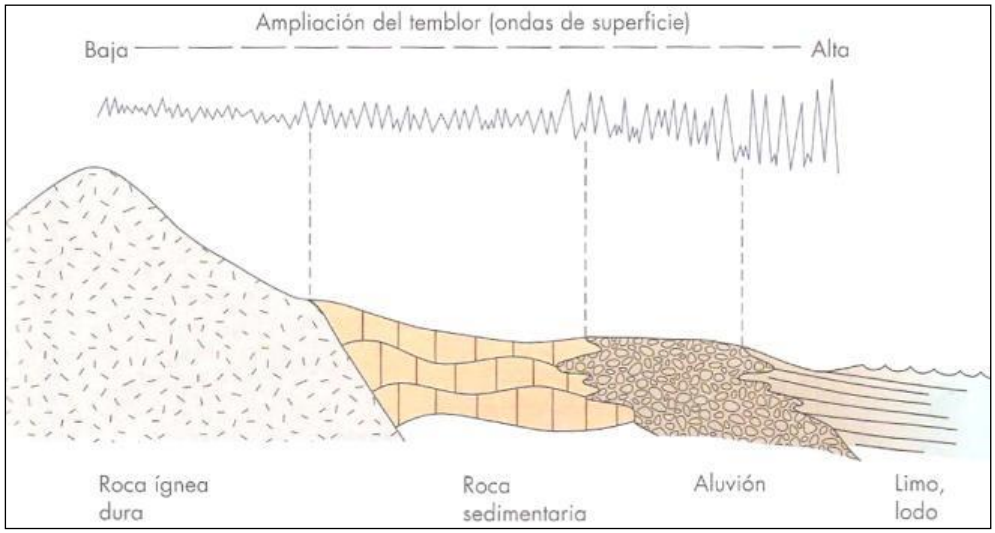
FIGURA Nº B-4 Tipos de ondas sísmicas



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.

FIGURA Nº B-5: Amplificación de la vibración generada por un terremoto



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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 Mw = 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”.

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 (sueltos 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.

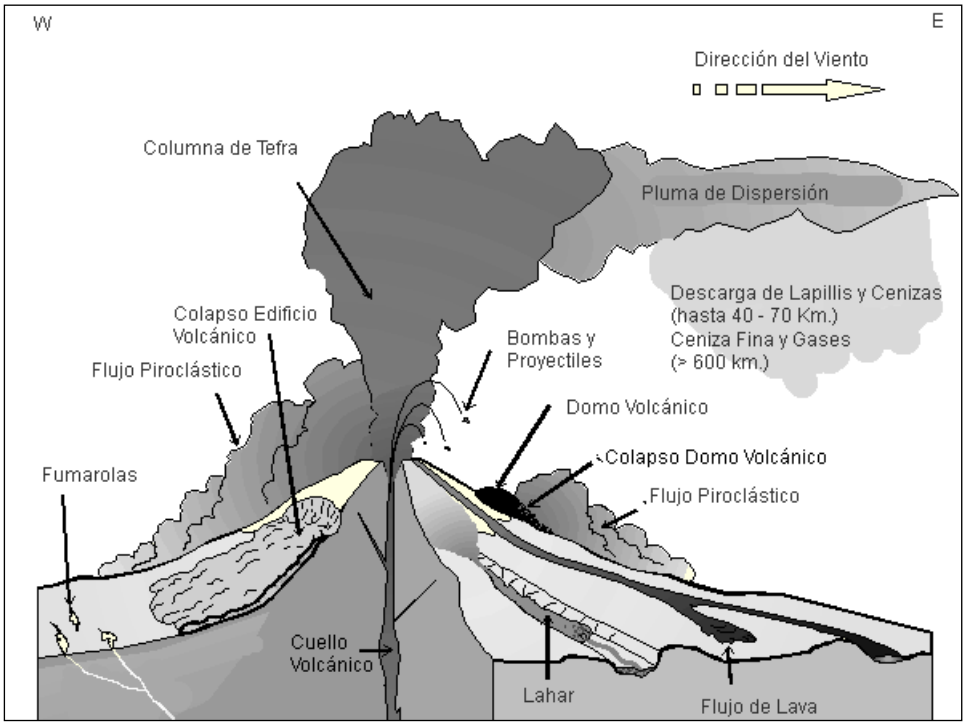
- Saturación de los depósitos por aguas subterráneas, el agua debe rellenar los espacios entre los granos de limo o arena. Puede producirse en zonas donde el nivel de agua subterránea es somero como en desembocadura de cursos de agua, humedales, pantanos, vegas y zonas costeras.
- Fuertes movimientos 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 los largo de la Cordillera de los Andes, pero de forma discontinua. En la zona entre los 18º y 27ºS y aquella al sur de los 33ºS se ubica el volcanismo activo, mientras que entre los 27º-33ºS está ausente. Los principales peligros asociados a una erupción volcánica se resumen en la FIGURA Nº B-6 y en la TABLA Nº 7.3-1.

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 hacía la atmósfera.

FIGURA Nº B-6: 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.

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

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

Pérdida de tierras cultivables

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

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

TABLA Nº 7.3-1: 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
	Gases	Envenenamiento, contaminación aire y agua.	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Inyección de Aerosoles a la Estratósfera	Impacto en el clima, efecto a largo plazo y/o a distancia.		Dirección del viento
Lavas y Edificio Volcánico	Lavas y Domos	Daño a estructuras, incendios, recubrimiento por lavas.	Alrededores del volcán (<10 km)	
	Deformación del Terreno	Fallas, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	
	Terremotos y Temblores Volcánicos	Colapso del edificio volcánico, remociones en masa, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología
Remociones en masa	Lahares	Daños a estructuras, arrastres de materiales, recubrimiento por barros.	Decenas a centenares de kilómetros	Red de drenaje
	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
Otros	Ondas de Choque	Rotura de cristales y paneles.	Decenas de kilómetros	Dirección del viento y geomorfología
	Variaciones en el Sistema Geotérmico de Acuíferos	Cambios de temperatura y calidad del agua.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Red de drenaje

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

B.2 PROCESOS EXÓGENOS O EXTERNOS DE LA TIERRA

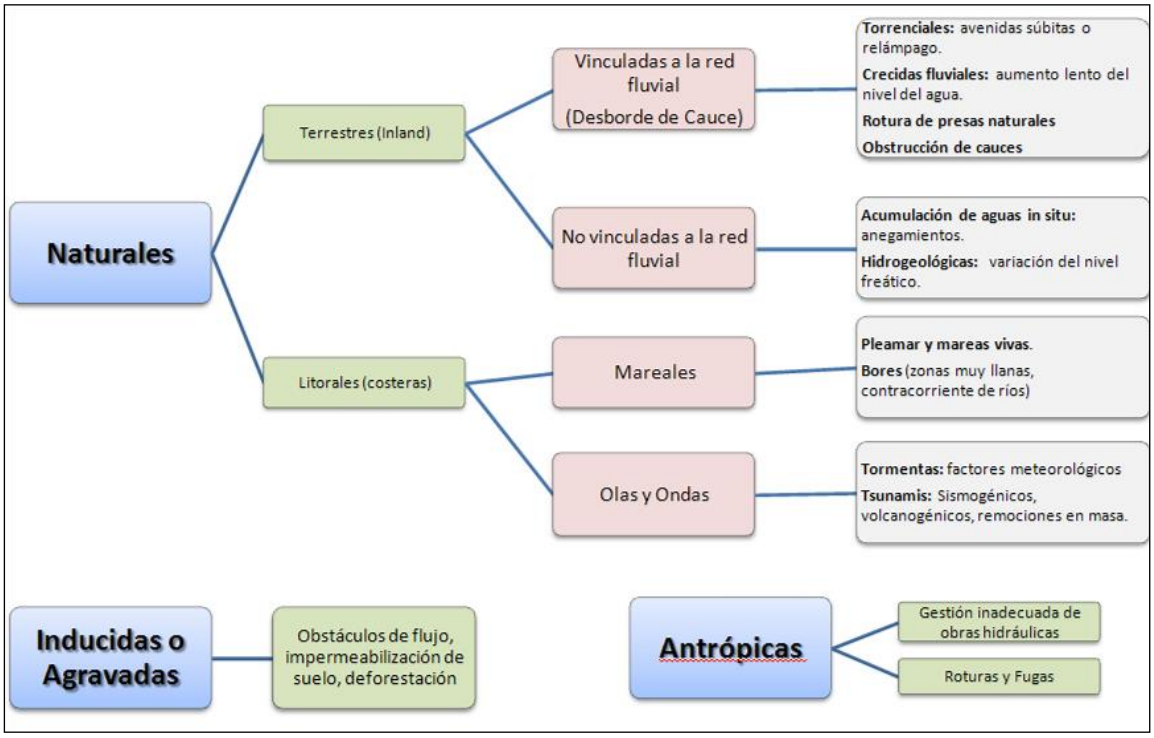
B.2.1 INUNDACIONES TERRESTRES Y LITORALES

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (FIGURA Nº B-7): (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 Nº B-7: 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:

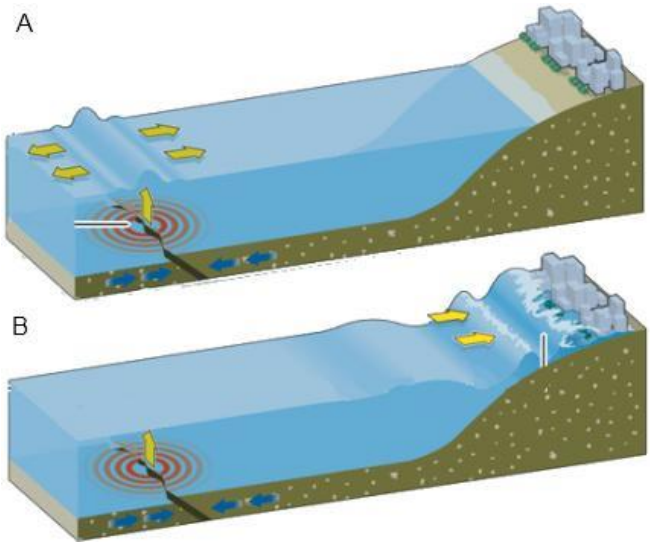
Maremotos generados producto de un sismo mayor: durante un terremoto se genera una rápida elevación o hundimiento del fondo marino, provocando un gran movimiento vertical de agua que es propagado en forma de olas que se alejan radialmente desde la zona de ruptura, movimiento que puede considerarse lineal (FIGURA Nº 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 Nº 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 Nº B-10). Cómo la generación es puntual, la energía liberada es menor a la generada por sismos.

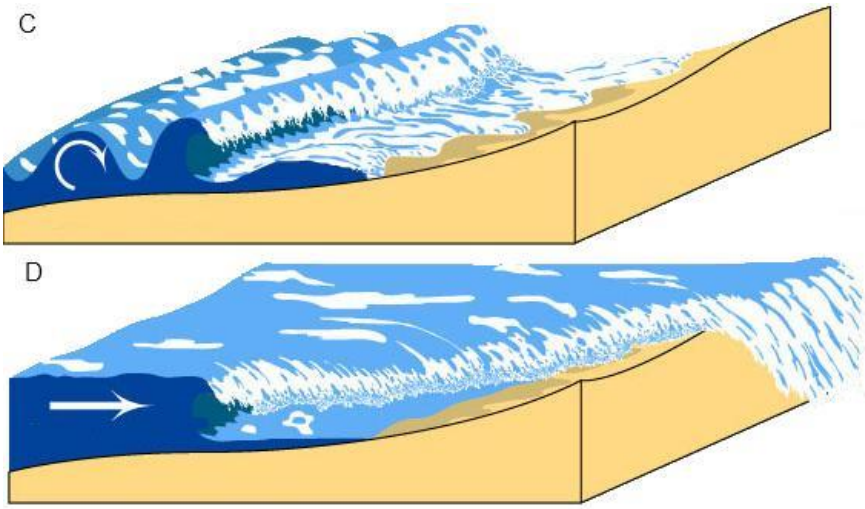
Maremotos generados por deslizamientos: Corresponden a deslizamientos submarinos o superficiales, que generan perturbaciones en el nivel del mar o en lagos (FIGURA Nº B-11). Ejemplos de este tipo se han registrado en el fiordo de Aysén asociado al ciclo sísmico desarrollado durante abril de 2007 (Sepúlveda & Serey, 2009).

FIGURA Nº B-8: 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



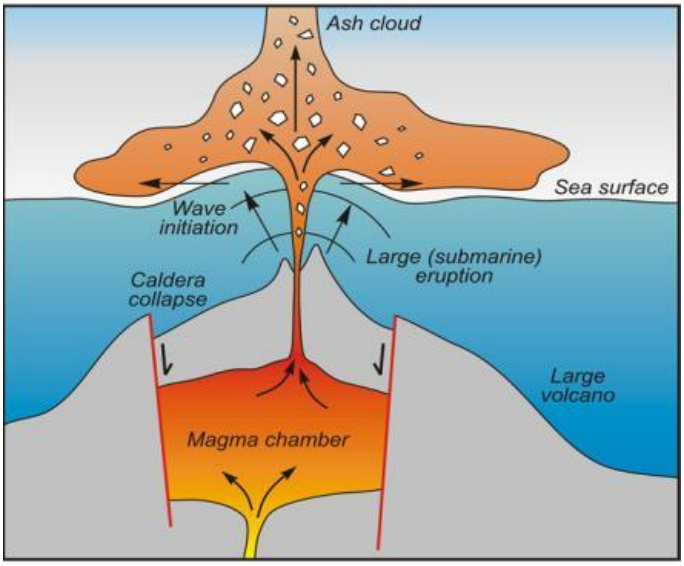
Fuente: Modificado de Keller y Blodgett, (2004)

FIGURA Nº B-9: Comparación entre olas generadas por el viento y el frente de olas de un maremoto



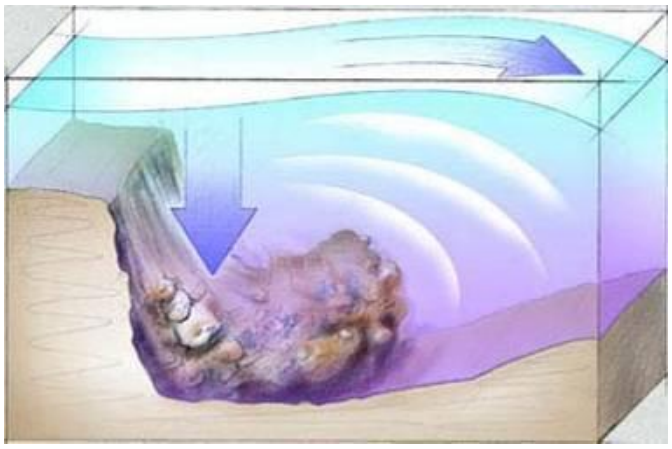
Fuente: Modificado de Department of Earth and Space Sciences, University of Washington, en http://www.ess.washington.edu/tsunami/images/tsulg.jpg

FIGURA Nº B-10: 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 Nº B-11: Mecanismo de generación de maremotos asociado a deslizamientos



Fuente: Tomado de Universidad de Santa Cruz, California.
http://scicom.ucsc.edu/scinotes/9901/kill/images/slidefinal.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 Nº 7.3-2).

TABLA Nº 7.3-2: 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 Nº 7.3-3). 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 Nº 7.3-4).

TABLA Nº 7.3-3: 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
-2.0	0.0015	< 0.30

Fuente: Iida (1963)

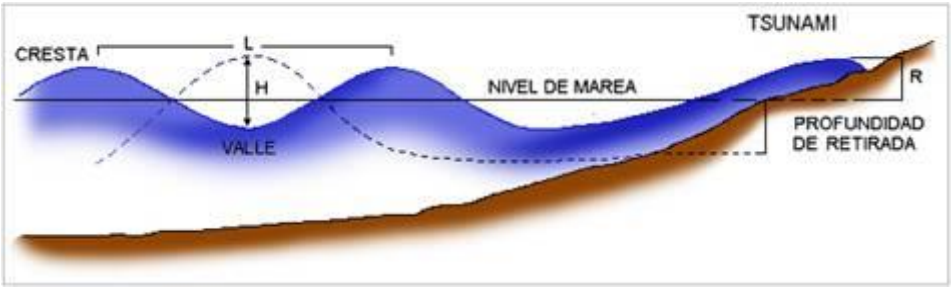
Los parámetros considerados por Wiegel (1970) son los siguientes (FIGURA Nº B-12): la altura de la ola (H) como la diferencia de nivel entre la cresta y el valle; altura máxima de inundación (R), corresponde al lugar de la costa donde los efectos del maremoto son mayores.

TABLA Nº 7.3-4: Escala de grados de maremoto según Inamura e Iida; 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 Nº B-12: Elementos básicos considerados en la escala de Magnitud Inamura-Iida 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 Nº B-13). 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.

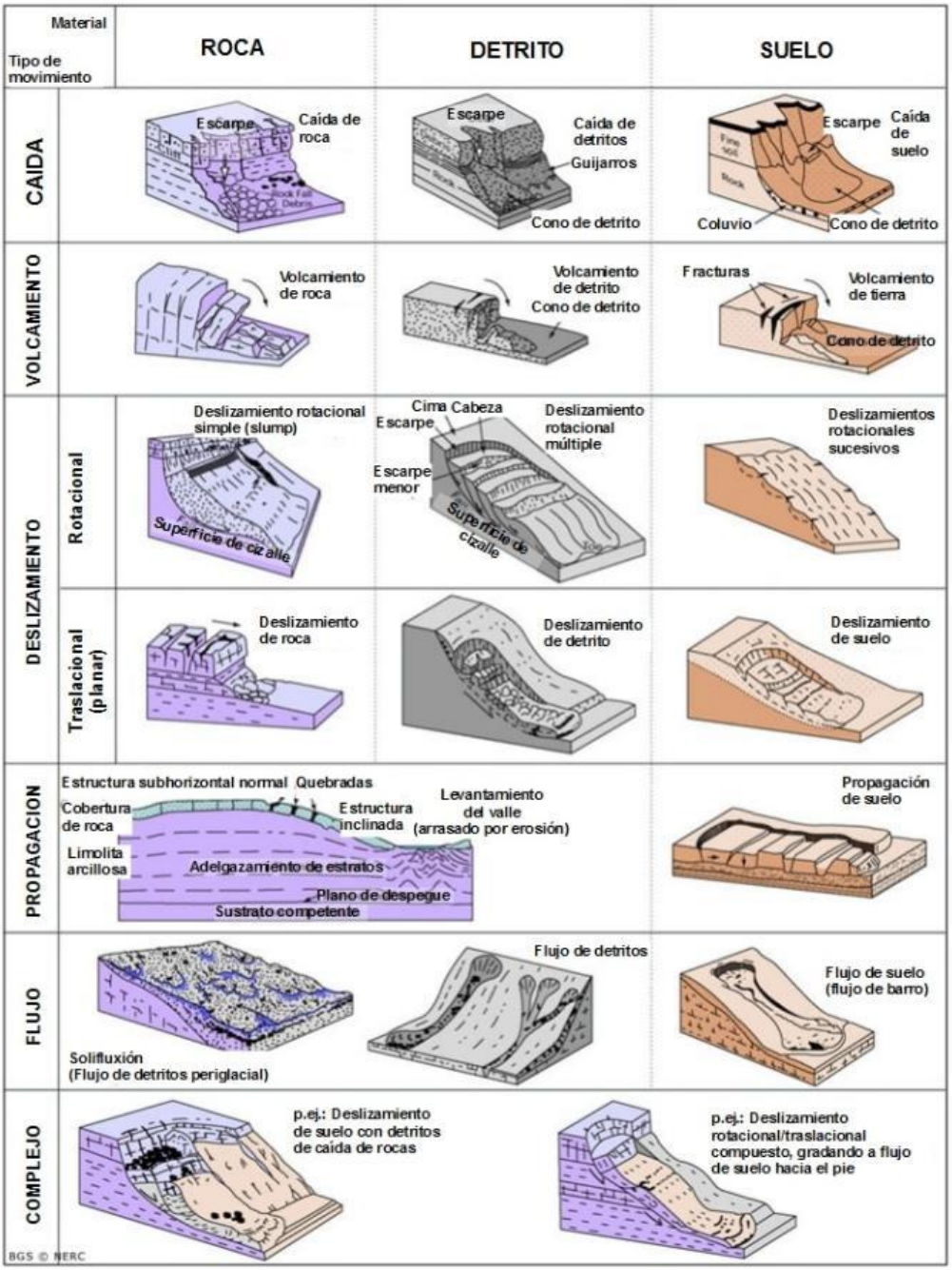
Estos fenómenos pueden ocurrir de varias formas dependiendo de las propiedades del material y las características geológicas y geomorfológicas del entorno, siendo principalmente divididos en rotacionales y traslacionales (FIGURA Nº B-14). Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

Adicionalmente, los deslizamientos que ocurren en escarpes de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial, o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, se les denomina como “Retroceso de laderas”, y es descrito en la sección B.2.2.4 de este anexo.

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

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

FIGURA Nº B-13: Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera



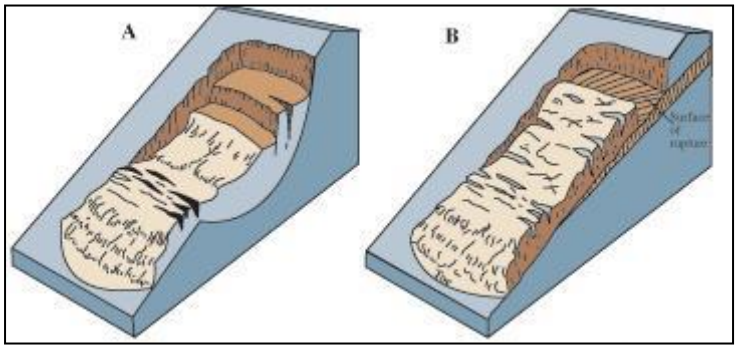
Fuente: Clasificación utilizada por el British Geological Service, modificada de (Varnes, 1978) y (Cruden & Varnes, 1996). Disponible en: http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

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

FIGURA Nº B-14: 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

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, Fernández, Naranjo, & Villarroel, 2002). Los flujos de detritos usualmente son descritos como fluidos no-newtonianos o plásticos de Bingham, donde la fracción sólida varía generalmente entre 50 a 90% en volumen (Costa, 1984). En los casos en que la granulometría del material transportado sea predominantemente fina estos flujos se conocen como flujos de barro.

Las partículas sueltas que cubren pendientes denudadas y otros depósitos detríticos no consolidados, disponibles dentro de la cuenca de recepción, son transportadas hacia el cauce principal donde continúa su movimiento. Se remueven así depósitos de gravas y arenas sueltas del lecho, hasta alcanzar el área de depositación, que corresponde al sitio de salida de dichas quebradas a zonas más llanas donde se forman abanicos aluviales. Con la disminución de la pendiente, a medida que aumenta la distancia desde su fuente, los flujos van perdiendo su carga

sólida de mayor granulometría, por lo que van pasando paulatinamente a flujos de barro y finalmente a inundaciones o flujos hiperconcentrados donde la fracción sólida varía generalmente entre 1 a 25% en volumen (Pierson & Scott, 1985).

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

En Chile, el factor desencadenante más común de flujos de detritos son las lluvias esporádicas, de corta duración y de intensidad excepcional. Por otro lado, en nuestro país existen muy pocos estudios que relacionen las intensidades de precipitaciones y este tipo de fenómenos, debido, principalmente, a los escasos registros de intensidad de precipitaciones y de flujos de detritos históricos. Solo durante las últimas décadas se han instalados pluviógrafos que miden la intensidad instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora). Slo 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.

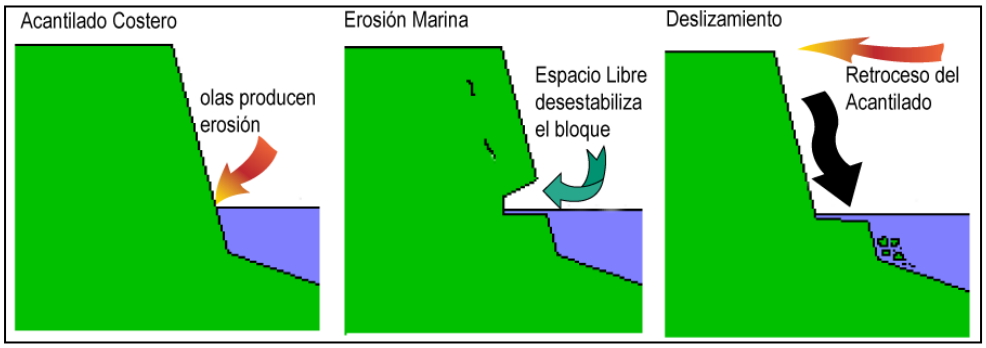
B.2.2.4 Retroceso de laderas

Tal como se menciona en la sección B.2.2.2 de este anexo, los deslizamientos que ocurren en escarpes de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial, o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, se les denomina como “Retroceso de laderas”.

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

En el caso de los acantilados costeros, este proceso es causado por la fuerza de las olas, las que generan cavernas y desestabilizan el bloque superior, provocando que este caiga por su propio peso (FIGURA Nº B-15). Ello produce además que el acantilado costero se encuentre en constante retroceso, lo que permite definir como zona de alta susceptibilidad todas las áreas cercanas a él.

FIGURA Nº B-15: Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión



Fuente: Elaboración propia.

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

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

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

ANEXO C MAPAS GEOLÓGICOS DE LOS ASENTAMIENTOS POBLADOS

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

ANEXO D RESUMEN DE LOS REGISTROS HIDROLÓGICOS

D.1 UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA PROVINCIA DE LIMARÍ

TABLA Nº 7.3-5 Ubicación de estaciones meteorológicas de la Provincia de Limarí

Estación	Código BNA	Coordenadas (UTM)			Registro		Comuna
		Este	Norte	Elevación	Inicio	Fin	
Cogotí 18	04531003-5	313.978	6.559.446	840	1943	2016	Combarbalá
Cogotí Embalse	04535001-0	300.887	6.567.617	740	1936	2016	Combarbalá
Combarbalá	04532006-5	309.308	6.549.382	870	1977	2016	Combarbalá
Rio Cogotí en Fraguita	04530001-3	320.235	6.556.413	1.065	2014	2016	Combarbalá
Rio Cogotí entrada Embalse Cogotí	04531002-7	305.262	6.564.958	670	2015	2016	Combarbalá
Carén	04513004-5	330.669	6.585.105	740	1943	2016	Monte Patria
El Maitén	04515004-6	347.514	6.590.779	1.350	1958	1974	Monte Patria
El Tome	04537003-8	311.496	6.588.881	420	1966	2016	Monte Patria
Las Ramadas	04511003-6	348.619	6.567.266	1.380	1943	2016	Monte Patria
Los Molles Bocatoma	04520005-1	364.304	6.597.872	2.600	1984	1992	Monte Patria
Monte Patria	04524001-0	312.181	6.602.908	445	1970	1989	Monte Patria
Paloma Embalse	04540006-9	304.978	6.602.287	320	1943	2016	Monte Patria
Pedregal	04515005-4	336.698	6.585.291	880	1967	1989	Monte Patria
Ramadilla	04515007-0	342.182	6.581.001	1.250	1937	1964	Monte Patria
Rapel	04522003-6	330.009	6.599.909	870	1969	2016	Monte Patria
Rio Grande en Las Ramadas	04511002-8	349.060	6.567.981	1.380	2011	2016	Monte Patria
Tascadero	04512002-3	340.924	6.567.461	1.230	1961	2016	Monte Patria
Tulahuén	04513003-7	331.530	6.572.676	1.020	1949	2016	Monte Patria
La Torre	04552002-1	272.404	6.610.458	120	1936	2016	Ovalle
Ovalle (Escuela Agricola)	04551004-2	292.404	6.617.916	340	1980	1983	Ovalle
Ovalle DGA	04551005-0	289.070	6.612.553	220	1971	2016	Ovalle
Recoleta Embalse	04506007-1	298.493	6.623.114	350	1943	2016	Ovalle
Salala	04557001-0	257.615	6.603.264	100	1968	1977	Ovalle
Sotaquí	04540005-0	296.857	6.609.375	280	1954	2016	Ovalle
La Placilla	04554003-0	279.417	6.580.441	600	1989	2016	Punitaqui
Peña Blanca	04610001-8	256.232	6.578.642	360	1989	2016	Punitaqui
Punitaqui	04555001-K	284.780	6.587.267	280	1961	2016	Punitaqui
Bocatoma Canal Alimentador	04506006-3	301.612	6.626.098	450	1951	1964	Río Hurtado
Estancia Chacay	04502003-7	335.663	6.630.579	1.380	1968	1971	Río Hurtado
Hurtado	04502005-3	336.867	6.648.182	1.100	1943	2016	Río Hurtado
La Cortadera	04502004-5	329.869	6.641.022	920	1967	1973	Río Hurtado
Las Breas	04501004-K	344.987	6.639.123	1.600	1943	1977	Río Hurtado
Pabellón	04501003-1	350.683	6.634.584	1.920	1968	2016	Río Hurtado
Pichasca	04503003-2	320.546	6.636.222	725	1946	2016	Río Hurtado
Puntilla San Juan	04523004-K	316.326	6.601.747	430	1965	1978	Río Hurtado
Samo Alto	04503002-4	313.772	6.634.199	600	1968	1989	Río Hurtado

Fuente: Elaboración propia a partir del BNA-DGA

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

D.2 REGISTROS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS EN CADA ESTACIÓN

TABLA Nº 7.3-6: Registro de precipitaciones máxima anuales en 24 horas en las estaciones meteorológicas indicadas

Año	Bocatoma Canal Alimentador	Caren	Cogotí 18	Cogotí Embalse	Combarbalá	El Maitén	El Tome	Estancia Chacay	Hurtado	La Cortadera	La Placilla	La Torre	Las Breas	Las Ramadas	Los Molles Bocatoma
1936				0,0								25,0			
1937				55,0								31,0			
1938				0,0								35,0			
1939				0,0								33,0			
1940												50,0			
1941												70,0			
1942												37,0			
1943		55,0	38,0	45,0					33,3			33,0	32,0	78,0	
1944		69,5	56,0	50,0					59,5			65,0	62,0	80,0	
1945		78,0	94,0						71,0			78,0	54,0	48,0	
1946		11,0	62,0	52,0					23,0			20,2	24,0	56,0	
1947		55,0	28,0	23,0					30,0			35,0	0,0	70,0	
1948		45,0	56,0	35,0					33,0			21,5	34,0	58,8	
1949		47,0	70,0	69,8					42,0			40,6	81,0	63,0	
1950		48,0	54,5	45,0					29,0			26,5	75,0	95,0	
1951	37,0	46,0	37,8	27,0					20,0			20,5		45,0	
1952			51,0						33,0			58,0		70,0	
1953	40,0	74,0	54,5	53,0					33,0			39,5		80,0	
1954	30,0	51,0	37,0	35,0					19,0					70,0	
1955	25,0	40,5	24,0	28,0					23,0			16,0		33,0	
1956	36,0	45,0	39,0	31,0					19,0			35,0		33,0	
1957	0,0	105,0	114,2	129,0					54,1			47,3		104,0	
1958	67,0	67,0	68,0	85,0		0,0			28,0			53,5		49,0	
1959	24,0	76,0	50,0	34,0		56,0			37,0			55,5	37,0	57,9	
1960	25,0	57,0	33,0	21,0		68,0			14,0			10,0	57,5	52,5	
1961	88,0	71,5	87,5	109,0		70,0			42,0			51,0	35,0	79,0	
1962	24,0	50,0	93,0	35,0		40,0			45,0			42,5	28,0	40,8	
1963	38,0	62,0	38,0	31,0		56,0			48,0			38,0	40,0	51,0	
1964	21,0		26,0	18,0		44,0			24,0			13,0	28,0	29,0	
1965		95,0	75,0	64,0		49,0			80,0			64,0	76,0	75,0	
1966		78,0	58,0	57,5		42,0	43,0		35,2			34,0	45,0	56,0	
1967		47,0	33,2	36,0		35,0	18,0		25,2	21,5		25,0	35,0	18,0	
1968		22,0	33,0	35,0		50,0	31,0	26,0	23,0	25,0		42,0	14,0	38,0	
1969		10,0	12,0	10,0		23,4	10,5	7,0	5,0	5,0		5,0	7,0	0,0	
1970		27,0	19,1	20,0		15,0	14,4	10,0	12,0	15,5		11,0	6,0	34,5	
1971		25,5	35,0	26,0		30,0	27,5	12,0	37,0	23,0			20,0	21,0	
1972		80,0	58,1	63,0		68,0	56,0		48,0	35,0			50,0	96,4	
1973		42,5	35,0	35,0		8,0	32,0		30,0	20,0			23,5	40,0	
1974		42,0	38,0	38,0		48,0	30,0		27,0				23,0	45,0	
1975		48,0	50,5	38,0			38,5		25,0				58,0	38,0	
1976		72,5	54,0	41,0			60,0		57,5				22,0	49,0	
1977		37,0	40,0	65,5	79,0		22,5		25,0				29,3	60,0	
1978		101,5	83,0	55,0	111,0		66,0		25,7			14,0		90,0	
1979		9,0	14,0	10,5	20,0		4,0		3,0			5,5		30,0	
1980		82,0	120,0	100,0	102,0		60,0		50,5			98,0		120,0	
1981		40,5	46,1	40,0	59,0		38,4		15,5			28,5		43,5	
1982		37,0	59,0	37,5	74,5		50,0		34,0			50,0		50,0	
1983		90,0	53,0	76,0	64,0		82,0		64,0			68,0		66,0	
1984		83,5	87,0	85,0	85,5		100,0		119,0			66,0		80,5	6,0

Año	Bocatoma Canal Alimentador	Caren	Cogotí 18	Cogotí Embalse	Combarbalá	El Maitén	El Tome	Estancia Chacay	Hurtado	La Cortadera	La Placilla	La Torre	Las Breas	Las Ramadas	Los Molles Bocatoma
1985		28,5	23,0	22,0	18,0		34,8		33,5			19,0		27,0	7,0
1986		44,5	48,0	32,5	62,0		25,5		30,0			13,0		60,0	2,0
1987		101,0	96,5	89,3	96,2		111,7		75,5			68,0		95,0	8,0
1988		16,5	15,0	12,0	19,0		17,2		5,0			9,0		19,0	18,0
1989		44,0	20,5	24,5	27,8		42,4		40,0		23,8	24,5		59,0	3,8
1990		25,0	12,5	13,0	14,5		18,5		41,0		12,5	12,5		46,0	69,0
1991		54,0	42,0	52,1	68,1		46,5		57,0		59,0	46,0		60,0	60,0
1992		50,0	48,0	66,0	73,0		66,0		40,5		76,5	49,0		64,2	21,0
1993		45,0	98,0	70,0	27,0		19,5		25,0		69,8	30,0		70,5	
1994		38,5	27,0	27,5	30,0		5,5		19,5		32,8	26,0		46,5	
1995		10,0	10,0	16,0	12,0		8,5		4,2		34,0	18,0		22,5	
1996		33,0	41,0	20,0	46,5		40,0		53,0		66,5	37,0		48,2	
1997		89,0	70,0	111,7	135,0		94,0		62,6		153,0	115,0		100,1	
1998		19,5	11,0	7,0	9,5		10,0		12,5		13,5	7,0		25,4	
1999		25,5	19,0	23,9	24,3		21,0		24,8		18,5	15,0		37,2	
2000		66,5	60,0	57,2	72,0		53,5		65,0		92,0	50,0		76,0	
2001		60,0	57,0	51,4	59,0		53,0		83,5		73,0	30,0		70,1	
2002		49,5	71,0	91,0	105,6		109,5		52,0		105,0	58,0		87,0	
2003		63,0	30,0	49,8	40,9		36,0		39,3		84,0	45,0		86,5	
2004		45,0	55,0	52,0	52,5		48,5		36,5		65,0	36,0		43,0	
2005		29,5	25,0	21,6	29,0		31,0		20,0		41,0	13,0		49,0	
2006		35,0	38,0	45,5	49,5		31,0		25,0		50,0	39,5		32,0	
2007		32,0	31,0	18,2	29,0		32,0		22,5		18,0	15,5		46,0	
2008		66,0	43,5	42,5	49,5		48,0		64,0		36,5	34,0		75,5	
2009		46,0	38,0	29,3	34,8		38,0		25,5		42,0	23,0		43,7	
2010		34,5	28,0	37,0	31,0		30,0		34,5		34,0	26,0		51,5	
2011		58,5	77,0	82,5	73,5		83,0		58,0		83,0	69,0		50,1	
2012		15,0	12,0	11,3	18,0		8,1		14,0		50,0	36,0		34,5	
2013		50,0	34,0	37,5	37,5		33,0		29,0		49,0	39,0		48,0	
2014		34,7	35,0	38,3	41,5		49,5		27,3		70,5	42,0		35,6	
2015		60,0	50,2	50,2	45,2		42,0		50,0		92,0	55,0		79,6	
2016		11,5	33,0	32,5	26,5		28,0		17,0		50,0	11,0		50,6	

TABLA Nº 7.3-7: Registro de precipitaciones máxima anuales en 24 horas en las estaciones meteorológicas indicadas

Año	Monte Patria	Ovalle (Escuela Agrícola)	Ovalle DGA	Pabellón	Paloma Embalse	Pedregal	Peña Blanca	Pichasca	Punitaqui	Puntilla San Juan	Ramadilla	Rapel	Recoleta Embalse	Río Cogotí en Fraguita	Río Cogotí entrada Embalse Cogotí
1936															
1937											68,0				
1938											140,0				
1939											107,0				
1940											74,0				
1941											83,0				
1942											55,0				
1943					41,0						7,0		31,5		
1944					56,0						57,9		58,0		
1945					49,0						150,0		57,0		
1946					5,5			20,0			48,0		4,5		
1947					18,0			29,0			34,0		12,8		
1948					24,9			37,0			54,0		21,0		
1949					41,0			35,0			80,0		38,0		
1950					38,5			29,6			80,0		25,5		
1951					19,0			20,0			53,0		20,8		
1952					0,0			83,5			51,0		36,5		
1953					41,0			38,0			103,9		49,3		
1954					30,0			32,0			45,0		28,9		
1955					20,0			21,0			38,8				
1956					40,0			18,5			0,0				
1957					65,4			69,0			91,0		110,0		
1958					67,0			55,0			102,0				
1959					23,0			31,0			58,0		27,0		
1960					19,0			28,8			70,0		8,5		
1961					90,5			52,0	44,0		62,0		51,0		
1962					43,0			18,0	78,5		115,0		27,5		
1963					43,5			33,0	41,0		52,0		33,5		
1964					16,0			25,0	25,5		42,0		13,0		
1965					67,3			68,0	65,5	43,0			61,5		
1966					39,0			24,0	40,5	46,8			30,0		
1967					21,4	33,0		17,0	0,0	20,0			15,0		
1968				14,0	36,8	27,0		27,0	42,0	23,0			29,5		
1969				13,0	10,8	13,0		7,5	14,0	8,5		14,0	5,0		
1970	18,0			46,0	10,6	30,0		10,0	8,0	16,4		15,0	11,0		
1971	35,5		0,0	25,0	25,2	29,0		34,0	27,0	32,5		42,0	20,5		
1972	47,5		55,0	75,0	59,0	100,0		58,0	56,0	53,7		52,0	33,5		
1973			26,4	23,5	34,2	50,0		25,0	30,5	32,4		37,0	25,5		
1974			31,5	29,0	31,0	15,0		21,0	48,0	23,6		29,0	26,5		
1975	65,0		25,0	65,0	31,9	47,5		50,0	41,0	33,0		48,0	35,5		
1976			41,5	47,0	64,8	65,0		30,0	49,0	51,5		51,0	57,8		
1977	21,0		39,0	44,0	20,3	46,0		16,0	81,0	22,0		28,0	16,0		
1978	30,0		35,0	80,0	45,3	51,5		33,5	55,5	33,5		38,0	28,0		

Año	Monte Patria	Ovalle (Escuela Agrícola)	Ovalle DGA	Pabellón	Paloma Embalse	Pedregal	Peña Blanca	Pichasca	Punitaqui	Puntilla San Juan	Ramadilla	Rapel	Recoleta Embalse	Río Cogotí en Fraguita	Río Cogotí entrada Embalse Cogotí
1979	3,5		4,0	9,0	2,5	23,0		7,5	14,2			10,5	1,5		
1980	56,0	59,8	62,0	73,0	69,4	113,0		51,2	64,8			54,0	49,5		
1981	31,0	32,0	28,5	26,0	50,7	33,5		34,4	22,0			48,0	36,5		
1982	42,5	31,0	28,0	55,0	42,3	53,0		35,0	45,0			43,0	24,5		
1983	78,0	1,0	73,5	32,0	84,0	89,5		76,5	78,5			101,0	81,0		
1984	82,0		48,0	65,0	97,0	145,5		73,0	92,5			70,5	69,5		
1985	7,0		16,4	20,0	18,0	33,0		25,0	18,5			28,0	14,0		
1986	25,5		16,0	30,0	21,5	53,0		40,0	26,0			37,0	16,5		
1987	86,4		89,5	41,0	95,5	146,0		97,5	122,0			100,0	68,0		
1988	9,0		7,5	10,0	10,8	16,6		14,0	11,0			14,5	12,0		
1989	0,0		23,0	45,0	35,6	0,0	35,5	35,0	29,0			21,0	6,5		
1990			11,3	80,5	12,5		16,4	16,0	16,3			20,0	16,0		
1991			33,0	103,0	36,5		55,5	49,0	43,0			71,0	42,0		
1992			57,0	39,0	64,0		49,0	30,0	68,0			51,0	50,0		
1993			27,0	36,0	46,5		31,0	23,0	56,0			51,4	21,0		
1994			27,5	15,0	27,0		47,0	31,0	28,5			42,0	26,0		
1995			9,8	9,5	5,5		25,0	2,4	21,4			12,5	20,0		
1996			23,0	52,0	31,5		50,0	24,0	48,0			32,0	23,0		
1997			66,0	52,0	77,0		157,0	91,0	162,0			90,0	84,0		
1998			4,6	14,0	5,8		8,5	24,0	5,2			23,0	9,0		
1999			16,2	37,0	14,6		22,0	23,0	17,0			21,0	14,0		
2000			39,5	42,0	48,0		57,0	52,0	50,0			63,0	43,0		
2001			38,0	57,5	67,0		54,0	83,0	68,0			54,0	53,0		
2002			44,1	74,0	72,3		78,0	73,5	70,0			52,0	53,5		
2003			29,8	60,0	49,0		55,0	31,0	84,0			45,0	37,0		
2004			30,2	29,0	37,2		41,0	27,0	44,0			43,0	35,5		
2005			18,8	35,0	29,5		24,0	18,0	25,0			24,0	26,0		
2006			23,0	25,0	20,8		33,0	27,0	41,0			29,3	18,0		
2007			20,1	27,0	25,2		16,1	18,0	14,0			28,0	19,0		
2008			24,6	104,0	45,5		45,5	46,1	32,0			56,0	50,0		
2009			27,3	36,0	37,0		51,0	31,0	38,0			37,0	31,0		
2010			30,1	35,0	35,0		25,0	31,0	44,1			33,0	27,0		
2011			57,3	26,0	62,8		87,5	53,0	66,5			55,0	48,0		
2012			15,5	27,0	8,0		28,5	0,0	24,5			14,0	7,0		
2013			32,2	39,0	30,5		35,0	0,0	53,0			37,0	35,0		
2014			43,3	41,0	43,5		42,0	31,0	45,0			29,0	32,0	0,1	
2015			35,0	56,0	44,5		67,0	30,0	54,0			42,5	46,0	49,2	46,0
2016			30,7	25,5	25,7		30,0	0,0	35,0			21,0	23,0	37,1	5,5

TABLA Nº 7.3-8: Registro de precipitaciones máxima anuales en 24 horas en las estaciones meteorológicas indicadas

Año	Río Grande en las Ramadas	Salala	Samo Alto	Sotaquí	Tascadero	Tulahuen
1936						
1937						
1938						
1939						
1940						
1941						
1942						
1943						
1944						
1945						
1946						
1947						
1948						
1949						84,0
1950						78,0
1951						64,0
1952						74,0
1953						85,0
1954				24,0		51,0
1955				21,0		24,0
1956				35,0		33,0
1957				34,0		111,0
1958				73,0		61,0
1959				43,0		66,0
1960				43,0		77,0
1961				81,0	73,0	77,0
1962				27,5	60,0	72,0
1963				45,0	73,0	53,0
1964				17,0	44,0	33,0
1965				67,0	77,0	115,0
1966				35,0	60,0	87,5
1967				23,8	33,0	26,0
1968		0,0	32,0	33,0	41,0	40,0
1969		7,5	19,3	5,0	13,0	15,0
1970		9,0	23,5	14,0	36,1	32,0
1971		48,0	42,0	23,0	33,0	33,0
1972		39,5	60,0	52,5	86,0	52,0
1973		24,5	23,0	33,0	11,0	45,2
1974		39,5	12,0	42,5	52,0	39,0
1975		19,5	24,0	31,0	69,0	82,0
1976		61,5	26,5	42,1	95,0	49,5

Año	Río Grande en las Ramadas	Salala	Samo Alto	Sotaquí	Tascadero	Tulahuen
1977		20,0	27,0	0,0	44,5	70,0
1978			26,5	39,5	117,0	115,0
1979				12,0		13,5
1980			36,0	63,0	93,0	118,3
1981			33,0	32,3	40,0	33,0
1982			22,0	37,5	48,0	73,0
1983			55,0	78,5	34,0	63,0
1984			56,5	63,0	100,0	150,0
1985			20,0	15,5	24,0	35,0
1986			33,0	19,2	78,0	45,0
1987			96,0	73,0	108,0	107,0
1988			12,0	7,5	19,0	17,5
1989			0,0	33,5	61,0	57,0
1990				13,0	33,0	30,0
1991				38,0	79,0	57,0
1992				65,0	94,0	91,0
1993				30,0	76,0	82,0
1994				24,0	46,5	32,0
1995				9,0	20,0	11,0
1996				32,0	58,0	47,0
1997				101,5	120,0	115,0
1998				8,5	42,0	22,0
1999				17,5	40,0	23,0
2000				42,5	91,0	85,0
2001				59,0	105,0	98,5
2002				53,5	99,0	100,0
2003				48,0	59,0	41,0
2004				34,0	44,0	41,0
2005				29,0	32,0	27,0
2006				21,5	36,0	33,5
2007				19,5	51,0	38,5
2008				42,5	76,0	80,0
2009				38,0	50,0	32,0
2010				26,5	43,0	28,9
2011	53,8			62,0	91,0	74,0
2012	41,8			8,0	33,0	16,3
2013	44,4			30,0	49,0	42,0
2014	34,2			43,0	26,0	24,8
2015	77,2			43,5	80,0	62,0
2016	63,0			33,5	84,0	26,0

ANEXO E CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

E.1 FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

A continuación, se presenta el detalle de las publicaciones científicas y libros (TABLA Nº 7.3-9), publicaciones gubernamentales (TABLA Nº 7.3-10), páginas web (TABLA Nº 7.3-11) y artículos periodísticos impresos (TABLA Nº 7.3-13) consultados para la construcción del catastro de peligros geológicos:

TABLA Nº 7.3-9: Publicaciones científicas y libros consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos para la provincia del Limarí.

Año de publicación	Autor	Título
1938	Enrique Taulis M.	Terremotos y grandes temblores habidos en Chile
1962	H. Berninghausen	Tsunamis reportes from the west coast of south America 1562-1960
1984	Elías Almeyda Arroyo	Pluviometría de las zonas del desierto y estepas cálidas de Chile
1985	Guillermo Espinosa, Ernst R. Hajek y Eduardo R. Fuentes.	Distribución geográfica de los deslizamientos de tierra asociados a los desastres en Chile
1986	Ana María Conte Nadeau	Vulnerabilidad a los eventos naturales catastróficos de los Valles Elqui, Limarí y Choapa, IV Región.
1991	Diana Comte, Mario Pardo	Reappraisal of Great Historical Earthquakes in the Northern Chile and Southern Peru Seismic Gaps , Natural Hazards 4: 23-44, 1991.
1993	Rosa Urrutia de Hazbú y Carlos Lanza Lazcano	Catástrofes en Chile 1541-1992
1994	Luc Ortlieb	Las mayores precipitaciones históricas en Chile central y la cronología de eventos ENOS en los siglos XVI-XIX
1995	Luc Ortlieb	Eventos del niño y episodios lluviosos en el desierto de Atacama: El registro de los últimos siglos.
1998	Raúl Madariaga	Sismicidad de Chile
1984, 1997, 2002	CONIC-BF Ingenieros civiles consultores Ltda.	Antecedentes periodísticos de inundación e infraestructura asociada. Anexo 4.1 (Diario El Día, La Provincia y El Ovallino). Código documento: 0948-ANE-HD-002-V0
2005	César Alejandro Pérez Valdivia	Cambio climático: vulnerabilidad, adaptación y rol institucional: estudio de caso en el Valle del Elqui. Memoria para oprtar al título de Ingeniero civil industrial. Univerisdad de la Serena 2005.
2015	Luc Ortlieb, Gabriel Vargas	Hacia una historia de eventos lluviosos extremos en el sur del Desierto de Atacama, Norte Chico, a partir de fuentes documentales. XIV Congreso chileno de geología.
2017	Marisol Palma Behnke	Recorrido fragmentario por las memorias de los terremotos en Chile. Universidad Alberto Hurtado, Iberoamericana, XIV, 55 (2014), 163-177

Fuente: Elaboración propia

TABLA Nº 7.3-10: Publicaciones gubernamentales consultadas para la elaboración del catastro de peligros geológicos para la provincia del Limarí.

Título	Organización gubernamental	Año
Informes consolidados de sistemas frontales. Departamento de protección civil.	ONEMI	1987, 2002, 2003
Consolidado el sismo del 14 de Octubre 1997	ONEMI	1997
Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según calidad y objetivo. Cuenca del río Limarí.	DGA	2004
Registro de los principales tsunamis que han afectado las costas de Chile	SHOA	2015
Monitoreo por evento meteorológico	ONEMI	2015
Efectos geológicos del evento meteorológico del 14 y 15 de Marzo del 2015: observaciones de remociones en masa en la comuna de Monte Patria, Río Hurtado y sector de Viñita.	SERNAGEOMIN	2015
Registro de principales desastres en Chile desde 1980	SERNAGEOMIN	2016
Descripción y caracterización de la comuna de Ovalle y sus comunidades agrícolas. Región de Coquimbo.	Gobierno Regional de Coquimbo	-

Fuente: Elaboración propia

TABLA Nº 7.3-11: Páginas web de organismos consultadas para la elaboración del catastro de peligros geológicos para la provincia del Limarí.

Fuente	Sitio web
Datos sismológicos de Chile, del Servicio Sismológico Nacional CSN	http://www.sismología.cl[5]
Registro de los principales tsunamis que han afectado la costa de Chile, SHOA.	http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/data/tsunamis_historico.pdf[2]
Paicific Tsunami Warning center, PTWC.	http://ptwc.weather.gov/
Sistema de inventario de efectos de desastres, Chile.	http://www.desinventar.org/es/database
Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile	http://www.memoriachilena.cl
USGS, Shakemap Atlas	http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/
National centers for environmental information NOAA	https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml
Ministerio del interior y seguridad pública ONEMI	http://www.onemi.cl
Centro regional de sismología para América del sur. CERESIS	http://www.ceresis.cl
Información oficial hidrometeorológica y de calidad de aguas en línea	http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes
Catálogo NEIC, National Earthquake Information Center	https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/

Fuente: Elaboración propia

[5] Consultado el día 9 Enero 2017

TABLA Nº 7.3-12: Artículos periodísticos digitales consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos para la provincia del Limarí.

Fecha publicación*	Fuente	Titular*	Sitio web
06-06-2011	Diario La Tercera	Precipitaciones en La Serena llegan a los 96 mm y alcanzan máximo anual de lluvias	http://www.latercera.com/noticia/precipitaciones-en-la-serena-llegan-a-los-96-mm-y-alcanzan-maximo-anual-de-lluvias/
06-06-2011	Diario La Voz del Norte	Anegamientos y cortes de sistemas básicos deja lluvias en la Región de Coquimbo.	http://www.lavozdelnorte.cl/2011/06/anegamientos-y-cortes-de-sistemas-basicos-deja-lluvias-en-la-region-de-coquimbo/
21-06-2011	Diario La Cuarta	Lluvias provocaron alud en Ovalle	http://www.lacuarta.com/noticia/lluvias-provocaron-alud-en-ovalle/
29-03-2014	Diario El Día	70 años, 70 Historias: Terremoto sacude zona central y daños se extienden a Salamanca.	http://www.diarioeldia.cl/pais/70-anos-70-historias-terremoto-sacude-zona-central-danos-se-extienden-salamanca
25-03-2015	Diario El Ovallino	Tormenta eléctrica es la tónica de jornada de precipitaciones	http://www.elovallino.cl/provincia/tormenta-electrica-es-tonica-jornada-precipitaciones
26-03-2015	Ovalle Hoy	Lluvia en Limarí: tiempo de sacar lecciones.	http://ovallehoy.cl/lluvia-en-el-limari-tiempo-de-sacar-lecciones/
07-08-2015	Diario El Ovallino	Decretan albergues en la Provincia del Limarí por precipitaciones.	http://www.elovallino.cl/provincia/decretan-albergues-en-provincia-limari-por-precipitaciones
08-08-2015	Ovalle Hoy	Las lluvias y el viento provocan diversos daños en la provincia de Limarí	http://ovallehoy.cl/las-lluvias-y-el-viento-provocan-diversos-danos-en-la-provincia-de-limari/
09-08-2015	El Ovallino	Temporal en la Provincia de Limarí deja a 28 personas albergadas.	http://www.elovallino.cl/provincia/temporal-en-provincia-limari-deja-28-personas-albergadas
09-08-2015	Ovalle Hoy	Entregan segundo balance de la emergencia y cancelan alerta por vientos.	http://ovallehoy.cl/entregan-segundo-balance-de-la-emergencia-y-cancelan-alerta-por-vientos/
17-09-2015	Diario El Mercurio	Los peores terremotos en Chile desde 1900: Cinco se concentran después de 2000	http://www.emol.com/noticias/Nacional/2015/09/17/750353/Sismos-en-los-ultimos-100-anos.html
18-09-2015	OvalleHoy.cl	79 Casa destruidas en Monte Patria	http://ovallehoy.cl/79-casas-destruidas-en-monte-patria/
11-05-2017	Diario El Ovallino	Balance de emergencias ocurridas durante las precipitaciones en Limarí	http://www.elovallino.cl/provincia/balance-intensas-precipitaciones-en-toda-provincia
12-05-2017	Chilevisión.cl	Cuarta Región en emergencia producto de precipitaciones	http://www.chilevision.cl/matinal/noticias/cuarta-region-en-emergencia-producto-de-precipitaciones/2017-05-12/092701.html?hootPostID=7d6f1b2c1b4be6c1585f2db65492b7ec
12-05-2017	T13.cl	Dos personas mueren al intentar cruzar Río Rapel en la comuna de Monte Patria	http://www.t13.cl/noticia/nacional/encuentran-dos-cuerpos-rio-rapel-temporal-region-coquimbo
12-05-2017	24horas.cl	Registro muestra momento exacto de colapso de un muro del embalse Recoleta en Ovalle	http://www.24horas.cl/nacional/registro-muestra-momento-exacto-de-colapso-de-un-muro-del-embalse-recoleta-en-ovalle-2382215
12-05-2017	Biobiochile.cl	Corte de puentes en Río Hurtado: 106 familias aisladas y 3 mil personas afectadas	http://rbb.cl/grqh
17-05-2017	Cooperativa.cl	El norte se recupera tras las inundaciones	https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/tiempo/el-norte-se-recupera-tras-las-inundaciones/2017-05-14/101547.html
18-05-2017	Laserenaonline.cl	Intendente compromete puente aéreo para enviar enseres a localidades aisladas de Río Hurtado	http://www.laserenaonline.cl/2017/05/18/intendente-compromete-puente-aereo-para-enviar-enseres-a-localidades-aisladas-de-rio-hurtado/
18-05-2017	Diario El Combarbalino	Balance del temporal en Combarbalá	http://www.diarioelcombarbalito.cl/blog/2017/05/18/balance-del-temporal-en-combarbala/

Fuente: Elaboración propia

TABLA Nº 7.3-13: Artículos periodísticos impresos consultados para la elaboración del catastro de peligros geológicos para la provincia del Limarí.

Año	Fuente	Titular
03-03-1965	Diario El Día	Terremoto sacudió a la región central
10-08-1965	Diario El Día	Temporal del sur alcanzó toda nuestra provincia
11-08-1965	Diario El Día	90% del territorio sufrió destrozos por el temporal
04-07-1984	Diario El Día	95 damnificados en provincia de Limarí
07-1987	Diario El Día	Zonas rurales muy afectadas por lluvias
07-1987	Diario El Día	Pérdidas millonarias deja temporal en Prov. Limarí
08-07-1987	Diario El Día	5 muertos, 9 desaparecidos y 19 heridos deja temporal
2011	Diario El Día	Aluviones dejan como saldo dos lesionados y 20 evacuados en La Chimba
26-03-2015	Diario El Ovallino	Bajada de quebradas y emergencias menores acompañan lluvias
08-08-2015	Diario El Ovallino	Balance de emergencias ocurridas durante las precipitaciones en Limarí

Fuente: Elaboración propia

E.2 INUNDACIONES TERRESTRES Y REMOCIONES EN MASA

Entre 1900 y 1981, se produjeron 522 eventos de remoción en masa en la Región de Coquimbo (7,7% del total de remociones en masa en Chile dentro de ese período). Estos están distribuidos de la siguiente manera: 373 en la cuenca de Elqui, 80 en la cuenca del Limarí y 69 en la cuenca del Choapa.[6] En esta región se dan las tres condiciones para que se produzcan corrientes de barro: material detrítico, chubascos ocasionales torrenciales y topografía con pendiente igual o mayor a 25%. Los factores gatillantes principales corresponden a lluvia (42,5%), a sismos (15,1%) y a actividades mineras (30.1%), mientras que el resto (12,3%) se les atribuye a otros factores como nevazones, deshielo, aguas subterráneas y otras actividades del hombre.[7]

Por lo mencionado anteriormente, se construyó un catastro (TABLA Nº 7.3-15) donde se presentan los temporales ocurridos en las comunas de Ovalle, Combarbalá, Punitaqui, Río Hurtado y Monte Patria durante el período desde 1827 a 2015, en base a información bibliográfica indicadas en la TABLA Nº 7.3-9, TABLA Nº 7.3-10 y TABLA Nº 7.3-11, a información periodística recopilada y a información hidrometeorológica oficial en línea de la Dirección General de Aguas (DGA). Se consideraron los eventos de precipitación anómala que generaron eventos de inundación por desborde de cauce o de remoción en masa, causando efectos dañinos tanto materiales como humanos.

Adicionalmente, en la TABLA Nº 7.3-16 se presenta, por comuna, una breve descripción de los eventos más importantes que han afectado a la Provincia de Limarí en los años 1984, 1987, 1997, 2002, 2015 y 2017 y, desde la FIGURA Nº E-1 a la FIGURA Nº E-9, se presenta la ubicación espacial de estos eventos, de manera referencial.

El catastro fue ordenado de acuerdo a los siguientes datos:

[6] Vulnerabilidad a los eventos naturales catastróficos de los Valles Elqui, Limarí y Choapa, IV Región. Ana María Conte Nadeau. 1986.

[7] Distribución geográfica de los deslizamientos de tierras asociados a desastres en Chile. Guillermo Espinosa, Ernst R. Hajek y Eduardo R. Fuentes. 1985.

- **Año:** año en que ocurrió el evento catastrado.
- **Mes:** mes del evento catastrado.
- **I:** corresponde a los eventos reconocidos como Inundación. Se denota con una "X" cuando el evento catastrado corresponde a este peligro. Se agrega un signo de interrogación ("?") cuando no existe certeza de que se trata de este peligro. Además, se hacen las siguientes distinciones:
  - X*: Inundación por desborde de cauce y por marejadas.
  - X**: Inundaciones terrestres y por marejadas
- **RM:** corresponde a los eventos reconocidos como Remoción en Masa. Se denota con una "X" cuando el evento catastrado corresponde a este peligro. En algunos casos, se especifica el tipo de remoción en masa involucrado. Se agrega un signo de interrogación ("?") cuando no existe certeza de que se trata de este peligro.
- **Intensidad:** interpretación de intensidad realizada para cada peligro. Para estimar una intensidad de daños, se utiliza una escala basada en la descripción obtenida a partir de las fuentes, dándole a cada evento un valor cualitativo local (TABLA Nº 7.3-14). Para los casos en que la descripción no es suficiente para darle al evento un valor de daños, se realiza una estimación si es posible, agregando un signo de interrogación ("?"). Si no existe descripción de los daños, se indica como s/i (sin interpretación).
- **Descripción del evento**: explicación sobre el evento ocurrido enfocada a los daños ocasionados.
- **Zonas afectadas:** sectores de la Provincia de Limarí afectados por el evento catastrado (a modo general).
- **Referencia revisada:** fuentes de la bibliografía que mencionan el evento.

TABLA Nº 7.3-14: Intensidad de daños de remociones en masa e inundación por desborde de cauce

Escala		Descripción
SD	Sin Daños	Cauces de agua corren por los lugares habituales aumentando su caudal. Quebradas secas generan cauces de agua que corren de forma controlada por canalizaciones o los bordes de las calles. Piscinas de contención acumulan agua sin llenarse. Se generan anegamientos cerca de los terraplenes de caminos, ferrovías y viviendas. Para remociones en masa, se puede observar avance de rocas o sedimentos de unos pocos centímetros por las laderas. Gravilla o arena puede caer en caminos o casas cercanas a los cerros de alta pendiente. No se observan daños a estructuras ni a personas.
B	Bajo	Cauces de agua aumentan su caudal hasta desbordarse. Corre agua por quebradas secas, inundando calles y casas. Anegamientos pueden sobrepasar caminos y ferrovías generando acumulaciones de barro. Para remociones en masa, se observa un avance de rocas o sedimentos en laderas, alcanzando los metros de distancia, pero sin intervenir caminos ni construcciones de asentamientos humanos. Sólo se registran daños leves en construcciones ligeras.
M	Medio	Cauces de agua y quebradas secas transportan barro y materiales de menor tamaño. Se generan acumulaciones de barro en calles y construcciones ligeras, daños leves en construcciones sólidas. Se socavan levemente cimientos y terraplenes de caminos y ferrovías, generando cortes de caminos. Para remociones en masa, se registran avances de la ladera de los cerros, en algunos casos tapando parcialmente caminos o entrando a los patios de las casas cercanas a las laderas de alta pendiente. Puede registrarse avance o caída de bloques medianos.
F	Fuerte	Cauces de agua y quebradas transportan barro, piedras y materiales de mayor tamaño. Laderas avanzan tapando caminos o socavándolos, pueden caer rocas de gran tamaño, dañando estructuras y edificaciones. Se registran cortes de caminos y caída de postes, es riesgoso permanecer cerca de laderas de alta pendiente. Construcciones ligeras son removidas y arrastradas por los cauces, al igual que automóviles pequeños, personas o durmientes de la ferrovía. Las construcciones sólidas son socavadas y tienen daños importantes.
MF	Muy Fuerte	Cauces de agua y quebradas transportan grandes rocas o materiales de gran tamaño. Árboles, estructuras sólidas u objetos de gran tamaño son removidos de sus cimientos y arrastrados por el cauce. Personas desaparecidas. Ferrovías son deformadas o cortadas.

Fuente: Elaboración propia

TABLA Nº 7.3-15 Registro de inundaciones y remociones en masa ocurridas en la Provincia del Limarí y sus alrededores desde 1827 a 2017.

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
1827	May-Jun	X	X (flujos de barro)	M	El lluvioso invierno trajo abundantes lluvias, vientos y nieves desde Copiapó hasta más al sur de Curicó. El agua descendió por las quebradas arrastrando barro y escombros perjudicando los terrenos agrícolas tanto en Copiapó cómo en La Serena.	Región de Coquimbo	Urrutia y Lanza, 1993
1833	Ago	X		M	Aguaceros ocasionaron desbordes en los ríos Turbio y Elqui y en esteros. En Vicuña, un brazo del Río Elqui inundó la calle Chacabuco. En La Serena, las lluvias duraron cinco días, produciendo daños en la ciudad y plantaciones vecinas. El frente de mal tiempo llegó hasta Copiapó, ocasionando la crecida del río. No hay descripción para la zona del Limarí.	Región de Coquimbo	Urrutia y Lanza, 1993; Ortlieb 1995,
1851	Jul- Ago	X (?)		(?)	Uno de los inviernos más lluviosos de Chile, registrándose (al menos) lluvias abundantes en Coquimbo y Copiapó.	Región de Coquimbo	Ortlieb 1995, Mackena 1877
1856	Mar	X		F	Temporales en el Norte Chico y Valle central, con más de 80 horas de lluvia. Principales crecidas en los ríos Mapocho, Choapa, Limarí y Huasco. En La Serena el río inundó principalmente el Barrio Santa Inés. Inundaciones en Coquimbo y Ovalle. En Ovalle hubo grandes pérdidas agrícolas.	Ovalle	Urrutia y Lanza, 1993; Ortlieb 1994; Mackena 1877
1874	Invierno	X		B	Invierno sumamente lluvioso. A la altura del río Limarí, el ferrocarril y la línea férrea fue destruida en parte por las crecidas de las quebradas. Urrutia y Lanza no señalan inundaciones en 1874.	Limarí	Ortlieb et al 2015; Ortlieb 1994; Mackena 1877
1877	Jul	X		MF	A mediados del mes de Julio fuertes temporales afectaron desde el desierto de Atacama hasta Chiloé. Las inundaciones ocurrieron entre Chañaral y Coquimbo. En Coquimbo, Vallenar, Illapel y Elqui también llovió copiosamente, el Río Limarí quedó invadeable. También hubo una fuerte nevazón en las lomas subandinas al este de Coquimbo.	Ovalle	Urrutia y Lanza, 1993; Ortlieb 1994, V. Mackenna 1877
1880	May-Ago	X		F	Los ríos Huasco, Coquimbo, Limarí y Choapa y sus afluentes tuvieron crecidas devastadoras causando perjuicios principalmente en los canales de irrigación. El río Elqui y sus afluentes provocaron grandes destrozos, destruyendo los canales de regadío y causando en los sectores montañosos numerosos aluviones, conocidos localmente como "huracanes".	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Ortlieb 1994, Taulis 1984

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
1888	Ago- Dic	X		MF	En agosto, un temporal azotó entre Copiapó y Concepción (con desbordes de los ríos Copiapó, Huasco, Coquimbo, Limarí y Choapa, Aconcagua, Mapocho, Claro, Cachapoal, Bío Bío, Collún, etc.). Entre las ciudades más afectadas por las inundaciones destacan las de Copiapó, Coquimbo, Valparaíso, Santiago y Concepción. Los terrenos cercanos al Río Elqui (Coquimbo) y sus afluentes sufrieron las consecuencias de una inundación devastadora. La mayoría de las quebradas también se desbordaron. En el mes de diciembre, finalmente, el calor provocó rápidos deshielos que originaron una nueva ola de inundaciones y catástrofes en Vallenar, La Serena, Copiapó, Los Andes y Santiago.	Limarí	Ortlieb 1994; V.Mackena; Urrutia y Lanza 1993; Almeyda 1984.
1891	Jul	X		M	Año muy lluvioso con dos fuertes nevazones, a principios y a fines de julio en la semi-cordillera, donde ocurrieron una serie de inundaciones de los ríos Huasco, Coquimbo, Limarí y Choapa, convirtiendo en pedregales terrenos agrícolas..	Limarí	Ortlieb 1994, V.Mackena; Taulis 1984. Urrutia y Lanza 1993
1899	May- Ago	X	X	M	Los daños fueron desde Iquique hasta Osorno. Los primeros estragos se hicieron sentir en Concepción, y también Ovalle, San Felipe, Quillota y La Ligua. En Junio, otro frente de mal tiempo afectó desde Vallenar a Osorno. Más tarde en agosto, se desbordaron los ríos Bío Bío, Andalien, Maule, Longaví, y también el río Limarí. Las lluvias ocasionaron daños en Ovalle dejando murallas averiadas, donde los temporales provocaron inundaciones y aluviones en los fundos e hijuelas de las riberas del río Limarí.	Ovalle	Urrutia y Lanza, 1993; Ortlieb 1995,
1902	Jul-Ago	X		M	Inundaciones generados por un fuerte temporal que azotó la provincia de Coquimbo, desbordando el Río Coquimbo, actual Río Elqui, y produciendo serias inundaciones en La Serena. No hay registros específicos de desborde o anegamientos para Limarí	Región de Coquimbo	Urrutia y Lanza, 1993
1905	May	X		MF	Temporal desde el Norte Chico a Santiago Presentándose desbordes, inundaciones y aluviones. En específico para la Provincia de Limarí no hay registros.	Limarí (?)	Urrutia y Lanza, 1993; Ortlieb 1995
1914	Jun	X (?)		(?)	Lluvias muy abundantes en la región de Coquimbo	Región de Coquimbo	Ortlieb 1995, Almeyda 1938; Ortlieb et al 2015
1915	May	X	X	MF	Afectó desde la Serena a Temuco. En el norte, la línea de ferrocarril se interrumpió por el socavón del terreno, en un punto, y por derrumbes a la altura de Combarbalá. Desde La Serena hacia el nortem se interrumpieron las comunicaciones telegráficas.	Combarbalá, R. Coquimbo	Urrutia y Lanza, 1993
1926	Jun(?)	X (?)			Precipitaciones excepcionales en el Norte Chico, en particular en Ovalle y Combarbalá.	Ovalle, Combarbalá	Ortlieb 1995; Almeyda 1984

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
1930	Ago	X (?)		M (?)	Temporal y vientos en el Norte, ocasionando daños en Calama, Antofagasta, Taltal y Chañaral. En Calama se volaron los techos y en Antofagasta se anegaron todas las casas y muchos edificios públicos, se cortó el agua potable y electricidad. Aluvión en Antofagasta (27 mm) el 19 de Agosto. El frente de mal tiempo llegó hasta Santiago.	Ovalle	Ortlieb 1995, Almeyda 1984; Ortlieb et al 2015; Urrutia y Lanza, 1993
1934	May-Jun	X	X (?)	MF	Frente de mal tiempo desde Copiapó hasta Magallanes. El Río Elqui se desbordó y en los alrededores de Vicuña, La Unión, Rivadavia y otros sectores también hubo desbordes de ríos. Grandes pérdidas agrícolas en el Valle del Elqui. En Ovalle se perdieron casas, campamentos y herramientas en los sectores mineros, también hubo interrupción de caminos y vías férreas.	Región de Coquimbo, Ovalle	Urrutia y Lanza, 1993; Almeyda 1984.
1940	Jun - Jul(?)	X (?)		B (?)	Precipitaciones abundantes en el Norte Chico; Chañaral, Copiapó y Combarbalá.	Combarbalá	Ortlieb 1995; Almeyda 1948
1941	Ago	X	X (?)	MF	Un frente de mal tiempo ocasionó desbordes de ríos desde Coquimbo hasta Concepción. El ferrocarril a Andacollo se interrumpió por derrumbes en Palos Quemados, el ferrocarril longitudinal al norte quedó interrumpido en Las Chilcas y más al norte también, el sector ferroviario del norte se vio afectado por un derrumbe en la Cuesta Las Cardas en la ruta 43 entre Ovalle y La Serena. En Ovalle se desbordó el canal derivado del tranque Cogotí. El campamento obrero La Paloma, cerca de Ovalle, se inundó completamente. También el río Limarí arrasó con el Puente Mostazal. La Cuesta del Espino en el camino de Illapel a Combarbalá se vio muy perjudicada por constantes derrumbes en la vía férrea. Las vías telefónicas se interrumpieron y el saldo final dentro del Limarí fue de tres muertos, 4 desaparecidos y 40 casas destruídas.	Limarí	Salgado 1976; Urrutia y Lanza, 1993; Almeyda 1984; Conte 1968; Diario La Provincia
1945	Feb	X		F	Los efectos ocurrieron desde Ovalle hasta Puerto Montt los días 3 y 4 de Febrero, causando daños principalmente en la agricultura. Las líneas de tren entre Ovalle, Illapel, Coquimbo, Copiapó y La Serena fueron cortadas.	Limarí	Salgado 1976; Urrutia y Lanza, 1993, Almeyda 1984
1948	May- Jul	X (?)		MF	Huracán y temporal en todo el territorio chileno, vientos fuertes desde norte a sur, Arica quedó aislada del resto del país. En Iquique el temporal arrasó con igual violencia que en la zona de Coquimbo, La Serena, Ovalle y todo el Norte Chico. A mediados de Junio del mismo año llovió durante diez días en el país. En la cordillera cayeron lluvias y nieve en abundancia.	Región de Coquimbo	Urrutia y Lanza, 1993

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
1957	May	X	X (desliz.)	MF	Temporal que abarcó desde Antofagasta hasta Chiloé. Muchas ciudades y pueblos se inundaron y hubo numerosos derrumbes en ellas que dejaron a familias sin sus viviendas. En Coquimbo hubo quince mil damnificados y la región quedó aislada del resto del país al interrumpirse los caminos, vías férreas, comunicaciones telefónicas y telegráficas, a lo que se sumó la interrupción del servicio de agua potable y alcantarillado, creando serios problemas de abastecimiento en la ciudad. Ovalle sufrió daños cuantiosos por causa de la destrucción de caminos vecinales, puentes carreteros e interrupción de las comunicaciones, la mayor parte de los habitantes se anegaron. En Ovalle, Illapel, Combarbalá, Vicuña, Paihuano y Los Vilos hubo destrucción de caminos y puentes. La carretera Panamericana Norte quedó cortada en extensos tramos, causando paralización de las actividades por toda la duración del temporal. En la cuenca del río Limarí, en mayo se produjo un aumento de 868 m3/s entre los días 19 y 21 de ese mes, para declinar a 1 m3/s. el día 25. El promedio mensual fue de 46,8 m3/s. La inundación respondió a concentración de la precipitación en mayo, representando el 74,8% del monto anual de precipitaciones, en especial entre los días 19 y 23 del mes- La evacuación de los damnificados del norte se realizó por aire y por mar. El Norte Chico fue declarado Zona de Emergencia.	Ovalle, Combarbalá	Urrutia y Lanza, 1993; DGA; Conte 1986; Diario La Provincia.
1965	Ago	X*		(?)	El 7 de Agosto se siente en la cuarta región un temporal que se desplaza desde el sur, generando inundaciones en principio en sectores marginales junto con anegamientos de la carretera Panamericana y fuertes marejadas en toda la cuarta región, haciendo salir el mar varios metros, en especial en la Playa del Faro y Peñuelas. Las ciudades más afectadas fueron Ovalle y La Serena. En Ovalle la lluvia se hizo presente a las 4 de la tarde originando inundaciones en los caminos y anegamientos (Ovalle-Samo Alto, Ovalle-Quebrada seca). La vía ferroviaria quedó interrumpida por derrumbes tanto hacia el sur cómo al norte del país. La provincia quedó aislada ya que la carretera Panamericana quedó inhabilitada por 15 días. Las aguas del Río Limarí arrasaron con la población marginal en Ovalle dejando 416 personas evacuadas. En Combarbalá llueve 116 mm en dos días, bajaron ríos y quebradas y dejaron caminos intransitables. El puente La Cantera quedó destruido dejando a Cogotí aislado.	Ovalle, Combarbalá, Cogotí.	Ortlieb et al 2015; Diario El día

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
1972	Jun	X	X (?)	F	Temporal desde el Norte Chico a Puerto Montt. En el Norte Chico, en Agosto, fuertes lluvias en La Serena, Coquimbo y Ovalle; el frente de mal tiempo fue acompañado de fuertes nevazones en la Cordillera, quedando doce mineros aislados por una semana en el interior de Ovalle. Hubo cortes en la carretera Panamericana y el camino de trenes entre Ovalle y Combarbalá quedó cortado. Las comunicaciones telefónicas quedaron interrumpidas entre Ovalle, Tongoy y Sotaqui.	Ovalle, Combarbalá, Sotaqui	Ortlieb 1995; Urrutia y Lanza, 1993; Salgado 1976;
1976	May	X**		M	Un fuerte temporal de viento, nieve y lluvia, acompañado de tormenta eléctrica obligó a cerrar el puerto de Coquimbo.	Región de Coquimbo	Urrutia y Lanza, 1993
1978	14-jul		X (caída de rocas y flujos de barro)	B	Derrumbe de tierra piedras y lodo sobre sectores de la carretera panamericana debido a lluvias. No hubo pérdidas humanas o materiales	Ovalle	Catálogo Desinventar, consultado en febrero de 2017
1980	27-mar		X (desliz.)	M (?)	Deslizamiento en el pique de la mina de cobre La Laja, provocando la muerte de un minero.	Punitaqui	Catálogo Desinventar, consultado en febrero de 2017
1980	Jun	X		F	El 23 de junio un frente de mal tiempo azotó desde Ovalle hasta la VI región, hubo destrozos en los caminos, en las viviendas y en los terrenos agrícolas de Ovalle, Combarbalá, Vicuña, Los Vilos, Valparaíso y Santiago.	Ovalle, Combarbalá	Urrutia y Lanza, 1993
1981	May	X (?)	X (desliz.)	M	Las lluvias afectaron desde el Norte chico hasta el extremo austral. En Ovalle, la primera lluvia fue tan intensa que los agricultores la consideraron perjudicial para las cosechas. Calles con sedimentos desprendidos de partes altas debido a lluvias. No hubo mayores pérdidas humanas o materiales.	Ovalle	Urrutia y Lanza, 1993; Catálogo DesInventar; Conte 1968
1982	Jun	X (?)		F	Fuertes precipitaciones caídas desde Coquimbo hasta El Maule entre el 25 y el 28 de Junio. Hubo 18 muertos, 800 heridos, 18474 personas damnificadas y 578 viviendas destruidas a nivel nacional.	Región de Coquimbo	Ortlieb 1995; Urrutia y Lanza, 1993
1983	May-Jul	X**		MF	Temporal en Taltal, La Serena, Coquimbo y Combarbalá. Fuertes marejadas durante los primeros días de Febrero, afectaron Coquimbo, Tongoy y La Herradura. Hacia fines de Julio, otro temporal azotó a La Serena, Coquimbo, Río Hurtado, Monte Patria, Combarbalá y algunos sectores de la V Región.	Combarbalá. Río Hurtado, Monte Patria, Coquimbo y La Serena.	Ortlieb 1995; Urrutia y Lanza, 1993;
1984	05-abr		X (flujos de barro)	MF	Debido a intensas lluvias y nevazones. 16 sobrevivientes en gigantesco alud de nieve y roca que sepultó el Campamento minero Copitas con una capa de por lo menos 10 metros. 4 desaparecidos.	Ovalle	Catálogo Desinventar, consultado en febrero de 2017

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
1984	Jul	X	X (desliz. Caida rocas y flujos de barro)	MF	Un intenso frente de mal tiempo afectó desde la IV a la VIII región durante el mes de julio. En la región de Coquimbo, afectó principalmente a las provincias de Choapa y Limarí, entre los días 1 a 5 (un primer pulso) y 8 a 10 (un segundo pulso). Se produjeron precipitaciones en toda la provincia de Limarí, y también nevazones en la alta cordillera. Las inundaciones causaron más de 33 mil damnificados en la región, crecida de quebradas, cortes de camino, destrucción de terrenos agrícolas en canales e instalaciones de regadío y aislamiento de pueblos. Los cortes de caminos más importantes por remociones en masa fueron el corte del camino que une La Serena y Ovalle, a la altura de la localidad de Las Cardas, debido a aluviones en las quebradas, las cuales hicieron desaparecer el camino en un tramo de 50 metros. El río Limarí, debido al desagüe del embalse La Paloma, cortó los puentes Viñita (que une Ovalle con la comuna de Monte Patria), El Monte (que es la continuación del puente Viñita) y Quebrada Seca (ubicado unos 15 km aguas arriba del puente Viñita [el puente Quebrada Seca probablemente fue destruido por la bajada de la quebrada homónima, y no por la crecida del río Limarí. N.d.r]). Aguas abajo, el río Limarí también recibió las aguas provenientes del embalse Recoleta, provocando inundaciones en las zonas ribereñas del Limarí (localidades Limarí, Tabalí, Barraza, San Julián, El Trapiche, La Chimba, La Torre y sector Los Peñones, este último quedó totalmente arrasado por las aguas), mediante el proceso de socavación de las riberas y generación de nuevos cauces. Las aguas del río Limarí también recibieron el aporte de distintas quebradas laterales (Tamelcura, El Negro, Paquita, Sotaqui y otras). En la ciudad de Ovalle, debido a la escorrentía de aguas lluvias la población Fray Jorge fue afectada por anegamientos. En la mina Lana y Corina, una remoción en masa dejó 1 muerto y 1 herido. Una de las comunas más afectadas fue Combarbalá, que quedó aislada, al igual que la comuna de Río Hurtado, donde hubo numerosas interrupciones de caminos (todas las quebradas presentaban inundaciones, impidiendo el paso vehicular, en particular el camino Ovalle-Punitaqui, que quedó intransitable por varios días). La cuesta Los Mantos (que conduce a Combarbalá) presentó rodados y piedras con lodo entre 15 y 20 toneladas, en 15 tramos distintos. La crecida del estero Salto del Agua dejó aisladas a las localidades Delirio y Pueblo Nuevo. El estero Punitaqui dejó sin comunicación por tierra a Pueblo Viejo (y por ende, a todos los pueblos ubicados al sur). En total, en la Provincia de Limarí, se registraron 5 muertos, 9 desaparecidos, 7802 damnificados y 577 viviendas destruidas.	Toda las comunas de la provincia de Limarí.	C. Pérez, 2005; DesInventar; El Mercurio; Antecedentes periodísticos de inundaciones DGA 2013 (Diario El día y La Provincia)

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
1986	27-ene		X (desliz.)	MF (?)	Deslizamiento en la Mina Los gatos, provocando la muerte de 2 personas.	Punitaqui	Catálogo Desinventar, consultado en febrero de 2017
1986	15-nov		X (desliz.)	B	Deslizamiento en la Mina La Plateada. No hubo muertes ni pérdidas materiales.	Ovalle	Catálogo Desinventar, consultado en febrero de 2017
1987	Jun - Ago	X		MF	Jun: a finales de junio, entre los días 27 y 30, intensas lluvias cortaron caminos de la provincia de Limarí, dejando aisladas las localidades de Cerro Blanco, Los Trigos, San Pedro de Quiles y las caletas El Toro y El Maitén, tras la actividad de diversas quebradas y de la crecida del estero Punitaqui. Jul: Entre el 10 y el 16 de julio un frente de mal tiempo precipitó intensas lluvias sobre la IV región, dejando aislada varias localidades en la comuna de Combarbalá, debido a que los caminos se encontraban intransitables. En particular, en la localidad El Huacho quedó aislado el cuidador del agua potable por la crecida de la quebrada homónima, y la ruta D-55 quedó cortada en el sector San Marcos. Además, quedaron interrumpidos los accesos hacia Punitaqui (en la cuesta Los Mantos) y Monte Patria (a la altura de Mal Paso). En la localidad de Punitaqui, se registraron inundaciones en algunos sectores, como en Delirio, debido a la crecida del estero Punitaqui (destruyendo bocatomas y predios agrícolas). En la carretera panamericana, en el sector de Socos, se registraron derrumbes que dificultaban el tránsito vehicular. En las inmediaciones de la localidad de Sotaqui, la actividad de una quebrada [no se alcanza a leer el nombre. N.d.r] dejó anegado y aislado a un hombre en su hogar, que luego fue rescatado ileso por bomberos. En las cercanías del puente de la localidad de Limarí, 20 personas debieron ser rescatadas por el descenso de la quebrada El Ingenio, cuyas aguas crecieron súbitamente, dividiéndose en 2 brazos. Posteriormente, entre los días 21 y 28 del mismo mes, se desataron intensas lluvias (especialmente el día 24). En la ciudad de Ovalle, la población Fray Jorge fue afectada por agua y barro que descendió de las zonas altas, debiendo ser canalizadas con sacos y maquinaria hacia el río Limarí. Esta situación afectó principalmente a las explanadas, las cuales sufrieron grandes anegamientos (de al menos 10 cm de altura) producto de las aguas lluvias provenientes del centro de la ciudad. Las calles más afectadas fueron Miguel Aguirre con Yungay, Nueva Trange con Augusto D´Helmar, y avenida La Chimba (las cuales recibieron aguas desde Vicuña Mackena, Independencia, Libertad y Tamaya). En Barraza Bajo se produjeron daños en viviendas y caminos, y en Barraza Alto la localidad fue	Todas las comunas de la provincia de Limarí.	ONEMI; Antecedentes periodísticos de inundaciones DGA 2013 (Diarios El día y La Provincia)

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
					prácticamente dividida en 2, por efecto de las aguas. Familias de las localidades de Tabalí y San Julián debieron ser socorridas, así como otras familias damnificadas por la crecida de la quebrada La Placa. En Monte Patria, quedaron inhabilitados los caminos hacia Chañaral Alto (cortado en la quebrada de Cárcamo), El Tome, Chilecito, Rapel, Carén (derrumbes en el sector de Panquecillo), Colliguay, Tulahuén y El Maitén. En la localidad de Monte Patria, la villa Los Naranjos (parte baja) fue afectada por agua, barro y piedras que descendieron de las laderas de los cerros de la parte alta, provocando daño en las viviendas. Ago: Entre el 9 y el 14 de agosto se desataron intensas lluvias que aislaron a la localidad de Combarbalá. En el sector de Chañaral Alto se reportaron cuantiosas pérdidas, habiéndose destruido el puente que une esta localidad con Los Morales, debido a la crecida del río Huatulame. Aguas abajo de Chañaral Alto, el mismo río inundó parronales, especialmente en el sector Cerro Alegre, Huatulame y El Tome. Posteriormente, el desagüe del embalse La Paloma hizo peligrar el Puente La Chimba (en el río Limarí), lo que finalmente no tuvo mayores consecuencias. En total, hubo 7 muertos y 2 heridos en la región de Coquimbo.		
1991	May- Jun	X	X	MF	Sistema frontal desde el 28 de Mayo (muy fuerte en Antofagasta). En la IV Región hubo más de dos mil personas damnificadas; y varias localidades aisladas por interrupciones de los caminos, entre ellas Camarones, Molloco, Quitallaco, Los Choros, Punta de Choros, Los Morros, Los Pajaritos, Agua Grande, Talcuna, Trapiche, El Sauce, Los Brujos, Viñita Alta, Viñita Baja, Marquesa, La Arbolada, Punitaqui, Ovalle y Combarbalá. En el interior de Ovalle fueron aisladas veinticinco localidades por derrumbes que cortaron la carretera Panamericana Norte. Se paralizó la actividad minera en la Provincia de Limarí.	Provincia de Limarí	Urrutia y Lanza, 1993, Almeyda, 1938; La Red 2001; El Mercurio; DGA
1992	01-abr		X (flujos de barro)	MF	Aluvión por intensas lluvias. Los Maitenes Serón, 1 desaparecidos, 5 damnificados y 1 vivienda destruida	Río Hurtado	Catálogo Desinventar, consultado en febrero de 2017
1995	Ene	X (?)		M	Los daños se concentraron en la Provincia del Limarí, donde hubo varios caminos cortados y comunidades aisladas. Las lluvias afectaron a 500.000 cajas de uva de exportación de agricultores de la Región. Hubo 300 damnificados y 350 personas afectadas.	Provincia de Limarí	La Red 2001

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
1997	Ago	X	X	MF	Una serie de sistemas frontales afectó entre la II y la X regiones durante otoño e invierno, que pasaron por el Fenómeno del Niño. Se destacan dos frentes, uno desde los últimos días de Mayo hasta fines de Junio, y el segundo más fuerte aún entre los días 15 y 17 de agosto. Se generaron crecidas de los ríos, aluviones y caídas de rocas, que cortaron puentes y caminos en zonas de alta conectividad, dejando a Limarí aislada. En Ovalle, varias villas anegadas, avenidas Independencia, Vicuña Mackenna, Libertad, Coquimbo, Tangue y Arauco se inundaron por completo. Falló el drenaje de la Alameda, por lo que el agua era de contenido lodoso. El colector (nuevo) de la población Fray Jorge (parte baja de Ovalle) colapsó. También falló un colector en Villa Tuquí (la que además se encontraba en un terreno poco apropiado). En el sector denominado La Piscina, también se inundó y podría haber cedido el terreno. Situación similar en población Ferrenor, donde se derrumbó un muro de contención pésimamente construido. Crecidas en quebradas: Sequita (badén de Limarí arrastrado), La Placa y Las Sossas. Desborde de los canales Tuquí, Tuquí bajo y Recoleta; afectando caminos hacia Cerrillos, Los Nogales, Las Sossas, Chalinga, Quebrada Seca de Sotaquí, Algarrobo, dejando aislados 52 pueblos y pequeñas localidades. Montepatria fue la comuna con mayores daños, quedaron aisladas las localidades de Tulahuén, Tulahuén Oriente y Poniente, Pejerreyes, Las Ramadas, Las Mollacas, Los Perales, Campanario, La Mollacana, Carrizal y El Tayán, debido a las crecidas de quebradas y también a la caída de grandes rocas al camino; se cortó el puente Huanillas, destrucción de badén el Tomé, crecida de quebrada el Cárcamo y Río Grande. En Pichasca hubo voladuras de techumbres, y el camino entre Pichasca y Las Breas quedo inhabilitado. Combarbalá quedo aislada debido a la crecida de la quebrada El Huacho, corte de caminos hacia la Ligua, La Colorada, Mal Paso, El Sauce, Quilitapia y Chingay. En Punitaqui se cortaron todos los caminos (Los Quiles y Rinconada), exceptuando el de conexión con Ovalle. Este conjunto de sistemas frontales, dejó miles de damnificados, localidades aisladas, una muerte (por crecida del Estero Punitaqui), además de problemas de abastecimiento de agua potable, energía eléctrica y teléfonos en varios puntos. Gran cantidad de viviendas dañadas.	Provincia de Limarí	ONEMI; Gobierno regional de Coquimbo; Pérez 2005; Antecedentes periodísticos de inundaciones DGA 2013 Diario El Día (13, 14, 16, 19, 23, 24 y 26 de junio, 6 de julio, 17, 18 y 19 de agosto, 1997)

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
2002	May- Jul	X		MF	Intensas precipitaciones afectaron a la provincia de Limarí durante los meses de mayo junio y julio, provocando socavamientos de terrenos, cortes de caminos (sobre todo no pavimentados), aislamientos, crecida de quebradas (El Ingenio, La Placa, Estero Punitaqui, Valle Hermoso), anegamiento de badenes y desbordes de canales. Remociones en masa en sector La Viuda (D-71), sector de Pejerreyes (Ruta D-43, Ovalle-La Serena), ruta D45 a la atura de Socos con Barraza, Talinay y EL Teniente en la Ruta 5. También hubo cortes en las vías Punitaqui-Combarbalá (en cuesta Las Cardas), Ovalle-Tongoy, Ovalle-Montepatria, Ovalle-Canela,Ovalle- Río Hurtado (D-595 km 54) Rincón Las Chilcas – San Lorenzo y kilómetro 51 en camino troncal hacia Pichasca, ruta D457 Samo Alto-Andacollo, lo mismo para la D-445 (Hurtado-Vicuña). Además se anegaron las principales calles de Ovalle (Benavente, Tocopilla, Libertad, Vicuña Mackena, Independencia y Av. La Chimba) y de una escuela en Carachilla. Las comunas más afectadas fueron Combarbalá (Valle Hermoso y desborde de canales en Ramadilla), Río Hurtado (Poblaciones Villa El Estero, Villa El Huerto y sector de Los Quiles; además localidades al interior de Pichasca aisadas) y Punitaqui (Villas El Estero, El Huerto y Los Molinos por desborde del estero Punitaqui). Resultaron al menos 10 casas destruídas, 100 familias damnificadas y 27 albergadas. Además los tranques Cogotí y Recoleta comenzaron a rebalsar, con volumen de 10 y 5,3 m3/s.	Ovalle, Montepatria, Punitaqui, Combarbalá, Río Hurtado,	ONEMI; Antecedentes periodísticos de inundaciones DGA .2013 (Diario EL Día : 15-16-28 de mayo, 5-6 de junio, 22-24-26 de julio; Diario EL Ovallino : 27 de mayo, 5-10 de junio, 22-24 de julio)
2011	Jun	X	X (flujo de barro)	F	Dos temporales los días 6 y 18 a 20 del mes de Junio en la Región de Coquimbo. Las consecuencias de las lluvias fueron: aludes, inundaciones y decenas de familias damnificadas. Entre los sectores más afectados destaca la Quebrada El Ingenio, donde hubo desprendimientos de tierra, lo que anegó por completo una vivienda de material ligero. Veinticinco personas albergadas en colegios locales. Los sectores más complicados fueron aquellos que se ubican hacia la costa, como Cerrillos de Tamaya y Cerrillos Pobres. En la zona interior de la Provincia del Limarí en la Región de Coquimbo, el segundo temporal fue más intenso y dejaba caer mucha cantidad de agua en pocas horas, acumulando en prácticamente todas las comunas, cifras cercanas y/o superiores a los 100 milímetros de agua caída. Uno de los problemas más preocupantes fue una serie de aluviones en la localidad de La Chimba en Ovalle, dejando 20 evacuados y varias casas destruidas. También se reportaron deslizamientos en la ruta que une Sotaqui con Montepatria (en sector La Carachilla), y en la ruta que una Ovalle con Limarí (sector La Silleta).	Todas las comunas de la provincia de Limarí.	ONEMI, DGA, Diarios La Cuarta; La Tercera; El Día; La Voz del Norte.

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
2015	Mar		X (flujo de barro)	M	Lluvias y tormenta eléctrica en el Limarí. Hubo flujos de detritos de distinta magnitud en las comunas de Ovalle, Monte Patria y Río Hurtado. Monte Patria resultó la comuna más dañada, en el sector de Angostura la bajada de una quebrada arrasó con dos viviendas. Flujo de detritos y desborde de cauce en quebrada Barrancones. Flujos de menor envergadura en Samo Alto (Río Hurtado). Bajadas de las quebradas Los Maitenes y Samo Alto. Corte de caminos: cerca de las 18 horas del 27 se registra un deslizamiento de rocas y tierra en la Ruta 595, que une a Ovalle con Río Hurtado; también en Varillar y Sol de Las Praderas. Anegamiento de viviendas y cortes eléctricos en sectores de Ovalle, Punitaqui y Combarbalá. Anegamiento de calle Benavente entre Tocopilla y Antofagasta en Ovalle.	Ovalle, Monte Patria, Río Hurtado	SERNAGEOMIN, DGA ; Diario El Ovallino; Diario Ovalle Hoy.
2015	Ago		X (caída de rocas)	F	Frente de mal tiempo en la Provincia. Se produjeron cortes de camino, caídas de árboles, rodados en los caminos y voladuras de techumbre. En general la mayoría de las zonas rurales de la comuna, cómo Los Quiles, EL Divisadero, La Laja, El Maitén y Las Cruces, quedaron aisladas por anegamiento de caminos. Rodados menores en Ruta D-597 entre el Coipo y Carén. Caídas de roca en curva La Silleta al legar a Limarí Oriente, en Ovalle; y en Ruta D-55 en el sector del embalse La Paloma, en Monte Patria. Cortado el camino al Durazno en Combarbalá. En general se registraron rodados menores en caminos en toda la Provincia del Limarí. Bajadas de la quebrada Pichasca en Río Hurtado, quebrada grande Combarbalá (que conecta con Punitaqui) y desde Quebrada Seca en Ovalle, además peligro bajo la quebrada Higueritas. Crecida del estero Punitaqui corta un paso, afectando a los vecinos de Pueblo Viejo, El Toro, El Peral, Altos de Pechén, Los Quiles, La Rinconada y El Higueral. Peligro bajo la quebrada Higueritas. Desbordes en el canal Bellavista en Combarbalá. Varias localidades aisladas en Monte Patria. Inundación de calles en Ovalle. Resultaron más de 25.000 personas regionalmente, 2 muertos, 372 damnificadas en Vicuña, Canela, Los Vilos, Punitaqui y Salamanca. 9 albergados en Limarí: 4 en Ovalle y 5 en Punitaqui. 35 viviendas con daño en Ovalle y 10 en Punitaqui.	Ovalle, Punitaqui, Monte Patria, Combarbalá, Localidades rurales.	DGA; Diario El Ovallino; Diario Ovalle Hoy,
2015	14-oct	X		B	Paso entre Illapel y Combarbalá resulta cortado a causa de cauce desbordado sobre el camino.	Combarbalá	Catálogo Desinventar, consultado en febrero de 2017

Año	Fecha	I	RM	I daños (local)	Descripción del evento	Zonas Afectadas	Referencia revisada
2017	10 al 12-mayo	X	X (flujos de barro)	MF	Lluvias en la región de Atacama y Coquimbo dejan más de 1000 damnificados. Se decretó zona de catástrofe para toda la Región de Coquimbo. En la comuna de Punitaqui, se desbordó el estero Punitaqui y anegó a la localidad homónima, dejando aisladas a 6.000 personas de 40 localidades aledañas. La gente del sector celebró, ya que durante 15 años este sector se había convertido en un estero seco. Los sectores más afectados son La Higuera, Pueblo Viejo y sus localidades interiores. En la comuna de Ovalle, la noche del 12 de mayo, se generó un colapso en el embalse Recoleta (ubicado a unos 12 km al norte de la ciudad de Ovalle y a 1,5 de la localidad de Algarrobo), aumentando considerablemente el caudal del río Limarí, poniendo en riesgo sectores aledaños. 1.500 personas fueron evacuadas debido a esta situación. En la localidad de Ovalle, la intersección de las calles Benavente y Tocopilla resultó con anegamientos producto de la escorrentía de las aguas lluvias, así como la avenida La Chimba en el sector del Estadio Municipal. En la comuna de Monte Patria, hubo crecida en el río Ponio que destruyó un camino, al norte de la localidad de Monte Patria. En la misma comuna, dos personas mueren al intentar cruzar Río Rapel; además, se registraron rodados en distintos sectores. En la comuna de Combarbalá se registraron múltiples deslizamientos menores de tierra y rodados (que afectaron diversas rutas [no especificadas]), creció la quebrada El Macano (en el sector Las Chilcas, al interior de Combarbalá) y el puente Pama fue destruido por la crecida del río Cogotí. Una de las comunas más afectadas fue la de Río Hurtado que sufrió el corte de dos puentes (el de Samo Alto, que une la red troncal de Río Hurtado, ruta D-595, con el resto de la comuna hacia el interior, y el puente del sector Peñaflor) y diversos cortes de caminos producto de bajadas de quebradas, que dejaron dividida la comuna de 8 sectores. Además, se generó el aislamiento de 106 las familias y 3000 personas afectadas en total en esta comuna. Las localidades aisladas fueron: Carrizal de Corral Quemado, Maitenes de Samo Alto, La Huerta, Las Minillas, Romeral, El Sauce y Maitenes de Serón.	Todas las comunas de la provincia de Limarí.	www.chilevision.cl, www.cooperativa.cl, www.t13.cl, www.24horas.cl, www.biobiochile.cl, www.laserenaonline.cl, www.diarioelcombarbalitto.cl

Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en la tabla. Detalle de las referencias en TABLA Nº 7.3-9, TABLA Nº 7.3-10, TABLA Nº 7.3-11, TABLA Nº 7.3-12 y TABLA Nº 7.3-13.

TABLA Nº 7.3-16 Eventos catastrados a partir de recopilación bibliográfica en las comunas de la Provincia de Limarí.

Comuna	Código	Tipo	Sector afectado	Descripción	Nº Figura en este informe
Combarbalá	C-01	-	Corte Ruta D-55	Ruta D-55 cortada en el sector San Marcos	FIGURA Nº E-1
Combarbalá	C-02	-	Los Quiles (2015)	Localidad aislada	FIGURA Nº E-1
Combarbalá	C-03	Crecida	Crecida Qda. El Huacho (1997)	Crecida en Quebrada El Huacho, autos aislados.	FIGURA Nº E-1
Combarbalá	C-04	Activación	Activación quebrada el Huacho (1987)	Quebrada el Huacho, se activó el 1987 y dejó aislado al cuidador del agua potable	FIGURA Nº E-1
Combarbalá	C-05	-	Camino cortado (2002)	Cortado el camino Rincón Las Chilcas – San Lorenzo, La Saucera.	FIGURA Nº E-1
Combarbalá	C-06	Crecida	Crecida del río Cogotí (2017)	Crecida del río Cogotí destruye puente Pama (2017)	FIGURA Nº E-2
Combarbalá	C-07	Desborde	Desborde canales (2002)	Desborde canales. Combarbalá sólo se comunicaba con el resto de la provincia por una vía. En la localidad de Ramadilla, se desbordaron los canales.	FIGURA Nº E-2
Combarbalá	C-08	Crecida	Crecida Valle Hermoso (2002)	Localidad de Valle Hermoso (Combarbalá) totalmente aislada, debido a crecida del cauce homónimo que arrastró dos puentes; se anegaron varias casas y derrumbaron muros de adobe. Se socavaron las riberas del río en extensos tramos.	FIGURA Nº E-2
Combarbalá	C-09	-	Sector los Pozos ?? (2002)	En Combarbalá el tramo que une con Canela está inhabilitado en sector de Los Pozos.	FIGURA Nº E-2
Monte Patria	M-01	Activación	Activación quebrada Tamelcura (1984)	Quebrada Tamelcura, se activó el 1984	FIGURA Nº E-3
Monte Patria	M-02	Caída Rocas	Caída de rocas *(2015)	en Ruta D-55 en el sector del embalse La Paloma, en Monte Patria	FIGURA Nº E-3
Monte Patria	M-03	Aluvión	Aluvión? (1987)	En Monte Patria, Villa Los Naranjos (parte baja) fue afectada por barro, agua y piedras que descendieron de las partes altas (1987)	FIGURA Nº E-3
Monte Patria	M-04	-	Badén cortado (1997)	Camino entre Palos Quemados y Huanilla cortado, destrucción del badén hacia “El Tomé”. Lo que dejó aisladas a las localidades de El Tome, Jara y Laja.	FIGURA Nº E-3
Monte Patria	M-05	-	Corte de caminos, río Ponio (2017)	Río Ponio cortó caminos y dejó aisladas localidades aguas arriba (2017)	FIGURA Nº E-3
Monte Patria	M-06	-	La Laja (2015)	Localidad aislada.	-
Monte Patria	M-07	-	Corte de Camino, Varillar (2015)		FIGURA Nº E-3
Monte Patria	M-08	Flujo de detritos	Flujo de detritos, Barrancones (2015)	Flujo de detritos y desborde de cauce en quebrada Barrancones.	FIGURA Nº E-3

Comuna	Código	Tipo	Sector afectado	Descripción	Nº Figura en este informe
Monte Patria	M-09	Activación	Activación de qda. Angostura (2015)	Monte Patria resultó la comuna más dañada, en el sector de Angostura la bajada de una quebrada arrasó con dos viviendas.	FIGURA Nº E-3
Monte Patria	M-10	-	Corte de caminos, Sol de las Praderas (2015)		FIGURA Nº E-3
Monte Patria	M-11	Rodados	Rodados *(2015)	Rodados menores en Ruta D-597 entre el Coipo y Carén.	FIGURA Nº E-4
Monte Patria	M-12	Derrumbe	Derrumbes (1987)	Derrumbes en sector de Panquecillo, 1987	FIGURA Nº E-4
Monte Patria	M-13	Crecida	Crecida de la quebrada El Macano (2017)	Crecida de la quebrada El Macano (2017)	FIGURA Nº E-4
Monte Patria	M-14	Desborde	Desborde río Huatulame (1987)	Río Huatulame inundó parronales en El Tome, 1987	FIGURA Nº E-4
Monte Patria	M-15	Crecida	Crecida del río Huatulame (1997)	Daños severos en puente Huanillas por aumento del río Huatulame.	FIGURA Nº E-4
Monte Patria	M-16	Desborde	Desborde río Huatulame (1987)	Río Huatulame inundó parronales en Huatulame, 1987	FIGURA Nº E-4
Monte Patria	M-17	-	Quebrada Cárcamo, camino cortado (1987)	Quebrada Cárcamo, camino cortado en 1987	FIGURA Nº E-4
Monte Patria	M-18	Desborde	Desborde? en quebrada Cárcamo (1997)	Las quebradas de Cárcamo aisló a los sectores de La Variola, Laguna Verde y Cárcamo.	FIGURA Nº E-4
Monte Patria	M-19	Crecida	Crecida del río Huatulame, se destruyó el puente (1987)	Crecida del río Huatulame, se destruyó el puente 1987	FIGURA Nº E-4
Ovalle	O-01	-	Las cruces (2015)	Localidad aislada.	FIGURA Nº E-3
Ovalle	O-02	Activación	Activación quebrada El Negro (1984)	Quebrada El Negro, se activó en 1984	FIGURA Nº E-3
Ovalle	O-03	Anegamiento	Anegamiento Carachilla (2002)	En Carachilla se anegó una escuela.	FIGURA Nº E-3
Ovalle	O-04	-	Puente Quebrada Seca, destruido (1984)	Puente Quebrada Seca, destruido en 1984.	FIGURA Nº E-3
Ovalle	O-05	Deslizamiento	Deslizamiento Población Ferronor (1997)	Derrumbe de muro en localidad de Sotaquí. En la población Ferronor, hay deslizamientos con regularidad, y construyeron un muro de contención de pésima calidad.	FIGURA Nº E-3
Ovalle	O-06	-	Puente Viñita, destruido (1984)	Puente Viñita, destruido en 1984.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-07	-	Puente El Monte destruido (1984)	Puente El Monte destruido, 1984.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-08	Inundación	Inundación Los Peñones (1984)	Sector Los Peñones, afectado por crecidas en 1984	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-09	-	Ruta inhabilitada (1997)	Ruta 43 inhabilitada en recoleta.	FIGURA Nº E-5

Comuna	Código	Tipo	Sector afectado	Descripción	Nº Figura en este informe
Ovalle	O-10	Caída Rocas	Desprendimientos de tierra en quebrada El Ingenio (2011)	Desprendimientos de tierra en quebrada El Ingenio afectan una vivienda (2011)	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-11	Deslizamiento	Tuquí (1997)	Villa Tuquí, edificada en sector no apto, el agua entra en una casa desde un colector. Tienen miedo de que se les inclinen las casas.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-12	Aluvión	Inundación por aluvión (1997)	Inundación en población Media Hacienda, en zona de alta pendiente, recibió el agua (aluvional) desde la quebrada El Ingenio.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-13	Crecida	Crecida el Ingenio (2002)	Crecidas de quebradas El Ingenio y La Placa sobre ruta D-505 Ovalle-Quebrada Seca.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-14	Anegamiento	Anegamiento calle (2017)	Anegamiento en calles Benavente con Tocopilla, 2017	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-15	Inundación	Inundación 1987	Inundación calle Maestranza	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-16	Inundación	Inundación 1987	Inundación calle Benavente	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-17	Inundación	Inundación 1987	Inundación calle Independencia	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-18	Anegamiento	Anegamiento calles (2015)	Anegamiento de calle Benavente entre Tocopilla y Antofagasta en Ovalle.	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-19	Anegamiento	Anegamiento calles	Nuevamente se anegaron las calles principales (sobre todo Vicuña Mackena, Independencia y Av. La Chimba). Anegamientos en calle Benavente, Tocopilla, Libertad, tuvieron que ser bombeadas.	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-20	Inundación	Inundación calle Independencia (1997)	Inundación de Vicuña Mackenna, Libertad, Coquimbo, Tangue, Arauco e Independencia que recibe aguas desde la parte alta de la ciudad. Falló el drenaje de la Alameda, por lo que el agua era lodosa. Colapsó colector (nuevo) de la población Fray Jorge.	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-21	Anegamiento	Anegamiento 1987	Anegamientos 1987 (calles Miguel Aguirre con Yungay)	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-22	Inundación	Inundación 1987	Inundación calle Libertad	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-23	Anegamiento	Anegamiento 1987	Anegamientos 1987 (Augusto D'halmar con Nueva Trangue)	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-24	Anegamiento	Anegamientos calle (2017)	Anegamientos en calle La Chimba, en sector del estadio municipal (2017)	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-25	Anegamiento	Anegamiento 1987	Anegamientos 1987 (calle La Chimba)	FIGURA Nº E-6
Ovalle	O-26	Anegamiento	Anegamiento P. Fray Jorge (1984)	Población Fray Jorge, sufrió anegamientos en 1984	FIGURA Nº E-5

Comuna	Código	Tipo	Sector afectado	Descripción	Nº Figura en este informe
Ovalle	O-27	Deslizamiento	Deslizamientos en la ruta (2011)	Deslizamientos en la ruta (2011)	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-28	Caída Rocas	Caídas de roca, La Silleta (2015)	Caídas de roca en curva La Silleta al legar a Limarí Oriente, en Ovalle	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-29	Aluvión	Aluviones (2011)	Serie de aluviones deja 20 evacuados en sector La Chimba (2011)	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-30	Desborde	Desborde de cauce? (1984)	Localidad afectada por el río en 1984, en sus zonas ribereñas.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-31	Desborde	Desborde de cauce? Limarí (1984)	Limarí afectada por el río en 1984, en sus zonas ribereñas.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-32	Crecida	Crecida Quebrada Del Ingenio (1997)	Cortes en los puentes Quebrada Sequita y el badén de Limarí, debido a crecida de quebrada El Ingenio; también crecidas en Quebrada La Placa y Las Sossas generan cortes de camino;	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-33	Crecida	Crecida de quebrada El Ingenio (1987)	Crecida de quebrada El Ingenio deja aisladas a 20 personas en Limarí (1987). Sus aguas se dividen en 2 brazos.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-34	Anegamiento	Anegamiento hogares Tulahuén (1997)	En El Talhuén (15 km de Ovalle) hubo anegamiento de hogares, y crecida de quebradas.	FIGURA Nº E-5
Ovalle	O-35	-	Peligro *(2015)	Peligro bajo la quebrada Higueritas.	-
Ovalle	O-36	Derrumbe	Derrumbe + Inundación (2002)	Corte en ruta Ovalle-La Serena, cercana al sector Pejerreyes por derrumbe de parte del cerro. Este habría desviado el curso del agua, la cal caía desde arriba sobre la calzada y había socavado la berma.	-
Ovalle	O-37	Deslizamiento	Deslizamiento Pejerreyes (2002)	Derrumbe de piedras en sector de Pejerreyes, deslizamiento de parte de la berma de la carretera D43.	-
Ovalle	O-38	Desborde	Desborde de cauce? (1984)	Localidad afectada por el río en 1984, en sus zonas ribereñas.	-
Ovalle	O-39	Desborde	Desborde de cauce? (1984)	Localidad afectada por el río en 1984, en sus zonas ribereñas.	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-40	-	Quebrada La Placa, daños (1987)	Quebrada La Placa, causó daños en 1987	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-41	Crecida	Crecida La Placa (1997)	Cortes en los puentes Quebrada Sequita y el badén de Limarí, debido a crecida de quebrada El Ingenio; también crecidas en Quebrada La Placa y Las Sossas generan cortes de camino;	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-42	Desborde	Desborde de cauce? (1984)	Localidad afectada por el río en 1984, en sus zonas ribereñas.	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-43	Crecida	Crecida La Placa (2002)	Crecidas de quebradas El Ingenio y La Placa sobre ruta D-505 Ovalle-Quebrada Seca. El badén de La Placa (ruta D146 Ovalle-Cerrillo de Tamaya) se anegó por la bajada de aguas	FIGURA Nº E-7

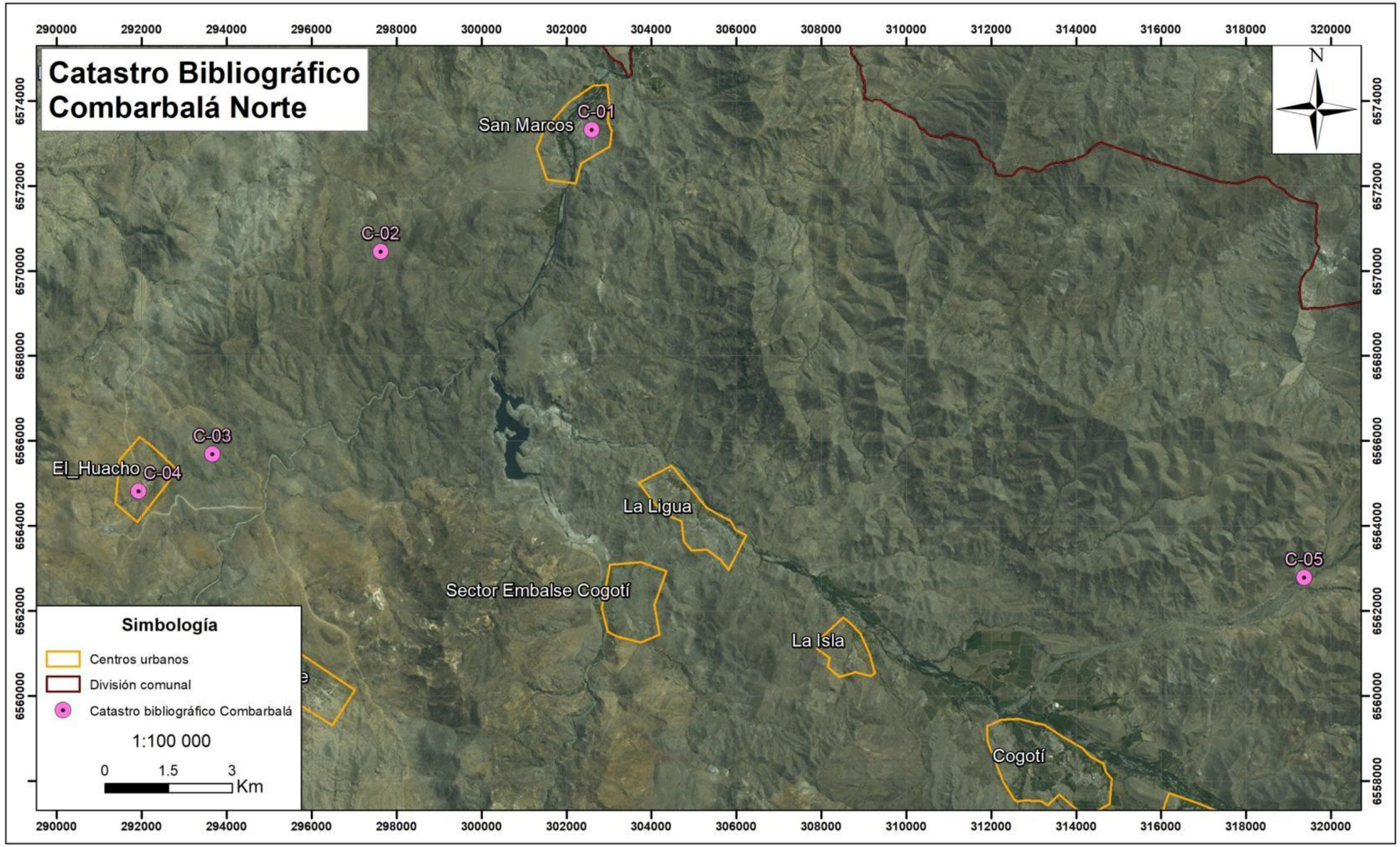
Comuna	Código	Tipo	Sector afectado	Descripción	Nº Figura en este informe
Ovalle	O-44	-	Tránsito cortado (2002)	La ruta D505, Ovalle-Tongoy, en sector las Ossas (la Sossa?), tránsito renovado bajo precaución. Lo mismo para ruta D-55 Ovalle-Montepatria.	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-45	Crecida	Crecida en La Sossa (1997)	Cortes en los puentes Quebrada Sequita y el badén de Limarí, debido a crecida de quebrada El Ingenio; también crecidas en Quebrada La Placa y Las Sossas generan cortes de camino.	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-46	Desborde	Desborde de cauce? (1984)	Localidad afectada por el río en 1984, en sus zonas ribereñas.	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-46	Desborde	Desborde de cauce? (1984)	Localidad afectada por el río en 1984, en sus zonas ribereñas.	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-47	-	Daños en viviendas y caminos 1987	Daños en viviendas y caminos 1987	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-48	Derrumbe	Derrumbes ruta D45 (2002)	inhabilitada por derrumbes en la ruta D45 a la atura de Socos con Barraza	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-49	Derrumbe	Derrumbes (1987)	Derrumbes en 1987 dificultaban tránsito vehicular	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-50	Derrumbe	Derrumbe Talinay (2002)	Cortes por derrumbes en la ruta 5 norte, en los km 350 en el sector de Talinay, y km 333 en el sector del Teniente.	FIGURA Nº E-7
Ovalle	O-51	-	Puente El Teniente cortado (1997)	Ruta 5 km 213: Puente el Teniente cortado, sin acceso al sur.	FIGURA Nº E-3
Ovalle	O-52	Derrumbe	Derrumbes ruta 5 (2002)	Cortes por derrumbes en la ruta 5 norte, en los km 350 en el sector de Talinay, y km 333 en el sector del Teniente.	FIGURA Nº E-3
Punitaqui	P-01	-	El Maitén (2015)	Localidad aislada	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-02	Desborde	Desborde (2002)	En Punitaqui, en La Tierra de los Molinos, subió el estero, dejando aislada la cabecera comunal (¿) con las localidades interiores. “Derrumbe de adobe” (¿) en sector de Las Cruces, en la escuela.	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-03	Crecida	Crecida del estero Punitaqui (1984, 1987, 2017)	Crecida del estero Punitaqui, 1984, 1987, 2017	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-04	Desborde	Desborde estero Punitaqui (2002)	Es usual que el estero Punitaqui sobrepase el badén que conecta Punitaqui con Pueblo Viejo.	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-05	Crecida	Crecida estero Punitaqui (2015)	Crecida del estero Punitaqui corta un paso, afectando a los vecinos de Pueblo Viejo, El Toro, El Peral, Altos de Pechén, Los Quiles, La Rinconada y El Higueral.	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-06	-	Pueblo Viejo (2015)	Localidad aislada	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-07	-	El Toro (2015)	Localidad aislada.	FIGURA Nº E-8

Comuna	Código	Tipo	Sector afectado	Descripción	Nº Figura en este informe
Punitaqui	P-08	-	Rinconada (2015)	Localidad aislada.	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-09	Inundación	Riesgo de inundación (2002)	En Punitaqui, se vieron afectadas las villas El Estero y El Huerto por riesgo de inundación por desborde del estero Punitaqui. El badén de Punitaqui funcionó bien.	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-10	Caída Rocas	Caída de bloques, cuesta Los Mantos (1984 y 1987)	Cuesta Los Mantos, cortada en 1984 (en 15 tramos por caída de bloques y barro) y 1987	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-11	Crecida	Crecida estero Salto de Agua (1984)	Crecida de estero Salto del Agua aísla Delirio y Pueblo Nuevo, 1984	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-12	-	Ruta cortada (2002)	Ruta Punitaqui-Combarbalá cortada en la cuesta Las Cardas.	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-13	Derrumbe	Derrumbe (lugar impreciso) (2002)	Derrumbe Ruta Punitaqui-Combarbalá, sector Los Mantos (2002)	FIGURA Nº E-8
Punitaqui	P-14	-	El Divisadero (2015)	Localidad Aislada	FIGURA Nº E-8
Río Hurtado	H-01	Crecida	Crecida del río Hurtado (2017)	Crecida del río Hurtado destruyó el puente Peñaflor (2017)	FIGURA Nº E-9
Río Hurtado	H-02	-	Corte en ruta *(2002)	Corte en ruta D595 en km 54, que conecta Ovalle con localidades de Río Hurtado.	FIGURA Nº E-9
Río Hurtado	H-03	Flujo de detritos	Flujos Samo Alto (2015)	Flujos de menor envergadura en Samo Alto (Río Hurtado)	FIGURA Nº E-9
Río Hurtado	H-04	Crecida	Crecida del río Hurtado (2017)	Crecida del río Hurtado destruyó puente Samo Alto (2017)	FIGURA Nº E-9
Río Hurtado	H-05	Activación	Activación qdas. Los Maitenes y Samo Alto (2015)	Bajadas de las quebradas Los Maitenes y Samo Alto.	FIGURA Nº E-9

Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en la TABLA Nº 7.3-15.

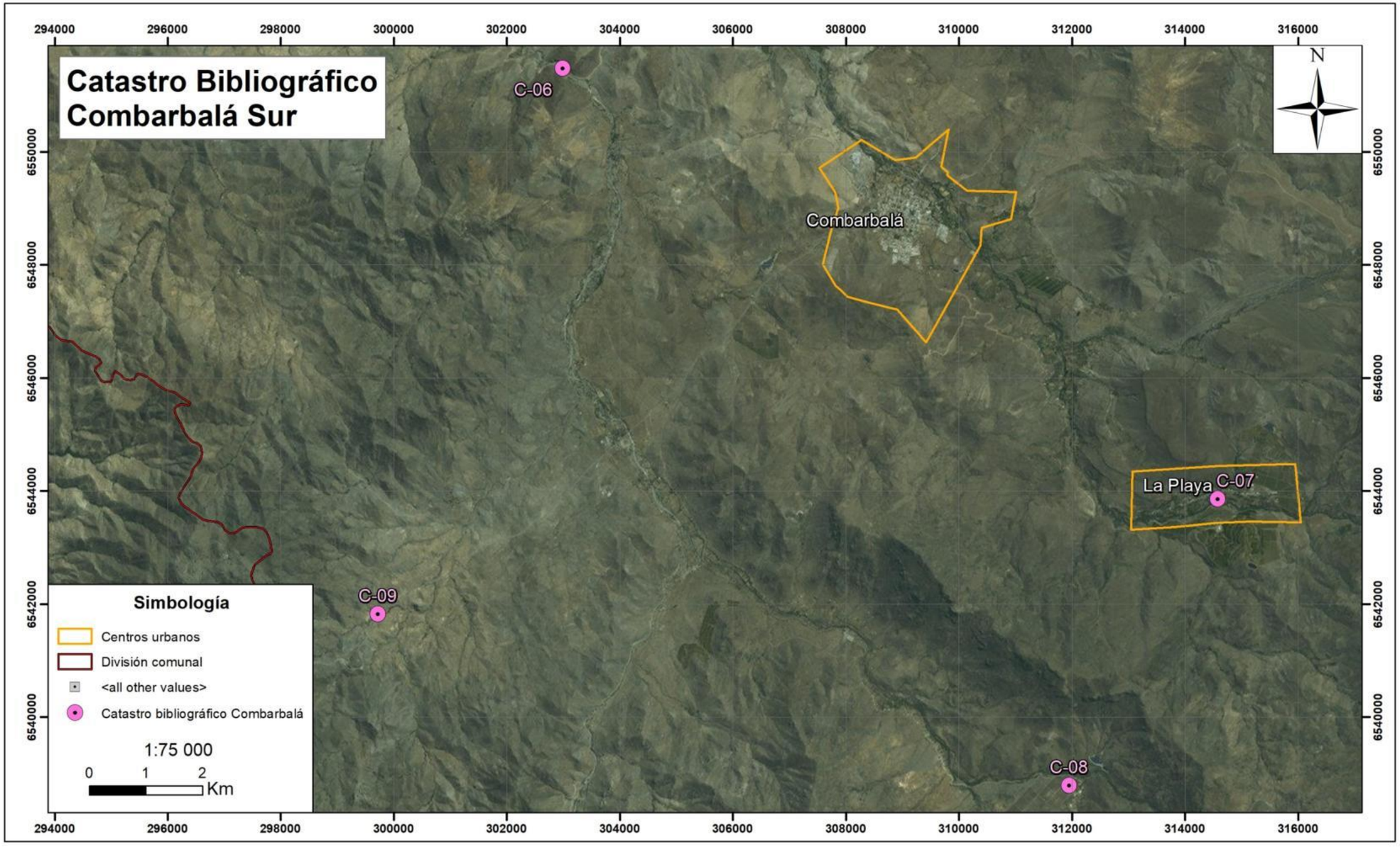
PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

FIGURA Nº E-1 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en el sector norte de la comuna de Combarbalá.



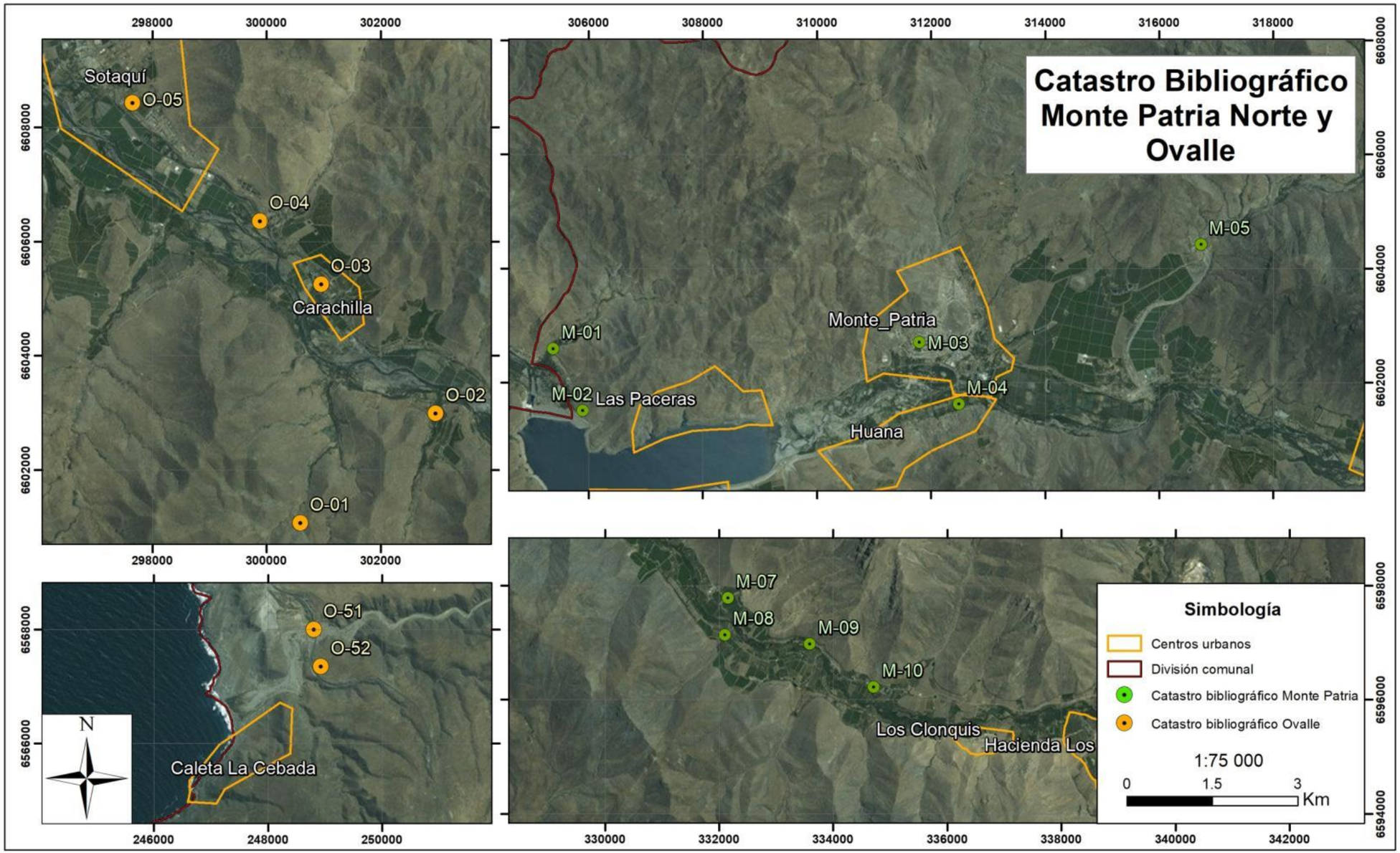
Fuente: Elaboración propia a partir de lo referido en la TABLA Nº 7.3-16.

FIGURA Nº E-2 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en el sector sur de la comuna de Combarbalá.



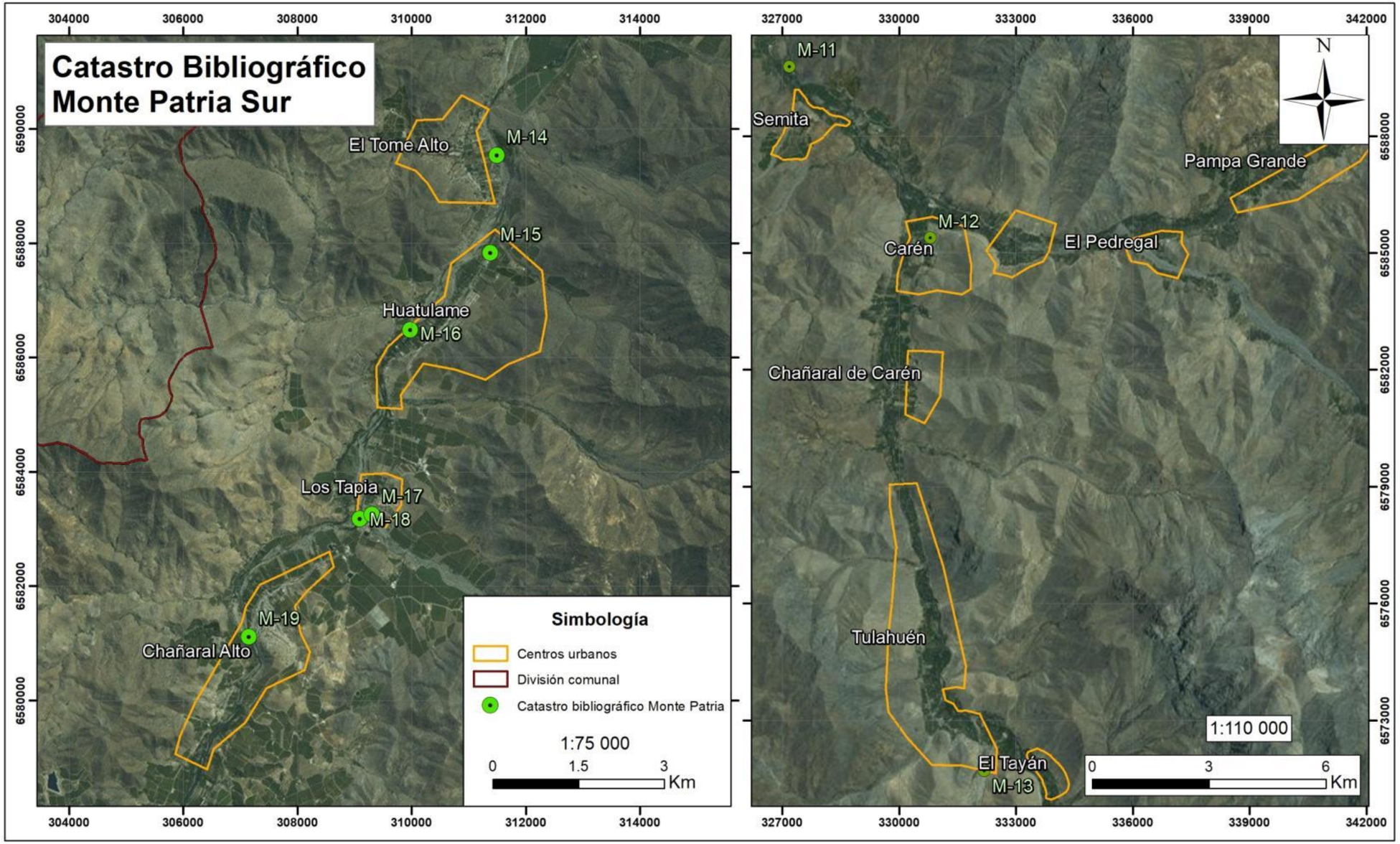
Fuente: Elaboración propia a partir de lo referido en la TABLA Nº 7.3-16.

FIGURA Nº E-3 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en el sector norte de la comuna de Monte Patria y sectores sureste y suroeste de la comuna de Ovalle.



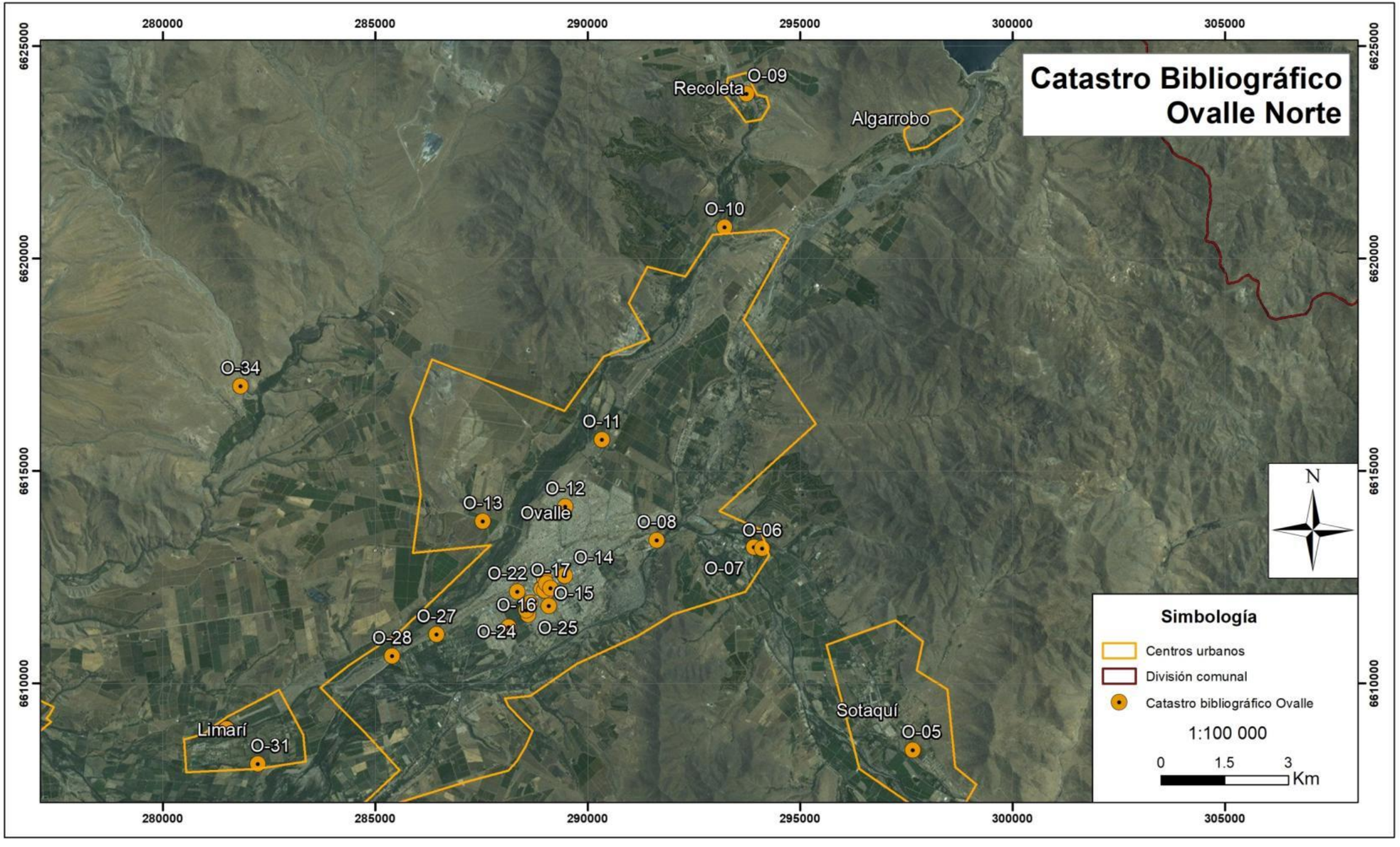
Fuente: Elaboración propia a partir de lo referido en la TABLA Nº 7.3-16.

FIGURA Nº E-4 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en el sector sur de la comuna de Monte Patria.



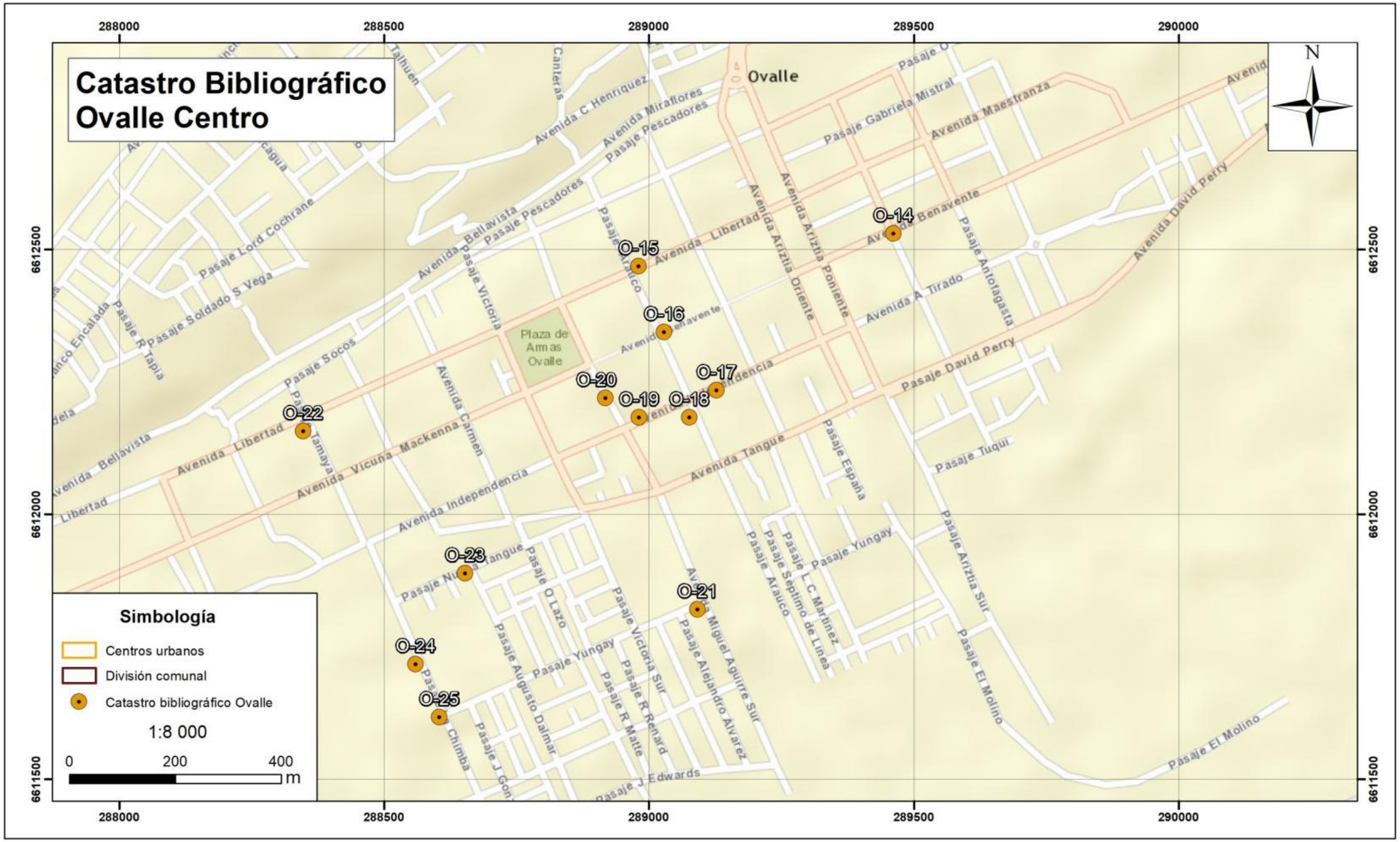
Fuente: Elaboración propia a partir de lo referido en la TABLA Nº 7.3-16.

FIGURA Nº E-5 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en el sector norte de la comuna de Ovalle.



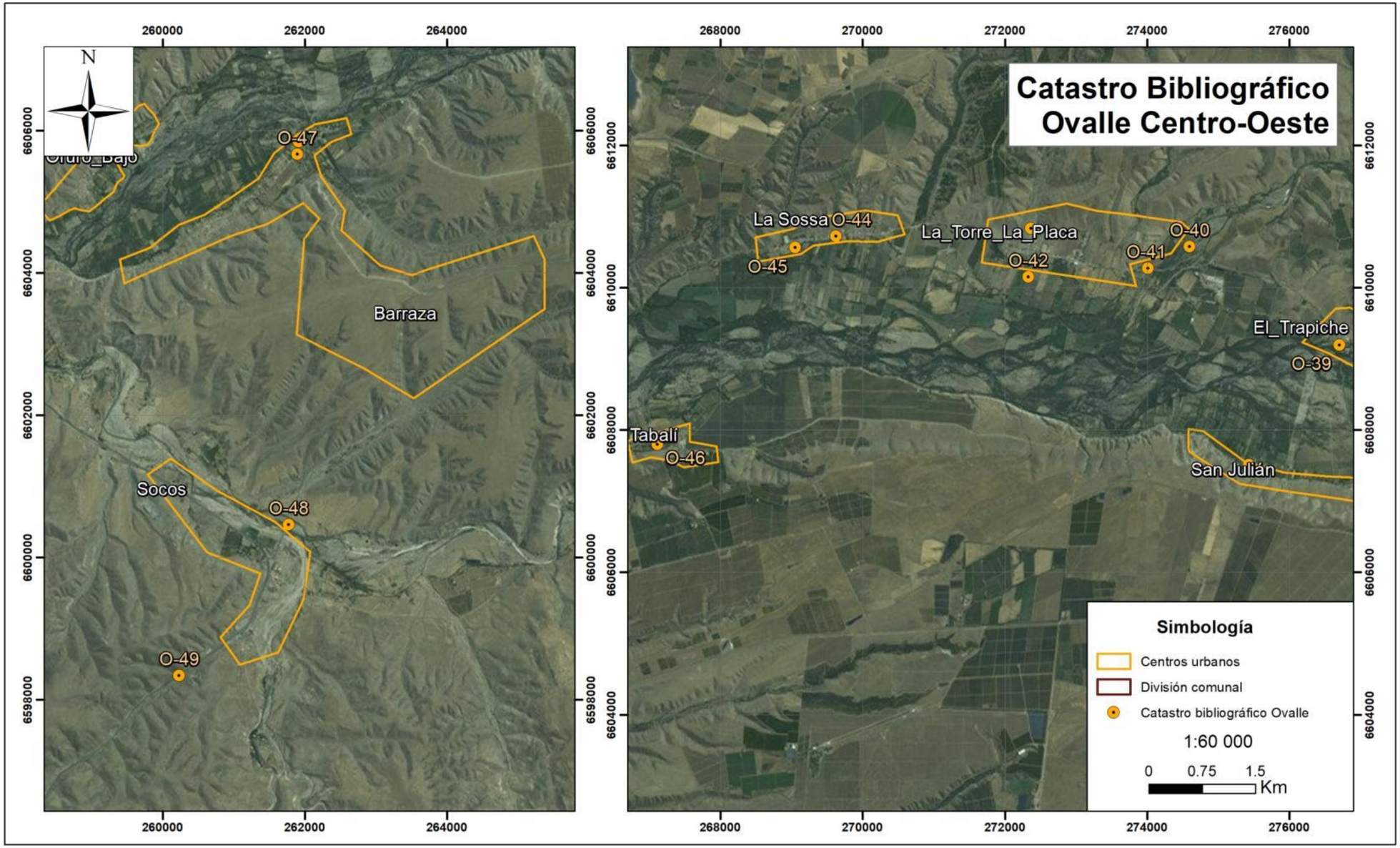
Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en la TABLA Nº 7.3-15, y TABLA Nº 7.3-16. Detalle de la localidad de Ovalle en la FIGURA Nº E-6.

FIGURA Nº E-6 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en el sector centro de la comuna de Combarbalá.



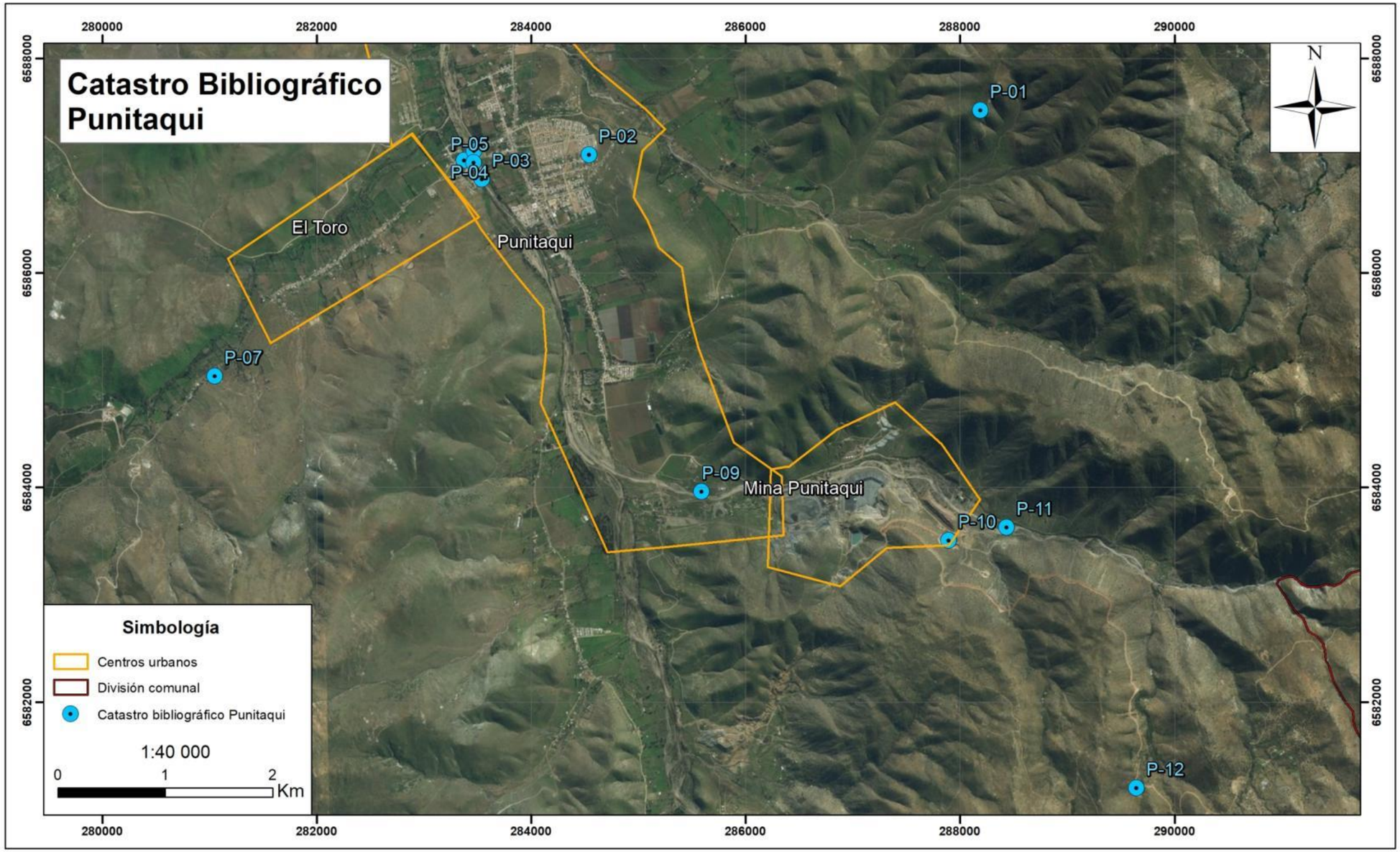
Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en la TABLA Nº 7.3-15.

FIGURA Nº E-7 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en el sector centro-oeste de la comuna de Ovalle.



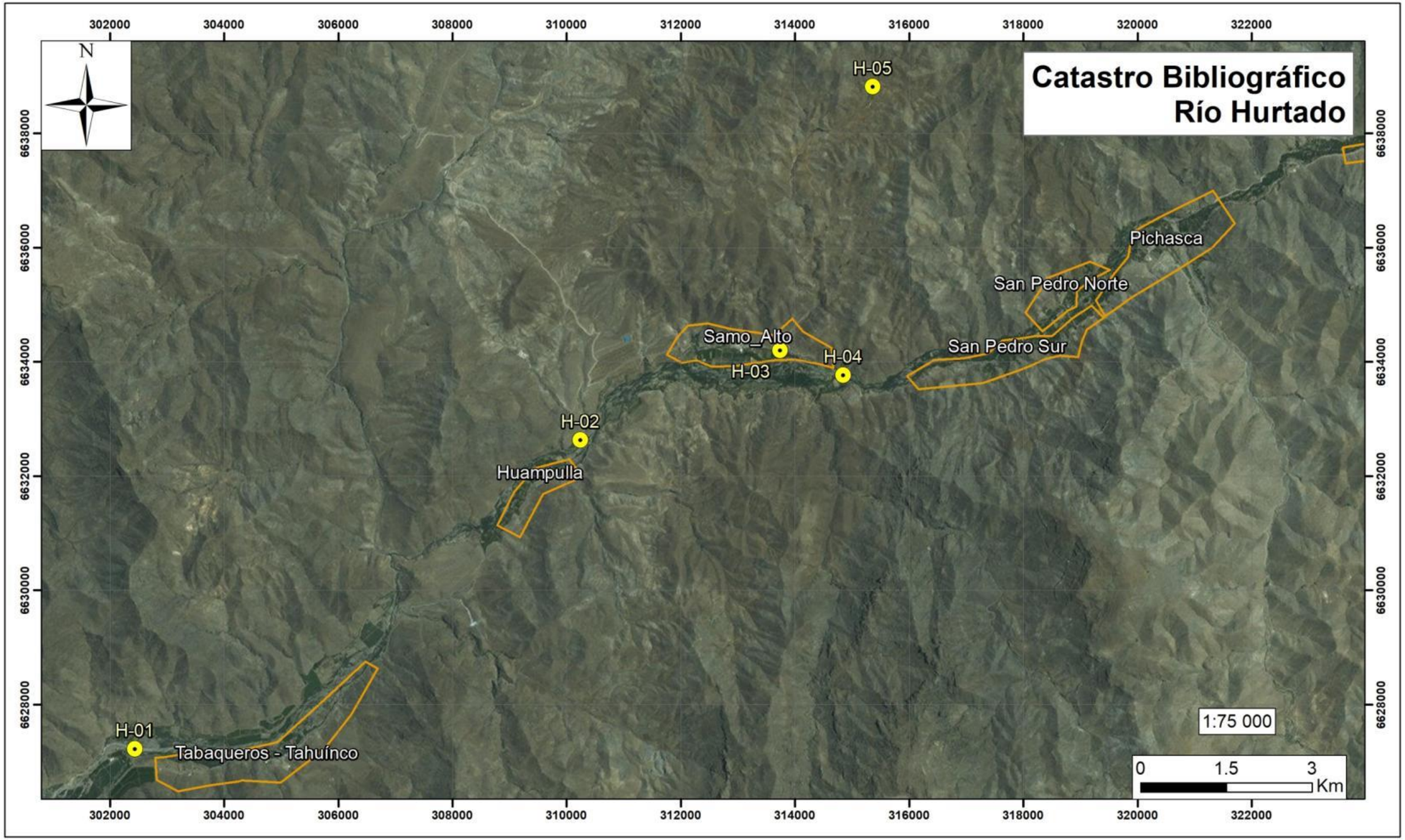
Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en la TABLA Nº 7.3-15.

FIGURA Nº E-8 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en la comuna de Punitaqui.



Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en la TABLA Nº 7.3-15.

FIGURA Nº E-9 Ubicación espacial referencial de los eventos de inundaciones y remociones en masa catastrados a partir de referencias bibliográficas en la comuna de Río Hurtado.



Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en la TABLA Nº 7.3-15.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

E.3 INUNDACIONES LITORALES

Al igual que en el catastro de inundaciones por desborde de cauce y remociones en masa, en este caso también se consultó la bibliografía mencionada en el inicio de este Anexo. Cabe mencionar que, además, se revisó la información disponible en el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

La información recogida para el registro de marejadas e inundaciones provocadas por movimientos tectónicos (presentada en la TABLA Nº 7.3-18) fue ordenada de acuerdo a los siguientes datos:

- **Año:** año en que ocurrió el evento catastrado.
- **Fecha/Hora:** día (si existe esa información) y mes de la inundación y hora local aproximada a la que habría ocurrido el sismo.
- **Localidad/epicentro:** corresponde a la localidad en que se genera el tsunami con mayor intensidad y el epicentro del sismo.
- **Descripción evento:** explicación sobre el evento ocurrido enfocada a los daños ocasionados.
- **I:** corresponde a la intensidad según 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 (ver TABLA Nº 7.3-2 en ANEXO 8B.2.1.3).
- **I daños:** interpretación de intensidad de daños para cada evento. Para estimar una intensidad de daños, se utiliza una escala basada en la descripción obtenida a partir de la escala modificada de Inamura para intensidad de tsunamis, dándole a cada evento un valor cualitativo (TABLA Nº 7.3-17). Considerando la escasa población humana en este sector, el estimar un nivel de daño en base a las insuficientes descripciones para la zona resulta complejo y, en general, sólo es posible obtener descripciones en regiones más pobladas tanto al norte como al sur, por lo que es posible inferir un grado de efecto en el área de estudio.
  Para los casos en que la descripción no es suficiente para darle al evento un valor de daños, se realiza una estimación si es posible, agregando un signo de interrogación ("?"). Si no existe descripción de los daños, se indica como s/i (sin interpretación). En la TABLA Nº 7.3-17 se indica la escala de intensidad de daños utilizada en base.

- **Zonas afectadas:** sectores de la Provincia de Limarí afectados por el evento catastrado (a modo general).
- **Referencias:** fuentes de la bibliografía que mencionan el evento.

TABLA Nº 7.3-17 Escala de daños de tsunamis según escala de Inamura.

Intensidad de daños para este estudio		Intensidad según Escala modificada de Inamura
SD	Sin Daños	0
B	Bajo	1
M	Medio	2
F	Fuerte	3
MF	Muy fuerte	4

Fuente: Elaboración propia.

TABLA Nº 7.3-18: Tsunamis e inundaciones por marejadas en la Región de Coquimbo obtenidas a partir de información bibliográfica desde 1604 hasta el 2015.

Año	Fecha / Hora	Localidad / epicentro	Descripción evento	I	I daños	Zonas afectadas	Referencias
1604	17- Jun / 12:30	La Serena/ Desconocido	Tsunami destructivo, en particular en la costa de Perú, donde destruyó la mayoría de los navíos.	(?)	s/i	-	Urrutia y Lanza, 1993; Taulis 1938.
1730	08- Jul / 4:45	Valparaíso / 3653063 686847	Desde Coquimbo hasta Valdivia y destruyó casi 600 m de costa. En el puerto de Valparaíso devastó las bodegas donde se almacenaba trigo y otros productos del comercio con Perú, mientras que en también en Concepción se habría experimentado aún con mayor intensidad. No hay descripción de tsunami para la Provincia del Limarí.	1	B	Coquimbo a Valdivia	Taulis 1938; Palma 2014; Madariaga 1998, Lomnitz 2004; H. Berninghausen 1962; CSN.
1819	11- Abr / 23:00	Copiapó / 2986828 599218	Tsunami destructor entre Huasco y Constitución, en particular la ciudad de Caldera fue seriamente dañada, en donde se registró una ola de 4 m. Las olas grandes continuaron por 24 horas.	1	B	Copiapó a Constituación	Urrutia y Lanza, 1993; Taulis 1938; Comte et al. 2002; H. Berninghausen 1962 ; CSN; NOAA.
1849	17-Dic / 6:00	Coquimbo / 3209634 694820	Tsunami de carácter moderado en Coquimbo, con una ola de 4,5-5 mts. A los diez minutos de ocurrido el terremoto, el mar retrocedió rápidamente, lo cual casi provocó el hundimiento de dos barcos, retornando posteriormente con gran velocidad y fuerza, destruyendo dos atracaderos de madera en la fundición de cobre e inundando ocho hornos, cinco de los cuales explotaron. Variación máxima del nivel del mar: 5m en Coquimbo.	2	M	Coquimbo	Urrutia y Lanza, 1993; SHOA; CERESIS; Lomnitz 2004; Benkhe 2017 ; H. Berninghausen 1962.
1880	15- Ago / 8:48	Illapel y Petorca / 3431318 690950	Fuertes marejadas en Coquimbo, destrucción de cables submarinos que cortaban el Río Limarí.	2	M	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Lomnitz 2004; Madariaga 1998; CSN.
1922	10- Nov / 23:53	Coquimbo y Vallenar / 3097605 598325	El tsunami arribó inmediatamente a la sección costera entre Vallenar y Coquimbo y arrasó las ciudades de la costa. El movimiento inicial aquí fue un gradual ascenso del nivel del mar. El período de ondas sucesivas fue de 15 a 20 minutos. En Coquimbo, el tsunami arribó dos horas después del terremoto, donde la tercera onda que fue la mayor, alcanzó 7 metros sobre el nivel medio del mar, ahogándose varios cientos de personas. En las partes bajas de Coquimbo, principalmente en la zona de ferrocarriles, alcanzó los 5 m de altura y desbordó con facilidad e inundó, volteó carros de trenes y destruyó casas; botes pequeños y lanchas quedaron ubicadas en la carretera. El tsunami fue registrado a lo largo de casi toda la cuenca del océano Pacífico.	2-3	M-F	Vallenar a Coquimbo.	Urrutia y Lanza, 1993; Taulis 1938; Madariaga 1998; 24horas; Lomnitz 2004; H. Berninghausen 1962; SHOA, CERESIS
1955	19-Abr / 20:24	Los Vilos / 3209634 694820	Generado por un sismo de magnitud 7,1 Mw. Ola de 0,9 m en Coquimbo y Tongoy. Generó daños en la infraestructura costera e inundación. No hay registro para la Provincia del Limarí.	1	B	Arica a Coquimbo y Tongoy	CERESIS; SHOA
1971	08- Jul / 23:03	Illapel / 3542183 688927	Provocó un maremoto moderado sin mayores daños. No hay descripción para la Provincia del Limarí.	0	SD	Illapel hacia la costa.	Urrutia y Lanza, 1993; USGS, Madariaga 1998.

Año	Fecha / Hora	Localidad / epicentro	Descripción evento	I	I daños	Zonas afectadas	Referencias
2015	16-Sept / 19:54	Coquimbo / 3431318 690950	El SHOA decretó alarma de Tsunami para las costas de Chile, levantándola durante la madrugada del 17 para todo el territorio nacional. El tsunami destruyó el puerto Coquimbo y 17 caletas artesanales (de 31) con 400 embarcaciones dañadas. La amplitud máximas registrada por las estaciones de nivel del mar del SHOA fue de 4,75 mts en Coquimbo con un período de onda de 20 minutos. En la provincia del Limarí hay 8 caletas que fueron duramente golpeadas con los efectos del terremoto y posterior tsunami, todas sufrieron daños, en especial la Caleta Totoral. En cuanto a la Caleta Sierra la inundación fue muy grande (400 m) y los pobladores señalaron que pasados los 2 o 3 minutos de sucedido el terremoto, ingresó el agua abruptamente a su poblado, destruyendo de forma inmediata alrededor de 3 viviendas. La Caleta Talquilla presentó pérdida total de viviendas, sede social y equipamiento de apoyo (cubierto de escombros), la Caleta Sierra tuvo daños en viviendas y la Caleta Totoral, daños en casetas, materiales y embarcaciones.	2	M	Limarí, Coquimbo	CSN; PTWC; Ovallehoy, USGS; ONEMI; vivechileelqui.cl http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/36021-2.pdf
2016	10- Feb / 21:33	Ovalle / 3320469 692915	El SHOA indicó que las características del sismo no reúnen las condiciones necesarias para generar un tsunami en las costas de Chile por lo que sólo se registraron inundaciones por marejadas en la costa de Limarí.	1	B	Limarí	USGS; SHOA; CSN, El mercurio.

Fuente: Elaboración propia a partir de referencias citadas en la tabla.

E.4 SISMICIDAD

Se construyó un catastro de los sismos históricos más significativos que han afectado a las comunas de la Provincia del Limarí desde el año 1604 hasta el 2016, en base a información bibliográfica indicadas en la TABLA Nº 7.3-9, TABLA Nº 7.3-10 y TABLA Nº 7.3-11. El catastro obtenido (presentado en la TABLA Nº 7.3-21) fue ordenado de acuerdo a los siguientes datos:

- **Año:** año en que ocurrió el evento catastrado.
- **Fecha/Hora:** día (si existe esa información) y mes de la inundación y hora local aproximada a la que habría ocurrido el sismo.
- **Localidad/epicentro UTM**
- **Proceso:** el tipo de proceso de generación del sismo.
- **M:** la magnitud del sismo según escala de Richter.
- **MM (local):** intensidad de los sismos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras, de acuerdo a la escala de Mercalli modificada (MM) (TABLA Nº 7.3-19).
- **Descripción del evento sísmico:** explicación sobre el evento ocurrido enfocada a los daños ocasionados.
- **I daños:** Para medir la intensidad de los daños generados por un determinado sismo, se creó una escala basada en la escala de intensidades de Mercalli (TABLA Nº 7.3-19) con el objetivo de obtener un valor cualitativo de los efectos del evento en función de la descripción disponible (TABLA Nº 7.3-20). Para los casos en que la descripción no es suficiente para darle al evento un valor de daños, se realiza una estimación si es posible, agregando un signo de interrogación ("?"). Si no existe descripción de los daños, se indica como s/i (sin interpretación).

- **T:** si este evento generó un tsunami cerca de la costa del Limarí, o bien dentro de la región de Coquimbo, se denota con una "X".
- **Zonas afectadas:** sectores de la Provincia de Limarí afectados por el evento catastrado (a modo general).
- **Referencias:** fuentes de la bibliografía que mencionan el evento.

TABLA Nº 7.3-19: Escala de Mercalli modificada: Clasificación de sismos basando en intensidad-

Grado	Descripción
I - Muy débil.	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables. Aceleración menor a 0,5 Gal.
II - Débil.	Perceptible solo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar. Aceleración entre 0,5 y 2,5 Gal.
III - Leve.	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo perciben como un terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño. Aceleración entre 2,5 y 6,0 Gal.
IV - Moderado	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande. Aceleración entre 6,0 y 10 Gal.
V - Poco fuerte.	Sacudida sentida casi por todo el país o zona y algunas piezas de vajilla o cristales de ventanas se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo. Aceleración entre 10 y 20 Gal.
VI - Fuerte.	Sacudida sentida por todo el país o zona. Algunos muebles pesados cambian de sitio y provoca daños leves, en especial en viviendas de material ligero. Aceleración entre 20 y 35 Gal.
VII - Muy fuerte	Ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en

Grado	Descripción
	movimiento. Aceleración entre 35 y 60 Gal.
VIII - Destructivo	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes. Daño severo en estructuras pobremente construidas. Mampostería seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar. Aceleración entre 60 y 100 Gal.[3] [4]
IX - Muy destructivo	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con derrumbes parciales. Edificios desplazados fuera de las bases. Aceleración entre 100 y 250 Gal.[3] [4]
X - Desastroso	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Vías ferroviarias dobladas. Aceleración entre 250 y 500 Gal.
XI - Muy desastroso	Pocas estructuras de mampostería, si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Vías ferroviarias curvadas en gran medida. Aceleración mayor a 500 Gal.
XII - Catastrófico	Destrucción total con pocos supervivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie.

Fuente: SHOA

TABLA Nº 7.3-20: Escala de daños de sismos según escala de Mercalli modificada

Intensidad de daños para este estudio		Intensidad según escala de Mercalli
Sin Daños	SD	I-IV
Bajo	B	V-VI
Medio	M	VII
Fuerte	F	VIII
Muy Fuerte	MF	IX-XII

Fuente: Elaboración propia

TABLA Nº 7.3-21: Registro histórico de los sismos que han afectado al área de estudio desde el siglo XVII.

Año	Fecha / Hora	Localidad / epicentro Geográficas	Proceso	M	MM (local)	Descripción del evento sísmico	I daños	T	Zonas afectadas	Referencias
1604	17- Jun / 12:30	La Serena / Desconocido	Interplaca de subducción	7,2 (?)	VIII (?)	Destruyó la mayoría de los edificios, entre ellos la Iglesia Matriz y El Cabildo. No hay descripción para la zona del Limarí.	F (?)	x	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Taulis 1938.
1647	13-May/ 22:30	Santiago / -35.000 / -72.000	Intraplaca	8,0	VIII en Coquimbo (?)	Ruina de la ciudad de Santiago, el área de destrucción se extendió al Maule, Choapa y Limarí, se sintió hasta el Cuzco, Buenos Aires y Valdivia, e estima que sobre 600 personas fallecieron producto del movimiento sísmico, que arrasó con casi la totalidad de las construcciones coloniales existentes en las ciudades afectadas.	F (?)	-	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Costernas 2012; Taulis 1938; CSN.
1730	08- Jul / 4:45	Valparaíso / -33.050 / -71.630	Interplaca de subducción	8,7	VI (?)	Sismo en Chile central. Grandes daños en Illapel, Petorca, San Felipe, TilTil y Renca. El área daminificada se extendió hasta La Serena, y Coquimbo al norte y Chillán al sur.	B (?)	x	Limarí)	Taulis 1938; Palma 2014; Madariaga 1998, Lomnitz 2004; H. Berninghausen 1962; CSN.
1796	30- Mar / 6:45	Copiapó / -27.350 / -70.350	Interplaca de subducción	7,7	VIII en Coquimbo (?)	Terremoto que afectó desde la III hasta las V región y arruinó la ciudad de Copiapó, los estragos llegaron hasta Huasco, Vallenar, La Serena y Coquimbo.	B	-	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Taulis 1938; Lomnitz 2004. CSN.
1819	11- Abr / 23:00	Copiapó / -27.350 / -70.350	Interplaca de subducción	8,3	Desconocido	Epicentro a 67 km. Al noroeste de Caldera. El sismo duró aproximadamente 7 minutos y destruyó casi por completo la ciudad de Copiapó, con una ruptura aproximada de 350 km. Sólo algunas casas de madera se mantuvieron en pie. Grietas aparecieron en el suelo y en algunas se observó desplazamiento. Las réplicas duraron aproximadamente 6 meses. Los daños se extendieron hasta la zona de la ciudad de La Serena y Vallenar, en esta último los daños fueron menores No hay registros para específicos para la Provincia de Limarí.	s/i	x	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Taulis 1938; Comte et al. 2002; H. Berninghausen 1962 ; CSN.
1822	19- Nov / 22:30	La Ligua / -33.050 / -71.630	Interplaca de subducción	8,5	VII en Santiago	Afectó entre las regiones de Atacama y del Maule. Se contabilizaron 170 réplicas. Severos daños en Santiago y Valparaíso, mayormente en casas de adobe. No hay descripción para el Limarí	B	x	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Madariaga 1998, Lomnitz 2004; Behnke 2017; H. Berninghausen 1962; CSN.
1847	08- Oct / 11:30	La Serena/ -31.610 / -71.180	-	7,3	VII- VIII en Coquimbo y La Serena, VI en Santiago	Se sintieron dos fuertes sismos en La Serena, precedidos por fuertes temblores en Copiapó, La Ligua y Petorca ese mismo año, varios edificios se derrumbaron y muchas casas quedaron convertidas en escombros.	M-F		Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Lomnitz 2004, Behnke 2017; CSN.

1849	17-Dic / 6:00	Coquimbo / -29.950 / -71.370	-	7,5	VI en Santiago	Fuerte sismo en La Serena. En Ovalle también el evento se sintió intenso. No así en Elqui.	M	x	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; SHOA; CERESIS; Lomnitz 2004; Benkhe 2017 ; ; H. Berninghausen 1962.
1851	02-Abr / 6:48	Coquimbo / 3653063 686847	Interplaca de subducción	7,1	VIII en Santiago y Valparaíso	Perjuicios principalmente en Santiago y Valparaíso. Afectado desde Talcahuano al sur hasta Cobija al note. No hay descripción del sismo para la Provincia del Limarí.	s/i	-	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; Taulis 1984
1876	11- Nov / 23:34	Illapel / -32.510 / -71.212	Desconocido	7,5	VIII en Illapel	Fue apreciado en gran parte del norte de Chile, probablemente con epicentro en Illapel. El 93% de las construcciones presentaron daños graves, y el restante 7% reportó daños menores. Murieron 20 personas, hubo 100 heridos y 700 damnificados graves (casas destruidas completamente).	F	-	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993.
1880	15- Ago / 8:48	Illapel y Petorca / -31.620 / -71.180	Interplaca de subducción	7,7	IX en Illapel, V en Rancagua	Fue percibido entre Chañaral y Chillán, entre la Región de Atacama, y el norte de la Región del Biobío; también se pudo percibir en la ciudad argentina de Mendoza y en Antofagasta. Las ciudades más afectadas fueron Illapel y La Ligua, donde hubo deslizamientos de tierra en especial en Illapel y Petorca. Los temblores siguientes afectaron aún más las construcciones de las ciudades de todo el sector afectado. En total murieron 25 personas, 708 heridos y 3.847 damnificados. En Illapel, el 73% de las estructuras sufrieron grandes daños, mientras que un 69% en La Ligua.	F	x	Limarí (?)	Urrutia y Lanza, 1993; Lomnitz 2004; Madariaga 1998; CSN.
1918	21- May / 12:57	Elqui / -28.500 / -71.500	Interplaca de subducción	7,9	IX en el Valle del Elqui, VIII en Ovalle	El foco estuvo en el Valle del Elqui. En la Serena hubo derrumbe de viviendas y edificios públicos. En Ovalle y Vicuña se agrietaron varios edificios y se cortaron los cables eléctricos y de telefonía. En Coquimbo se abrieron grietas en la tierra. Deslizamientos de tierra interrumpieron el tráfico ferroviario entre La Serena y Elqui y entre La Serena y Coquimbo. Hubo réplicas por varios días.	F	-	Ovalle	Urrutia y Lanza, 1993 ; H. Berninghausen 1962
1922	10- Nov / 23:53	Coquimbo y Vallenar / -28.500 / -70.000	Interplaca de subducción	8,3 9	VIII en Ovalle y Coquimbo	Un fuerte terremoto sacudió a las ciudades de Vallenar y Coquimbo, el sismo se sintió por lo menos entre Antofagasta y Santiago, con una intensidad de VIII a IX grados según el servicio sismológico chileno, con su foco entre los valles del Elqui y Choapa. Murieron 880 personas.	F	x	Ovalle	Urrutia y Lanza, 1993; Taulis 1938; Madariaga 1998; 24horas; Lomnitz 2004; H. Berninghausen 1962; SHOA.
1927	14-Nov	Monte Patria -	Desconocido	6,7	Desconocido	Sismo con epicentro a unos 20 km al sureste de Monte Patria, con profundidad de 50 km.	B(?)	-	Monte Patria (?)	Conte 1968

1943	06-Abr / 12:07	Ovalle / -30.750 / -72.000	Interplaca de subducción	8,2	XI en Combarbablá	Sismo intenso con epicentro costa afuera de Ovalle. El movimiento telúrico destruyó Combarbalá, Ovalle, Salamanca e Illapel. Hubo deslizamientos de tierra hacia la costa. El terremoto causó 25 muertos, 5 de ellos por el colapso de un tanque de relaves cerca de Ovalle, también hubieron 49 heridos y más de 23.000 damnificados. Profundidad del sismo a 35 km.	MF	x	Combarbalá, Ovalle, Salamanca	ONEMI; USGS; CSN; Lomnitz 2004; Madariaga 1984; H. Berninghausen 1962
1965	28- Mar / 8:33	La Ligua / -32.418 / -71.100	Intraplaca oceánica	7,4	IX en La Ligua, Salamanca e Illapel.	Miles de damnificados y pérdidas materiales en las Provincias de Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso y Santiago, cortes de suministros e interrupción de comunicaciones. La región más afectada fue entre las provincias de Santiago, Aconcagua y Valparaíso y el sur de Limarí en Coquimbo. Fue percibido desde Copiapó hasta Osorno, y por el oriente hasta Mendoza y Buenos Aires. Debido a que el material de construcción predominante de la época en la zona era el adobe, fueron dañadas gravemente una gran cantidad de las viviendas. El sismo provocó que un tranque de relaves de la mina El Soldado cediera provocando un aluvión resultando con la muerte de 35 personas en el pueblo minero El Cobre en la ciudad de La Calera. No hay descripción para la Provincia del Limarí.	MF(?)	-	Limarí al sur	CSN; ONEMI; Urrutia y Lanza, 1993; Madariaga 1984, diario El día.
1971	08- Jul / 23:03	Illapel / -32.511 / -71.207	Interplaca de subducción	7,5	V en Ovalle y VIII en La Ligua	Afectó las provincias de Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso y Santiago. Viviendas de adobe dañadas. Caminos y puentes destruidos. Hubo cuantiosos daños en las 4 comunas existentes esa época. Ovalle quedó sin agua por 3 días y el 28% de las casas quedaron agrietadas especialmente en la periferia. En La Chimba, 30 familias fueron evacuadas y trasladadas. En Tulahuén hubo un herido y siete casas perjudicadas. En Rapel se cayó la escuela y varias casas agrietadas pero no hubieron heridos. En Punitaqui el temblor se sintió fuerte, hubo pánico pero los daños no fueron cuantiosos, sólo hubo un corte en el camino entre Punitaqui y Combarbalá Profundidad del sismo: 40 km.	B	x	Ovalle, Combarbalá	Urrutia y Lanza, 1993; USGS, Madariaga 1998.
1975	13- Mar / 11:34	Coquimbo / -37.425 / -72.333	Desconocido	7,7	VII en Coquimbo y VI en Ovalle	El epicentro se ubicó en el mar frente al puerto de Coquimbo. Ocasionó dos muertos, treinta heridos y cuantiosos daños materiales. La Serena y Coquimbo sufrieron daños en las viviendas. Hubo dos muertos en la región y 456 casas destruidas entre Coquimbo y La Serena.	B	-	Limarí	Urrutia y Lanza, 1993; USGS; CERESIS, Diario El Día.

1997	15- Oct / 22:03	Punitaqui / -30.773 / -71.315	Intraplaca continental	7,1	VI a VII en Ovalle, Combarbalá y Río Hurtado y VIII en Punitaqui.	Sismo que afectó entre la II y IX región, con su mayores efectos en la IV Región, en especial en Punitaqui, incluyendo daños en las viviendas y edificios públicos, cortes parciales de energía eléctrica y suspensión del sistema telefónico en la IV región. En el caso antiguo de la ciudad se registraron desprendimiento de cornisas y quebrazón de vidrios. Hubo 7 muertos y 194 heridos en la Provincia de Limarí y 8 muertos y 59.913 damnificados en total. El epicentro se situó a 10 Km. al norte de Punitaqui y a 50 km. de la costa a una profundidad de 55 kilómetros.	M-F	-	Ovalle, Punitaqui, Combarbalá, Río Hurtado, Monte Patria	ONEMI 1997 ; USGS; CSN; Madariaga 1998.
2003	20- Jun / 13:30	Ovalle / -30.653 / -71.533	Interplaca de subducción	6,2	VII Ovalle y VI en Coquimbo	El Servicio de Sismología de la Universidad de Chile informó que la duración del temblor fue de un minuto y 40 segundos y fue percibido también en Mendoza y Buenos Aires, Argentina. Su epicentro se ubicó a 55 kilómetros al oeste de Punitaqui, a una profundidad de 24 kilómetros, en una zona costera cercana a Ovalle. Provocó daños estructurales menores en viviendas, cortes parciales de los servicios eléctricos y telefónicos y bloqueos momentáneos de caminos interiores por rodados fueron las consecuencias en la región de Coquimbo.	M	-	Ovalle, Punitaqui, Combarbalá, Río Hurtado, Monte Patria	USGS; CSN; Diario estrellavalpo.
2015	16-Sept / 19:54	Coquimbo / -31.637 / -71.741	Interplaca de subducción	8,4	VIII en Ovalle, La Serena y Coquimbo e Illapel	El epicentro se ubicó a 37 kilómetros al noroeste de Los Vilos. Fue percibido en gran parte del país, y también en algunas zonas de Argentina, Uruguay y Brasil. Se registraron dos muertos en la provincia del Limarí, 79 casa destruidas en Monte Patria. Corte de suministro eléctrico en toda la provincia y rutas cortadas en su mayoría. Caminos rurales intransitables por rodados al igual que en carreteras. La profundidad del sismo fue de 11,1 km.	F	x	Ovalle, Punitaqui, Combarbalá, Río Hurtado, Monte Patria	CSN; PTWC; Ovallehoy, USGS; ONEMI.
2016	10- Feb / 21:33	Ovalle / -37.004 / -73.610	Desconocido	6,3	Ovalle VIII y Punitaqui y Monte patria V	El epicentro se ubica 40 km. Al oeste de Ovalle. El hipocentro del sismo se ubicó a 43 km. La duración fue de al menos 20 segundos. Preliminarmente, no se reportan daños a personas, alteración a servicios básicos o infraestructura producto de este sismo, sólo se reportan cortes de luz en Tongoy, Guanaqueros y Vicuña, lo que causó la salida de las personas que se encontraban en las zonas de veraneo. Automovilistas, además, reportaron caída de piedras a la Ruta 5 Norte. Dos réplicas se registraron posteriormente, de 4,7 y 4,5 grados Richter en las cercanías de Ovalle y Tongoy.	F	x	Limarí	USGS; SHOA; CSN, tele 13, El Mercurio.

Fuente: Elaboración propia a partir de las referencias citadas en el cuadro. Ubicación en base al NEIC.

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

ANEXO F MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE LOS ASENTAMIENTOS POBLADOS

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO