# **ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE TENO**



# ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS PLAN REGULADOR COMUNAL DE TENO

INFORME DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y VULNERABILIDAD

# TENO Y COMALLE, COMUNA DE TENO

El presente documento es el "INFORME FUNDADO DE RIESGOS" correspondiente al anexo Memoria Explicativa del PLAN REGULADOR COMUNAL DE TENO, para las áreas urbanas de TENO Y COMALLE, COMUNA DE TENO, encargado por la llustre Municipalidad de TENO a HABITERRA Ltda.

#### EQUIPO CONSULTOR:

Isabel Zapata Alegria., Arquitecta Planificador Directora de Estudio Fabián Garrido Saldia., Ing. Geomensor - Especialista SIG.

> Rodrigo Rauld Pioti, Geólogo, Doctor en Ciencias Profesional Responsable.

> > CONTRAPARTE TÉCNICA: Ilustre Municipalidad de TENO



# **ÍNDICE DE CONTENIDOS**

1.	Introducción	3
1.1	Ubicación del Área de Estudio	3
1.2	Objetivo General del Estudio	3
1.3	Objetivos	
1.4	Alcance y limitaciones del presente informe	
1.5	Marco Jurídico y nomenclatura utilizada en este informe	
2.	Metodología	
2.1	Definición del Área de Estudio.	6
2.2	Recopilación y revisión de antecedentes	6
Rec	opilación Bibliográfica	6
	as técnicas al área de estudio	
	pretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales	
2.3	Catastro de Peligros Geológicos	
2.4	Generación de Modelos Topográficos	0
3.	Antecedentes recopilados y revisados	10
3.1	Cartografía	10
3.2	Fotografías aéreas e imágenes satelitales	
3.3	Informes y mapas geológicos en la zona	
3.4	Antecedentes disponibles de eventos históricos de inundación y remoción en masa	
3.5	Antecedentes disponibles de eventos volcánicos y de sismicidad	
-m t-m.		
4.	Marco Geológico y Geomorfológico	11
4.1	Marco geodinámico	11
4.2	Marco geomorfológico	12
4.3	Marco Geológico	13
Unic	lades de roca	13
	ósitos no consolidados	
1.5		
5.	Morfometría	17
5.1	Introducción	17
5.2	Modelo Digital de Terreno	
5.3	Carta de Pendientes	
5.4	Carta de Exposición	
5.5	Conclusiones del Capítulo Morfometría.	
6.	Identificación y Catastro de Peligros geológicos	
6.1	Inundaciones	
lave	ntario de inundaciones terrestres (desbordes de cauces y anegamientos)	26
	ntario de inundaciones litorales por maremotos	
6.2	Remociones en masa	
7.	Zonificación de Susceptibilidad	30
7.1	Susceptibilidad de inundaciones terrestres	30
7.2	Susceptibilidad de remociones en masa	
8.	Referencias Citadas en el Texto	

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Ubicación área de estudio	3
Ilustración 2-1: Diagrama de flujo de trabajo propuesto	7
Ilustración 4-1: Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico.	12
Ilustración 4-2:Principales unidades morfoestructurales.	13
Ilustración 4-3: Mapa geológico regional	14
Ilustración 5-1: Modelo de Elevación generado a partir de SRTM	18
Ilustración 5-2: Zoom del Modelo de Elevación generado a partir de SRTM	19
Ilustración 5-3: Carta de Pendientes generado a partir de SRTM	21
Ilustración 5-4:Zoom de la Carta de Pendientes generado a partir de SRTM	22
Ilustración 5-5: Carta de Exposición generada a partir de SRTM	23
Ilustración 5-6: Zoom de la Carta de Exposición generada a partir de SRTM	24
Ilustración 7-1: Ubicación de las zonas de interés respecto de los cauces activos	31
Ilustración 7-2: Mapa geológico escala 1:10.000 del sector de Comalle. Se indican los depósitos de remocen masa identificados al norte del canal, en el Cerro Comalle.	ciones
Ilustración 7-3: Carta de pendientes de la localidad de Comalle.	34
Ilustración 7-4: Zonas de susceptibilidad de remociones en masa en la localidad de Comalle	35
Ilustración 7-5: Carta de pendientes de la localidad de Teno	36
Ilustración 7-6: Zonas de susceptibilidad de remociones en masa en la localidad de Teno	
Ilustración 7-7: Canal de Comalle, a los pies del Cerro Comalle (a la izquierda del canal)	37
llustración 7-8: Canal de ENDESA, en la localidad de Teno (a la izquierda del canal)	37
Ilustración 8-1: Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso	A-3
Ilustración 8-2: Clasificación de los tipos de inundaciones	B-2
llustración 8-3: Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el ma constituyente de la ladera	aterial
llustración 8-4: Ejemplos de deslizamientos. A. Deslizamiento Rotacional, B. Deslizamiento traslacional	B-6
llustración 8-5: Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abras 6	iónB-
<u>ÍNDICE DE CUADROS</u>	
Cuadro 1-1: Cuadro de homologación "áreas de riesgo" según el artículo 2.1.17 del OGUC	5
Cuadro 2-1: Resumen Peligros Geológicos a ser estudiados y su escala de trabajo	9
Cuadro 5-1: Estadística de los Modelos de Elevación	17
Cuadro 5-2: Estadística de Pendientes.	20
Cuadro 5-3. Estadística del Mapa de Exposición	22
Cuadro 6-1: Registro de crecidas en la cuenca del río Mataquito hasta el año 1986	27
Cuadro 6-2: Catastro histórico de eventos pluviométricos extremos que han causado inundaciones el alrededores de las localidades de Teno y Comalle.	27
Cuadro 7-1: Clasificación frente a posibles movimientos de ladera	32

#### INTRODUCCIÓN

La Ilustre Municipalidad de Teno ha solicitado la realización de un estudio de riesgos de las localidades de Teno y Comalle. El objetivo de este estudio, es reunir información que sirva de base para la definición de zonas de riesgo, sugerir medidas de mitigación y generar recomendaciones para la formulación del Plan Seccional, que permitirá reglamentar la ocupación de este territorio en conformidad con la Ley General de Urbanismo y Construcciones, L.G.U.C., artículo 60 y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, O.G.U.C., artículo 2.1.17.

#### 1.1 Ubicación del Área de Estudio

La Comuna de Teno se ubica en el límite norte de la VII Región del Maule, en la provincia de Curicó. La comuna es atravesada de norte a sur por la Ruta 5, que es la principal vía de acceso terrestre. Para acceder a la localidad de Teno, se debe tomar la ruta J-40, y avanzar hacia el poniente 1,5 km. Desde ahí, continuando por la misma ruta, 12 km más al poniente se accede a la localidad de Comalle.

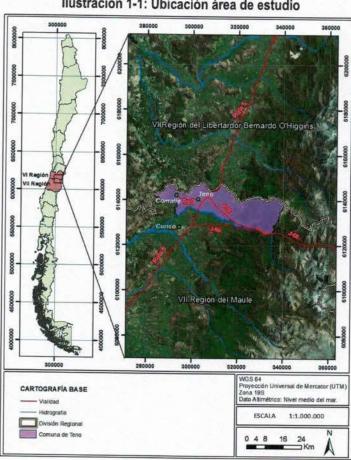


Ilustración 1-1: Ubicación área de estudio

Fuente: Elaboración propia

#### 1.2 Objetivo General del Estudio

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar, mediante el reconocimiento y delimitación, las áreas de riesgos y zonas no edificables de las localidades de Teno y Comalle, de la comuna de Teno, sugerir medidas de mitigación y generar recomendaciones para la formulación del Plan Seccional que permitirá reglamentar la ocupación de este territorio en conformidad con la Ley General de Urbanismo y Construcciones, L.G.U.C., artículo 60 y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, O.G.U.C., artículo 2.1.17.

#### 1.3 Objetivos

Los objetivos del presente estudio de riesgos de acuerdo a la propuesta metodológica, corresponden a:

- Recopilar y revisar los antecedentes disponibles.
- Generación de Modelos Topográficos.
- Realizar el catastro histórico de peligros geológicos.

#### 1.4 Alcance y limitaciones del presente informe

Para esta etapa del trabajo se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de imágenes satelitales, con el objetivo de que en las etapas posteriores se logre evaluar los distintos factores condicionantes de los peligros geológicos para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas. La zonificación se realizará de acuerdo a las definiciones presentadas en el ANEXO A "Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe", a una escala 1:2.000 (considerando que la gran mayoría de la información geológica está a una escala menor a 1:100.000). Se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia (1:2.000), ya que esto puede llevar a errores en la planificación territorial.

## 1.5 Marco Jurídico y nomenclatura utilizada en este informe

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

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

Por "áreas de riesgo", se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se 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 informe, "áreas de riesgo" son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, dado que la zonificación se realizó a partir de mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el ANEXO A "Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe").

En el siguiente cuadro, se presentan los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC y la homologación con la nomenclatura internacional utilizada por este informe¹. A continuación, se desglosa donde se presenta la definición de estos peligros geológicos y los criterios de zonificación utilizados.

 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.1.1 "Inundaciones Terrestres y Litorales".

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

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

El Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa (caída de bloques y flujos de barro y detritos) y los procesos litorales de erosión acentuada. Estos se explican conceptualmente en el Anexo B.1.2 "Procesos de Remoción en Masa".

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

Dentro de este apartado definido por la OGUC se analizan conceptualmente los procesos endógenos internos de la tierra, descritos en el Anexo ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. "¡Error! No se encuentra el origen de la referencia." y Anexo ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. "¡Error! No se encuentra el origen de la referencia."

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

"Áreas de riesgo" según artículo 2.1.17 de la OGUC	Peligros Geo	ológicos estudiados en este informe
<ol> <li>Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos,</li> </ol>	Inundación por desborde de cauces  Anegamiento	
esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos		
	Remociones en masa	Flujo de barro y detritos.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones		Caída de bloques
acentuadas		Deslizamientos
		Retroceso de laderas
	Sismicidad	THE RESERVED
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de	THE STATE OF THE S	Flujos de piroclastos
ava o fallas geológicas	Volcanismo	Caída de piroclastos
		Coladas de lava

Fuente: Elaboración propia en base a la normativa 2.1.17.

#### 2. METODOLOGÍA

Las tareas presentadas en el informe de avance son:

- Definición del Estudio: Elección de la escala de trabajo y área a analizar.
- Recopilación y revisión de los antecedentes disponibles.
- Catastro de Peligros Geológicos: En esta tarea se recopilan los distintos peligros geológicos que han
  afectado las localidades de Teno y Comalle, de la comuna de Teno, con la finalidad de identificarlos,
  ubicarlos espacialmente y ordenarlos cronológicamente si esto último es posible.
- 4. Generación de Modelos Topográficos.
- Revisión y definición de los sectores donde la cartografía base debe ser actualizada para cumplir los objetivos del estudio.
- 6. Ajuste metodológico.

A partir de lo expuesto anteriormente, a continuación se detalla la metodología utilizada para la elaboración de cada uno de los puntos nombrados previamente.

2.1 Definición del Área de Estudio.

El área de análisis corresponde al territorio comprendido dentro de la comuna de Teno, con especial énfasis en las localidades Teno y Comalle.

2.2 Recopilación y revisión de antecedentes

Las caracterizaciones geológica y geomorfológica se realizaron simultáneamente, utilizando los siguientes criterios:

- 1. Recopilación bibliográfica.
- 2. Interpretación de imágenes satelitales.

Recopilación Bibliográfica

Esta actividad incluyó tanto la recepción de la información provista por el mandante como la búsqueda de antecedentes en otras instituciones. Para la recopilación de información, se revisaron diversas fuentes, entre las que se incluyen publicaciones científicas e información generada por entidades públicas (SERNAGEOMIN, SNIT, MUNICIPALIDAD, UNIVERSIDAD DE CHILE, etc.). El objetivo de esta búsqueda fue compilar la siguiente información:

- Cartografía base.
- Cartografía geológica.
- Catastro de centros volcánicos y eventos volcánicos históricos.
- Imágenes satelitales.
- Modelos de Elevación

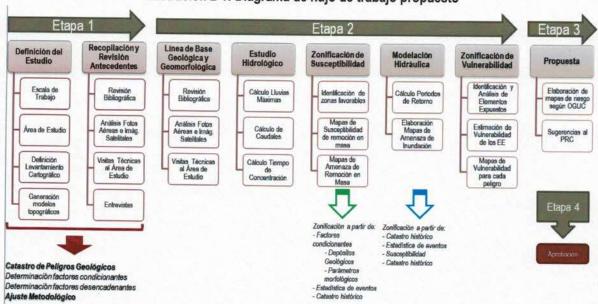


Ilustración 2-1: Diagrama de flujo de trabajo propuesto

Fuente: Elaboración Propia.

La información recopilada corresponde a la información base que es analizada en el presente estudio, y es presentada en el Capítulo 3 "Antecedentes recopilados y revisados" y como lista de referencias en el capítulo 8 "Referencias Citadas en el Texto". Además, la información con características espaciales fue sistematizada y georreferenciada en un Sistema de Información Geográfico.

Visitas técnicas al área de estudio.

Se realizó una visita técnica en el área de estudio, con énfasis en los siguientes objetivos:

- Complementar y afinar la cartografía geológica existente, con particular detalle de las unidades geológicas más recientes.
- 2. Identificar los peligros geológicos reconocidos en el área.
- Complementar y validar la información obtenida en la recopilación bibliográfica
- Revisar la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales realizada.

La salida a terreno se realizó el día 15 de Septiembre del 2014, solo con personal de Xterrae, con el objetivo de identificar los principales problemas que afectan al área de estudio

Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

La fotointerpretación se realizó a partir imágenes de Google Earth © y Bing Maps ©, siendo posible obtener información de diferentes fechas y escalas para el catastro de peligros geológicos.

#### 2.3 Catastro de Peligros Geológicos

El catastro de peligros geológicos se realizó en base a una recopilación de antecedentes bibliográficos, registros históricos e imágenes satelitales. Los peligros geológicos catastrados corresponden a aquellos contenidos dentro del artículo 2.1.17 de la OGUC. Los peligros geológicos analizados corresponden a:

- 5. Procesos Endógenos: Actividad volcánica.
- 6. Procesos Endógenos: Actividad sísmica.
- 7. Procesos Exógenos: Inundaciones terrestres y litorales.
- 8. Procesos Exógenos: Remociones en masa.

Para la elaboración del catastro, se realizaron las siguientes actividades:

- Recopilación bibliográfica
- 2. Interpretación de imágenes satelitales.

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

- Peligros No Zonificables a escala urbana: Corresponde a los peligros geológicos de Volcanismo y Sismicidad. Dada la magnitud de estos peligros, las áreas afectadas no son representables y/o diferenciables a una escala urbana (mayor a 1:10.000), y solo pueden ser analizados en un contexto regional (Escala 1:100.000 o menor). Por ejemplo, toda el área de de la localidad de Teno está expuesta de manera similar a terremotos y no se puede diferenciar, a escala urbana, cuáles áreas son más susceptibles que otras.
- Peligros Zonificables a escala urbana: Corresponde a los peligros de Remociones en Masa e Inundaciones Litorales y Terrestres. Estos peligros son representables a una escala urbana, pudiendo diferenciarse claramente, dada la escala de trabajo, qué áreas son más susceptibles a la ocurrencia de un peligro geológico dado. Por ejemplo, en las zonas de mayor pendiente es más favorable la ocurrencia de deslizamientos que en áreas planas.

En el siguiente cuadro se incluyen los principales peligros geológicos y la escala de las distintas fuentes de información asociadas a cada uno. A continuación se presentan las distintas metodologías que serán utilizadas para efectuar la zonificación de los peligros geológicos considerados zonificables a la escala de trabajo elegida.

## 2.4 Generación de Modelos Topográficos

A partir de la cartografía recopilada utilizando un sistema de información geográfico se elaboraron los siguientes mapas:

- Elevación, a partir de la interpolación de las curvas de nivel o de los modelos de elevación compilados (SRTM).
- Carta de Pendientes.
- Carta de Exposición.

Cuadro 2-1: Resumen Peligros Geológicos a ser estudiados y su escala de trabajo

PELIGRO	DESCRIPCIÓN	PELIGROS ASOCIADOS	ESCALA	ZONIFICACIÓN A PARTIR DE:
	El peligro volcánico, se asocia a los procesos asociados a la erupción de	Lluvia de tefra y proyectiles balísticos	>1:100.000	Antecedentes históricos, mapas de isópacas y comparación con otras zonas
Maladalaa	un volcán. Aunque en general, los centros volcánicos se encuentran	Flujos piroclásticos	1:50.000	
Volcánico	énico emplazados donde la densidad demográfica es baja, los productos asociados a una erupción volcánica pueden tener alcances de centenares de kilómetros.	Escurrimiento de Lavas	1:50.000	Antecedentes históricos, mapas de acumulación, mapas geológicos
		Remociones en masa y lahares	1:50,000	
	Sala francisco de la companya della companya della companya de la companya della	Sismicidad	>1:100.000	Antecedentes históricos
Remociones	Procesos en las que un volumen de roca o suelo es transportado por procesos gravitacionales. Se reconocen 2 tipos principales, los deslizamientos y las Caídas de Rocas. Su alcance es en general limitado, y es tratado como un peligro geológico local.	Deslizamientos	1:2.000	Interpretación de fotografías aéreas, mapas geológicos,
en Masa		Desprendimiento o caída de rocas	1:2.000	mapas geológicos, mapas geomorfológicos criterios geotécnicos y mapas temáticos.
	Análisis de los principales peligros	Flujos de detritos	1:2.000	Interpretación de fotografías aéreas, mapas geomorfológicos y mapas geológicos.
Flujos e Inundaciones	asociados a eventos pluviométricos extremos, los flujos de detritos, referidos comúnmente como	Inundaciones por desborde	1:2.000	Antecedentes históricos, interpretación de fotografías aéreas, mapa geomorfológico y mapa geológico. Modelación Hidrológica
		Anegamiento	1:2.000	Antecedentes históricos, interpretación de fotografías aéreas, mapas geomorfológicos y mapa geológicos.
Sismicidad	Se analizaron los principales sismos y los peligros asociados a ellos.	Movimientos de terreno	>1:100.000	Antecedentes históricos y comparación con otras zonas

Fuente: Elaboración Propia.

#### 3. ANTECEDENTES RECOPILADOS Y REVISADOS

#### 3.1 Cartografía

Se utilizó la información cartográfica base disponible en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), tales como hidrografía, vialidad, cuencas, etc, así como la cartografía otorgada por el mandante. Además, dentro de la cartografía base, se incluyó el modelo de elevación SRTM (por sus siglas en inglés, *Shuttle Radar Topography Mission*), con celdas de 90 m.

## 3.2 Fotografías aéreas e imágenes satelitales

Se compilaron y revisaron los catálogos de Imágenes de Google Earth ©, Bing Maps ©, y Yahoo Maps ©, que cubren distintos períodos de tiempo desde el año 2004, con más de 10 años de registro para la zona de estudio.

#### 3.3 Informes y mapas geológicos en la zona

Para el área de estudio, no existen trabajos geológicos de detalle (escala <1:25.000), siendo las únicas fuente de información geológica el trabajo de (Varela, 1982), que estudia los depósitos de relleno de la Depresión Central entre el río Lontué y Bío Bío (inmediatamente al sur del área de estudio), Geología y Peligros Volcánicos del Complejo Volcánico Planchón - Peteroa, elaborado por (Naranjo, 1999) a una escala 1:100.000, y el mapa geológico de Chile a escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003). Esta información se aumentó a una escala adecuada a partir de visitas a terreno, interpretación de imágenes satelitales y cartografía. Se elaboró un mapa geológico regional (escala 1:300.000), el cual fue aumentado para la zona de Comalle (escala 1:10.000), con el objetivo de ampliar la información base para los factores condicionantes de remociones en masa.

## 3.4 Antecedentes disponibles de eventos históricos de inundación y remoción en masa

Se revisaron los antecedentes históricos, publicaciones científicas y entrevistas en terreno con el personal de la municipalidad. El trabajo de (Ortlieb, 1994) muestra que hay cierta correlación entre los años más lluviosos en Chile Central y los eventos ENSO (por sus siglas en inglés, El Niño Southern Oscilation) de intensidad fuerte (F) a muy fuerte (MF++). La información recolectada es complementada con los trabajos científicos de (Urrutia & Lanza, 1993), (González-Ferrán, 1995), (Hildreth, 1991), (Sruoga, 2002) y (Vargas, 2011).

Con respecto a los eventos de remoción en masa, se asume que estos ocurren con mayor frecuencia asociados a eventos sísmicos, volcánicos o producidos por altas intensidades de precipitaciones. Considerando lo anterior, se recopilaron datos de los procesos de remoción en masa a partir de la revisión bibliográfica de los eventos generadores, y de imágenes satelitales.

# 3.5 Antecedentes disponibles de eventos volcánicos y de sismicidad

Para los eventos volcánicos se revisaron las fechas de registro de actividad (Urrutia & Lanza, 1993) y (González-Ferrán, 1995). Los centros eruptivos que se abarcan en la revisión histórica son los volcanes Tupungatito, Maipo y San José ubicados en la Región Metropolitana, los volcanes El Palomo y Tinguiririca de la VI Región y los volcanes Quizapu, Peteroa y Descabezado en la VII Región. De estos, solo se cuenta con registro de actividad desde el siglo XVI en los volcanes Peteroa, San José, Quizapu, Planchón y Descabezado Grande.

La generación del catastro de eventos sísmicos se realizó en base a recopilaciones históricas y de publicaciones científicas (Nishenko, 1985); (Comte, 1991); (Comte, 2002); (Lara, 2003); (Urrutia & Lanza, 1993). La base de datos de sismos utilizada para las representar los sismos históricos de la región es del National Earthquake Information Center (NEIC) del United States Geological Survey (USGS). Esta base de datos corresponde a los sismos registrados en todo el mundo con los instrumentos de dicha institución, e instituciones asociadas, a partir del año 1973. El error asociado a dichos datos es del orden de 50 km, pero dada la cantidad de datos y la extensión temporal de su registro resulta útil para representar la sismicidad a escala regional.

#### 4. MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

#### 4.1 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, et al., 1994), se reconoce activa desde, al menos, el Jurásico (Mpodozis & Ramos, 1989) y ha tenido variaciones en la tasa de convergencia durante el Eoceno – Mioceno que van desde 5 a 15 cm/año (Somoza, 1998).

El segmento ubicado entre los 33° y los 46° S, dentro del esquema de segmentación andina de Mpodozis & Ramos (1989), corresponde a una zona de subducción tipo chilena que se caracteriza por un ángulo de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana de aproximadamente 30°. Este segmento se encuentra al Sur del segmento ubicado entre los 27° S y los 33°, que se caracteriza por una subducción plana (~10°) y se encuentra aparentemente controlado por la subducción de la dorsal asísmica de Juan Fernández. Si se comparan ambos segmentos, se destacan las siguientes características:

- La costa Oeste de la placa Sudamericana tiene un rumbo aproximado NS en el tramo de subducción plana, mientras que al Sur de los 33º la costa posee un rumbo aproximado N20ºE.
- En el tramo Norte, no se aprecia el desarrollo de una depresión central, en cambio se presentan valles transversales en el antearco. Por otro lado, en el segmento Sur, se desarrolla claramente la Depresión Central, con una Cordillera de la Costa y Cordillera Principal bien definidas.
- En el sector de subducción plana no hay registro de volcanismo Holoceno en la Cordillera Principal, mientras que en el área de estudio, el arco volcánico Holoceno se encuentra plenamente desarrollado.

La acumulación y posterior relajación de los esfuerzos producto del régimen de subducción es la causa de que todo Chile, hasta la península de Taitao, sea afectado frecuentemente por terremotos. La gran mayoría de estos sismos y los eventos de magnitud, se originan en la zona del contacto entre placas y corresponden a la liberación súbita de la mayor parte de la energía acumulada durante el proceso de subducción (Ej. Sismos del 6 de abril de 1943 que afectó a la IV Región, 3 de Marzo de 1985 de la V región, sismos de Mayo de 1960 en Valdivia). Los esfuerzos causados por la subducción también se propagan hacia el interior de la placa continental, y se liberan mediante sismos superficiales, normalmente de menor magnitud, pero más destructivos localmente. (Ej. Sismo de Las Melosas de 1958, Sismo de Chuzmisa de 2001). Otros sismos son provocados por la relajación de esfuerzos en la placa de Nazca una vez subductada, estos sismos pueden ser muy destructivos a pesar de no tener las mayores magnitudes (Ej. Sismo de Chillán de 1939, sismo de Punitaqui de 1997 y sismo de Tarapacá 2005).

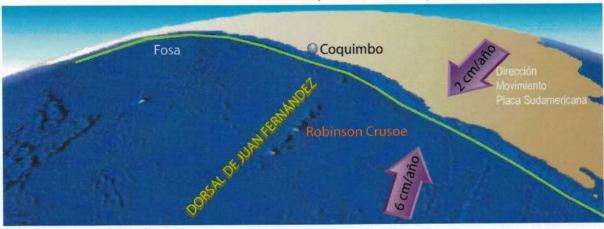


Ilustración 4-1: Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33° S. La línea verde señala la fosa, lugar donde la placa de Nazca subducta bajo la placa Sudamericana. Las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas

#### 4.2 Marco geomorfológico

El segmento andino chileno al Sur de los 33° S, muestra 3 unidades morfoestructurales principales, dispuestas en franjas orientadas Norte – Sur. De Oeste a Este, estas son: Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal (que comparten Chile y Argentina). La Comuna de Teno se ubica casi en su totalidad en el segmento morfoestructural de la Depresión Central, lugar donde se emplazan las localidades de Teno y Comalle. El sector oriental de la comuna se alcanza a formar parte de la Cordillera Principal.

La Cordillera de la Costa se presenta como un cordón montañoso accidentado ubicado al Oeste del área de estudio, y con una orientación general Norte – Sur. Está compuesta por cerros que rara vez sobrepasan los 700 m s.n.m. y cuyas pendientes se concentran entre los 10° y 20°, solo excepcionalmente sobrepasando los 30°. Está formada principalmente por granitoides y metamorfitas del Paleozoico Superior en su flanco occidental y rocas mesozoicas en su flanco oriental, como indica la cartografía geológica disponible.

La Depresión Central se presenta como una franja alargada en dirección Norte-Sur, la cual corresponde a una extensa llanura levemente inclinada hacia el Oeste, la cual se ve ocasionalmente interrumpida por pequeños cerros islas, cuyas alturas no superan los 250 m con respecto a la Depresión Central. En las cercanías de las localidades de Teno y Comalle, la elevación fluctúa entre 300 y 250 m s.n.m.

La Cordillera Principal, está conformada por rocas estratificadas volcánicas y volcanoclásticas, cuyas edades van desde el Eoceno hasta el Mioceno Superior, cubiertas por el arco volcánico actual. Está compuesta por cerros que en promedio se ubican sobre los 2.000 m s.n.m., donde las mayores cumbres se asocian a los principales volcanes del área de estudio (llegando casi a los 4.000 m s.n.m.). El sistema cordillerano configura una sucesión regular de quebradas y valles, las cuales son las vías naturales de evacuación de aguas hacia el mar. En general, en quebradas y valles tienden a formarse abanicos aluviales, de forma lobular y de baja pendiente.

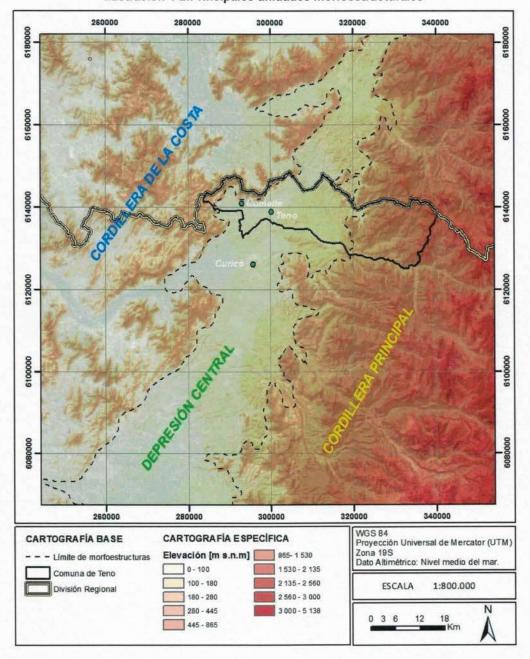


Ilustración 4-2:Principales unidades morfoestructurales

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3 Marco Geológico

Unidades de roca

#### 4.3.1.1 Volcanitas y sedimentitas mesozoicas

Corresponde a una secuencia volcanosedimentaria, plegada y fallada, de ambiente marino y continental cuyas edades van desde el el Bathoniano hasta el Hauteriviano, que afloran en el límite occidental de la comuna. Dentro de estas unidades se encuentran:

- Formación Colimapu (Albiano Hauteriviano): Corresponde a una secuencia continental con una predominante coloración rojiza de areniscas y lutitas, conglomerados de matriz arenosa, con intercalaciones de tobas, lavas andesíticas y calizas, en capas lateralmente discontinuas. Se asume un contacto concordante en su base con la Formación Baños del Flaco, y Discordante con la sobreyaciente formación Abanico (Klohn, 1960).
- Formación Baños del Flaco (Tithoniano Superior Hauteriviano): sedimentos marinos, princiapalmente calizas, calizas fosilíferas, calcilutitas, lutitas y areniscas calcáreas de color gris -verdoso. La base y el techo de esta formación son concordantes con las Formaciones Río Damas y Colimapu, respectivamente (Klohn, 1960).
- Formación Río Damas (Kimmeridgiano): Potente secuencia continental de casi 3.000 de conglomerados y brechas conglomerádicas gruesas a medianas, con intercalaciones de areniscas, limonitas, lavas andesíticas y pequeños niveles de yesos, expuestos en la parte oriental de la Cordillera Principal. Se le asigna al Kimmeridgiano, por estar apoyada concordantemente sobre la Formación Río Colina (Oxfordiano) y subyacer concordantemente, a las capas marinas del Tithoniano pertenecientes a la Formación Lo Valdés (Klohn, 1960).
- Formación Nacientes del Teno (Bathoniano Caloviano): Secuencia de areniscas finas a medias con intercalaciones de pelitas negras, limolitas y en forma subordinada niveles de brechas en su base, con una serie rítmica de niveles gruesos de areniscas gruesas y niveles delgados de limolitas en los niveles superiores (Álvarez, 1997); (Charrier, 2002a). En el área de estudio aflora en el cercano a la frontera con Argentina). En base al material paleontológico encontrado se le asigna una edad Bathoniano Caloviano Temprano (Álvarez, 1997)

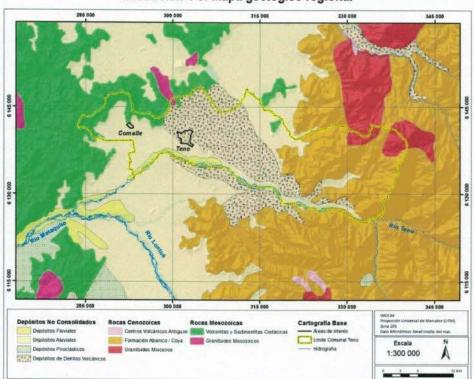


Ilustración 4-3: Mapa geológico regional

Fuente: elaboración propia en base a (SERNAGEOMIN, 2003).

#### 4.3.1.2 Intrusivos granitoides mesozoicos

Corresponden a dioritas, dioritas cuarcíferas, monzodioritas, granodioritas, monzogranitas y gabros del Jurásico Inferior al Cretásico Superior.

#### 4.3.1.3 Formación Abanico

Formación constituida por lavas básicas a intermedias, rocas piroclásticas ácidas, e intercalaciones sedimentarias continentales (fluviales, aluviales y lacustres), formando lentes de hasta 500 m de espesor. Esta formación se encuentra plegada y es afectada por un pervasivo metamorfismo de muy bajo grado. El espesor del conjunto se estima en ~ 3.000 m, aun cuando se acepta que este aparece aumentado por las numerosas intrusiones de filones-manto y lacolitos andesíticos. De acuerdo a diversas dataciones radiométricas y estudios de fauna fósil se le asigna una edad Eoceno Superior – Mioceno (Charrier, 2002a).

La franja occidental de la Formación Abanico se encuentra, ya sea en contacto por falla con la Formación lo Valle, o concordante con un hiatus de 35 Ma. El margen oriental de la Formación Abanico está limitado por depósitos mesozoicos, puestos en contacto principalmente a través de grandes fallas regionales (Charrier, 2002a).

#### 4.3.1.4 Intrusivos granitoides miocenos

Corresponden a granitos, granodioritas y monzodioritas que intruyen principalmente a la Formación Abanico.

#### 4.3.1.5 Depósitos volcánicos activos y antiguos

En el sector oriental de la región, fuera del límite del área de estudio, la secuencia de rocas que van del Eoceno hasta el Mioceno superior, están cubiertas por los centros volcánicos de edad Pleistocena - Holocena, que corresponden el arco volcánico activo actual o aparatos volcánicos que ya no presentan actividad. Dentro de este último grupo, destacan los volcanes Sordo Lucas y Alto del Padre, que corresponden a estratovolcanes fuertemente erosionados.

En el límite con Argentina, destaca el complejo volcánico activo Planchón-Peteora. Asociado a estos volcanes se reconocen lavas, de composición basáltica a riolítica que cubren a rocas de la formación Abanico y/o rellenan los valles actuales, así como depósitos piroclásticos (cenizas y tobas principalmente, asociadas a flujos piroclásticos o depósitos de caída), que cubren a formaciones más antiguas o rellenan los valles.

#### Depósitos no consolidados

#### 4.3.1.6 Depósitos de Detritos Volcánicos del Planchón-Teno

Corresponden a depósitos caóticos de escombros, generados por un colapso catastrófico de un antiguo edificio volcánico del Complejo Planchón-Peteroa en el Pleistoceno Superior (Naranjo, 1999).

Este depósito fue posteriormente labrado durante las distintas etapas de incisión del valle de los ríos Teno y Claro, dando origen a notables terrazas que alcanzan alturas de hasta 80 m sobre el lecho fluvial actual.

Está compuesto por fragmentos gruesos (> 1 m de diámetro), con mega-clastos de hasta varias decenas de metros, los que se encuentran inmersos en una matriz de grano fino, con clastos de entre 2 mm y 1 m. El depósito presenta una coloración gris a rojiza, con espesores entre 30 y 50 metros en las áreas próximas al volcán Planchón y 25 m en las partes más distales. Se distribuye a lo largo de los valles del los ríos Claro y Teno, recorriendo casi 100 km hasta la localidad de Rauco, ubicada en los faldeos de la Cordillera de la Costa.

Cabe señalar que prácticamente la totalidad de la localidad de Teno está construida sobre esta unidad.

#### 4.3.1.7 Depósitos Piroclásticos

Corresponde a depósitos de caída, cenizas, lapillis y tefras asociados a los principales centros eruptivos en la zona.

#### 4.3.1.8 Depósitos Aluviales de Valle

En la Depresión Central se reconocen principalmente secuencias de relleno asociadas al río Teno y Estero Guaiquillo, los que conforman abanicos aluviales de valle asociados a cada uno de estos ríos. Estos depósitos se caracterizan por estar conformados por sedimentos de tamaño grueso (principalmente bloques y gravas), con lentes de arenas, limos y arcillas, los que en ocasiones se encuentran dispuestos en una estratificación cruzada. Estos depósitos se asocian a una topografía plana, que se ve interrumpida por terrazas de erosión en las cercanías de los cauces de los ríos principales debido a la disección que por ellos fueran objeto a causa de cambios en el nivel de base.

La petrografía de los materiales clásticos se relaciona con las unidades litológicas encontradas aguas arriba, es decir, principalmente de origen volcánico. La mayoría de estos depósitos conforma una secuencia vertical homogénea y una reducción de la granulometría hacia el sector distal (occidental de la Depresión Intermedia), lo cual implica una mayor predominancia de las fracciones más finas, resultando en un sedimento bien seleccionado, pero débilmente compactado, lo cual determina una alta porosidad y buena permeabilidad, lo que permite un adecuado drenaje de las aguas superficiales.

#### 4.3.1.9 Depósitos Fluviales

Corresponden a gravas redondeadas y arenas finas a gruesas, con escasa matriz de limos y arcillas, que formaron parte del lecho de escurrimiento de las aguas y que actualmente presentan morfologías aterrazadas, o bien forman parte de bancos y barras dispuestos en los lechos principales de los ríos actuales, con escasos niveles de aterrazamiento.

#### 5. MORFOMETRÍA

#### 5.1 Introducción

Dentro de este capítulo se presenta el análisis del relieve a partir del modelo de elevación SRTM ("Shuttle Radar Topography Mission"), el cual corresponde a un modelo absoluto con un tamaño de celda de 3 segundos de arco (aproximadamente 90 metros/píxel).

Se está a la espera de obtener las curvas de nivel locales, con el fin de poder generar un modelo de elevación con una resolución mayor a 90 metros/píxel, y de esta manera realizar un análisis del relieve más preciso.

Los modelos digitales del terreno disponibles para el proyecto se utilizaron para obtener las cartas de pendientes, exposición de ladera y relieve sombreado, mediante herramientas que implementan los Sistemas de Información Geográfica. Estos mapas serán utilizados en etapas posteriores como apoyo para la identificación de las principales formas del terreno (geomorfología) y los depósitos no consolidados.

#### 5.2 Modelo Digital de Terreno

En el cuadro siguiente, se presentan los estadígrafos de elevación dentro del área de estudio

Cuadro 5-1: Estadística de los Modelos de Elevación

Elevación	SRTM [m]	
Mínimo	200	
Máximo	2.563	
Promedio	624	
Desv. Est.	478	

Fuente: Elaboración Propia.

En la comuna de Teno se observa una distribución de altitudes que varían desde los 200 m s.n.m en el extremo occidental de la comuna, hasta los 2.563 m.s.n.m en el límite oriental, mientras que el promedio de altitud es de 624 m.s.n.m. Sin embargo, las localidades de Teno y Comalle quedan comprendidas en un sector donde las elevaciones se mantienen constantes y bajas, fluctuando entre los 200 y los 310 m s.n.m.

290000 300000 310000 320000 330000 6160000 6150000 RO DUIR 6140000 6130000 Curico 6120000 6120000 Molina 290000 300000 310000 320000 330000 WGS 84 Proyección Universal de Mercator (UTM) Zona 19S Dato Altimétrico: Nivel medio del mar. Elevación Teno [m s.n.m] CARTOGRAFÍA BASE Comuna de Teno **ESCALA** 1:400.000 Áreas de interés 0 1.5 3 9

Ilustración 5-1: Modelo de Elevación generado a partir de SRTM

Fuente: Elaboración Propia

300000 303000 297000 294000 6144000 6141000 Teno Comalle Santa 300000 303000 294000 297000 WGS 84 Proyección Universal de Mercator (UTM) Zona 19S Dato Altimétrico: Nivel medio del mar. Elevación Teno [m s.n.m] CARTOGRAFÍA BASE Comuna de Teno 1:90.000 **ESCALA** Áreas de interés N 2.1 0 0.350.7

Ilustración 5-2: Zoom del Modelo de Elevación generado a partir de SRTM

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.3 Carta de Pendientes

A partir de los modelos de elevación compilados, utilizando Sistemas de Información Geográficos se elaboraron las cartas de pendiente, medida en grados decimales.

Se presentan los estadígrafos de pendiente dentro del área de estudio en el siguiente cuadro.

Cuadro 5-2: Estadística de Pendientes.

Pendiente	SRTM [°]
Mínimo	0
Máximo	50
Promedio	10
Desv. Est.	10

Fuente: Elaboración Propia.

Las pendientes de la zona de estudio varían entre 0° y 50°, con un promedio de 10°. La distribución de pendientes permite realizar una segmentación de unidades, las cuales corresponden a atributos geomorfológicos generales de los valles y laderas. El color verde oscuro de la carta de pendientes, corresponde a los fondos de los valles principales y de las quebradas de más altas jerarquías (entre 0° y 15°), el color verde claro representa las faldas de las laderas, las cuales muestran un leve aumento en la pendiente respecto de la unidad anterior (entre 15° y 25°), el color amarillo corresponde a la unidad de taludes de ladera (entre 25° y 35°), y el color rojo indica las zonas de más alta pendiente (>35°), las cuales se correlacionan con zonas de taludes de alta pendiente o bien escarpes.

Ambas localidades se ubican en zonas de baja pendiente (entre 0° y 15°), y solo en los alrededores de la localidad de Comalle se observan pendientes levemente mayores, mostrando una reducida zona de alta pendiente (>35°) a 2,5 km de la zona poblada.

290000 300000 310000 320000 330000 6160000 RRO QUIR Cunco 6120000 6120000 Molina 6110000 290000 300000 310000 320000 330000 WGS 84 Proyección Universal de Mercator (UTM) Zona 19S Dato Altimétrico: Nivel medio del mar. Pendiente [°] CARTOGRAFÍA BASE 0 - 15 Comuna de Teno **ESCALA** 1:400.000 15 - 25 Áreas de interés 25 - 35 0 1.5 3 >35

Ilustración 5-3: Carta de Pendientes generado a partir de SRTM

Fuente: Elaboración Propia

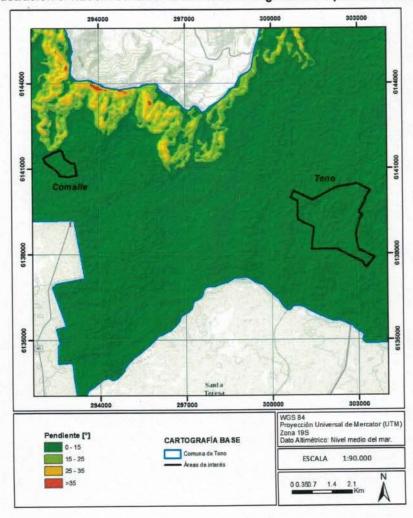


Ilustración 5-4:Zoom de la Carta de Pendientes generado a partir de SRTM

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4 Carta de Exposición

Utilizando un Sistema de Información Geográfico, se elaboraron las cartas de exposición o aspecto, esto es, un mapa que indica la orientación de un elemento del relieve con respecto a los 4 puntos cardinales. La estadística de la carta de exposición se presenta en el siguiente cuadro, y la carta en la ilustración a continuación:

Cuadro 5-3. Estadística del Mapa de Exposición

Exposición	SRTM (%)
Plano	1,9
Norte	12,5
Noreste	8,9
Este	7,5
Sureste	10,6
Sur	11,7
Suroeste	14,6
Oeste	16,4
Noroeste	16,1

Fuente: Elaboración Propia.

320000 330000 290000 300000 6130000 290000 300000 320000 310000 WGS 84 Proyección Universal de Mercator (UTM) Zona 19S Dato Altimétrico: Nivel medio del mar. Exposición Sur (157.5-202.5) CARTOGRAFÍA BASE Surgeste (202.5-247.5) Plano Comuna de Teno Oeste (247.5-292.5) Norte (0-22.5) 1:400.000 Áreas de interés Noreste (22.5-67.5) Noroeste (292.5-337.5) Este (67.5-112.5) Norte (337.5-360) 0 1.5 3 Sureste (112.5-157.5)

Ilustración 5-5: Carta de Exposición generada a partir de SRTM

Fuente: elaboración Propia

303000 294000 300000 297000 Teno Comalle 6138000 6135000 Santa 303000 300000 297000 294000 WGS 84 Proyección Universal de Mercator (UTM) Sur (157.5-202.5) Exposición Zona 19S CARTOGRAFÍA BASE Dato Altimétrico: Nivel medio del mar. Suroeste (202.5-247.5) Plano Comuna de Teno Oeste (247.5-292.5) Norte (0-22.5) **ESCALA** 1:90.000 Áreas de interés Noroeste (292.5-337.5) Noreste (22.5-67.5) Norte (337.5-360) Este (67.5-112.5) 0 0.350.7 1.4 2.1 Sureste (112.5-157.5)

Ilustración 5-6: Zoom de la Carta de Exposición generada a partir de SRTM

Fuente: elaboración Propia

#### 5.5 Conclusiones del Capítulo Morfometría.

A partir del análisis del relieve realizado con el modelo de elevación SRTM, se observa que el área de estudio presenta alturas que varían desde 200 a 2.563 m.s.n.m, con un promedio de 624 m.s.n.m, habiendo solo unas pocas cumbres en el extremo oriental de la comuna que superan los 2.000 m.s.n.m.

Se observan pendientes que varían entre 0° y 50°, siendo predominante la extensa superficie relativamente plana de la Depresión Central. Ambas localidades (Teno y Comalle) se ubican sobre este plano, en pendientes que no superan los 15°.

En los alrededores de la localidad de Comalle, se observan zonas de pendientes levemente mayores, existiendo muy localmente un sector de alta pendiente (>35°) a 2,5 km de la zona poblada más cercana.

# 6. IDENTIFICACIÓN Y CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos analizados para la búsqueda del catastro son los siguientes:

- Inundaciones (registro de zona aledañas)
- Procesos de Remoción en Masa: Deslizamientos, flujos de barro y detritos (conocidos popularmente como aluviones) y caída de bloques.

El catastro se realizó a partir de la recopilación bibliográfica, y se complementó en conjunto con la interpretación de imágenes satelitales. A partir del catastro se elaboraron mapas de catastro de peligros geológicos, que consisten en ubicar espacialmente los peligros geológicos reconocidos y las zonas afectadas por estos procesos, así como identificar las situaciones que condicionan la ocurrencia de estos fenómenos. A continuación, se presenta el detalle del catastro

#### 6.1 Inundaciones

Inventario de inundaciones terrestres (desbordes de cauces y anegamientos)

Para el caso de este peligro, se recopiló la información de los mayores eventos pluviométricos acontecidos a nivel de la región, y que tuvieron como efecto desbordes de ríos e inundaciones dentro de la comuna de Teno o en sus alrededores.

El clima en la VII Región es templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses. La latitud y diferencias del relieve influyen en la duración de la estación seca y la precipitación total anual. La estación lluviosa en esta región es principalmente el invierno, concentrándose entre el 70% y 75% de la precipitación anual entre los meses de mayo y agosto, siendo el tipo de precipitación de origen frontal. La estación seca ocurre entre los meses de octubre y marzo, período en el que caen menos de 40 milímetros de aguas lluvia por mes.

De acuerdo al catastro histórico de inundaciones que han afectado la zona (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), se observa que se han producido problemas asociados a eventos hidrometeorológicos extremos en los años 1969, 1986, 1991, 1997, 2000, 2001, 2002 y 2006, siendo los eventos de 1986 y 2006 los más intenso y los que han generado daños más graves.

Las inundaciones del año 1986 se produjeron debido a un intenso sistema frontal que afectó a la región del Maule durante los días 15, 16 y 17 de junio. El informe emitido por Endesa (1986), señala que las precipitaciones registradas durante los días de las inundaciones de 1986 no fueron extremas y se asocian a un período de retorno bajo, menor a 5 años en la mayoría de las estaciones de la región. Sin embargo, las crecidas originadas se asocian a caudales "anormales", de un alto período de retorno, mayor a 100 años. El mismo informe explica que las fuertes crecidas se explican entonces por las elevadas temperaturas registradas durante el evento, las que generaron precipitaciones pluviales sobre la cota 1.500 m s.n.m., una situación completamente anómala para los meses invernales.

Las crecidas asociadas a este temporal en la cuenca del río Mataquito, superaron en un 50% la crecida centenaria máxima estimada hasta entonces, y registraron caudales instantáneos de casi el doble de los máximos registrados anteriormente (1953) (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). Los registros existentes son de la estación fluviométrica Teno, en la Bocatoma Canal Teno (ubicada a 1,6 km de Teno), donde el caudal máximo instantáneo registrado fue de 3.000 m³/s (Endesa, 1986).

Cuadro 6-1: Registro de crecidas en la cuenca del río Mataquito hasta el año 1986

	Cuenca del Río	Mataquito	
Estación Fluviométrica	Crecida 16/06/1986 (m <sup>3</sup> /s)	Crecida anterior registrada (m³/s)	Crecida T=100 años (m³/s)
Teno en Bocatoma Canal Teno	3000	1700 (1953)	2000

Fuente: Endesa (1986)

Producto de las inundaciones del año 1986, en la región se registraron 6 víctimas fatales y más de 3000 damnificados. Los daños más graves se produjeron en la localidad de Los Queñes, donde el río Teno presentó una fuerte crecida, la cual generó importantes cambios en la morfología local, ya que se produjo el traslado de su cauce, con la consecuente modificación de su perfil transversal y su eje hidráulico. Esta crecida y la modificación del cauce arrasó con 47 casas, dejando a más de 200 personas damnificadas.

El año 2006, desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Aysén, Chile se ve afectado por un sistema frontal, generándose fuertes lluvias y vientos entre el 10 de junio y el 23 de agosto. El día 12 de julio, inmediatamente al sur de la localidad de Teno, tras una crecida del río homónimo, colapsa el espigón que colecta las aguas en la bocatoma del canal de Endesa. A raíz de este colapso, dos carabineros que se encontraban realizando labores preventivas, son arrastrados junto a su radiopatrulla aguas abajo. Las fuertes corrientes del río provocaron la muerte de uno de los carabineros, y tras 12 horas de búsqueda fue encontrado el segundo, aferrado a las ramas de un árbol para protegerse del torrente.

No obstante, el registro histórico de estas crecidas, en entrevista con el Director de Obras Municipales de Teno, don Sergio Espinoza, fue señalado el hecho de que no se han reportado inundaciones en los canales que cruzan las zonas urbanas, tanto de Teno como de Comalle.

Cuadro 6-2: Catastro histórico de eventos pluviométricos extremos que han causado inundaciones en los alrededores de las localidades de Teno y Comalle.

Fecha	Titulo	Contenido	Fuente
Junio, 1827	Temporales de 1827	Los ríos Teno, Lontué y Mataquito se convirtieron en turbiones gigantescos, dañando principalmente las propiedades costeras	1
Junio 13, 1951	Barrios Curicanos inundados	Crecidas del río Mataquito amenaza con cortar línea férrea a la costa en varios sectores	2
Junio 15, 1969	Daños de consideración dejó temporal en Los Queñes	Fuertes daños provoca temporal de viento y lluvia en casas y escuela de la localidad de Los Queñes. El camino ha quedado prácticamente cortado por desvío del río Teno en la subida poniente de la cuesta Cardonal.	2
Junio 18, 1986	La situación de emergencia en la Región del Maule	Dirección de Vialidad presenta estados general de los puentes, entre estos presentan daños los siguientes: Teno, Guaiquillo, Seco y Pirihuín. Además se informa que está cortado el suministro de agua potable en Lontué (por daños en su infraestructura), lloca (por corte de electricidad) y Los Queñes, este último sin energía eléctrica.	3
Junio, 1986	Los Queñes : Donde antes hubo casas, ahora es un pedregal	Crecida y desborde el río Teno arrasó a sectores poblados en Los Queñes.	2
Junio,1986	La salida del río cambió la geografía	Alcalde de Romeral da a conocer su opinión sobre temporal acontecido "La salida del río Teno en la parte de Los Queñes desfiguró el plano urbano y cambio la geografía".	2
Junio 17, 1997	En alerta se encuentra Romeral ante subida de caudales de ríos.	La Municipalidad de Romeral está preocupada con el aumento del caudal del río Teno y Claro. Se recorrieron los sectores potencialmente	2

Fecha	Titulo	Contenido	Fuente
		críticos, comprobándose que los caudales se alzaron casi a su nivel crítico	
Junio 24, 1997	Emergencia en la VII Región	Catastro nacional de daños resultantes del frente de mal tiempo, zona centro-sur. Temporal deja centenares de damnificados en la provincia de Curicó (Teno, Romeral, Curicó, Lontué y Rauco).	4
Julio 1, 2000	Temporal marcado por fuertes vientos	El río Teno presenta una crecida de cuatro veces su caudal normal.	4
Julio 26, 2001	Unos 60 millones para reparar daños en ríos de la provincia	Crecida del río Mataquito y Guaquillo ocasionaron graves pérdidas en su entorno. Se estableció que los ríos no cuentan con un manejo integral de sus cuencas, lo cual es necesario para dar solución a los problemas que ocasionan	2
Septiembre 1, 2001	Cientos de hectáreas productivas se perdieron en la costa	Graves daños en terrenos agrícolas, provocó el último temporal en diversas comunas de la región, entre las que se encuentran Romeral, Teno, Molina, Sagrada Familia, Curicó, Rauco, Hualañe, Licantén, Vichuquén y Curepto.	2
Agosto 25, 2002	Mal tiempo vuelve a causar problemas en la región	Crecidas en el caudal de los ríos Lontué y Teno han vuelto a ocasionar problemas en la provincia de Curicó. En informe de la Dirección Regional de Emergencia, se da a conocer que las comunas más afectadas por el frente de mal tiempo son: Romeral, Vichuquén, Curicó, Molina, Cauquenes y Pelluhue. Además informa que el número de damnificados son 124.	2
Agosto 25, 2002	Temporal azota a 5 regiones	Frente de mal tiempo en zona centro sur deja daños variados. En la séptima región, los ríos Teno y Lontué alcanzaron sus cotas máximas.	4
Agosto 28, 2002	Puntos críticos por inundaciones	Ante el aumento de los caudales de los ríos de la región, se ha originado debilitamientos de las defensas fluviales existentes y ante ello algunos inconvenientes. Por lo anterior, se han destinado un total de 257 millones de pesos para la conservación de defensas fluviales. La dirección regional de emergencia ha definido una serie de puntos críticos en la región, donde la comuna de Romeral al parecer sería una de las más afectadas (Bellavista y Las Peñas).	2
Julio 12, 2006	Temporal afecta con fuerza a zona centro sur del país	A raíz de un sistema frontal se ven afectadas las regiones IV a XI. Se desborda el río Bío Bío dejando damnificados en Mulchén. La ruta 5 se corta en varios tramos. Colapsa el espigón del río Teno, en la bocatoma que alimenta el canal de Endesa, arrastrando a dos carabineros que realizaban labores en el lugar. Solo uno sobrevive.	4

Fuente: Elaboración propia en base a Urrutia y Lanza (1993) (1) y artículos periodísticos de La Prensa de Curicó (2), La Mañana de Talca (3) y El Mercurio de Santiago (4). Los artículos periodísticos fueron tomados de Prisma Ingeniería (2003).

Inventario de inundaciones litorales por maremotos

El área de estudio se ubica en la Depresión Central, a más de 80 km del mar, por lo que no cuenta con línea de costa ni tampoco existe peligro de inundaciones litorales por maremotos.

#### 6.2 Remociones en masa

El catastro de eventos de remociones en masa se confeccionó a partir del análisis de imágenes satelitales, la bibliografía disponible y la visita a terreno. Según estas fuentes, se identificaron 3 deslizamientos en el cerro de Comalle, el cual colinda por el norte con localidad homónima. Si bien no se puede determinar la edad de estos depósitos, probablemente se trata de remociones prehistóricas Holocenas, tanto por la reforestación como por el suavizado de su topografía. Adicionalmente, los canales artificiales bordean los pies de algunos ejemplares, significando que dichas remociones habrían sido desencadenadas antes que la construcción de los mismos.

En entrevista con el Director de Obras Municipales de Teno, don Sergio Espinoza, fue señalado el hecho de que no se han reportado eventos históricos de remociones en masa en las localidades de Teno y Comalle. Consultado por los efectos del terremoto del 27 de febrero de 2010, señaló que las únicas consecuencias habían sido a nivel de infraestructura, tales como derrumbe de casas de adobe y agrietamientos.

#### 7. ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD

En este capítulo se presenta la zonificación de susceptibilidad de los peligros geológicos estudiados durante la realización de este estudio, correspondientes a aquellos Peligros cuya susceptibilidad es zonificable a escala local

# 7.1 Susceptibilidad de inundaciones terrestres

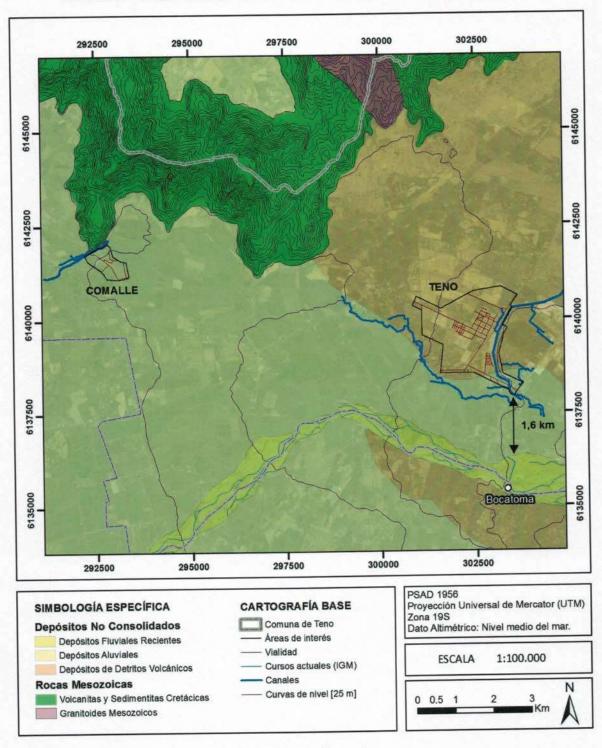
A partir del análisis de imágenes satelitales, la bibliografía disponible y la información proporcionada por la Dirección de Obras Municipales, se analizó la susceptibilidad de inundaciones terrestres. Este tipo de susceptibilidad considera únicamente los eventos de Inundación por Desborde de Cauces Naturales, y no por desbordes de canales artificiales.

El cauce activo del Río Teno, en el sector de la bocatoma, dista 1,6 km de la localidad de Teno, siendo esta la distancia menor entre ambos. Por este motivo, y en consideración de la similitud de los niveles topográficos, se constata que la susceptibilidad de inundaciones terrestre es baja, tanto para la localidad de Teno como la de Comalle.

Si bien el Peligro de Inundación por Desborde de Canales Artificiales no corresponde a un peligro geológico en sentido estricto, es importante señalar que el personal de la Dirección de Obras Municipales (don Sergio Espinoza) informó que no se reportan este tipo de fenómenos en las áreas de interés.

En este estudio no se realizaron modelos hidrológicos debido a la falta de series de precipitación y caudales. Por ello, no se realizaron mapas de peligrosidad o amenaza de inundaciones considerando el período de retorno y analizando el alcance máximo lateral del área de inundación, sino que se tuvieron en cuenta, en el caso de los cauces naturales, las expresiones geomorfológicas y los depósitos asociados a cauces fluviales.

Ilustración 7-1: Ubicación de las zonas de interés respecto de los cauces activos.



Fuente: Elaboración propia.

# 7.2 Susceptibilidad de remociones en masa

Para la zonificación de los sectores susceptibles de ser afectados por remociones en masa, se realizó un análisis de imágenes satelitales, observaciones en terreno y se utilizó la cobertura topográfica entregada por Habiterra (curvas de nivel cada 2 m).

Se tomó como referencia la clasificación de González de Vallejo (2002), quien establece como parámetros determinantes la pendiente, la calidad del sustrato y la presencia de remociones anteriores.

La única zona en la que se identificaron depósitos de remociones en masa, corresponde al sector de Comalle, inmediatamente al norte del canal, en la ladera del Cerro Comalle.

La distribución de pendientes fue obtenida a partir de un Modelo de Elevación con tamaño de celdas 5x5 m, el cual se confeccionó con base en las curvas de nivel (2 m). Para Comalle y Teno, las cartas de pendientes se presentan en las siguientes ilustraciones respectivamente. Luego de compilar esta información, se obtuvo un mapa de susceptibilidad de remociones en masa para cada zona de interés.

En el caso de Comalle, se observan laderas "moderadamente estables" asociadas al escarpe del canal principal, así como también vinculadas a las faldas del Cerro Comalle, lugar donde aumenta la pendiente respecto del resto de la localidad. Frente a la posible generación de caídas de roca desde el cerro, o bien de un nuevo deslizamiento, el canal de Comalle, actuaría como una barrera, impidiendo que el material alcance el área de estudio.

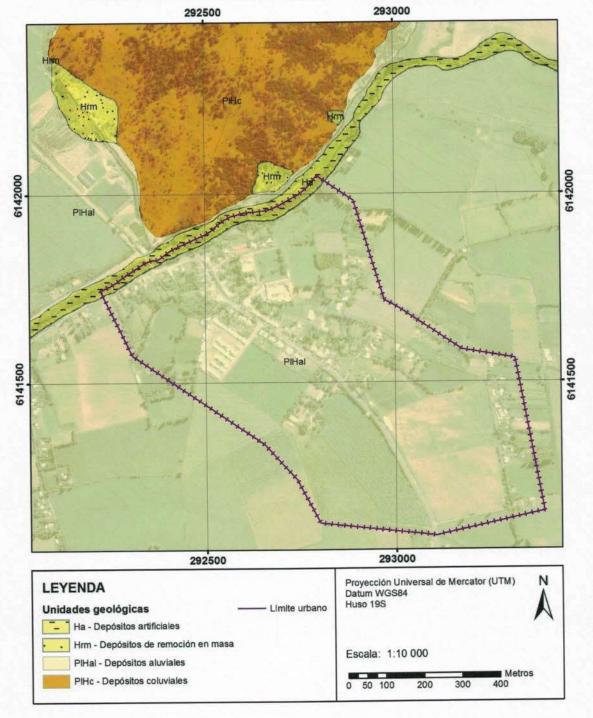
En la localidad de Teno, las zonas "moderadamente estables" se distribuyen a lo largo del borde del canal de ENDESA, así como también en algunos canales interiores, mientras que el resto de la localidad se clasifica como un terreno "estable". En la ilustración de la página siguiente, se muestra una fotografía del canal de ENDESA, en la que se puede apreciar la pendiente de su escarpe.

Cuadro 7-1: Clasificación frente a posibles movimientos de ladera.

Descensio do m	ovimientos y tinos de	Pendiente		
Presencia de movimientos y tipos de materiales		Muy baja (<10°)	Baja-Media (10°-20°)	Media-alta (>20°
	Sustrato estable		Estable	Moderadamente
Sin movimientos activos o antiguos	Depósitos superficiales no susceptibles	Estable	Generalmente estable	estable
Later and the second	Sustrato estable		Moderadamente estable	
Con movimientos	Sustrato susceptible		Moderadamen	te inestable
antiguos	Depósitos superficiales susceptibles	Generalmente estable	Moderadamente inestable	Inestable
Con movimientos actuales o activos		Inestable	Inestable	

Fuente: modificado de González de Vallejo (2002).

Ilustración 7-2: Mapa geológico escala 1:10.000 del sector de Comalle. Se indican los depósitos de remociones en masa identificados al norte del canal, en el Cerro Comalle.



Fuente: elaboración propia.

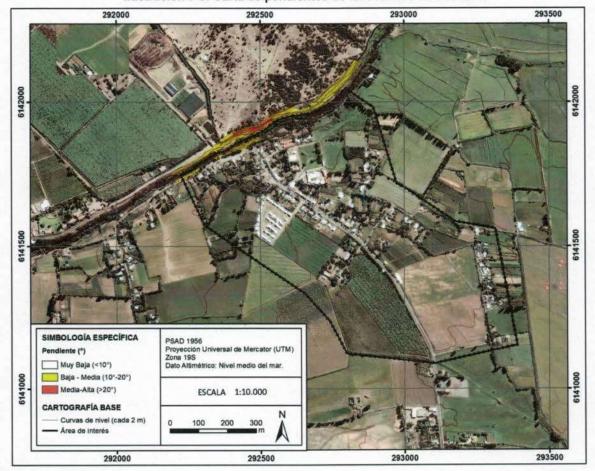


Ilustración 7-3: Carta de pendientes de la localidad de Comalle.

Fuente: Elaboración propia.

293500 293000 292500 292000 6142000 PSAD 1956 Proyección Universal de Mercator (UTM) Zona 19S Dato Altimétrico: Nivel medio del mar. SIMBOLOGÍA ESPECÍFICA Susceptibilidad de RM 6141000 Moderadamente Estable ESCALA 1:10.000 CARTOGRAFÍA BASE Curvas de nivel (cada 2 m) Área de interés 300 100 200 292500 293000 292000

Ilustración 7-4: Zonas de susceptibilidad de remociones en masa en la localidad de Comalle.

Fuente: Elaboración propia.

| SMBCLOGIA ESPECIPICA | PAQUESTAN | PANCE | P

Ilustración 7-5: Carta de pendientes de la localidad de Teno

Fuente: elaboración propia.

llustración 7-6: Zonas de susceptibilidad de remociones en masa en la localidad de Teno.

Fuente: elaboración propia.

llustración 7-7: Canal de Comalle, a los pies del Cerro Comalle (a la izquierda del canal).



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 7-8: Canal de ENDESA, en la localidad de Teno (a la izquierda del canal).



Fuente: Elaboración propia.

### 8. REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

Álvarez, P. A.-U. M. G. E. R. V., 1997. Estratigrafía del Jurásico de la Cordillera Principal de Argentina y Chile (33°45'-34°00'LS).. Actas 1, pp. 425-429. ed. s.l.:VIII Congreso Geológico Chileno.

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.

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

Charrier, R. B. O. E. S. F. J. G. P. K. S. M. N. W. A. a. Z. E., 2002a. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36° S.L.).. Vol. 15, p. 117-139. ed. s.l.:Journal of South American Earth Sciences.

Comte, D. H. H. D. L. P. M. M. T. L. L. P. P. y. H. Y., 2002. Seismicity and stress distribution in the Copiapo, northern Chile subduction zone using combined on- and off-shore seismic observations.. 132(1-3): 197-217. ed. s.l.:Physics of The Earth and Planetary Interiors .

Comte, D. y. P. M., 1991. Reappraisal of great historical earthquakes in the northern Chile and southern Peru seismic gaps.. 4(1): 23-44. ed. s.l.:Natural Hazards .

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

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

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

Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L. & 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.

Eyquem, D., 2009. Volcanismo cuaternario de Sierras de Bellavista: Comparación geoquímica con el magmatismo contemporáneo del arco comprendido entre los 34°30' y los 35°30'S.. Memoria de título de Geólogo: 116 páginas. ed. s.l.:Departamento de Geología. Santiago, Universidad de Chile..

Gonzalez de Vallejo, L., Ferre, M., Ortuño, L. & Oteo, C., 2002. *Ingeniería Geológica*. Segunda ed. Madrid: Pearson Educación.

González-Ferrán, O., 1995. Volcanes de Chile. Santiago: Instituto Geográfico Militar, 410 pág.

González-Ferrán, O., 1995. Volcanes de Chile. Primera Edición ed. Santiago, Chile: Instituto Geográfico Militar.

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

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

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

Hildreth, W. y. D. R., 1991. Volcán Quizapú, Chilean Andés.. 54: 93-125. ed. s.l.:Bulletin of Volcanology (1992).

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

Kausel, E. & Ramírez, D., 1992. Relaciones entre parámetros focales y macrosísmicos de grandes terremotos chilenos. *Rev. Geofísica*, Volumen 37, pp. 159-194.

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

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

Klohn, C., 1960. Geología de la Cordillera de Los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó.. Boletín, No. 8, p. 1-95. ed. s.l.: Instituto de Investigaciones Geológicas.

Lara, L. y. R. R., 2003. Diagnóstico de la geología ambiental de las grandes ciudades de Chile.. 182 p. ed. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Madariaga, R., 1998. Sismicidad de Chile, s.l.: Física de La Tierra. tS5N: 0214-4557, nº 10: 221-255.

Martin, G. & Lew, M., 1999. Recommended Procedures for Implementation of DMG Special Publication 117: Guidelines for Analyzing and Mitigating Liquefaction Hazards in California. Los Angeles: Southern California Earthquake Center, University of Southern California, 63 pág.

Moreno, H., 1993. Erupciones volcánicas en Chile: procesos y riesgos asociados.. pp. 161-170. ed. s.l.:I Jornadas Nacionales de Vulcanología, Medio Ambiente y Defensa Civil..

Mpodozis, C. & Ramos, V. A., 1989. The Andes of Chile and Argentina In: Ericksen, G. E.; Cañas, M. T.; Reinemund, J. A. (eds) Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Energy Resources. Circum-PAcific Council for Energy and Hydrothermal Resources, American Association of Pet. 11 ed. Houston, Texas: Earth Science Series.

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

Naranjo, J. H. M. O. H. P. A. S. P., 1999. Geología y peligros volcánicos del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa, Andes del Sur (35°15'S), Región del Maule, Chile - Provincia de Mendoza, Argentina.. Boletin No 52, Servicio Nacional de Geología y Minería ed. s.l.:s.n.

Naranjo, J. H. M. O. H. P. A. S. P., 1999. Geología y peligros volcánicos del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa, Andes del Sur (35°15'S), Región del Maule, Chile - Provincia de Mendoza, Argentina.. Boletin No 52 ed. s.l.:Servicio Naciona.

Naranjo, J. & Stern, C., 2004. Holocene tephrochronology of the southernmost part (42°30'-45°S) of the Andean Southern Volcanic Zone. *Revista Geológica de Chile* 31, 2(31), pp. 225-240.

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.

Naranjo, J. W. D., 2004. Informe sobre efectos del sismo del 28 de agosto del 2004 en las nacientes del río Teno, VII Región. s.l.:Servicio Nacional de Geología y Minería.

Nishenko, S. P., 1985. Seismic potential for large and great interplate earthquakes along the Chilean and southern Peruvian margins of South America: a quantitative reappraisal.. 90(B5): 3589-3615. ed. s.l.: J. Geophys. Res..

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.

Ortlieb, L., 1994. Las mayores precipitaciones históricas en Chile central y la cronología de eventos ENOS en los siglos XVI-XIX.. VI7: 4VI3 – 485. ed. s.l.:Revista Chilena de Historia Natural .

Petit-Breuilh, M. E., 2003. El efecto de los desastres naturales en las ciudades chilenas (siglos XVI al XX). Proyecto de Investigación., s.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería.

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

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

PMA, 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..

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..

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

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

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

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

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

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

SERNAGEOMIN, 2010. Reporte especial No 3. Actividad Volcánica Región del Maule. Grupo Volcánico Planchón – Peteroa.. s.l.:s.n.

Siebert, L. & Simkin, T., 2002. Volcanoes of the World: an Illustrated Catalog of Holocene Volcanoes and their Eruptions, s.l.: Smithsonian Institution, Global Volcanism Program Digital Information Series, GVP-3,(http://www.volcano.si.edu/world/)..

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*, Issue 11, pp. 211-215.

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

Stern, C. A. H. C. R. G. E. H. F. V. J., 1984. Petrochemistry and age of rhyolithic pyroclastic flows which ocurr along the drainage valleys of the rio Maipo and rio Cachapoal (Chile) and rio Yaucha and rio Papagayos (Arg.). N° 23, páginas 39 – 52. ed. s.l.:Revista Geológica de Chile.

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

Urrutia, R. & Lanza, C., 1993. Catástrofes en Chile 1541 - 1992. Santiago: La Noria.

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

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

Varela, J. y. M. H., 1982. Los depósitos de relleno de la depresión central de Chile entre los Ríos Lontué y Bíobío.. pp.F280-F306. ed. s.l.:En Congreso Geológico Chileno, Concepción, 8-14 noviembre, 1982:.

Vargas, G. F. M. C. S. T. A. B. S. y. M. D., 2011. Coastal uplift and tsunami effects associated to the 2010 Mw 8.8 earthquake in Central Chile.. 38 (1): 219-238. ed. s.l.:Andean Geology .

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

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

Watt, S., 2010. Records of volcanism and controls on volcanic processes in southern Chile. , Oxford: Ph.D. Thesis. Worcester College and the Department of Earth Sciences, University of Oxford..

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

# ANEXO A Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe

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

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

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

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

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

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

Por otro lado, el concepto de **riesgo** (risk) incorpora consideraciones socio-económicas, y se define como las potenciales pérdidas debidas a un fenómeno natural determinado, por ejemplo vidas humanas, pérdidas económicas directas o indirectas, daños en infraestructura, etc. (Gonzalez de Vallejo, et al., 2002).

Según Varnes (1984), se denomina riesgo específico al grado de pérdidas esperado durante un período de tiempo dado, como consecuencia de la ocurrencia de un determinado proceso, expresado en términos de probabilidad. Puede ser expresado como el producto A 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, et al., 2002).

A-1

<sup>\*</sup>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

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<sub>t</sub> corresponde al riesgo total, R<sub>e</sub> al riesgo específico y E a los elementos expuestos considerados. La siguiente ilustración 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.

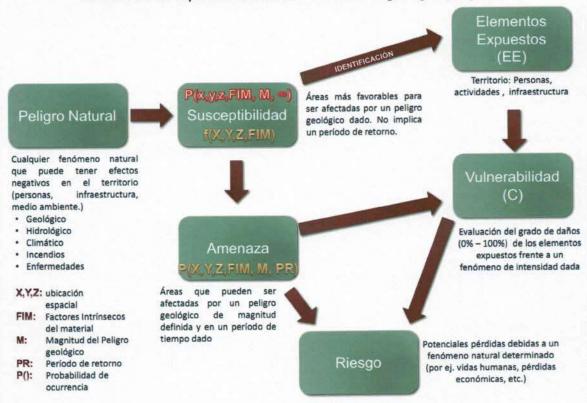
En resumen, los peligros geológicos pueden analizarse desde el punto de vista de las condiciones intrínsecas del material (estudios de susceptibilidad o determinísticos) y desde el punto de vista de los factores desencadenantes de un fenómeno (estudios de amenaza o probabilísticos). Considerando que 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.

Ilustración 8-1: Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984)

## ANEXO B Descripción Peligros Geológicos Analizados

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

Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza para los peligros geológicos asociados a procesos externos o exógenos (remociones en masa, inundaciones).

#### B.1 Procesos Exógenos o Externos de la Tierra

### B.1.1 Inundaciones Terrestres y Litorales

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (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.

Ilustre Municipalidad de Teno . B-1

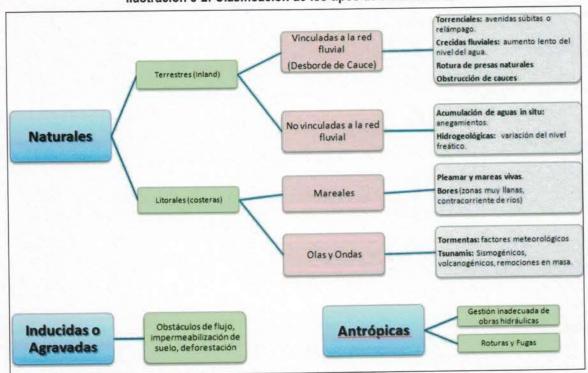


Ilustración 8-2: Clasificación de los tipos de inundaciones

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

### B.1.1.1 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:

- 1. 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.
- 2. 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.
- 2. La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
- 3. 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.1.1.2 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. Sólo en eventos de pluviosidades extremas, el caudal transportado por las quebradas tiene la suficiente fuerza para romper esta barrera, atravesándola y provocando inundaciones por desborde de cauces.

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

### B.1.2 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. El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo (PMA-GCA, 2007).

### B.1.2.1 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 éste 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 éste 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 éste. 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.1.2.2 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. Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

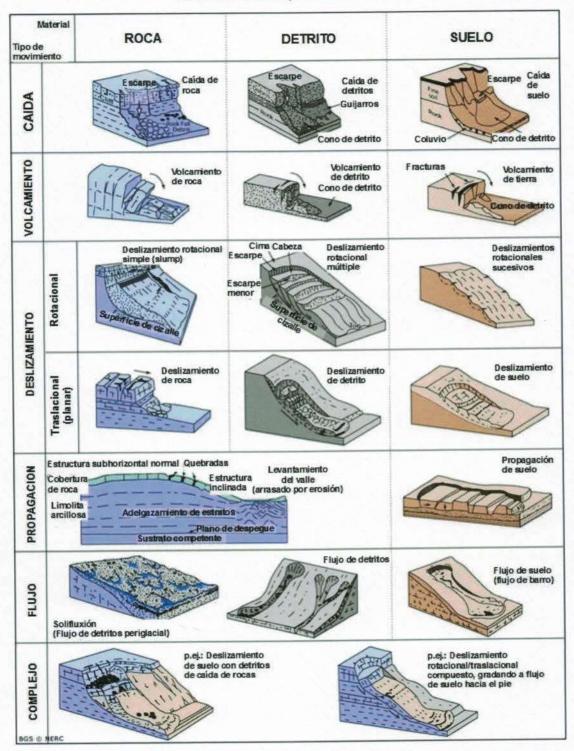
Estos fenómenos incluyen los deslizamientos que ocurren durante el retroceso de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, en especial al desarrollo de terrazas de abrasión. Este proceso es causado por la fuerza de las olas, las que cavan cavernas y desestabilizan el bloque superior, provocando que éste caiga por su propio peso. Ello produce además que el acantilado costero se encuentre en constante retroceso, lo que permite definir como zona de alta susceptibilidad todas las áreas cercanas al acantilado costero. Los mismos procesos de erosión ocurren en valles con erosión fluvial activa.

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

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

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

Ilustración 8-3: Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera

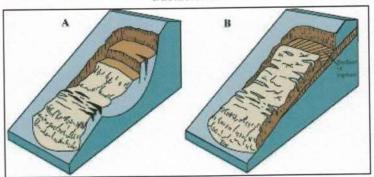


Fuente: Clasificación utilizada por el British Geological Service, modificada de (Varnes, 1978) y (Cruden & Varnes, 1996). Disponible en: http://www.bgs.ac.uk/landslides/how\_does\_BGS\_classify\_landslides.html

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

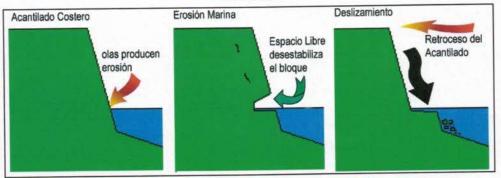
- Distancia al origen del fenómeno: Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m). Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.
- La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno: En general, dado que estos procesos son de alta velocidad los daños potenciales son altos.
- 3. 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.
- 4. 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.

Ilustración 8-4: 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

Ilustración 8-5: Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión



Fuente: Elaboración propia.

### B.1.2.3 Flujos de Detritos y Barro

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

Las partículas sueltas que cubren pendientes 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. Sólo durante las últimas décadas se han instalados pluviógrafos que miden la intensidad instantánea u horaria de precipitaciones (mm por hora). Sólo 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.
- 4. Densidad de población en la zona susceptible a ser afectada: En caso de que la población se encuentre directamente en el cauce del flujo, los daños pueden ser catastróficos, ya que pueden producirse muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales mayores, etc., tal como ocurrió en los casos de Antofagasta (1991) y Quebrada de Macul (1993). Si el cauce no afecta directamente a la población, pueden producirse cortes de caminos y daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destrucción de captaciones de agua para el consumo humano), lo que se traduce en un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

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