
**“ESTUDIO FUNDADADO DE RIESGOS
ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE LOS ANDES”**

Abril, 2019

**“ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS
ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE LOS ANDES”**



Rodrigo Andrés Rauld Plott
13.256.697-6
Profesional Responsable Estudio de Riesgos

EQUIPO CONSULTOR:

Rodrigo Rauld Plott, Geólogo, Doctor en Ciencias (Profesional responsable)
Andrés Fock Kunstmann, Geólogo, MSc en Ciencias, Mención Geología
Felipe García-Huidobro, MSc en ciencias mención recurso y medio ambiente hídricos
Constanza Urresty Vargas, Geóloga
Vicente Letelier Carvajal, Geólogo
Katherine Pinochet Oviedo, Geóloga

CONTRAPARTE TÉCNICA:

SEREMI de Vivienda y Urbanismo, Región de Valparaíso

“ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS ACTUALIZACION PLAN REGULADOR COMUNAL DE LOS ANDES”

Rodrigo Andrés Rauld Plott
13.256.697-6
Profesional Responsable Estudio de Riesgos

EQUIPO CONSULTOR:

Rodrigo Rauld Plott, Geólogo, Doctor en Ciencias (Profesional responsable)
Andrés Fock Kunstmann, Geólogo, MSc en Ciencias, Mención Geología
Felipe García-Huidobro, MSc en ciencias mención recurso y medio ambiente hídricos
Constanza Urresty Vargas, Geóloga
Vicente Letelier Carvajal, Geólogo
Katherine Pinochet Oviedo, Geóloga

CONTRAPARTE TÉCNICA:

SEREMI de Vivienda y Urbanismo, Región de Valparaíso

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	7
1.1 Ubicación Área de Estudio.....	7
1.2 Objetivo.....	7
1.3 Alcance y limitaciones.....	10
1.4 Marco Jurídico	10
2. Metodología.....	12
2.1 Definición del Área de Estudio.....	12
2.2 Elaboración de la línea de base geológica.....	12
2.2.1 Recopilación Bibliográfica	12
2.2.2 Visitas técnicas al área de estudio.....	14
2.2.3 Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales	14
2.2.4 Morfometría.....	14
2.2.5 Elaboración mapa geológico.....	16
2.3 Inventario de Peligros Geológicos	16
2.3.1 Revisión histórica y bibliográfica	16
2.3.2 Análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales	17
2.4 Diagnóstico de Susceptibilidad	18
3. Línea de base	18
3.1 Marco Geodinámico.....	18
3.2 Marco Geológico y Geomorfológico.....	21
3.2.1 Unidades de roca.....	21
3.2.2 Depósitos no consolidados	23
3.3 Estructuras (Falla Pocuro)	24
3.4 Marco Hidrológico.....	29
4. Inventario y diagnóstico general de peligros geológicos.....	32
4.1 Remociones en Masa	32
4.1.1 Flujo de Barro agosto 1987.....	32
4.1.2 Flujo detrítico, febrero 1980.	33
4.1.3 Flujo de barro y detritos, 3 de Mayo de 1993.....	34
4.1.4 Flujo de barro y detritos, diciembre 1995.....	35
4.1.5 Deslizamientos de bloques rocosos.....	35
4.1.6 Avalanchas (Aludes)	36
4.1.7 Derrumbes de Montañas.....	36

4.1.8	Entrevista con el Encargado de Emergencias de la Municipalidad de Los Andes	37
4.2	Inundaciones Terrestres	40
4.3	Sismicidad	43
4.3.1	Antecedentes Históricos	43
4.3.2	Sismos registrados por la red sismológica mundial.	46
4.3.3	Principales fuentes sísmicas reconocidas en el área de estudio.	48
4.4	Volcanismo	50
5.	Diagnóstico y Zonificación de Susceptibilidad a los Peligros Geológicos que pueden afectar el área de estudio	51
5.1	Peligros No Zonificables	51
5.1.1	Peligro Sísmico	51
5.1.2	Peligro Volcánico	51
5.2	Peligros Zonificables.....	51
5.2.1	Peligro de Inundaciones.....	52
5.2.2	Peligro de Remociones en Masa	55
6.	Recomendación de Criterios para la Zonificación	66
7.	Referencias citadas en el texto	71

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1-1 Ubicación de la comuna de Los Andes 8
 FIGURA N° 1-2 Ubicación de áreas de estudio de detalle en la comuna de Los Andes..... 9
 FIGURA N° 2-1 Diagrama de flujo del trabajo realizado 13
 FIGURA N° 2-2 Recorrido realizado durante la visita a terreno.

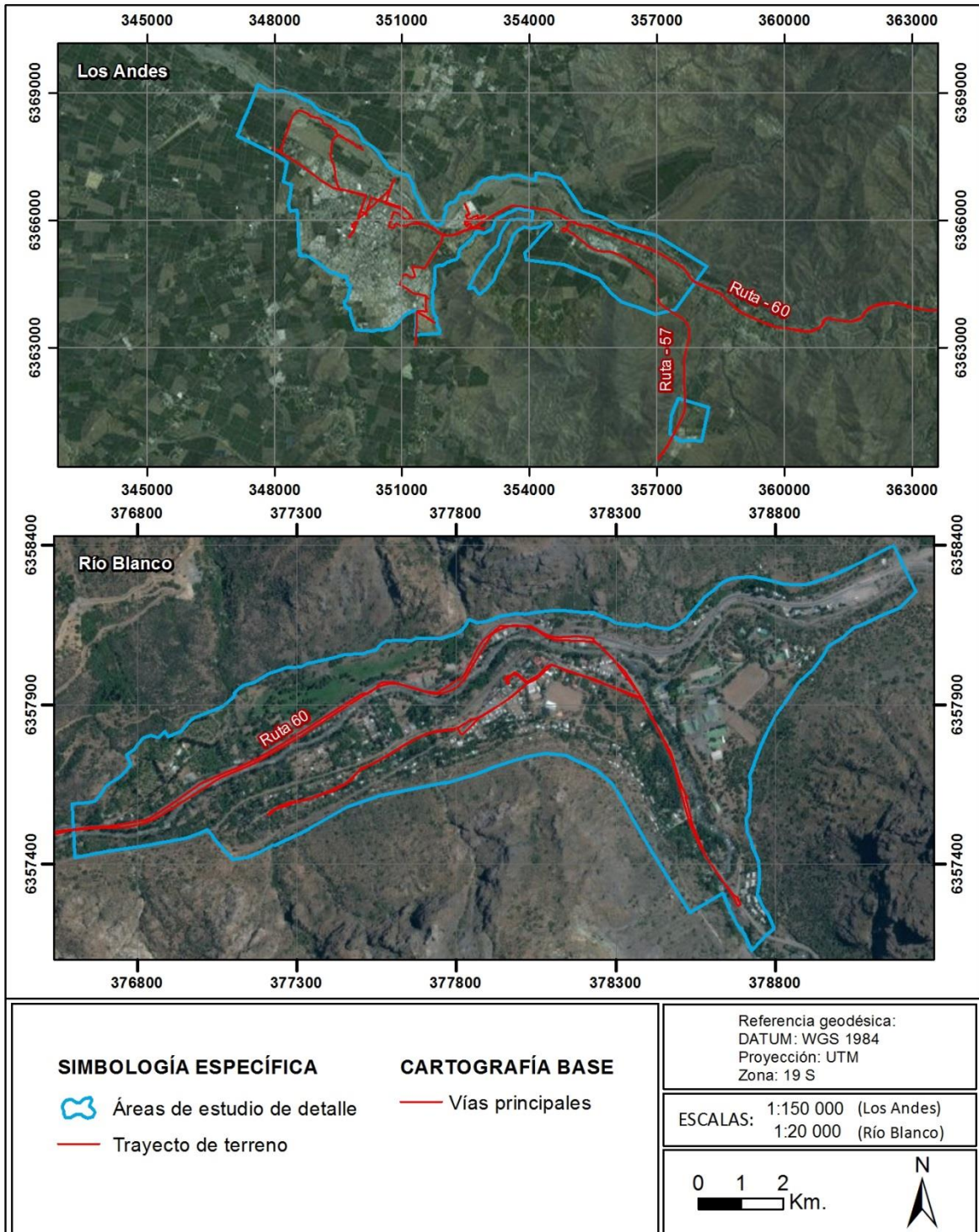


FIGURA N° 3-1 Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico, se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33° S. La línea verde señala la fosa, lugar donde subducta la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas	18
FIGURA N° 3-2 Esquema de la segmentación andina. La franja coloreada representa la zona de subducción plana y la ausencia de volcanismo activo reciente. El área de estudio se ubica en el margen inferior de esta franja.	20
FIGURA N° 3-3 Mapa Geológico del sector de Los Andes (principal)	26
FIGURA N° 3-4 Mapa Geológico del sector de Los Andes (secundario)	27
FIGURA N° 3-5 Mapa Geológico del sector de Río Blanco	28
FIGURA N° 3-6 Hidrografía de la comuna de Los Andes	30
FIGURA N° 3-7 Subsubcuencas aportantes a la comuna de Los Andes	31
FIGURA N° 4-1 Flujo de barro ocurrido en el sector de Guardia Vieja, flanco sur río Aconcagua el 18 de Agosto de 1987).....	33
FIGURA N° 4-2 Flujo detrítico ocurrido en el sector de la Puntilla del Viento el 21 de febrero de 1980)	34
FIGURA N° 4-3 Canalón excavado por flujo detrítico. Valle del río Blanco. El flujo detrítico sucedió el 27 de diciembre de 1995.	36
FIGURA N° 4-4 Ubicación de los sectores de la localidad de Río Blanco en los que se han reportado eventos de remociones en masa.	38
FIGURA N° 4-5 Abanico aluvial activo en Río Blanco. Respecto a la FIGURA N° 4-4, corresponde a la quebrada del N° 7. Se observan bloques de hasta 3 m de diámetro.	39
FIGURA N° 4-6 Caída de roca en Río Blanco. Respecto a la FIGURA N° 4-4, corresponde a la quebrada del N° 3. El bloque tiene más de 2 m de diámetro.....	39
FIGURA N° 4-7 Afloramientos de roca de alta pendiente en Los Andes, en el Cerro La Virgen. Se observan casas en las zonas bajas del cerro.	40
FIGURA N° 4-8 Terremotos de subducción históricos con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura. En línea continua las zonas de ruptura bien identificadas, en línea discontinua las zonas de ruptura inferidas a partir de datos históricos.	44
FIGURA N° 4-9 Mapa regional con la sismicidad registrada entre 1973 y 2010 del Catálogo NEIC, junto a perfiles de la sismicidad. El área de estudio se ubica aproximadamente al centro de la figura.	47
FIGURA N° 4-10 Fallas activas cercanas al área de este estudio.	49
FIGURA N° 4-11 Ubicación centros volcánicos próximos al área de estudio. Triángulos rojos indican la ubicación de volcanes y rectángulo rojo la ubicación del área de estudio.	50
FIGURA N° 5-1 Mapa de Susceptibilidad de Inundaciones para el sector de Los Andes	54
FIGURA N° 5-2 Mapa de Susceptibilidad de Inundaciones para el sector de Río Blanco	55
FIGURA N° 5-3 Mapa de Susceptibilidad de Caídas de Roca para el sector de Los Andes	58
FIGURA N° 5-4 Mapa de Susceptibilidad de Caídas de Roca para el sector de Río Blanco	59
FIGURA N° 5-5 Mapa de Susceptibilidad de Flujos de Barro y/o Detritos para el sector de Los Andes	61
FIGURA N° 5-6 Mapa de Susceptibilidad de Flujos de Barro y/o Detritos para el sector de Río Blanco	62
FIGURA N° 5-7 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno	63
FIGURA N° 5-8 Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos para el sector de Los Andes	64
FIGURA N° 5-9 Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos para el sector de Río Blanco	65

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1-1 Cuadro de homologación “áreas de riesgo” según el artículo 2.1.17 del OGUC	11
CUADRO N° 3-1 Subsubcuencas hidrográficas en la comuna de Los Andes	29
CUADRO N° 4-1 Detalle de las remociones en masa presentadas en la FIGURA N° 4-4.....	37
CUADRO N° 4-2 Inventario de inundaciones y temporales históricos del valle del Alto Aconcagua .	41
CUADRO N° 4-3 Principales crecidas en los períodos 1973-1993 en las áreas aledañas a la zona de estudio	42
CUADRO N° 4-4 Sectores críticos y problemas asociados a inundaciones en principales cauces ...	42
CUADRO N° 4-5 Datos de terremotos históricos de magnitud superior a 7.5 ocurridos en la zona. .	46
CUADRO N° 5-1 Resumen de los peligros incorporados en cada plano fuera de texto, para cada sector estudiado.....	52
CUADRO N° 6-1 Recomendación de criterios para la zonificación en áreas de riesgo	68
CUADRO N° 6-2 Recomendación de Criterios de asignación Zonas de Riesgo según 2.1.17	70

1. Introducción

La Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región de Valparaíso ha adjudicado a Nómade Consultores la “Actualización del Plan Regulador Comunal de Los Andes”. Como parte de dicho estudio, se ha elaborado el Estudio Fundado de Riesgos de acuerdo a los criterios y definiciones expuestos en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones¹., con el objetivo de reunir información, que sirva de base, para definir zonas de riesgo y zonas no edificables para la formulación de los respectivos instrumentos de planificación territorial (IPT).

1.1 Ubicación Área de Estudio

La comuna de Los Andes está ubicada en la parte oriental de la V Región de Valparaíso (FIGURA N° 1-1), entre los 32°43'S y los 33°11' Latitud Sur y los 70°39' y los 69°58' de Longitud Oeste. Deslinda con los siguientes territorios: las comunas de San Esteban y Santa María al norte; al sur la Comuna de Calle Larga; al suroeste con la comuna de Rinconada; al sureste con las comunas de Lo Barnechea y San José de Maipo de la Región Metropolitana; al este con Argentina y al oeste con la comuna de San Felipe (FIGURA N° 1-1). La principal ruta de acceso al área de estudio corresponde a la ruta internacional 60 que conecta con la ruta E-89.

En este trabajo, el área de estudio corresponde a las áreas urbanas de la comuna de Los Andes, situadas en la localidad de Los Andes, en el sector occidental de la comuna, y en la localidad de Río Blanco, en el centro de la comuna (FIGURA N° 1-2).

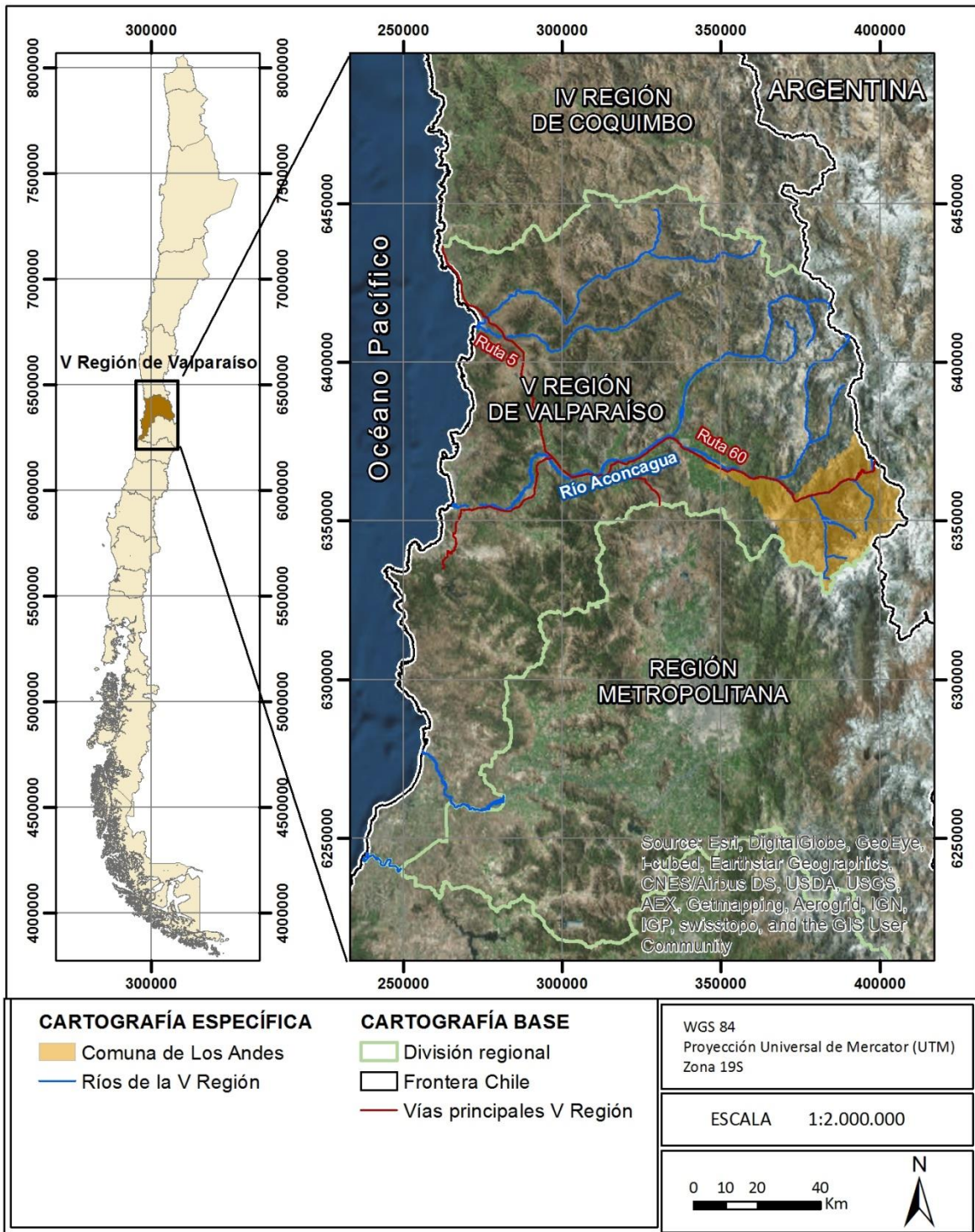
1.2 Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es identificar los principales peligros geológicos que puedan afectar a las áreas urbanas de la comuna de Los Andes, de acuerdo a lo señalado por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, generando un estudio fundado de Riesgos Geológicos en las áreas urbanas de la comuna de Los Andes. Esta información entrega criterios que han de ser incorporados y/o adecuados en la “Actualización del Plan Regulador Comunal Los Andes”, con la finalidad de mitigar los eventuales riesgos naturales en la zona de estudio.

El objetivo específico de esta etapa del proyecto consiste en la elaboración de una línea base geológica y geomorfológica regional, además de un inventario, descripción y diagnóstico de los principales peligros geológicos que pueden afectar al área, y una zonificación de susceptibilidad para los peligros geológicos identificados en las áreas de estudio de detalle.

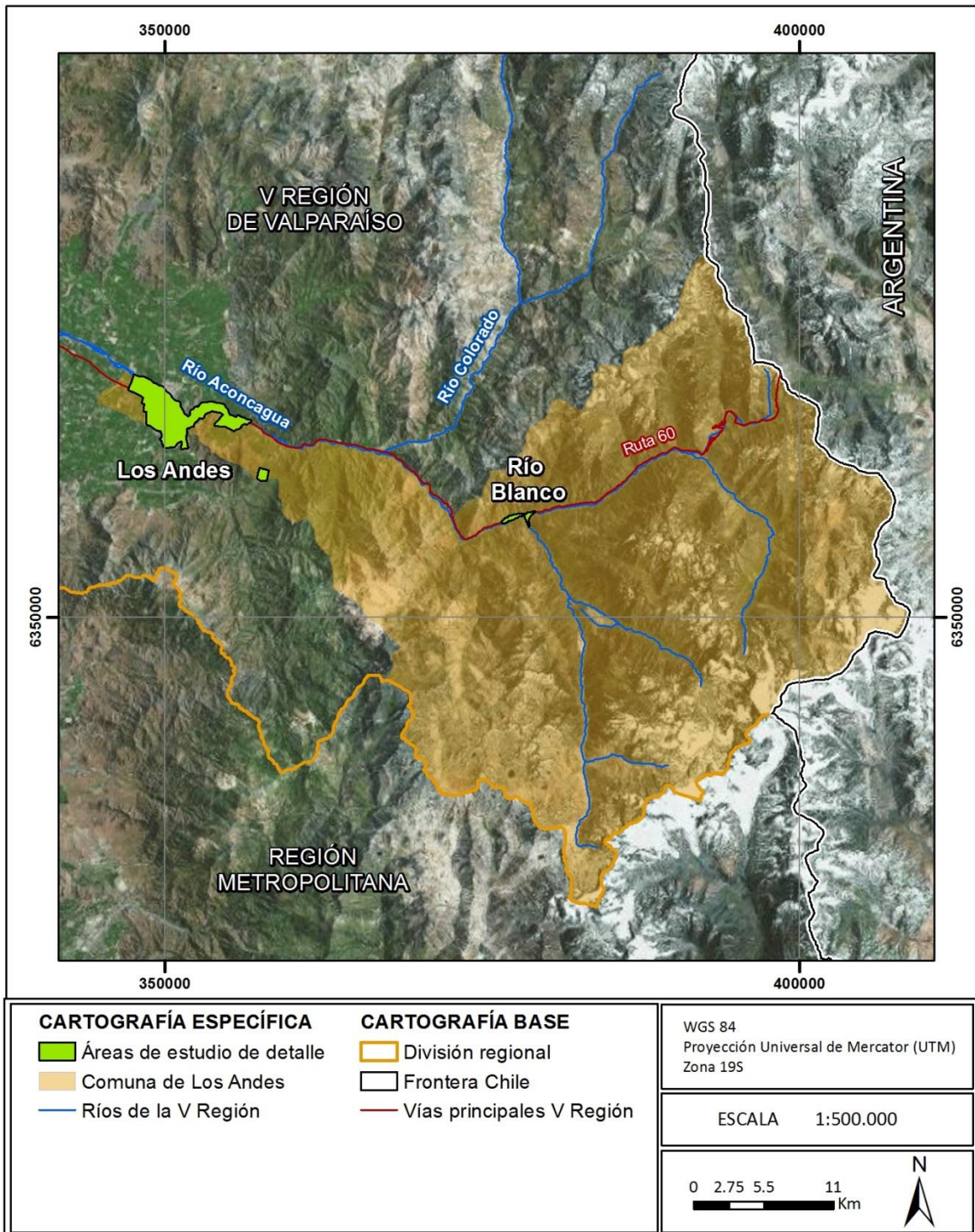
¹ OGUC

FIGURA N° 1-1 Ubicación de la comuna de Los Andes



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA Nº 1-2 Ubicación de áreas de estudio de detalle en la comuna de Los Andes



Fuente: Elaboración Propia

1.3 Alcance y limitaciones

Para esta etapa del trabajo se realizó una compilación de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, revisión de fotografías aéreas, visita a terreno y la evaluación de los distintos factores condicionantes para realizar el diagnóstico de los peligros geológicos que puedan afectar las zonas urbanas de la comuna de Los Andes.

Por otro lado, no se llevó a cabo ningún análisis de períodos de retorno (peligrosidad o amenaza) o de consideraciones socio-económicas (vulnerabilidad) de acuerdo a estándares internacionales, por lo que los mapas entregados corresponden a mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el ANEXO A “Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe”).

El resultado de este estudio corresponde a mapas de factores condicionantes, principalmente morfológicos y geológicos, y mapas inventarios de los diferentes peligros geológicos identificados. A partir del análisis de estos, se generaron mapas de susceptibilidad a escala 1:5.000 (en planos fuera de texto), los que se incluyen dentro del informe de modo referencial a escala 1:50.000 para Los Andes y 1:30.000 para la localidad de Río Blanco.

1.4 Marco Jurídico

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

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

Por “áreas de riesgo”, se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole, suficientes para subsanar o mitigar tales efectos.” En el marco de este informe, “áreas de riesgo” son definidas como las zonas susceptibles a ser afectadas por un peligro geológico, dado que la zonificación se realizó a partir de mapas de susceptibilidad y de factores condicionantes (ver las definiciones presentadas en el ANEXO A “Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe”).

En el CUADRO N° 1-1 se presentan los peligros naturales identificados por el artículo 2.1.17 de la OGUC y la homologación con la nomenclatura internacional utilizada por este informe². A

² La nomenclatura utilizada en este informe se basa en las definiciones propuesta por la ONU, UNESCO y SERNAGEOMIN, entre otros (Varnes, 1984; ONU/EIRD, 2004; PMA-GCA, 2007; JTC-1, 2008).

continuación, se desglosa dónde se presenta la definición de estos peligros geológicos y los criterios de zonificación utilizados.

- Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC: Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.

De acuerdo a las definiciones utilizadas en este informe, el Apartado 1 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de inundación, ya sea continental o costera. Este tópico que se explica conceptualmente en el Anexo B.2.1 “Inundaciones Terrestres y Litorales”.

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

El Apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC corresponde a los peligros geológicos de remociones en masa (deslizamiento de suelo y/o roca, caída de rocas, flujos de barro y/o detritos) y los procesos litorales de erosión acentuada. Estos se explican conceptualmente en el Anexo B.2.2 “Procesos de Remoción en Masa”.

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

Dentro de este apartado definido por la OGUC se analizan conceptualmente los procesos endógenos internos de la tierra, descritos en el Anexo B.1.1 “Sismicidad” y Anexo B.1.2 “Volcanismo”.

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

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

Fuente: Elaboración propia en base a la normativa 2.1.17.

2. Metodología

El objetivo del Estudio de Riesgos de San Felipe es generar mapas de susceptibilidad para las áreas urbanas de la comuna, con el objetivo de dar cumplimiento al Artículo 2.1.17 de la OGUC. Como parte del proceso para generar los mapas de susceptibilidad, se realizaron las siguientes tareas, las que se encuentran resumidas en la FIGURA N° 2-1.

1. Definición del Estudio: Elección de la escala de trabajo y área a analizar.
2. Elaboración de una línea de base geológica y geomorfológica: El objetivo de este punto es identificar los distintos depósitos sedimentarios producto de procesos de remoción en masa e inundaciones, esto es, depósitos aluviales activos e inactivos, depósitos fluviales activos e inactivos, depósitos coluviales y las zonas de generación de coluvios.
3. Catastro de Peligros Geológicos: En esta tarea se recopilan los distintos peligros geológicos que han afectado los sectores urbanos de la comuna de Ancud y Chacao, con la finalidad de identificarlos, ubicarlos espacialmente y ordenarlos cronológicamente si esto último es posible.

A partir de la línea de base geológica y geomorfológica, y el catastro de peligros geológicos se identifican los principales peligros reconocidos en el área de estudio, y a su vez, se determinan los factores condicionantes y desencadenantes de estos fenómenos. 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.

Las áreas de estudio de detalle corresponden a las áreas urbanas definidas en el Plan Regulador Comunal previo de Los Andes, además se analizaron las áreas de influencia directa e indirecta asociada a los peligros geológicos estudiados. La escala de análisis elegida para el desarrollo del estudio corresponde a la escala 1:5.000 para las áreas de estudio de detalle.

2.2 Elaboración de la línea de base geológica

Las caracterizaciones geológica se realizó utilizando los siguientes criterios:

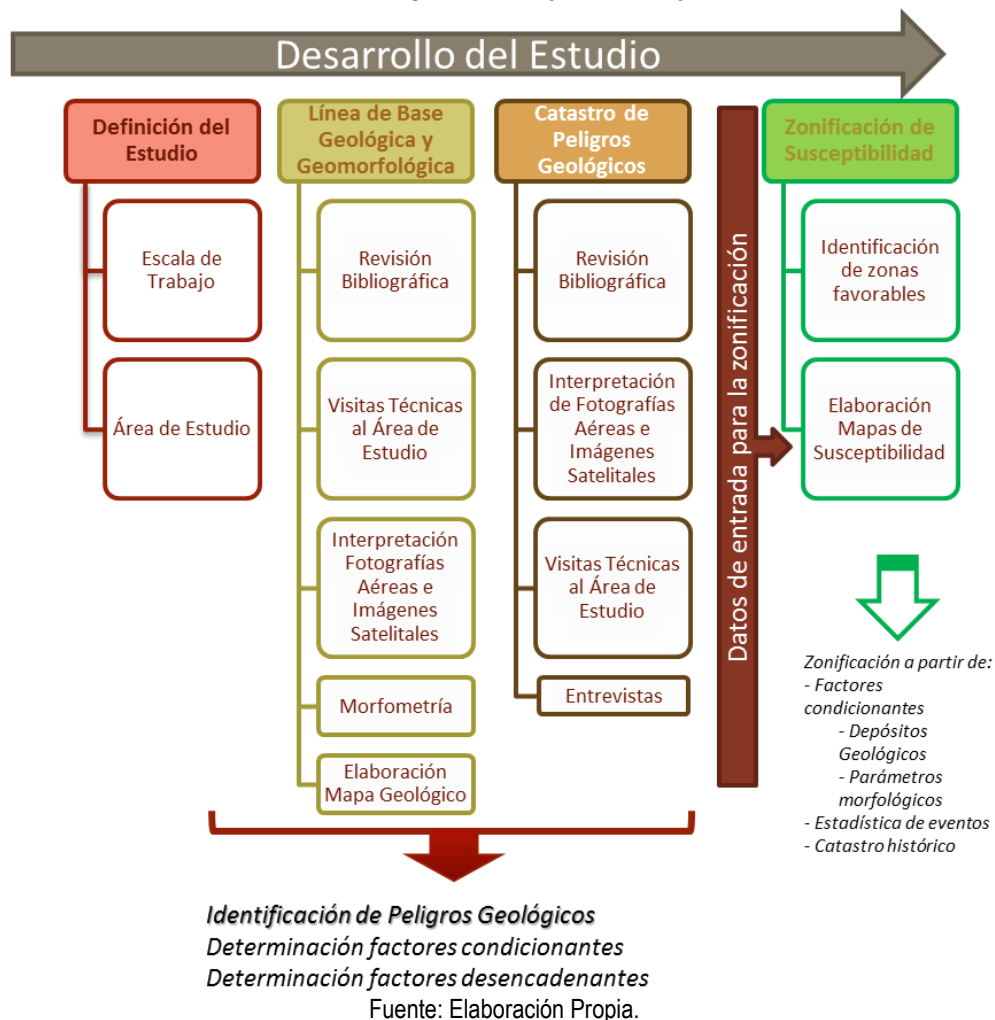
4. Recopilación Bibliográfica.
5. Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales.
6. Visitas Técnicas al área de estudio.
7. Morfometría.
8. Elaboración mapa geológico.

2.2.1 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, MOP, DGA, MINVU, MUNICIPALIDAD, CONAF, CIREN, SIRIG del GORE, etc.). El objetivo de esta búsqueda fue compilar la siguiente información:

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

FIGURA N° 2-1 Diagrama de flujo del trabajo realizado



Las fotografías aéreas e imágenes satelitales utilizadas corresponden a de los catálogos de Imágenes de Google Earth © y Bing Maps ©, que cubren distintos períodos de tiempo desde el año 2003, esto entrega más de 10 años de registro de imágenes satelitales.

La información recopilada corresponde a la información base que es analizada en el presente estudio, y es presentada como lista de referencias en el capítulo 7 "Referencias citadas en el texto". Además, la información fue sistematizada y georeferenciada en un Sistema de Información Geográfico.

2.2.2 Visitas técnicas al área de estudio.

El día 18 de febrero de 2013, el equipo consultor a cargo de este informe realizó una visita a terreno con el objetivo de revisar los sectores a estudiar. Los puntos recorridos durante la visita a terreno del día 18 de febrero se presentan en la FIGURA N° 2-2. Durante la visita, el equipo consultor coordinó una entrevista con el Encargado de Emergencias de la Municipalidad de Los Andes, don Marcelo Órdenes.

El objetivo de las visitas a terreno fue delimitar los principales contactos entre el basamento rocoso y los depósitos no consolidados activos e inactivos, tales como depósitos aluviales, depósitos fluviales y deltaicos, depósitos coluviales, depósitos litorales, depósitos glaciares y niveles aterrazados. Además se identificaron los principales cauces, sus llanuras de inundación y niveles de terrazas fluviales.

El recorrido realizado se muestra en la FIGURA N° 2-2 e incluyó varios puntos de observación de detalle que fueron registrados mediante fotografías, anotaciones en planos y en libreta.

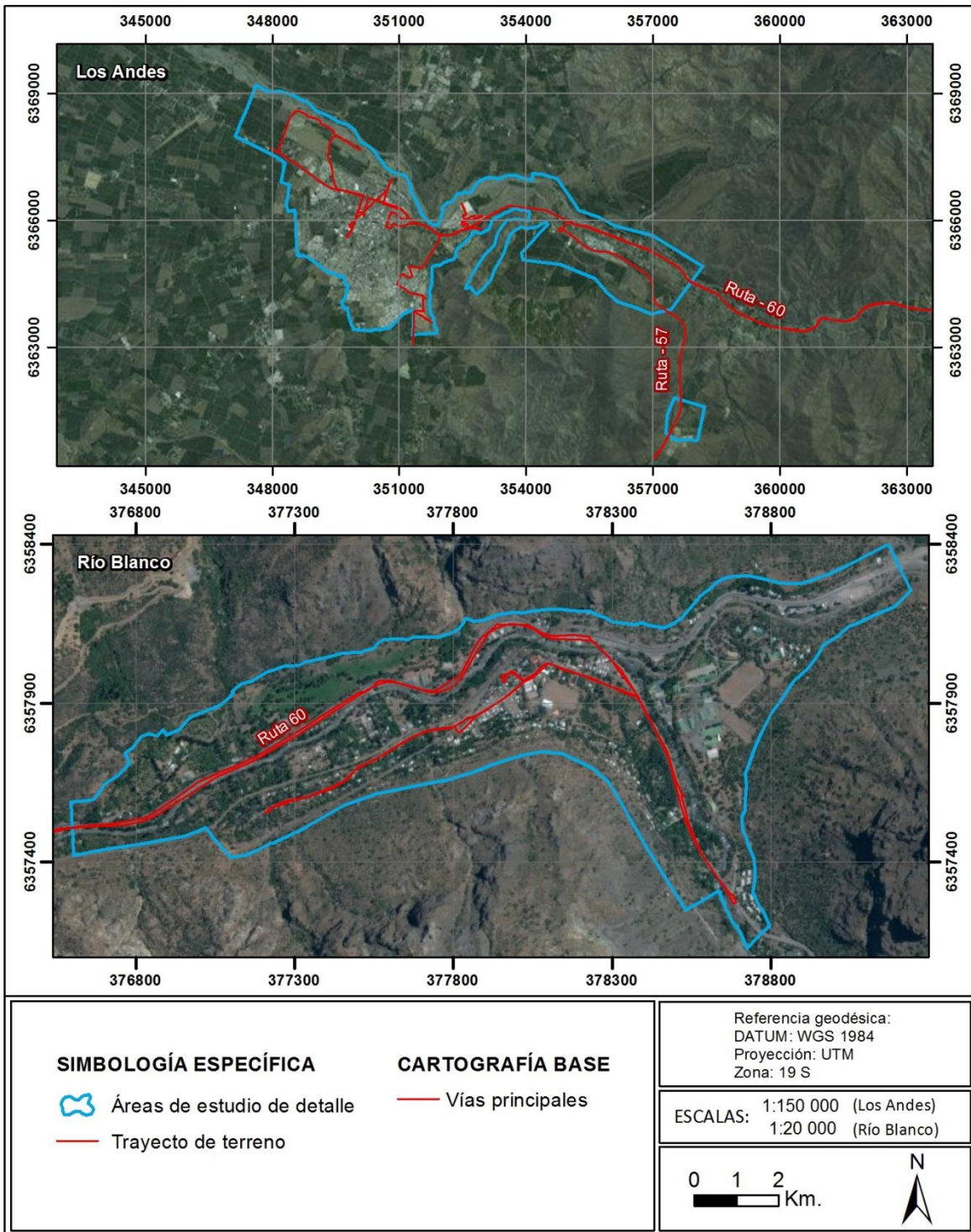
2.2.3 Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

Las fotografías aéreas e imágenes satelitales recopiladas fueron analizadas, con el objetivo de complementar la información obtenida en terreno, la recopilación bibliográfica y el análisis morfométrico. Las fotografías e imágenes satelitales sirvieron de base para trazar las principales formas identificadas en el área de estudio (por ejemplo, terrazas fluviales, abanicos aluviales, conos de deyección, etc.).

2.2.4 Morfometría

A partir de las curvas de nivel, se construyó un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) a partir de la interpolación de los datos de elevación disponibles. El DEM corresponde a una matriz que contiene la información topográfica básica (elevación) que permitió estimar los parámetros morfométricos. Los parámetros morfométricos analizados son: cartas de pendiente, exposición de ladera, curvatura y relieve sombreado. Estos mapas fueron utilizados como apoyo para la identificación de las principales formas del terreno (geomorfología) y los depósitos no consolidados. Durante el desarrollo del estudio, los parámetros morfométricos analizados fueron considerados como un factor condicionante para la elaboración de mapas de susceptibilidad.

FIGURA N° 2-2 Recorrido realizado durante la visita a terreno.



Fuente: Elaboración propia

Además, se contó con las cartas morfométricas generadas a partir del Modelo de Elevación SRTM, que corresponde a un modelo de elevación absoluto con un tamaño de celda de 30 metros. Los modelos SRTM fueron utilizados para analizar las áreas no cubiertas por la topografía base.

2.2.5 Elaboración mapa geológico

El mapa geológico tiene como objetivo identificar tanto las unidades de roca y los depósitos sedimentarios no consolidados ubicados en el área de estudio. En el mapa geológico se da énfasis en la identificación de:

- Unidades de Roca: Corresponden a los afloramientos rocosos, los que serán clasificados de acuerdo a su edad y litología, y de ser posible, respecto a la calidad geotécnica del macizo rocoso.
- Depósitos Sedimentarios: Corresponde a sedimentos, total o parcialmente consolidados. Al desarrollar el mapa geológico se da énfasis en los depósitos sedimentarios dado que son el producto de procesos de remoción en masa e inundaciones, esto es, depósitos aluviales activos e inactivos, depósitos fluviales activos e inactivos, depósitos coluviales y las zonas de generación de coluvio.
- Depósitos Volcánicos recientes, producto de erupciones volcánicas, tales como depósitos de caída de ceniza, depósitos de flujos piroclásticos, depósitos de lahares y coladas de lava.

Dado que las coberturas geológicas del área de estudio se encuentran a una escala menor a la elegida en la definición del área de estudio, fue necesario realizar un aumento de escala de la cartografía geológica disponible. El aumento de escala fue realizado a partir de visitas a terreno junto con la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, y el análisis de las cartas morfométricas elaboradas.

Se compiló los mapas geológicos a escala 1:250.000 elaborados por Rivano, et al. (1993), complementado con las actualizaciones introducidas por el Mapa Geológico de Chile a escala 1:1.000.000 desarrollado por SERNAGEOMIN (2003). Para el trazado del mapa geológico también se consideraron las modificaciones introducidas por Campbell (2005).

Para la caracterización geológica se realizó una interpretación de fotografías aéreas e imágenes satélites, lo cual permitió delimitar los principales contactos entre el basamento rocoso y los depósitos no consolidados activos e inactivos, tales como depósitos aluviales, depósitos fluviales y deltaicos, depósitos coluviales, depósitos litorales, depósitos glaciares y niveles aterrizados. Además se identificaron los principales cauces, sus llanuras de inundación y niveles de terrazas fluviales.

2.3 *Inventario de Peligros Geológicos*

El inventario de peligros geológicos se realizó en base a una recopilación de antecedentes bibliográficos, registros históricos, análisis de imágenes satelitales y a la visita a terreno.

2.3.1 Revisión histórica y bibliográfica

Se realizó una revisión metódica de los eventos geológicos que eventualmente signifiquen un peligro para la zona de estudio, estos son:

1. Actividad volcánica

2. Actividad sísmica
3. Inundaciones
4. Remociones en masa.

Esto con el objetivo de cuantificar y calificar la distribución temporal y espacial de dichos sucesos y así, con el factor histórico, acotar mejor las probabilidades de la ocurrencia de un suceso en un intervalo de tiempo y espacio determinados.

Para dicho efecto se revisan los antecedentes históricos de publicaciones científicas y libros, tales como por ejemplo (Urrutia & Lanza, 1993), González-Ferrán (1995), publicaciones del SERNAGEOMIN, entre otros.

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

Para los eventos volcánicos se revisaron las fechas de registro de actividad y catastros de centros volcánicos presentados en Urrutia y Lanza (1993), González-Ferrán (1995) y (SERNAGEOMIN, 2003).

La generación del catastro de eventos sísmicos se realizó en base a recopilaciones históricas y de publicaciones científicas Nishenko (1985); Comte, et al. (1986); Comte y Pardo (1991); Comte, et al. (2002); (Lara & Rauld, 2003); (Urrutia & Lanza, 1993). La base de datos de sismos utilizada para la representar los sismos históricos de la región es del National Earthquake Information Center (NEIC) del United States Geological Survey (USGS)³. 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.

2.3.2 Análisis e interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

Con el fin de identificar evidencias de peligros geológicos declarados, es decir peligros geológicos que en el pasado ya se han manifestado en el área de estudio, se recopiló fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Además, a partir de las imágenes recopiladas, se realizó el mapeo geológico y geomorfológico, donde se han identificado a una escala adecuada una serie de rasgos, tales como depósitos de flujos de detritos. Estos elementos evidencian que el área de estudio ha sido afectada por procesos de remoción en masa en el pasado, y además, permiten deducir algunas características y factores desencadenantes de estos fenómenos, información que es utilizada para la estimación y modelado del alcance de estos procesos.

³ Disponible en línea en: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>

2.4 Diagnóstico de Susceptibilidad

De acuerdo a los objetivos planteados en esta etapa, se contempla una zonificación de susceptibilidad a los peligros geológicos que puedan afectar a las áreas de estudio de detalle.

Con base en la interpretación de imágenes satelitales, en la geología y la geomorfología de la zona y en la información recopilada durante la visita a terreno, se establecieron 4 categorías de Susceptibilidad de Inundaciones (Muy Alta, Alta, Moderada y Baja) y 3 categorías para la Susceptibilidad de Remociones en Masa (Muy Alta, Alta y Moderada), cuyos criterios de clasificación son explicados en la Secciones 5.2.1 y 5.2.2, respectivamente. El resultado de la zonificación se presenta en planos fuera de texto a escala 1:5.000, y dentro del informe a escala 1:50.000 para Los Andes y 1:30.000 para la localidad de Río Blanco.

3. Línea de base

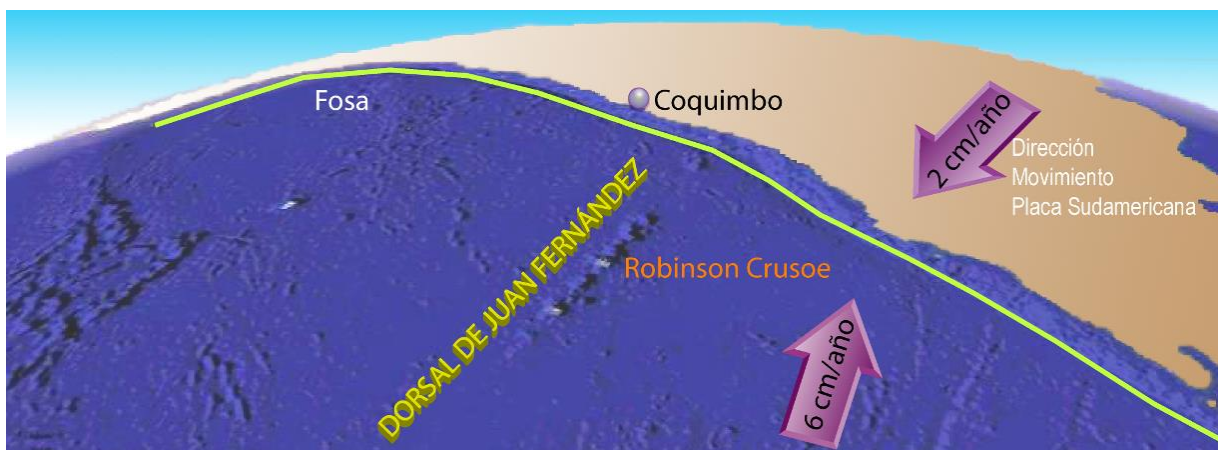
3.1 Marco Geodinámico

Chile se ubica en un margen convergente de placas tipo océano-continente (FIGURA N° 3-1), donde la Placa Oceánica de Nazca subducta a la Placa Continental Sudamericana bajo su margen occidental, con una tasa actual de convergencia se estima en 8 cm/año (DeMets, et al., 1994), activa al menos desde, el Jurásico (Ramos, et al. (1986), Mpodozis y 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 área de estudio se encuentra alrededor de los 32°S, enmarcado dentro del esquema de segmentación andina en el límite entre una zona de subducción plana, al norte de los 32°S, y una zona de subducción normal, al sur de los 32°S (FIGURA N° 3-2) (Mpodozis y Ramos (1989), (Charrier, et al., 2007)). La zona de subducción plana se caracteriza porque la placa de Nazca se dispone en un ángulo bajo (~10°) una vez que se encuentra bajo la placa Sudamericana (Isaacks (1988), Mpodozis y Ramos, (1989), Ramos, et al. (2002)). En la zona se destacan las siguientes características:

- a) La costa oeste de la placa Sudamericana tiene, al norte de los 33°S, un rumbo aproximado NS, mientras que al sur de los 33° la costa posee un rumbo aproximado N20°E
- b) No se aprecia el desarrollo de una depresión central al norte de los 32°S; en cambio, se presentan valles transversales en el antearco.
- c) No hay registro de volcanismo cuaternario en la Cordillera Principal entre los 27°S y los 32°S.
- d) En Argentina al norte de los 32°S se desarrollan las Sierras Pampeanas, que están asociadas a una intensa sismicidad cortical superficial en Argentina y al ensanchamiento del orógeno.

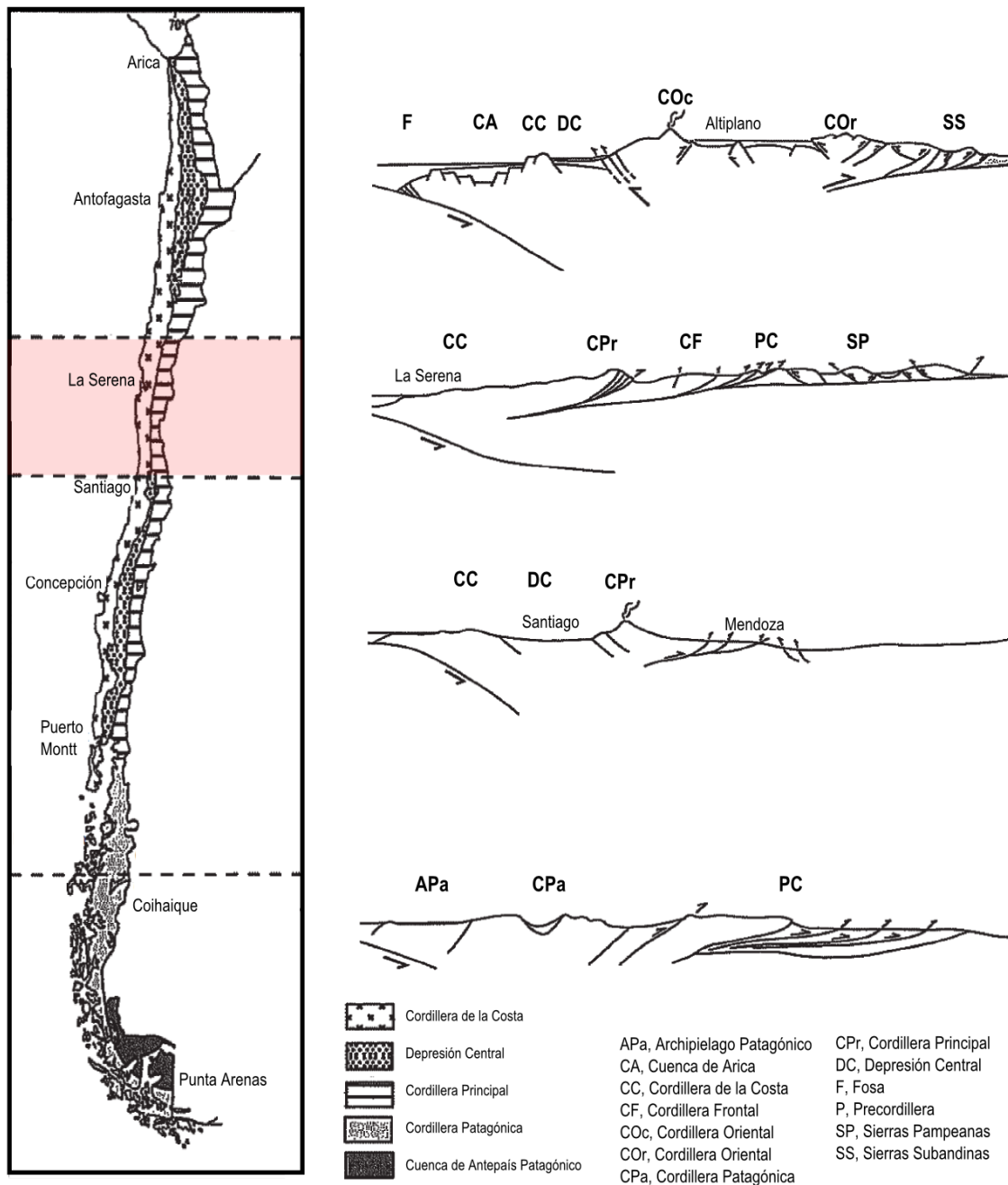
FIGURA N° 3-1 Vista en 3D donde se representa el marco geodinámico, se aprecia la Dorsal de Juan Fernández y el lugar donde es subductada frente a los 33° S. La línea verde señala la fosa, lugar donde subducta la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, las flechas muestran las direcciones y velocidades de convergencia entre ambas placas



Fuente: Elaboración propia

La subducción a lo largo de Chile se caracteriza por presentar terremotos de gran magnitud, estructuras tectónicas de gran escala, fenómenos directamente relacionados con la dinámica que genera la placa subductada, ubicada debajo del arco magmático (Barrientos (1980) y (1997)).

FIGURA N° 3-2 Esquema de la segmentación andina. La franja coloreada representa la zona de subducción plana y la ausencia de volcanismo activo reciente. El área de estudio se ubica en el margen inferior de esta franja.



Fuente: Modificado de Charrier et al. (2007)

3.2 Marco Geológico y Geomorfológico

El área de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera Principal. La Cordillera Principal corresponde a la unidad de mayor relieve de la comuna, en ella afloran rocas volcánicas y sedimentarias del Mioceno. Comprende elevaciones entre los 900 y los 3900 m s.n.m. En esta zona las pendientes alcanzan valores altos, entre 15° y 70° y que localmente superan los 70°. En la Cordillera Principal se encuentran las cabeceras de los drenajes que desembocan en las áreas urbanas.

La geología de la comuna de Los Andes está constituida por rocas con un rango de edades que van desde el Jurásico hasta el Mioceno, mientras que los depósitos no consolidados son producto de los procesos erosivos y depositacionales del Cuaternario (Thomas, 1967).

La geología del área de estudio (FIGURA N° 3-3, FIGURA N° 3-4 y FIGURA N° 3-5) se puede describir de manera general por rocas volcánicas y sedimentarias, marinas y continentales, que van desde el Jurásico inferior hasta el Cenozoico. Tanto las secuencias volcano-sedimentarias cretácicas como jurásicas se encuentran intruidas por pórfidos cenozoicos, cuya composición varía de gabros a granitos y con edades radiométricas que van desde el Mioceno Inferior al Mioceno Superior, decreciendo su edad de oeste a este (Thomas (1967), Rivano (1991), Rivano, et al. (1993)).

El Mesozoico aflora principalmente del noroeste al sudeste del área de estudio como secuencias sedimentarias y cuerpos intrusivos. Es importante notar el desarrollo de una zona de falla orientada norte-sur (FIGURA N° 3-3 y FIGURA N° 3-4), al este de la zona de falla se desarrollan toda la geología cenozoica, que consiste principalmente en una secuencia volcánica –sedimentaria e intrusivos de carácter batolítico que se hacen más jóvenes hacia el este. Esta Falla es conocida en la literatura como Falla Pocuro (Carter & Aguirre, 1965).

3.2.1 Unidades de roca

3.2.1.1 Formación Las Chilcas (Barremiano-Turoniano)

La Formación Las Chilcas se ubica en un periodo geológico extenso (135 a 89 M.a). Esto se debe a que hay divergencia de opiniones en cuanto a la pertenencia del período geológico. Según Thomas (1958) la formación corresponde al Cretácico Superior (Turoniano), pero Rivano, et al. (1986) la ubican en el Cretácico Inferior (Barremiano), siendo esta última la más certera ya que se usaron técnicas de datación radiométricas K/Ar de muestras de campo. Posteriormente se encontraron microfósiles en los niveles calcáreos y se le asignó una edad Albiano medio (Gallego (1994), Martínez-Pardo, et al. (1994)). Esta edad es similar a las edades obtenidas por dataciones de U-Pb en circón de lavas y flujos piroclásticos que varían entre 109,6±0,1 y 106,5±0,2 Ma (Wall, et al., 1999) y a edades K/Ar de lavas que varían entre 101±3 y 95±3 Ma (Gallego (1994) ; Wall, et al. (1999)).

La formación tiene un origen volcanoclástico y continental-lagunar. Las diferentes litologías que afloran generalmente corresponden a brechas, conglomerados, dimamicitas, volcarenitas, tobas y escasos niveles de lavas andesíticas. En algunas zonas de la formación encontramos dos partes diferenciadas, una donde predominan las Calcilitas, Margas, Calizas Estromatolíticas y otra donde predominan los Mármoles.

Subyace en discordancia de erosión a la formación Lo Valle (Cretácico Superior). Se constata la existencia de un hiatus de ca. 20 Ma entre estas dos formaciones basándose en edades 40Ar/39Ar obtenidas en la zona al norte de Santiago. Sobreyace en concordancia a la Formación Veta Negra y se correlaciona hacia el norte con la Formación Quebrada Marquesa (Campbell, 2005).

Esta formación representa un arco volcánico subaéreo con intercalaciones aluviales continentales y en menor medida marinas. Las intercalaciones marinas se habrían depositado en una cuenca extensional, en un ambiente de plataforma carbonatada abierta hacia el oeste y que correspondería a una etapa terminal del ciclo transgresivo marino de una cuenca ensiálica marina del Albiano medio hasta el Albiano Superior (Campbell, 2005).

3.2.1.2 Formación Abanico (Oligoceno), (Aguirre, 1960)

Consiste en una serie de depósitos volcanoclásticos, lavas intermedias a ácidas e intercalaciones sedimentarias aluviales, fluviales y lacustres, con un espesor aproximado de 2500m (Charrier et al., 1982).

Esta formación subyace a la Formación de Farellones. La naturaleza de este contacto es variable. En algunas zonas es discordante (Aguirre (1960); Klohn (1960); Jaros (1969); Thiele (1980); Padilla (1981); Moscoso & Padilla (1982); Padilla (1990)), en otras es concordante o pseudoconcordantes (Godoy & Lara (1994); Godoy, et al. (1999)), y en algunas zonas se produce una transición gradual entre ambas formaciones (Navarro, 2001). Algunos autores señalan que la variabilidad de este contacto sería consecuencia de que la Formación Farellones se habría depositado durante y con posterioridad a la inversión de la cuenca en que se habría depositado la Formación Abanico (Baeza (1999); Charrier, et al. (2002)). El contacto con las unidades mesozoicas subyacentes es por discordancia de erosión y en algunas localidades por la Zona de Falla Pocuro, como es el caso de la zona de estudio (Rivano, et al., 1993).

Es asignada a esta formación una edad entre el Eoceno medio a superior y el Mioceno inferior, basado en las edades radiométricas K/Ar y 40Ar/39Ar que se tiene de esta formación al sur del área de estudio (Moscoso & Padilla (1982); Charrier, et al. (2002) ; Gana & Wall (1997); Fuentes, et al. (2002), en prensa).

Los afloramientos designados a la Formación Abanico entre los 32° y 33°S por algunos autores (Aguirre (1960); Padilla (1981); Moscoso & Padilla (1982); SERNAGEOMIN (2003)) son asignados sobre la base de relaciones estratigráficas por otros autores (Rivano, 1991); Rivano, et al. (1993); Rivano (1996); Díaz (1996)) a las formaciones Los Pelambres y Salamanca de edad Cretácico Inferior y Cretácico Superior, respectivamente. (Rivano, 1996) señala que estas rocas se correlacionan hacia el norte con la Formación Los Pelambres y hacia el sur con la Formación Coya-Machali de edad oligoceno a Mioceno Temprano (Charrier et al., 1996).

Esta formación representa un volcanismo subaéreo continental con intercalaciones sedimentarias a ambientes lacustres de menor energía.

3.2.2 Depósitos no consolidados

A continuación se presenta una descripción general de los depósitos no consolidados reconocidos en el área de estudio.

3.2.2.1 Depósitos de Terrazas continentales

Estos rasgos geomorfológicos corresponden según Rivano, et al. (1993) a los depósitos semiconsolidados existentes en el borde oriental del valle de San Felipe – Los Andes. Estas terrazas están formadas por arenas medias y conglomerados finos a medios. Presentan grandes escarpes de hasta decenas de metros de altura y podría estar correlacionado a escarpes de falla producto de la Zona de Falla de Pocuro. Se les asigna una edad Pleistoceno por relaciones estratigráficas con las rocas de la Formación Abanico.

3.2.2.2 Depósitos Aluviales de Valle (Pleistoceno-Holoceno)

Corresponden a sedimentos acumulados en las partes topográficamente más bajas de la depresión central. Los depósitos aluviales de valle están formados por sedimentos consolidados, estratificados y compuestos por gravas, arenitas, limos y arcillas, y son disectados por el curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.

3.2.2.3 Depósitos Aluviales Activos y Aluviales de Piedemonte (Pleistoceno-Holoceno)

Corresponde a los sedimentos ubicados al pie de laderas, quebradas y cursos de aguas menores o efímeros, los que conforman conos de deyección. Estos depósitos están compuestos por bloques, gravas, arenas y, en menor cantidad, limos y arcillas. En general corresponden a sedimentos clasto-soportados, no consolidados y con mala estratificación. Las partes cercanas a la zona apical del abanico contienen un mayor porcentaje de sedimentos gruesos que en las partes distales y en algunos casos incluyen algunos depósitos matriz-soportados asociados a flujos de barro y detritos.

3.2.2.4 Depósitos coluviales (Pleistoceno-Holoceno)

Los depósitos coluviales de quebradas están constituidos por bloques y gravas movilizados por gravedad o por cursos de agua de quebradas intermitentes pendiente abajo. En algunos casos los deslizamientos pueden ser generados por movimientos sísmicos.

3.2.2.5 Depósitos fluviales (Pleistoceno-Holoceno)

Corresponden a depósitos reconocidos en las planicies fluviales cercanas a los cauces activos de los ríos. Están compuestas por bolones y gravas no consolidadas, redondeadas a bien redondeadas,

clastosoportadas y de baja esfericidad. Estos depósitos son polimícticos, y están asociados a lentes de arenas no consolidadas o limos finamente laminados. De manera ocasional estos depósitos se encuentran imbricados.

3.3 Estructuras (Falla Pocuro)

La estructura geológica de mayor importancia regional que ha sido descrita en cercanías del área de estudio corresponde a la Falla Pocuro o Zona de Falla Pocuro (FIGURA N° 3-3 y FIGURA N° 3-4).

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

Posteriormente Moscoso *et al.* (1982) complementan el conocimiento de la Zona De Falla Pocuro al asociar al sistema de fallas a una serie de fallas normales que estarían relacionadas a la estructura mayor. Gana y Wall (1997) asignaron una edad mínima Oligoceno Superior – Mioceno Inferior a la Zona De Falla Pocuro mediante resultados de dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$.

Campbell (2005) señala que se distinguen tres etapas en el desarrollo de la ZONA DE FALLA POCURO, una primera caracterizada por el desarrollo de fallas de alto ángulo, una segunda caracterizada por el emplazamiento de diques y filones andesíticos aprovechando las estructuras preexistentes y una tercera etapa en la que algunas fallas se habrían reactivado alzando el bloque oriental respecto a la Zona De Falla Pocuro, y en algunos segmentos se habría producido un movimiento de rumbo dextral. El autor señala que los últimos movimientos de la falla estarían acotados, al menos, al Mioceno. Sin embargo evidencias de exhumación en rocas ubicadas al este de la Zona De Falla Pocuro evidenciarían un alzamiento que puede indicar actividad de la falla durante el Mioceno Superior – Plioceno.

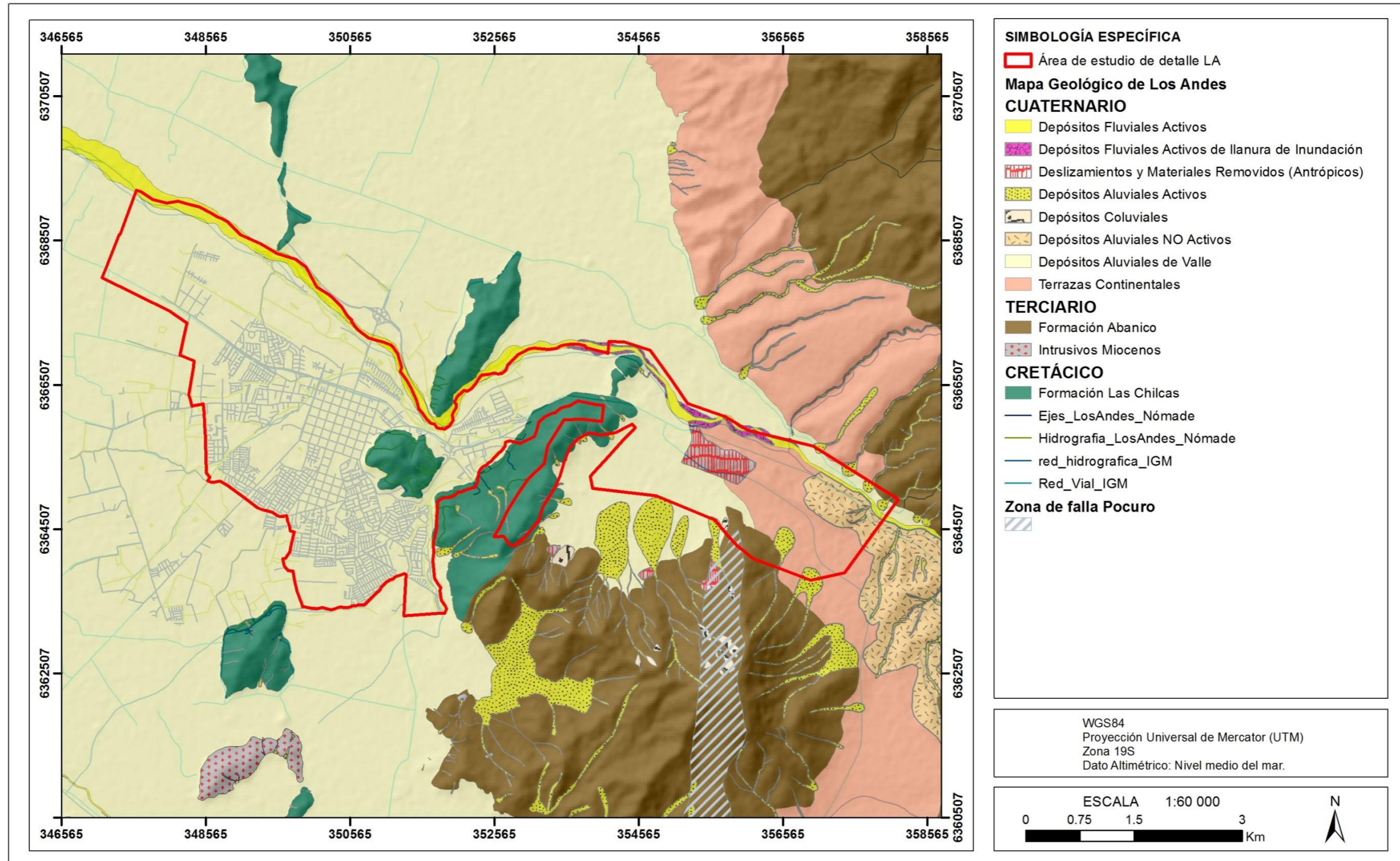
Trabajos realizados más al sur (Armijo, et al., 2012) y (Rauld, 2011) señalan que en el límite occidental de la Cordillera Principal corresponde a una falla inversa activa que estaría asociada al alzamiento de la Cordillera, que estaría activa al menos desde el Mioceno y que presenta actividad reciente. A la latitud de Santiago esta falla es la Falla San Ramón, que presenta evidencias de actividad durante el Pleistoceno – Holoceno. Los mismos autores sugieren que la Zona De Falla Pocuro es parte del mismo sistema de fallas que conforman el frente occidental de la Cordillera Principal, y que si bien no está en contacto directo con la falla San Ramón corresponde a una falla, o sistema de fallas, que juegan el mismo papel dentro de la evolución andina.

En sectores cercanos al área de estudio se reconocen algunas evidencias de actividad que no son concluyentes respecto al nivel de actividad que presenta la Zona De Falla Pocuro. La más destacable de estas evidencias corresponde a la presencia de escarpes que definen superficies aterrazadas compuestas por depósitos aluviales continentales (Rivano, et al., 1993). Estos escarpes presentan un desnivel de 20 m con respecto al resto de los depósitos ubicados en el valle de Los Andes (Unidad "Terrazas Continentales" en Figura N°2-9). Estos depósitos aluviales, de ambiente continental, se encuentran al este de la Zona De Falla Pocuro.

Otras estructuras a nivel regional corresponden a las Fallas Infiernillo (Moscoso & Padilla, 1982) y Chacabuco (Fuentes, et al., 2002), las que se considera que no afectan el área de estudio dado su ubicación al sur del área del proyecto. En la Cordillera Principal se ha reconocido una serie de plegamientos que afectan a las formaciones Abanico y Farellones (Rivano, et al., 1993).

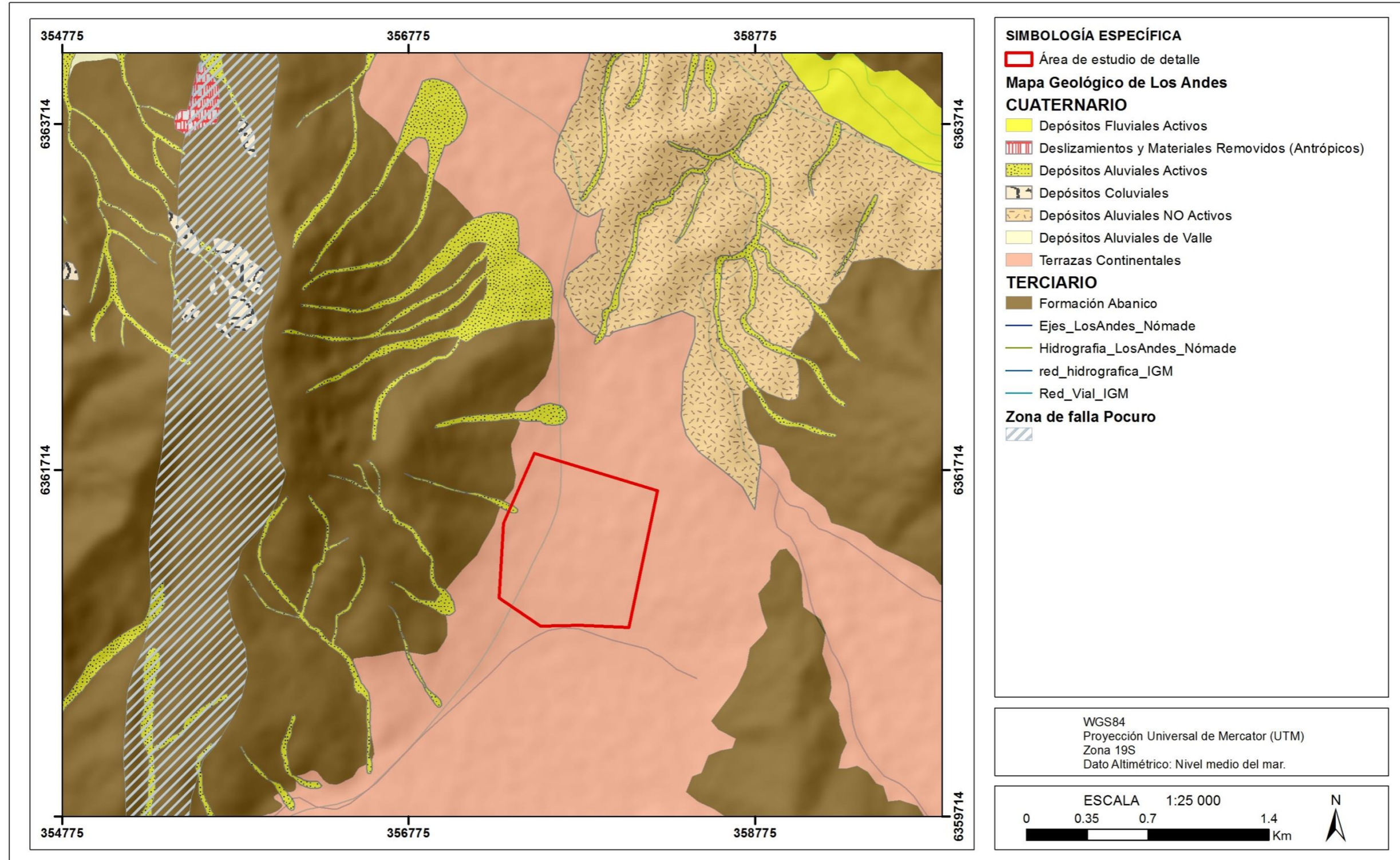
El estado de conocimiento actual sobre la Zona de Falla Pocuro no permite evaluar la amenaza que esta estructura implica para la región y en particular para la comuna de Los Andes.

FIGURA N° 3-3 Mapa Geológico del sector de Los Andes (principal)



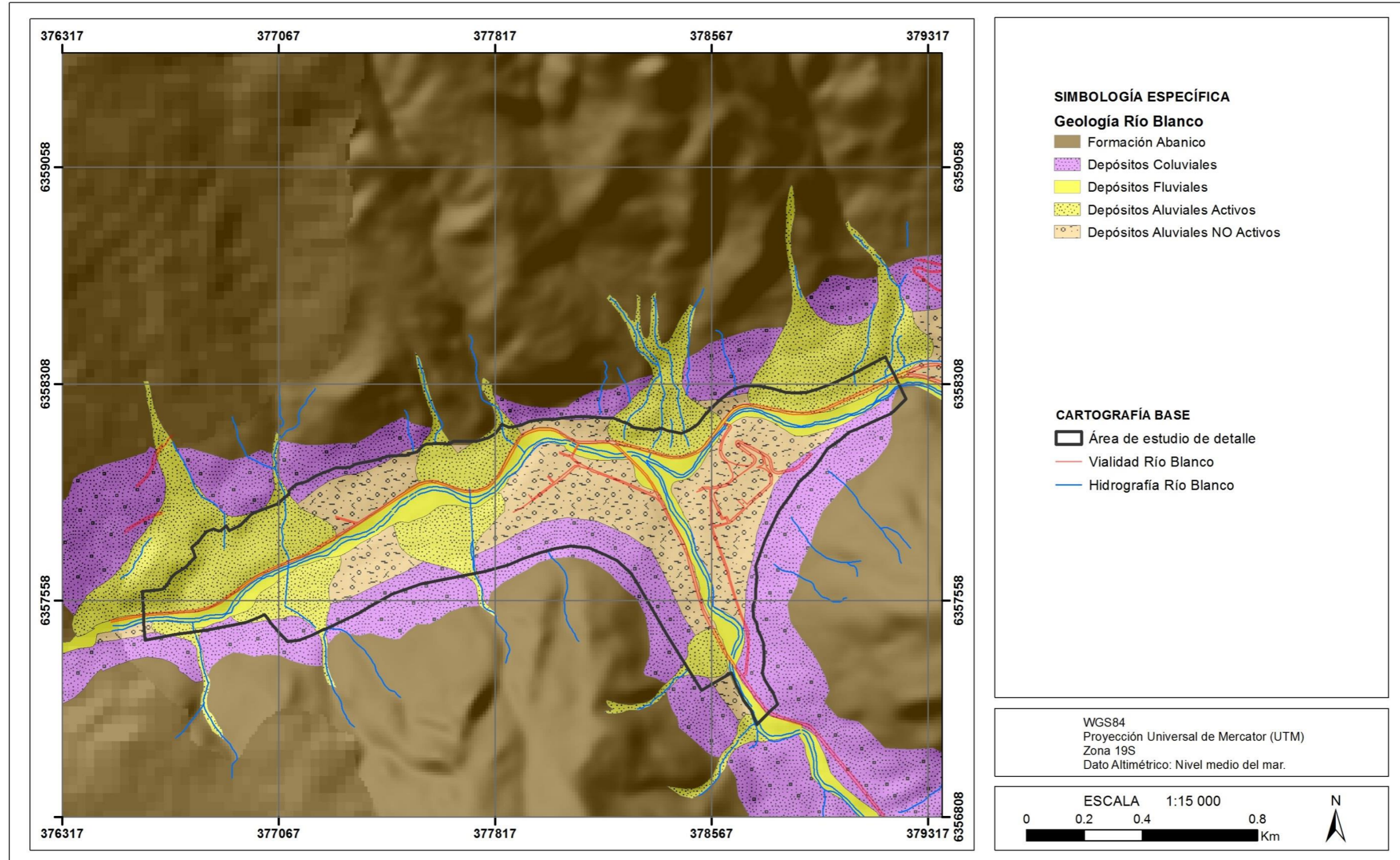
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA Nº 3-4 Mapa Geológico del sector de Los Andes (secundario)



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 3-5 Mapa Geológico del sector de Río Blanco



Fuente: Elaboración Propia

3.4 Marco Hidrológico

La comuna de Los Andes se ubica dentro de la cuenca hidrográfica del Río Aconcagua (FIGURA N° 3-6). Los principales cauces que pudieran afectar a las áreas urbanas son el río Aconcagua para Los Andes y los ríos Juncal, Blanco y Aconcagua para la localidad de Río Blanco.

Por otra parte, en la FIGURA N° 3-7 se muestran las cuencas aportantes a la comuna de Los Andes, y en el CUADRO N° 3-1 se presenta el área asociada a cada una de ellas. El área aportante asociada a los ríos mencionados en el párrafo anterior en las localidades estudiadas es la siguiente:

- Río Blanco en Río Blanco: 238 km².
- Río Juncal en Río Blanco: 499 km².
- Río Aconcagua en Río Blanco: 737 km².
- Río Aconcagua en Los Andes: 1.986 km² (superficie aproximada).

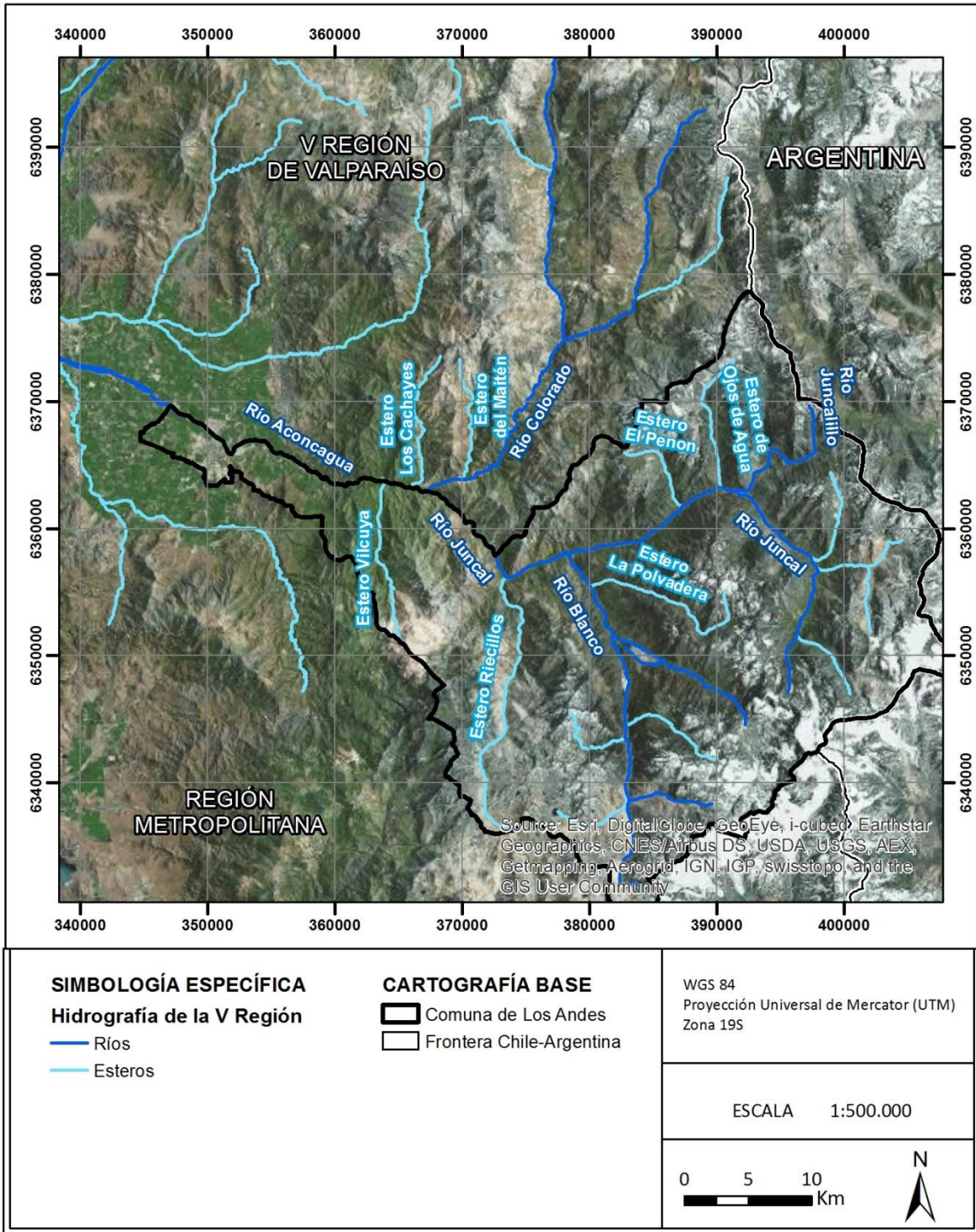
Para efecto de estimación de las crecidas, una parte importante del área de estudio está ubicada a cotas altas, donde habitualmente las precipitaciones ocurren en forma de nieve.

CUADRO N° 3-1 Subsubcuencas hidrográficas en la comuna de Los Andes

Subsubcuenca (DGA)	Área (km ²)
Estero Riecillos	235,20
Río Aconcagua entre Río Colorado y Río Putaendo	306,10
Río Aconcagua entre Río Blanco y Río Colorado	216,35
Río Colorado Antes Junta Estero Riecillos	454,02
Río Colorado entre Estero Riecillos y Río Aconcagua	146,03
Río Blanco	238,17
Río Juncal Antes Junta Estero Juncalillo y Junta Río Blanco	263,70
Río Juncal Antes Junta Estero Juncalillo	234,99

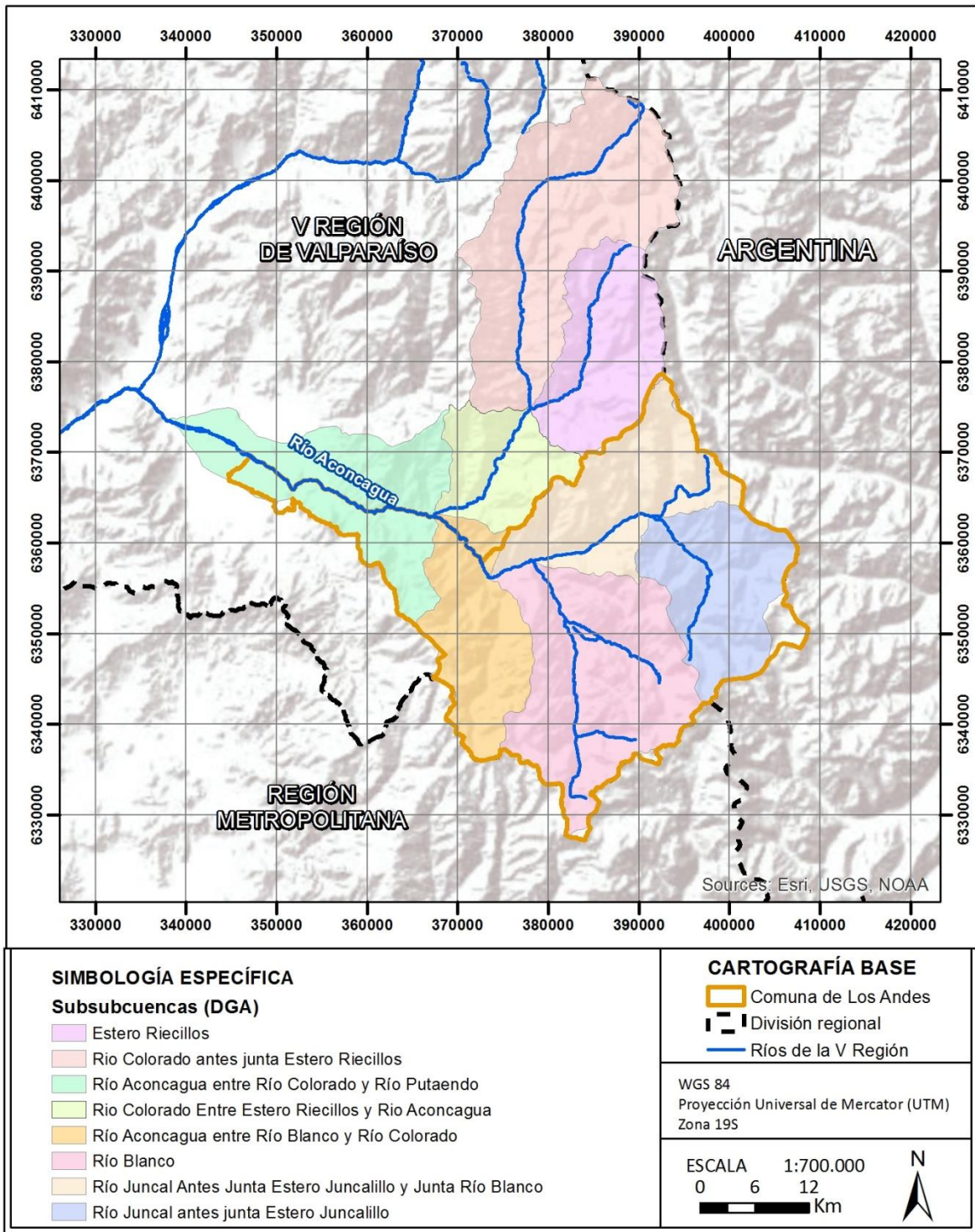
Fuente: Elaboración propia a partir de la DGA.

FIGURA N° 3-6 Hidrografía de la comuna de Los Andes



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA Nº 3-7 Subsubcuencas aportantes a la comuna de Los Andes



Fuente: Elaboración Propia a partir de la DGA.

4. Inventario y diagnóstico general de peligros geológicos

Con base en la revisión bibliográfica, se realizó un inventario de peligros geológicos reconocidos en el área de estudio o en sectores cercanos a ésta.

Para el sector específico de la Comuna de Los Andes se conocen varios antecedentes bibliográficos que dan cuenta de un registro histórico de eventos geológicos tales como remociones en masa e inundaciones, también, existen referencias de sectores aledaños dentro de la provincia, que dan indicios de las características de estos sucesos en torno a la cuenca del río Aconcagua, tal como se detalla a continuación.

4.1 *Remociones en Masa*

Hauser (2000), plantea la existencia de una interrelación entre lluvias de gran intensidad y la generación de remociones en masa, en particular de flujos de barros o detritos, en los ambientes andinos de Chile central. Las características de los eventos de remoción en masa que han sido inventariados y han ocurrido en la zona del Valle de Aconcagua, cercanos a la zona de estudio, no varían de lo establecido por este autor.

Dentro de los daños reportados por remociones en masa en el área cercana a la zona de estudio se incluyen daños a caminos interurbanos, camino internacional, a las vías férreas y pérdidas humanas.

A continuación se indican los eventos de remoción en masa que se han identificado a través de la bibliografía consultada, indicando los sectores que han sido afectados.

4.1.1 Flujo de Barro agosto 1987

De acuerdo a antecedentes recopilados, lluvias de gran intensidad entre 185 y 148 mm en 24 horas entre los días 13 y 18 de agosto de 1987, provocaron remociones en masa del tipo flujo de barro en el flanco sur del valle del río Juncal, aguas abajo de Guardia Vieja, en la Comuna de Los Andes (FIGURA N° 4-1). El día 18 de Agosto, a las 18:30 horas, el camino internacional a Argentina fue bloqueado por un flujo de barro que movilizó bloques de hasta 450 toneladas. La saturación coluvial en el sector resultó determinante para desencadenar la remoción, que en torno a su coronamiento, comprometió un deslizamiento multirrotacional (Hauser, 1987).

FIGURA Nº 4-1 Flujo de barro ocurrido en el sector de Guardia Vieja, flanco sur río Aconcagua el 18 de Agosto de 1987).



Fuente: Hauser (2000)

4.1.2 Flujo detrítico, febrero 1980.

Precipitaciones inusualmente intensas durante los días 21 y 22 de febrero de 1980 en la zona andina a la altura de la Región Metropolitana, desencadenaron numerosos flujos detríticos que se encauzaron en quebradas secas de los valles principales y en afluentes de los ríos Aconcagua y Mapocho. Uno de los flujos destacados en el valle de Aconcagua es el ocurrido en el sector de Puntilla del Viento (FIGURA Nº 4-2) y los Azules, con lluvias superiores a 60mm en 24hrs (Hauser, 2000). (Urrutia & Lanza, 1993), describen que este temporal de lluvia provocó un aluvión a ocho kilómetros de San Esteban, cerca de Los Andes, en un campamento donde se encontraban durmiendo un grupo de personas. Se desprendieron barro y piedras en el camino de Los Andes a Mendoza, quedando aislados cerca de doscientos automóviles.

FIGURA Nº 4-2 Flujo detrítico ocurrido en el sector de la Puntilla del Viento el 21 de febrero de 1980)



Fuente: Hauser, 2000.

4.1.3 Flujo de barro y detritos, 3 de Mayo de 1993

La situación vivida el día lunes 3 de mayo de 1993 fue producto de una lluvia intensa por sobre la línea de nieves de la zona cordillerana. La precipitación líquida que generalmente cae por debajo de los 2.800 mts. aproximadamente en la cordillera de la zona central, experimentó ese día un ascenso hacia los 3.800 mts. debido al alza de la temperatura producto del frente cálido que en ese momento generaba precipitaciones entre las Regiones de Coquimbo y El Maule.

El aluvión que bajó por la Quebrada de Macul, fue definida en ese momento como una sedimentación (depositación de materiales fluviales) violenta y súbita. Dicho proceso de arrastre de materiales diversos (agua, piedras, tierra, troncos, etc) se debió a la gran cantidad de agua lluvia que se concentró en todos los colectores naturales que tributan aguas a dicha quebrada, situación que también se registró en la Quebrada de San Ramón, la que descarga sus aguas en los canales Las Perdices y San Carlos.

El área cubierta por la precipitación líquida caída por encima de la línea normal de nieves aumentó el área de escurrimiento regular de la cuenca, aportando mayor cantidad de agua en sus cauces que la que comúnmente fluye. Esta precipitación fusionó grandes cantidades de nieve, la que una vez líquida y sumada a la lluvia generaron un inusual aumento de caudal. La magnitud del caudal generado afectó zonas de suelo desnudo erosionándolo más aún. Este proceso se multiplicó en toda la zona descubierta de vegetación, aumentado de esta forma la cantidad de sólidos en cada curso de agua, los que finalmente se transformaron, en algunos casos, en violentos torrentes que adquirieron gran velocidad y volumen debido a la pronunciada pendiente, arrastrando los elementos que se interpusieron en su paso.

La masa de lodo, rocas y otro tipo de materiales decantó en la zona plana inmediatamente después de abandonar la pendiente precordillerana, dejando paso solo al flujo de agua que continuó escurriendo hasta perder energía.

La zona afectada por las intensas precipitaciones comprendió de norte a sur a las cuencas de los ríos Juncal y Colorado en la Región de Valparaíso. Las cuencas de los ríos Mapocho y Maipo (cuencas mayores) y la de las quebradas de San Ramón y Macul (cuencas menores) en la Región Metropolitana. En la Región de O'Higgins fueron afectadas las cuencas del estero Codegua y río Cachapoal.

Las intensas precipitaciones también provocaron daños en la Ruta Internacional Los Andes-Mendoza por el aumento de caudal de los ríos Juncal y Colorado, interrumpiendo el tránsito por esa ruta dejando aisladas a localidades de las Comunas de Los Andes y San Esteban.

4.1.4 Flujo de barro y detritos, diciembre 1995.

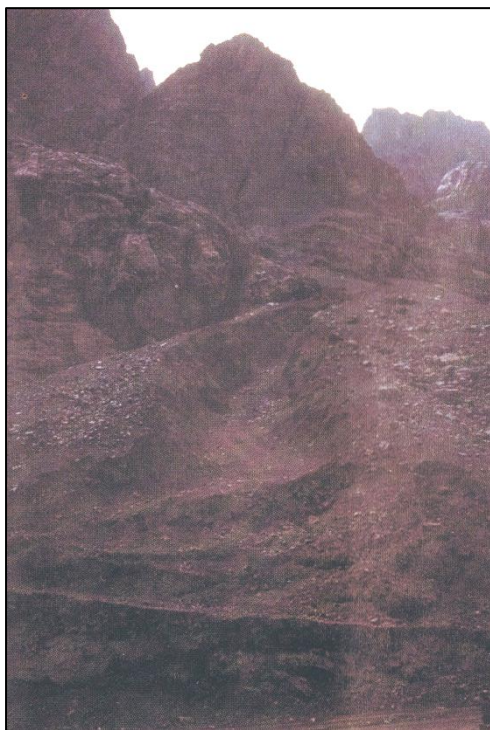
Lluvias que totalizaron tan sólo 9,3 mm en 3 horas, ocurridas el día 27 de diciembre de 1995 en un segmento del río Blanco, quinta región, provocaron voluminosos y enérgicos flujos de barro y detritos. Estas lluvias causaron daños materiales en los caminos de acceso a las faenas mineras, colapso del ducto para el transporte de concentrado y relaves, bloqueo instantáneo del escurrimiento del río Blanco y problemas operacionales en el tranque Los Leones (FIGURA N° 4-3).

4.1.5 Deslizamientos de bloques rocosos.

En el año 1944, a causa de un fuerte temporal en el sector que se encuentra entre Los Andes y Curimón un rodado de más de dos mil metros cúbicos interrumpió el camino (Urrutia & Lanza, 1993).

En el Alto Aconcagua se observan claras remociones asociadas a deslizamientos de bloque rocosos que se han identificado en el flanco oriental del valle del río Blanco, frente a Saladillo, en la V región (Hauser, 2000).

FIGURA N° 4-3 Canalón excavado por flujo detrítico. Valle del río Blanco. El flujo detrítico sucedió el 27 de diciembre de 1995.



Fuente: Hauser, 2000.

4.1.6 Avalanchas (Aludes)

En Septiembre de 1907, una gran nevazón en la cordillera ocasionó una avalancha sobre la aduana de Juncal. Murieron cinco personas que vivían en la zona, además bloques de nieve obstruyeron también el paso del ferrocarril que solo pudo llegar hasta río Blanco, interrumpiendo inclusive las comunicaciones telegráficas (Urrutia & Lanza, 1993).

El día 17 de agosto de 1951 una avalancha destruyó parte de la estación de trenes Caracoles del Ferrocarril Transandino. Ésta comprometió la vida de 6 personas. (Diario “El Mercurio”, 20 de agosto de 1951).

El día 11 de agosto de 1965, una avalancha que se desencadenó a las cinco de la madrugada, destruyó un edificio en el sector de Portillo, V región, causando la muerte de 5 esquiadores (Golubev, 1967).

4.1.7 Derrumbes de Montañas

Esta designación “Derrumbes de Montañas” que se asocian a voluminosas remociones prehistóricas (Abele, 1984), se han detectado en los alrededores de Portillo, en la hoya del río Aconcagua (Hauser, 2000).

4.1.8 Entrevista con el Encargado de Emergencias de la Municipalidad de Los Andes

Durante la visita a terreno se coordinó una entrevista al Encargado de Emergencias de la Municipalidad de Los Andes, don Marcelo Órdenes, quien otorgó información respecto de los eventos asociados a peligros geológicos en la comuna, con énfasis en las áreas de estudio de detalle. En la localidad de Río Blanco, en las últimas décadas, se han reportado una serie de eventos de remociones en masa, tales como flujos de detrito y/o barro, avalanchas de nieve y caídas de roca. La información recopilada se presenta en la FIGURA N° 4-4, donde se muestra la ubicación y el tipo de remoción en masa que afectó a cada sector, y en el CUADRO N° 4-1.

CUADRO N° 4-1 Detalle de las remociones en masa presentadas en la FIGURA N° 4-4

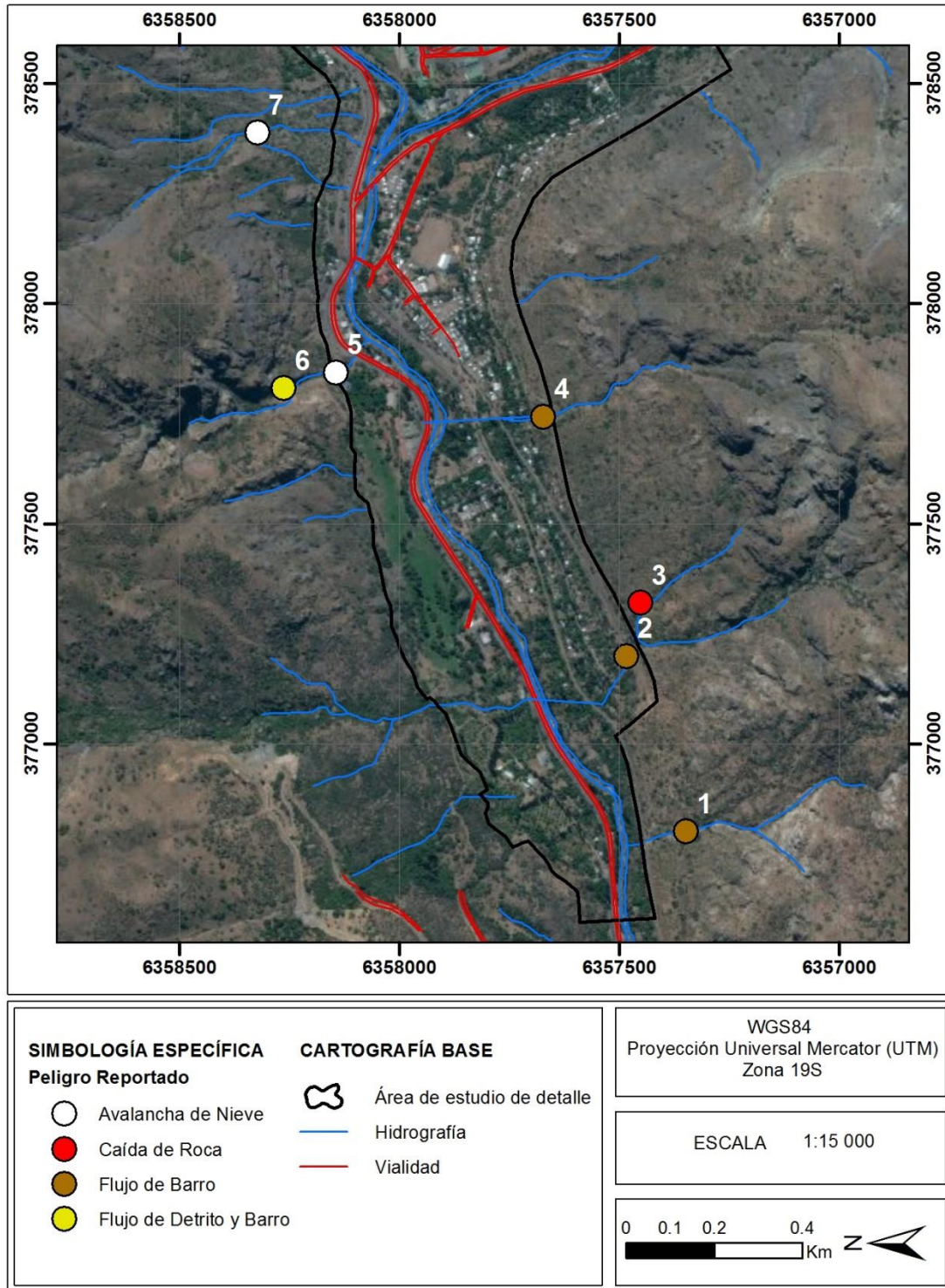
Número	Tipo de Remoción en masa	Fecha aproximada	Observaciones
1	Flujo de Barro	A mediados de la década de los 80'	-
2	Flujo de Barro	2013	El flujo de barro alcanzó a llegar hasta la 2° línea de ferrocarriles.
3	Caída de Roca	2013	El bloque que cayó destruyó una casa y cruzó la línea de ferrocarriles.
4	Flujo de Barro	Post 2010	El flujo de barro pasó la estación de ferrocarriles.
5	Avalancha de Nieve	-	Las avalanchas de nieve suelen llegar hasta la carretera.
6	Flujo de Detrito y Barro	-	Los flujos suelen llegar hasta la carretera.
7	Avalancha de Nieve	-	Las avalanchas de nieve suelen llegar hasta el río.

En la FIGURA N° 4-5 se observa el depósito de un abanico aluvial activo, cuya quebrada aportante cuenta con el registro histórico de avalanchas de nieve, las cuales suelen alcanzar el río (ver CUADRO N° 4-1, evento número 7). Sobre estos depósitos se observan caídas de bloque de hasta 3 m de diámetro, así como bloques de hasta 2 m de diámetro, probablemente arrastrados por flujos de detritos.

En la FIGURA N° 4-6 se aprecia la caída de un bloque de más de 2 m de diámetro, cuya quebrada corresponde al evento número 3 del CUADRO N° 4-1.

En la FIGURA N° 4-7 se observan afloramientos de alta pendiente en el Cerro La Virgen, en cuyas faldas se asientan casas.

FIGURA N° 4-4 Ubicación de los sectores de la localidad de Río Blanco en los que se han reportado eventos de remociones en masa.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información entregada por el Encargado de Emergencias de la Municipalidad de Los Andes, don Marcelo Órdenes.

FIGURA N° 4-5 Abanico aluvial activo en Río Blanco. Respecto a la FIGURA N° 4-4, corresponde a la quebrada del N° 7. Se observan bloques de hasta 3 m de diámetro.



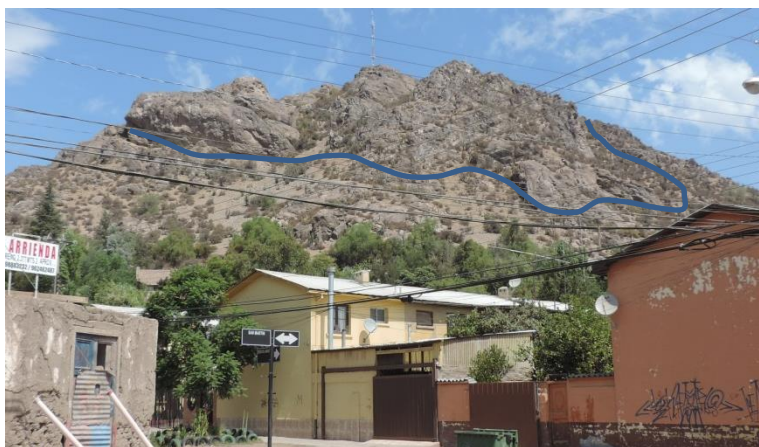
Fuente: Fotografía obtenida en la visita a terreno.

FIGURA N° 4-6 Caída de roca en Río Blanco. Respecto a la FIGURA N° 4-4, corresponde a la quebrada del N° 3. El bloque tiene más de 2 m de diámetro.



Fuente: Fotografía obtenida en la visita a terreno.

FIGURA N° 4-7 Afloramientos de roca de alta pendiente en Los Andes, en el Cerro La Virgen. Se observan casas en las zonas bajas del cerro.



Fuente: Fotografía obtenida en la visita a terreno.

4.2 Inundaciones Terrestres

Los antecedentes disponibles, dentro de la bibliografía revisada, indican que las principales inundaciones se asocian al río Aconcagua, las que han afectado en gran medida a la comuna de Los Andes y también a comunas aledañas al área de estudio (CUADRO N° 4-3).

En el Estudio Complementario para la Formulación del Plan Regulador Intercomunal de Aconcagua, provincias de San Felipe y Los Andes (Universidad Católica de Chile, 1999), se señala que el río Aconcagua presenta generalmente sus mayores caudales en verano, producto de los deshielos, especialmente en su curso superior; no obstante, las crecidas más importantes han sido de origen pluvial y se han originado como producto de lluvias con línea de nieve alta.

En el CUADRO N° 4-3 se presentan las principales crecidas en el período 1973-1993, obtenidas desde el informe de MOP-CONAF (1995).

Si se observa el cuadro anterior, vemos que en el año 1993 se producen las crecidas más importantes para la parte alta de la cuenca, y en el año 1987 se producen en los sectores de la parte baja de la cuenca.

En el estudio de riesgos de la Universidad Católica (1999) se llega a la conclusión de que los principales problemas ocasionados por las crecidas de los cauces naturales principales de la cuenca del río Aconcagua se dan en las zonas ribereñas, causando importantes daños provocados por inundaciones y/o erosión de riberas, afectando sectores poblados y áreas agrícolas.

De acuerdo a lo observado en el

CUADRO N° 4-2 y según el trabajo de la Universidad Católica (1995), los sectores más afectados por las crecidas del río Aconcagua corresponden a las zonas cercanas a Los Andes, causando daños a caminos interurbanos, y/o problemas en la ruta internacional.

La ocupación de las planicies de inundación de estos cauces por asentamientos humanos o por construcción de infraestructura vial, son las causas principales de los problemas derivados por las inundaciones. Otra causa de las inundaciones tiene que ver con la reducción de la capacidad de algunos cauces por embancamientos, canalizaciones y obras de cruce de dimensiones insuficientes (Universidad Católica de Chile, 1999).

En el

CUADRO N° 4-4 se hace mención de los cauces y los sectores que frecuentemente resultan con problemas por inundación, de acuerdo al estudio de MOP-CONAF (1995).

CUADRO N° 4-2 Inventario de inundaciones y temporales históricos del valle del Alto Aconcagua

Fecha	Observaciones	Año ENSO
Mayo 1748	Desborde del río Aconcagua. Se desbordó en los primeros días de mayo. Llevándose un puente en construcción, obra llevada a cabo para dar auge a San Felipe.	X
1878	Temporal que afecta la línea férrea de Los Andes. Esta queda cortada a la altura de Curimón	X
1888	Temporal que causa desborde del río Aconcagua. El río se lleva una parte de los terraplenos a la altura de Curimón.	X
1899	Temporal que provoca inundaciones por crecidas del Río Aconcagua y del Río Putaendo. Daños en San Felipe y en Putaendo,	X
Julio 1900	Temporal que destruye parte del puente Ratuco, ubicado en las confluencias del mismo nombre, con el río Aconcagua. El puente Curimón, ubicado entre San Felipe y Curimón, también es dañado, cortando la línea del ferrocarril a Los Andes.	X
Agosto 1920	Temporal causa fuertes nevazones que afectaron principalmente Los Andes y San Felipe.	X
1934	El río Aconcagua provoca anegamientos en varios sectores de San Felipe, y sectores del Juncal, Portillos y Caracoles quedan aislados.	
Enero 1944	Un fuerte temporal de verano sacudió a la zona central. En Los Andes, el rebalse de canales y acequias dañó los pastos recién segados y los trigos a punto de ser trillados. En el camino entre Los Andes y Curimón un rodado de más o menos de dos mil metros cúbicos interrumpió el camino. Cuatro personas perecieron ahogadas en el río Aconcagua cerca de Curimón.	
Diciembre 1972	A causa de deshielos la zona se ve afectada por crecida de ríos Aconcagua y Putaendo. Estos arrasaron con casas, cultivos, cortaron caminos y puentes. Los Andes y San Felipe fueron declaradas zonas de catástrofe. El camino a Mendoza quedó interrumpido.	X
Mayo 1973	Temporal de lluvia y vientos huracanados que duró varios días. Entre una de las provincias más damnificadas se encontraba la de Aconcagua. En la quedaron muchas familias con sus viviendas anegadas, sin techo y con mobiliario y enseres destruidos.	X
Julio 1977	Temporal de lluvia deja aisladas a centenares de personas en Portillo. Hubo daño en el camino de Los Andes a Caracoles.	X
Julio 1978	Temporal de lluvia deja personas aisladas en el sector de Portillo	
1993	Mayores crecidas del río Aconcagua en el período 1973-1993, en los sectores de la parte alta de la cuenca, particularmente en Chacabuquito y San Felipe.	

Fuente: Elaboración propia basado en Urrutia y Lanza, 1993; MOP-CONAF, 1995; y (Ortlieb, 1994).

CUADRO N° 4-3 Principales crecidas en los períodos 1973-1993 en las áreas aledañas a la zona de estudio

Fecha	Caudal Máximo Instantáneo (m³/s)						
	Aconcagua en Chacabucuito	Aconcagua en San Felipe	Aconcagua en Romeral	Aconcagua en la Calera-Quillota	Marga-Marga en Viña del Mar	Estero Quilpue en Desembocadura	Putauendo en Resguardo de los Patos
05/93	783	1.110	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
07/87	224	383	700	900	700	S/D	138
06/86	256	375	700	S/D	S/D	S/D	52
07/84	44	140	420	1.100	577	152	S/D
06/82	200	S/D	700	1.050	387	78	115
07/77	303	420	650	1.150	S/D	S/D	698

Fuente: MOP-CONAF, 1995.

CUADRO N° 4-4 Sectores críticos y problemas asociados a inundaciones en principales cauces

N°	Cauce y sector	Problema y consecuencias	Causas
1	Río Aconcagua y Juncal Sector Los Andes –Ojos de Agua (L=45 Km.)	Erosión de ribera. Inundación de zonas ribereñas. Infraestructura afectada: 11 Km. de terraplenes y puentes del camino Internacional. Población afectada: usuarios de la vía.	-Localización de la vía próxima al cauce en zonas sujetas a erosión y/o inundación
2	Río Aconcagua Sector urbano de la ciudad de San Felipe (L=2 Km.)	Socavación e inundación sobre ribera derecha, afecta a población La Copa. Área afectada: 7 manzanas/175 viviendas Población afectada: 900 personas	-Ocupación de planicies de inundación -Cercanía de instalaciones a riberas erosionables
3	Sector río Putaendo	Inundación sectores agrícolas y zonas rurales aledañas al cauce del río Putaendo	-Ocupación de planicies de inundación
4	Río Aconcagua Sector Los Andes (L=2 Km)	Inundación de sectores peri-urbanos. Tramo puente David García-Bocatoma canal Rinconada Área afectada: 100 vivienda Infraestructura afectada: 200 m de vía férrea Población afectada: 500 personas	-Ocupación de planicies de inundación
5	Río Aconcagua Sector Panquehue-San Roque (L=2 Km)	Erosión de ribera izquierda que afecta terrenos agrícolas del sector Panquehue y San Roque Área afectada: 15 há./75 viviendas rurales Población afectada: aprox. 450 personas	-Ocupación de planicies de inundación
6	Río Aconcagua Sector Tres Esquinas-San Rafael (L=9Km)	Erosión de riberas e inundación de terrenos agrícolas aledaños al cauce en sector Tres esquinas, cruce Rinconada y sector San Rafael con riesgo de daño a Ruta CH-60 Área afectada: 76 há. Infraestructura afectada: Ruta CH-60 en aprox. 1 Km. Población afectada: aprox. 400 personas.	-Ocupación de planicies de inundación con cultivos agrícolas, viviendas e infraestructura vial.

Fuente: MOP-CONAF (1995)

4.3 Sismicidad

4.3.1 Antecedentes Históricos

La costa oeste de Sudamérica está delineada por el borde oriental de la placa tectónica Sudamericana y se caracteriza por su sismicidad debido a su encuentro con la placa tectónica de Nazca. Estos aspectos producen un alto nivel de acoplamiento mecánico en la zona de contacto, permitiendo la acumulación de altos niveles de energía que ocasionan grandes terremotos, generando una banda sísmica activa muy angosta (100-150 kilómetros de ancho) y profundidad variable (entre 5 y 150 Km. de profundidad) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. En la zona de estudio, el contacto entre ambas placas se extiende hasta alrededor de los 40 - 53 km de profundidad (Tassara, 2006).

Por las condiciones geológicas de Chile, históricamente ha sido afectado por grandes terremotos. El área de estudio presenta antecedentes históricos que indican que ha sido afectada por grandes terremotos intraplaca de profundidad intermedia y terremotos interplaca tipo thrust, por ejemplo, los terremotos 1647, 1730, 1873, 1906, 1965 y 1971 y 1985 (Lara & Rauld, 2003), tal como se observa en la FIGURA N° 4-8.

También sismos de magnitud cercana a 7, con características de terremoto han afectado a la zona, como por ejemplo el de 1822. Los principales eventos que han afectado al área de estudio se presentan en el CUADRO N° 4-5.

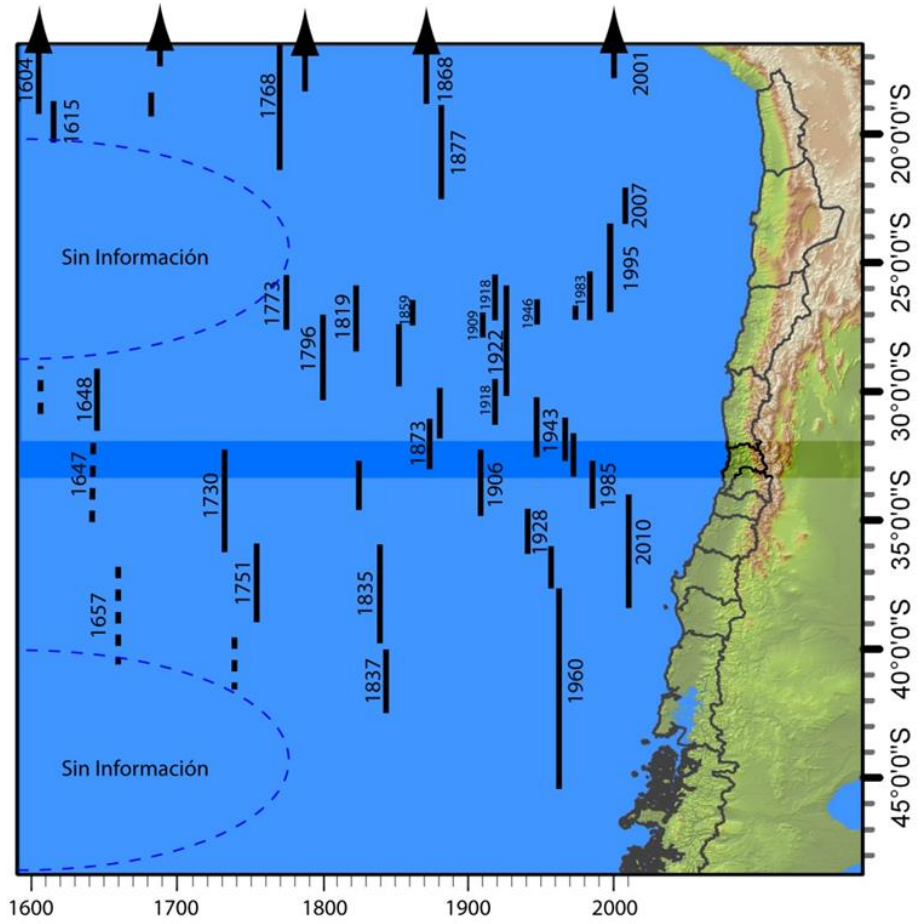
Los datos históricos de sismos que han afectado al área de estudio se obtuvo desde Urrutia y Lanza (1993) y Petit-Breuilh (2001). Los eventos anteriores al de 1730 tienen registros imprecisos y escasos, por lo que no serán detallados dentro de este análisis. El registro histórico de los principales sismos interplaca ocurridos entre los 29° y 34° S se detalla a continuación.

- **Terremoto de Diciembre de 1647:** El río de Aconcagua quedó seco en la desembocadura, y Quillota quedó destruida.
- **Terremoto de 22 de Julio de 1687:** De intensidad aproximada de VII. Su epicentro se ubica entre San Felipe y La Ligua, con latitud entre los 32° y 34° sur. Daños en convento en San Felipe y daños en Santiago.
- **Terremoto del 8 de Julio de 1730 (M ≈ 8.9):** Es considerado uno de los mayores sismos que han afectado el territorio de Chile, con magnitud estimada entre 8.5 y 9. Produjo daños entre La Serena-Coquimbo y Chillán. Grandes daños en Los Andes, TilTil y Renca y un maremoto que afectó la zona centro y sur de Chile.
- **Terremoto del 10 de Noviembre de 1822:** Sismo que fue sentido desde Illapel hasta Chiloé. Valparaíso y Quillota fueron afectados, falleciendo en la primera 66 personas.
- **Terremoto del 7 de Julio de 1873:** El terremoto afectó la zona central del país produciendo los mayores daños en Petorca, la Ligua y los alrededores.
- **Terremoto del 16 de Agosto de 1906 (M=8.2):** El epicentro de este terremoto se ubicó entre Limache y Valparaíso; en toda esa región, los movimientos fueron verticales e irradiaron en forma

ondulatoria al resto del país. La mayor intensidad se registró en la provincia de Valparaíso y hubo daños de menor consideración hasta Concepción. Hubo más de dos mil personas fallecidas. Hubo levantamientos de terreno en la costa.

- **Terremoto del 14 de Abril de 1927:** Terremoto de intensidad IX. El epicentro fue entre los volcanes Tupungato y Aconcagua. Las zonas afectadas fueron Santiago, Los Andes, San Felipe y Mendoza. El sismo produjo grandes daños, pérdidas humanas y heridos.
- **Terremoto del 28 de Marzo de 1965 (M =7.6):** El epicentro se encontró en la comuna de la Ligua, a los treinta y dos grados y treinta y tres segundos latitud sur y setenta y un grado y diez minutos de longitud. La profundidad del foco fue de 50 a 60 km. Hubo 87 muertos, centenares de heridos y doscientos desaparecidos bajo el aluvión del tranque de relave de la mina El Soldado. En Los Andes, hubo un muerto y varios heridos, destrucción de viviendas, interrupción en el suministro de agua potable a causa del desmoronamiento del canal Huertadino, en Los Azules. En los poblados de Rinconada y Calle Larga se destruyeron decenas de casas antiguas y hubo dos muertos en la primera.
- **Terremoto del 8 de Julio de 1971 (M =7.75):** Afectó principalmente las zonas de Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso y Santiago. El epicentro se ubicó en los treinta y dos grados y veintisiete minutos de latitud sur y setenta y un grado treinta y cuatro minutos de longitud. La profundidad fue de sesenta km. En Los Andes hubo un muerto, varios heridos leves, techumbres dañadas y varios muros en el suelo.
- **Terremoto del 3 de Marzo de 1985 (M =7.7):** El movimiento se sintió desde la III y IX región. Su epicentro se ubicó en la latitud treinta y tres grados, catorce minutos y veinticinco segundos, y longitud de setenta y dos grados, dos minutos y veinticuatro segundos. Con este terremoto hubo destrucción de viviendas que causaron víctimas fatales, destrucción de pavimentos, caída de puentes.

FIGURA N° 4-8 Terremotos de subducción históricos con magnitud estimada y calculada mayor a 7.2, y sus áreas de ruptura. En línea continua las zonas de ruptura bien identificadas, en línea discontinua las zonas de ruptura inferidas a partir de datos históricos.



Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 4-5 Datos de terremotos históricos de magnitud superior a 7.5 ocurridos en la zona.

Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud Aprox.	Año	Mes	Día
-33.05	-71.63	-	8.9	1730	07	07
-33 aprox.	-	25	8.2	1906	08	16
-32.01	-71.17	50 a 60 km	7.6	1965	03	28
-32.45	-71.57	60	7.7	1971	07	08
-33.24	-72.04	33	7.7	1985	03	03

Fuente: Elaboración propia en base a Catálogo NEIC

Los terremotos ocurridos en Chile previamente al año 1960 no fueron registrados mediante sismómetros modernos, por lo que no poseen información instrumental que permita determinar sus características. Por lo tanto, las áreas de ruptura de los terremotos previos a dicha fecha han sido estimados en otros estudios utilizando los datos históricos de intensidad de daño mediante la metodología propuesta por (Kausel, 1992).

4.3.2 Sismos registrados por la red sismológica mundial.

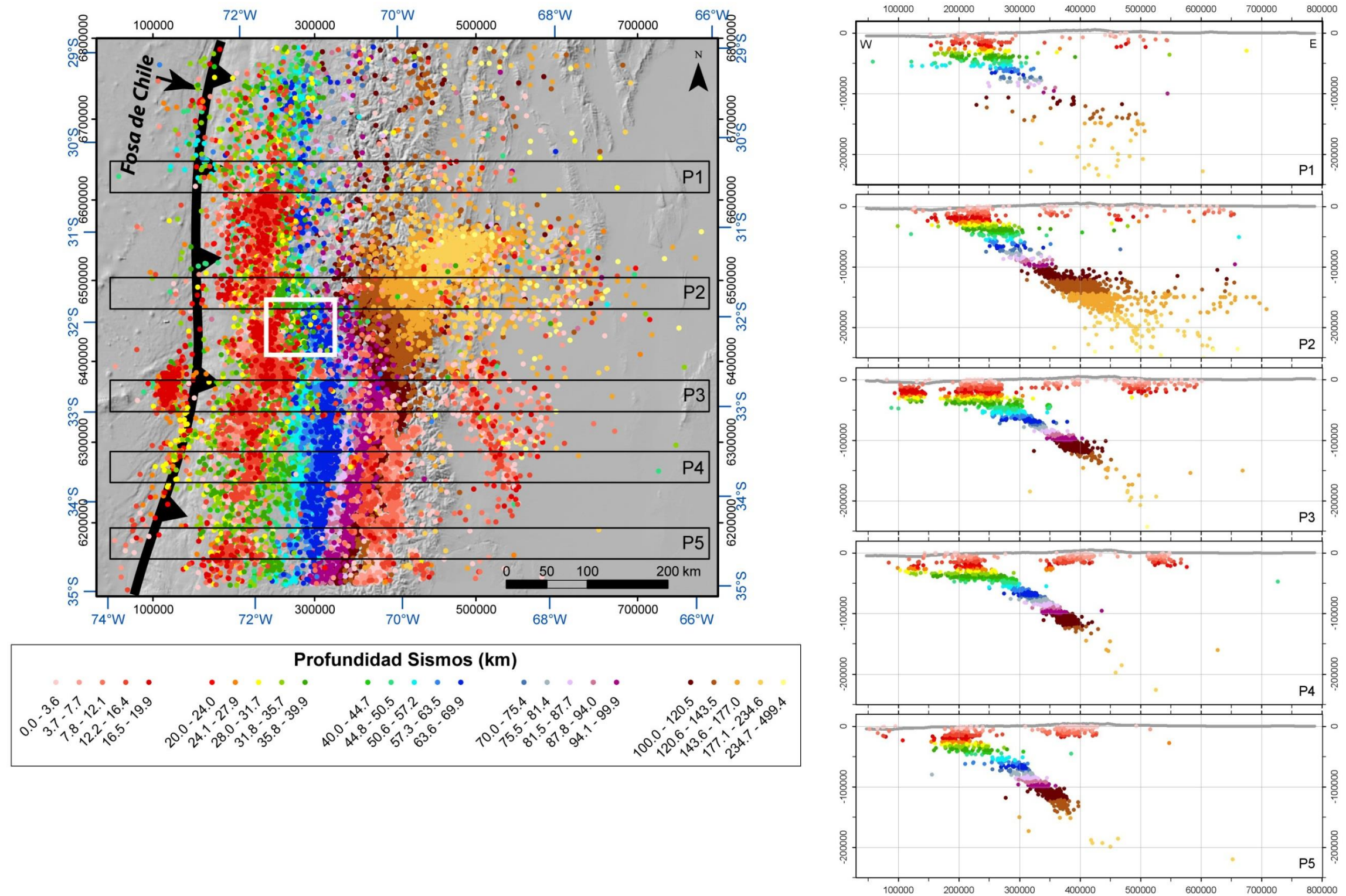
En la FIGURA N° 4-9 se presenta la sismicidad registrada por la red sismológica internacional, con magnitudes superiores a 3 entre los años 1973 y 2010.

De la distribución de los sismos es posible realizar una serie de observaciones respecto a la distribución espacial de la sismicidad entre los 29°S y los 34°S.

- 1) La mayor parte de la sismicidad se dispone en una línea paralela a la costa y en los primeros 30 km de profundidad. Esta sismicidad es la que se produce en la interfaz de subducción (sismos interplaca) y prácticamente no muestra variaciones latitudinales. Ejemplo de este tipo de sismos es el ocurrido en 1985 cuya profundidad y magnitud fueron de 33 km y MW = 7.7 respectivamente.
- 2) Al sur de los 31°S hay una gran cantidad de sismos ubicados bajo los 60 km (FIGURA N° 4-9), estos son los sismos intraplaca de profundidad intermedia. En el área de estudio se aprecia un aumento de esta actividad sísmica, por lo que se debe tener en cuenta que existe una probabilidad más alta de ocurrencia en esta zona de sismos de tales características, en comparación a las zonas que se ubican al norte de los 31°S.
- 3) Desde los 32° S hacia el sur en la figura se aprecia una gran cantidad de eventos sísmicos superficiales, de profundidad menor a 20 km en la zona cordillerana, los que están asociados a los procesos de deformación actualmente activos.

Se observa que la región que enmarca la zona de estudio se encuentra regida por diferentes tipos de sismos, de intraplaca de profundidad intermedia, interplaca y superficiales, los cuales denotan la dinámica que se ejerce en un margen convergente de placas.

FIGURA Nº 4-9 Mapa regional con la sismicidad registrada entre 1973 y 2010 del Catálogo NEIC, junto a perfiles de la sismicidad. El área de estudio se ubica aproximadamente al centro de la figura.



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Principales fuentes sísmicas reconocidas en el área de estudio.

En el área de estudio se reconocen tres fuentes sismogénicas principales, que son: interplaca, intraplaca de profundidad intermedia y eventos corticales superficiales (ver Anexo B.1.1).

- Sismos Interplaca tipo Thrust

Corresponden a aquellos eventos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana. Este tipo de eventos alcanzan grandes magnitudes. Ejemplos de estos sismos que han afectado fuertemente a la zona del presente estudio corresponden a los de 1906 y 1985. Cuyas magnitudes fueron de $MW = 8.2$ y $MW = 7.7$ respectivamente. Esta zona por lo tanto, se considera una fuente activa que puede generar terremotos destructivos en la zona.

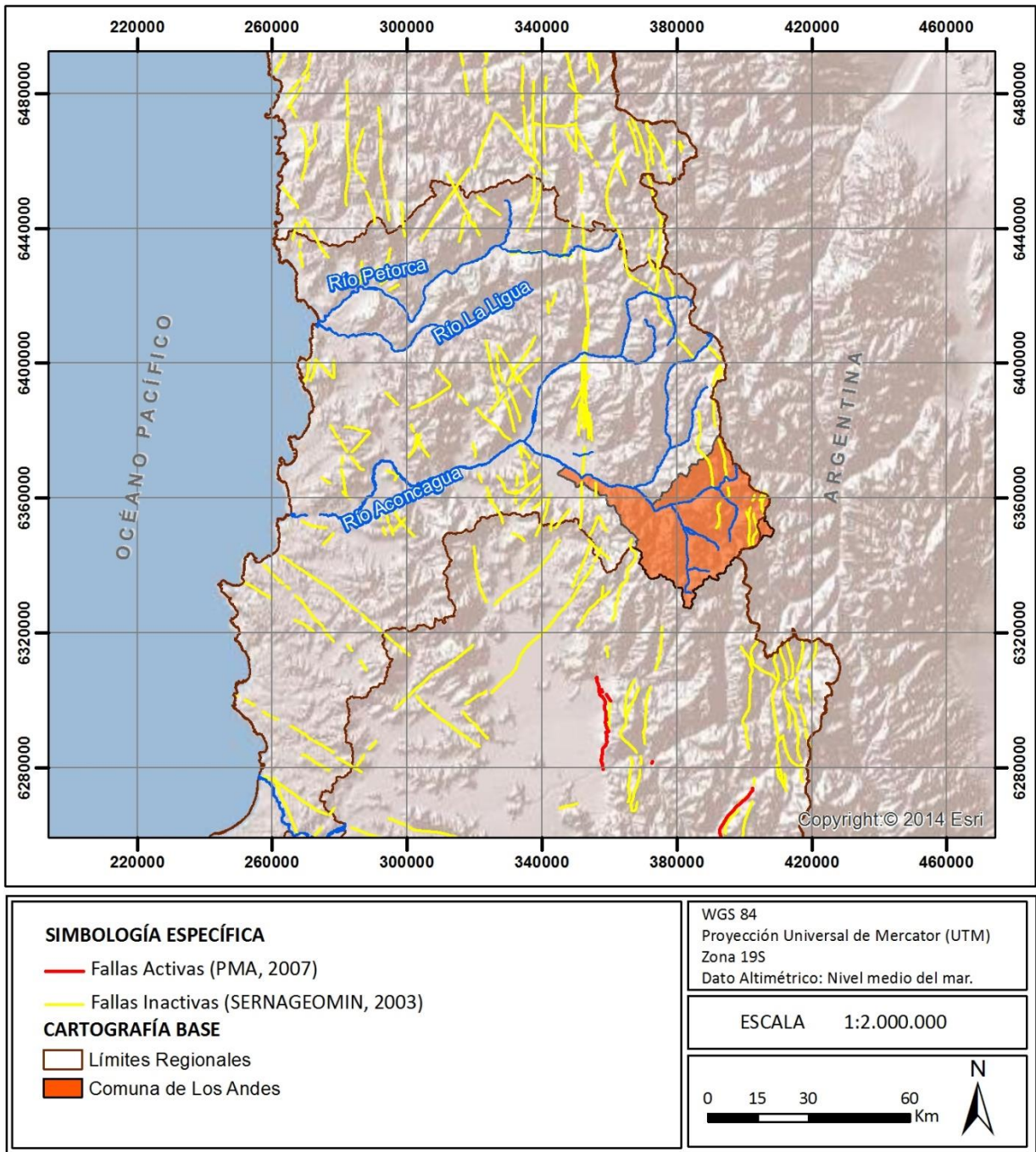
- Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia

Esta fuente está compuesta por sismos que ocurren dentro de la placa de Nazca. Las profundidades de estos sismos son mayores a 50 km y llegan hasta los 150-200 km. Recientemente, se ha puesto en evidencia que este tipo de eventos poseen notorias diferencias con los de contacto interplaca en las características de la fuente, reflejándose en mayores daños producidos en la zona epicentral y altas aceleraciones máxima reportadas. Además el aumento en la concentración de estos sismos registrados al sur de los 31° de latitud sur, abarcando la zona de estudio (cercana a los 32° sur) permite considerar que la zona tiene el potencial de generar grandes terremotos como los ya mencionados.

- Sismos Corticales

Corresponde a sismos producidos por fallas superficiales, cuyos focos se encuentran a una profundidad menor a 30 km, y están asociados a fallas geológicas activas en superficie. De acuerdo al mapa construido en base a SERNAGEOMIN (2003) y a (PMA-GCA, 2007) (FIGURA N° 4-10), el que recopila antecedentes generales de fallas, no se observan fallas activas en la región que abarca el área de estudio. Esto se contrapone con los registros instrumentales de sismicidad que se observan en la (FIGURA N° 4-9), los cuales dan cuenta que los sismos corticales aparecen en aumento desde los 32° de latitud hacia el sur. En particular el perfil que abarca la zona de estudio (FIGURA N° 4-10) muestra una importante sismicidad cortical que está representada en los sismos ocurridos en profundidades menores a 20 km. Estos sismos evidencian que los procesos de formación de Los Andes se encuentran activos y que liberan esfuerzos, en forma de sismos, en fallas corticales activas. Por lo tanto, a pesar que hasta el momento no haya sido reconocida evidencia de fallas activas que tengan deformación superficial, y por ende no haya cartografía de fallas activas, debe considerarse que en la zona existen fallas activas sin expresión superficial.

FIGURA N° 4-10 Fallas activas cercanas al área de este estudio.

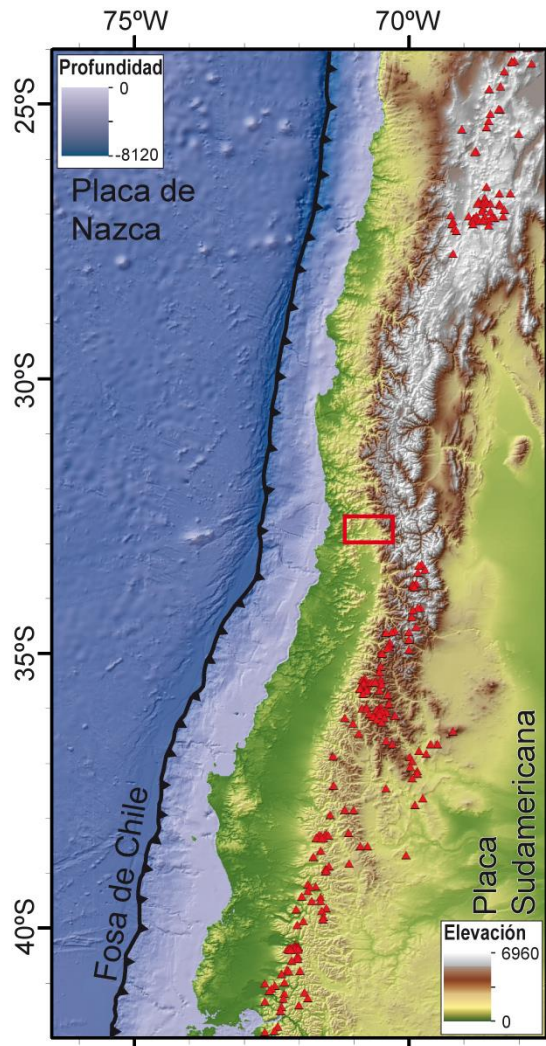


Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN (2003) y PMA (2007)

4.4 Volcanismo

El área de estudio se encuentra ubicada en el segmento de subducción subhorizontal que se desarrolla entre 27° S y 33°30' S, el que se conoce como zona de subducción plana (flat slab). Como se explicó en el Capítulo 3.1 "Marco Geodinámico", este sector se caracteriza por la ausencia de la Depresión Central, el desarrollo de valles fluviales transversales y la ausencia de actividad volcánica reciente (FIGURA N° 3-2). Los volcanes más próximos al área de estudio corresponden al volcán Ojos del Salado, ubicado en las cercanías de Copiapó y perteneciente a la Zona Volcánica Central, y el volcán Tupungatito, asociado a la zona Volcánica Sur y ubicado al norte de Santiago (FIGURA N° 4-11).

FIGURA N° 4-11 Ubicación centros volcánicos próximos al área de estudio. Triángulos rojos indican la ubicación de volcanes y rectángulo rojo la ubicación del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN (2003)

5. Diagnóstico y Zonificación de Susceptibilidad a los Peligros Geológicos que pueden afectar el área de estudio

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

Peligros No Zonificables a escala urbana (escala de trabajo menor a 1:50.000): casos en los que no se pueden zonificar a escala urbana o que requerirían estudios de mayor detalle para poder determinar una zonificación de la susceptibilidad.

Peligros Zonificables a escala urbana (escala de trabajo mayor a 1:25.000): casos en los que se puede categorizar la susceptibilidad y por lo tanto determinar una zonificación de la misma.

5.1 *Peligros No Zonificables*

5.1.1 Peligro Sísmico

Considerando lo discutido anteriormente, se puede concluir que el área de estudio ha sido afectada por sismos importantes, al igual que casi todo Chile. Dado que estos fenómenos son recurrentes y propios de la dinámica de subducción en que se encuentra Chile, no debe descartarse la ocurrencia de grandes sismos en la planificación a mediano y largo plazo. Particularmente para el área de estudio, el resultado del análisis anterior indica que el peligro sísmico del área se debe considerar uniforme, lo que no justifica una zonificación por generación de sismos.

Tanto para los sismos de profundidad intermedia como los sismos corticales, sus características y recurrencias son poco conocidas. Sin embargo, las evidencias recolectadas apuntan a que la zona puede ser afectada por sismos de ambos tipos. Los sismos de profundidad intermedia se registran en todo el país, la mayor parte corresponde a sismos de magnitud pequeña, para la zona los datos sísmicos señalan la ocurrencia de estos sismos, por lo que no se puede descartar un evento de magnitud importante en el futuro.

5.1.2 Peligro Volcánico

El peligro volcánico no es una amenaza directa en la zona, dada la ausencia de centros volcánicos al norte de los 33°S y al sur de los 27° S. Por lo anterior, no se considera este peligro para la zonificación, ya que en la cuenca del río Aconcagua no existen volcanes activos y la comuna de Los Andes se encuentra aproximadamente a 100 km del volcán activo más cercano (volcán Tupungatito). Sin embargo, erupciones fuera del área de estudio podrían causar efectos indirectos sobre el área, como contaminación de aguas y problemas de transporte o abastecimiento.

5.2 *Peligros Zonificables*

Los peligros zonificables analizados fueron representados en figuras dentro del presente informe y en planos fuera de texto. Las figuras se presentan para mostrar los resultados de manera referencial dentro del informe, a una escala menor que la escala de trabajo utilizada en las áreas de estudio de detalle. Para mostrar los resultados a escala 1:5.000, se adjuntan planos fuera de texto, los que fueron separados por tipo de peligro de la siguiente manera:

- A. Inundaciones y Caídas de Roca
- B. Deslizamientos y Flujos

En el sector principal de Los Andes, el área de estudio de detalle se alcanza a abarcar en 3 planos tamaño A0, lo que da origen a 6 planos fuera de texto (3 planos para los peligros tipo “A”, y 3 planos para los peligros tipo “B”); el sector secundario de Los Andes, se incorpora en un plano tamaño Tabloide, lo que da origen a 2 planos fuera de texto (1 plano para los peligros tipo “A” y 1 plano para los peligros tipo “B”); en el caso del sector de Río Blanco, el área de estudio de detalle se abarca en un plano tamaño A2, dando origen a 2 planos fuera de texto (2 planos para los peligros tipo “A” y 2 planos para los peligros tipo “B”). El resumen de los peligros incorporados en cada plano, en cada uno de los sectores estudiados, se presenta en el CUADRO N° 5-1.

CUADRO N° 5-1 Resumen de los peligros incorporados en cada plano fuera de texto, para cada sector estudiado.

SECTOR	SUSCEPTIBILIDAD				TAMAÑO DE LOS PLANOS
	A		B		
	Inundaciones	Caídas de Roca	Flujos	Deslizamientos	
Los Andes (principal)	Plano 1A Plano 2A Plano 3A	Plano 1A Plano 2A Plano 3A	Plano 1B Plano 2B Plano 3B	Plano 1B Plano 2B Plano 3B	A0
Los Andes (secundario)	Plano 4A	Plano 4A	Plano 4B	Plano 4B	TABLOIDE
Río Blanco	Plano 5A	Plano 5A	Plano 5B	Plano 5B	A2

Fuente: elaboración propia

A continuación se detallan los criterios utilizados para la zonificación de cada uno de los peligros mencionados anteriormente.

5.2.1 Peligro de Inundaciones

La zonificación de susceptibilidad de inundación se realizó utilizando la siguiente metodología:

1. Se consideraron los depósitos geológicos identificados en el área de estudio, reconocidos como depósitos de inundaciones.
2. Se utilizaron marcadores geomorfológicos como escarpes de terrazas, barras y depresiones para la identificación de las áreas susceptibles.

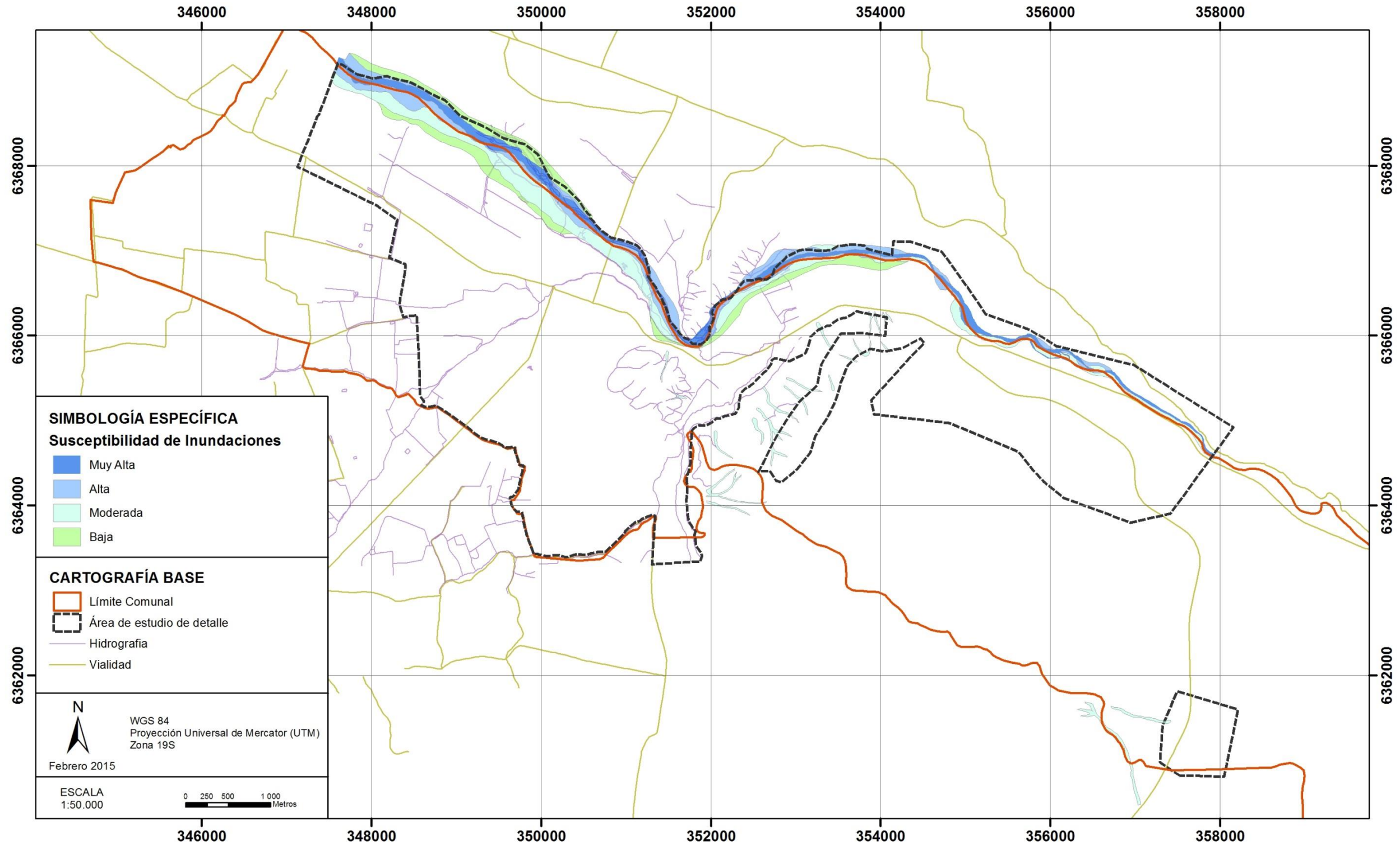
Tomando en cuenta los antecedentes históricos, la información bibliográfica recopilada, el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales y los rasgos geológicos y geomorfológicos reconocidos en el área de estudio, se determinó la siguiente zonificación de susceptibilidad para inundaciones:

- **Zonas de Muy Alta Susceptibilidad:** Incluye los sectores de cauces fluviales naturales del Río Aconcagua. Geológicamente corresponden a depósitos fluviales activos de río.

- **Zonas de Alta Susceptibilidad:** Corresponde a las terrazas fluviales menores del Río Aconcagua (hasta 1.5 m de altura con respecto al lecho principal) y a las zonas de inundación de los cauces fluviales naturales del mismo río, producto de crecidas menores. También se incluye en esta categoría a los fondos de las quebradas mayores. Geológicamente corresponden a depósitos fluviales de llanura de inundación y a depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas mayores.
- **Zonas de Moderada Susceptibilidad:** Esta categoría incluye sectores de terrazas fluviales del Río Aconcagua de una altura de 3 m aprox., y sectores de cauces naturales de quebradas menores. Geológicamente corresponden a depósitos fluviales aterrazados y a depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas menores.
- **Zonas de Baja Susceptibilidad:** Corresponde a sectores de terrazas fluviales del río Aconcagua de una altura de 5 m aprox. Esta categoría se incorporó solo en el sector de Los Andes, con el propósito de diferenciar el grado de susceptibilidad según estos dos niveles de terrazas. Geológicamente corresponden a depósitos fluviales aterrazados.

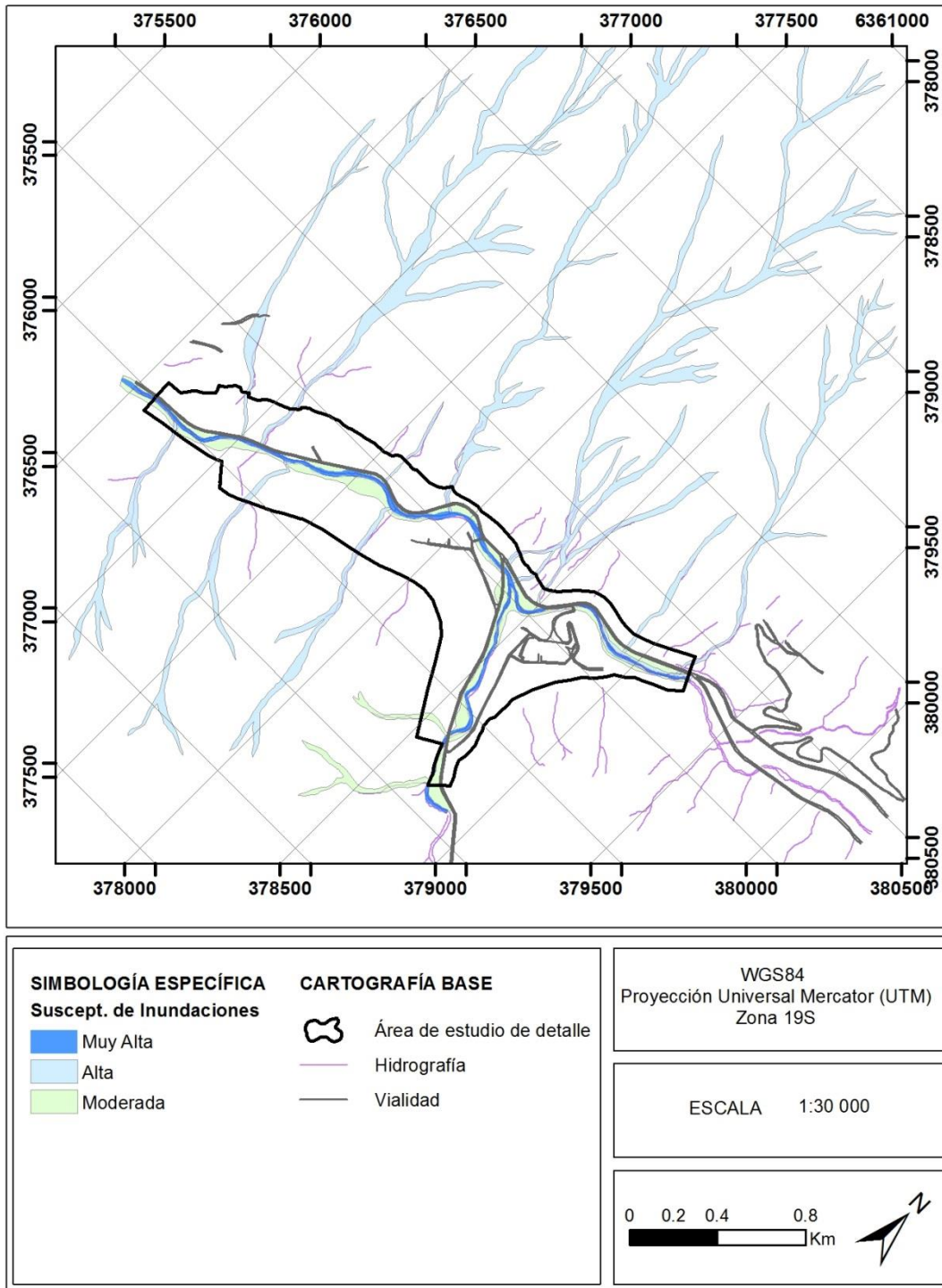
En la FIGURA N° 5-1 y FIGURA N° 5-2 se presenta la zonificación de susceptibilidad inundaciones para los sectores de Los Andes (a escala 1:50.000) y Río Blanco (a escala 1:30.000), respectivamente. La zonificación a escala 1:5.000 se presenta fuera de texto, en los planos señalados en el CUADRO N° 5-1.

FIGURA N° 5-1 Mapa de Susceptibilidad de Inundaciones para el sector de Los Andes



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 5-2 Mapa de Susceptibilidad de Inundaciones para el sector de Río Blanco



Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Peligro de Remociones en Masa

El presente análisis consideró los siguientes tipos de remociones en masa:

- Peligro de caída de bloques: generación y alcance.
- Peligro de deslizamiento: generación.
- Peligro de Flujo de Barro y/o Detritos: alcance

A continuación se detalla la metodología específica utilizada para la zonificación de estos peligros.

5.2.2.1 Caída de Rocas

El análisis de susceptibilidad de caída de rocas se realizó considerando la distribución y características de los afloramientos rocosos presentes en los sectores montañosos de la comuna, los cuales se ubican generalmente en las áreas con pendientes altas. Los bloques rocosos desprendidos descienden por las laderas hasta frenar en zonas con pendientes menores, usualmente depositándose en fondos de quebradas, abanicos aluviales o sectores del piedemonte.

En consideración de lo anterior, para la zonificación del peligro de caída de rocas se tomaron en cuenta dos factores principales:

1. presencia de afloramientos rocosos
2. pendiente del terreno

Adicionalmente, se analizaron de manera separada los sectores susceptibles de generar estos procesos y los sectores susceptibles de ser alcanzados por los bloques caídos.

Para la **susceptibilidad de generación** de caída de rocas se identificaron los afloramientos rocosos presentes en la comuna, tarea que fue realizada a partir del análisis de fotografías aéreas y observaciones de terreno. Una vez que se contó con una delimitación de los afloramientos, se calculó su pendiente, a partir de lo cual se derivó la siguiente zonificación:

- **Muy Alta Susceptibilidad:** Zonas con afloramientos de roca y pendientes mayores a 35°
- **Alta Susceptibilidad:** Zonas con afloramientos de roca y pendientes entre 25° y 35°
- **Moderada Susceptibilidad:** Zonas con afloramientos de roca y pendientes entre 15° y 25°

Luego, para la **susceptibilidad de alcance** de caída de rocas, se consideraron las áreas ubicadas ladera abajo de las zonas de generación y cuyas pendientes fueran superiores a 10°. La categoría de susceptibilidad de alcance se consideró dependiente del grado de susceptibilidad de la fuente de los bloques desprendidos (zona de generación), con lo cual se obtuvo la siguiente zonificación:

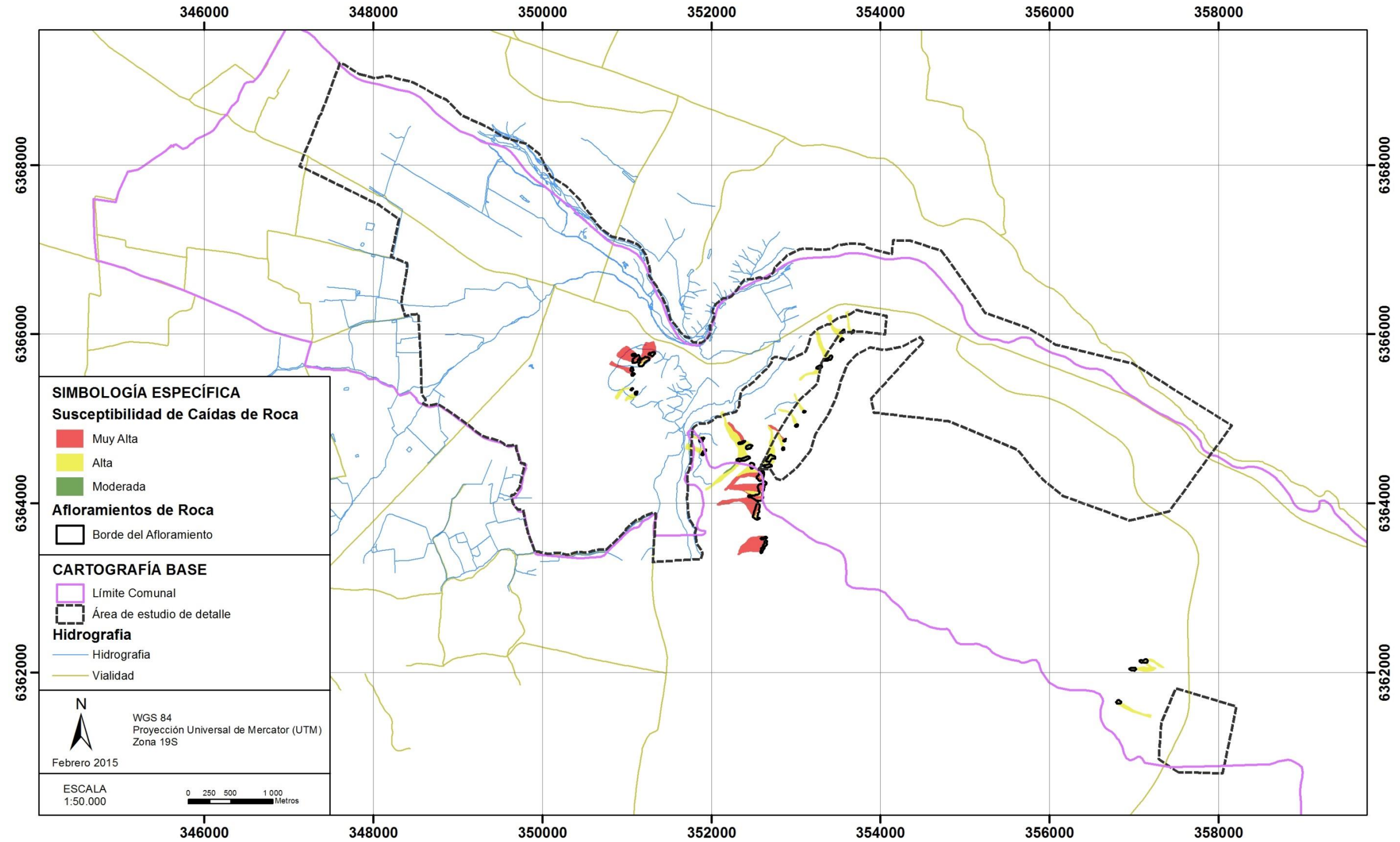
- **Muy Alta Susceptibilidad:** Zonas con pendientes mayores a 10° ubicadas ladera abajo de las zonas de muy alta susceptibilidad de generación de caídas de rocas.
- **Alta Susceptibilidad:** Zonas con pendientes mayores a 10° ubicadas ladera abajo de las zonas de alta susceptibilidad de generación de caídas de rocas.

- **Moderada Susceptibilidad:** Zonas con pendientes mayores a 10° ubicadas ladera abajo de las zonas de moderada susceptibilidad de generación de caídas de rocas.

Con el fin de simplificar los resultados, si bien el criterio de zonificación consideró las categorías de **generación** y **alcance** por separado, lo que se presenta como resultado (tanto en el informe como en los planos fuera de texto) solo considera una categoría de caída de rocas, diferenciada en los tres grados de susceptibilidad antes mencionados (Muy Alta, Alta y Moderada), sin distinguir si se trata de generación o alcance. Antes bien, en cada figura se delimitan los afloramientos de roca que fueron utilizados para el análisis.

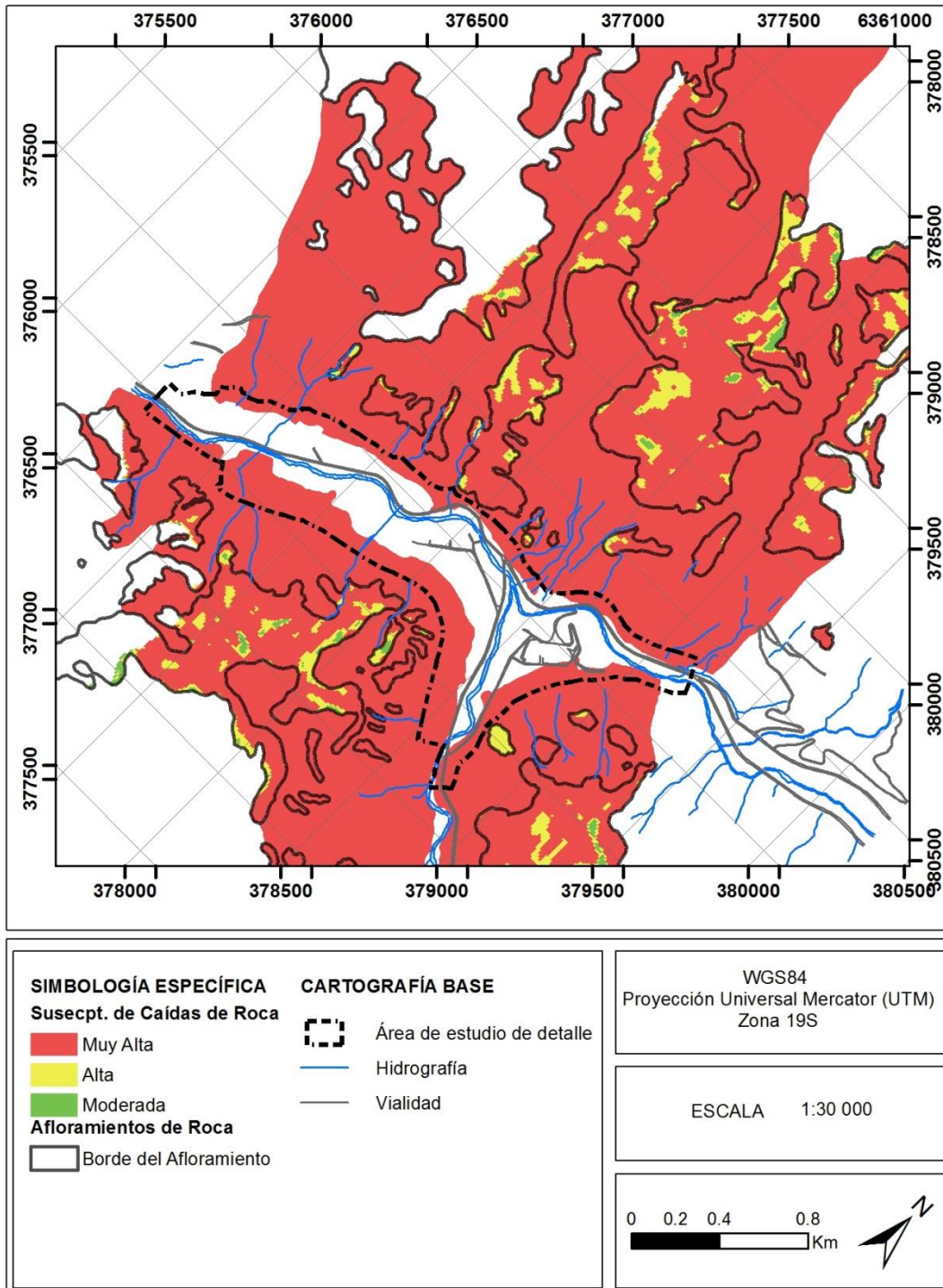
En la FIGURA N° 5-3 y FIGURA N° 5-4 se presenta la zonificación de susceptibilidad Caídas de Roca para los sectores de Los Andes (a escala 1:50.000) y Río Blanco (a escala 1:30.000), respectivamente. La zonificación a escala 1:5.000 se presenta fuera de texto, en los planos señalados en el CUADRO N° 5-1.

FIGURA Nº 5-3 Mapa de Susceptibilidad de Caídas de Roca para el sector de Los Andes



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 5-4 Mapa de Susceptibilidad de Caídas de Roca para el sector de Río Blanco



Fuente: Elaboración propia

5.2.2.2 Flujos de Barro y/o Detritos

La zonificación de susceptibilidad de flujos de barro y/o detritos se realizó tomando en cuenta los antecedentes históricos, la información bibliográfica recopilada, el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales y los rasgos geológicos y geomorfológicos reconocidos en el área de estudio. En base a esta información, se consideró la siguiente zonificación.

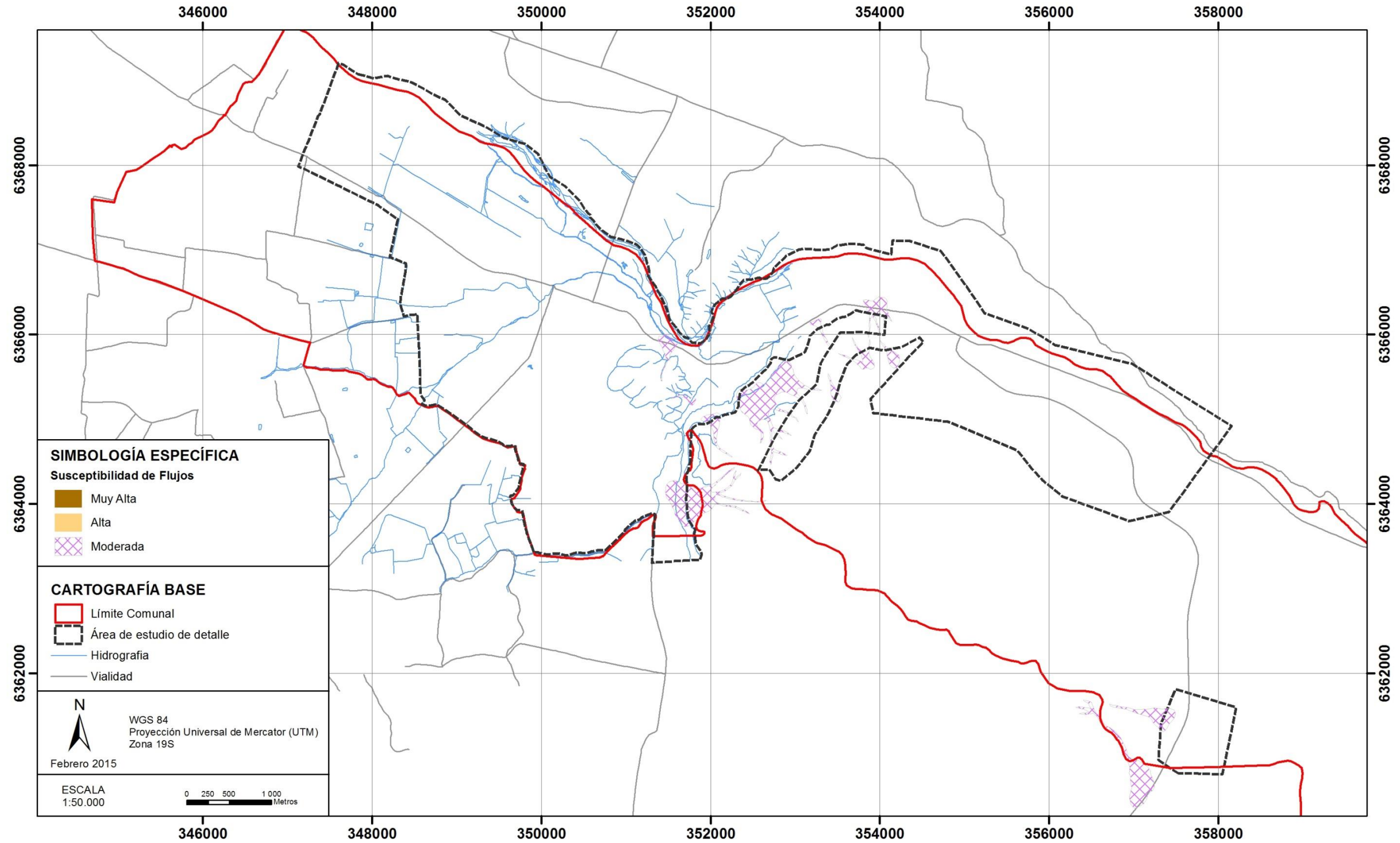
Según D'Agostino (2009), el parámetro que define que se detenga el avance de un flujo es la pendiente de la superficie, de manera que cuando se encuentra entre 4 y 10°, este se detiene. Este criterio tiene como base conceptual el hecho de que cuando un flujo de barro y/o detritos sale de un cauce encajonado y llega a la zona de un abanico aluvial, experimenta una pérdida de energía que lleva a la depositación del material transportado. Por lo mismo, para el análisis de la susceptibilidad de flujos se consideró que estos solo pueden escurrir en sectores con pendientes mayores a 4°.

A continuación se presenta el detalle de los criterios utilizados para la zonificación:

- **Muy Alta Susceptibilidad:** Sectores de quebradas mayores y sus abanicos aluviales activos, donde se encuentran depósitos asociados al escurrimiento habitual o intermitente de agua, o que han sido generados por flujos de barro y detritos recientes. Geológicamente corresponden a depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas principales.
- **Alta Susceptibilidad:** Sectores de quebradas menores de alta pendiente, junto a sus abanicos aluviales activos, donde se encuentran depósitos asociados al escurrimiento habitual o intermitente de agua, o que han sido generados por flujos de barro y detritos recientes. Geológicamente corresponden a los Depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas secundarias.
- **Moderada Susceptibilidad:** Sectores de quebradas menores de pendientes suaves y sus abanicos aluviales (generalmente sub-actuales, ya que no existen escurrimientos activos sobre ellos). Estos sectores pueden ser reactivados en caso de eventos hidro-meteorológicos extremos.

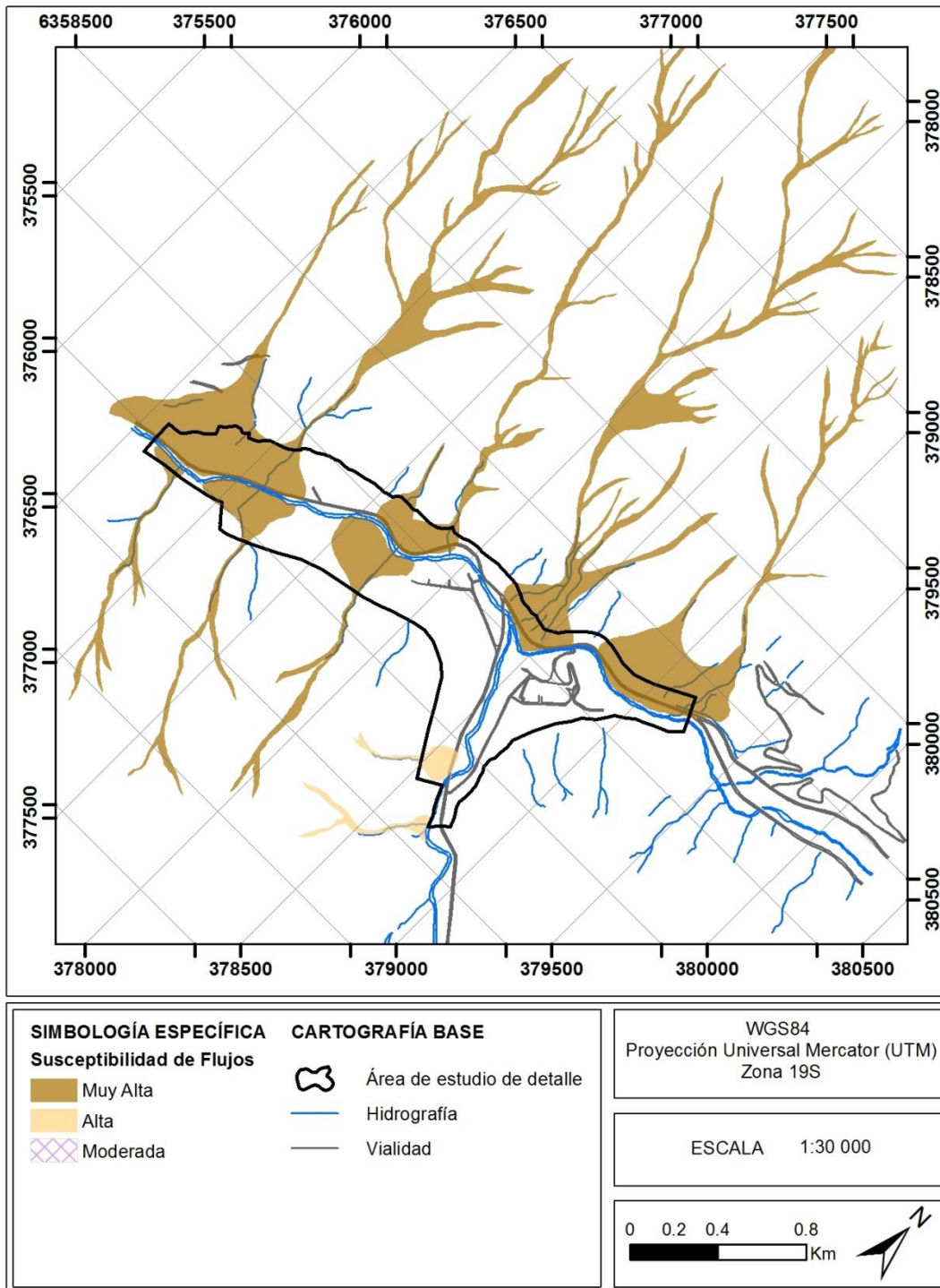
En la FIGURA N° 5-5 y FIGURA N° 5-6 se presenta la zonificación de susceptibilidad Deslizamientos para los sectores de Los Andes (a escala 1:50.000) y Río Blanco (a escala 1:30.000), respectivamente. La zonificación a escala 1:5.000 se presenta fuera de texto, en los planos señalados en el CUADRO N° 5-1.

FIGURA N° 5-5 Mapa de Susceptibilidad de Flujos de Barro y/o Detritos para el sector de Los Andes



Fuente: Elaboración propia

FIGURA Nº 5-6 Mapa de Susceptibilidad de Flujos de Barro y/o Detritos para el sector de Río Blanco



Fuente: Elaboración propia

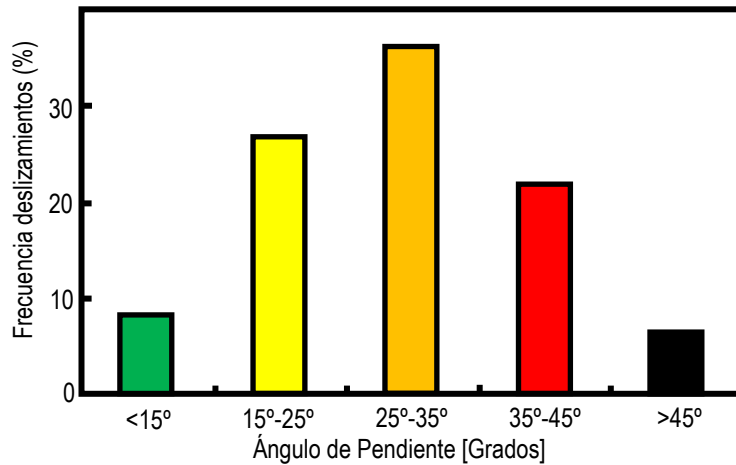
5.2.2.3 Deslizamientos

Para la zonificación de susceptibilidad de deslizamientos de suelo o roca, se utilizaron catálogos de deslizamientos realizados en distintos lugares del mundo. Esaki et al. (2005) y Giraud & Shaw (2007), así como varios otros catálogos de deslizamientos, indican que la mayor frecuencia de estos eventos se observa sobre pendientes de 25° a 35° de inclinación, relacionado principalmente al ángulo de fricción interno del material (FIGURA N° 5-7).

Luego, las pendientes del terreno pueden ser utilizadas como criterio para una clasificación general del territorio frente a potenciales deslizamientos. Por lo mismo, para el análisis se utilizaron los siguientes criterios de zonificación:

- **Muy Alta Susceptibilidad:** Zonas con pendientes mayores a 35°
- **Alta Susceptibilidad:** Zonas con pendientes entre 25° y 35°
- **Moderada Susceptibilidad:** Zonas con pendientes entre 15° y 25°

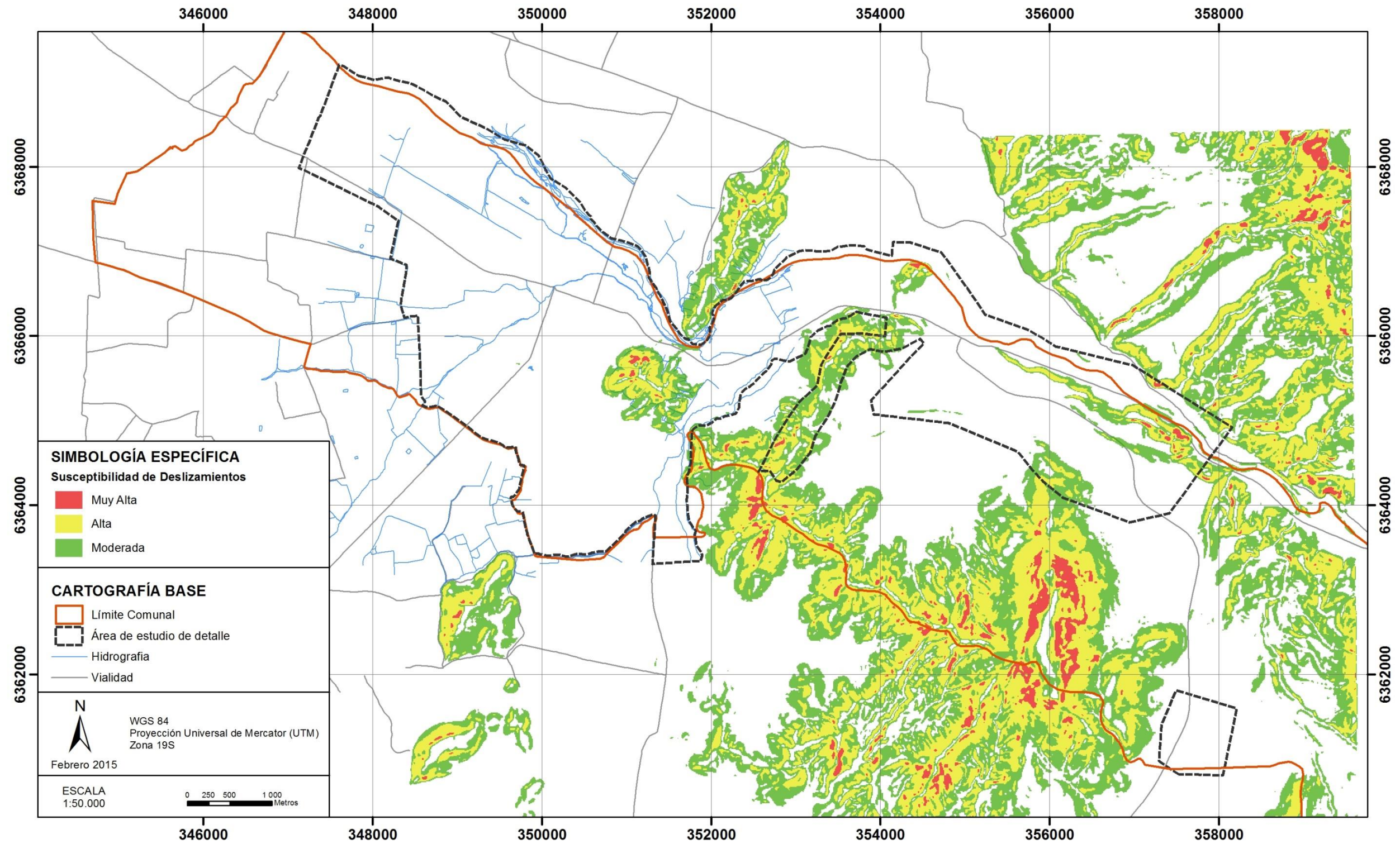
FIGURA N° 5-7 Frecuencia de deslizamientos en función de la pendiente del terreno



Fuente: Esaki et al. (2005)

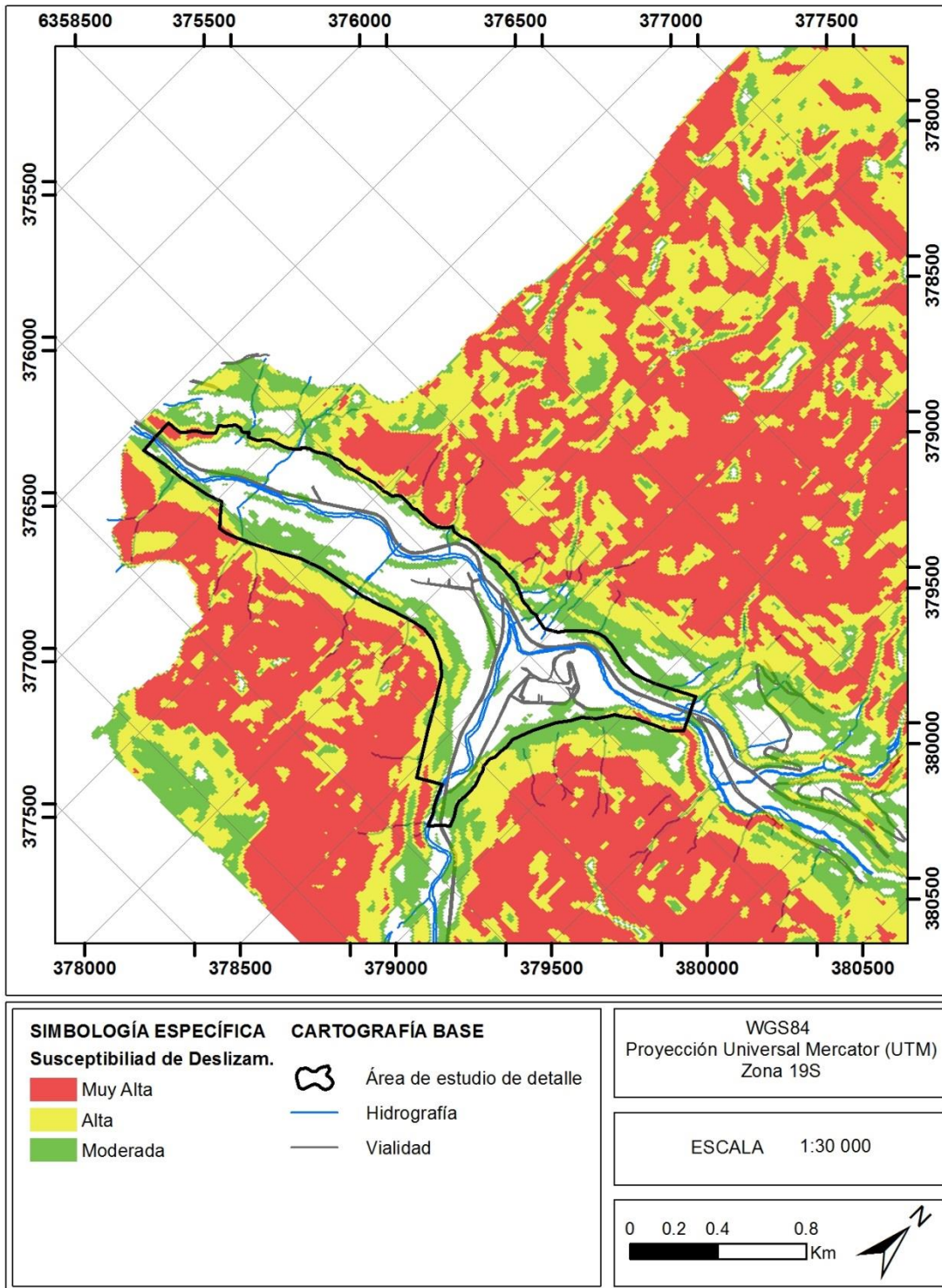
En la FIGURA N° 5-8 y FIGURA N° 5-9 se presenta la zonificación de susceptibilidad Deslizamientos para los sectores de Los Andes (a escala 1:50.000) y Río Blanco (a escala 1:30.000), respectivamente. La zonificación a escala 1:5.000 se presenta fuera de texto, en los planos señalados en el CUADRO N° 5-1.

FIGURA N° 5-8 Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos para el sector de Los Andes



Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 5-9 Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos para el sector de Río Blanco



Fuente: Elaboración Propia

6. Recomendación de Criterios para la Zonificación

Una vez identificados los peligros, definidos los grados de susceptibilidad y el alcance territorial de ellos, es indispensable definir los criterios o reglas con las cuales se definirán las normas de uso del suelo y otras normas urbanísticas en las áreas afectadas por estos peligros naturales.

La legislación vigente sólo entrega una herramienta implícita y otra explícita para el manejo de las áreas de riesgo. En efecto, el artículo 134 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones señala dentro de las obligaciones del urbanizador la ejecución a su costa de “obras de defensa y de servicio del terreno”, sin especificar la naturaleza de tales obras. A continuación se cita textualmente el primer párrafo del artículo citado:

Artículo 134º.-Para urbanizar un terreno, el propietario del mismo deberá ejecutar, a su costa, el pavimento de las calles y pasajes, las plantaciones y obras de ornato, las instalaciones sanitarias y energéticas, con sus obras de alimentación y desagües de aguas servidas y de aguas lluvias, y las obras de defensa y de servicio de terreno.

Por otra parte, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones en su artículo 2.1.17 es mucho más explícita por cuanto obliga a cada proyecto a definir las acciones u obras que un estudio fundado señale como necesarias realizar para localizar una edificación en un área donde existen riesgos.

Cabe notar que el artículo 134 de la LGUC opera por sí solo y es de carácter general, es decir no está ligado a un estudio fundado de riesgo, en cambio la aplicación del artículo 2.1.17 de la OGUC es materia de regulación por parte de un IPT y requiere de un estudio fundado de riesgo que defina el área en la cual se aplicará tal medida.

Bajo esa perspectiva, resulta de vital importancia definir primero bajo qué condiciones es dable aplicar el artículo 2.1.17 sobre la zonificación que actualmente tiene el PRC. La recomendación es aplicar esta restricción a todas aquellas áreas que tengan grado Alto y Muy Alto de susceptibilidad de verse afectados por algún peligro.

El planificador puede tomar además otras medidas de planificación relacionadas con el grado de susceptibilidad que afecta el suelo, medidas que están también dentro de las atribuciones que otorga la LGUC y la OGUC al Plan Regulador Comunal, tales como:

- Diferenciar el uso del suelo permitiendo o prohibiendo cierto tipo de uso del suelo, clase o destino
- Regular la intensidad de la ocupación del suelo, por medio de los parámetros de superficie mínima de subdivisión predial y/o el coeficiente máximo de ocupación de suelo, magnitud de antejardines, y otras similares.
- Regular con otras normas urbanísticas que incidan en la forma e intensidad de ocupación del suelo (agrupamiento, alturas, densidad, entre otras)

De todas las medidas posibles, la más relevante tiene que ver con la localización de los equipamientos esenciales - también llamados equipamiento crítico - definidos como todos aquellos

que deben mantener su funcionalidad aún en caso de catástrofes y por tanto no deben localizarse en áreas de riesgo. En este caso, la recomendación es restringir la localización en áreas de riesgo al Tipo de Uso de suelo Equipamiento, de las clases Educación, Salud y Seguridad.

Se sugiere que la formulación de estos criterios (las reglas a seguir) se elaboren bajo la óptica del lugar, es decir tenga en cuenta las características propias de cada lugar, analizando los tipos de peligros presentes, su intensidad, si el área está ya ocupada o no está consolidada, y también consideraciones relacionadas con dinamismo de la actividad inmobiliaria, la cantidad de recursos que los proyectos estén dispuestos a gastar en eliminar o mitigar esos peligros, etc.

En este sentido la recomendación es diferenciar las medidas según si el área está ya ocupada o no lo está, asumiendo – bajo el principio precautorio y el sentido común – que es necesario restringir por completo el uso en aquellas áreas que no estén consolidadas y que presenten grados de Muy Alto y Alto de susceptibilidad de verse afectados por algún peligro, en cuyo caso, se recomienda – junto con la aplicación del artículo 2.1.17 - asignar solamente el Tipo de Uso Área Verde. En el caso de las áreas ya ocupadas – áreas consolidadas – la recomendación genérica es aplicar el artículo 2.1.17 junto con prohibir la localización de equipamiento esencial, además de aplicar normas urbanísticas diferenciadas acorde con el tipo y grado de susceptibilidad del peligro que afecta el área.

En el CUADRO N° 6-1 se entrega una recomendación de criterios para la zonificación en áreas de riesgo para la zona urbana de la comuna de Los Andes.

CUADRO N° 6-1 Recomendación de criterios para la zonificación en áreas de riesgo

TIPO DE PELIGRO	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U. y C.	
			ÁREA NO CONSOLIDADA	ÁREA CONSOLIDADA
INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES	MUY ALTA	Sectores de cauces fluviales naturales de ríos. Geológicamente corresponde a depósitos fluviales activos de ríos.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde
	ALTA	Corresponde a las terrazas fluviales menores del Río Aconcagua (hasta 1.5 m de altura con respecto al lecho principal) y a las zonas de inundación de los cauces fluviales naturales del mismo río, producto de crecidas menores. También se incluye en esta categoría a los fondos de las quebradas mayores. Geológicamente corresponden a depósitos fluviales de llanura de inundación y a depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas mayores.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
	MODERADA	Esta categoría incluye sectores de terrazas fluviales del Río Aconcagua de una altura de 3 m aprox., y sectores de cauces naturales de quebradas menores. Geológicamente corresponden a depósitos fluviales aterrazados y a depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas menores.	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial	Mitigación con Normas Urbanísticas Todos los uso
	BAJA	Esta categoría incluye sectores de terrazas fluviales del Río Aconcagua de una altura de 5 m aprox.	No aplica restricción	No aplica restricción
CAÍDA DE ROCAS	MUY ALTA	Zonas con afloramientos de roca y pendientes mayores a 35°(zonas de generación) y sectores con pendientes mayores a 10°, ubicados pendiente abajo de las zonas de muy alta susceptibilidad de generación de caída de rocas (zonas de alcance).	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde
	ALTA	Zonas con afloramientos de roca y pendientes entre 25° y 35°(zonas de generación) y sectores con pendientes mayores a 10°, ubicados pendiente abajo de las zonas de alta susceptibilidad de generación de caída de rocas (zonas de alcance).	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
	MODERADA	Zonas con afloramientos de roca y pendientes entre 15° y 25°(zonas de generación) y sectores con pendientes mayores a 10°, ubicados pendiente abajo de las zonas de moderada susceptibilidad de generación de caída de rocas (zonas de alcance).	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial	Mitigación con Normas Urbanísticas Todos los usos
DESLIZAMIENTOS DE SUELO O ROCA	MUY ALTA	Sectores con pendientes >35° (Deslizamientos)	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde
	ALTA	Sectores con pendientes entre 25° y 35°	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
	MODERADA	Sectores con pendientes entre 15° y 25°	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial	Mitigación con Normas Urbanísticas Todos los usos
FLUJOS DE BARRO Y/O DETRITOS	MUY ALTA	Sectores de quebradas principales y sus abanicos aluviales activos (depósitos asociados al escurrimiento habitual o intermitente de agua o generados por flujos de barro y detritos recientes). Geológicamente corresponden a los Depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas principales.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial

TIPO DE PELIGRO	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE ZONIFICACIÓN URBANA O.G.U. y C.	
			ÁREA NO CONSOLIDADA	ÁREA CONSOLIDADA
	ALTA	Sectores de quebradas secundarias de alta pendiente y sus abanicos aluviales activos (depósitos asociados al escurrimiento habitual o intermitente de agua o generados por flujos de barro y detritos recientes). Geológicamente corresponden a los Depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas secundarias.	Riesgo (2.1.17) Uso Área Verde	Riesgo (2.1.17) Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial
	MODERADA	Sectores de quebradas menores de pendientes suaves y sus abanicos aluviales (generalmente sub-actuales, ya que no existen escurrimientos activos sobre ellos). Estos sectores pueden ser reactivados en caso de eventos hidro-meteorológicos extremos.	Mitigación con Normas Urbanísticas Excluir equipamiento esencial	Mitigación con Normas Urbanísticas Todos los usos

Fuente: Elaboración propia.

Las recomendaciones para la definición de las áreas de riesgo según lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC obligan al planificador a utilizar el lenguaje propio de ese cuerpo legal y hacer la equivalencia desde los conceptos utilizados por las geociencias.

Así, para la aplicación de las disposiciones del artículo mencionado se recomienda utilizar los siguientes criterios para la asignación de zonas según tipo y grado de peligros (ver CUADRO N° 6-2):

CUADRO N° 6-2 Recomendación de Criterios de asignación Zonas de Riesgo según 2.1.17

TIPO DE PELIGRO	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DE ZONA
INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES	MUY ALTA	AR1	Zona inundable o Potencialmente inundable
	ALTA		
	MODERADA	No se considera para la aplicación del artículo 2.1.17	
	BAJA		
CAÍDA DE ROCAS	MUY ALTA	AR2	Zona propensa a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
	ALTA		
	MODERADA	No se considera para la aplicación del artículo 2.1.17	
DESLIZAMIENTOS Y RETROCESO DE LADERAS	MUY ALTA	AR2	Zona propensa a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
	ALTA		
	MODERADA	No se considera para la aplicación del artículo 2.1.17	
FLUJOS DE BARRO O DETRITOS	MUY ALTA	AR2	Zona propensa a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
	ALTA		
	MODERADA	No se considera para la aplicación del artículo 2.1.17	

Fuente: Elaboración propia.

Cabe recordar que el artículo 2.1.17 de la OGUC define los siguientes tipos de área de riesgo (transcripción textual):

1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Asimismo, es importante notar que la cartografía de susceptibilidad generada mediante la metodología descrita en el capítulo 5 corresponde al resultado de modelos numéricos y análisis mediante sistemas de información geográfica, los cuales pueden presentar inexactitudes o artificios producto de las limitaciones y resolución de las técnicas empleadas. Por lo anterior, esta cartografía fue revisada y adecuada mediante juicio experto, con el fin de sintetizar y uniformar las áreas de riesgo descritas en el artículo 2.1.17, y permitir su aplicabilidad.

7. Referencias citadas en el texto

- Abele, G., 1984. Derrumbes de montañas y morrenas en los Andes Chilenos.. *Revista de Geografía de Norte Grande.*, Volumen 2, pp. 17-30. Santiago.
- Aguirre, L., 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua.. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile.*, Issue 9, p. 70.
- Antinao, J., Fernández, J., Naranjo, J. & Villarroel, P., 2002. *Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones en la Cuenca de Santiago*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental, No. 2, 1 mapa escala 1:100.000.
- Armijo, R. y otros, 2012. The West Andean Thrust, the San Ramón Fault, and the seismic hazard for Santiago, Chile. *Tectonics*, Volumen 29, p. TC2007.
- Baeza, O., 1999. *Annálisis de litofacies, evolución depositacional y análisis estructural de la Formación Abanico en el área comprendida entre los ríos Yeso y Volcán. Región Metropolitana.*, Unpublished Memoir Thesis. Santiago: Departamento de Geología. Universidad de Chile, 120 p..
- Barrientos, S., 1980. *Regionalización sísmica de Chile MSc thesis*, Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Barrientos, S., 1997. Central Chile: An example of quasi-static crustal behaviour. *The Island Arc*, Volumen 6, pp. 281-287.
- Campbell, D., 2005. *Termocronología del sector comprendido entre los ríos Rocin y Aconcagua: Implicancias en la evolución Meso-Cenozoica de la Zona.*, Santiago de Chile.: Memoria de Título, Universidad de Chile.113p..
- Carter, W. & Aguirre, L., 1965. Structural geology of Aconcagua Province and its relationship o the Central Valley graben.. *Geological society of America Bulletin. Vol. 84*, pp. 651 - 664.
- Centeno, J., Fraile, M., Otero, M. & Pividal, A., 1994. *Geomorfología Práctica. Ejercicios de fotointerpretación y planificación geoambiental.*. Madrid: Ed. Rueda.
- Charrier, R. y otros, 2002. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversión south of the flat-slab segment southern Central Andes, Chile (33°-36°).. *Journal of South American Earth Sciences*, Volumen 15, pp. 117-139.
- Charrier, R., Pinto, L. & Rodríguez, M., 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En: T. Moreno & W. Gibbons, edits. *The Geology of Chile*. Londres: Geological Society of London, pp. 21-114.
- Comte, D. y otros, 1986. The 1985 central Chile earthquake: A repeat of previous great earthquakes in the region?. *Science*, Volumen 233, pp. 393-500.
- Comte, D. y otros, 2002. Seismicity and stress distribution in the Copiapo, northern Chile subduction zone using combined on- and off-shore seismic observations. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 132(1-3), pp. 197-217.
- Comte, D. & Pardo, M., 1991. Reappraisal of great historical earthquakes in the northern Chile and southern Peru seismic gaps.. *Natural Hazards*, 4(1), pp. 23-44.

- 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.
- D'Agostino, V., Cesca, M. & Marchi, L., 2009. *Field and laboratory investigations of runout distances of debris flows in the Dolomites (Eastern Italian Alps)*. *Geomorphology*, pp. 1-11., s.l.: s.n.
- 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.
- Díaz, A., 1996. *Geología de la Formación Farellones e el área del Río Colorado, Cordillera de los Andes de la V región, norte del Río Aconcagua.*, s.l.: Memoria de Título, Universidad de Chile. 69 p..
- Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, L. & Llorente-Isidro, M., 2008. *Mapas de Peligrosidad por avenidas e inundaciones: Guía metodológica para su elaboración*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia No. 1, 190 pág.
- Esaki, T., Thapa, P., Mitani, Y. & Ikemi, H., 2005. *Landslide and debris flow characteristics and hazard mapping in mountain hillslope terrain using GIS, Central Nepal*. En: Eberhardt, E., Hungr, O., Fell, R., Couture, E. (eds). Vancouver, Proceedings, International Conference on Landslide Risk Management, p. 657-669...
- Fuentes, F., Vergara, M., Aguirre, L. & Féraud, G., 2002. Relaciones de contacto de unidades volcánicas terciarias de los Andes de Chile central (33°S): una reinterpretación sobre la base de dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. *Revista Geológica de Chile.*, 29(2), pp. 207-225.
- Gallego, A., 1994. *Paleoambiente y mecanismo de depositación de la secuencia sedimentaria que aflora en el sector del Polpaico, Región Metropolitana, Chile.*, Santiago: Memoria de Título, Universidad de Chile. 476p..
- Gana, P. & Wall, R., 1997. Evidencias geocronológicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y K/Ar de un hiatus Cretácico Superior-Eoceno en Chile Central (33°-33° 30'S). *Revista Geológica de Chile.*, 24(2), pp. 145-163..
- Giraud, R. & Shaw, L., 2007. *Landslide Susceptibility Map of Utah*, s.l.: Utah Geological Survey, 16 p..
- Godoy, E. & Lara, L., 1994. *Segmentación Estructural Andina a los 33°-34°: Nuevos datos en la Cordillera Principal.*, s.l.: VII Congreso Geológico Chileno, Concepción. Vol.2, p. 373-381..
- Godoy, E., Yañez, G. & Vera, E., 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Chilean Central Andes: First seismic and gravity evidences.. *Tectonophysics.*, Volumen 306, pp. 217-236.
- Golubev, G., 1967. *Avalanchas y corrientes de barro en Chile.*, Santiago.: Universidad de Chile, Departamento de Geografía, Informativo Geográfico, N° único, p. 31-74. .
- 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.

- 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., 1987. *Deslizamiento en camino Los Andes-Portillo, sector Guardia Vieja, V Región (Inédito)*., Santiago.: Servicio Nacional de Geología y Minería, 20 p. .
- Hauser, A., 1997. *Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre*, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 49, 47 pág.
- Hauser, A., 2000. *Remociones en masa en Chile*. 2da ed. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 59, versión actualizada, 89 pág.
- Isaacks, B., 1988. Uplift of the Central Andes plateau and bending of the Bolivian Orocline.. *Journal of Geophysical Research*, Volumen 93, pp. 3211-3231.
- Jaros, J. & Z. J., 1969. La relación estructural entre las formaciones Abanico y Farellones en la Cordillera del Mesón, Provincia de Aconcagua, Chile.. *Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago*, Issue 34, p. 8.
- 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. & R. D., 1992. Relaciones entre parámetros focales y macrosísmicos de grandes terremotos chilenos.. *Revista Geofísica, Volumen 37*, pp. 36 - 194., Volumen 37, pp. 36-194.
- Keeper, D., 1984. Landslides caused 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, Provs. de Santiago, Colchagua y Curicó.. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago*., Issue 8, p. 95.
- Lara, L. & Rauld, R., 2003. *Diagnóstico de la geología ambiental de las grandes ciudades de Chile*., Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 182 pág.
- Martínez-Pardo, R. Gallego, A. & Martínez-Guzmán, R., 1994. Middle Albian marine planktonic microfossils from the Santiago basin, Central Chile: their depositional and paleogeographic meaning.. *Revista Geológica de Chile*, 21(2), pp. 173-187.
- 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.
- MOP-CONAF, 1995. *Estudio de Factibilidad, Programa de manejo de Cuencas Hidrográficas, Plan de Ordenamiento y Programa de Manejo Cuenca Río Aconcagua y Estero Marga-Marga*., s.l.: s.n.
- Moscoso, R. & Padilla, H. & R. S., 1982. *Hoja de los Andes, Región de Valparaíso, N° 52, 67 p.*, s.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile..
- 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. & 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.

Navarro, M., 2001. *Estratigrafía y estilo estructural de las formaciones del margen occidental de la Cordillera Principal en el Norte de la VI Región.*, Santiago: Memoria de Título. Universidad de Chile, 77 p..

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. *Journal of Geophysical Research*, 90(B5), pp. 3589-3615.

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.. *Revista Chilena de Historia Natural.*, Volumen 67, pp. 463-485.

Padilla, H., 1981. *Contribución a la Geología y Petrología de las rocas volcánicas e intrusivas de los Andes Chilenos entre las latitudes 33°45' y 33°00'S.*, s.l.: Memoria de Título. Universidad de Chile, 329 p..

Petit-Breuilh, M., 2001. *Desastres naturales y ocupación del territorio en hispanoamérica [Siglos XVI al XX].*, s.l.: Universidad de Huelva, Arias Montano (n.70): 341 p., il, Huelva. .

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

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

Ramos, V. A., Cristallini, E. & Pérez, D. J., 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, Volumen 15, pp. 59-78.

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

Rauld, R., 2011. *Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la falla San Ramón en el frente Cordillerano de Santiago, Chile Central (33°S)*. Santiago: Tesis de Doctorado en Ciencias, mención Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile..

Rivano, S., 1996. *Geología de las Hojas Quillota y Portillo.*, s.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Inédito. 202 p..

Rivano, S., Godoy, E. & Vergara, M. & V. R., 1990. Redefinición de la Formación Farellones en la cordillera de los Andes de Chile Central (32-34°S).. *Revista Geológica de Chile.*, 17(2), pp. 205-214.

Rivano, S., Sepulveda, P., Boric, R. & Espineira, D., 1993. *Geología del Área Quillota-Portillo. N°73*, Santiago: Sernageomin.

- Rivano, S., Sepúlveda, P., Boric, R. & Hervé, M. & P. A., 1986. Antecedentes radiométricos para una edad Cretácica Inferior de la Formación Las Chilcas.. *Revista Geológica de Chile.*, Issue 27, pp. 27-32.
- Rivano, S. S. P., 1991. *Hoja Illapel, Región de Coquimbo. Carta Geológica N°69, escala 1:250.000.*, s.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería..
- 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, N°4. Santiago, Servicio Nacional de Geología y Minería..
- SERNAGEOMIN, 2003. *Mapa Geológico de Chile, Versión Digital*, Santiago: Publicación Digital. Santiago, Servicio Nacional de Geología y Minería..
- Somoza, R., 1998. Updated Nazca (Farallon)- South America relative motions during the last 40 My: implication for mountain building in the central Andean region.. *Journal of South American Earth Sciences*, Issue 11, pp. 211-215.
- Sruoga, P., 2002. *El volcanismo reciente y riesgo asociado en la Provincia de Mendoza*, Mendoza: IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales, pág. 255-259.
- SUBDERE, 2011. *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*, Santiago: Subsecretaría de Desarrollo Regional.
- Tassara, A. G. H.-J. S. S. & H. R., 2006. Three dimensional density model of the Nazca plate and the Andean continental margin.. *Journal of Geophysical Research*, 111(B9), p. B09404..
- Thiele, R., 1980. *Hoja Santiago, región Metropolitana. Carta Geológica N°29, escala 1:250.000.*, s.l.: Servicio Nacional de Geología y Minería..
- Thomas, A., 1967. *Cuadrangulo Mamiña, Provincia de Tarapacá, Carta Geológica de Chile, escala 1:50000*, Santiago: Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Universidad Católica de Chile, 1999. *Estudio de riesgos geofísicos asociados a inundaciones y remoción en masa, macrozonificación, Valle de Aconcagua. Estudio complementario para la formulación del Plan Regulador intercomunal de Aconcagua, provincias de San Felipe y Los Andes.*, s.l.: Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura y Bella Artes..
- 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..

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.

Wall, R., Selles, D. & Gana, P., 1999. *Área Til Til – Santiago, Región Metropolitana. Mapa geológico N°11, mapa escala 1:100.000, Santiago.*, s.l.: SERNAGEOMIN. .

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

ANEXOS

ANEXO A	Definiciones de Peligro y Riesgo usadas en este informe	1
A.1	Referencias.....	4
ANEXO B	Descripción Peligros Geológicos Analizados	5
B.1	Procesos Internos o Endógenos de la Tierra	5
B.2	Procesos Exógenos o Externos de la Tierra	15
B.3	Referencias.....	24

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 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

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; Gonzalez de Vallejo, et al., 2002; JTC-1, 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 $A \times V$, donde A corresponde a la amenaza y V a la vulnerabilidad. En este caso no es posible obtener una evaluación cuantitativa de las pérdidas (Gonzalez de Vallejo, et al., 2002).

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

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

Donde R_t corresponde al riesgo total, R_e al riesgo específico y E a los elementos expuestos considerados. La FIGURA A—1 muestra la relación entre el conocimiento y la estimación de la susceptibilidad, amenaza y riesgo.

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

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

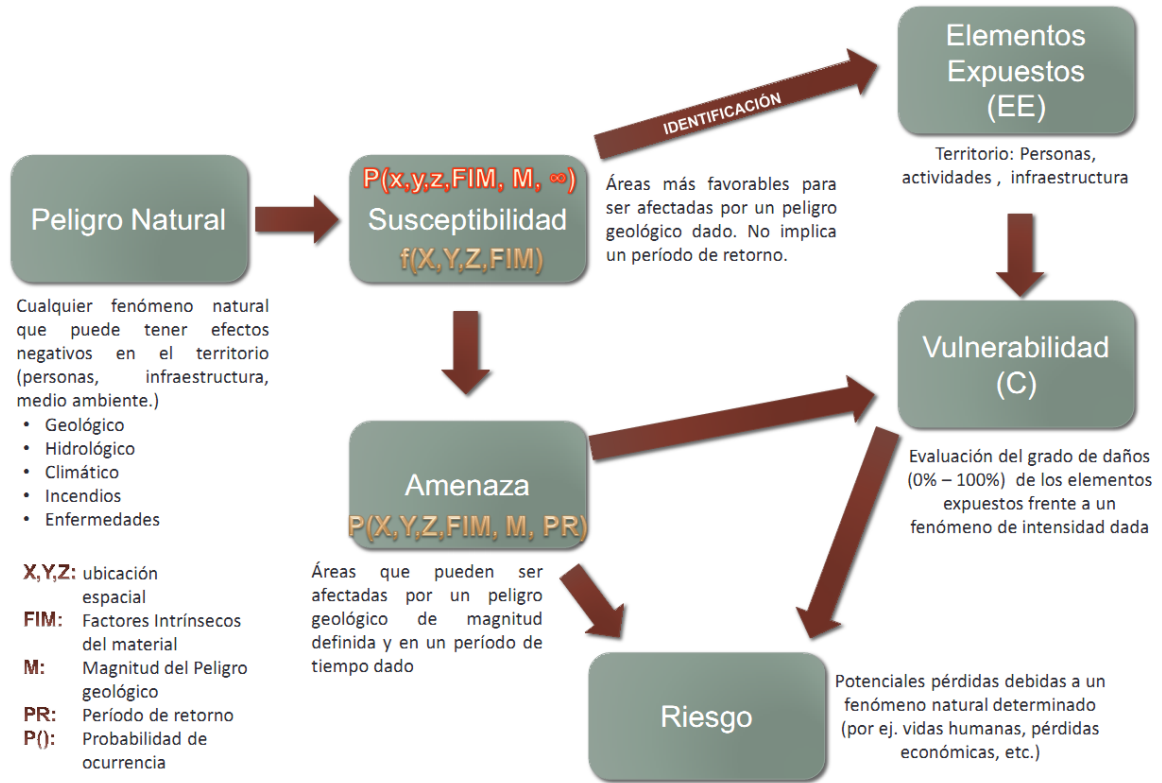
Finalmente, la reducción y mitigación de los riesgos vinculados a los diversos peligros geológicos presenta igual o mayor importancia que el manejo de las emergencias y la respuesta posterior al evento catastrófico. El desarrollo sustentable de la urbanización está directamente asociado a la reducción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

conciencia a partir del conocimiento de los peligros y riesgos geológicos es fundamental para reducir y mitigar las consecuencias de estos eventos sobre la población (ONU/EIRD, 2004).

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

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

FIGURA A—1 Etapas de la evaluación de un evento geológico peligroso



Fuente: Elaboración propia basado en Varnes (1984)

A.1 Referencias

González de Vallejo, L., Ferrer, M, Ortuño, L., Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Pearson Education, Madrid. 744 pp.

JTC-1, 2008. Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning, for land use planning. Engineering Geology 103, 85–98.

Ogura, A., Soares Macedo, E., 2000. Procesos y Riesgos Geológicos. En: II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental (UNESCO y UNICAMP).

Campinas, Brasil, 345 p. Disponible en:
<http://unesdoc.unesco.org/images/001VI/001VI31/1VI3153s.pdf>

ONU/EIRD, 2004, Vivir con el Riesgo, Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres, Versión en español 2004 en CD.

Urrutia, R. y Lanza, C. 1993. Catástrofes en Chile 1541-1992. Editorial La Noria. 440p. Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Varnes, D.J.,1984. Hazard Zonation: A Review of Principal and Practice. Commission of Landslide of IAEG, UNESCO, Natural Hazades, No.3,61 p

ANEXO B Descripción Peligros Geológicos Analizados

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

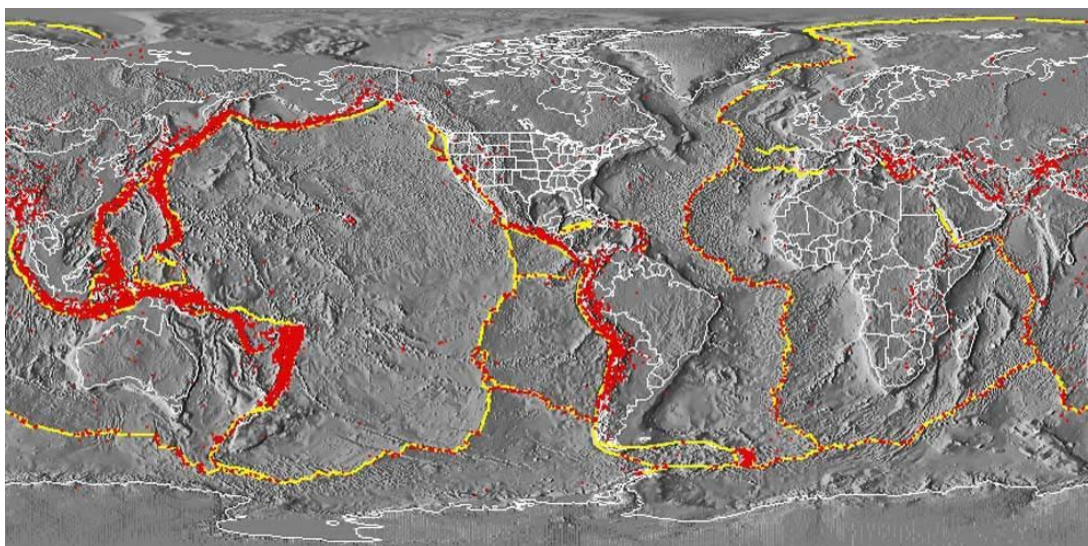
Para cada peligro, se describe en qué consiste, cuáles son sus factores condicionantes, y los principales efectos para la población y sus actividades. El análisis se realiza dividiendo los peligros geológicos en dos grupos, procesos internos o endógenos de la tierra (peligro sísmico y volcánico), y los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

B.1 Procesos Internos o Endógenos de la Tierra

B.1.1 Sismicidad

La costa Oeste de Sudamérica está delineada por el borde occidental de la placa Sudamericana y se caracteriza por una intensa sismicidad debido a su convergencia con la placa de Nazca. En planta se aprecia una banda sísmica activa muy angosta (100-150 km) y de profundidad variable (~5-200 km) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile. La FIGURA B—1 ilustra la sismicidad mundial que resalta los márgenes de las placas tectónicas y muestra además, cómo Chile se encuentra en un ambiente de gran producción sísmica.

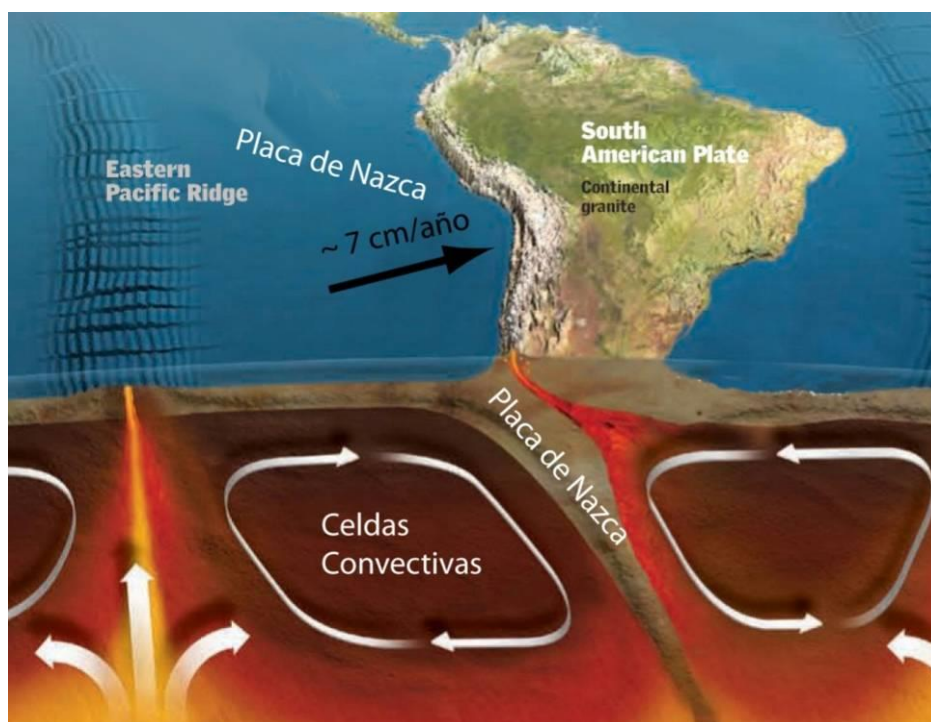
FIGURA B—1 Sismicidad mundial entre los años 1980 y 1990, se representan en puntos rojos los epicentros con magnitud >5. Nótese como la sismicidad “ilumina” los límites de las placas tectónicas, dibujados en amarillo



Fuente: Western Washington University (2011).

El margen de subducción donde se ubica Chile está caracterizado por una convergencia del orden de 8 cm/año (DeMets, et al., 1994). Una serie de fuerzas actúan sobre la Placa de Nazca, como por ejemplo el flujo convectivo de material del manto, que “mueve” a la placa en dirección al este generando la convergencia, o el mismo peso de la placa oceánica que “tira hacia abajo” esta placa, favoreciendo la subducción (FIGURA B—2). Debido a sus distintas composiciones, la placa oceánica que es comparativamente más densa (de composición basáltica) tiende a introducirse bajo la corteza continental menos densa (de composición granítica). Las fuerzas que actúan sobre la interface entre ambas placas así como las de interacción entre las placas y el manto generan el llamado acoplamiento sísmico interplaca, el que puede entenderse como la resistencia al deslizamiento en la zona de contacto entre ambas. A mayor acoplamiento interplaca la capacidad de generar terremotos de gran magnitud aumenta (Scholz, 1990).

FIGURA B—2 Contexto geodinámico y margen de subducción de Chile



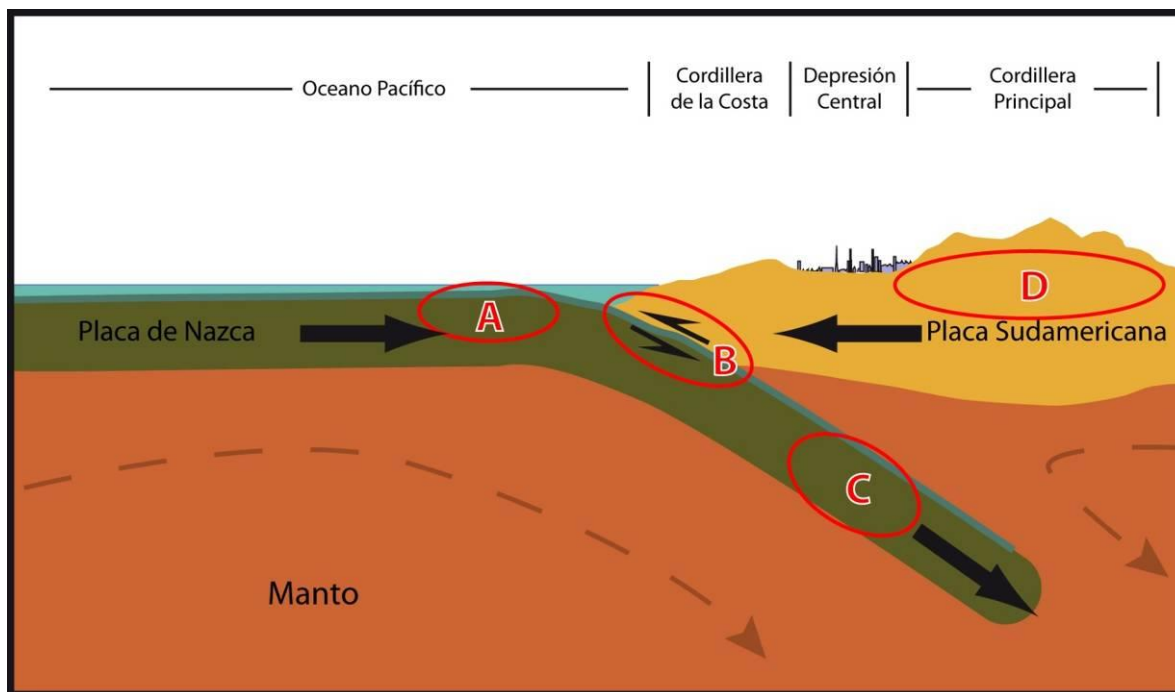
Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

El sistema de subducción, además de acumular energía que se libera por sismos de interplaca, genera campos de esfuerzos en la placa continental, en la oceánica y en la zona de acople entre ambas. El método para descargar la energía acumulada es a través de diferentes tipos de sismos, ejemplificados en la FIGURA B—3, que corresponde a:

- Zona A: Sismos “Costa afuera”, que se producen por los esfuerzos extensivos por abombamiento en la placa subductante antes de la zona de contacto. A pesar de llegar a tener magnitudes cercanas a $M_w = 6$, prácticamente no causan efectos significativos en áreas pobladas debido a su ocurrencia en zonas mar adentro.

- Zona B: Sismos asociados al contacto interplaca, como los ocurridos en Antofagasta 1995, Chile Central 1985, Mejillones 2005 y Constitución-Concepción en el 2010. Estos son producto de la liberación de energía acumulada por la convergencia de placas.
- Zona C: Sismos intraplaca de profundidad intermedia, como los sismos de Punitaqui 1997, Copiapó 2002, Calama 1950, Tarapacá 2005 y Chillán 1939. Se producen por el fracturamiento tensional de la placa de Nazca (la placa se quiebra por su propio peso).
- Zona D: Sismos superficiales intraplaca, como los sismos de Las Melosas en 1958, Aroma en 2001, Curicó en 2004 y Aysén, 2007. Son producto del esfuerzo intraplaca inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve. En general, los sismos superficiales intraplaca se encuentran asociados a fallas superficiales que pueden tener movimientos normales, inversos y de rumbo, que responden a campos de esfuerzos compresivos o extensivos.

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

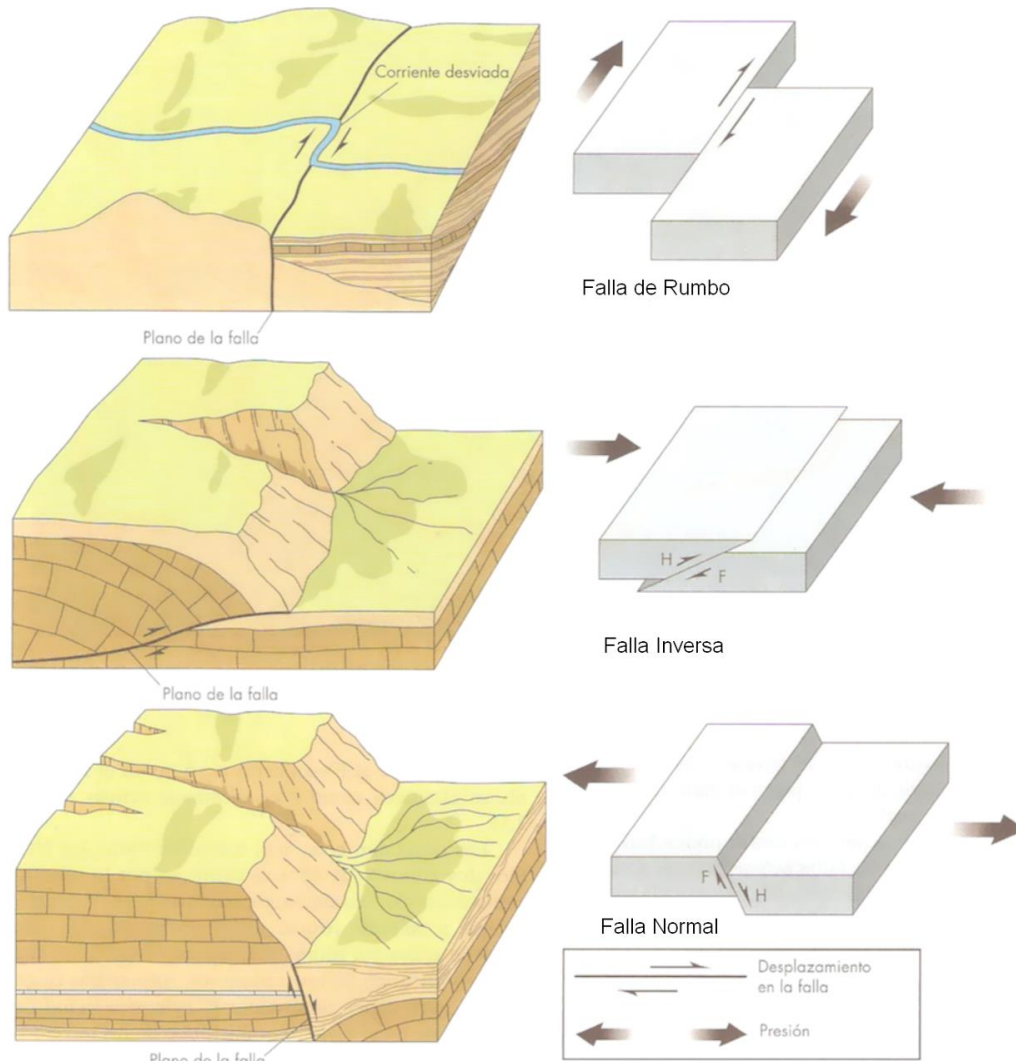


Fuente: Elaboración propia.

Independientemente de la ubicación particular de uno u otro sismo, todos ellos corresponden a un desplazamiento violento paralelo al plano de falla que libera la energía acumulada en la interfaz. La energía que se acumula producto de la convergencia de placas, tanto en el contacto interplaca como en la corteza, en algún momento supera la resistencia de las rocas. En dicho instante se produce una ruptura que se propaga a través de un plano de falla, el que, de acuerdo a su geometría, generará diferentes tipos de movimientos (FIGURA B—4). A su vez, esta ruptura conlleva una liberación de energía que se propaga por medio de ondas sísmicas.

Las ondas que transmiten la energía sísmica se agrupan en dos tipos principales: ondas de cuerpo y ondas de superficie. Las primeras se dividen en ondas P (compresivas) y ondas S (ondas de corte o de cizalle), mientras que las segundas se dividen en ondas Rayleigh y Love (FIGURA B—5). En las ondas P el movimiento de partículas se produce en forma paralela al de la propagación de la onda y en las ondas S es en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Las ondas Rayleigh tienen un movimiento oscilatorio elíptico y las ondas Love tienen un movimiento oscilatorio horizontal. Con respecto a su impacto en superficie, debido a que las ondas S transportan la mayor cantidad de energía y a que las ondas superficiales tienden a tener movimientos de mayor frecuencia, ambos tipos corresponden a los de carácter más destructivo del movimiento sísmico. Aun así, a medida que las ondas se alejan de la fuente van perdiendo o disipando energía, siendo cada vez menos destructivas, fenómeno que se conoce como atenuación.

FIGURA B—4 Tipos de Falla y esfuerzos asociados

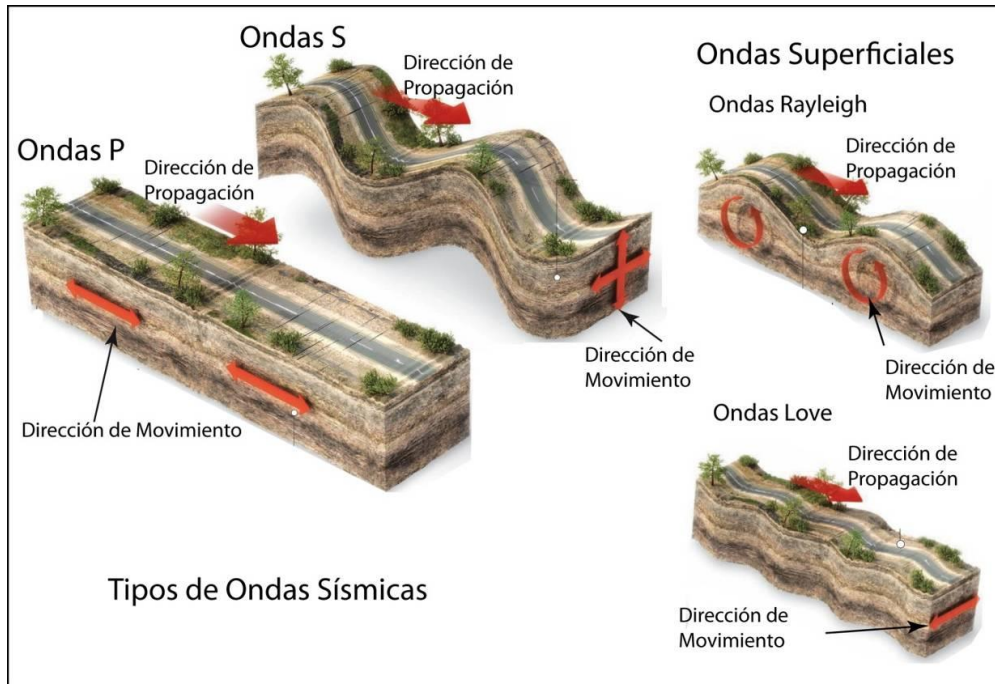


Fuente: Keller y Blodgett (2004).

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

Finalmente, debe destacarse el llamado “efecto sitio”, que indica un condicionamiento de carácter local bajo el cual para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde uno se encuentra ubicado, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto (FIGURA B—6).

FIGURA B—5 Tipos de ondas sísmicas



Fuente: Modificado de Enciclopedia Britannica (2008).

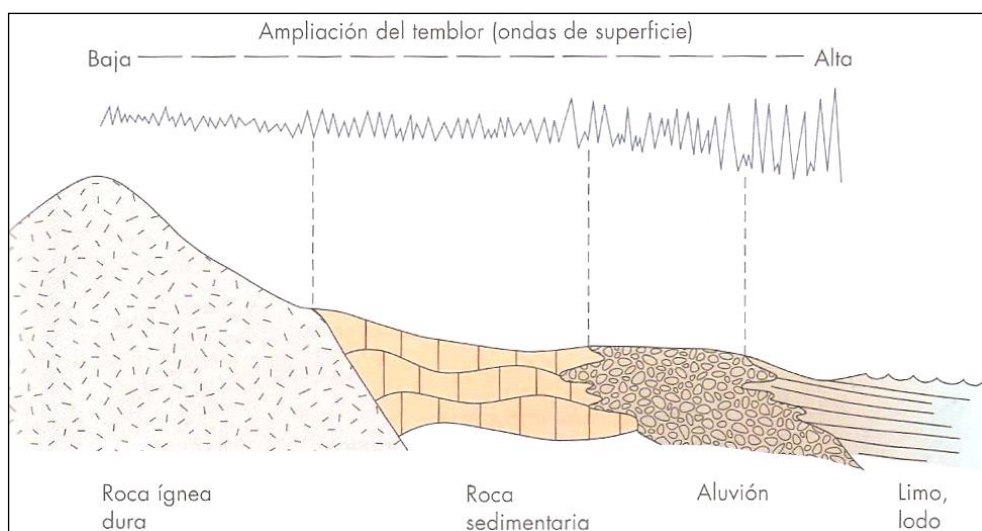
El principal efecto asociado a la ocurrencia de sismos son fuertes movimientos del terreno, que originan un peligro directo sobre las estructuras y sobre las personas, debido a las fuertes aceleraciones generadas por las ondas sísmicas. Sumado a lo anterior, la ocurrencia de estos fenómenos es generalmente sin previo aviso, por lo que la única manera de mitigar el riesgo es con campañas de educación y estrictas normas de construcción. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías. Esto implica en una alta vulnerabilidad estructural, económica y social. Particularmente con respecto a esta última se deben mencionar las potenciales pérdidas de vidas humanas y heridos por el derrumbe de

estructuras, además de la vulnerabilidad a enfermedades gastrointestinales y epidemias por el colapso de los sistemas sanitarios y de conectividad, entre los innumerables efectos adversos para la sociedad que provocan este tipo de fenómenos.

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

Los deslizamientos y derrumbes se dan en diversos tipos de suelos y bajo variadas condiciones sismotectónicas, incluso se han detectado en sismos de grado $M_w = 4.0$. La cantidad y severidad de estos están en directa relación con la cercanía al epicentro y la magnitud del evento causante (Keeper (1984); Sepúlveda, et al. (2005); (2010)). Sea cual sea su origen, los deslizamientos y derrumbes están asociados principalmente a tres factores: las pendientes del terreno, la resistencia mecánica de los materiales involucrados y antecedentes de eventos anteriores (Centeno, et al. (1994); Sancho (1997)). Para más detalle acerca de estos procesos ver el Anexo B.2.2 "Procesos de Remoción en Masa".

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



Fuente: Keller y Blodgett (2004).

Los maremotos o tsunamis corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energa y tamao que se producen cuando alg3n fen3meno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua y en aproximadamente un 90% de los casos, estos fen3menos son provocados por terremotos. La energa de un maremoto depende de su altura (amplitud de la onda) y de su velocidad, y estar3 asociada a la magnitud del evento que lo gener3.

Otro proceso que se asocia com3nmente a la actividad s3smica es la licuefacci3n del terreno, que corresponde al fen3meno donde un material s3lido saturado en agua se comporta como l3quido a causa de la intensa vibraci3n. Las ondas s3smicas hacen aumentar la presi3n de agua presente en el sedimento, de forma que los granos de arena o limo pierden el contacto entre ellos causando una p3rdida de resistencia del s3lido y permitiendo que el dep3sito

pueda fluir. Bajo estas condiciones, el suelo puede perder su capacidad de soporte de estructuras, producir deslizamientos (incluso en superficies con muy bajas pendientes) y formar volcanes de arena. Muchos de estos fenómenos son acompañados por asentamientos en las superficies, normalmente irregulares, dañando construcciones, infraestructura y cañerías.

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

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

Saturación de los depósitos por aguas subterráneas, el agua debe rellenar los espacios entre los granos de limo o arena. Puede producirse en zonas donde el nivel de agua subterránea es somero como en desembocadura de cursos de agua, humedales, pantanos, vegas y zonas costeras.

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

B.1.2 Volcanismo

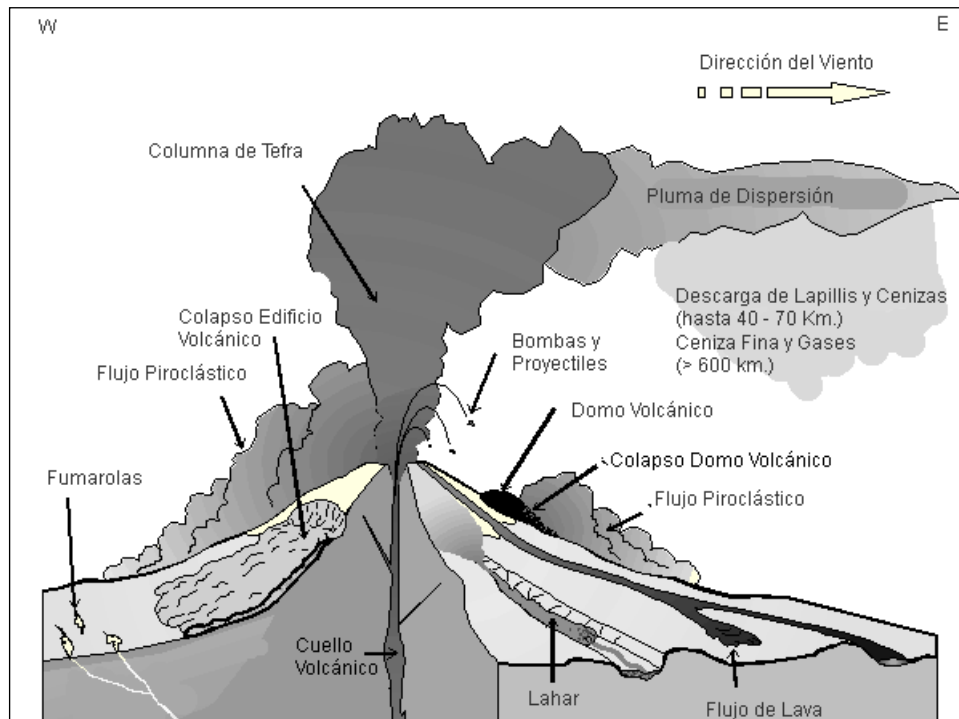
El peligro volcánico deriva de los procesos asociados a la erupción de un volcán. En Chile el volcanismo activo se distribuye a lo largo de la Cordillera de los Andes, pero de forma discontinua. En la zona entre los 18° y 27°S y aquella al sur de los 33°S se ubica el volcanismo activo, mientras que entre los 27°-33°S está ausente. Los principales peligros asociados a una erupción volcánica se resumen en la FIGURA B—7 y en el CUADRO B-1.

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

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

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

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



Fuente: Myers y Brantley (1995).

CUADRO B-1 Peligros asociados al volcanismo

Peligro	Factores de Peligro	Tipo de Daño	Alcance	Condicionantes
Lluvia de Tefra y proyectiles balísticos	Proyección de Bombas y Escorias Incandescentes	Daños por impacto, incendios.	Alrededores del volcán (<10 km)	Tamaño de proyectiles. Mayor tamaño, menor alcance; menor tamaño, mayor alcance
	Caída de Piroclastos y Dispersión de Cenizas	Recubrimiento de cenizas, colapso de estructuras, daños a la agricultura, daños a instalaciones industriales y viviendas, problemas de tráfico aéreo, falta de visibilidad, contaminación de aguas.	Centenares de kilómetros	Dirección del viento
	Flujos y Oleadas Piroclásticas	Daños a estructuras, incendios, recubrimiento por cenizas.	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Gases	Envenenamiento, contaminación aire y agua.	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
	Inyección de Aerosoles a la Estratósfera	Impacto en el clima, efecto a largo plazo y/o a distancia.		Dirección del viento
Lavas y Edificio Volcánico	Lavas y Domos	Daño a estructuras, incendios, recubrimiento por lavas.	Alrededores del volcán (<10 km)	
	Deformación del Terreno	Fallas, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	

	Terremotos y Temblores Volcánicos	Colapso del edificio volcánico, remociones en masa, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología
Remociones en masa	Lahares	Daños a estructuras, arrastres de materiales, recubrimiento por barros.	Decenas a centenares de kilómetros	Red de drenaje
	Colapso Parcial o Total del Edificio volcánico	Daños estructuras, recubrimiento por detritos, avalanchas, tsunami inducido.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos
	Deslizamiento de Laderas	Arrastre de materiales, recubrimiento por detritos, daños a estructuras.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos
Otros	Ondas de Choque	Rotura de cristales y paneles.	Decenas de kilómetros	Dirección del viento y geomorfología
	Variaciones en el Sistema Geotérmico de Acuíferos	Cambios de temperatura y calidad del agua.	Alrededores del volcán (<10 km), puede ser de cientos de kilómetros	Red de drenaje

Fuente: Elaboración propia a partir de González-Ferrán (1995), Myers y Brantley (1995) y Sruoga (2002).

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

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

1. Pérdida de tierras cultivables
2. Colapso de techos y obras civiles
3. Pérdidas de vidas humanas y forraje
4. Contaminación de aguas y problemas sanitarios derivados.

Se debe destacar que, la duración de una catástrofe por actividad volcánica puede ser considerable dado que un ciclo eruptivo puede extenderse por meses o años (por ejemplo, el ciclo eruptivo del volcán Chaitén), y pueden afectar grandes áreas de terreno, como por ejemplo la erupción del volcán Quizapú en el año 1932, cuya pluma de ceniza alcanzó la ciudad de Johannesburgo, Sudáfrica o la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle en curso (noviembre 2011), cuya pluma de ceniza dio la vuelta al mundo.

B.2 Procesos Exógenos o Externos de la Tierra

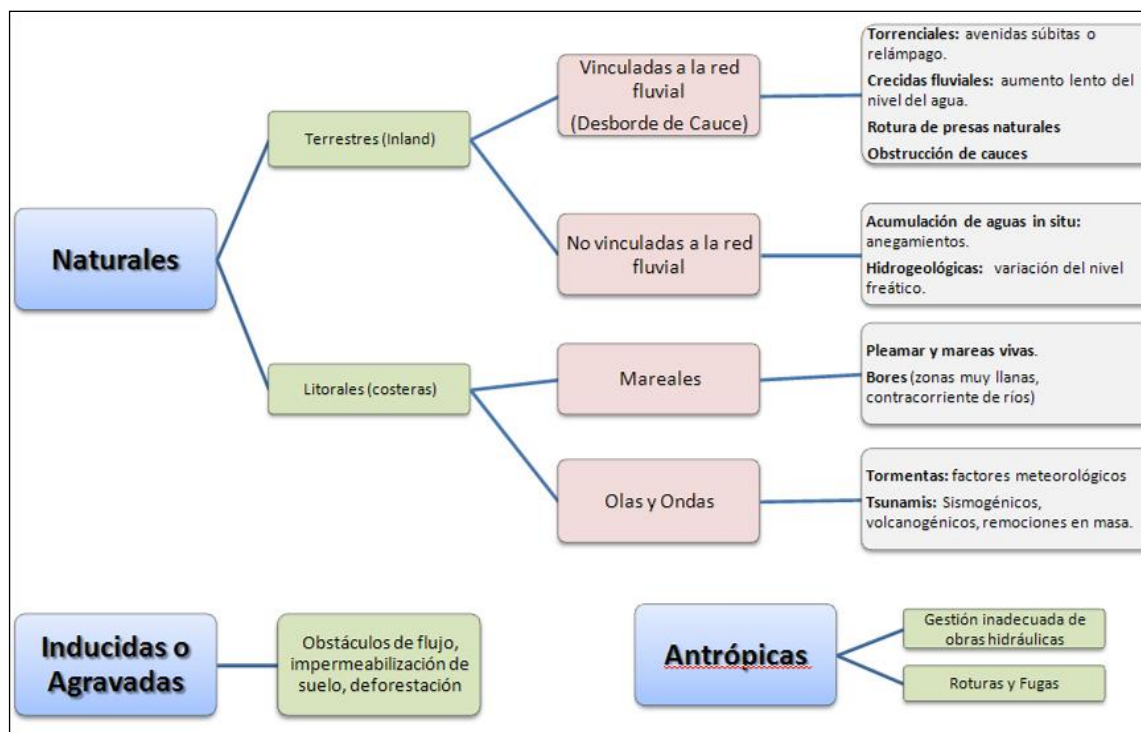
B.2.1 Inundaciones Terrestres y Litorales

Las inundaciones, sin considerar aquellas generadas por causas antrópicas, pueden ser de dos tipos (FIGURA B—8): (1) terrestres, en el sentido de “tierra adentro”, en las que aguas dulces anegan territorios al interior de los continentes, y (2) litorales o costeras, en las que aguas marinas o lacustres-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre. Los procesos de inundación pueden originarse por varios factores, tales como lluvias intensas durante temporales, pero también pueden originarse por colapso o desbordamiento de represas y canales, marejadas en zonas costeras, o como afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas.

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

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

FIGURA B—8 Clasificación de los tipos de inundaciones



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

B.2.1.1 Inundación por Desborde de Cauces

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

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

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:

3. 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.
4. La intensidad y velocidad con que ocurre el fenómeno
5. Densidad de población: En caso de que la población se encuentre directamente en la zona de inundación y no sea evacuada oportunamente, pueden ocurrir muertes, heridos, enfermedades, daños estructurales, etc. Si la inundación no afecta directamente a la población, puede producir cortes de camino, daños a la infraestructura sanitaria (por ejemplo, destruir captaciones de agua para el consumo humano) con un costo económico en reparaciones y medidas de mitigación.

B.2.1.2 Inundación por Acumulación de Aguas Lluvias en Zonas Llanas, o Anegamiento

Este tipo de inundaciones se producen en zonas deprimidas, de baja permeabilidad, con niveles freáticos someros y deficiente drenaje del terreno, frecuentemente inundadas debido a lluvias intensas y/o prolongadas. Este tipo de inundaciones se asocia a la zona de desembocadura de algunas quebradas, las que son “embalsadas” por caminos y obstrucciones antrópicas. Estas barreras no permiten que el río escurra fácilmente hacia el mar, sino solo de forma subterránea, provocando el ascenso de los niveles freáticos y la formación de zonas pantanosas y humedales. 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.2.2 Procesos de Remoción en Masa

El término “remoción en masa” incluye una amplia variedad de procesos que generan el movimiento aguas abajo de los materiales que constituyen las laderas, incluyendo roca, suelo, relleno artificial o una combinación de las anteriores (FIGURA B—9). El movimiento de estos materiales puede ser por caída, volcamiento, deslizamiento, propagación lateral o flujo.

B.2.2.1 Desprendimientos o Caída de Rocas

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

La gravedad es el principal motor del peligro de caída de rocas. Como 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.2.2.2 Deslizamientos

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

Estos fenómenos pueden ocurrir de varias formas dependiendo de las propiedades del material y las características geológicas y geomorfológicas del entorno, siendo principalmente divididos en rotacionales y traslacionales (FIGURA B—10). Esto implica que las superficies de ruptura son ya sea curvas y cóncavas o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

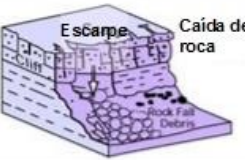
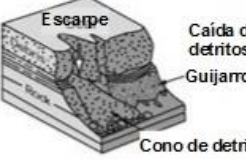
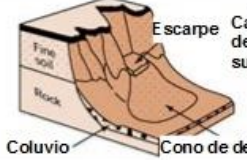


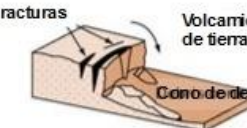

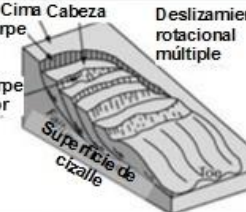
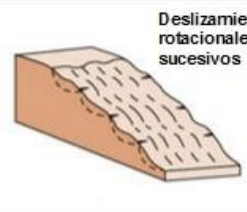



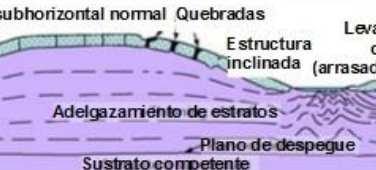

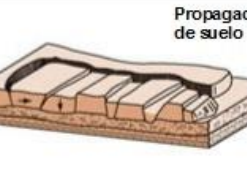
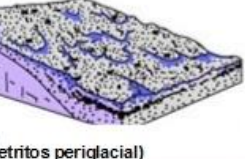
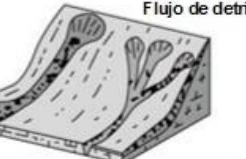


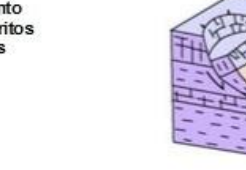
Estos fenómenos incluyen los deslizamientos que ocurren durante el retroceso de terrazas fluviales producto de la erosión fluvial o el retroceso de acantilados costeros por erosión marina basal, en especial al desarrollo de terrazas de abrasión. Este proceso es causado por la fuerza de las olas, las que cavan cavernas y desestabilizan el bloque superior, provocando que éste caiga por su propio peso (FIGURA B—11). 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.

FIGURA B—9 Clasificación de tipos de remoción en masa en relación al movimiento que lo origina y el material constituyente de la ladera

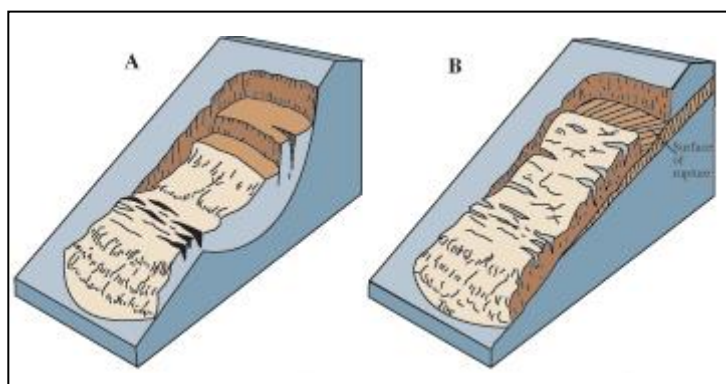
Material		ROCA	DETRITO	SUELO
Tipo de movimiento				
CAIDA		 Caída de roca Rock Fall Debris	 Caída de detritos Guijarros Cono de detrito	 Caída de suelo Coluvio Cono de detrito
	VOLCAMIENTO	 Volcamiento de roca	 Volcamiento de detrito Cono de detrito	 Fracturas Volcamiento de tierra Cono de detrito
DESIZAMIENTO	Rotacional	 Deslizamiento rotacional simple (slump) Superficie de cizalle	 Cima Cabeza Deslizamiento rotacional múltiple Escarpe menor Superficie de cizalle	 Deslizamientos rotacionales sucesivos
	Traslacional (planar)	 Deslizamiento de roca	 Deslizamiento de detrito	 Deslizamiento de suelo
PROPAGACION	 <p>Estructura subhorizontal normal Quebradas Cobertura de roca Limolita arcillosa Adelgazamiento de estratos Plano de despegue Sustrato competente</p>		 <p>Levantamiento del valle (arrasado por erosión)</p>	 <p>Propagación de suelo</p>
FLUJO	 <p>Solifluxión (Flujo de detritos periglacial)</p>	 <p>Flujo de detritos</p>		 <p>Flujo de suelo (flujo de barro)</p>
COMPLEJO	 <p>p.ej.: Deslizamiento de suelo con detritos de caída de rocas</p>		 <p>p.ej.: Deslizamiento rotacional/traslacional compuesto, gradando a flujo de suelo hacia el pie</p>	

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:

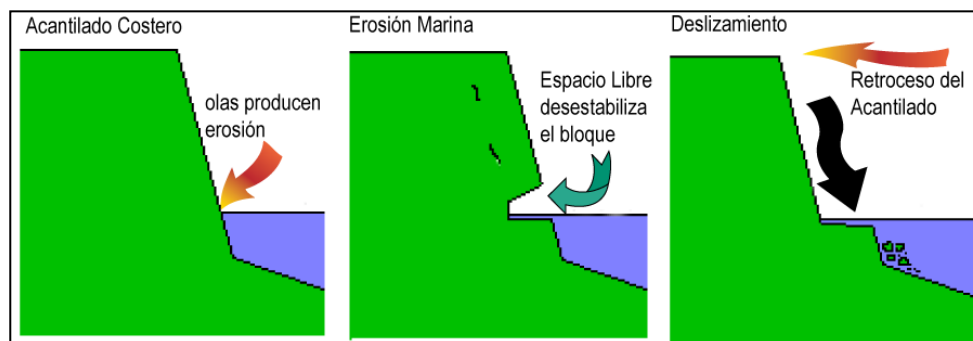
1. Distancia al origen del fenómeno: Por lo general, los deslizamientos son procesos que afectan un área limitada (radios menores a 1 km., incluso menores a 500 m). Hay que considerar que este punto depende directamente del tamaño de volumen desplazado.
2. La intensidad y velocidad con que ocurre el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

FIGURA B—10 Ejemplos de deslizamientos. A. Deslizamiento Rotacional, B. Deslizamiento traslacional



Fuente: Modificado de Landslide Types and Process, USGS. Fact Sheet 2004-3072. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/fig3grouping-2LG.jpg>

FIGURA B—11 Ejemplo de erosión por retroceso de terrazas, aplicado al desarrollo de planicies de abrasión



Fuente: Elaboración propia.

B.2.2.3 Flujos de Detritos y Barro

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

Las partículas sueltas que cubren pendientes desnudas y otros depósitos detríticos no consolidados, disponibles dentro de la cuenca de recepción, son transportadas hacia el cauce principal donde continúa su movimiento. Se remueven así depósitos de gravas y arenas sueltas del lecho, hasta alcanzar el área de deposición, 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:

1. 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.
2. 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.
3. 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.

B.3 Referencias

Antinao, J., Fernández, J., Naranjo, J. & Villarroel, P., 2002. Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones en la Cuenca de Santiago, Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Ambiental, No. 2, 1 mapa escala 1:100.000.

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

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: Instituto Geológico y Minero de España. Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia No. 1, 190 pág.

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

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.

Iida, K., 1963. A relation of earthquake energy to tsunami energy and the estimation of the vertical displacement in a tsunami source. Journal of Earth Science, 2(1), pp. 49-67.

Inamura, A., 1942. History of Japanese Tsunamis. Kayo-No-Kagaku, Volumen 2, pp. 74-80.

Inamura, A., 1949. List of Tsunamis in Japan. Journal of Seismological Society of Japan, Volumen 2, pp. 23-28.

Keeper, D., 1984. Landslides caused 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.

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.

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

Naranjo, J. A., 1987. Interpretación de la actividad cenozoica superior a lo largo de la Zona de Falla de Atacama, norte de Chile. Revista Geológica de Chile, Issue 31, pp. 43-55.

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.

Natural Resources Canada, 2011. Natural Resources Canada. [En línea] Available at: <http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/environment/naturalhazards/tsunami/1> [Último acceso: 25 11 2011].

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

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

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. & Serey, A., 2009. Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the April 21, 2007 Aisén earthquake, southern Chile (45.5°S). Andean Geology, 26(1), pp. 131-136.

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.

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.

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

Watt, S., Pyle, D., Naranjo, J. & Mather, T., 2009. Landslide and tsunami hazard at Yate volcano, Chile as an example of edifice destruction on strike-slip fault zones. Bulletin of Volcanology, 71(5), pp. 559-574.

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

Wiegel, R., 1970. Tsunamis. En: Wiegel et al., ed. Earthquake Engineering. Engelwood Cliffs: Prentice Hall, pp. 253-306.