

ESTUDIO DE RIESGOS

PLAN REGULADOR COMUNAL DE SAN FERNANDO

ABRIL 2020

INDICE

1.	INTRODUCCION	4
1.1	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	4
1.2	DEFINICIONES RELEVANTES	4
1.3	ALCANCES Y LIMITACIONES	5
1.4	CONTEXTO JURÍDICO.....	5
2.	METODOLOGÍA.....	6
3.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
3.1	LA COMUNA	8
3.2	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	9
3.3	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	10
3.4	GEOLOGÍA REGIONAL	13
3.5	GEOLOGÍA LOCAL.....	13
3.6	CLIMA.....	15
3.7	VEGETACIÓN	16
3.8	HIDROLOGÍA	17
3.9	ACTIVIDAD MINERA	19
4.	AMENAZAS CONSIDERADAS.....	20
4.1	REMOCIONES EN MASA.....	20
4.1.1	DEFINICIÓN Y TIPO DE REMOCIONES EN MASA	20
4.1.2	FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES.....	23
4.2	VOLCANISMO	26
4.3	SISMOS.....	27
4.3.1	SISMOS Y FUENTES SISMOGÉNICAS	27
4.3.2	ANTECEDENTES SÍSMICOS EN LA REGIÓN	30
4.4	FALLAS GEOLÓGICAS	32
4.5	INUNDACIONES	35
5.	ZONAS DE RIESGO EN LA COMUNA DE SAN FERNANDO.....	36
5.1	REMOCIONES EN MASA.....	36
5.2	INTRODUCCIÓN.....	36
5.3	TIPO DE REMOCIONES EN MASA EN LA COMUNA Y FACTORES CONDICIONANTES IDENTIFICADOS	37
5.4	ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA.....	41
5.5	VOLCANISMO.....	45
5.6	SISMOS.....	48
5.7	FALLAS GEOLÓGICAS	48
5.8	ÁREAS CON RIESGO DE INUNDACION	48
6.	CONCLUSIONES.....	53
7.	REFERENCIAS.....	54

FIGURAS

Figura n° 1: Localización de la comuna de San Fernando, VI región.....	8
Figura n° 2: Unidades morfológicas entre los 34° y 35° Lat. S.	9
Figura n° 3: Unidades Geomorfológicas, comuna de San Fernando.	11
Figura n° 4: Vista de contexto Ciudad de San Fernando.....	11
Figura n° 5: Vista de contexto Puente Negro.....	12
Figura n° 6: Vista de contexto Termas del Flaco	12
Figura n° 7: Unidades geológicas comuna San Fernando.....	14
Figura n° 8: Clasificación climática de Köeppen, comuna de San Fernando	15
Figura n° 9: Vegetación asociada a usos de suelo comuna de San Fernando	17
Figura n° 10: Fernando Hidrografía comuna de San Fernando.....	18
Figura n° 11: Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas	21
Figura n° 12: Remociones en Masa de tipo Deslizamientos.....	22
Figura n° 13: Remociones en Masa de tipo Flujo	22
Figura n° 14: Remociones en Masa de soliflucción y extensiones laterales	23
Figura n° 15: Ubicación de volcanes RM y VI región.....	26
Figura n° 16: Zonas y áreas definidas con peligro volcánico (se destaca área sensible a procesos Laháricos)	27
Figura n° 17: Sismicidad histórica entre 1900 y 2010.....	28
Figura n° 18: Esquema de subducción de Chile mostrando fuentes sismogénicas	29
Figura n° 19: Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto	30
Figura n° 21: Imagen de Mapa de Peligro Sísmico Probabilístico.....	31
Figura n° 21: Imagen del Mapa de Amenaza Sísmica	32
Figura n° 22: Modificado del Mapa geológico de Chile (escala 1: 1.100.000) mostrando fallas	34
Figura n° 23: Evidencias de caídas de rocas Localidad Termas del Flaco	37
Figura n° 24: Aluvión 25 febrero de 2017, sector edificio, Localidad Termas del Flaco.....	38
Figura n° 24: Aluvión 25 febrero de 2017, sector carabineros, Localidad Termas del Flaco	39
Figura n° 25: Modelo de pendientes comuna de San Fernando	40
Figura n° 27: Susceptibilidad de remociones en masa comuna de San Fernando	42
Figura n° 28: Susceptibilidad de remociones en masa Puente Negro.....	43
Figura n° 29: Susceptibilidad de remociones en masa Termas de Flaco.....	44
Figura n° 30: Área de riesgo de inundación Sector urbano San Fernando	50
Figura n° 31: Perfil transversal Puente Negro.....	51
Figura n° 32: Área de riesgo de inundación Puente Negro.....	51
Figura n° 33: Área de riesgo de inundación Termas del Flaco.....	52

TABLAS

Tabla n° 1: Clasificación de Remociones en Masa.....	20
--	----

1. INTRODUCCION

La ocurrencia de daños asociados a fenómenos naturales ha estado siempre presente, sin embargo con la explosión demográfica a nivel mundial estos fenómenos han adquirido mayor importancia, especialmente por la ocupación de terrenos escarpados y la construcción de grandes ciudades con complejas obras de ingeniería. La tendencia mundial es que los fenómenos naturales sean considerados dentro de la planificación del territorio o que sean incluidos como una variable más a analizar dentro de obras de ingeniería. Según Ayala-Carcedo (2002), la actitud social y política adoptada ante los desastres naturales ha ido cambiando con el tiempo. A partir de la década de los 80 se genera un reconocimiento del deterioro ambiental causado por el hombre y por otro lado se hace un llamado desde la racionalidad científica a la adopción de medidas de reducción de desastres, mediante sistemas de alerta temprana, ordenamiento del territorio y adopción de medidas curativas post desastre.

En el contexto de la Licitación Pública Estudio Básico “Actualización del Plan Regulador Comunal de San Fernando”, adjudicado por Licitación pública al Consultor Camilo Escalante J, se presentan los resultados del estudio de riesgos físicos de la comuna de San Fernando, realizado para actualizar y/o modificar el Plan Regulador Comunal, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica.

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general de este trabajo es ajustar y/o delimitar las áreas de riesgos (de acuerdo a lo señalado por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones) que han de ser incorporadas en la modificación del Plan Regulador Comunal de San Fernando.

1.2 DEFINICIONES RELEVANTES

El planeta tierra es un sistema dinámico en permanente cambio debido a una serie de procesos geológicos generados tanto en su interior (procesos Endógenos) como en superficie (procesos Exógenos). Algunos de estos cambios son repentinos y violentos (como un terremoto o la erupción de un volcán), mientras que otros son cambios lentos, que pocas veces se perciben, pero que paulatinamente van modelando nuestro entorno y también pueden ser fuente de amenazas.

La ocurrencia de eventos asociados en muchas ocasiones genera daño y devastación en poblaciones. Dentro de este contexto, se fijarán algunos términos y definiciones que permitirán entender el desarrollo de las distintas etapas del estudio. En este contexto, González de Vallejo et al. (2002) define como **riesgo** al conjunto de amenazas potenciales que pueden generar daño a personas y sus bienes (en este caso asociados a causas de origen geológico e hidrometeorológico). Esta definición, por una parte, hace referencia al fenómeno propiamente tal (estudio de la amenaza potencial), y por otra, al nivel de daño que puede generar.

En el estudio de la amenaza potencial, resulta fundamental determinar el peligro o **peligrosidad**, y está directamente relacionado con determinar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en un área y tiempo determinado (González de Vallejo et al., 2002). Específicamente, determinar el tipo de fenómeno, área que abarcará, probabilidad de ocurrencia, período de retorno, magnitud, velocidad, capacidad de control y predicción, entre otros aspectos resulta fundamental para cuantificar las amenazas que pueden afectar un sector, y que en general es abordado por profesionales ligados a las ciencias de la tierra (geólogos, geógrafos físicos, geofísicos e ingenieros geólogos).

La otra arista en la definición de riesgo es la referida al daño o a quienes afectará la ocurrencia de algún fenómeno. En este caso, se considera el grado de pérdidas y el nivel de preparación que presentan los asentamientos y se conoce como **vulnerabilidad** (UNDRP 1979, en Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial, SUBDERE 2011). Según la Organización de Naciones Unidas (ONU), la

vulnerabilidad se estima como la capacidad de respuesta de las construcciones humanas a la activación de una amenaza o bien, se puede estimar el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos como consecuencia de un fenómeno de intensidad determinada. Determinar el grado de vulnerabilidad de una población es un tema complejo, pues depende un tema complejo, dado que abarca aspectos del medio construido, aspectos sociales, económicos, ideológicos, territoriales, entre otros.

El concepto de **susceptibilidad**, que dice relación con la posibilidad que una zona se vea afectada por un determinado proceso expresada en grados cualitativos y relativos (González de Vallejo et al., 2002), y que dependerá de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos (que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos). Este concepto es fundamental en el presente trabajo, pues en general los estudios de amenazas naturales a escala comunal abordan la temática desde esta perspectiva.

La susceptibilidad se puede estimar considerando el inventario de los fenómenos registrados en una zona y la superposición de los factores que los condicionan, no considerando la variable temporal ni el cálculo de la probabilidad de ocurrencia, sino que mediante una sumatoria de factores favorables a la generación del fenómeno (González de Vallejo et al., 2002).

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Para este trabajo, se realizó en una primera etapa una compilación de antecedentes y referencias bibliográficas referidas a la comuna, especialmente en términos de características físicas (geomorfología, geología, hidrografía e hidrogeología), y tipo de amenazas geológicas presentes.

Las zonas definidas como “Zonas de Riesgo” corresponden a zonas con distintos niveles de susceptibilidad ante un determinado proceso, evaluada como la superposición de antecedentes, no determinándose niveles de peligrosidad o probabilidad de ocurrencia en el tiempo.

Considerando que la escasa información geológica del área de estudio está disponible a escala 1:250.000, la extensión de la comuna, la identificación de áreas susceptibles a ser afectadas por algún peligro geológico se realizó a escala 1:50.000 a escala comunal, y a escala **1:5.000** en el área urbana consolidada. Por lo anterior, se debe destacar que los resultados de este trabajo no deberían ser utilizados a una escala más detallada que la de referencia, ya que esto podría llevar a errores en la planificación territorial. Para estudios con mayor nivel de detalle, se deberán hacer estudios específicos.

1.4 CONTEXTO 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 “áreas de riesgo”, como se indica a continuación:

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”.

Las “zonas no edificables” corresponderán a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gaseoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente.

De acuerdo con la OGUC, las “áreas de riesgo” se determinarán en base a las siguientes características:

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

Haciendo una homologación entre lo dispuesto por la OGUC en términos de las amenazas naturales que generan la definición de zonas de riesgo, se identifican procesos de Inundación por desborde de cauces y anegamientos; procesos de tipo Remociones en Masa; y procesos asociados a la actividad interna del planeta (como Sismicidad, Volcanismo y fallas geológicas). Más adelante se presenta una descripción de las amenazas antes señaladas.

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un estudio fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, cuando corresponda.

2. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento al objetivo general de este trabajo (ajustar y/o delimitar las áreas de riesgos de acuerdo con lo señalado por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones), y que sean incorporadas en la modificación del Plan Regulador Comunal de San Fernando, se realizaron las siguientes actividades agrupadas según lo descrito a continuación:

- Hito 1. Recopilación, análisis y sistematización de la información base de la zona de estudio, entre la que se destaca:
 - Antecedentes bibliográficos y literatura
 - Estudios técnicos anteriores en áreas de Geología, Geomorfología, Peligros y Riesgos Naturales
 - Cartografía, Topografía, imágenes satelitales Google_Earth
 - Estudios de Diagnóstico, Instrumentos de Planificación Territorial, entre otros.
 - Antecedentes de amenazas que han afectado la comuna

El análisis de la información permite definir la escala de trabajo, el área a analizar y las amenazas presentes. El área de estudio abarca la totalidad de la comuna de San Fernando, la cual fue analizada a distintas escalas a partir de la información disponible y los objetivos del estudio. La información geológica del área está disponible a una escala 1:250.000, mientras que las curvas de nivel provistas para el estudio están cada 50 metros, por lo que, para las áreas urbanas la escala de análisis fue con una escala de representación en planos 1:5.000. Para el resto de la comuna (áreas excluidas al desarrollo urbano) la escala de análisis fue 1:50.000, con una representación escala 1:100.000.

- Hito 2. Definición del estado del arte y línea base geológica y geomorfológica.

A partir de la información existente (descrita más adelante), complementada con validaciones realizadas en visitas a terreno, se definen las unidades geológicas y geomorfológicas presentes en el área de estudio, e identifican los parámetros relevantes para la definición de amenazas.

En este punto resulta fundamental la caracterización de las unidades geológicas y geomorfológicas y su influencia en la ocurrencia e intensidad de distintos eventos. Como ejemplo, identificar la presencia de depósitos sedimentarios producto de procesos de remoción en masa e inundaciones, depósitos aluviales

activos e inactivos, zonas de generación de coluvios, afloramientos rocosos y su condición geotécnica, entre otros. La línea base permite generar modelamiento de variables, tales como la pendiente del terreno y su influencia en la generación de amenazas.

Se realizaron dos visitas a terreno (agosto de 2017 y febrero de 2018) orientadas a validar la información geológica y geomorfológica, e identificar las amenazas presentes en la comuna, especialmente procesos de remociones en masa e inundaciones.

- Hito 3. Definición de Peligros presentes en la comuna y zonificación por susceptibilidad

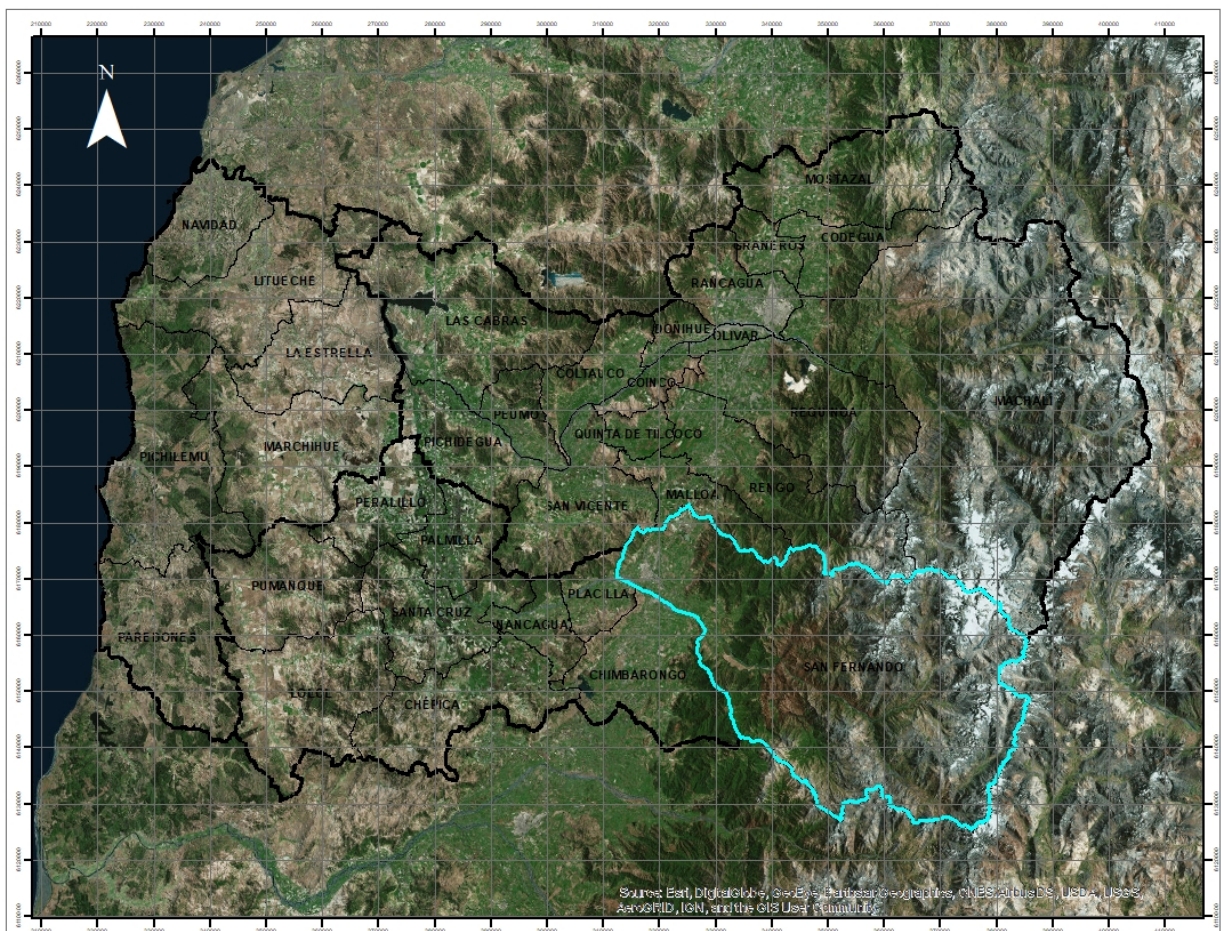
A partir de los antecedentes recopilados y la línea de base geológica y geomorfológica, se presenta una descripción cualitativa de cada uno en los fenómenos y su grado de afectación en las zonas urbanas, elaborándose los mapas de susceptibilidad (en caso que sean estos zonificables) a partir de la superposición de factores que condicionan su ocurrencia. El énfasis del estudio lo concentra la zona urbana. No obstante lo anterior, en zonas excluidas del área urbana se presenta los resultados con recomendaciones generales.

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LA COMUNA

San Fernando, se localiza en la Región de O'Higgins, Provincia de Colchagua, es la capital provincial y la segunda comuna en importancia, tiene una superficie de 2.458 Km² y se encuentra a 349 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con las comunas de Malloa, Rengo y Machalí, al oeste con las comunas de San Vicente, Placilla y Chimbarongo, al Sur con la comuna de Romeral (VII Región) y al este con la República Argentina.

Figura n° 1: Localización de la comuna de San Fernando, VI región.



Fuente: Elaboración propia

3.3 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

En la comuna de San Fernando se identifican las geoformas de la Cordillera de los Andes, Precordillera Andina, y la Depresión Intermedia.

Cordillera de los Andes: (localidad de Termas del Flaco)

Representa la mayor parte del territorio comunal, sus alturas varían entre los 3000 y 4000 metros. Las características de la cordillera a la latitud de la cuenca hidrográfica del río Tinguiririca es muy singular, ya que se caracteriza por un sistema fluvial con una impronta ligada a numerosos episodios de glaciación y volcanismo. Todas las confluencias superficiales de aguas, sus lechos y laderas son sectores críticos de alta vulnerabilidad y potencial peligro de desestabilización de laderas.

Precordillera Andina:

El territorio precordillerano de la comuna se denomina también “La Montaña”, alcanzando gran extensión en sentido este-oeste. En esta zona la precordillera es considerada una unidad transicional, emplazada entre el relieve plano del Llano Central y las altas cumbres que conforman la Cordillera de los Andes. Se trata de un relieve de origen sedimentario, formado por una acumulación caótica de materiales glaciales, volcánicos y fluviales dispuestos al pie de la cordillera troncal. Es un territorio de difícil penetración por las características topográficas de laderas abruptas, ríos encajonados, materiales fuertemente arcillosos y poco permeables, constituidos por rodados de tamaños y colores variables.

Depresión Intermedia: (localidades de San Fernando y Puente Negro)

Está constituida por materiales sedimentarios de origen fluvial acarreados fundamentalmente por los cursos de agua más relevantes. Estos materiales sedimentarios conforman un área que va de plana a ligeramente ondulada, presentando una inclinación general hacia el poniente. Sus altitudes medias se ubican en los 350 metros.

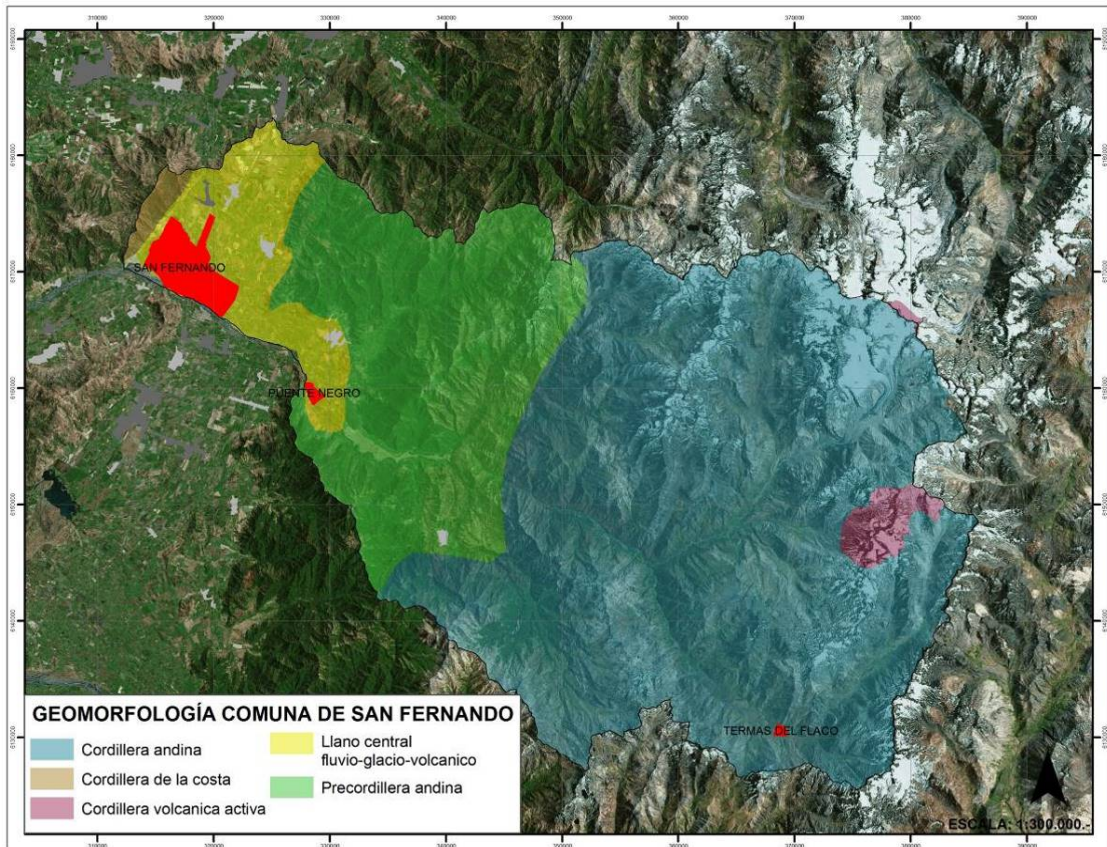
El Llano Central como unidad geomorfológica se caracteriza por ser una superficie tectónica que durante el Terciario no fue afectada por los movimientos de solevantamiento que formaron la Cordillera de los Andes, los que generaron una cuenca basal que recibió los rellenos de las cadenas en alzamiento derivados de la orogenia andina.

Esta unidad de relieve se nutre e irriga con aguas provenientes de ríos cordilleranos y los sistemas de quebradas precordilleranas y cordilleranas, cuyos trayectos escurren preferentemente de Este a Oeste. Todas estas aguas de escorrentías superficiales han aportado con deposiciones sedimentarias aluviales, permitiendo el desarrollo de una agricultura intensiva en la comuna.

Cordillera de la Costa

En la comuna de San Fernando, la Cordillera de la Costa ocupa una mínima superficie en el sector poniente de la comuna. Corresponde a una estribación con dirección poniente – oriente, de macizo cordillera de la Cordillera de la Costa.

Figura n° 3: Unidades Geomorfológicas, comuna de San Fernando.



Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias

La Ciudad de San Fernando se localiza en el fondo de fluvio – glacio - volcánico (pendientes menores a 2°) y alturas medias de 350 metros s.n.m. , marcando por la presencia del río Tinguiririca. En su área más próxima se localizan por el poniente estribaciones de la Cordillera de Costa y por el oriente la Precordillera Andina

Figura n° 4: Vista de contexto Ciudad de San Fernando



Fuente: Modificada de Google Earth.

La localidad de Puente Negro se localiza en el fondo de fluvio – glacio - volcanico (pendientes menores a 2°) y alturas medias de 520 metros s.n.m. , marcando por la presencia del río Tinguiririca y Río Claro. En su área más próxima se localizan por el norte y sur estribaciones de la Precordillera Andina

Figura n° 5: Vista de contexto Puente Negro



Fuente: Modificada de Google Earth

La localidad de Termas del Flaco se localiza en el fondo de valle en U (origen glacial, actualmente Río Tinguiririca) y alturas medias de 1750 metros s.n.m. , marcando por la presencia del río Tinguiririca y los cordones cordilleranos. En su área más próxima se localizan por el norte y sur estribaciones de la Cordillera Andina

Figura n° 6: Vista de contexto Termas del Flaco



Fuente: Modificada de Google Earth

3.4 GEOLOGÍA REGIONAL

Abarcando la cordillera de la Costa y las zonas de serranías, se reconocen franjas longitudinales (de oeste a este) de rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico. En la depresión intermedia, se identifican franjas longitudinales de rocas intrusivas, volcánicas con intercalaciones continentales y marinas (Jurásico a Cretácico), disminuyendo su edad hacia el este, donde predominan rocas volcánicas del cenozoico. Los principales centros volcánicos de la zona se ubican en el sector oriental (cordillera principal), que se presenta plegada e integrada por rocas meso-cenozoicas intruidas a su vez por granitoides del Mioceno. En la zona cordillerana (70°2' S) se reconocen centros volcánicos activos (que han manifestado alguna actividad en los últimos 10 mil años, o presente evidencias de actividad medible). Estos son los complejos volcánicos Andrés, Palomo, El Portillo y Tinguiririca, entre las ciudades San Fernando y Chépica (PROT. 2002).

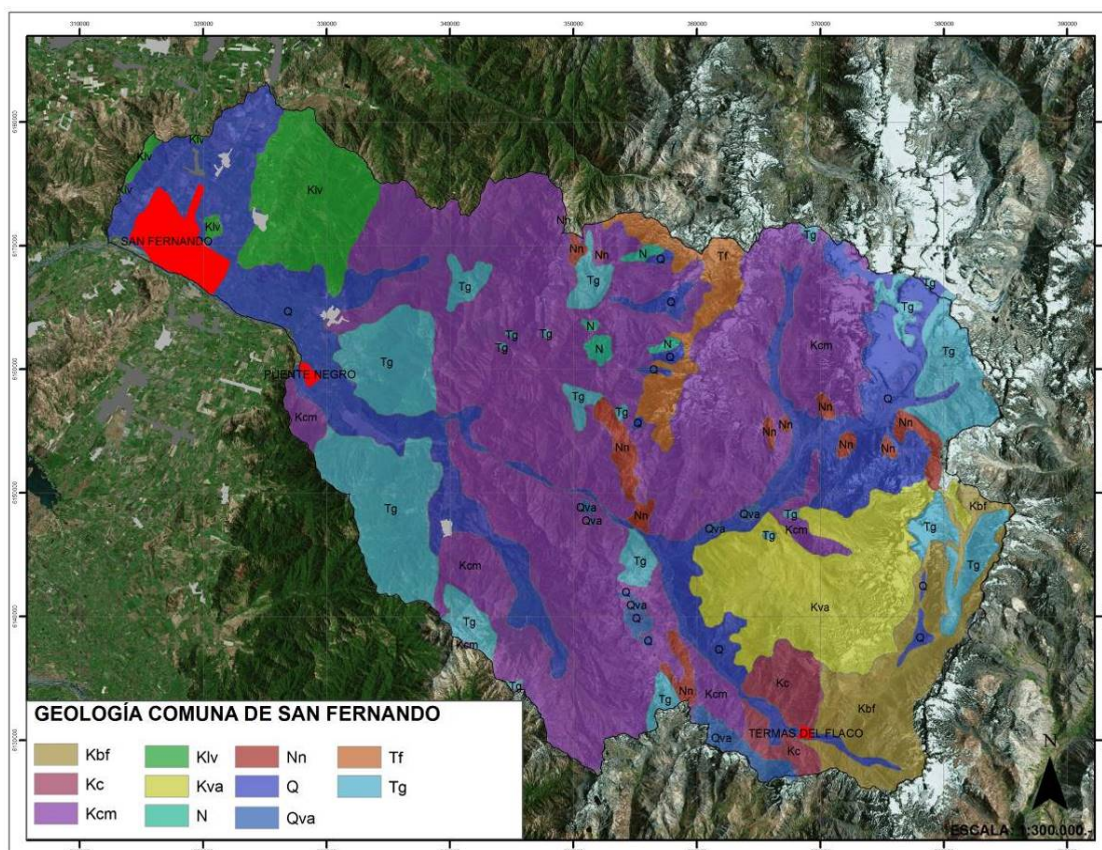
Las unidades cuaternarias de la zona de estudio corresponden principalmente a depósitos fluviales, aluviales, coluviales que se emplazan fundamentalmente a lo largo de los valles.

3.5 GEOLOGÍA LOCAL

La información relativa al marco geológico regional al área de estudio, se encuentra consignado un estudio desarrollado para el Instituto de Investigaciones Geológicas denominado "Avance Geológico de las hojas Rancagua, Curicó, Linares, Chanco, Concepción y Chillán" del año 1977, los cuales tienen relación con la geología de superficie en la cuenca aportante al área de estudio en donde se reconocen las siguientes formaciones geológicas:

- Formación Lajuela (KI): Corresponde a un conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias marinas y continentales. Está constituida por andesitas y volcanitas queratofíricas con potentes intercalaciones sedimentarias de calizas, areniscas y conglomerados.
- Lavas y Flujos Piroclásticos de Planicies y Valles (Qpu): Se incluyen piroclastos y lavas que preferentemente llenan antiguos valles glaciales y fluviales, configurando además terrazas que se ubican hasta 30 m sobre el nivel de dichos valles. Estas lavas piroclásticas se extienden a lo largo de la cordillera principal y afloran en diversas localidades del borde oriental entre los paralelos 35° y 37° de latitud sur.
- Sedimentos Fluviales y Glaciares (Q): Comprende los sedimentos aluvionales cuaternarios de origen volcánico, fluvial y lacustre, siendo la mayor parte material no consolidado. Su mayor expresión se encuentra en el valle central, donde existen acumulaciones de material meteorizado, además de los aportes fluviales de la Cordillera de Los Andes y que fuertemente aparecen formando terrazas.
- Batolito Andino (Kgd): Corresponde a rocas graníticas de la era cretácica superior y terciaria inferior en general son de colores claros a gris medio, de grano fino a medio, distribuyéndose en el borde oriental de la Cordillera principal.
- Formación Abanico (Kq): Está constituida por un conjunto de volcanitas piroclásticas y lavas de carácter porfírico con intercalaciones de sedimentitas clásticas continentales. Las rocas que componen esta unidad se distribuyen en general en la vertiente occidental de la cordillera principal, afloran a lo largo de toda el área.
- Formación Cola de Zorro (Kgd): Corresponde a un conjunto de volcanitas de carácter andesítico-basáltico. Desde el punto de vista litológico su formación está compuesta por coladas de andesitas basálticas con piroxenos y piroclásticos de similar composición.

Figura n° 7: Unidades geológicas comuna San Fernando



Fuente: <http://sir.dellibertador.gob.cl/sir-ohiggins/moduloCartografico/composer/>

San Fernando

Las características geológicas del emplazamiento de la ciudad de San Fernando corresponden principalmente a abanicos mixtos de **Depósitos aluviales y fluvio-glaciales** con intercalación de depósitos volcanoclásticos.

En el sector norte y sur de la ciudad existen **Depósitos fluviales**: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.

Puente Negro

La localidad de Puente Negro, se emplaza principalmente sobre **Depósitos Consolidados o Rocas**, Lahar del río Tinguiririca. Depósito macizo, formado por una mezcla de fragmentos rocosos, angulosos a subangulosos, incorporando frecuentes niveles cineríticos multicolores, moderadamente cementados, muy baja permeabilidad. Los depósitos tanto al norte como al sur de la localidad corresponden a **Depósitos No Consolidados o Sedimentos**, corresponde a depósitos fluviales en cauces actuales, compuesto principalmente por gravas y gravas arenosas.

Ternas del Flaco

La localidad de Ternas del Flaco se emplaza principalmente sobre **Depósitos Consolidados o Rocas**, correspondientes a la Formación Coya - Machali. Rocas volcánicas, especialmente andesíticas, riolíticas y basálticas, con frecuentes intercalaciones sedimentarias terrígenas (lutitas, limolitas, areniscas). Dentro de este sector existen conos aluviales y fluviales alimentados por cuencas cordilleranas con depósitos actuales.

3.6 CLIMA

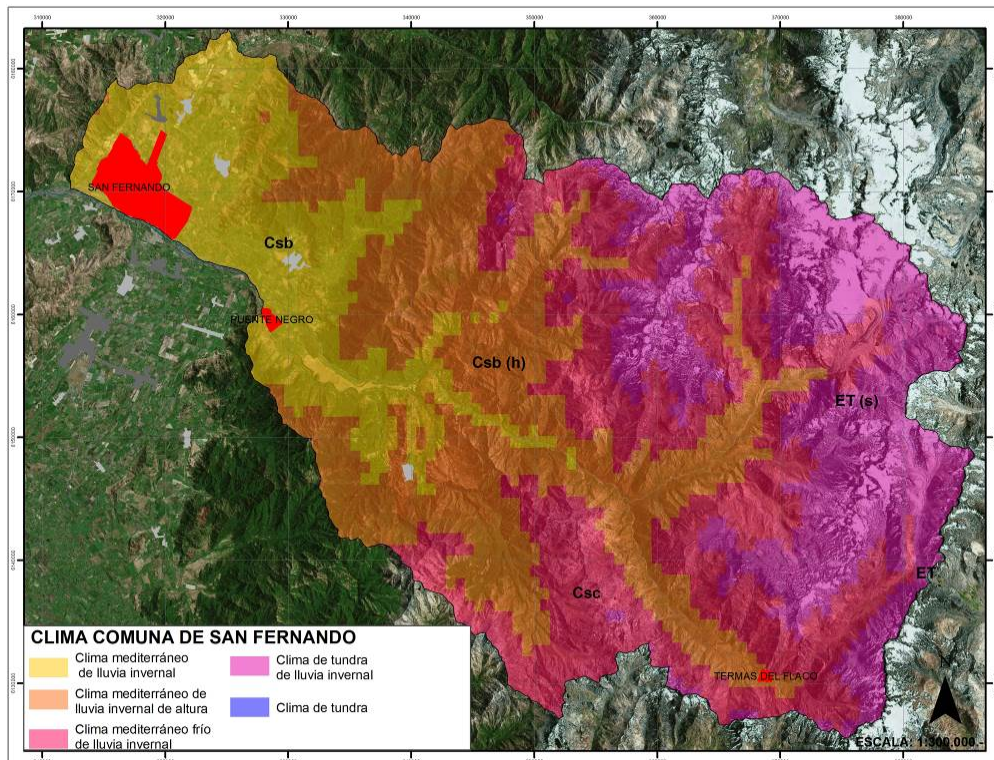
El clima del de la comuna de San Fernando y de su cuenca aportante, según la clasificación de Köppen, corresponde a un clima de tipo templado cálido (Csb) con la presencia de lluvias invernales y con una estación seca prolongada de aproximadamente 8 meses. Esta constante se debe al dominio del anticiclón del pacífico en los meses de verano y por la frecuente invasión de masas de aire polar, durante los meses de invierno.

El verano se presenta con cielos despejados y vientos dominantes desde el suroeste. En tanto el invierno presenta condiciones variables derivado del paso de sistemas frontales que traen asociados vientos del noroeste.

Las precipitaciones medias anuales varían entre 650 y 850 mm en la zona central, aumentando con la altitud hacia la Cordillera de los Andes. Las lluvias se concentran principalmente entre los meses de mayo y agosto.

En relación con las temperaturas, las máximas medias de verano alcanzan a 29°C en el valle central, mientras que las temperaturas mínimas medias de invierno descienden a 2°C debido a la influencia del Frente Polar, provocando un aumento de las precipitaciones.

Figura n° 8: Clasificación climática de Köppen, comuna de San Fernando



Fuente: Fuente: Sarricolea P., M.J. Herrera, O. Meseguer-Ruiz. (2017)

3.7 VEGETACIÓN

Los usos de suelo a escala comunal, presenta un total de 8 tipos de uso, los que corresponden a: Urbano e industrial, terrenos agrícolas, praderas matorrales, bosques, humedales, áreas desprovistas de vegetación, nieve y glaciares, y cuerpos de agua.

Los usos de urbanos e industriales, se localizan principalmente en el sector del valle central, cuenta con una superficie total de 1.632 hectáreas, correspondientes a ciudades, pueblos y áreas industriales.

Los terrenos agrícolas, se localizan principalmente en el sector del valle central, cuenta con una superficie total de 15.232 hectáreas, correspondientes a terrenos planos y semi ondulados con uso agrícola con riego y plantaciones.

Praderas y matorrales, se localizan principalmente en el sector de serranías pre cordilleranas, cuenta con una superficie total de 87.127 hectáreas, correspondientes a laderas de cerros con especies como: coirón, espinos, boldos, litres y peumos, entre otros matorrales esclerófilos

Los bosques, se localizan principalmente en el sector alto de las serranías precordilleranas, cuenta con una superficie total de 24.387 hectáreas, correspondientes a los tipos forestales de Roble Hualo, Esclerófilo y Ciprés de la Cordillera

Los humedales, se localizan en los sectores cordilleranos, sobre los 1400 msnm y corresponde a afloramientos de agua dulce con desarrollo de vegetación herbácea que es utilizada como forraje por los arrieros del valle, los humedales suman una superficie de 1.054 hectáreas

Áreas sin vegetación, se localizan principalmente en el sector del macizo cordillerano de los Andes, cuenta con una superficie total de 96.615 hectáreas, correspondientes a terrenos en altura, con pendientes y de formaciones rocosas.

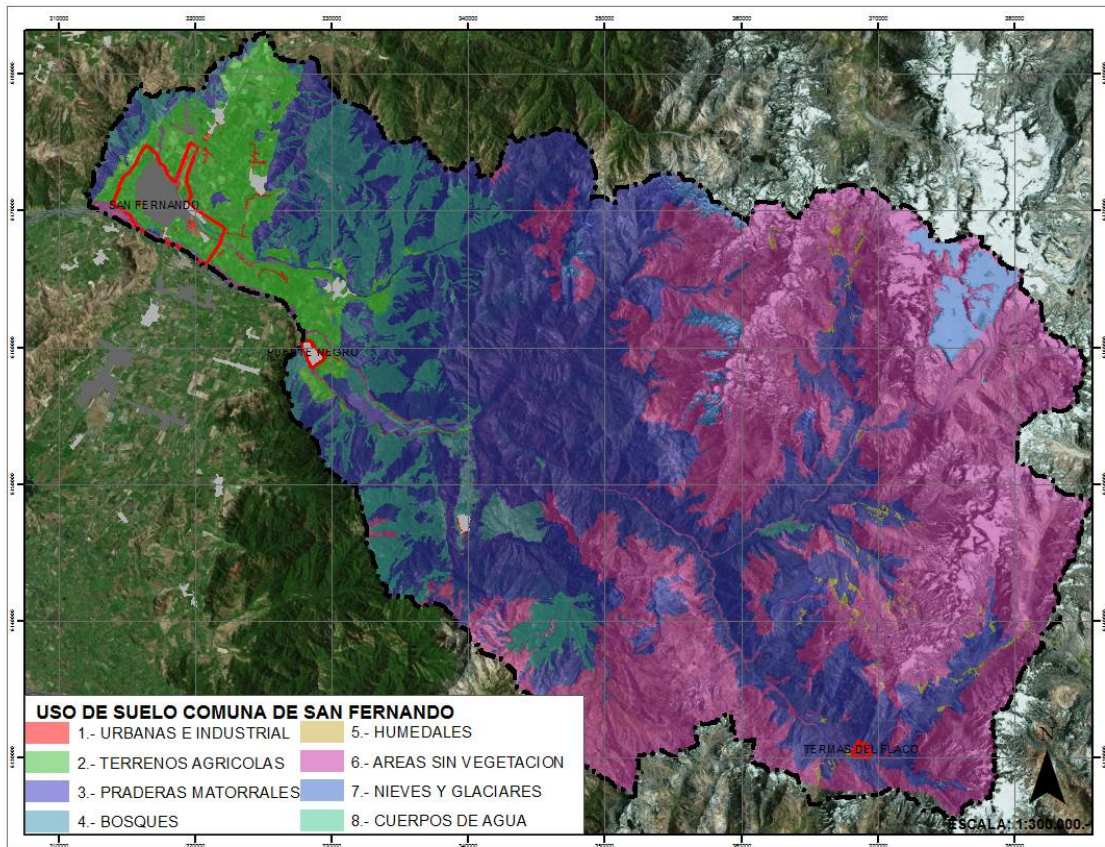
Nieves y glaciares, se localizan principalmente en el sector alto de la Cordillera de los Andes, cuenta con una superficie total de 5.080 hectáreas, correspondientes terrenos sobre los 2500 msnm y constituyen el reservorio de agua de la cuenta del río Tinguiririca.

Tabla 1: Superficies de uso de suelo, comuna de San Fernando

Nombre	Superficie
1.- Urbanas E Industrial	1632.8
2.- Terrenos Agrícolas	15231.8
3.- Praderas Matorrales	87126.7
4.- Bosques	24397.7
5.- Humedales	1054.4
6.- Áreas Sin Vegetación	96615.2
7.- Nieves Y Glaciares	5080.1
8.- Cuerpos De Agua	13.3
Total	231152.0

Fuente: Conaf, 2013

Figura n° 9: Vegetación asociada a usos de suelo comuna de San Fernando



Fuente: Conaf, 2013

3.8 HIDROLOGÍA

La hidrología de la Comuna de San Fernando se basa principalmente en el sistema de la cuenca del Río Tinguiririca, dentro de esta cuenca existe un sin número de subcuencas de distintos tamaños y complejidad en el escurrimiento.

El Río Tinguiririca nace en la Cordillera de los Andes de la unión de los ríos Las Damas y del Azufre. El río Tinguiririca desde su formación toma rumbo noroeste por 56 Km., hasta las proximidades de la ciudad de San Fernando, recibiendo en este tramo a la altura de la localidad de Puente Negro a los afluentes Clarillo y Claro, desemboca finalmente en el Río Rapel, tiene una longitud de 167 km., su cuenca alcanza a los 4.730 km²

Como principales afluentes cordilleranos recibe.

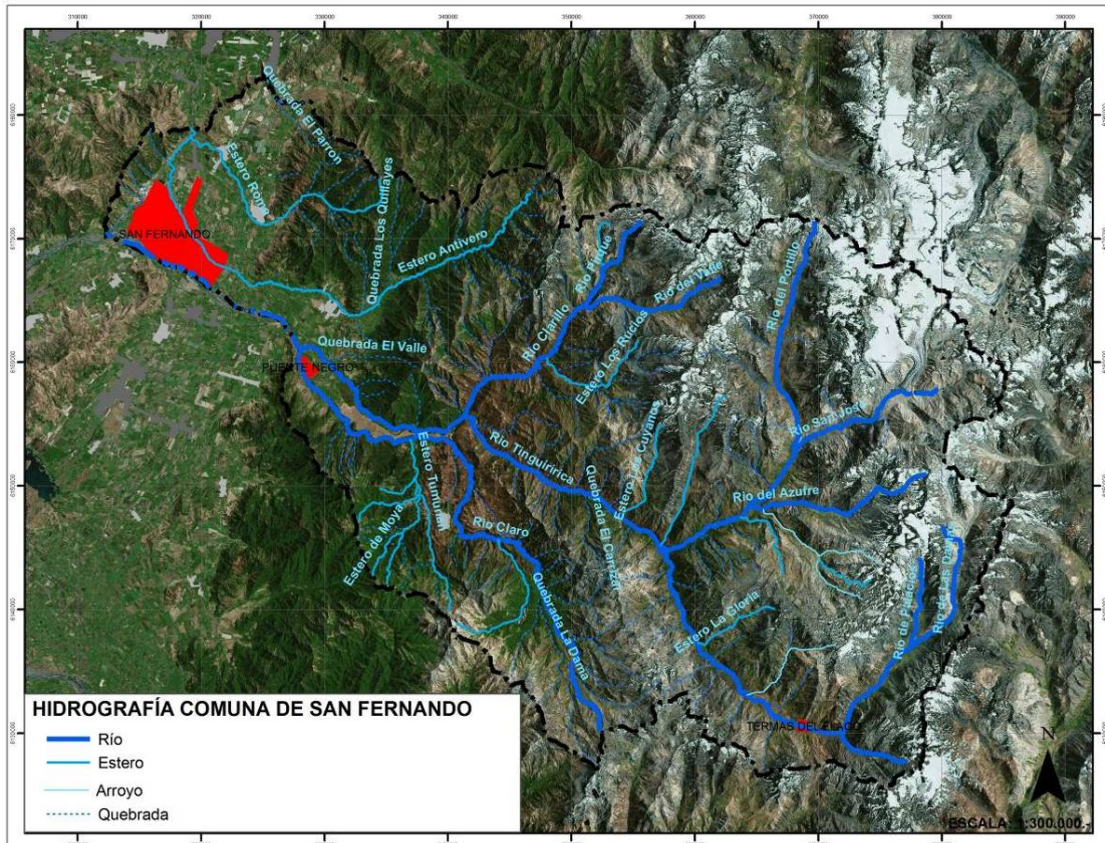
- Río El Azufre y Clarillo (por el nor-oriente)
- Río Claro (la altura de Puente Negro, sur-oriente)

En su curso medio, el río Tinguiririca continúa recibiendo aportes de otros afluentes menores más allá del ámbito andino, hasta confluir con el río Cachapoal y dar nacimiento al río Rapel a partir de lo que hoy es el lago de ese mismo nombre.

Estos afluentes son:

- Río Yuyos,
- Estero Roma,
- Estero Antivero,
- Estero Chimbarongo y otros menores.(fuera del límite comunal)

Figura n° 10: Fernando Hidrografía comuna de San Fernando



Fuente: BCN.cl

3.9 ACTIVIDAD MINERA

De acuerdo con el Atlas de faenas mineras actualizado (SERNAGEOMIN, 2012) no existe actualmente minera registrada en la comuna.

4. AMENAZAS CONSIDERADAS

A partir de los antecedentes expuestos, se resumen a continuación las amenazas de origen geológico e hidrometeorológico que pudiesen afectar a la comuna de San Fernando, y que se ajusten a lo exigido por la OGUC (2.1.17).

En aquellos casos en que la potencial amenaza no se haya manifestado en la comuna, no sea zonificable, o esté fuera de los alcances del estudio, se presenta una descripción a partir de los antecedentes. En aquellos casos en que la amenaza esté presente en la comuna, sea zonificable y que estén dentro del alcance del estudio, se presentan áreas de riesgo o zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de algún proceso.

Dentro de las potenciales amenazas de origen geológico e hidrometeorológicos que serán estudiados, se consideran fenómenos asociados a Procesos Endógenos (como el volcanismo, la sismicidad y fallas geológicas), además de fenómenos relacionados con Procesos Exógenos, tales como movimientos de material remociones en masa e inundaciones.

4.1 REMOCIONES EN MASA

4.1.1 DEFINICIÓN Y TIPO DE REMOCIONES EN MASA

Los procesos que involucran la movilización de materiales (suelo, rocas o ambos) por efectos de la gravedad se denominan genéricamente **remociones en masa** (Cruden, 1991). Constituyen un conjunto de amenazas que resultan ser frecuentes en la naturaleza y que en algunas ocasiones generan gran daño a la población. El término remoción en masa, por lo general se refiere a movimientos de laderas que ocurren pendiente abajo de un determinado volumen de material, en los cuales el factor gravedad está siempre presente, por lo que también se conocen como procesos gravitacionales. Para incorporar las remociones en masa en la planificación del territorio, es necesario diferenciarlas y caracterizarlas (tipo, velocidad del movimiento, material afectado). Esto permitiría orientar medidas correctivas adecuadas, o dimensionar su real impacto en la población.

La clasificación de los distintos fenómenos de remoción en masa se basa por un lado en el **tipo de movimiento** que presentan, y por otro lado, en la **naturaleza de los materiales** involucrados (Varnes, 1978 en Tabla 1). Los movimientos más frecuentes son de tipo deslizamientos (superficiales y profundos), desprendimientos, volcamientos, mecanismos tipo flujo y extensiones laterales. Mientras que la naturaleza de los materiales afectados puede ser muy variable entre rocas y suelo o combinación de ambos, incluyendo en ocasiones fragmentos material orgánico, troncos de árboles e incluso escombros y basura. Dentro de las características de cada tipo de remoción en masa, es importante considerar si presentan o no control de estructuras geológicas, el mecanismo de falla que predomina y las velocidades a las que ocurren. Existen remociones en masa extremadamente rápidas (5 m/s según la clasificación de Cruden y Varnes, 1996), como por ejemplo caídas de rocas, hasta movimientos extremadamente lentos (velocidad típica de 16 mm/año según la clasificación de Cruden y Varnes, 1996), como por ejemplo fenómenos de reptación.

Tabla n° 1: Clasificación de Remociones en Masa

Tipo de movimiento		Tipo de material		
Caída		Roca	Suelo	
Toppling (volcamiento)				
Deslizamiento	Rotacional		Grano Grueso (detritos, <80% partículas <2mm)	Grano fino (barro, >80% partículas <2mm)
	Traslacional			
Extensiones laterales				
Flujos				
Complejos				

Fuente: Varnes, 1978.

La velocidad de una remoción en masa junto al volumen del material movilizado, condicionan en gran medida la capacidad de control que existe sobre el proceso mediante obras de contención o medidas de mitigación.

Dentro de las remociones en masa más comunes en la zona central de Chile para sectores no montañosos, se reconocen desprendimientos de material (rocas, suelos o mezclas, incluyendo en algunos casos vegetación), deslizamientos (ya sea de roca o material disgregado) y los mecanismos de tipo flujo (barro y detritos). En los sectores montañosos y de la cordillera principal, se incluyen avalanchas de roca, lahares y flujos asociados a volcanismo.

Las caídas o desprendimientos de bloques de roca o masas de roca son eventos muy rápidos (González de Vallejo et al., 2002) en los cuales el material movilizado se separa del macizo rocoso que lo contiene, viéndose favorecidos por la existencia de planos de debilidad y por laderas con geometrías irregulares. El material desprendido podrá alcanzar el pie del talud mediante caída libre (tipo (a1) y (a3) de Figura 9), ruedo y rebote (tipo (a2) de Figura 9) o una combinación de ellas.

La trayectoria del material dependerá principalmente de la forma del bloque y del ángulo de pendiente del talud (Lara, 2007).

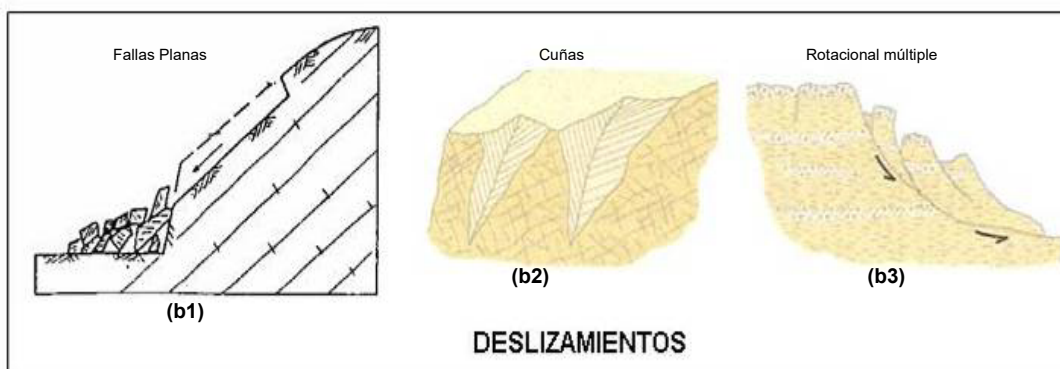
Figura n° 11: Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Los deslizamientos corresponden a movimientos de masas ladera abajo que ocurren a través de una o más superficies de cizalle predefinidas, ya sean discontinuidades del macizo rocoso o a partir de las condiciones de resistencia de los suelos que definirán su fallamiento. Los movimientos más comunes que presentan los deslizamientos, son de tipo traslacionales y rotacionales (Varnes, 1978). Los primeros, tienen lugar en superficies preexistentes más o menos planas (por ejemplo diaclasas, fallas o planos de estratificación), y donde la masa a deslizar supera la resistencia que le ocasiona la discontinuidad (González de Vallejo et al., 2002). Dentro de los mecanismos más comunes asociados a deslizamientos traslacionales de bloques rígidos (roca o suelo duro) se reconocen deslizamientos tipo cuña y falla plana (ver Figura 12 – casos b1 y b2). En el caso de los deslizamientos de tipo rotacionales (b3 de Figura 12), la superficie de rotura (que puede ser superficial, profunda, única o múltiples) queda definida por superficies curvas y cóncavas (González de Vallejo et al., 2002) y son frecuentes en materiales homogéneos y de baja calidad geotécnica (como arenas o suelos) o rellenos artificiales (botaderos de material estéril y lastre en minería, rípios de lixiviación).

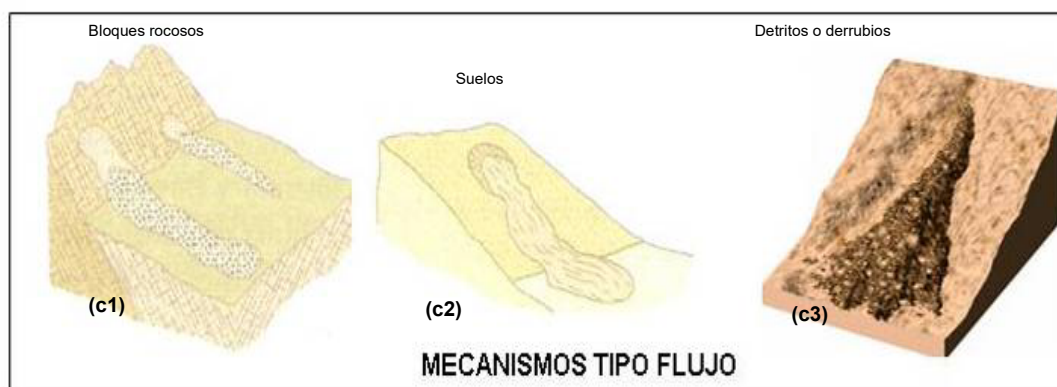
Figura n° 12: Remociones en Masa de tipo Deslizamientos



Otro tipo de mecanismo frecuente son los flujos (tipo c de Figura 13), y que corresponden a movimientos continuos, en que el material se comporta de manera similar a un líquido viscoso saturado en agua (Varnes, 1978). Existen distintas clasificaciones para los flujos, basadas en el tipo de material movilizado (barro, detritos o fragmentos rocosos) y en la proporción de líquido y sólido que presentan. Los eventos más comunes en Chile Central son los flujos de barro y detritos, y cuya ocurrencia dependerá por un lado de existencia de material disponible (generalmente disgregado) que pueda ser arrastrado ladera abajo, y la presencia de algún agente (comúnmente agua) que lo ponga en movimiento.

En general estos mecanismos son poco profundos en comparación con el área que pueden abarcar, y pueden tener lugar en laderas con pendientes incluso menores a 10° (González de Vallejo et al., 2002). Su transporte tiende en un principio a ser dominado por las altas pendientes y luego a canalizarse por cauces preexistentes, mediante el cual el fluido va perdiendo velocidad a medida que avanza por sobre la topografía, hasta que el ángulo de fricción interna del material es mayor o igual al de la pendiente (Selby, 1993).

Figura n° 13: Remociones en Masa de tipo Flujo



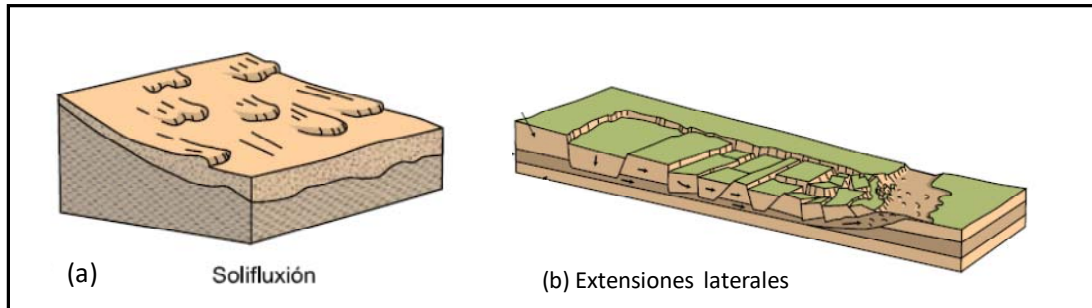
Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

En la categoría de remociones en masa tipo flujo de baja velocidad, menor a 1,5 m/día, se identifican procesos de Soliflucción y reptación de suelo (Varnes, 1978), que afectan principalmente a materiales compuestos por menos de un 80% de arenas y más finos, y en los cuales el movimiento se inicia sin la existencia de una superficie de rotura previa (ver Figura 12 (a)). También se presenta un tipo de movimiento denominado “extensiones o propagaciones laterales” (o *lateral spreads*, ejemplificados en la Figura 12 (b)). La extensión lateral de una masa de suelo o roca, genera un deslizamiento traslacional sobre superficies asociadas por lo general a niveles de saturación cercanos a superficie, generándose un agrietamiento de la

superficie, y como consecuencia la subsidencia general de la masa de material fracturado. Las grietas permiten el ascenso de agua desde los sedimentos saturados (y por consecuencia, daños en la infraestructura que soportan). En estos últimos, la superficie de cizalle está poco definida y suele ser subparalela a superficie, lo que genera el agrietamiento.

Estos fenómenos son frecuentes en terrenos de bordes de ríos, lagos y deltas, donde se conjugan materiales limo-arcillosos y arenosos que constituyen buenos reservorios de agua genera. Además, pueden ser lentos o rápidos. En el último caso, asociados a la licuefacción de suelos producto de sismos.

Figura n° 14: Remociones en Masa de solifluxión y extensiones laterales



Fuente: Modificado de Varnes (1978)

Vale la pena señalar que pueden existir otras sub clasificaciones de remociones en masa que dependerán tanto del tipo de material afectado, tipo de movimiento, velocidad que alcanzan y geometría del depósito.

4.1.2 FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

Existen factores o características del medio que predisponen o favorecen la movilización de materiales. Estos se conocen como **Factores Condicionantes** y están relacionados con la naturaleza, estructura y composición del terreno. Por ejemplo pendientes y topografía abrupta de laderas, o tipo y calidad de los materiales, presencia o ausencia de vegetación, presencia de agua, entre otros (González de Vallejo et al., 2002). De la misma forma, existen factores que modifican la estabilidad preexistente del terreno, como construcciones, caminos, cortes, sismos y lluvias intensas, que desencadenan o gatillan la ocurrencia de un evento y son conocidos como **Factores Desencadenantes**.

Dentro de los factores condicionantes más comunes para distintos tipos de remociones en masa (Hauser, 1993; González de Vallejo et al., 2002; Lara, 2007; Muñoz, 2013), se consideran los siguientes:

- **Geología y geotecnia.** Las características geológicas de un sector, son usualmente descritas a partir de los tipos de materiales presentes (distintas litologías, sedimentos y coberturas de suelo), por la disposición que presentan (orientación, estratificación, contactos entre unidades, presencia de fallas o sistemas de diaclasas). Sin embargo, para estudiar las remociones en masa no sólo es importante conocer la composición y tipo de masa sensible a ser movilizada, sino que también como se espera que se comporte en términos mecánicos y resistentes. Es importante considerar el grado de alteración y meteorización de los macizos rocosos, así como caracterizar su fábrica estructural (tipo, disposición y condición de las discontinuidades), y estimar u obtener valores de la resistencia de la roca intacta, del macizo y de sus discontinuidades. También es importante describir el comportamiento de los materiales ante la presencia de agua (porosidad, permeabilidad, humedad, densidad de los materiales que lo componen).
- **Geomorfología.** Las condiciones geomorfológicas de un área estarán gobernadas por los distintos procesos que modelan la superficie, y pueden ser descritas en términos de rangos de pendientes, topografía presente, a altura de las laderas y la forma que presentan (laderas regulares o irregulares,

con pendiente positiva o negativa). De esta forma, topografías escarpadas, con altas pendientes, propiciarán la generación de varios tipos de remociones en masa (como flujos, deslizamientos y caídas), favorecidas por la acción gravitatoria. Los rangos críticos de pendientes para cada tipo de remoción en masa son variables. Hauser (1993) señala que pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas serían favorables para el desarrollo de flujos o aluviones, mientras que Sauret (1987) en Sepúlveda (1998) señala que aluviones podrían generarse en pendientes menores (que no sobrepasen los 15°). Laderas en roca con pendientes mayores a 35° serían susceptibles a que se generen deslizamientos, y en un caso sísmico, ésta pendiente podría ser sólo mayor que 15° (Keefer, 1984). En el caso de caídas de rocas, podrían generarse ante un sismo a partir de un macizo rocoso fracturado, meteorizado, y poco resistentes, en zonas donde los taludes son mayores o iguales a 40° (Keefer, 1984). En algunos tipos de remoción en masa, donde es relevante el espesor de suelo y cobertura vegetal, se consideran además aspectos geográficos del área, como por ejemplo orientación con respecto al norte lo que puede finalmente influir por ejemplo en el grado de humedad de la ladera y exposición al sol.

- **Clima y vegetación.** Las condiciones climáticas y cubierta vegetal influyen directamente en el comportamiento del terreno. Una ladera expuesta a precipitaciones, viento, cambios de temperatura y radiación solar, tendrá mayores niveles de desintegración y como consecuencia presencia de materiales disgregados en superficie que pueden moverse ladera abajo. En climas húmedos, las laderas generarán mayores espesores de suelo y horizontes orgánicos cubriendo la superficie. Esto por un lado reduce la disponibilidad de materiales, o actúa reteniendo el material que se moviliza. Sin embargo, genera coberturas de baja calidad geotécnica. Para evaluar cómo el clima y la vegetación condicionan la ocurrencia de remociones en masa, se hace necesario además conocer las características particulares del área a evaluar y los fenómenos asociados.
- **Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas.** El agua, tanto en superficie como por debajo de ella, condiciona en forma directa e indirecta la generación de remociones. La forma y distribución de sistemas de drenaje en superficie, así características de caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por un lado, genera presiones intersticiales lo que reduce la resistencia, aumenta los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno y genera fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002) y reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas.
- **Intervención antrópica.** El hombre genera de forma planificada o no, modificaciones en el medio. La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, obras de minería, etc., en muchas ocasiones deja las laderas más susceptibles a la ocurrencia de eventos producto de diseños mal concebidos, con ángulos mayores a los que es capaz de resistir en forma natural los materiales, o que no consideran el control estructural que tendrá un talud de forma natural. En algunas ocasiones, el resultado son geometrías de laderas irregulares o con pendientes negativas que finalmente causarán desestabilización. Sin embargo, también existen obras antrópicas robustas, que disminuirán la susceptibilidad ante remociones en masa, y esa consideración será incluida y abordada en el presente trabajo. Cabe señalar, que al igual que las precipitaciones, la intervención antrópica en algunos casos resulta el agente desencadenante de un evento.

A diferencia de los factores condicionantes, los **factores desencadenantes** corresponden a agentes activos y pueden ser considerados como factores externos que provocan o gatillan inestabilidades (González de Vallejo et al., 2002). En la mayoría de los casos, son varias causas las que finalmente contribuyen al movimiento de una ladera, aunque con frecuencia se atribuyen a sismos o precipitaciones intensas, sin embargo, deben existir las condiciones predeterminadas para su ocurrencia.

Dentro de los factores desencadenantes, los más comunes se citan:

- **Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas.** Las precipitaciones y aportes de agua cambia las condiciones hidrológicas en los terrenos produciendo: variación en las presiones intersticiales, en el peso

del terreno, cambios en los niveles de saturación, pérdida de resistencia de los materiales, además de un aumento en la erosión de las laderas o en algunos casos, socavamiento de terrenos. Según González de Vallejo et al. (2002), el desencadenamiento de remociones en masa por causas meteorológicas y climáticas está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones, lo que implica considerar la respuesta del terreno ante lluvias intensas durante horas o días, su respuesta estacional y en ciclos de sequía. Las precipitaciones cortas e intensas serían más proclives a generar eventos superficiales, mientras que remociones más profundas serían provocadas por eventos distribuidos en largo periodo de tiempo (Aleotti, 2004 y Kim et al., 2004, en Lara, 2007).

En este sentido, la cantidad de lluvias necesarias para que se desencadenen remociones en masa, dependerá del tipo y condición de los terrenos y su ubicación geográfica. En general, distintas zonas necesitarán lluvias de intensidad y/o duración distinta para que se generen remociones, existiendo así un umbral de precipitaciones característico de cada lugar (Lara, 2007). Para determinar los umbrales característicos de cada zona, se quiere contar con bases de datos idealmente continuas de precipitaciones o con alta frecuencia que permitan la realización de análisis estadísticos para la zona de estudio (situación que no siempre ocurre) e incluir dentro del análisis la ocurrencia de fenómenos climáticos como por ejemplo el fenómeno de El Niño en el cual existe una tendencia al exceso de precipitaciones (inviernos con mayor días con lluvia y con precipitaciones de intensidades mayores) y de los niveles de caudales líquidos de escorrentía (García, 2000 en Lara, 2007).

Existen numerosos estudios, antecedentes históricos e información de prensa que dan cuenta de eventos de tipo flujo en la zona precordillerana y cordillerana de la zona Central de Chile. Hauser (1985) plantea una evidente relación entre la generación de aluviones en la zona central con precipitaciones anormalmente intensas (más de 60 mm/24 horas en períodos invernales). Precipitaciones de intensidad media en periodos prolongados de tiempo pueden ser consideradas como factores desencadenantes de flujos (Padilla, 2006). Eventos de precipitaciones anormales llevan consigo también, un aumento de la escorrentía superficial que incrementa la erosión del suelo suelto, elemento importante en la generación de flujos. Es importante señalar la ocurrencia de flujos en áreas urbanas donde el material movilizado se satura en agua por causas humanas (ruptura de cañerías, entre otros).

- **Sismos.** Los terremotos pueden provocar movimientos de todo tipo en las laderas, dependiendo de sus características y de parámetros sísmicos, como magnitud y distancia a la fuente (González de Vallejo et al., 2002). Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad (Lara 2007). Según González de Vallejo et al. (2002), los desprendimientos de bloques, deslizamientos, flujos y avalanchas de roca son las remociones en masa más frecuentes producto de un fenómeno sísmico, mientras Keefer (1984) señala que corresponderían a caídas de rocas, deslizamientos desagregados de suelos en laderas con pendientes mayores a 15° y deslizamientos de roca en laderas con pendientes mayores a 40°, y en forma secundaria, derrumbes en suelo, deslizamientos en bloques de suelo y avalanchas de tierra, estableciendo magnitudes mínimas aproximadas para la generación de cierto tipo de fenómenos de remociones en masa, en base a observaciones de eventos generados. Por ejemplo, para sismos con magnitud menor o igual a 5,3 se establece en 50 kilómetros la máxima distancia desde el foco y zonas con ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos disgregados (Keefer, 1984). De la misma forma, se establece en 10 kilómetros la máxima distancia entre el foco de un sismo con magnitud cercana a 5,5 y zonas con flujos de detritos y deslizamientos masivos. Cabe señalar que estas condiciones no contemplan amplificaciones locales o efectos de sitio que pudiese desencadenar remociones en masa.
- **Intervención antrópica.** El hombre, como ente modificador del medio, genera una serie de cambios que en algunos casos son el principal desencadenante de remociones en masa. Los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas producto de la impermeabilización artificial de los suelos o el desvío de cauces sin las correctas medidas paliativas, pueden generar cambios en las propiedades de los materiales y variaciones en el nivel freático. Por otro lado, la obstrucción de cauces con basura y escombros puede aumentar el material a movilizar durante un aluvión, o bien, la mala mantención de

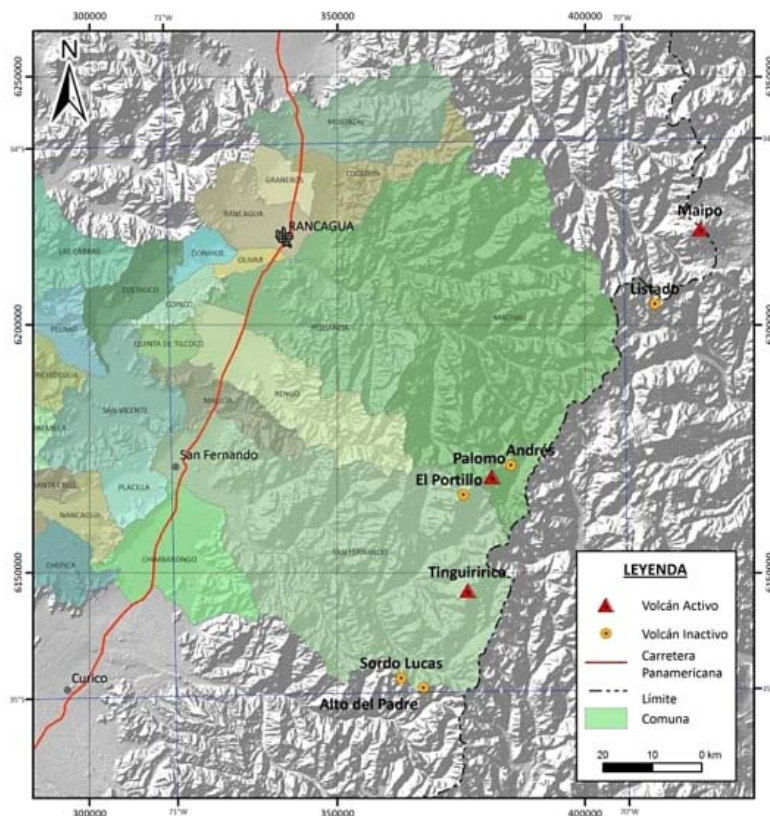
redes de alcantarillado y agua potable, pueden desencadenar aluviones (por ejemplo el aluvión en el Cerro el Litre (Valparaíso) el año 2009). La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, entre otros, sin un análisis geotécnico adecuado, puede ocasionar desestabilización, así como el poco mantenimiento de sistemas de contención, o bien la limpieza de laderas sin la guía de un especialista.

4.2 VOLCANISMO

Los peligros asociados a la actividad volcánica abarcan una serie de eventos y procesos que son fuente de amenaza para la población. Por un lado, durante el proceso eruptivo es frecuente la emisión de cenizas volcánicas, flujos de lava, y en ocasiones eventos más devastadores, como flujos piroclásticos o colapso de domos. Por otro lado, un proceso eruptivo suele ir acompañado de eventos secundarios y efectos colaterales que también afectan a la población, como contaminación del agua y el medio ambiente, lahares, incendios, inundaciones, entre otros.

De acuerdo a la información geológica, en la región se encuentran los complejos y centros volcánicos Andrés, Palomo, El Portillo y Tinguiririca (PROT. 2012), de los cuales se consideran activos el Volcán Palomo y el complejo Volcánico Tinguiririca. La Figura 16 muestra la ubicación referencial de los volcanes en la comuna, destacándose la comuna de San Fernando.

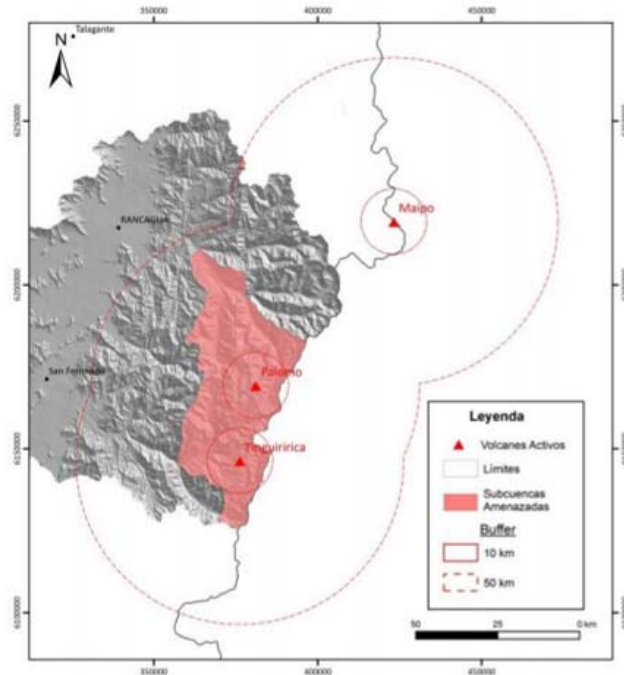
Figura n° 15: Ubicación de volcanes RM y VI región



En el estudio, se evalúan los distintos productos de un evento eruptivo, así como los eventos asociados, definiéndose en cada caso límites y zonas con niveles de peligro. A partir del estudio de peligros volcánicos desarrollado para el PROT (2012), la comuna de San Fernando no se encuentra dentro de las áreas que

pueden ser afectadas por volcanismo y sus procesos. El estudio considera en el estudio de eventos asociados al proceso eruptivo en sí en zonas proximales a los volcanes, y la evaluación de posibles eventos de tipo lahares en las zonas más distales, con un buffer de 50 kilómetros (Figura 17). En ambos casos, la comuna se encuentra fuera de las áreas de peligro por volcanismo.

Figura n° 16: Zonas y áreas definidas con peligro volcánico (se destaca área sensible a procesos Laháricos)



Fuente: PROT (2012)

4.3 SISMOS

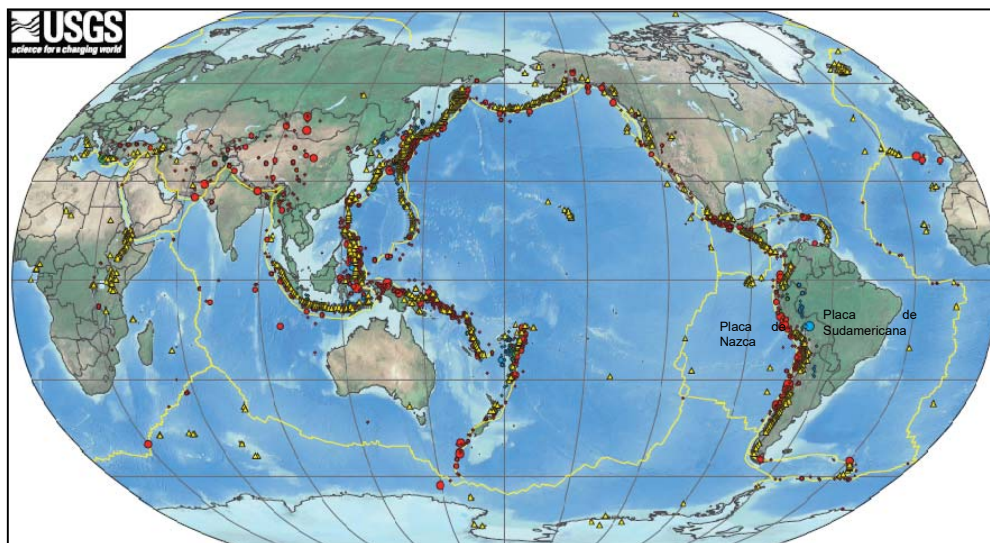
Si bien la OGUC (en su apartado 2.1.17) no menciona los sismos dentro de las amenazas que generen zonas de construcción condicionada, es sabido que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, y que estos fenómenos son considerados dentro de la planificación territorial a través de estudios específicos de Microzonificación Sísmica y en las Normas Chilenas de Construcción.

Como los sismos son clasificados como una amenaza de origen geológico, se presenta a continuación una breve introducción teórica respecto a los sismos y los antecedentes del área de estudio, no estando en los alcances del presente estudio evaluar el peligro sísmico de la comuna, y se considera No zonificable.

4.3.1 SISMOS Y FUENTES SISMOGÉNICAS

El movimiento de placas tectónicas es la responsable de la gran mayoría de sismos en el planeta (Leyton et al., 2010), y corresponden a una ruptura violenta generada por la acumulación y posterior liberación de energía acumulada por el movimiento de placas tectónicas, superando la resistencia de las rocas. Como se muestra en la Figura 15, se puede destacar la relación que existe entre algunos límites de placas tectónicas y la sismicidad histórica en la tierra (entre 1900 y 2010. Fuente USGS). Particularmente de la figura se puede observar que el borde occidental de Sudamérica se caracteriza por una banda de sismicidad activa angosta, entre 100 y 150 kilómetros.

Figura n° 17: Sismicidad histórica entre 1900 y 2010



Fuente: National Earthquake Information Center – NEIC from USGS

La subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana ocurre según un plano inclinado hacia el este con inclinación que varía entre los 15° y 30° respecto a la horizontal con un fuerte grado de acoplamiento (Madariaga, 1998) denominado zona o plano de Wadati - Benioff. La velocidad relativa de subducción entre ambas placas está entre 6 a 7 cm/año¹ (según Khazaradze y Klotz, 2003) lo que es una alta velocidad de convergencia y permite una rápida acumulación de esfuerzos consecuencia del contacto dinámico de estas placas dando lugar a la alta sismicidad que caracteriza a Chile y Perú (Ruiz y Saragoni, 2005). El empuje de la placa de Nazca en dirección al Este se vería favorecida por su composición y edad (placa oceánica, de 35 millones de años en la zona central), siendo comparativamente más densa que la placa continental, por lo que tendería a introducirse por debajo la corteza continental menos densa de la placa Sudamericana.

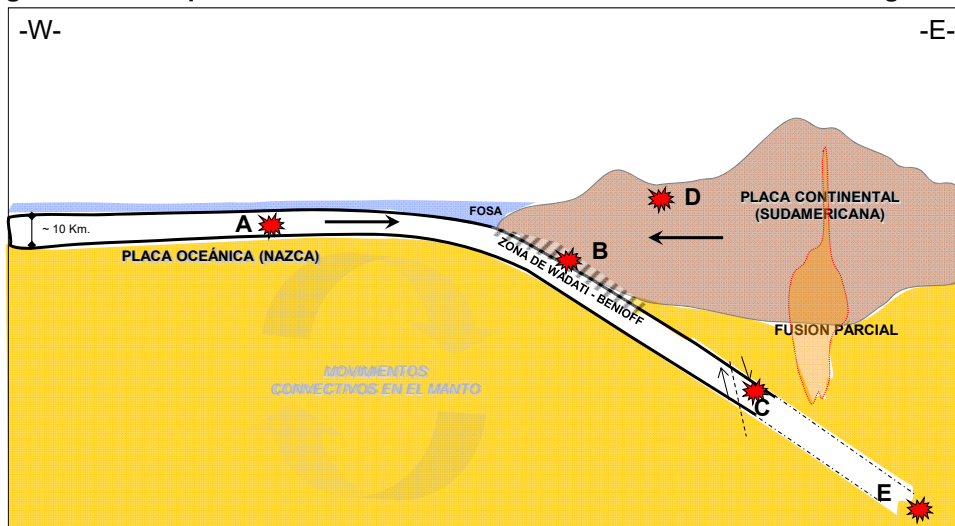
Por otra parte, el ángulo de subducción de la placa de Nazca no sería único en el margen Pacífico de Chile. Barazangi e Isacks, 1976 (en Madariaga, 1998) demostraron que la zona de subducción de Nazca se divide en cinco segmentos de norte a sur, de longitud variable, y que poseerían ángulos de subducción muy diferentes. Entre los 15° y 27° de lat. Sur, el ángulo de subducción oscilaría entre los 25° y 30° de inclinación (Norte Grande de Chile), mientras que los 27° y 33° lat. Sur, la Placa de Nazca descendería con un ángulo de 12° a 18° aproximadamente. En la zona de los valles transversales, entre los 26° y 33° lat. Sur, la placa de Nazca parece pegarse bajo el continente sudamericano y descendería bajo la Cordillera de los Andes y Argentina con un ángulo de solo unos 10°. Finalmente, en la región del Valle Central, a partir de 33° lat. Sur, el ángulo nuevamente estaría cercano a los 30° de inclinación.

Perfiles transversales al margen de Chile (disponibles en el Centro Sismológico Nacional, www.sismologia.cl), permiten observar que la sismicidad se concentra principalmente entre los 5 y 200 kilómetros de profundidad (en la zona de Wadati - Benioff), lo que además permite deducir el ángulo de subducción en las distintas zonas. La liberación de tensiones y deformaciones a lo largo del plano de Benioff, generan lo que se conocen como **sismos interplaca** (Madariaga, 1998) o sismos en la zona de Wadati - Benioff (tipo B de Figura 16), y serían los más comunes en Chile. El mecanismo de generación de este tipo de sismos, estaría asociado a las rugosidades que existen en ambos materiales generan zonas “trabadas o enganchadas”, las cuales se ven superadas por las resistencias de los materiales a deformaciones liberando energía (destrabándose). Este tipo de sismos se reconocen desde la fosa hasta

¹ Velocidad variable según distintos autores. 6.6 cm/año (Kendrick et al., 2003); 8.4 cm/año (DeMets et al., 1990); 8 cm/año (DeMets et al., 1994).

unos 50 a 60 kilómetros de profundidad (Tichelaar y Ruff, 1993, en Leyton et al., 2010; Belmonte-Pool, 1997).

Figura n° 18: Esquema de subducción de Chile mostrando fuentes sismogénicas



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la sismicidad en el margen de Chile no sólo existe en el contacto entre ambas placas tectónicas. Debido a los esfuerzos a que están sometidas la placas de Nazca y Sudamericana producto del movimiento convergente, también existen sismos en el interior mismo de las placas conocidos como **sismos intraplaca** (tipo A, C, D y E de Figura 18).

Los mecanismos de liberación de energía en los distintos tipos de sismos son complejos. En el caso de los sismos tipo A (sismos intraplaca oceánica), los materiales de la placa de Nazca (más jóvenes) se flexionan y doblan previamente al proceso de subducción, lo que genera campos extensionales (de estiramiento) los cuales reaccionan producto del choque de las placas, generando reacciones de liberación de energía de tipo “carga – descarga”. Esta fuente sismogénica también es conocida como “outer rise” pues ocurren a distancias mayores a 150 kilómetros de la costa (Leyton et al., 2010).

En el caso de los **sismos intraplaca** tipo C (también denominados sismos de profundidades intermedias) el mecanismo tiende a ser de tipo fracturamiento (en general tensional y en algunos casos compresional) debido a la flexión de la placa subductante. En otras palabras, se dobla y quiebra por su propio peso (ver Figura 16). Esta actividad sísmica se ha observado desde los 50 kilómetros hasta los 200 kilómetros de profundidad (Leyton et al., 2010), existiendo también registros de sismos intraplaca profundos (tipo E) en la zona norte del Chile (alrededor de los 22° Lat. Sur), entre 500 y 600 km de profundidad bajo la Argentina (Madariaga, 1998).

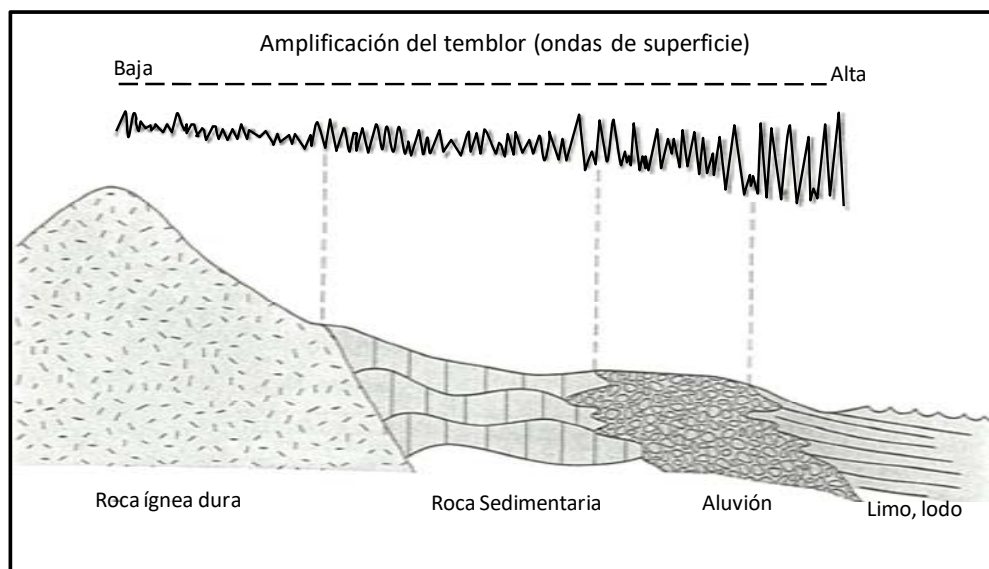
La sismicidad en la parte superior de la placa Sudamericana a baja profundidad (menos de 30 kilómetros) se conoce como **sismos corticales** (tipo D de Figura 18). Estos sismos serían producto del esfuerzo inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve (es decir, la placa continental, más antigua se deforma producto de las presiones que ejerce la placa oceánica). Esta acumulación de energía se libera en general asociada a fallas superficiales que pueden tener movimientos normales, inversos y de rumbo, que responden a campos de esfuerzos compresivos o extensivos.

Para el estudio de los sismos como un tipo de peligro de origen geológico, es necesario considerar por un lado aspectos relacionados con el fenómeno propiamente tal así como sus efectos secundarios. Dentro de los parámetros propios del sismo, se considera su *magnitud* (relacionada con el tamaño del sismo), el *largo de la zona de ruptura* (entendida como el área que abarca la zona en que la placa se rompe), el *período de*

retorno (años que transcurren entre dos eventos de similares características en un área determinada), *aceleraciones máximas* alcanzadas y la *intensidad* de un sismo, que corresponde a una escala cualitativa que describe la percepción subjetiva de las personas ante un sismo en un lugar específico y dependerá de los tipos de suelos y daños registrados. Se sabe que la naturaleza de los materiales locales y la estructura geológica influyen en gran medida en el movimiento del suelo durante un sismo (Keller et al., 2004). Se ha observado que las condiciones locales, como tipo de suelos, topografía, profundidad del nivel freático, entre otras, pueden suponer respuestas sísmicas diferentes dentro de un entorno geográfico considerado (González de Vallejo et al., 2002) y se denomina “efecto de sitio” o “efectos locales”. De esta forma, para un mismo terremoto y dependiendo del tipo de terreno donde se encuentra ubicado el observador, las ondas sísmicas pueden amplificarse durante el desarrollo del terremoto generándose más daño en algunos sectores que en otros.

En términos geológicos es posible hacer una diferenciación general de los suelos de fundación basada en su nivel de compactación y nivel de consolidación (Keller et al., 2004), pudiendo hacerse una relación general con algunos materiales geológicos (Figura 19). Hay que destacar que un estudio de peligro sísmico incluye muchas aristas que no están dentro del alcance del presente estudio, sin embargo, se presentan estudios anteriores a escala regional.

Figura n° 19: Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



Fuente: Modificada de Keller and Blodgett, 2004.

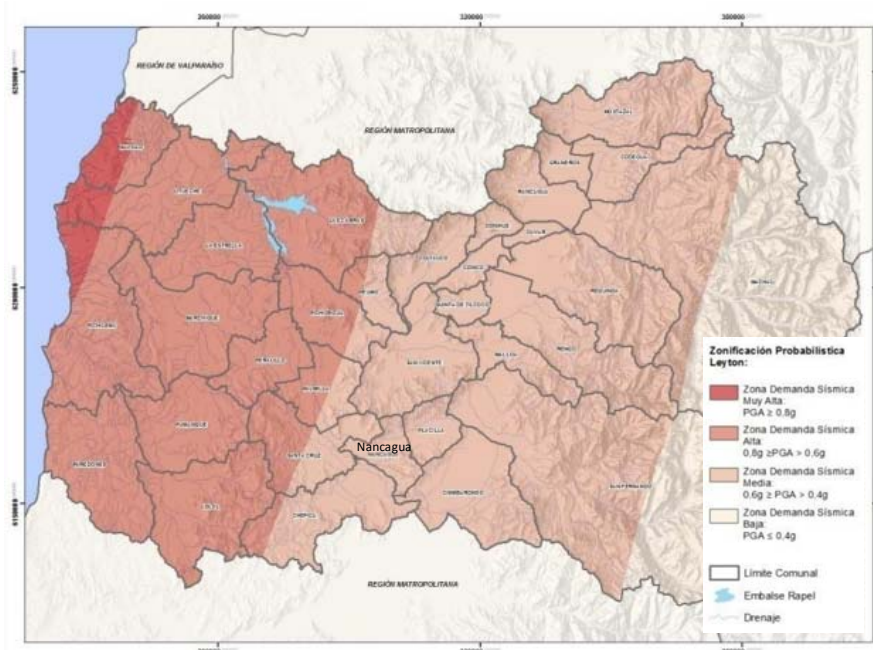
4.3.2 ANTECEDENTES SÍSMICOS EN LA REGIÓN

Existen numerosos ejemplos de sismos que han provocado significativos daños socioeconómicos en la región central de Chile (PROT, 2012). El 3 de marzo de 1985 un sismo de $M_w=8.0$ con hipocentro a 17 km de profundidad, y epicentro cercano a Laguna Verde en la Región de Valparaíso, dejó 177 víctimas fatales y más de mil millones de dólares en pérdidas (El Mercurio 2010). El sismo de mayor magnitud registrado en las últimas tres décadas en Chile central ocurrió en febrero de 2010 cerca de Cobquecura, en la Región del Maule. Este evento tuvo su epicentro en el mar y registró una magnitud $M_w=8.8$, registrándose cuantiosos daños a consecuencia directa de este terremoto y el posterior tsunami.

La Región del Libertador General Bernardo O'Higgins ha sido afectada tanto por sismos con epicentros lejanos como por sismos con epicentros en su territorio. El sismo de mayor magnitud en ésta región ocurrió cerca del Embalse Rapel, en marzo de 1985, y tuvo una magnitud $M_s=7.5$. Numerosos sismos

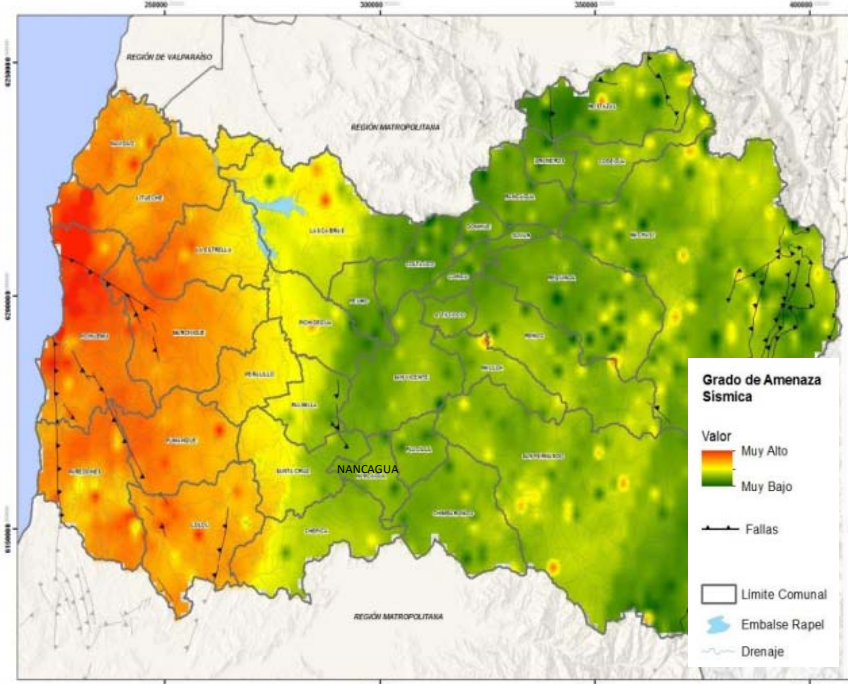
mayores a 5 grados Richter se registraron el año 2010, probablemente asociados al gran terremoto ocurrido en febrero de ese año en la costa de la Región del Maule. En base a los registros sísmicos desde la década de los setenta, en el contexto del PROT se analiza la amenaza sísmica en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, donde realiza un análisis probabilístico (Leyton et al. 2010) que permite definir y caracterizar las fuentes sísmogénicas relevantes para el área de estudio y zonificar el territorio a partir la demanda sísmica (ver Figura 21).

Figura n° 20: Imagen de Mapa de Peligro Sísmico Probabilístico.



La zonificación sísmica de un territorio por lo general se presenta en valores de PGA (Peak Ground Acceleration o aceleración horizontal máxima), la cual a su vez se expresa en un porcentaje de la aceleración de gravedad (% g). Existen muchos estudios en los cuales se ha determinado la peligrosidad sísmica para Chile. Como ejemplo, la Norma Chilena NCh433 de 1996 presenta una zonificación desarrollada a partir de un análisis histórico-determinístico, se definen tres zonas sísmicas presentes en el país, definidas de acuerdo a la cercanía con región de subducción, con valores de aceleración máxima efectiva del suelo de 0.2g para la zona cordillerana, 0.3g para la zona central, y 0.4g para la zona 3 costera. La modificación a la NCh 422 posterior al sismo del 2010 (D.S. 61), señala un ajuste a las zonas por condición de suelos. De acuerdo con los resultados del PROT (2012) la comuna de San Fernando se encuentra en la franja longitudinal que tiene Demanda Sísmica Media, valorizada entre $0.6g \geq PGA > 0.4g$ (Figura 21).

La Figura 21 muestra el Mapa de amenaza sísmica para la VI región (PROT, 2012), resultado del estudio de peligro sísmico realizado.

Figura n° 21: Imagen del Mapa de Amenaza Sísmica.

Como es posible observar, la comuna de San Fernando se encuentra en una zona de bajo grado de amenaza sísmica. Sin embargo, no se debe confundir lo anterior con la respuesta particular de los terrenos ante un sismo. En este tema, y utilizando conceptualmente el modelo conceptual propuesto por Keller et al. (2004) y las unidades geológicas presentes en la comuna, es esperable un mayor grado de amplificación sísmica en los depósitos cuaternarios (depósitos fluviales y aluviales saturados, depósitos de remociones en masa y abanicos), donde preferentemente se ubican las zonas pobladas..

4.4 FALLAS GEOLÓGICAS

Según lo indicado en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su apartado 2.1.17 se deben incluir zonas con peligro de ser afectadas por “fallas geológicas”, no especificándose de qué forma deben ser consideradas. Dentro de los efectos que pueden generar los sismos, está la rotura de la superficie del terreno por desplazamientos de fallas activas (González de Vallejo et al., 2002) o deformaciones superficiales inducidas por fallas inactivas que generarán un comportamiento distinto en la zona por la cual atraviesan (Galdames y Saragoni, 2002).

La presencia de fallas geológicas a lo largo del territorio nacional es frecuente, por lo tanto algunas zonas urbanas se encuentran emplazadas sobre o en el entorno a estas estructuras. La presencia de una falla geológica permite suponer una serie de posibles consecuencias, como por ejemplo un cambio en las unidades geológicas, presencia de zonas de cizalle o macizos rocosos con menor calidad geotécnica, en algunos casos posible actividad sísmica asociada a fallas activas, o reactivación de fallas producto de grandes sismos (Farías et al., 2011).

Los límites para definir si una falla es activa pueden ser variables, por ejemplo en función de las condiciones tectónicas, o a partir de las leyes específicas de cada país, o en función de la vida útil y niveles de seguridad de un proyecto específico. En términos geológicos una falla activa es aquella falla que ha presentado movimiento durante el régimen tectónico actual (Sabaj, 2008), mientras que en ingeniería geológica, una falla activa es la que ha presentado movimiento en los últimos 10.000 años (Holoceno). Según Kerr et al. (2003), una falla activa es aquella que ha presentado movimiento repetidamente en el pasado y su historia indica que podría presentarlo nuevamente. En Chile existe escasa información de la génesis y actividad sísmica de cortical (Barrientos et al., 2004) o asociada a

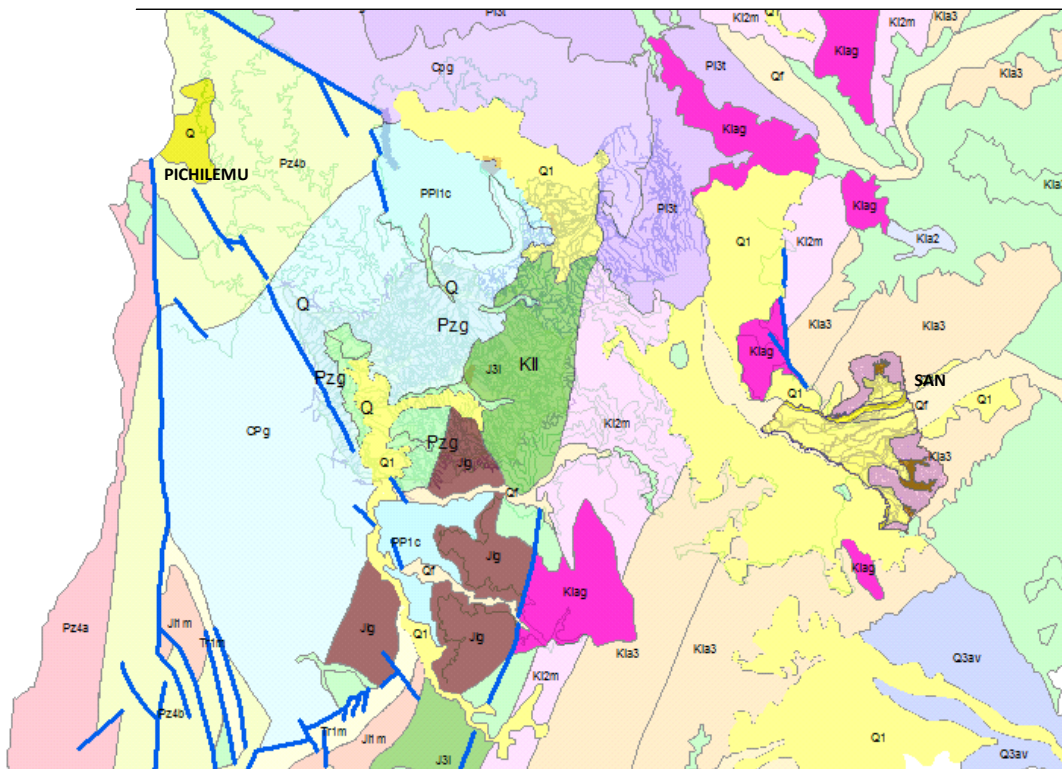
fallas, existiendo algunos casos emblemáticos como el sismo de Aysén del año 2007, con una Magnitud Mw 6,2 (Sepúlveda y Serey, 2009). No obstante la carencia de información acerca de sismos superficiales en Chile, existen zonas de reconocida actividad sísmica de tipo superficial como la zona cordillerana de Chile Central y el Altiplano (Barrientos y Kausel, 1993).

Una interrogante que aparece después de cada sismo importante, es si existe movimiento de fallas inactivas durante grandes terremotos (como ejemplo sismo de Antofagasta de 1995 (Delouis et al., 1997) o con la falla Marga-Marga (Galdames y Saragoni, 2002; Muñoz et al., 2010), o con el sismo Mw 8.8 del 27 de Febrero de 2010, donde se reconocieron desplazamientos co-sísmicos y deformación en superficie (Arriagada et al., 2011), así como reactivación de fallas geológicas al interior del continente manifestada de manera sísmica (con el terremoto de Pichilemu del 11 de marzo de 2010, Farías et al., 2011).

A partir de lo descrito anteriormente, independiente de si una falla se considera activa o inactiva, en su evaluación se debiesen incluir todos sus posibles efectos (especialmente en áreas urbanas) y de esta forma dar cumplimiento con la ley vigente en Chile que exige la consideración de áreas de riesgo por presencia de fallas geológicas (en el artículo 2.1.17 de la O.G.U.C.). Dentro de los posibles efectos, se deberían considerar desplazamientos y deformación durante un sismo, ya sea mediante la rotura de la superficie del terreno por desplazamientos de fallas activas (González de Vallejo et al., 2002) o mediante deformaciones inducidas por fallas inactivas que generarán un comportamiento distinto en la zona por la cual atraviesan (Galdames y Saragoni, 2002). Muñoz (2013) propone una metodología que permita determinar la susceptibilidad de respuesta sísmica de zonas aledañas a fallas mayores en áreas urbanas, entendida como zonas sensibles a presentar posibles deformaciones superficiales, rupturas superficiales o una mayor intensidad ante sismos. La metodología considera la ponderación de antecedentes (físicos, geológicos, daños históricos, estudios anteriores, entre otros) que orientarían la necesidad de estudios más profundos. Lo anterior no debe confundirse con el estudio de la peligrosidad sísmica que puede presentar una falla activa (asociada a sismicidad cortical), y que se estudia siguiendo las etapas típicas de un estudio de peligro sísmico (evaluando la sismicidad histórica, determinando la productividad sísmica de la falla, y estimando magnitudes máximas).

A escala regional (Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000) indica la presencia de fallas en la cordillera de la Costa con rumbo NS y NW (atravesando el basamento metamórfico Paleozoico) y algunas fallas afectando la secuencia de rocas Jurásicas y Cretácicas de la zona Central (rumbo NS y NNE). En el caso de la comuna de San Fernando, la información geológica local y regional muestra un lineamiento NW a NS al norte de la comuna, no siendo reconocida en las zonas de análisis (Figura 20).

Figura n° 22: Modificado del Mapa geológico de Chile (escala 1: 1.100.000) mostrando fallas



Fuente: Modificado de Mapa geológico de Chile 1:1.000.000.

4.5 INUNDACIONES

Se entiende por inundaciones al proceso por el cual aguas (oceánicas o continentales superficiales, o aguas subterráneas) invaden territorio. Dentro de los procesos de inundaciones, es posible diferenciarlos en Inundaciones por desborde de cauces artificiales o redes de drenaje urbano, Inundaciones por desborde de cauces naturales e Inundaciones por marejadas o olas de tsunamis en sectores cercanos a la costa.

PEGAR INUNDACIONES

5. ZONAS DE RIESGO EN LA COMUNA DE SAN FERNANDO

Dentro de las amenazas descritas en el capítulo anterior, algunas están presentes en la comuna de San Fernando. A partir de la superposición de información y análisis de los antecedentes, se identifican áreas de riesgo (definidas como zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de alguna amenaza), lo que permitirá actualizar y/o modificar el Plan Regulador Comunal, cumpliendo con la Ley General de Urbanismo y Construcciones y el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica.

Es importante señalar que dados los alcances del presente estudio, así como la escala de trabajo (1:5.000 en áreas urbanas) y mayor a 1:50.000 fuera del entorno urbano de la comuna, existirán peligros reconocidos que serán zonificables y otros no.

Como peligros **no zonificables**, se considerarán aquellos que requerirían estudios de mayor detalle para poder determinar su distribución, o que quedan fuera de los alcances definidos para el presente trabajo. Por el contrario, como **peligros zonificables** se incluirán aquellas amenazas en que se puede categorizar la susceptibilidad y por lo tanto determinar una categorización de la misma (mediante planos anexados al estudio).

A medida que se realice una descripción de las amenazas identificadas para la comuna de San Fernando, se indicará si estos son o no zonificables, indicando los criterios utilizados y áreas susceptibles según corresponda.

5.1 REMOCIONES EN MASA

5.2 INTRODUCCIÓN

En el último tiempo diversos autores han desarrollado en el mundo una serie de metodologías, utilizando diferentes herramientas, que buscan evaluar los procesos de generación de remociones en masa. Estos fenómenos han adquirido gran importancia dentro de los eventos naturales, principalmente asociados a los cambios climáticos que se han experimentado a nivel mundial. De manera general, estas metodologías tienen la característica de ser aplicables en zonas limitadas de estudio de acuerdo a sus características geológicas, geotécnicas, geomorfológicas, climáticas, entre otras (Lara, 2007).

Según González de Vallejo et al. (2002), la susceptibilidad se puede estimar considerando el inventario de los fenómenos registrados en una zona y la superposición de los factores que los condicionan, no considerando la variable temporal ni el cálculo de la probabilidad de ocurrencia, sino que mediante una sumatoria de factores favorables a la generación del fenómeno. Aleotti & Chowdhury (1999) en Lara (2007) señalan que la experiencia en terreno y la generación de mapas de parámetros índices sobrepuestos son la base para la determinación cualitativa de susceptibilidades y peligros geológicos. Popescu (2000) en Lara (2007) propone la evaluación de remociones en masa a partir de la evaluación de dos grupos de factores: por un lado los factores que preparan a la ladera y que la convierten en un zona susceptible de ser movilizada (que corresponde a los factores condicionantes) y la evaluación de los gatillantes, que se encargan de desencadenar el evento.

La International Association of Engineering Geology (IAEG) y en la Guía para la Zonificación de Amenazas de remociones en masa del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA, 2007) se proponen guías para la evaluación de la susceptibilidad por remociones en masa. En general los diferentes autores describen este procedimiento en etapas, que son bastante estándar, y es de consenso general que el procedimiento debe ser interactivo durante su aplicación. Las etapas comúnmente utilizadas son:

- Definir los términos de referencia, objetivos de la investigación, definición de la escala de trabajo, requerimientos legales o de la institución que solicita el estudio, etc.
- Recopilación de información base del área de estudio (mapas topográficos, informes geológicos, estudios anteriores, entre otros), y de ser posible, incluir el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales de distintos períodos de tiempo.
- Construcción de mapas temáticos preliminares o línea base. En esta etapa se debe establecer el marco geomorfológico de cada lugar, identificando las características físicas del área, los tipos de materiales que se pueden esperar, y los procesos geomorfológicos esperables.
- Realizar un catastro o Inventario de movimientos en masa, idealmente que incluya el tipo de movimiento en masa, la magnitud, tiempo de ocurrencia o de su reactivación y datos similares. Esta información debe ser validada con visitas a terreno.
- Trabajo en Terreno. Las visitas a terreno deben estar orientadas por un lado a validar la información geológica y geomorfológica del área (unidades morfológicas, tipos de suelos y de rocas), y por otro lado identificar los procesos y depósitos de remoción en masa ocurridos con anterioridad o que se esperan en la zona de estudio.
- Etapa de análisis y entrega de resultados. Una vez compilada toda la información citada en las etapas anteriores, se realizan análisis (cualitativos, descriptivos o cuantitativos) que permitan esta etapa es elaborar la zonificación de las áreas susceptibles a ser afectadas por procesos de remoción en masa. Es fundamental en esta etapa, definir los factores condicionantes claves en la generación de remociones, y que corresponden principalmente a la pendiente, litología, las características de afloramientos rocosos, las observaciones de terreno y la existencia de fenómenos de remoción en masa existentes en las proximidades, más condiciones particulares del sector a estudiar (por ejemplo, zonas de intensa alteración u otras).

5.3 TIPO DE REMOCIONES EN MASA EN LA COMUNA Y FACTORES CONDICIONANTES IDENTIFICADOS

La recopilación y análisis de los antecedentes en conjunto a visitas a terreno realizadas a la comuna, permitieron identificar los siguientes procesos:

- Caídas de rocas
- Deslizamiento de bloques de roca
- Flujos
- Soliflucción y extensiones laterales

De acuerdo con los antecedentes recopilados en terreno, existen evidencias de caídas de rocas, flujos y deslizamientos de rocas en la localidad de Termas del Flaco

Figura n° 23: Evidencias de caídas de rocas Localidad Termas del Flaco



Fuente: Equipo consultor

Figura n° 24: Aluvión 25 febrero de 2017, sector edificio, Localidad Termas del Flaco



Figura 8. Fotografías del Cajón de los Ríos. A. Depósito de aluvión indicado con una flecha roja, ubicado hacia los márgenes de la quebrada. B. Cascada ubicada en la parte alta de la cuenca con evidencias del paso del flujo detritos. C. Depósito de aluvión en el Sanatorio Termas del Flaco. La flecha roja indica depósito de barro junto al río principal. D. Detalle del depósito del flujo de detritos en la zona del Sanatorio indicando su espesor.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2017

Figura n° 25: Aluvión 25 febrero de 2017, sector carabineros, Localidad Termas del Flaco

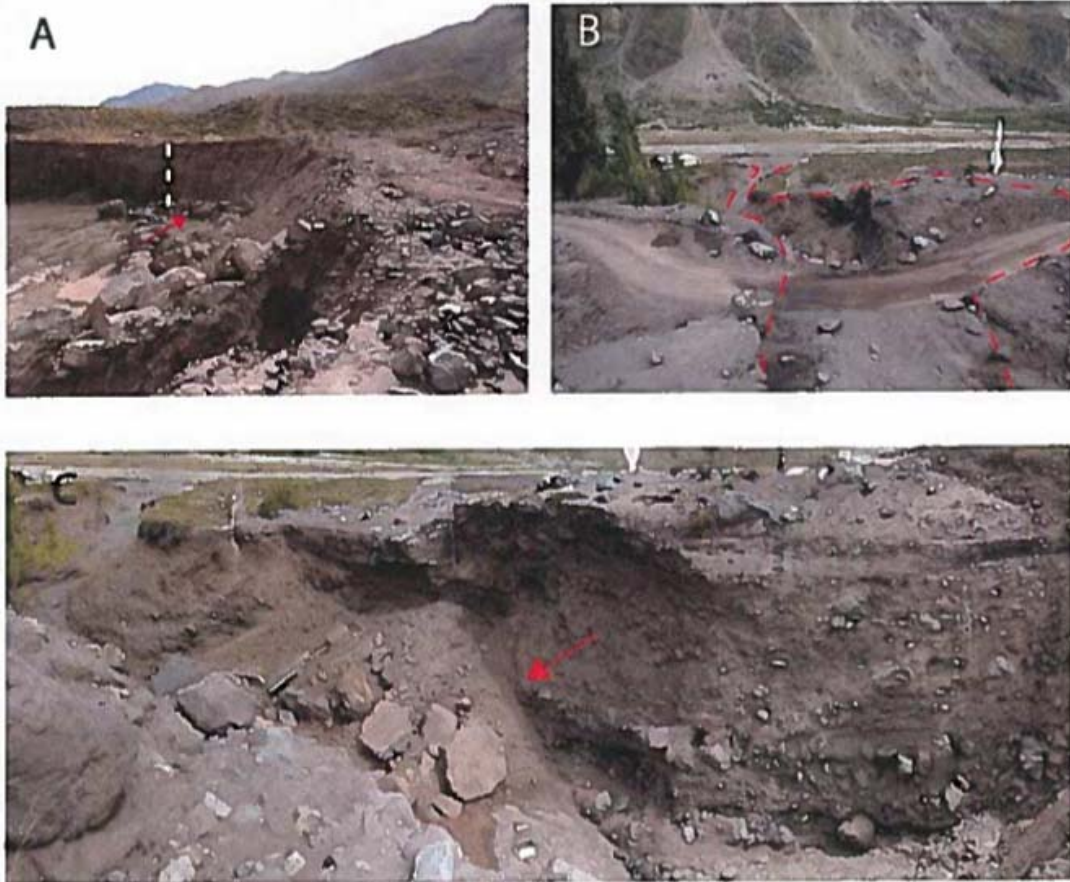


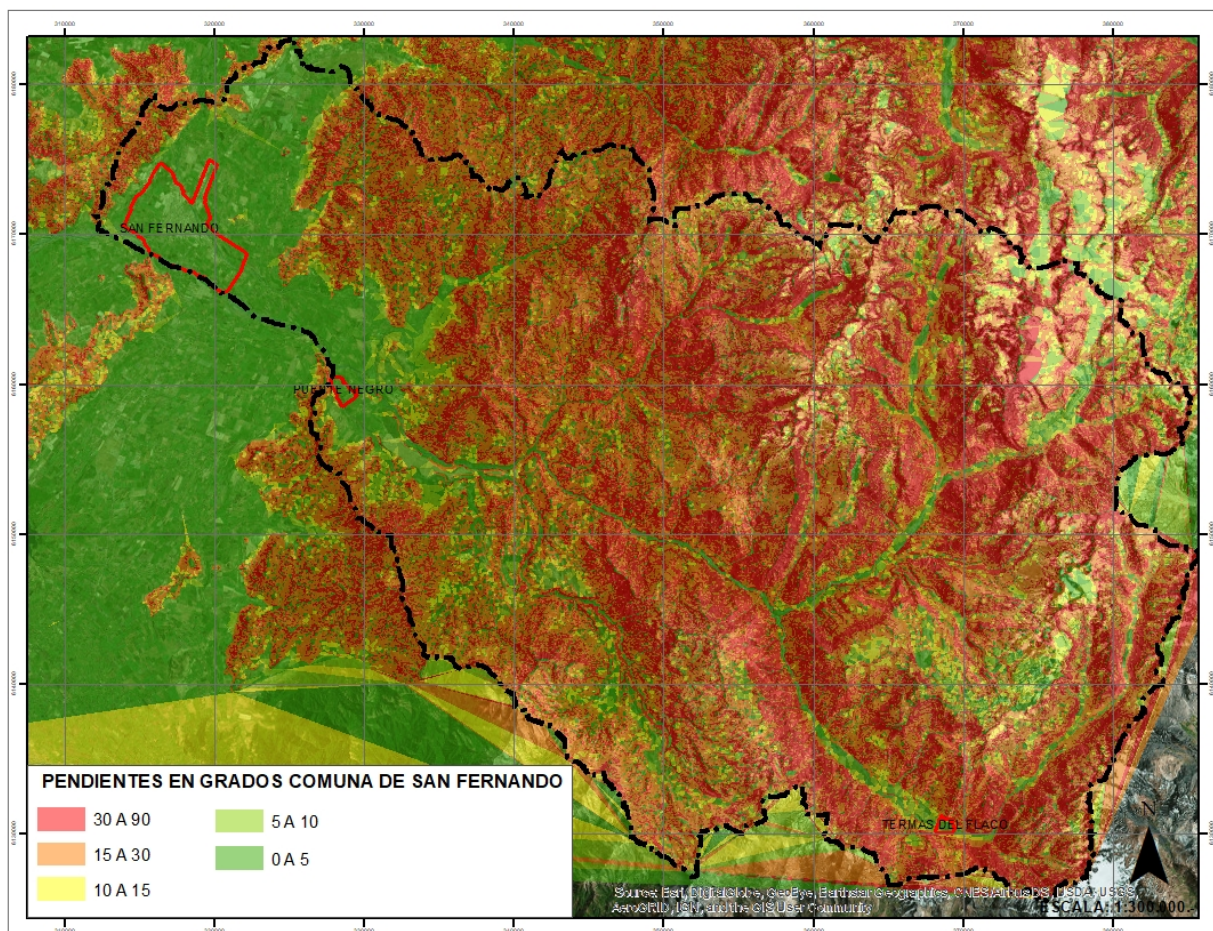
Figura 9. Fotografías de la quebrada ubicada al este del retén de Carabineros. A. Zona del camping de las termas, donde la quebrada perdió confinamiento. Se observa más de 5m de depósitos aluviales antiguos. B. Ruta I-45 donde el aluvión atrapó a la víctima fatal. Se encierra la zona por donde pasó y/o depositó el flujo de detritos. C. Detalle de la zona erosionada por el paso del flujo de detritos. Se indica un cono de deyección que está sobre el depósito de este aluvión que incluye partes del radier erosionado.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2017

Para definir la susceptibilidad de caída de rocas en la comuna, se consideró como factores condicionantes la distribución y características de los eventos anteriores, pendientes, presencia de afloramientos rocosos y depósitos de remociones en masa anteriores. El uso de imágenes google_earth y las observaciones realizadas en terreno resultaron fundamentales en este proceso, definiéndose así zonas susceptibles a la generación de eventos, y sectores susceptibles de ser alcanzados por los bloques caídos.

Para evaluar las pendientes de las laderas, se realizaron modelos de triangulación a partir de las curvas de nivel (cada 50 metros). Los rangos definidos se basan en los antecedentes de pendientes mínimas para la generación de remociones (Keefer, 1984) y en la clasificación de pendientes de MARSH (1978, en MOPT 1992), que señala que todos los terrenos cuya pendiente supere los 15° constituyen en una barrera topográfica natural para el poblamiento. Las Figuras 26, 27 y 28 muestran las pendientes de la comuna.

Figura n° 26: Modelo de pendientes comuna de San Fernando



Fuente: Elaboración propia

Para definir zonas susceptibles a la generación de caídas de rocas, se consideraron aquellas laderas con pendientes mayores a 30°. La susceptibilidad de alcance de caída de rocas, considera las áreas ubicadas ladera abajo de las zonas de generación, con rangos de pendiente entre los 5° y 30°. La categoría de susceptibilidad quedó definida de la siguiente forma:

- Alta Susceptibilidad a la generación de caídas de rocas (zonas con pendientes mayores a 30°)
- Moderada Susceptibilidad a caídas de rocas (zonas con pendientes entre 5° y 29°)

Los terrenos con pendientes menores, presentaría baja a nula susceptibilidad a la caída de rocas. El avance de los bloques ladera abajo depende de muchos factores (propiedades de la cobertura, forma y tamaño de los bloques, pendientes, etc.). En general estos tienden a acumularse en sectores de menor pendiente (menores a 15°) y en quebradas profundas estrechas, formando parte de un material que podría ser movilizado como un flujo.

Deslizamientos

Identificar deslizamientos dentro de la comuna no resulta fácil (especialmente por el acceso a los afloramientos). Sin embargo, las características de los afloramientos rocosos, en términos de pendientes, grado de fracturamiento y estratificación, permiten presumir que estos eventos se pueden generar en las

laderas, aportando con bloques sensibles descender. Los antecedentes teóricos indican que estos eventos se pueden generar en pendientes mayores a 35° - 40°.

A partir de lo anterior, se consideró la zonificación superponiendo los condicionantes de pendientes y geología, generando zonas con Moderada Susceptibilidad a deslizamientos (zonas con pendientes mayores a 30°) y baja susceptibilidad (pendientes menores a 30°).

Flujos

En ocasiones, precipitaciones intensas pueden generar la saturación y movilización de materiales acumulados en quebradas (materiales como suelos, detritos y rocas), especialmente cuando se superan los umbrales de precipitaciones en que el material se satura y pierde su resistencia (para la zona central de Chile, se ha estimado en 60mm/24hrs. Hauser, 1990). Esa condición, se ve favorecida cuando las quebradas tienen pendientes mayores a 15°, o presentan canales angostos y estrechos. En los flujos, también se debe considerar el tipo y espesor del suelo y cobertura vegetal, lo que en ocasiones favorece la retención del material grueso ante flujos. Estas características se relacionan con aspectos geográficos del área, como por ejemplo orientación con respecto al norte, el grado de humedad de la ladera y exposición al sol.

Finalmente, se propone como áreas de susceptibles a la generación de flujos los abanicos aluviales y conos basales a los cordones montañosos, con pendientes entre 5° y 29°.

Extensiones laterales y Soliflucción

Se mencionó anteriormente, estos procesos involucran una pérdida de resistencia del subsuelo provocando hundimiento y agrietamiento del terreno, generando daño a la infraestructura o viviendas que se encuentren encima.

Estos fenómenos son frecuentes en terrenos de bordes de ríos, lagos y deltas, donde se conjugan materiales limo-arcillosos y arenosos que constituyen buenos reservorios de agua, y en general se asocian a zonas con pendientes de laderas bajas a moderadas. Algunos tipos corresponden a extensiones laterales en bloque y a extensiones por licuefacción del suelo, por lo que ante sismos, estos fenómenos suelen ser rápidos.

5.4 ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA

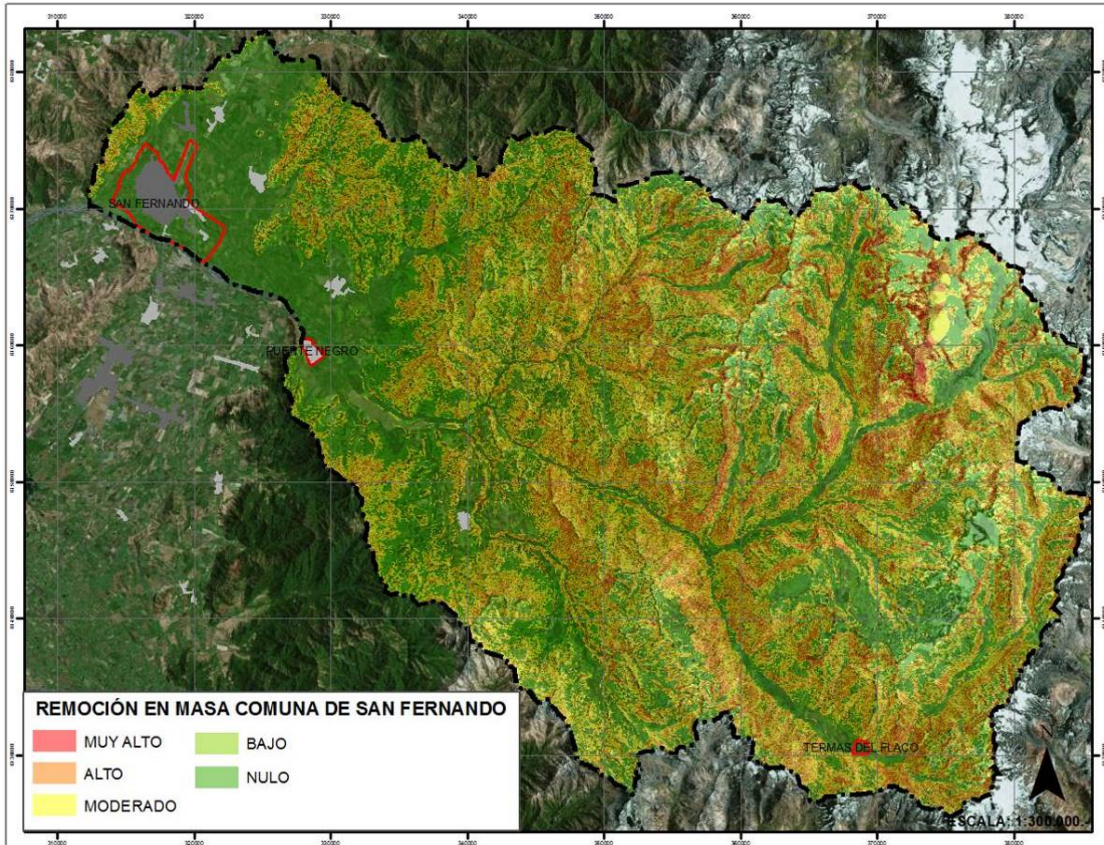
A partir de los antecedentes expuestos, se presenta una zonificación por susceptibilidad de remociones en masa de la comuna de San Fernando realizada a escala 1:50.000 (con representación a escala 1:300.000). Esta zonificación se basa en la superposición de antecedentes y condicionantes descritos anteriormente, y entrega como resultado la definición de sectores con distintos niveles de susceptibilidad para distintos tipos de remociones (ver Figura 27). Se destaca sectores en color rojo (alta susceptibilidad de caídas de rocas y moderada susceptibilidad de deslizamientos de roca); color anaranjado (moderada susceptibilidad de caídas de rocas, baja susceptibilidad de deslizamientos de roca y alta susceptibilidad a la generación de flujos) y color amarillo (alta susceptibilidad a extensiones laterales y soliflucción). Todos los sectores definidos se encuentran fuera del área urbana de la comuna, foco central del presente estudio.

Es importante señalar que por la escala de trabajo y alcances del estudio no es factible realizar una zonificación con mayor nivel de detalle, y su uso para planificación urbana debe ser complementado con estudios a menor escala, incluyéndose por ejemplo análisis, ensayos y pruebas de terreno, para dar cumplimiento a requerimientos legales y técnicos.

Las zonas de alta y moderada susceptibilidad se encuentran fuera del radio urbano, sin embargo se debe hacer notar que existen sectores habitados por población rural (especialmente la base de los cordones

montañosos) en zonas con moderada susceptibilidad y que en ocasiones se han visto afectados por remociones en masa. Es importante restringir o normar el crecimiento de la comuna hacia estas zonas.

Figura n° 27: Susceptibilidad de remociones en masa comuna de San Fernando



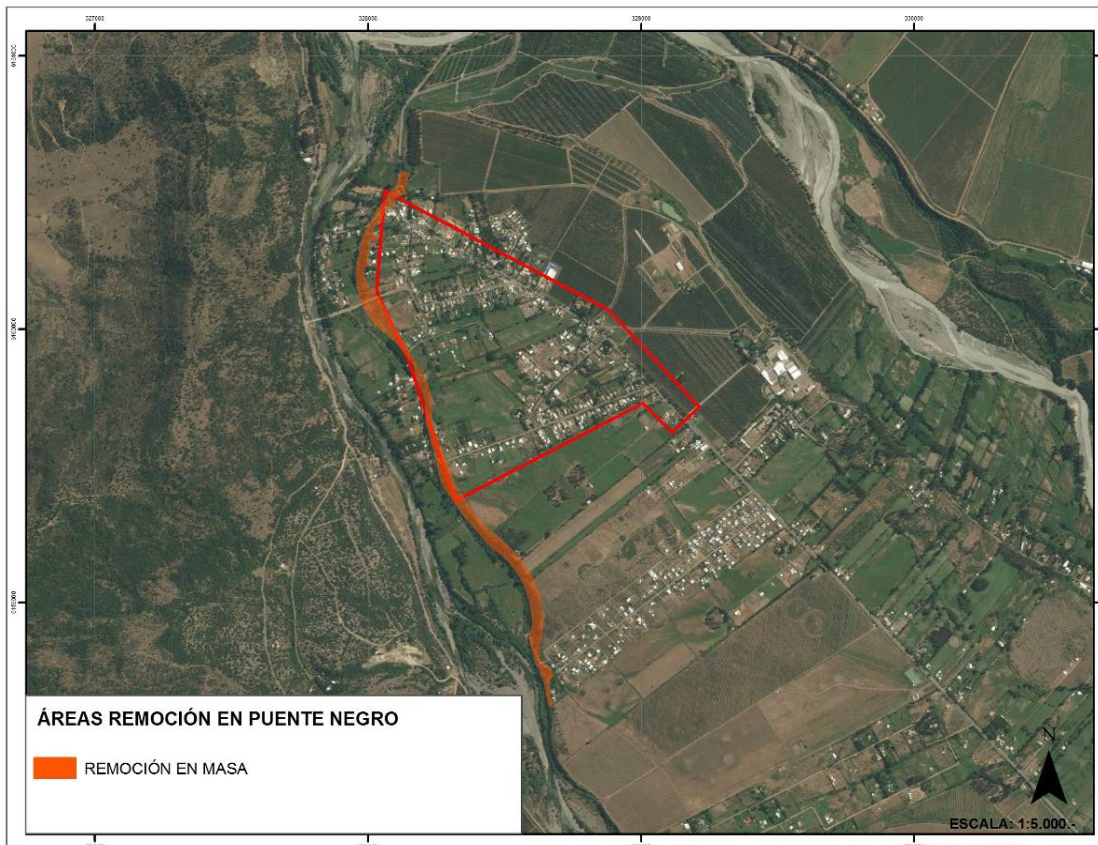
Fuente: Elaboración propia

San Fernando

La ciudad de San Fernando por localizarse geomorfológicamente en el valle central, sus pendientes son planas a suavemente onduladas, por lo que no se genera áreas susceptibles de remociones en masa

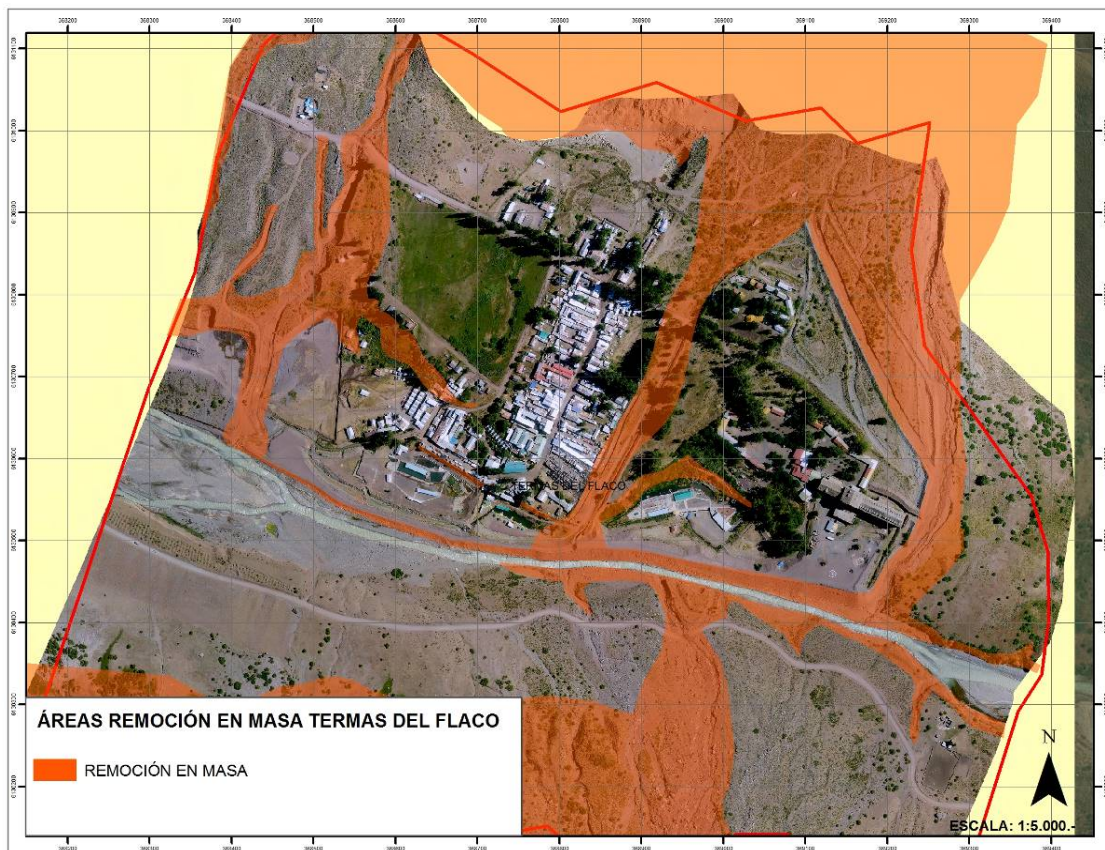
Puente Negro

Figura n° 28: Susceptibilidad de remociones en masa Puente Negro



Termas del Flaco

Figura n° 29: Susceptibilidad de remociones en masa Termas de Flaco



5.5 VOLCANISMO

El estudio de riesgo volcánico para la VI región en el contexto del PROT (Etapa II Componente riesgos. 2012) evalúa las amenazas asociadas al proceso eruptivo y eventos comunes asociados, dentro de los cuales se mencionan:

- Proyección de piroclastos balísticos
- Dispersión y caída de piroclastos
- Emisión de lava
- Generación de flujos y oleadas piroclásticas
- Generación de lahares e inundaciones
- Colapso total o parcial del edificio volcánico
- Emisión de gases
- Ocurrencia de sismos volcánicos
- Ocurrencia de deformación del terreno
- Alteraciones físico-químicas de cursos de agua, acuíferos y sistemas Geotérmicos

Los centros volcánicos activos se ubican en la zona cordillerana (volcán Palomo y complejo Tinguiririca), siendo los procesos de escurrimiento de lavas y lahares los más evidentes en el área proximal y hasta un radio no superior a 50 km (PROT, 2012). En ambos, podrían generarse columnas eruptivas de altura superior a 10 km representan un escenario razonable en el contexto de sus erupciones características, con flujos piroclásticos de envergadura moderada (alcance < 10 km).

De acuerdo con los antecedentes presentados en el capítulo anterior, no existiría riesgo volcánico para la comuna de San Fernando, y por lo tanto no es zonificable.

En la cordillera de la región de O'Higgins, el volcán Tinguiririca corresponde a una fisura volcánica, conformada por una decena de cráteres recientes, alineados en dirección norte-sur. (N25°E)

Sus productos corresponden a lavas y depósitos de flujos piroclásticos, variando composicionalmente desde andesita a dacitas.

De su actividad histórica se posee un registro muy pobre. Algunas crónicas mencionan actividad eruptiva en 1779 y 1830, además de la última erupción que habría ocurrido en 1917, momento a partir del cual ha presentado una constante actividad fumarólica.

- Coordenadas: 34° 49,0 S (Sur) - 70°20,4 W (Oeste).
- Poblados cercanos: En Chile: Termas del Flaco.
En Argentina: Norte del Departamento de Malargüe y sur del Departamento de San Rafael, Provincia de Mendoza.
- Ubicación en Ranking de Peligrosidad de los Volcanes Activos de Chile: 47.
- Altitud de la cumbre: 4.300 metros sobre el nivel del mar (msnm).
- Diámetro basal: 5,8 km.
- Área basal: 26,6 km².
- Volumen estimado: 36,9 km³.
- Reciente erupción: 1917.

Descripción del complejo volcánico

El Complejo Volcánico Tinguiririca, corresponde a una sucesión de unos diez estrato-conos alineados a través de una fisura volcánica con rumbo N25° E, los cuales comparten características morfológicas y geoquímicas muy similares, encontrándose en esta los volcanes Tinguiririca, Fray Carlos y Montserrat (González-Ferrán, 1995; Clavero et al., 2011). La composición de estos centros eruptivos es intermedia, con andesitas y andesitas basálticas cuya edad no supera 1.1 millones de años (Arcos, 1987). A continuación, se realiza una descripción general del complejo.

- **Volcán Montserrat (-34.80; -70.345) - 4230 m snm**

El presente resumen técnico obedece a lo descrito por Polanco et al. (2015). El volcán Montserrat se ubica en el extremo norte del complejo volcánico y posee un cráter principal además de un cono adventicio, cuyos cráteres presentan diámetros máximos de 520 y 535 m. Los productos, conformados principalmente por coladas de lava en bloques de edad Pleistocena superior-Holocena, poseen una composición andesítica (57-58% SiO₂).

- **Tinguiririca (-34.816; -70.353) - 4280 m snm**

Es el estratovolcán más prominente de toda la fisura volcánica, alcanzando 4280 m.s.n.m. y que posee una estructura algo superior a mil metros desde su base. El cono está cubierto por un glaciar en el flanco E. El cráter principal alcanza unos 530 x 480 m de diámetro y al interior existe un cráter anidado con un diámetro máximo de 110 m (Polanco et al., 2015). Al interior de del cráter se puede apreciar claramente las secuencias estratificadas pertenecientes a diferentes episodios eruptivos. Los flujos lávicos de este volcán han alcanzado los nacimientos del estero San Andrés, recorriendo unos 15km hacia el sudoeste. Estas lavas (60% SiO₂) presentan una morfología en bloques y las estructuras lobulares y de levées son claramente distinguibles, con una edad Pleistocena superior-Holocena (Polanco et al., 2015). Además, estos mismos autores han reconocido algunos flujos piroclásticos en el flanco oeste, como también dos cicatrices de colapso. De acuerdo con Hildreth y Moor bath (1988) y mediciones realizadas a 7 muestras del volcán Tinguiririca, este arrojó 56-68% de SiO₂, lo que las ubica en el campo de las andesitas basálticas, andesitas y dacitas.

La actividad del volcán Tinguiririca se ha desarrollado hasta tiempos históricos, conociéndose en 1779, 1830-31, 1917 y 1994 actividad eruptiva. Una erupción posiblemente freatomagmática fue reportada en 1917. El 15 de Enero de 1994, Bolívar Miranda, un ingeniero químico de Sernageomin observó una columna eruptiva de 5 km por encima del volcán Tinguiririca desde su ubicación, distante a 65 km al Oeste. Una fotografía tomada por su hijo mostró una columna de forma de "coliflor de color blanco en un día despejado. En base a la forma y el crecimiento de la columna, la erupción fue más bien freática.

- **Fray Carlos (-34.843; -70.361)- 4012 m snm**

El volcán Fray Carlos es un centro eruptivo localizado en la zona media de la Fisura volcánica, hacia el sur del volcán Tinguiririca. De acuerdo con Polanco et al. (2015). El centro eruptivo se compone por dos edificios volcánicos con alineación aproximadamente N-S, de los cuales el edificio norte posee un crater elongado de 380 x 320 metros de diámetros, además de un pequeño cráter en el flanco SW de unos 135 x 120 m de diámetro. En tanto, el edificio sur es algo más grande y posee dos cráteres anidados cuyos diámetros de sus ejes mayores es de 480 y 380 m. Según Hildreth y Moor bath los productos del volcán Fray Carlos pueden clasificarse como andesitas-basálticas y andesitas (57.5-60.8 % SiO₂) y los edificios alcanzarían un volumen similar a 15km³.

- **Cono Natalia (-34.866; -70.360) - 3639 m snm**

Corresponde a un pequeño cono piroclástico erosionado, en cuya cima aun se reconoce un cráter bastante difuso cuyo eje máximo alcanza aproximadamente 90 metros. Dos flujos de lava en bloques parcialmente recubiertos por material piroclástico se han emitido hacia el sur y sureste del cono, aunque algunos de los levées y estructuras lobulares son todavía observables. Dichos flujos tienen una composición andesítico basáltica (57% % SiO₂) (Polanco et al., 2015).

- **Sordo Lucas**

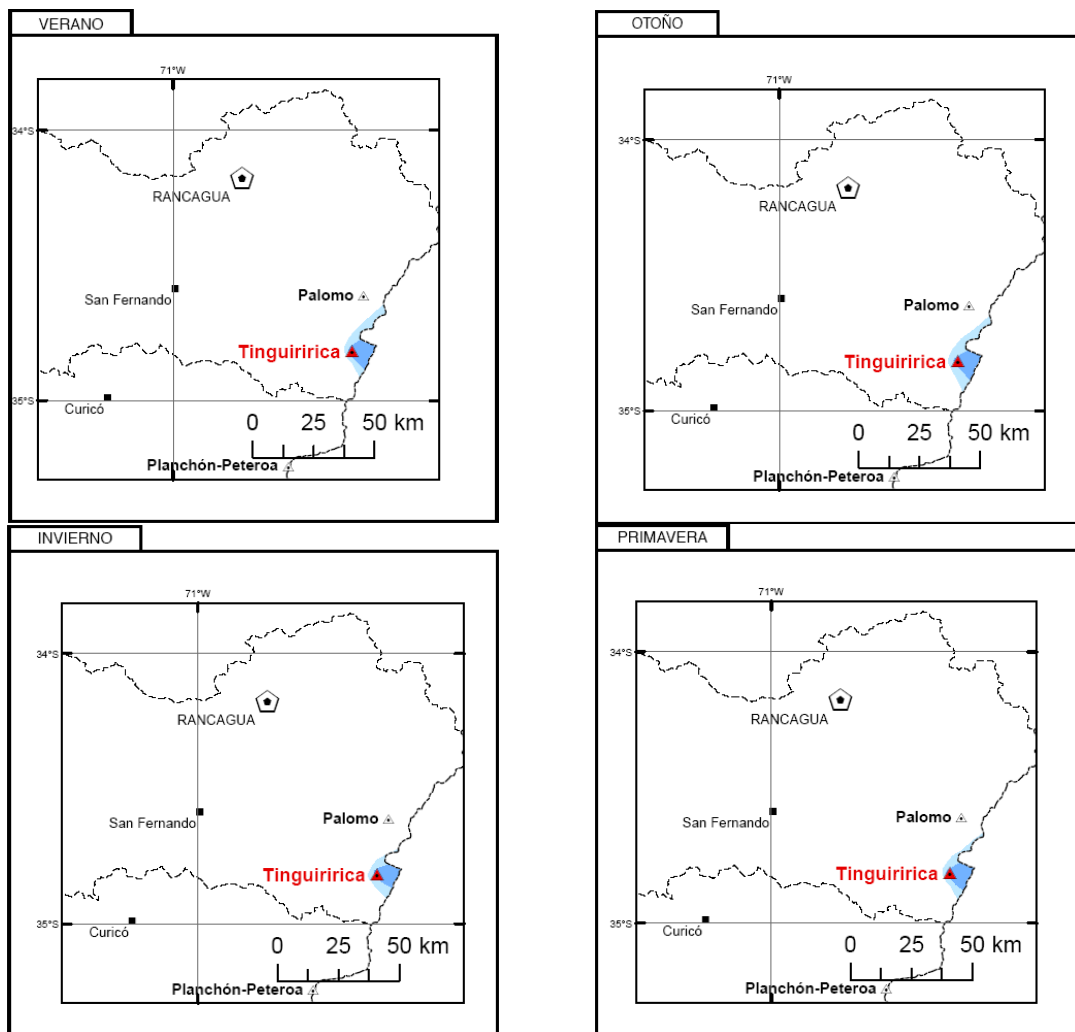
Según lo señalado por Arcos (1987) el cerro Sordo Lucas puede ser considerado como un centro de emisión volcánico por su característica estructura similar a la de un cuello volcánico, es decir, las zonas interiores de conductos de un volcán perteneciente al Pleistoceno Inferior, altamente erosionado, al cual se le podrían atribuir las lavas del cerro Alto del Padre. Este, según otros autores figura como un centro eruptivo independiente (González-Ferrán, 1995). Sin embargo, también cabe la posibilidad de que dichas lavas pertenezcan a la Fisura volcánica Tinguiririca (Arcos, 1987; Arcos et al 1988). Según el diagrama TAS (Le Maitre et al, 2002) las muestras tomadas por Hildeth y Moor bath en el Cuello Volcánico Sordo Lucas pueden ser clasificadas como andesitas.

- **Peligros volcánicos del volcán Tinguiririca, SERNAGEOMIN 2013**

Este documento forma parte de una serie especial de mapas de peligro volcánico cuya finalidad es proveer información sintética de carácter orientativo para su uso en situaciones de crisis. La zonificación presentada es el resultado integrado de un análisis cuantitativo que considera múltiples escenarios eruptivos escogidos de acuerdo a los antecedentes geológicos de este centro volcánico y constituye una aproximación de primer orden que, necesariamente, debe actualizarse en las condiciones concretas del proceso eruptivo.

- **Dispersión atmosférica por estaciones**

Acumulación de al menos 1 cm de material piroclástico, para un escenario esperable (Índice de explosividad = 3 a 4; Altura de columna = 15 km)



Alto Peligro: Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos de alta energía en el entorno inmediato del edificio volcánico, independientemente de la magnitud eruptiva. Corresponde a los sectores superiores del edificio volcánico y a un área restringida en torno a los principales cursos fluviales. Engloba la totalidad de las lavas emitidas en la etapa tardía del volcán, depósitos de corrientes piroclásticas de extensión limitada y depósitos laháricos de pequeño volumen.

Medio Peligro: Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos volcánicos derivados de erupciones de mediana a alta magnitud en el edificio principal. Corresponde al sector basal del edificio volcánico y a un área limitada en torno a ríos y valles aledaños. Incluye la mayoría de las lavas emitidas en la etapa temprana del volcán, flujos piroclásticos de mediana extensión, gran parte de posibles depósitos de avalancha volcánica y lahares de mediano volumen.

Bajo Peligro: Representa el sector más susceptible de ser afectado por procesos volcánicos derivados de erupciones de gran magnitud en el edificio principal. Corresponde a un área limitada en torno a los principales valles. Incluye la totalidad de los posibles depósitos de avalancha volcánica, flujos piroclásticos de gran extensión y zonas de inundación por lahares de gran volumen con su respectiva fase diluida.

Las localidades en estudio, San Fernando y Puente Negro los efectos del proceso volcánico impactaría de manera más indirecta. En el caso de las Termas del Flaco, como se observa en la siguiente figura, la parte baja de la localidad sería afectada por el Lahar (Peligro Bajo). Cabe considerar que los impactos asociados a riesgos naturales, pueden variar en intensidad, dependiendo de la acumulación de nieve, acumulación de cenizas en laderas y posterior ocurrencia de precipitaciones intensas con isoterma sobre 2500 msnm, donde el principal riesgo se constituye por la acumulación de material (cenizas, derrumbes, etc) y su activación por precipitación líquidas en altura, como lo acontecido en Chaitén.

5.6 SISMOS

En el caso de la amenaza por sismos, la OGUC en el apartado 2.1.17 no hace mención a ellas y no forman parte de los alcances del presente estudio, por lo que debe ser abordada de acuerdo a la normativa de construcción vigente y los aspectos geológicos, geomorfológicos y tipos de suelos propios de la comuna que puedan incidir en el comportamiento sísmico de esta. Un ejemplo de lo anterior es la susceptibilidad a la generación de extensiones laterales, soliflucción y licuefacción de suelos en zonas de alledaños a la ribera norte del río Tinguiririca, gatilladas con el evento del 27F. La escala y alcances del presente estudio no permiten una identificación y zonificación de dichos peligros a una escala con mayor detalle, requiriéndose para ello estudios más profundos.

5.7 FALLAS GEOLÓGICAS

De acuerdo a los antecedentes recopilados, no existen fallas geológicas mayores que atreviesen la comuna, por lo tanto no aplica al presente estudio.

5.8 ÁREAS CON RIESGO DE INUNDACION

El río Tinguiririca es el principal curso de agua que cruza la comuna de San Fernando con dirección oriente poniente, este presenta variaciones de su pendiente entre su inicio y su desembocadura en el Río Cakahapoal, siendo de acuerdo al estudio del PROT 2012, su sector medio el que presenta históricamente mayor número de episodios de crecidas. Estas ocurren principalmente a dos factores, el primero corresponde a factores meteorológicos de lluvias intensas (sobre 40 mm en 24 hrs.), de manera general ocurridos en época del fenómeno del Niño, y bajo periodos de deshielos intensos en los cuales los caudales aumentan considerablemente su volumen. También existen casos más excepcionales, correspondientes a precipitaciones líquidas sobre la isoterma Cero con el consiguiente deshielo y aumento torrencial del flujo del río.

ESTUDIO DE RIESGOS PLAN REGULADOR COMUNAL SAN FERNANDO – VI REGIÓN

El Estudio “Diagnóstico, proposición de defensas fluviales y plan de manejo en Río Tinguiririca. Tramo: Puente Talcarehue hasta Puente Errázuriz, Región de O’higgins”, ejecutado por la consultora IRH en el año 2012, se determinaron los sectores críticos y áreas de influencia

La identificación de los sectores críticos de ribera o zonas inundables se efectuó, principalmente, en base a los recorridos de terreno y entrevistas con lugareños del área de estudio. Esta información fue validada mediante la modelación hidráulica del cauce. En la Tabla siguiente se presentan las zonas de riesgo identificadas junto con su período de retorno asociado y además se hace referencia al sector geomorfológico correspondiente

Registro de Zonas Inundables

Registro	Comuna	Localidad	Ribera	km	Descripción	Daño principal	Sector Geomorfológico
AI-01	San Fernando	Bajo los Bravo	Derecha	0.00	Inundación	Infraestructura, terreno agrícola y población de Bajo Los Bravo	D1
AI-02	San Fernando	Puente Negro	Izquierda	0.20	Socavación	Infraestructura y terreno agrícola	I1
AI-03	San Fernando	Talcarehue	Derecha	4.60	Socavación e Inundación	Terreno Agrícola, con riesgos para población de Talcarehue	D1
AI-04	Chimbarongo	Tres Puentes	Izquierda	5.30	Socavación e Inundación	población de Tres Puentes e infraestructura	I3
AI-05	Chimbarongo	La Orilla, Los Areneros	Izquierda	11.50	Inundación	población de los Areneros	I3
AI-06	San Fernando	Pedehue	Derecha	11.50	Inundación	población de San Fernando	D1
AI-07	Chimbarongo	Los Areneros	Izquierda	12.30	Socavación	población de los Areneros	I3
AI-08	San Fernando	Los Huertos	Derecha	13.30	Inundación y Socavación	población Los Huertos	D1
AI-09	Placilla	San José de Peñuelas	Izquierda	16.30	Inundación y Socavación	población de San José de Peñuelas	I5
AI-10	Placilla	San José de Peñuelas	Izquierda	19.00	Inundación	población de Villa Alegre	I5
AI-11	Placilla	Calabozo	Derecha	19.30	Inundación y Socavación	terreno Agrícola	D4
AI-12	Placilla	Taulemu	Izquierda	23.00	Inundación y Socavación	población Los Aromos	I5
AI-13	Placilla	Lo Moscoso	Derecha	23.00	Inundación	población de Lo Moscoso	D5
AI-14	Placilla	El Camarón	Izquierda	27.20	Inundación	población sector El Camarón	I5
AI-15	Nancagua	La Gloria	Izquierda	30.70	Inundación	población Callejón La Gloria, Infraestructura Puente La Gloria	I5
AI-16	Nancagua	Callejones	Izquierda	32.00	Inundación	población Callejones del río	I6
AI-17	Nancagua	Cura Montero	Izquierda	36.30	Inundación y Socavación	Población de San Gregorio	I6
AI-18	Santa Cruz	San José de Apalta	Derecha	39.60	Socavación e Inundación	población Viña de Apalta	D8
AI-19	Nancagua	San Gregorio	Izquierda	40.00	Inundación	población Ana Luisa II	I6
AI-20	Nancagua	Cunaco	Izquierda	42.30	Inundación y Socavación	población Ana Luisa II	I6
AI-21	Santa Cruz	Cruce de Apalta	Izquierda	48.00	Socavación	Infraestructura, puente Apalta	I6
AI-22	Palmilla	La Calera	Izquierda	53.20	Inundación	población de Palmilla	I7
AI-23	Palmilla	Casa de Lata	Izquierda	59.60	Inundación y Socavación	Infraestructura	I8
AI-24	Palmilla	San José del Carmen	Derecha	62.50	Inundación	población Villa Puente Tapado	D9

Fuente: “Diagnóstico, proposición de defensas fluviales y plan de manejo en Río Tinguiririca. Tramo: Puente Talcarehue hasta Puente Errázuriz, Región de O’higgins”

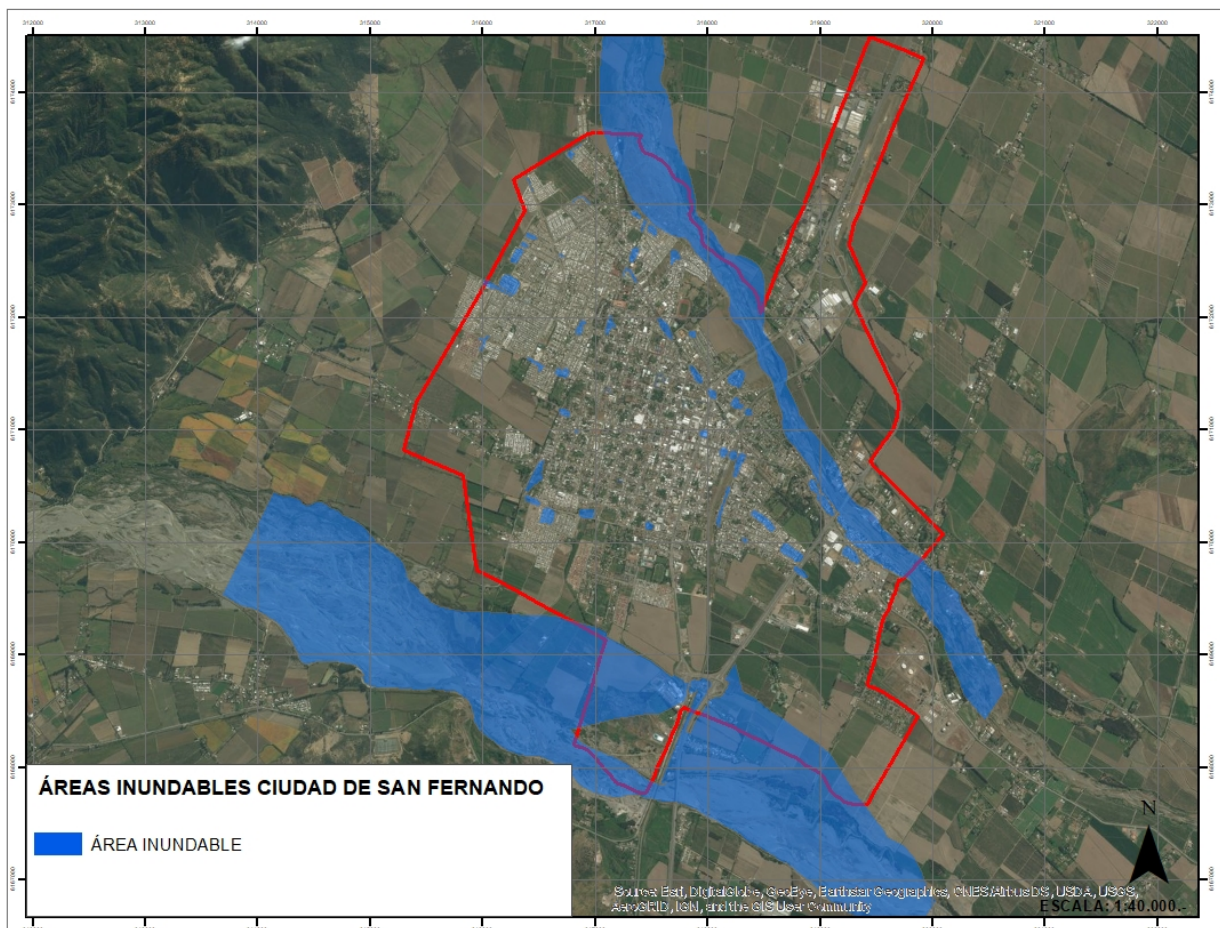
En la siguiente imagen se observan los resultados de la recopilación de información y modelación hidráulica para el sector de San Fernando, este estudio determina las áreas inundables de las riveras del río al año 2010 (incluyendo todas defensas fluviales realizadas a esa fecha), en ella aprecia que los sectores urbanos de San Fernando (de acuerdo a limite urbano propuesto) serían afectados por inundaciones, esto principalmente por la construcción de defensas fluviales. Estas áreas de riesgos son incluidas en el plan por estar dentro de los límites urbanos.

En la comuna de San Fernando, los sectores más comprometidos corresponden a Los Huertos y Pedehue

Áreas de riesgo de inundación Sector urbano de San Fernando

Respecto de la localidad de San Fernando, su trama intra urbana es intersectada por cursos de aguas, canales de regadío que en época invernal funcionan como evacuadores de aguas lluvias. Estos canales principales se determinó un área de inundación que asegura el libre escurrimiento de las aguas, asegura el espacio para su mantención, y restringe los usos que pudieran afectar el libre tránsito de las aguas.

Figura n° 30: Área de riesgo de inundación Sector urbano San Fernando



Áreas de riesgo de inundación Sector urbano de Puente Negro

Los sectores inundables de la Localidad de Puente Negro, están asociados a crecidas del Río Claro a las terrazas adyacentes. El perfil transversal grafica el área inundable

Figura n° 31: Perfil transversal Puente Negro

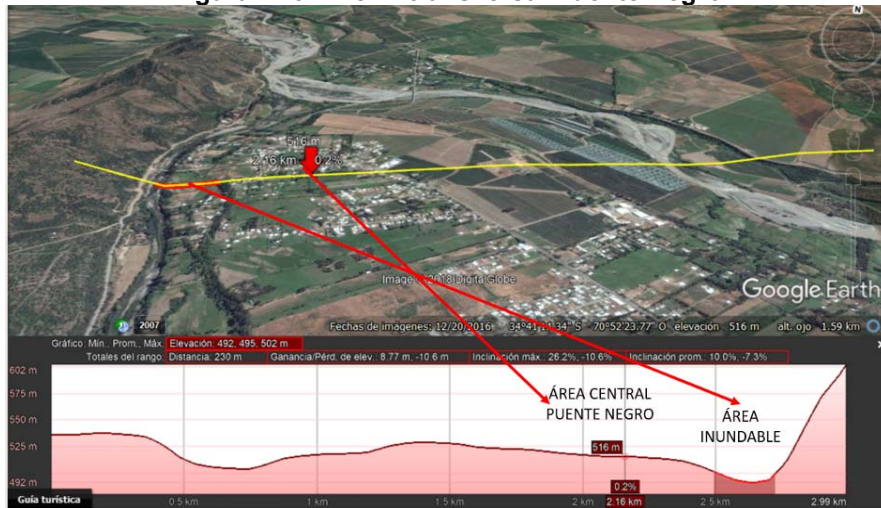


Figura n° 32: Área de riesgo de inundación Puente Negro

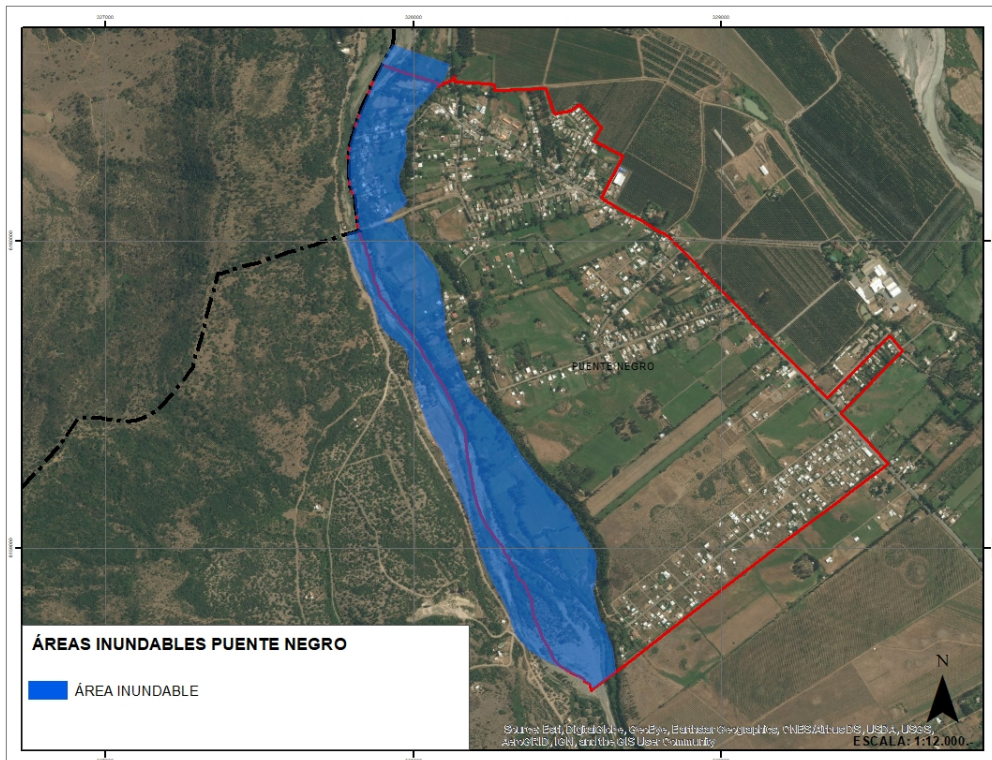
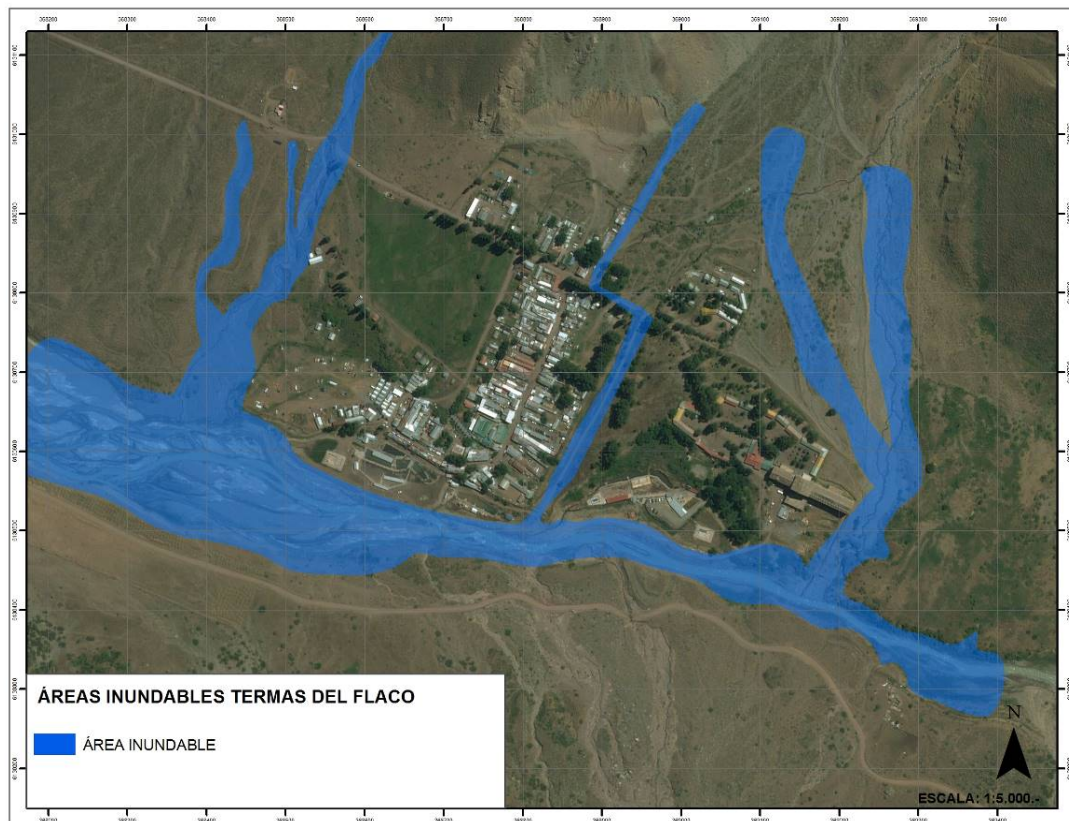


Figura n° 33: Área de riesgo de inundación Termas del Flaco



6. CONCLUSIONES

Para dar cumplimiento a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su apartado 2.1.17, y definir “áreas de riesgo” para la comuna de San Fernando, se agruparon los peligros geológicos en remociones en masa, volcanismo, sismicidad e inundaciones, de los cuales sólo algunos son zonificables de acuerdo a la escala y alcances del estudio.

La metodología de trabajo aplicada incluyó la descripción física de la comuna, recopilación y análisis de antecedentes y un catastro de eventos (tanto por reportes como por evidencias recogidas en terreno). Para el área urbana, los peligros zonificables identificados fueron las inundaciones, las cuales se representaron en planos 1:5.000. Los resultados indican que dentro de los límites urbanos (San Fernando), se consideraron las áreas inundables de los cursos de agua principales, correspondientes a canales de regadío, los que en época invernal ayudan a la evacuación de las aguas lluvias.

Para el resto de la comuna (áreas excluidas al desarrollo urbano) como peligros zonificables se identificaron las remociones en masa, cuya escala de análisis fue 1:50.000, con representación de resultados escala 1:300.000 (susceptibilidad de remociones en masa), dentro de las cuales se reconocen sectores sensibles a caídas de rocas y deslizamientos de roca (generación y alcance), y se asocian principalmente a altas pendientes y sectores con afloramientos rocosos fracturados, registrándose evidencias de caídas de rocas a los pies de los cordones montañosos. También se identificaron sectores sensibles a la generación de flujos (especialmente en quebradas o abanicos aluviales). También se reconocieron sectores susceptibles a la generación de extensiones laterales de suelo y soliflucción en eventos sísmicos, asociados a sedimentos limo-arcillosos saturados cercanos a superficie. La escala del presente estudio no permite definir con mayor precisión la ubicación de estos sedimentos, se requieren estudios de mayor detalle. Estos debiesen ser incorporados en los instrumentos de planificación de escala intercomunal, ya que los antecedentes indican que si están presentes en la comuna, especialmente ante sismos de gran intensidad.

En el caso de los peligros no zonificables, algunos no se encuentran presente en la comuna (como el Volcanismo y fallas geológicas) o quedan fuera de los alcances del estudio (como una zonificación sísmica o una zonificación de suelos para identificar zonas propensas a la licuefacción y extensión lateral de suelo).

7. REFERENCIAS

- Araya-Carcedo, F.; Olcina J. 2002. Riesgos Naturales. Editorial Ariel S.A., 1512 pp.
- Arriagada, C., Arancibia, G., Cembrano, G., Martínez, F., Carrizo, D., Van Sint Jan, M., Sáez, E., González, G., Rebolledo, S., Sepúlveda, S.A., Contreras-Reyes, E., Jensen, E., Yañez, G. 2011. Nature and tectonic significance of co-seismic structures associated with the Mw 8.8 Maule earthquake, central-southern Chile forearc. *Journal of Structural Geology* 33 (2011), p. 891 – 897.
- Barrientos, S.; Kausel, E. 1993. Características de la Sismicidad Superficial en la Zona Central de Chile; *Proceedings 6as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, Universidad de Chile, Santiago 9-13 Agosto, 1993, v.1, p. 3-9.
- Belmonte-Pool, J. 1997. Análisis del Contacto Sismogénico Interplaca a lo Largo de Chile. Santiago: Tesis de Magíster, Depto. de Geofísica. Universidad de Chile, 148 pp.
- Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. *Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247*, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75.
- Delouis, B., Monfret, T., Dorbath, L., Pardo, M., Rivera, L., Comte, D., Haessler, H., Caminade, L., Ponce, L., Kausel, E., Cisternas, A. 1997. The Mw=8.0 Antofagasta Earthquake of July 30, 1995: A precursor of the end of the large 1887 Gap. *Bull. Seismic Society of America*, Vol. 87, N°2, p.1 – 19.
- Escobar, F.; Guzman, R.; Vierina, C., 1977. Avance geológico de las Hojas Rancagua – Curicó – Talca – Linares – Chanco, Concepción y Chillán. Escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG). Inédito.
- Galdames, G; Saragoni, R. 2002. Influencia del posible movimiento de la falla Marga-Marga en el daño de edificios altos de Viña del Mar en el terremoto de Chile de 1985. VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Abril 2002. UTFSM. Valparaíso, 6pp.
- Godoy, E.; Schilling, M.; Solari, M.; Fock, A. 2009. Geología del Área Rancagua-San Vicente de Tagua Tagua, Región del Libertador General Bernardo O’Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 118: 50 p. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson. 744pp
- Hauser A, SERNAGEOMIN. 1996.Evaluación preliminar del riesgo aluvional en torno a la localidad de San Alfonso, región Metropolitana. Documento inédito.
- Hauser A, 1985. Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. *Revista Geológica* N°24 1985, p.75-92.
- Hauser, A. 2000.Remociones en masa en Chile. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN, Boletín N° 59.
- Keefer, D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 95, p. 406-421
- Keller, E.; Blodget, R. 2004. Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Editorial Pearson, S.A., Madrid 2004. 448 pp.
- Hauser, A. 1990. SERNAGEOMIN. Carta Hidrogeológica de Chile. Hoja Rancagua, VI región. 1:250.000. 74 p.
- Lara, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 212 p.
- Leyton, F.; Ruiz, S.; Sepúlveda, S. 2010. Reevaluación del peligro sísmico probabilística en Chile Central. *Andean Geology*. Versión on-line. ISSN 0718-7106. V. 37, n° 2. Julio 2010, 21 pp.
- Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255 Sismicidad de Chile.
- Muñoz, E., Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S. 2012. Nuevos antecedentes sobre la falla Marga-Marga y sus implicancias en el peligro sísmico, T9, p. 854 – 856.
- Muñoz, E. 2013. Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en áreas urbanas. Estudio de caso Viña del Mar, V región. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias mención Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 164 p.

- 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.
- Ruiz, S. y G.R. Saragoni. 2005. "Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo". IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, p. 16-19.
- Sabaj, R. 2008. Identificación y caracterización de estructuras potencialmente activas en la cordillera de la costa, entre los 33° y 33°45' Sur. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología.
- Sauret, B., 1987. Coulées de débris canalisées. Compte rendu bibliographique. In Risques Naturels. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, No.150-151, p.65-77.
- Selby, M.J., 1993. Hill slope materials and processes. Second Edition, Oxford University Press, 451 pp.
- Sepúlveda, S.A., 1998. Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Sepúlveda, S.A., Padilla, C., 2008. Rain-induced debris and mudflow triggering factors assessment in the Santiago cordilleran foothills, Central Chile. Natural hazards, 47, 201-215.
- Sepúlveda, S.A. y Serey, A. 2009. Tsunamigenic, earthquake-triggered rock slope failures during the 21st of April 2007 Aysén earthquake, southern Chile (45.5°S). Geological Note. Andean Geology 36 (1), pp. 131-136.
- SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000.
- SERNAGEOMIN. 2012. Atlas de Faenas Mineras, Regiones de Valparaíso, del Libertador General Bernardo O'Higgins y Metropolitana de Santiago (Versión Actualizada). Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas y Estadísticas de Faenas Mineras de Chile No 9: 177 p. Santiago.
- Padilla, C., 2006. Análisis de factores meteorológicos desencadenantes de remociones en masa en el sector oriente de Santiago. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), Gobierno de Chile, Junio 2011. Registro de Propiedad Intelectual N°: 205-409. I.S.B.N.: 978-956-8468-34-7
- Norma Chilena Oficial. Diseño Sísmico de Edificios. NCh433.Of.1996. Instituto Chileno de Normalización y modificaciones 2010 y 2011.
- Gobierno Regional (GORE). Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Plan Regional de Ordenamiento Territorial. Informe Etapa II. Componente Riesgos. División de Planificación y Ordenamiento Territorial. Diciembre 2012.
-