

**ESTUDIO DE RIESGOS NATURALES
PLAN REGULADOR COMUNAL DE PERALILLO**

LOCALIDADES DE PERALILLO Y POBLACIÓN

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.....	7
3.1	LA COMUNA.....	7
3.2	GEOMORFOLOGÍA	8
3.3	GEOLOGÍA.....	12
3.4	VEGETACION.....	14
3.5	HIDROLOGÍA E HIDROGRAFÍA.....	15
3.6	CLIMA	15
3.7	ACTIVIDAD MINERA.....	16
4.	AMENAZAS CONSIDERADAS.....	16
4.1	REMOCIONES EN MASA.....	16
4.1.1	DEFINICIÓN Y TIPO DE REMOCIONES EN MASA	16
4.1.2	FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES	19
4.2	VOLCANISMO.....	22
4.3	SISMOS	22
4.3.1	SISMOS Y FUENTES SISMOGÉNICAS	22
4.3.2	ANTECEDENTES SÍSMICOS EN LA REGIÓN	25
4.4	FALLAS GEOLÓGICAS	27
5.	ZONAS DE RIESGO EN LA COMUNA DE PERALILLO	29
5.1	REMOCIONES EN MASA.....	29
5.1.1	INTRODUCCIÓN	29
5.1.2	TIPO DE REMOCIONES EN MASA EN LA COMUNA Y FACTORES CONDICIONANTES IDENTIFICADOS	30
5.1.3	ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA	30
5.2	VOLCANISMO.....	31
5.3	SISMOS	32
5.4	FALLAS GEOLÓGICAS	32
5.5	ÁREAS CON RIESGO DE INUNDACION	32
6.	CONCLUSIONES	37
7.	REFERENCIAS.....	38

FIGURAS

Figura n° 1: Ubicación comuna de Peralillo. VI región	7
Figura n° 2: Unidades morfológicas entre los 34° y 35° Lat. S mostrando referencialmente el área de estudio	8
Figura n° 3: Vista de cordón montañoso al sur de Peralillo	9
Figura n° 4: Vista de cordón montañoso al sur de Peralillo	10
Figura n° 5: Localidad de Población	11
Figura n° 6: Modelo de pendientes Localidad de Población	11
Figura n° 7: Modelo de pendientes Localidad de Población	12
Figura n° 8: Geología de la comuna de Peralillo	13
Figura n° 9: Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas	17
Figura n° 10: Remociones en Masa de tipo Deslizamientos	18
Figura n° 11: Remociones en Masa de tipo Flujo	18
Figura n° 12: Remociones en Masa de solifluxión y extensiones laterales	19
Figura n° 13: Sismicidad histórica entre 1900 y 2010	23
Figura n° 14: Esquema de subducción de Chile mostrando fuentes sismogénicas.....	24
Figura n° 15: Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto ..	25
Figura n° 16: Imagen de Mapa de Peligro Sísmico Probabilístico.	26
Figura n° 17: Imagen del Mapa de Amenaza Sísmica.....	27
Figura n° 18: Imagen del Mapa de Amenaza Sísmica.....	31
Figura n° 19: Imagen perfiles estero peralillo.	33
Figura n° 20: Áreas de riesgo de inundación sector urbano de Peralillo	33
Figura n° 21: Cauce actual canal Población.....	34
Figura n° 22: Áreas de riesgo de inundación sector urbano	34
Figura n° 23: Perfiles de elevación sector norte de Población.....	35
Figura n° 24: Áreas de riesgo de inundación sector urbano de Población.....	36

TABLAS

Tabla n° 1: Clasificación de Remociones en Masa	17
---	----

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 Planes Reguladores de Once Comunas de la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins”, comunas con Modificaciones Sustanciales, se presentan los resultados del estudio de riesgos físicos de la comuna de Peralillo, 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 Peralillo (localidades de Peralillo y Población).

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** (UNDRO 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 **1:5.000** 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 a 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 a 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 Peralillo, se realizaron las siguientes actividades agrupadas según lo descrito a continuación:

- Etapa 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 estudio se concentra en las localidades urbanas de Peralillo y Población, las cuales fueron analizadas a distintas escalas a partir de la información disponible y de 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 a escala comunal y cada 2 metros en los entornos urbanos.

- Etapa 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 (los días 11 de agosto y 30 de diciembre del 2014) orientadas a validar la información geológica y geomorfológica, e identificar las amenazas presentes en la comuna, especialmente procesos de remociones en masa e inundaciones.

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

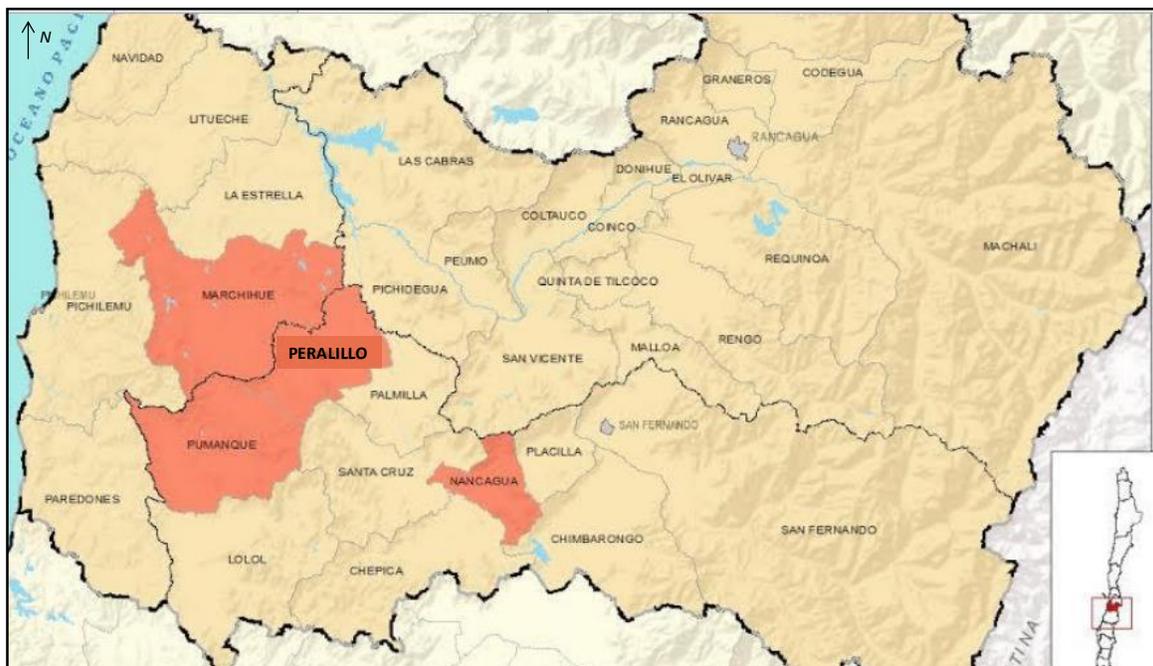
A partir de los antecedentes recopilados y la línea de base geológica y geomorfológica, se presenta una descripción cualitativa de cada uno en los fenómenos y su grado de afectación en las zonas urbanas, elaborándose los mapas de susceptibilidad (en caso que sean estos zonificables) a partir de la superposición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

3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LA COMUNA

La comuna de Peralillo pertenece a la Provincia de Colchagua en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Limita al Norte con la comuna de Pichidegua, al Sur con las comunas de Pumanque y Santa Cruz, al Este con la comuna de Palmilla y al Oeste con la comuna de Marchigüe (Figura 1. Ubicación de la comuna de Peralillo), referencialmente en las coordenadas 34°2'S y 71°29'W.

Figura n° 1: Ubicación comuna de Peralillo. VI región



Fuente: Nómade Consultores

3.2.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La descripción geomorfológica local se basa en los trabajos de Hauser (1990), Börgel, 1985 y el informe Análisis de Riesgos geográficos físicos e identificación y valoración del patrimonio local realizado por la consultora Cecilia Vidal (2002). La comuna se encuentra en la unidad de Serranías Intermedias, caracterizada por sectores llanos asociados a la llanura de inundación del río Tinguiririca, y la presencia de cerros islas que sobresalen de la topografía plana, y que están asociados al desmembramiento de la cordillera de la Costa descrito anteriormente.

El territorio comunal se integra a la cuenca del río Tinguiririca, presentando terrenos planos bajos a moderadamente ondulados en el sector norte y centro de la comuna, y está limitado por cordones montañosos bajos por el sur (alturas inferiores a 1.000 metros de altura). Ver Figura 3.

En el caso de Peralillo, el cordón montañoso está lejos del área urbana (más de 2 kilómetros del inicio) y presenta en este sector alturas que no superan los 500 metros. Las pendientes varían gradualmente desde los 5° en la base, alcanzando hasta los 50° en las partes altas, predominando pendientes menores a 30° en las laderas que se orientan hacia el poblado (valores obtenidos de la triangulación de curvas de nivel cada 5 metros), exhibiendo una morfología suave (Figura 4). Este cordón montañoso coincide con el cambio de depósitos, desde sedimentos cuaternarios que rellenan el valle a sectores con afloramientos rocosos. En el entorno a Peralillo se presenta con cobertura vegetal parcial, con escasa acumulación de detritos en su superficie y quebradas poco profundas y estrechas.

Figura n° 3: Vista de cordón montañoso al sur de Peralillo



Fuente: Imagen Google_earth intervenida.

Figura n° 4: Vista de cordón montañoso al sur de Peralillo



Fuente: Nómade Consultores.

Específicamente la localidad de Peralillo se emplaza en la llanura interfluvial de los esteros Peralillo y Lihueimo (más próxima al primero). De acuerdo a los antecedentes (estudio año 2002 y curvas cada 2 metros provenientes del levantamiento aerofotogramétrico del año 1998) a escala urbana se reconocen tres niveles aterrizados con cotas entre los 126 y 130 m s.n.m., lo que le da a Peralillo una morfología plana con terrenos ligeramente ondulados. Su topografía es regular y con escasa pendiente ($< 4^\circ$). En algunos puntos se alcanzan cotas inferiores a 100 m, lo que genera depresiones y ondulaciones, que provoca cierta anarquía de los cursos de agua, que escurren en diversos sentidos, produciendo ocasionales anegamientos

En el entorno se identifican algunos cerros importantes: La Cruz (350 m), Las Bateas (248 m), Camarones (212 m), El Fraile (215 m), Puquillay (344 m), Punta del Viento (324 m), Loma Las Cardas (238 m), Las Quiscas (476 m), Punta de Piedra (326 m).

Hacia el noroeste de Peralillo, por la ruta I-50 se encuentra la localidad de Población, emplazada en una superficie plana cortada por el canal Población, en la que se destaca la presencia de un cerro de baja altura (Cerrillo la Virgen) y un cordón de cerros que se prolonga hacia el surponiente (Figura 5). A partir de las curvas de nivel cada 2 metros provista para el estudio, se realizaron triangulaciones en Arcgis que dan cuenta de las pendientes en grados de las laderas. De acuerdo a dicha información, el Cerro La Virgen presenta cotas máximas de 300 m s.n.m. y alturas máximas menores a 35 metros, con pendientes dominantes menores a 15° en las laderas, alcanzando valores mayores en 50° en cortes puntuales al este (Figura 6). Estas laderas son de baja altura, y presentan cobertura vegetal parcial con escasos materiales disgregados en superficie.

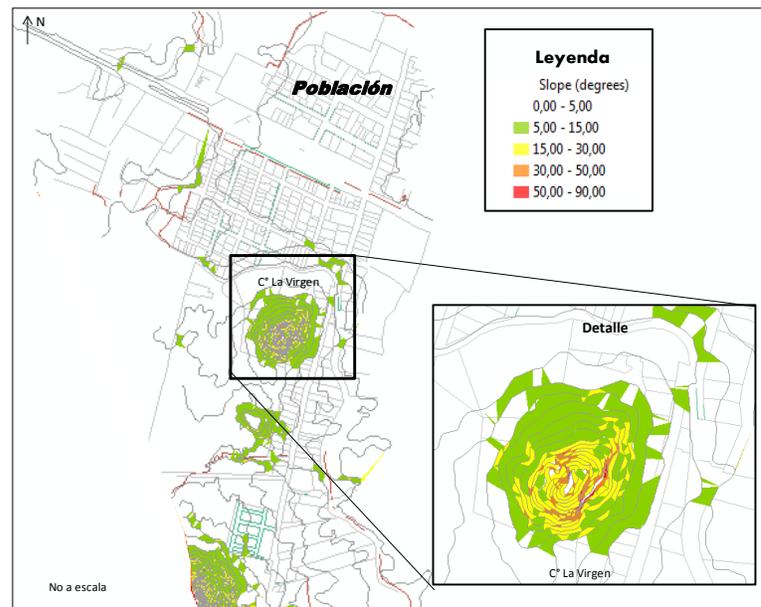
Hacia el sur de la localidad, por calle Manuel Rodríguez el poblamiento se emplaza en la base del cordón montañoso que continúa al suroeste, el cual se presenta con pendientes menores a 15° , aumentando paulatinamente hacia la parte superior, superando en ocasiones puntuales los 30° . Esta ladera presenta cobertura vegetal parcial, con escasos materiales acumulados en superficie (Figura 7).

Figura n° 5: Localidad de Población



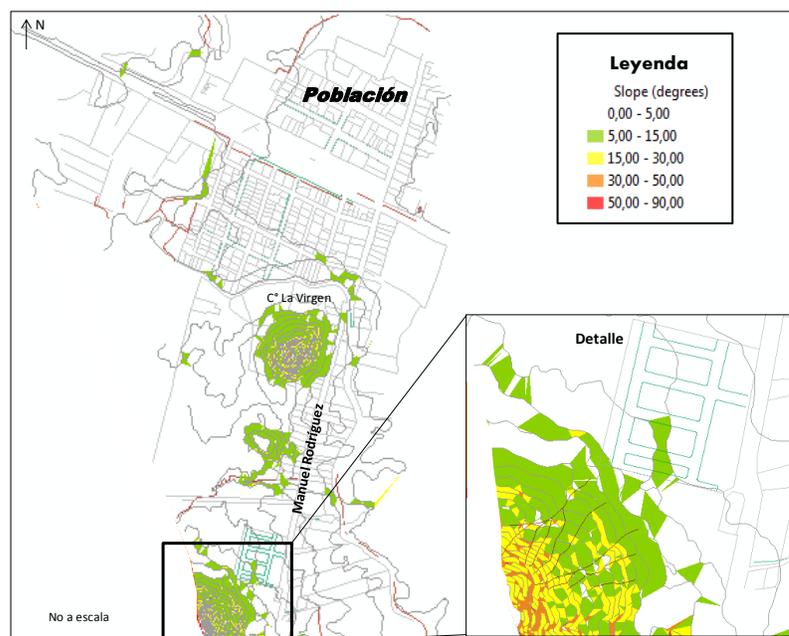
Fuente: Imagen Google_earth intervenida

Figura n° 6: Modelo de pendientes Localidad de Población



Fuente: Nómade Consultores

Figura n° 7: Modelo de pendientes Localidad de Población



Fuente: Nómade Consultores

3.3 GEOLOGÍA

3.3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

A escala regional (abarcando la cordillera de la Costa y las zonas de serranías), se reconocen franjas longitudinales de oeste a este: 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 integrada por rocas meso-cenozoicas instruidas 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.

3.3.2 GELOGÍA LOCAL

La información geológica del área de estudio es escasa. Dentro de los antecedentes recopilados y analizados para el presente trabajo, se mencionan:

- Avance geológico de las Hojas Rancagua – Curicó – Talca – Linares – Chanco, Concepción y Chillán. Escala 1:250.000 (Escobar, F. et al. 1977).
- Carta Hidrogeológica de Chile. Hoja Rancagua, VI región. 1:250.000 (Hauser, 1990).
- Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. SERNAGEOMIN.

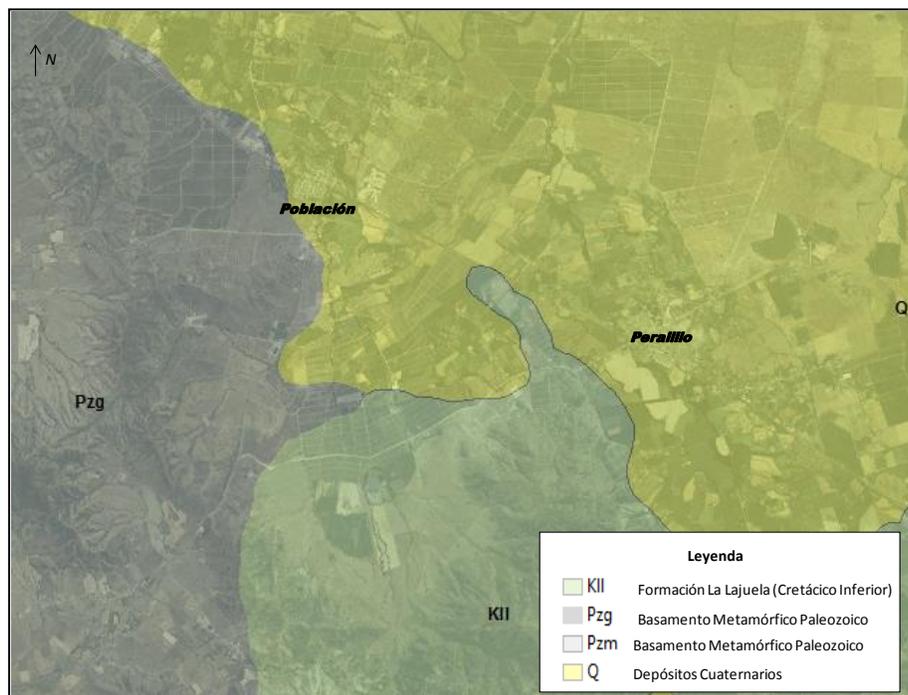
Es importante señalar que la información citada (a) corresponde a un material inédito, mientras que en la carta hidrogeológica (b) el autor hace el alcance que en la división de las unidades geológicas se utilizaron criterios

geológicos, geotécnicos y su influencia en las características hidrogeológicas e hidrológicas de las unidades (por ejemplo, porosidad, grado de fracturamiento, grado de meteorización). Dado que este último trabajo presenta una mayor diferenciación entre los sedimentos cuaternarios, se presentará la Geología a escala comunal (basándose en el trabajo de Escobar, et al. 1977) y la geología a escala de áreas urbana (especialmente en las localidades del estudio: Población y Peralillo) basándose en el trabajo de Hauser, 1990.

Las unidades geológicas presentes de más antiguo a más nuevo son según Escobar, et al. 1977 (Figura 8):

Unidad Pzg. Basamento granítico Paleozoico. El basamento granítico consiste fundamentalmente en tonalitas y granodioritas de grano medio a grueso. En algunos sectores se pudo observar intensa alteración (minerales de arcilla, ceolitas y sericita) y a óxidos de hierro, lo que genera horizontes superficiales de regolito y niveles amaillados, brindándole a las laderas aspectos blanquecinos o rojizos según sea el caso.

Figura n° 8: Geología de la comuna de Peralillo



Fuente: Elaboración a partir de estudio de Escobar et al. 1977

Formación La Lajuela (Cretácico Inferior). Corresponde a una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias marinas y continentales, constituida por andesitas y volcánicas, con potentes intercalaciones de rocas sedimentarias (calizas, lutitas, areniscas y conglomerados). También se han reconocido como parte de esta secuencia lavas ácidas (coladas riolíticas y brechas). En general la secuencia presentaría un rumbo entre N 7° a 30° E y un manto de 50° NE. Para los sectores de estudio, esta unidad tiene poca relevancia.

Depósitos Cuaternarios (Q). En el mapa geológico de Escobar (1977) no aparecen diferenciados los depósitos recientes, sino que se representan agrupados en una sola unidad (Q) y corresponden principalmente a depósitos fluviales, aluviales, coluviales. Hauser (1990) diferencia depósitos cuaternarios, que se describen por la importancia que puedan tener desde el punto de vista de comportamiento hídrico y sísmico. Sin embargo es importante destacar que la fuente de información es 1:250.000, por lo que puede no ser muy precisa a la escala de localidades, situación que deberá ser abordada con estudios específicos basándose en la legislación.

Entre los depósitos diferenciados, se reconocen en la comuna:

Depósitos Fluviales asociados a Cauces actuales. Estos materiales no consolidados incluyen fragmentos que conforman los actuales cauces de los ríos mayores y afluentes más significativos.

Depósitos Fluvio-Aluvionales. Descritos como depósitos no consolidados, que se asocian a crecidas temporales capaces de sobrepasar los cauces establecidos, invadiendo extensos territorios llanos adyacentes. Corresponden a sedimentos de origen fluvial y de tipo aluvional, que incluyen frecuentes niveles con gran cantidad de bolones y fragmentos de rocas de gran tamaño (0.5 a 1.5 m de diámetro) vinculados a flujos torrenciales de alta energía.

Depósitos Cineríticos (Qc). Esta unidad agrupa depósitos de cenizas volcánicas con contenidos de pumita (“piedra pómez”), esquirlas de vidrio y escasos fragmentos líticos. En superficie producto de meteorización y/o lixiviación desarrolla una costra tobácea que impide la percolación de aguas superficiales.

La diferenciación de depósitos cuaternarios, radica en la importancia que puedan tener desde el punto de vista de comportamiento geotécnico, hidrológico y sísmico, situación que debe ser analizada con estudios específicos a una escala adecuada.

En términos de geología estructural, si bien a escala regional (1:250.000 y 1:100.000) se reconocen fallas y lineamientos estructurales con orientación globales de N30°W a N60°W, en particular, la comuna de Peralillo no estaría atravesada por fallas geológicas mayores.

3.4 VEGETACION

Según el estudio “Análisis de Riesgos geográficos físicos e identificación y valoración del patrimonio local realizado por la consultora Cecilia Vidal (2002)” en Peralillo la vegetación presente se integra al llamado matorral esclerófilo de Chile Central, el que en gran parte ha sido devastador para utilización de los terrenos en actividades agrícolas; sobresaliendo como especie dominante el espino (*Acacia caven*), el cual aparece ocupando tanto terrenos planos como los colinajes bajos. Especies introducidas, como eucaliptos y álamos, forman parte del paisaje vegetacional acompañando los terrenos cultivados. Llama la atención la ausencia de forestación en la comuna, hecho sorprendente dado que los cronistas mencionan gran cantidad de especies autóctonas casi hasta mediados del siglo XX.

En 1918 se inventariaron 650 Ha de bosque en la hacienda Peralillo que ocupaba solo una parte de la comuna. En la actualidad, el bosque nativo está representado por renovals, cubriendo una superficie total de 960 Ha, presentando una mayor cobertura los árboles más bajos. En general se reconocen:

- Matorral Arborescente: Sectores aislados en terrenos moderadamente ondulados al noreste del río Tinguiririca, terrenos bajos en el límite occidental y laderas de las montañas en el extremo sur.
- Matorrales: Cerros y montañas en el extremo sur.
- Praderas: Terrenos moderadamente ondulados en el límite norte de la comuna hasta las cercanías de la localidad de Peralillo.
- Plantaciones: Puntos muy localizados en Población y Rincón Los Molineros.
- Renovals: Relieves de cerros al suroeste de Peralillo y en el extremo occidental de la comuna.

En términos de procesos físicos que modelan el relieve, la vegetación es importante en las laderas con pendiente pues retiene el desplazamiento de materiales por gravedad, como queda en manifiesto en las laderas sureste de los cerros de la comuna.

3.5 HIDROLOGÍA E HIDROGRAFÍA

EL Estero Peralillo afluente de Las Cadenas, nace al sur de Rinconada de Peralillo y atraviesa toda la comuna de sur a norte. Al interior del área urbana se desplaza en sentido suroriente- norponiente, entre las cotas 124 y 126 metros alcanzando un ancho aproximado de 6.0 metros, dimensiones que aumenta considerablemente fuera del área urbana.

La comuna se integra a la cuenca del río Tinguiririca y sus tributarios principales; posee una red de drenaje ramificada y compleja, en gran parte determinada por la tectónica local y el relieve local. La cuenca se origina en la Cordillera de Los Andes, a los 3.500 m de altura; tiene, por lo tanto alimentación mixta: nival en época de deshielos y pluvial en el invierno. Luego de atravesar la depresión intermedia, el río Tinguiririca ingresa en los cerros de la Cordillera de la Costa siguiendo un plano estructural fallado que determina un trazado casi rectilíneo de su lecho; en efecto, el curso del río se orienta en sentido sur-norte hasta salir del espacio comunal para tomar contacto con el río Cachapoal, a unos 12 Km al oeste de la ciudad de Las Cabras, formando en conjunto el Embalse y río Rapel que desemboca al norte de la caleta de Navidad.

Al interior del territorio comunal, el río Tinguiririca escurre sobre un extenso llano aluvial, recibiendo aportes de importantes tributarios: esteros Las Toscas, Lihueimo y Calleuque, que corren por el extremo este de la comuna; por el centro escurre el estero Peralillo, que luego pasa a denominarse Las Cadenas al tributar al Tinguiririca. Por el oeste se desplaza en sentido norte-sur el estero Cherquén, que nace en el Embalse Mellermo y se transforma en canal al sur de la localidad de La Población.

El estero Lihueimo nace con el nombre de San Miguel en las Lomas de Pumanque y luego de regar las tierras de la comuna de Marchigüe de sur a norte sigue en esta misma dirección, cambiando su rumbo de poniente a oriente antes de ingresar al territorio comunal. Este tramo constituye el límite norte de la comuna de Peralillo y de la Provincia de Colchagua. El estero Peralillo, afluente de Las Cadenas, nace al sur de Rinconada de Peralillo y atraviesa toda la comuna de sur a norte. Al pasar por el sur de la cabecera comunal, su cauce se ensancha y se constituye en pantano, dividiéndose en dos brazos después de doblar al poniente. Un sistema de esteros y quebradas recorren desde el sur y el sur-poniente la comuna, desembocando los más importantes en Las Cadenas y perdiéndose el resto a medio curso; entre éstos desatacan los pequeños afluentes de Las Cadenas: quebrada Los Juncos, zanjón San Miguel, quebradas El Cortijo y Santa Ana; los afluentes del Peralillo: las Quebradas de Parrones, Los Patos y otras de curso intermitente; el estero de Cañete y quebradas El Lingue y la Higuera que alimentan el canal Población; la quebrada Los Peumos que corre de norte a sur internándose en la vecina comuna de Pumanque. Por último se presentan varias quebradas de curso errático entre el Tinguiririca y el Lihueimo.

La alimentación nival del curso principal y los numerosos afluentes costeros que aportan sus aguas, hacen de la cuenca del río Tinguiririca un sistema complejo en cuanto al carácter sinuoso que presenta el escurrimiento, a lo que suman las características del sustrato que en gran parte está conformado por materiales impermeables; en efecto, la calidad del subsuelo constituido por toba de origen volcánico, por su baja, casi nula permeabilidad, produce estancamiento de aguas en los desbordes de los ríos, esteros y canales o en los años excesivamente lluviosos. Sin embargo en la época estival sus caudales bajan y el escurrimiento en casi nulo

3.6 CLIMA

La comuna de Peralillo se encuentra en una zona denominada mediterránea con estación seca prolongada, clasificándose como tipo Csb1 de Köppen. Dichas características son similares a todas las ciudades del Valle Central. Las temperaturas invernales varían entre 0° y 18° C, en los meses más fríos con ocasionales heladas; en verano rara vez exceden los 35°. Debido a las características del relieve de esta zona, cuencas semicerradas por cordones montañosos, no existe influencia de la humedad litoral en los espacios interiores, lo cual se traduce en una nula acción moderadora del mar sobre las temperaturas y en la existencia de marcadas amplitudes térmicas

diarias, de hasta 20° en verano y 15° en invierno. Los registros pluviométricos para estaciones cercanas indican valores promedios anuales entre 600 a 700 mm/año, concentrándose las lluvias en las meses invernales: mayo, junio, julio y agosto.

3.7 ACTIVIDAD MINERA

Según el Atlas de Faenas Mineras de Chile (Sernageomin, 2012), en la comuna de Peralillo solamente hay dos concesiones mineras:

- Empresa Cemento S.A., con la faena Mina Cantera La Patagua, y que corresponde a una mina Rajo Abierto que explota Carbonato de Calcio Blanco (materia prima para el cemento obtenido de rocas calcáreas). Esta faena se describe en la referencia como pequeña minería en proceso de regularización.

- Empresa Minera Río Teno S.A, con la cantera La Patagua donde se explotan tobas (lajas de roca). Esta faena también se considera como pequeña minería en proceso de regularización.

Según las coordenadas entregadas en el documento de referencia, ambas faenas se ubican a menos de 1 kilómetro de Población hacia el sureste, fuera del área urbana. El proceso de regularización de ambas faenas deberá cumplir con las exigencias de la actual legislación.

4. AMENAZAS CONSIDERADAS

A partir de los antecedentes expuestos, se resumen a continuación las amenazas de origen geológico e hidrometeorológico que pudiesen afectar a las localidades de Peralillo y Población, 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 la 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			
	Traslacional			
Extensiones laterales			Grano Grueso	Grano fino
Flujos			(detritos, <80% paticulas <2mm)	(barro, >80% paticulas <2mm)
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, pero que están fuera de la comuna de estudio.

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).

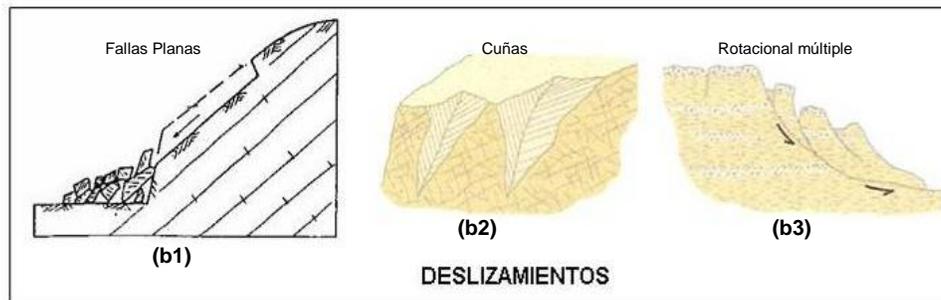
Figura n° 9: Remociones en Masa de tipo Caídas de Rocas



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 10 – casos b1 y b2). En el caso de los deslizamientos de tipo rotacionales (b3 de Figura 10), 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° 10: Remociones en Masa de tipo Deslizamientos



Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

Otro tipo de mecanismo frecuente son los flujos (tipo c de Figura 11), 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 presenten. 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° 11: Remociones en Masa de tipo Flujo

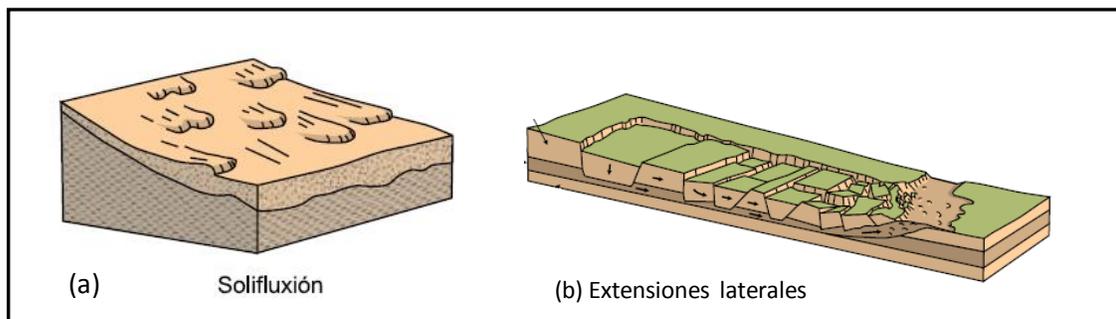


Fuente: Modificado de González de Vallejo et al. 2002

En la categoría de remociones en masa tipo flujo de baja velocidad, menor a 1,5 m/día, se identifican procesos de Solifluxión 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° 12: 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, que están fuera de la zona de estudio. 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 Peralillo 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. En ambos casos, la comuna se encuentra fuera de las áreas de peligro por volcanismo.

4.3 SISMOS

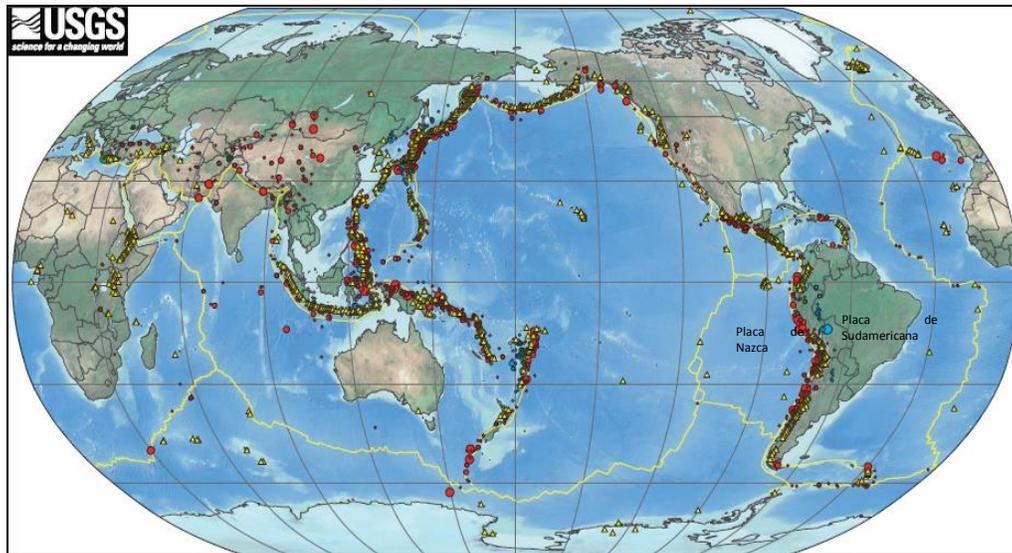
Si bien la OGUC (en su apartado 2.1.17) no menciona los sismos dentro de las amenazas que generen zonas de construcción condicionada, es sabido que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, y que estos fenómenos son considerados dentro de la planificación territorial a través de estudios específicos 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 13, 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° 13: Sismicidad histórica entre 1900 y 2010



Fuente: National Earthquake Information Center – NEIC from USGS

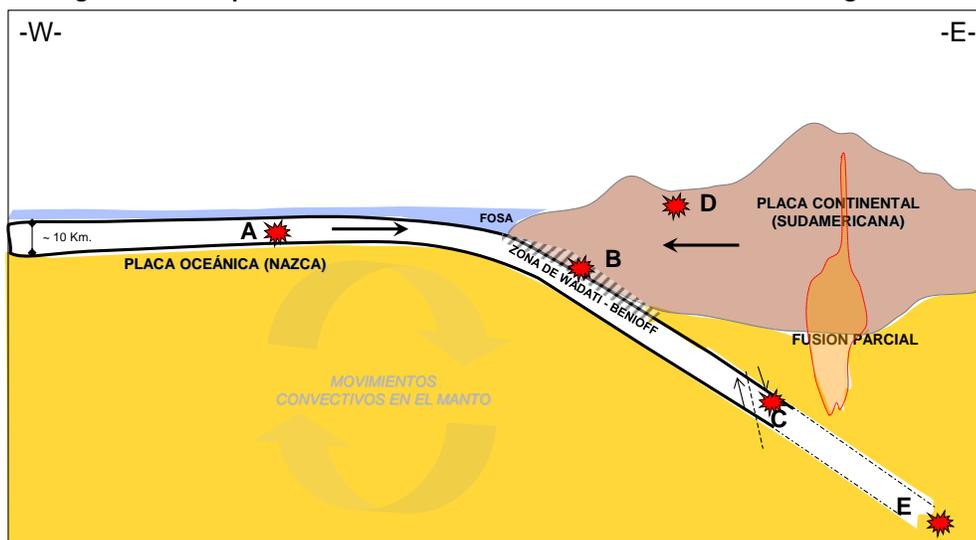
La subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana ocurre según un plano inclinado hacia el este con inclinación que varía entre los 15° y 30° respecto a la horizontal con un fuerte grado de acoplamiento (Madariaga, 1998) denominado zona o plano de Wadati - Benioff. La velocidad relativa de 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 14), 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 unos 50 a 60 kilómetros de profundidad (Tichelaar y Ruff, 1993, en Leyton et al., 2010; Belmonte-Pool, 1997).

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).

Figura n° 14: 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 las 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 14).

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 14). 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).

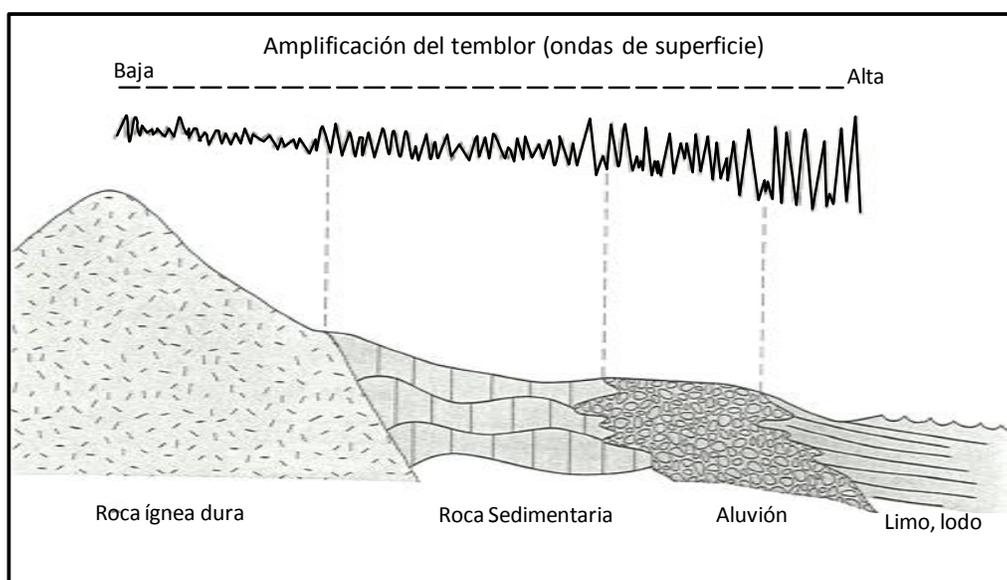
La sismicidad en la parte superior de la placa Sudamericana a baja profundidad (menos de 30 kilómetros) se conoce como **sismos corticales** (tipo D de Figura 16). Estos sismos serían producto del esfuerzo inducido por la subducción, que a la vez contribuye a la generación de relieve (es decir, la placa 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 15). 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° 15: Relación general entre el material del sustrato y la amplificación de la vibración durante un terremoto



Fuente: Modificada de Keller and Blodgett, 2004.

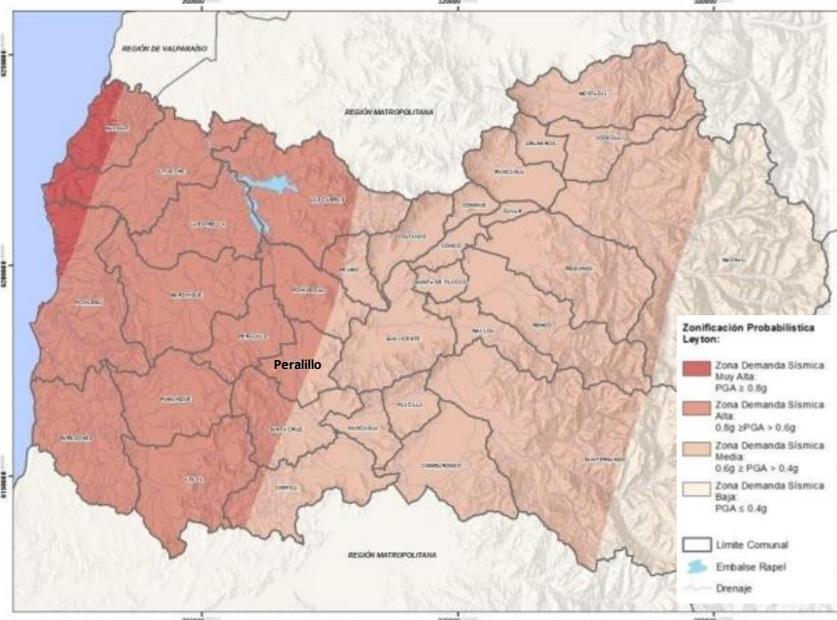
4.3.2 ANTECEDENTES SÍSMICOS EN LA REGIÓN

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 sismogénicas relevantes para el área de estudio y zonificar el territorio a partir la demanda sísmica (ver Figura 16).

Figura n° 16: Imagen de Mapa de Peligro Sísmico Probabilístico.

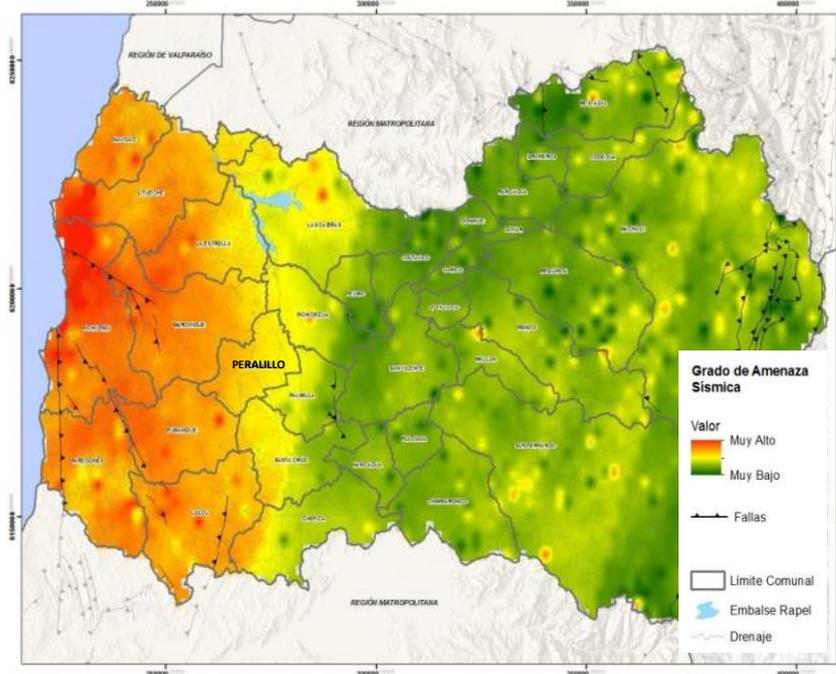


Fuente: Leyton et al., 2010

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 a los resultados del PROT (2012) la comuna de Peralillo se encuentra en el límite entre la Demanda Sísmica Media, valorizada entre $0.6g \geq PGA > 0.4g$ (Figura 16) y la zona de Demanda Sísmica Alta ($0.8g \geq PGA > 0.6g$). La escala del estudio no permite concluir a escala comunal el límite específico entre ambas zonas. Bajo un criterio conservador, sería recomendable considerar a la comuna de Peralillo bajo el peor escenario entre ambos (zona de Alta Demanda Sísmica) y analizar con mayor detalle el efecto de sitio generado por los suelos y depósitos cuaternarios de la comuna. Al tratarse de sedimentos poco consolidados de tipo fluvial, aluvial, pueden sufrir amplificación sísmica o fenómenos de licuefacción de suelos y extensiones laterales.

La Figura 17 muestra el Mapa de amenaza sísmica para la VI región (PROT, 2012), resultado del estudio de peligro sísmico realizado.

Figura n° 17: Imagen del Mapa de Amenaza Sísmica.



Fuente: PROT, 2012.

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 Peralillo, la información geológica local y regional no muestra lineamientos y fallas geológicas mayores.

5. ZONAS DE RIESGO EN LA COMUNA DE PERALILLO

Dentro de las amenazas descritas en el capítulo anterior, algunas están presentes en la comuna de Marchigüe. A partir de la superposición de información y análisis de los antecedentes, se definirán 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), el énfasis lo tuvo el área urbana Peralillo y la localidad de Población, no incluyéndose en el análisis los sectores rurales o no poblados.

Dentro de los peligros reconocidos, sólo algunos serán zonificables o se podrán representar espacialmente. 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 las que se puede categorizar la susceptibilidad y por lo tanto determinar una categorización de la misma.

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

5.1 REMOCIONES EN MASA

5.1.1 INTRODUCCIÓN

En el último tiempo, diversos autores han desarrollado en el mundo metodologías 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 y construcciones en sectores más escarpados. 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). Por esta razón, una primera evaluación suele estar orientada a evaluar Susceptibilidad.

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. Otros autores (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. O bien, proponen la evaluación de remociones en masa a partir de la evaluación de 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).

5.1.2 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 (con énfasis en las zonas urbanas de Peralillo y Población y los cerros de las rodean, no identificándose eventos de remociones en masa anteriores (caídas de rocas, flujo y deslizamientos de roca).

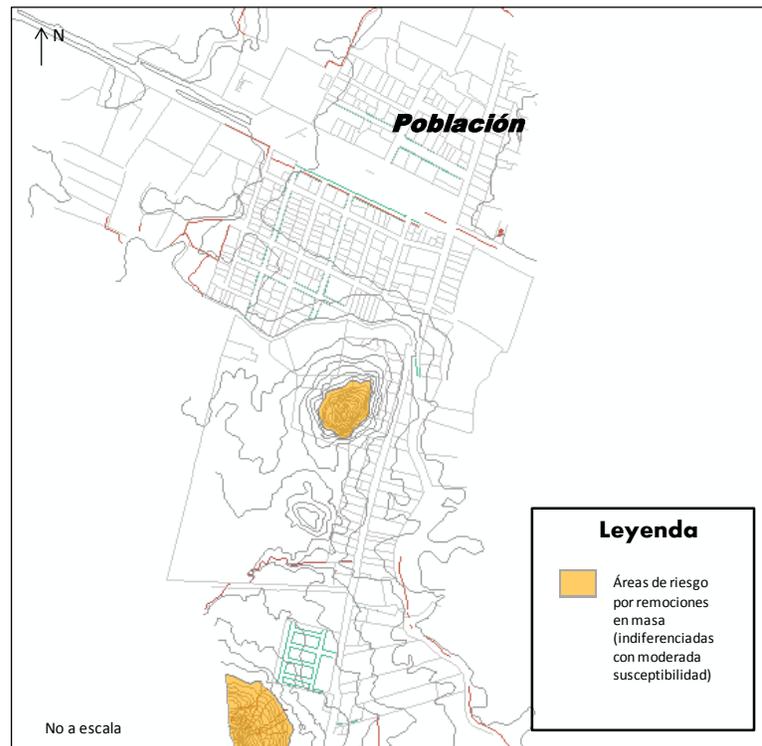
En el caso del cordón al suroeste de Peralillo, la morfología de las laderas y cubierta vegetal, no evidencian sectores con alta susceptibilidad de remociones en masa que puedan afectar los centros urbanos. Esto es sustentado en los factores condicionantes de tipo geomorfológicos (pendientes, alturas, forma de las laderas, orientación, cobertura vegetal y disponibilidad de material en la superficie). No obstante lo anterior, futuras expansiones hacia la base de las laderas, deberá estar acompañado de un estudio con mayor detalle en el área.

En el caso de Población, los modelos de pendientes realizados mediante triangulación a partir de las curvas de nivel (cada 2 metros) del Cerro la Virgen y del cordón montañoso sur (Figuras 6 y 7) muestra que en el entorno a Población las pendientes son menores a 5°. En las laderas de ambos cerros, estas aumentan paulatinamente desde hasta valores entre 15° y 30°, superando en ocasiones puntuales los 30°.

5.1.3 ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA

Si bien la literatura señala que con estas pendientes es factible la generación de procesos de remoción en masa, la poca altura de ambos cerros (menores a 40 metros en el área de estudio), la poca disponibilidad de materiales sueltos en superficie o ausencia de bloques preformados, sumado a la cobertura vegetal y ausencia de registros de eventos, permiten reducir su susceptibilidad. No obstante lo anterior, se definen dos sectores en la parte alta de ambos cerros sensibles a la generación de procesos de remoción en masa indiferenciadas, con moderada susceptibilidad tal como se muestra en la Figura 18. Esta zonificación se realiza escala 1:5.000 y será incluida en los ajustes al PRC Peralillo.

Figura n° 18: Imagen del Mapa de Amenaza Sísmica.



Fuente: Nómade Consultores.

Por otro lado, aquellos terrenos planos cercanos a los actuales cauces o que correspondan a una antigua llanura de inundación, y que presenten con sedimentos saturados no consolidados y no cohesivos saturados cercanos a superficie, pueden experimentar licuefacción o fenómenos de extensiones laterales ante sismos. Los alcances del estudio y la información disponible no permiten 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.

5.2 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 a los antecedentes presentados en el capítulo anterior, no existiría riesgo volcánico para la comuna de Peralillo, y por lo tanto no es zonificable.

5.3 SISMOS

En el caso de la amenaza por sismos, la OGUC en el apartado 2.1.17 no hace mención a ellos 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. Para la identificación y zonificación de dichos peligros a una escala con mayor detalle, requiriéndose para ello estudios más profundos.

5.4 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.

5.5 ÁREAS CON RIESGO DE INUNDACION

Inundaciones área urbana sector de Peralillo

El estero Peralillo ensancha su hoya siguiendo un curso errático, que ha inducido a seleccionar erróneamente terrenos para el emplazamiento de la población San Francisco, construida hace pocos años atrás y recientemente ampliada. En años lluviosos, después de una sequía prolongada, sus aguas se desplazan hasta el patio interior de las viviendas cercanas, dado que su curso es estrangulado por el puente; después se extiende un pantano, que con las lluvias se curso es estrangulado por el puente; después se extiende un pantano, que con las lluvias se transforma en un lago en su curva hacia el norte, situación que fue subsanada con la pavimentación el camino, por parte de la Dirección de Vialidad. Más al sur, en torno a la misma población, el curso del estero fue desviado por el municipio a objeto de alejarlo de las viviendas. El estero Peralillo recibe perpendicularmente, de norte a sur, un canal que desde la construcción del alcantarillado ya no conduce aguas servidas; por desembocar antes del puente mencionado, parece contribuir también a los desbordes.

En este sector el más importante es el canal Población que atraviesa toda la comuna de sur-este a nor-oeste pasando por la villa del mismo nombre. Por tratarse de un canal construido de acuerdo a técnicas hidráulicas y sometido a revisiones y mantenimiento obligatorio, los extremos pluviométricos no han causado daños de consideración en el sector urbano ni en su propio cauce

La revisión de las áreas de inundación del estero Peralillo, se realizó en base a la elaboración de perfiles topográficos de manera de determinar su cauce actual y su lecho de inundación posible en eventos extremos.

Los perfiles realizados confirman el área de inundación planteada en el PRC y que es corroborada con la consulta de los funcionarios municipales.

Cabe mencionar además que las características de los suelos por donde pasa este estero, límite sur del área urbana de Peralillo, son de muy baja permeabilidad, situación que conjugada con una baja pendiente y curvas prolongadas hace que el escurrimiento natural sea lento y produzca desbordes ante episodios de altas precipitaciones.

Perfiles lecho de inundación estero Peralillo

Figura n° 19: Imagen perfiles estero peralillo.

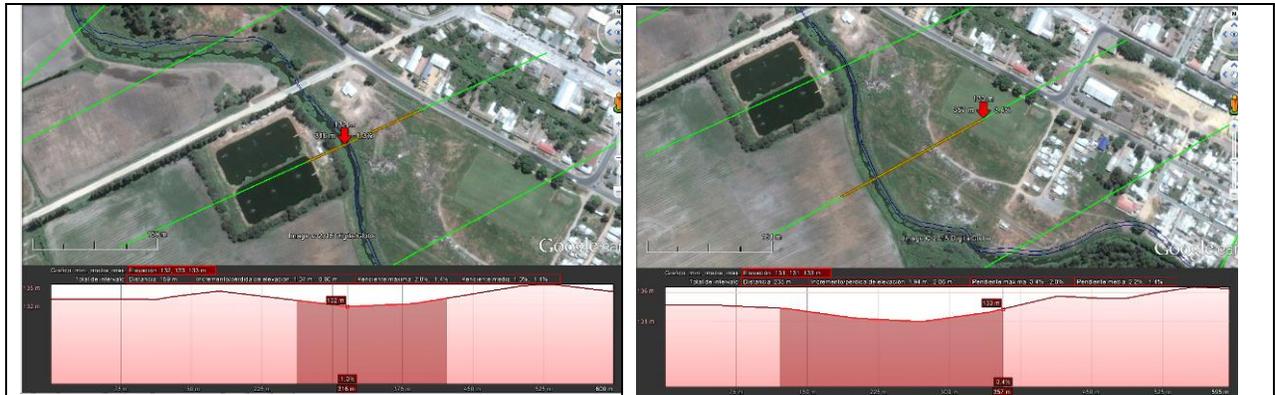


Figura n° 20: Áreas de riesgo de inundación sector urbano de Peralillo



Fuente: Elaboración propia

Inundaciones área urbana sector de Población

Las áreas de inundación en el sector de Población corresponden a los lechos de inundación de los curso de agua principal. El Canal Población, va de sur a norte y luego gira hacia el poniente atravesando la localidad. Su lecho se presenta bien definido, el sector del puente en la Calle principal de la localidad se encuentra intervenido con un muro de concreto que levanta un metro aproximado de la rasante natural del terreno, ayudando a contrarrestar la curva y el puente en este sector. Ver imagen siguiente

Figura n° 21: Cauce actual canal Población



Fuente: Elaboración propia

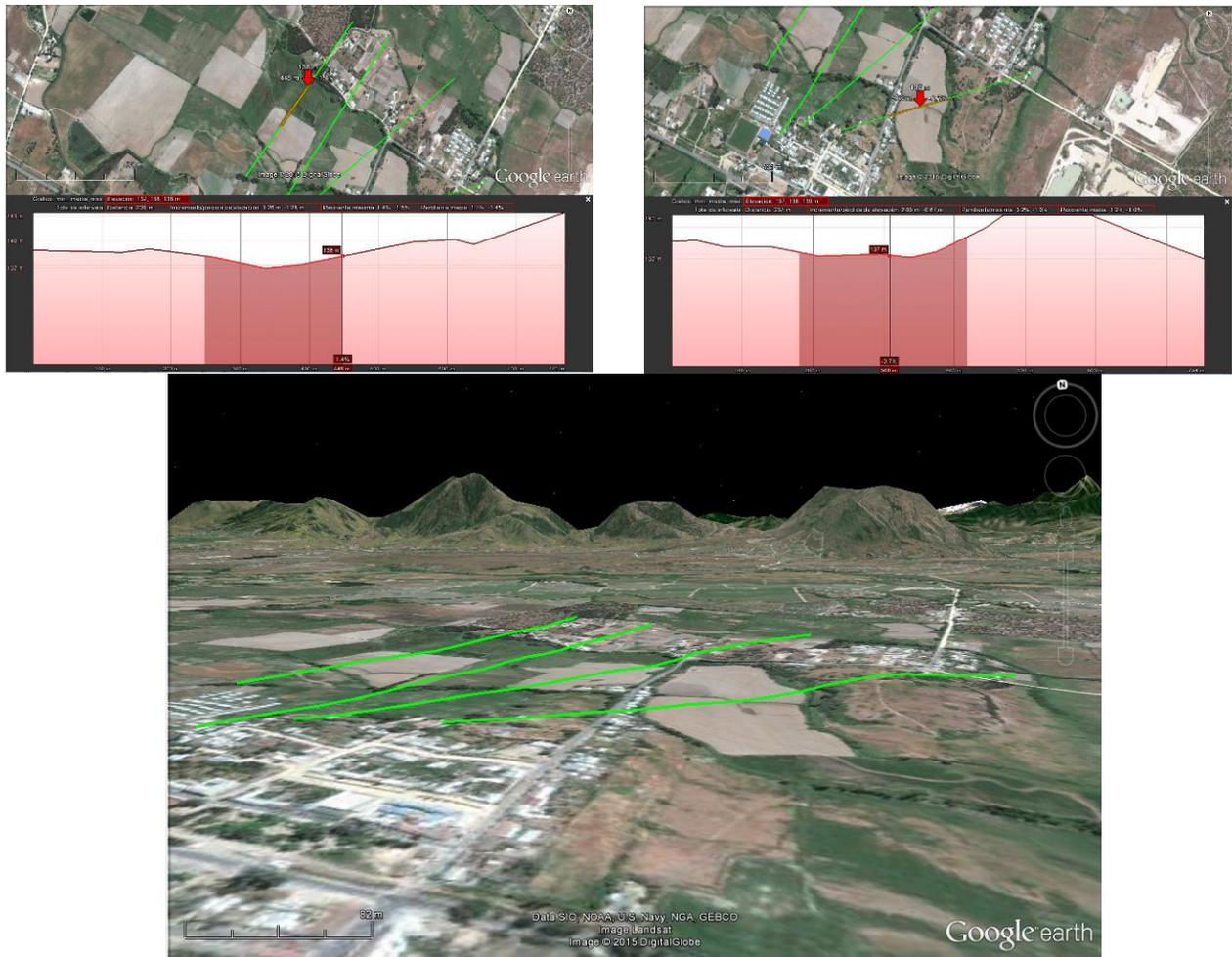
Figura n° 22: Áreas de riesgo de inundación sector urbano



Fuente: Elaboración propia

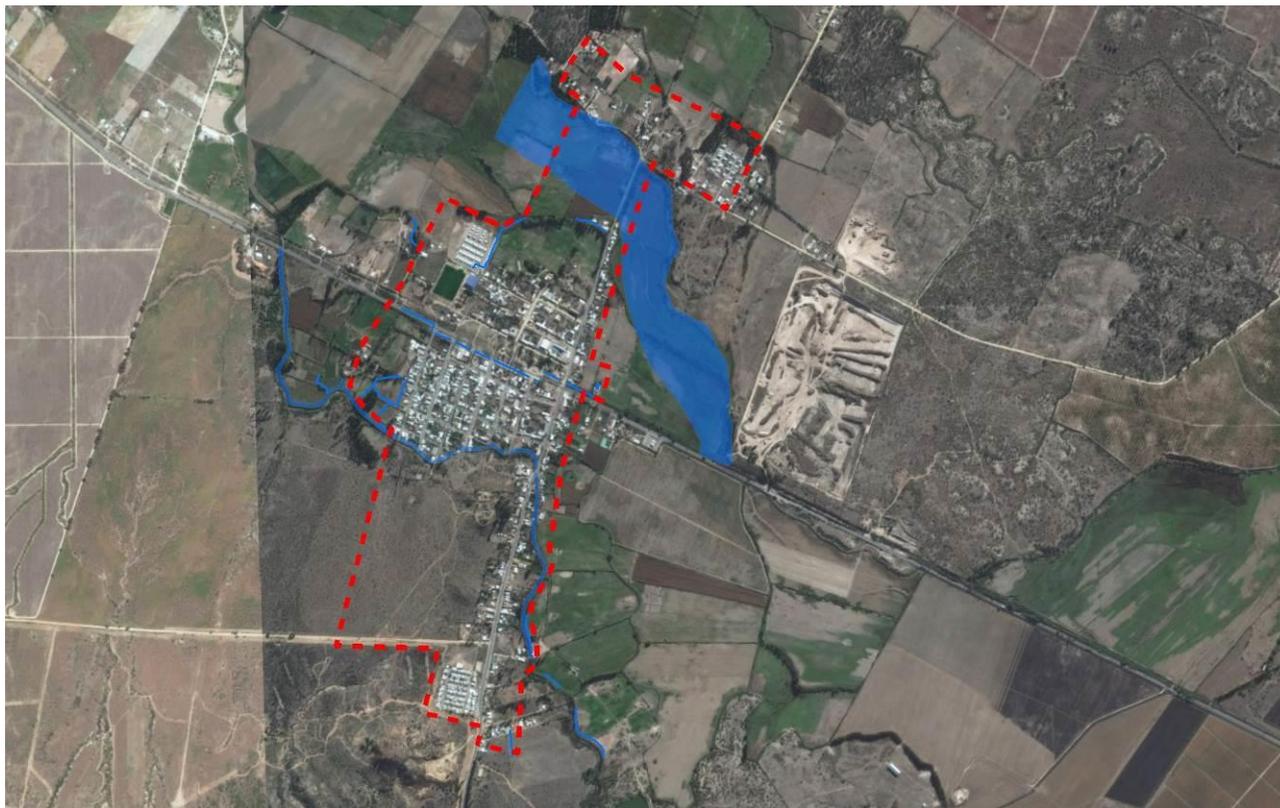
Respecto del sector norte de Población, existe un área deprimida drenada con un canal de baja pendiente, el que de acuerdo a lo señalado los vecinos del sector es común la acumulación de agua, actualmente corresponde a suelos agrícolas. De acuerdo al análisis de los perfiles de elevación del terreno, se corroboró lo mencionado con los vecinos, encontrando una depresión de más de un metro de diferencia entre las áreas pobladas. En base a los perfiles se pudo determinar el lecho de inundación de ese curso de agua, que en época invernal aumenta su caudal por acumulación de aguas lluvias

Figura n° 23: Perfiles de elevación sector norte de Población



Fuente: Elaboración propia

Figura n° 24: Áreas de riesgo de inundación sector urbano de Población



Fuente: Elaboración propia

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 Peralillo, 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 y remociones en masa indiferenciadas en las laderas de los cerros aledaños a Población, las cuales se analizaron y representaron a escala 1:5.000. En términos de remociones en masa, los resultados indican que existe una moderada a baja susceptibilidad de generación de remociones en masa indiferenciadas. Si bien no existen evidencias de eventos anteriores, podrían esperarse caídas de rocas puntuales en el sector, situación que se ve minimizada gracias a la morfología de las laderas (poca altura, formas suaves y con poco material detrítico acumulado en superficie).

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).

Respecto de las inundaciones por desbordes de cauces, en el caso de Peralillo se identificaron y corroboraron las áreas de inundación del Estero Peralillo en el Límite sur de la Localidad, además de incorporar el espejo de agua del tranque. En general la localidad de Peralillo posee una importante red de drenaje, la que si se mantiene en buenas condiciones de limpieza permite una adecuada evacuación de las aguas lluvias de la localidad. Esta gestión corresponde al municipio a través de la formulación de una ordenanza local respecto de la mantención de los canales en el área urbana.

En Población, la principal área de restricción por inundación, está localizada en el sector norte de la localidad y está compuesta por un curso de agua menor con una importante depresión del terreno, la que de acuerdo a los perfiles de elevación levantados arrojaron un cauce de inundación, confirmado lo mencionado por los habitantes del sector.

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., Compté, 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.
- Gajardo, A.; Carrasco, R. 2010. Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero de 2010. Observaciones en el sector de Nancagua – Yáquil, Comuna de Nancagua, Región del Libertador General Bernardo O’Higgins. (INF-O’HIGGINS-05). 9 pp.
- 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 No9: 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.
- Declaración de Impacto Ambiental Plan Regulador Comuna de Peralillo. Diciembre 2003 INTRAT S.A.