

## **ESTUDIO**

# **“Determinación de amenazas y análisis de riesgo del sector precordillerano de la Comuna de La Florida”**

**Profesional responsable:**

**Dr. FRANCISCO J. FERRANDO A.  
Geógrafo**

**2014**



## **Equipo del Proyecto**

**Geogr. Dr. Francisco J. Ferrando A.**, Jefe de Proyecto y encargado del estudio de las amenazas de origen geofísico e hidrogeomorfológico y los riesgos asociados.

**Geogr. Dr. Pablo Sarricolea**, encargado del análisis hidrometeorológico y su contribución como detonante de escenarios de amenazas.

**Geogr. Dr. Patricio Pliscoff**, encargado del estudio ecológico-biogeográfico, y de los servicios de morfoconservación y ambientales.

# Antecedentes

## La Precordillera para la ciudad que queremos

Tempranamente, en el Plan Regulador Metropolitano de 1994 se clasificó el ecosistema de la precordillera de Santiago como “Área de Preservación Ecológica”. Ello en parte considerando que Chile central ha sido reconocido a nivel mundial como uno de los 25 sitios prioritarios para la conservación biológica del mundo, ello dada la gran riqueza de plantas y animales, y el alto grado de endemismo del contrafuerte precordillerano de Santiago, entre otros. En este escenario, CONAF (1987) ya reconocía y clasificaba 16 especies como “con problemas de conservación” en el Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile.

Posteriormente, a inicios de noviembre del año 2003 se llevó a cabo el Simposio “La Precordillera de Santiago en la Planificación Urbana”. En este se resaltó el trabajo de “Protege” en la construcción del Gran Parque Natural de Santiago, en procura de promover una cultura que rescatara y cuidara la precordillera de la región como su mayor patrimonio.

Como visión se destacó el hecho que Santiago, con su creciente población, tiene como pocas ciudades del mundo el privilegio de estar próxima a grandes ecosistemas que conservan, en gran medida, sus condiciones naturales y de biodiversidad.

En este sentido, y con apoyo de organismos internacionales como el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y el Banco Mundial, Protege se encontraba desarrollando el Proyecto “Santiago Contrafuerte: Conservación de la Biodiversidad en la Precordillera de Santiago”, también con el patrocinio de las siete Municipalidades del oriente de la Región Metropolitana.

Este proyecto abarcaba 13.242 hectáreas sobre la cota 900 msnm, donde el 52% correspondía a lomajes, el 34% a escarpes o laderas de fuerte pendiente y el 6% a piedemonte. En dicha área se planteaba, entre otros, lograr la rehabilitación del ecosistema, restaurar y reforestar las zonas dañadas, establecer áreas de exclusión, establecer un Plan Maestro de Manejo y Conservación, desarrollar programas de educación ambiental y vida al aire libre, construcción de senderos instructivos, todo con el objeto de asegurar una gestión sustentable del área.

En este sentido, y en el ámbito educacional y de calidad de vida, no cabe duda de la necesidad de implementar programas que transmitan el valor de los ecosistemas precordilleranos, el sentido de pertenencia a estos paisajes, y la necesidad de proteger, conservar y recuperar estos sistemas naturales para la ciudad en sus múltiples beneficios, dentro de los que es fundamental no olvidar que

ellos cumplen un importante papel en la protección de la ciudad ante fenómenos naturales extremos, en el aporte de recursos hídricos, como reguladores climáticos y ambientales, así como un rol social y de esparcimiento que cada vez se reduce más por la desmedida expansión urbana.

Como parte de esta visión, es absolutamente pertinente recordar que en la Constitución Política de Chile se establece que “El derecho de propiedad está limitado por la función social de la propiedad (comprende los intereses del país, la seguridad nacional, la utilidad y salubridad públicas y la conservación del patrimonio ambiental)”. Esta norma es la fuente primaria del estatuto de protección de la naturaleza y del patrimonio ambiental, que puede imponer restricciones o limitaciones específicas al derecho de desarrollar una actividad económica y al derecho de propiedad, cuando esto contribuye a mejorar el medio ambiente y asegurar la permanencia y regeneración de sus componentes y los servicios ecosistémicos que provee, entre muchos otros.

## **GENERALIDADES**

Los estudios de riesgos, en tanto parte de los Planes Reguladores cuando se estima necesario, se avocan en primera instancia al análisis de contexto natural objeto de estudio, al reconocimiento de su estado en la ecuación de confrontación permanente entre dinámica y estabilidad, por consiguiente a la existencia de situaciones de amenaza potencial, las que pueden tener relación con procesos geofísicos (sismos), hidrogeomorfológicos (movimientos en masa) e hidrometeorológicos (desbordes e inundaciones, acumulaciones de aguas lluvias o anegamientos).

Lo anterior requiere del conocimiento de las características y situación en que se encuentran las componentes del medio natural, su estado de equilibrio y la recurrencia de fenómenos detonantes de cada tipo de amenaza, entendidas estas como aquellos procesos naturales o inducidos que por su magnitud y proyección espacial pueden llegar a afectar tanto el contexto natural (lo que se considera como evolución) como el espacio antropizado, en donde se configuran escenarios de riesgo potencial que de concretarse se transforman en desastres de diferentes niveles o categorías.

Un aspecto relevante en el establecimiento de la potencial manifestación de las amenazas lo constituyen los antecedentes tanto a escala geológica como histórica del tiempo, respecto de los eventos ocurridos en el pasado en cuanto a tipología, factor de gatillo, área de afectación y frecuencia de ocurrencia.

Solo en conocimiento de la naturaleza de formas y procesos, y de las reacciones del territorio en tanto respuesta a agentes endógenos como exógenos sobre sus distintas materialidades y condición en que se encuentran, es posible establecer la contribución de cada componente a la ocurrencia de fenómenos naturales de suficiente energía como para modificar abruptamente el paisaje, sea este natural o antropizado.

En atención a lo señalado, una primera etapa del estudio tiene por objeto establecer los escenarios propios de cada componente natural, y los niveles de contribución a generar amenazas. Establecidos los niveles de contribución particular a generar o desencadenar los tipos de amenazas que les son propios, una segunda etapa se orienta a la integración de estos conocimientos en la determinación de niveles de amenaza, sus relaciones causales, la espacialización de las mismas, la zonificación de territorio en estudio y la determinación de funciones, restricciones y recomendaciones para cada sector delimitado.

## ÁREA DE ESTUDIO:

Polígono comunal de carácter precordillerano y pedemontano limitado al norte por el eje de la Quebrada de Macul y Comuna de Peñalolén, al sur con la Comuna de Puente Alto, al oriente con la Comuna de San José de Maipo y al Poniente con el Canal Las Perdices (Fig. 1).

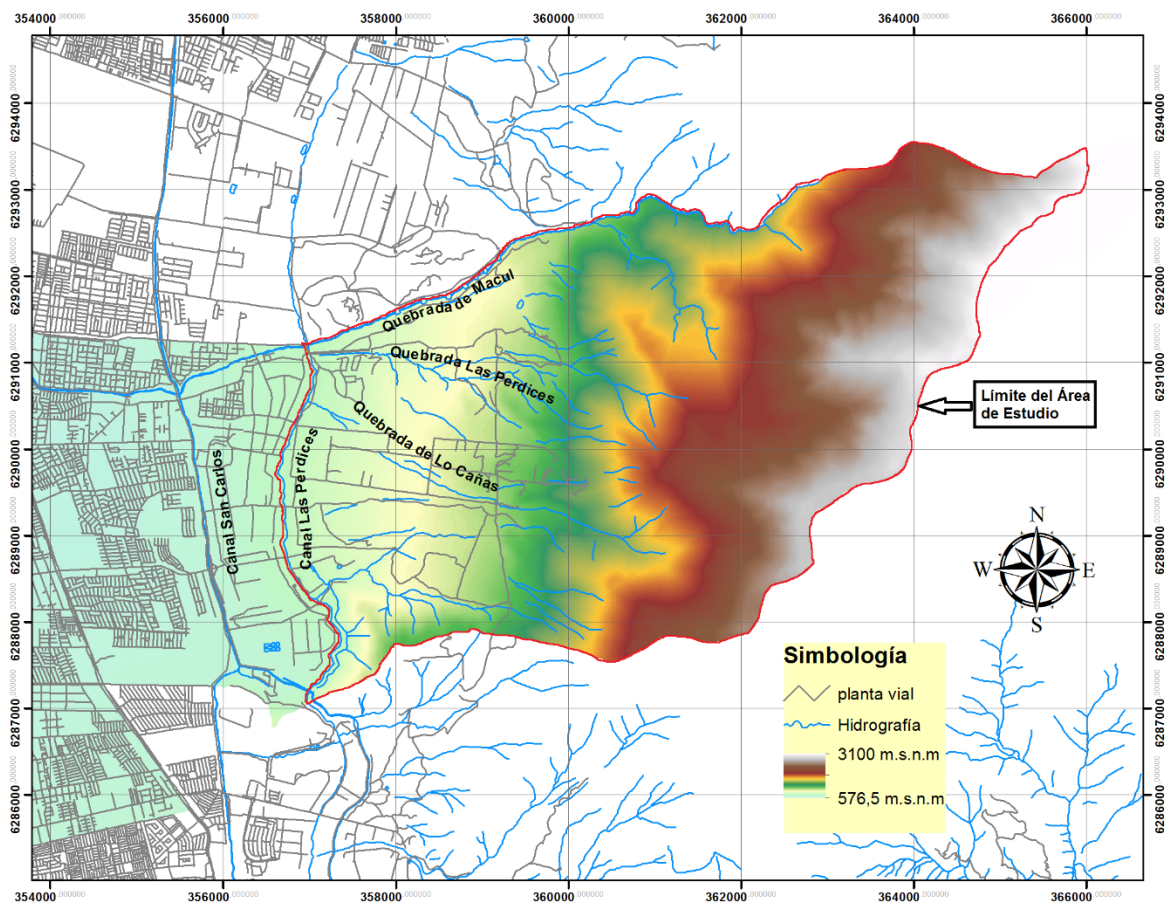


Fig. 1: Área de estudio

## **CONTENIDOS DEL INFORME**

De acuerdo con los objetivos planteados para este estudio, en lo que se definió como primera etapa, este informe de avance contiene la información de la línea de base, es decir, los antecedentes y análisis que permite determinar las características constitutivas y dinámicas de cada una de las componentes del medio físico, así como determinaciones respecto de sus estado evolutivo, procesos, tendencias y escenarios en tanto corresponda, todo ello en relación con la susceptibilidad a desarrollar amenazas naturales que puedan generar situaciones de riesgo para el sector pedemontano del territorio en estudio y su proyección aguas abajo en la medida que se proyecten sobre espacios con categoría de urbanos o urbanizables.

En dicho contexto, se presenta un análisis de las componentes del medio natural geología, tectónica, geomorfología, hidrología, climatología y biogeografía desde el punto de vista de su contribución a los escenarios de amenazas naturales y condiciones medioambientales.

En una segunda parte, y como resultado del análisis de los antecedentes primarios y secundarios disponibles, se efectúa una reinterpretación orientada a determinar los niveles de amenaza que entrañan las condiciones propias de cada componente.

Así, se considera la determinación de los niveles de amenaza propios de las componentes geofísicas (cruce de componentes lito-estructurales, tectónicas y sísmicas); los niveles de amenaza asociados a las unidades geomorfológicas según sus características y umbrales de procesos; los niveles de amenazas resultantes de las características hidromorfométricas de las microcuencas y el tipo de respuesta condicionado por las manifestaciones extremas de la componente hidro-meteorológica (precipitaciones máximas y caudales esperables); la situación de la componente biogeográfica, su rol y funciones, tanto respecto de las amenazas como socio-ambiental; y finalmente, aquellos aspectos que desde lo normativo y legal aportan directamente a una adecuada gestión del territorio en estudio.



## **ENFOQUE METODOLÓGICO GENERAL**

Dadas las características del área de estudio y su relación funcional con el resto del territorio comunal, en una primera fase se procedió a realizar una revisión de los estudios que dan cuenta o aportan a establecer la naturaleza de las componentes del medio natural, y su distribución y diferenciación espacial, lo cual condujo a la generación de las cartografías temáticas pertinentes a una escala estandarizada.

También, se realizó un reconocimiento directo del área de estudio dada la necesidad de recoger información en forma directa y aportar a la caracterización del estado de las componentes.

Como parte del reconocimiento en terreno y su contrastación con los resultados de estudios previos específicos, se analiza el estado natural y grado patrimonial de componentes biogeográficas, la existencia de especies protegidas principalmente desde el punto de vista ecosistémico y, por otro, se esboza el rol ambiental y los servicios ante la ocurrencia de amenazas hidro-geomorfológicas y geofísicas.

Considerando la caracterización de las distintas componentes, su estado y su rol en relación con fenómenos endógenos y exógenos, se analizan desde dicho punto de vista los cuerpos normativos e instrumentos legales que dicen relación con regular y cautelar los posibles usos de estos territorios desde el punto de vista del bien común.

Los antecedentes, el análisis y los resultados alcanzados en esta primera parte son sometidos a una caracterización e interpretación en base a índices e indicadores relevantes, con el objeto de determinar los niveles de amenaza y/o protección que se desprenden de cada uno de ellos.

Ello implicó en cada caso temático la selección y empleo de herramientas y criterios que llevaran a determinar unidades espaciales homogéneas en cuanto a nivel de amenaza en relación con cada componente natural.

En el proceso de construcción de los resultados se utilizaron matrices que permitieron cruzar variables y criterios propios de cada eje temático, así como también se vio la conveniencia de avanzar en la integración de otros, tal como en el caso de la relación de dependencia de los sistemas hidrológicos no solo de las características morfométricas de las cuencas, sino también de la componente climática, específicamente de los comportamientos pluviométricos y la respuesta generada en términos de escorrentía superficial.

En cada tema específico de la segunda parte de este informe se indican los procedimientos específicos llevados a cabo para determinar los niveles y tipos de amenaza pertinentes. Dichos

resultados se expresan en cartografías específicas, las que forman parte tanto de este informe como del atlas adjunto.

**PRIMERA PARTE**  
**MEDIO GEOGRÁFICO-FÍSICO COMUNAL**



## I.- COMPONENTES DEL MEDIO FÍSICO COMUNAL

### I.1. - Antecedentes Geológico-Estructurales sector precordillerano

Según Thiele (1980), casi la totalidad del sector precordillerano de la Comuna está conformado por la **Formación Abanico** (MTvs en la carta), de edad Cretácico superior a Terciario inferior, descrita por Aguirre (1960), quien la definió como una secuencia de volcanitas y sedimentitas clásticas terrígenas, de colores predominantes gris claro y púrpura rojo grisáceo. Su base es concordante con la Formación Colimapu, y su techo está marcado por una discordancia angular con la Formación Farellones. (Fig. I.1)

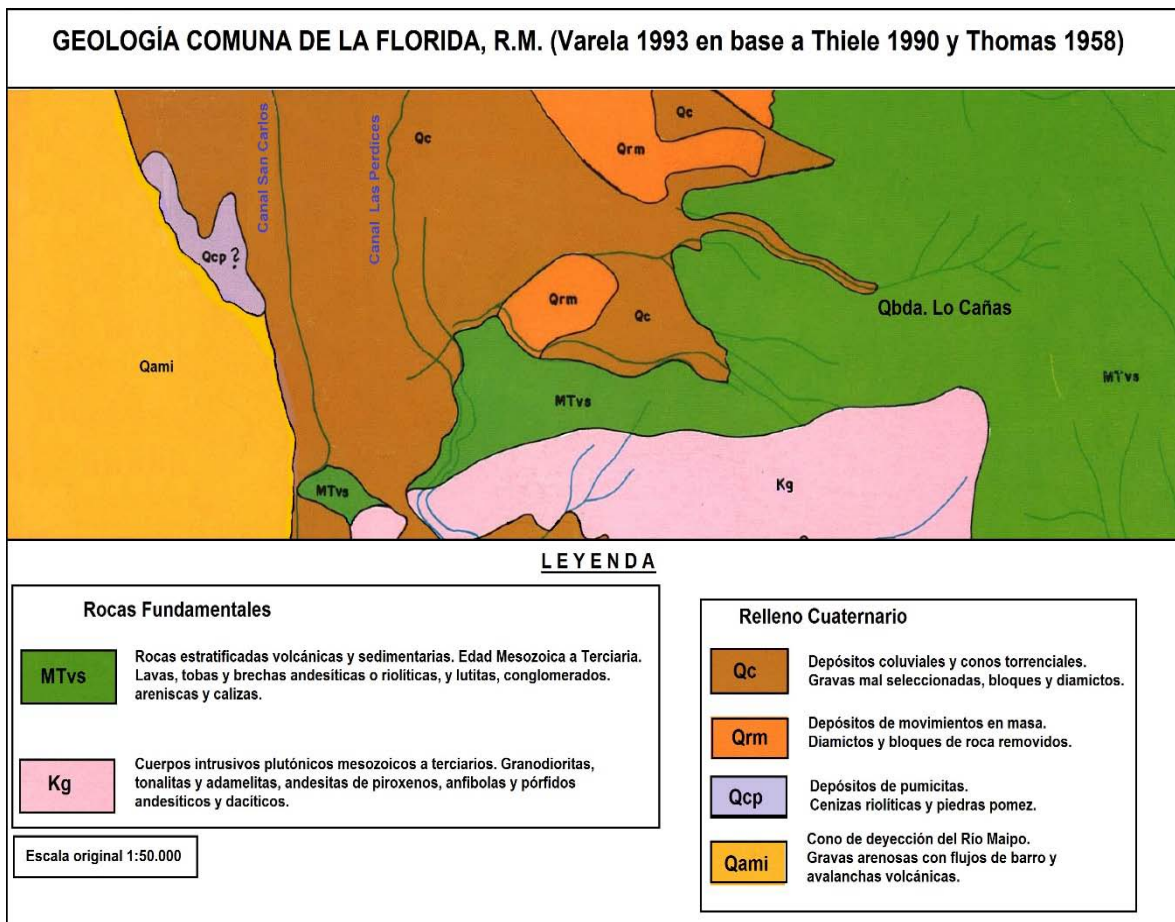


Figura I.1: Geología Comuna de La Florida

Algunas de las características de la Formación Abanico, la cual se representa en el mapa en color verde y con la sigla MTvs, son:

**- *Litología y Espesor:***

La secuencia está formada por tobas y brechas volcánicas, de colores predominantes violáceo, púrpura y gris, con intercalaciones de lavas y sedimentitas clásticas. En la parte inferior de la unidad predominan las brechas y tobas gruesas sobre las lavas y sedimentitas volcanoclásticas.

Las brechas volcánicas gruesas contienen clastos de 5 a 15 cm. de diámetro, y ocasionalmente hasta 60 cm., los cuales corresponden a andesitas porfíricas y afaníticas, con colores gris, verde y morado, en una matriz lítica arenosa de grano medio.

Las lavas son andesitas y riolitas. Las sedimentitas clásticas son escasas en relación al conjunto, y se desarrollan preferentemente en la parte superior de la secuencia. Se trata en estos casos, de areniscas de grano medio a fino, lutitas y limos finamente estratificados, con restos carbonosos y flora fósil.

El espesor del conjunto se estima en 3.000 mts., aún cuando se acepta que este aparece aumentado por las numerosas intrusiones interestratigráficas posteriores, tanto de filones-manto como de lacolitos andesíticos. Sin embargo, es posible también atribuir parte de esta actividad intrusiva al mismo episodio magmático que generó el volcanismo de la Formación Abanico.

**- *Correlaciones y Edad:***

En la Formación Abanico no se ha encontrado fauna fósil, y sólo se ha reconocido la presencia de *Nothofagus* en las intercalaciones de sedimentitas finas.

Por su relación estratigráfica con las Formaciones Colimapu y Farellones, y por correlaciones regionales establecidas, se atribuía a la Formación Abanico una edad Cretácico Superior (Maestrichtiano) a Terciario Inferior. Sin embargo, dataciones recientes efectuadas por el método del K/Ar en rocas pertenecientes a esta unidad han arrojado edades entre  $25,20 \pm 0,10$  y  $62,30 \pm 3,00$  millones de años (Drake et al, 1976).

Cabe destacar que las rocas de la Formación Abanico están todas medianamente alteradas y que las edades obtenidas están posiblemente relacionadas con la edad de la alteración. De todas maneras, también es posible sostener la proposición de Levi (1970), en el sentido que la alteración regional es relativamente contemporánea con el volcanismo, en relación con la discordancia mineralógica entre las unidades infrayacentes y suprayacentes.

Por otra parte, dataciones K/Ar en plagioclasa de andesitas intrusivas frescas que cortan la Formación Abanico, dan edades de  $19,50 \pm 0,50$  y  $20,00 \pm 0,50$  millones de años (Thiele et al, 1980).

En consecuencia, y considerando como mínimas las edades obtenidas, se atribuye la Formación Abanico a varios eventos volcánicos, o tal vez a un episodio volcánico continuado durante un largo lapso, desde fines del Cretácico al Oligoceno.

#### ***- Distribución y Características:***

La Formación Abanico tiene una amplia distribución en el sector andino central, presentándose en forma prácticamente continua tanto en los relieves precordilleranos como en la zona alto-andina.

Los estratos más gruesos aparecen en algunos sectores bastante deformados por pliegues muy marcados, lo que junto a un mayor grado de alteración de las rocas, permite distinguirla claramente en el terreno.

#### ***- Pisos Estructurales y Episodios de Deformación:***

Los rasgos estructurales del área permiten individualizar tres pisos estructurales andinos, sobreimpuestos al zócalo hercínico (Carbonífero y Permo-Triásico), los que aparecen separados por discordancias angulares y definidos por diferentes grados y estilos de deformación.

Esta situación tectónica es la que permite reconocer, para el ciclo andino, a lo menos dos episodios de deformación compresivos importantes, y un tercero y último de carácter extensivo.

El primer episodio compresivo de la orogenia andina provoca los plegamientos principales en este sector de los Andes. Es el más importante desde el punto de vista de la generación de estructuras andinas y, por esta razón, se le denomina "Fase Tectogenética". Los pliegues que origina son bien marcados, cerrados y recumbentes, y comprometen como un sólo conjunto a las rocas estratificadas de varias Formaciones.

El segundo episodio compresivo mayor y que se sobreimpone al primero produciendo un replegamiento general en el área. El intenso plutonismo presentado por las Unidades Intrusivas

parece ligado a este episodio, y a él se atribuye la generación de los volúmenes montañosos o relieve andino, denominándose por esta razón "Fase Orogenética".

Disconformidades internas locales y de escasa magnitud areal se observan en la Formación Abanico, lo que parece ser común en este tipo de unidades volcánicas.

#### **- *Unidad Intrusiva***

Las rocas intrusivas constituyentes del sector precordillerano comunal corresponden a la Unidad intrusiva I, de edad Mioceno, la cual conforma el sector central y la vertiente sur del cordón de cerros que limita la Comuna de la Florida con la de Puente Alto.

Esta unidad corta a Formaciones sedimentario-volcánicas terciarias con algunos diques de composición andesítica. Los tipos litológicos principales que constituyen este complejo intrusivo son: Granodioritas, Monzogranitos, y Monzonitas cuarcíferas.

Determinaciones radiométricas realizadas en muestras de esta unidad, mediante el método del K/Ar, has dado valores de 24,0 y 10,0 millones de años en biotita (Aguirre et al, 1974),  $10,6 \pm 3,0$  millones de años en plagioclasa, y  $11,6 \pm 1,3$  millones de años en hornblenda y biotita (Vergara y Drake, 1979).

Considerando las edades K/Ar obtenidas, y la relación de contacto de estos cuerpos intrusivos con Formación Farellones, se asigna una edad Miocena a ella. En cierta forma, ambas formaciones serían contemporáneas y los plutones podrían corresponder a las raíces de la cadena volcánica que dio origen a la Formación Farellones.

Dado su fracturamiento orogenético y la alteración por intemperización, estos cuerpos intrusivos suelen desarrollar afloramientos denudacionales provistos de bloques inestables, los que suelen desprenderse y rodar ante eventos telúricos y climáticos (lluvias intensas y vendavales).

#### **- *Aspectos estructurales***

Un aspecto trascendental para la producción de detritos y la estabilidad de las laderas, que resulta significativo en el contexto de los movimientos en masa, dice relación con el manto de las capas respecto de las laderas del frente precordillerano.

Según se observa en la Carta geológica de Santiago (Thiele 1990) y en la clasificación de vertientes de Araya (1985) para el sector, el manto de las capas es discordante a estas últimas, resultando una alta exposición de los frentes de las capas lo que, conforme a su alto fracturamiento interno, genera un sector altamente productor de corredores de derrubios y



taludes detríticos. Esta variable y su influencia en el desprendimiento de fragmentos detríticos según sea la mayor o menor concordancia entre este manto y la pendiente longitudinal de las laderas (conformes versus disconformes), es evidente tanto en las fotografías aéreas como en el reconocimiento directo en terreno.

## **I.2.- Unidades del Piedmont**

En el sector del piedmont, entendido como una transición entre la base de las laderas y la parte más plana de la Depresión ocupada por el gran cono de deyección del Río Maipo, se reconocen fundamentalmente dos formas de depósitos sedimentarios derivadas de procesos similares dentro de la familia de los movimientos en masa:

La primera corresponde a formas acolinadas derivadas de flujos detríticos densos del tipo diamético, con presencia hídrica menor, los cuales no alcanzan distancias considerables respecto de su origen. Estos materiales, mal seleccionados y con abundantes bloques rocosos, se frenan rápidamente ante el cambio de gradiente que enfrentan a abandonar el ámbito montañoso, así como también por una matriz de reología poco plástica.

El segundo tipo de forma que integra el piedmont corresponde a los denominados conos torrenciales, los cuales son también flujos detríticos pero de menor densidad producto de un mayor contenido hídrico. Sus materiales son también heterométricos por lo que dada su reología fluidal adquieren la forma de conos de deyección pero de fuerte pendiente y trayectoria de alcance moderado (algunos kilómetros). Dada esta característica, suelen dejar abandonados los materiales más gruesos en su sección proximal y avanzar con los demás sedimentos hacia las partes más bajas (zona distal). Estos conos torrenciales en su mayoría culminan al entrar en contacto con los sedimentos del cono del Río Maipo (fenómeno de oclusión).

Localmente se reconocen algunos depósitos correspondientes a cenizas volcánicas, el más conocido se ubica en la zona de contacto entre la distal de los conos torrenciales y el borde del cono del Río Maipo. Son materiales granulares bien seleccionados y de compactación moderada producto de reacciones químicas ante la presencia de agua. Se les asocia en su origen al mismo fenómeno que derivó en las pumicitas de Pudahuel.

## **I.3.- Estudio Geotécnico de Suelos**

Respecto de las unidades morfológicas del piedmont, el estudio geotécnico de suelos del sector (Milovic, 2000) revela correspondencia de los dos tipos de flujos detríticos señalados con suelos aluvionales y de movimientos en masa. La parte más superficial de estos depósitos, si bien presenta evolución pedológica de los materiales finos, su composición granulométrica revela una

fuerte pedregosidad, la cual muestra un fuerte predominancia de bloques rocosos de dimensiones decimétricas a métricas. Muchos de ellos aparecen semienterrados o directamente en superficie, lo cual revela procesos erosivos pretéritos a actuales que han hecho un lavado y arrastre de los materiales finos (arenas y gravas) hacia los sectores más bajos.

Por ello, en la parte distal de los conos torrenciales se distinguen suelos arcillo-limosos, los que tienen contenidos de gravas con una reducción porcentual y de tamaño en la medida que se alcanza su extremo inferior. Estos materiales entran en contacto hacia el oeste con los sedimentos del cono del Río Maipo, los que corresponden a suelos granulares (principalmente rodados y arenas) (Fig. I.2)

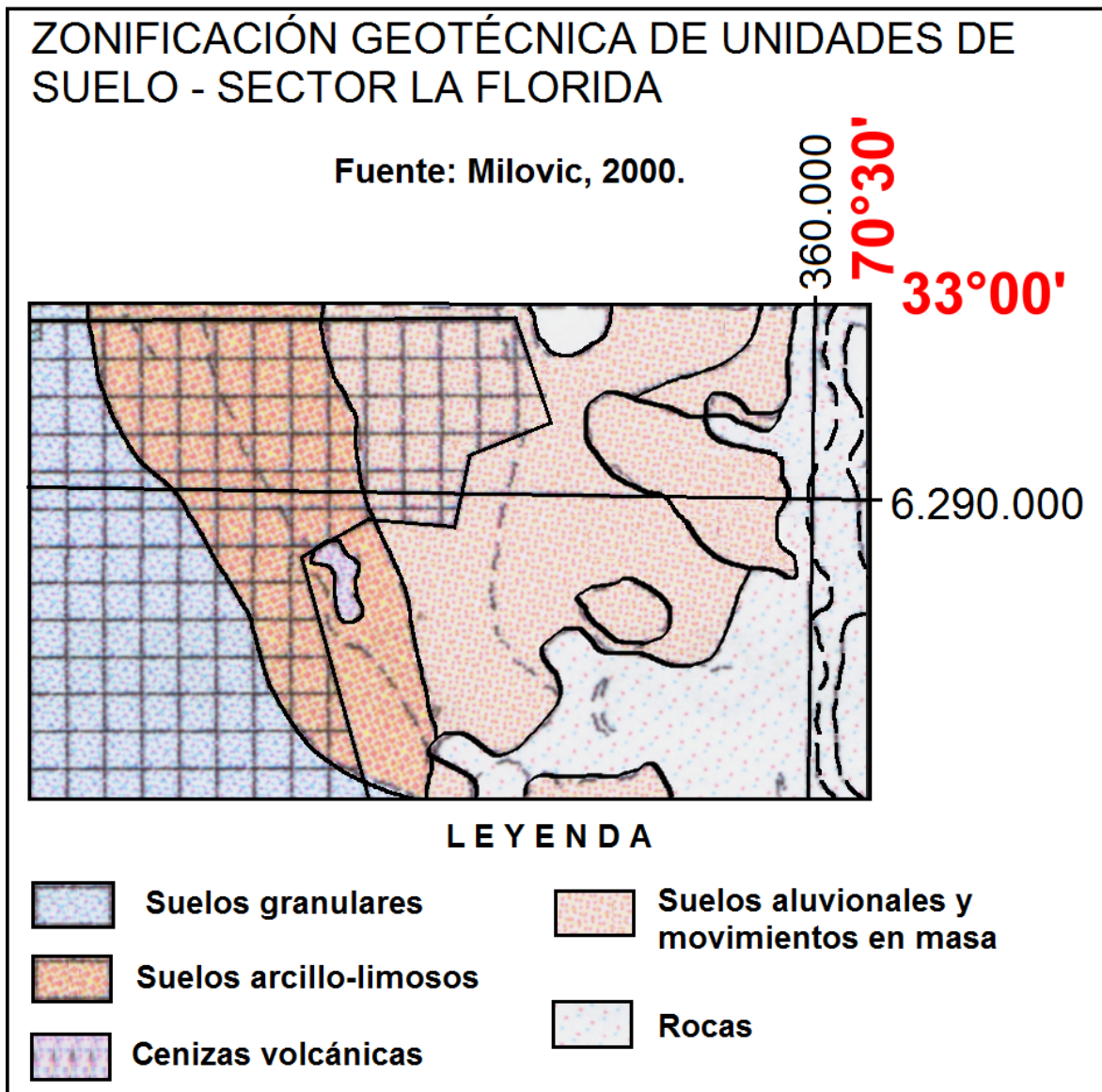
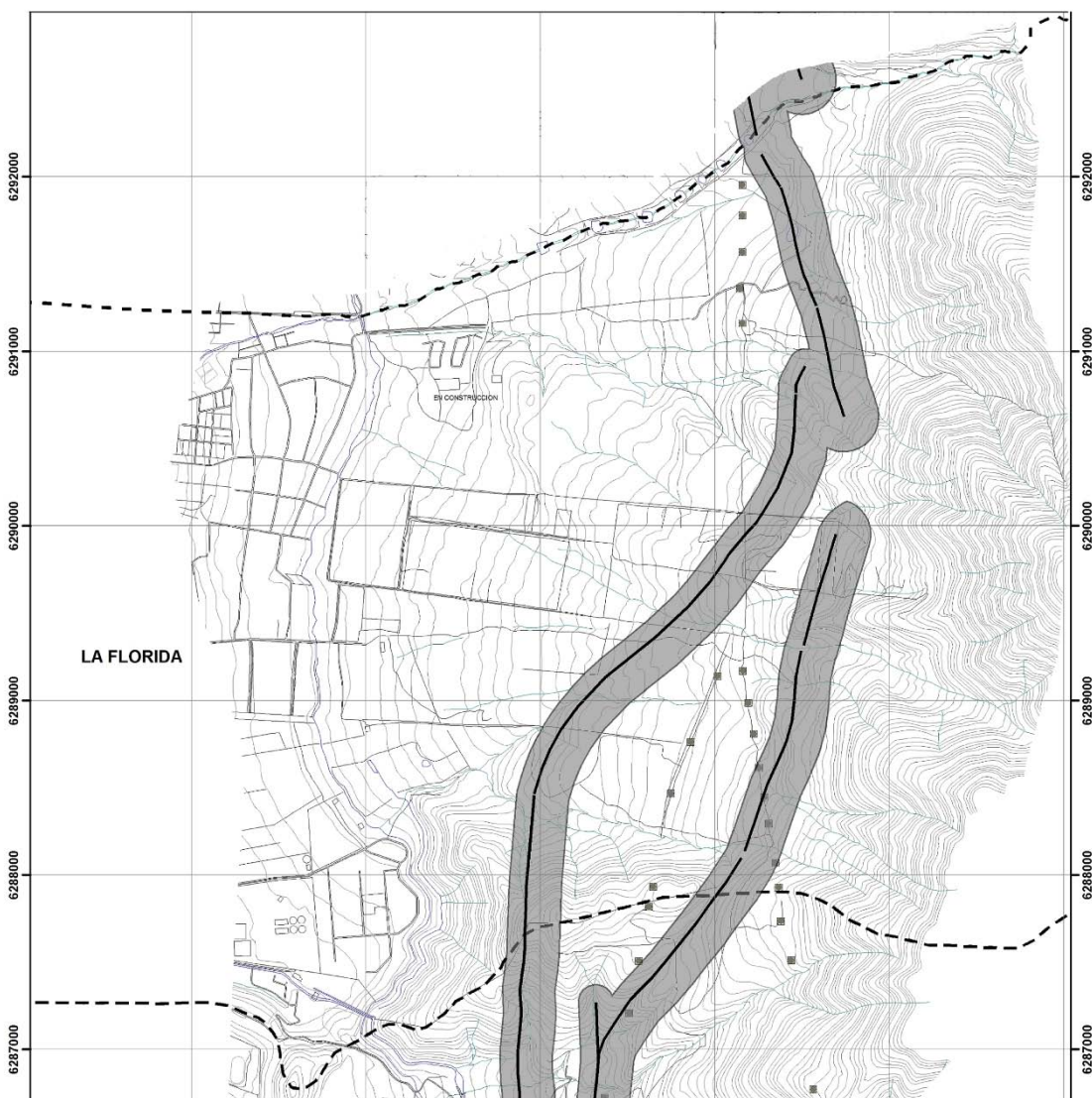


Figura I.2: Geotécnica de suelos.

#### **I.4.- Contexto Morfoestructural**

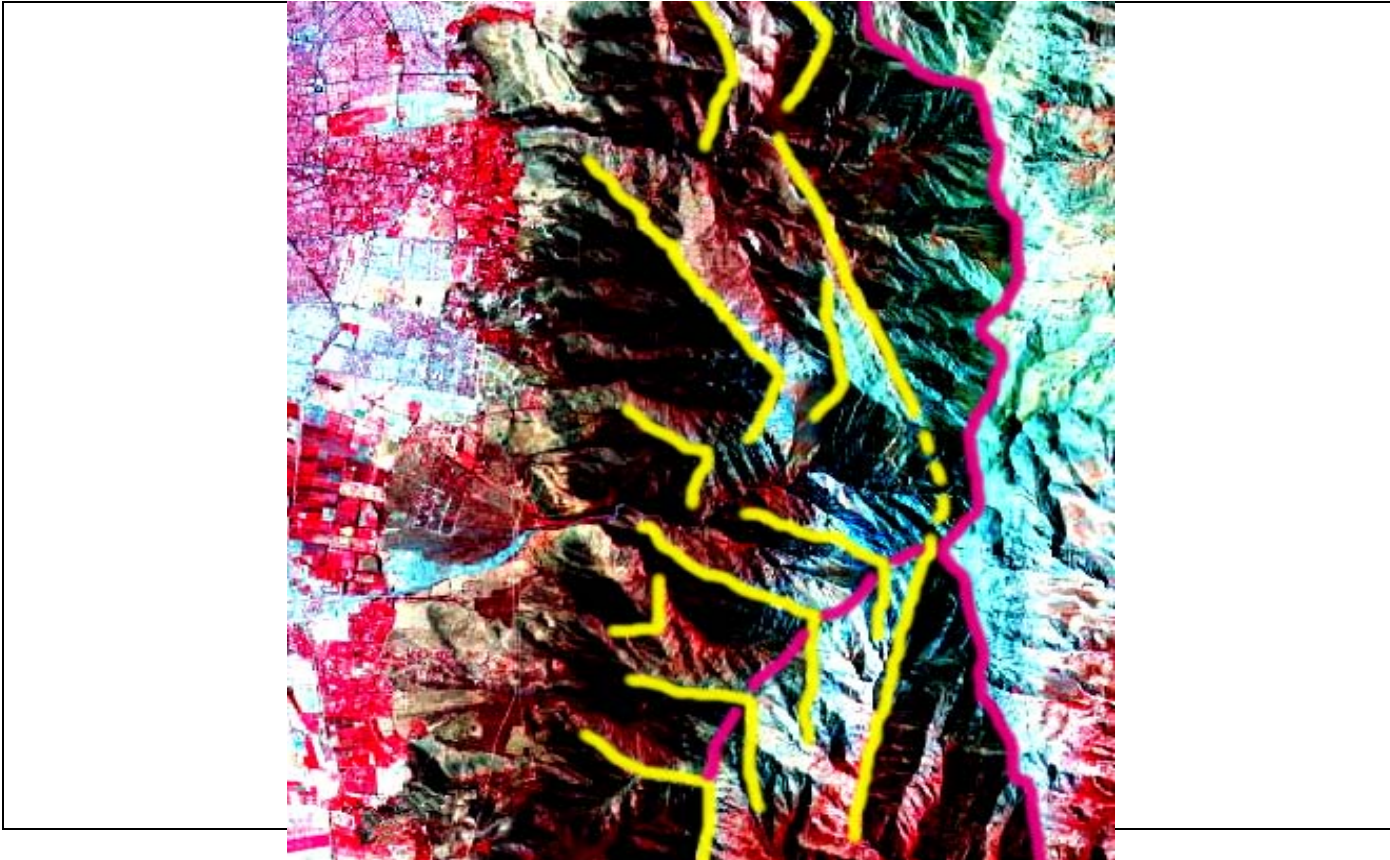
Desde este punto de vista, los relieves montañosos precordilleranos corresponden a los resultados de largos e intensos procesos erosivos que han actuado sobre un frente de falla que, además de la falla principal (Falla de Ramón) ubicada en el sector proximal del piedmont, (Figura I.3) presenta una serie de bloques desnivelados dentro del sistema de laderas, los cuales se reconocen por la presencia de abruptos y quiebres de pendiente que configuran diversas facetas trapezoidales (Figura I.4).

#### **TRAZA DE LA FALLA DE RAMÓN - COMUNA DE LA FLORIDA**



*Figura I.3: Trazas de la Falla de Ramón en el piedmont de La Florida*

Al respecto se señala que la Cordillera andina limita con la Depresión en forma abrupta y marcada, con alturas que superan los 3000 m. Conjuntamente, se indica que la configuración tectónica a la cual está sometida la cuenca es el principal controlador de los posibles eventos sísmicos que puedan afectarla (Rauld, 2002). Claramente, una mejor comprensión de esta configuración, significa una mejor conceptualización geológica de la cuenca y una mejor evaluación de los escenarios sísmicos existentes.

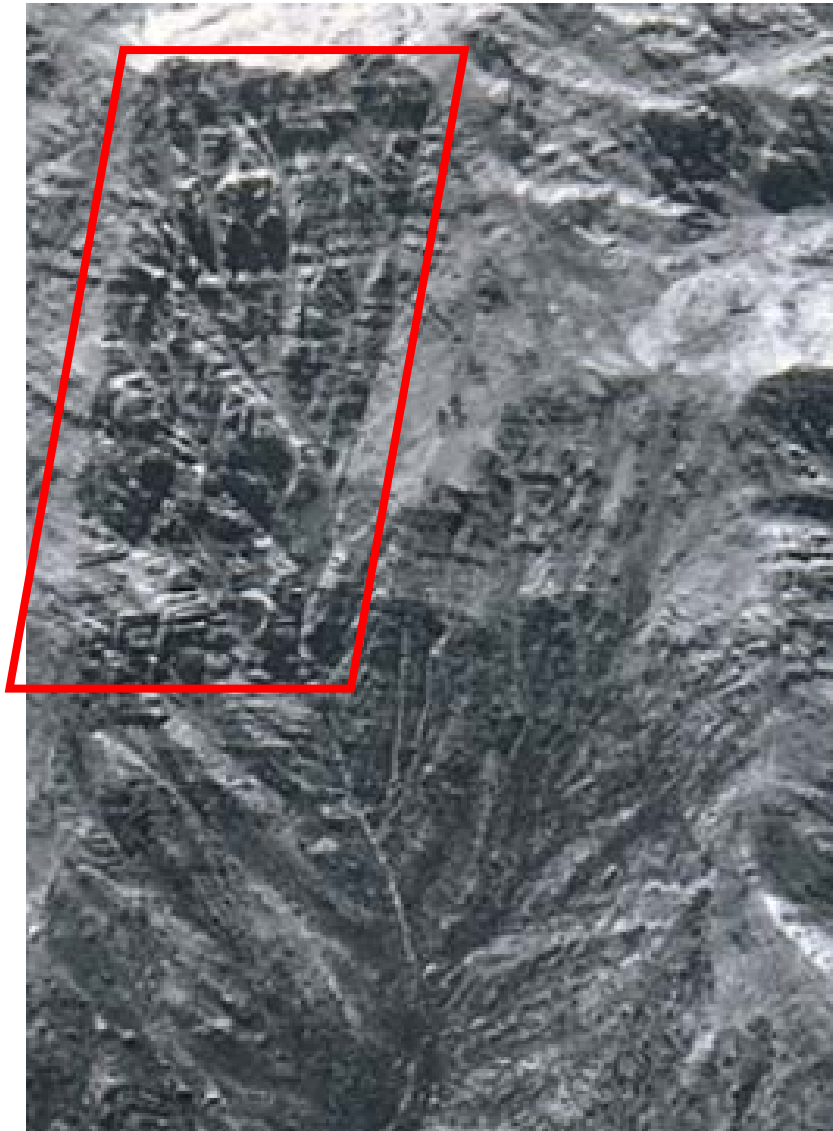


*Figura I.4: Facetas trapezoidales y triangulares reconocibles en las laderas de la precordillera andina de Santiago (Ferrando, 2006).*

Los escarpes de estas facetas, como la existente en la cabecera de la Quebrada de Lo Cañas (Fig. I.5) constituyen caras rocosas en las que predominan procesos exógenos que derivan en una alta producción de materiales detríticos medios y gruesos producto de fenómenos de desplome, proceso que es mayormente activo en la estación fría, hecho derivado del estar expuesto a fenómenos de fracturamiento y desprendimiento de fragmentos rocosos como resultado de la gelifración que opera por sobre la isoterma de 0° C.

Este hecho, que es facilitado por el estado de fracturamiento derivado de los procesos tectónicos (fallamiento y plegamiento) y orogénicos (solevantamiento previos, es también dinamizado por

las sacudidas derivadas del paso de ondas sísmicas producto de los frecuentes eventos telúricos que caracterizan la Región y el País.



*Figura I.5: Nacientes Quebrada de Lo Cañas. Se aprecia faceta trapezoidal en el extremo superior izquierdo.*

**I.5.- Síntesis de Aspectos Relevantes**

Considerando los antecedentes entregados por los estudios geológicos y geofísicos que comprometen el sector precordillerano del área de estudio, en el cuadro siguiente se resumen algunos aspectos trascendentales a nivel comunal, en relación con los objetivos de este estudio.

Cuadro: Aspectos relevantes de las unidades geológicas

UNIDAD GEOLÓGICA	GRADO DE ALTERACION	GRADO DE FRACTURAMIENTO	ESTRUCTURA Y GRADO DE PLEGAMIENTO
---------------------	------------------------	----------------------------	--------------------------------------

Formación Abanico	Medio a Fuerte	Fuerte	Rocas estratificadas y Pliegues marcados. Manteo discordante.
Intrusivo II	Medio a Leve	Escaso a moderado	Maciza

Fuente: Ferrando, 2000.

El grado de alteración y fracturamiento, hecho sumado a las fallas menores que escalonan el frente precordillerano, al efecto de los pliegues en la pérdida de integridad de las capas de rocas, y a su naturaleza volcánica brechosa y sedimentaria con presencia de rocas carbonatadas, llevan a la existencia de condiciones de fuerte susceptibilidad a la pérdida de estabilidad del sustrato rocoso de las laderas y ocurrencia de desprendimientos y derrumbes. Dicha potencialidad se ve reflejada en las marcas geomorfológicas dejadas por este tipo de fenómenos, y su recurrencia se asocia con la manifestación de eventos geofísicos o climáticos de suficiente magnitud.

Por su parte, el sector de rocas intrusivas de la sección somital del Cordón de cerros de Sta. Rosa, si bien se describe como con moderada a leve fracturación y alteración, el reconocimiento directo revela un fracturamiento lo suficientemente fuerte como para que hayan ocurrido desprendimientos de grandes bloques, muchos de los cuales han quedado a media ladera en condiciones inestables. Más aún, los afloramientos de estas rocas en la parte superior del cordón muestran la existencia de muchos otros bloques proclives a desplomarse ante la ocurrencia de los eventos detonantes apropiados.

Respecto de los depósitos de piedmont, tanto conos torrenciales como depósitos de movimientos en masa, considerando su morfología, gradiente, composición sedimentario-granulométrica, antecedentes geotécnicos de los suelos, y su compromiso morfo-estructural producto de la presencia de la traza principal de la falla de Ramón, así como por los milenarios efectos de la circulación de aguas subterráneas por este tipo de sustrato con los correspondientes efectos (*piping*), no cabe duda que ante la manifestación de condiciones propicias y ocurrencia de los factores detonantes pertinentes, se pueden registrar reactivaciones (remociones) y flujos detríticos que pongan nuevamente en movimiento los bloques rocosos ubicados en superficie, más los que se agreguen desde las laderas adyacentes.

## II.- CONTEXTO SISMO-TECTÓNICO

### II.1.- Antecedentes 1988

Con posterioridad al Sismo de 1985, del cual se registró gran cantidad de información, muchos estudios fueron realizados y publicados. Uno de ellos, contratado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo a A&C Asociados (\*). En dicho estudio, aunque de carácter regional, se indica que el nivel de amenaza sísmica del sector del piedmont de la Comuna de la Florida es de nivel medio-alto, lo cual es un primer antecedente del riesgo de urbanizar dicho sector. (Fig. II.1)

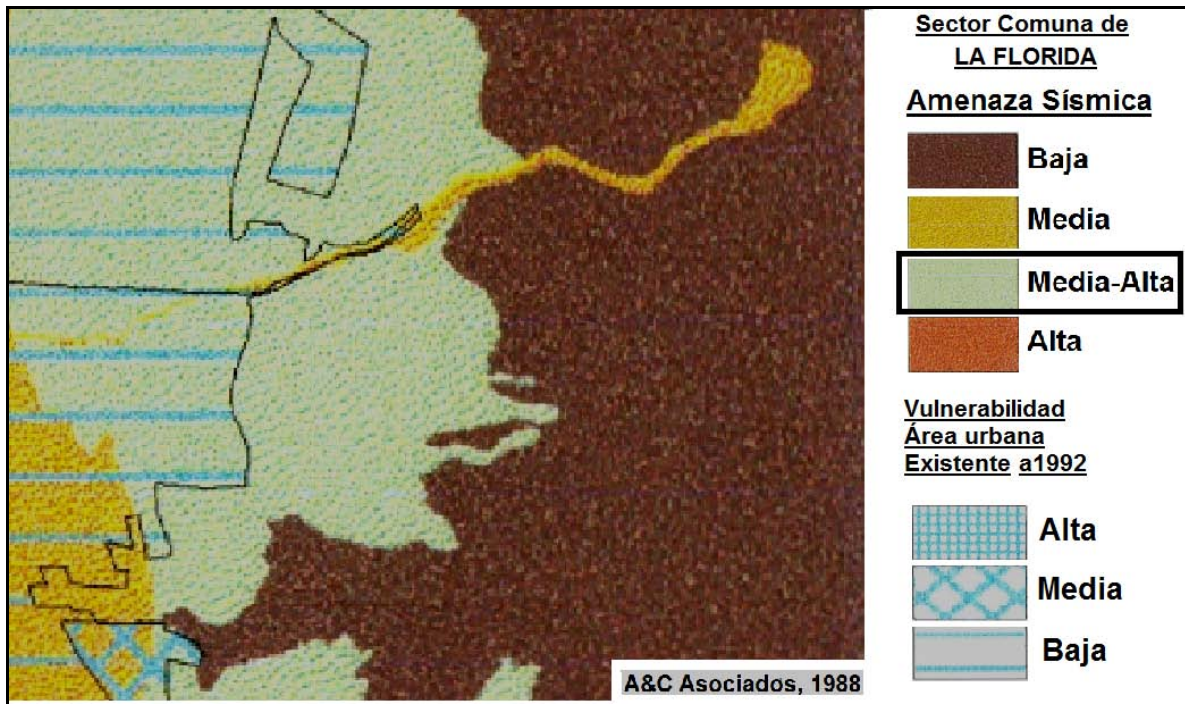
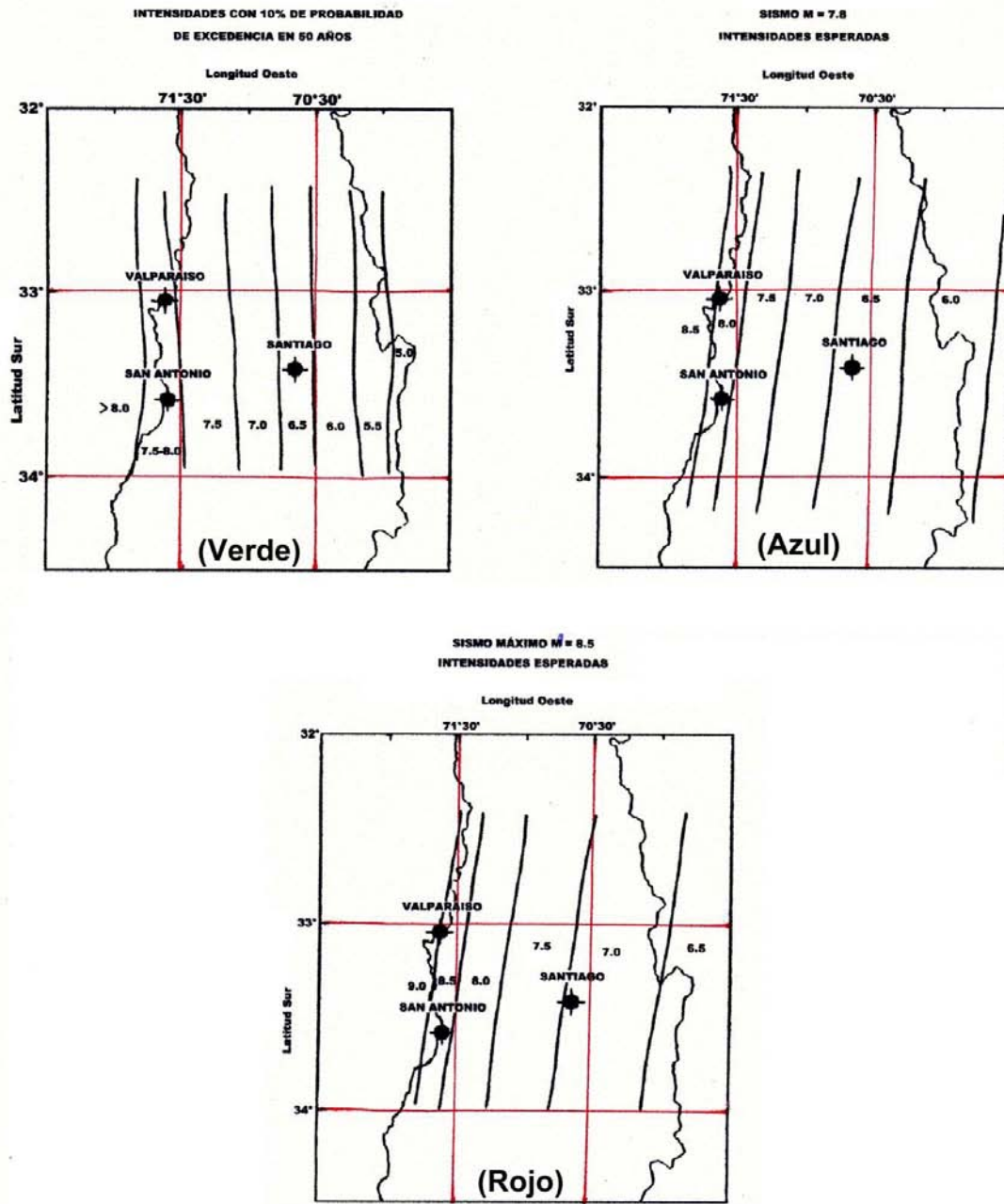


Fig. II.1: Amenaza Sísmica del sector de La Florida según A&C Asociados 1988.

## II.2.- DETERMINACIONES PROBABILISTICAS DE INTENSIDAD DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA EN LA REGIÓN METROPOLITANA

Dada la todavía lejana probabilidad de preestablecer la ocurrencia de eventos telúricos, los especialistas han estado utilizando la información histórica y modelos geofísicos para establecer los escenarios probabilísticos ante diferentes situaciones de esta naturaleza. Tal es el caso de los estudios de Kausel (1993) que se ilustran en la siguiente figura para las regiones de Valparaíso y Metropolitana. (Fig. II.2)



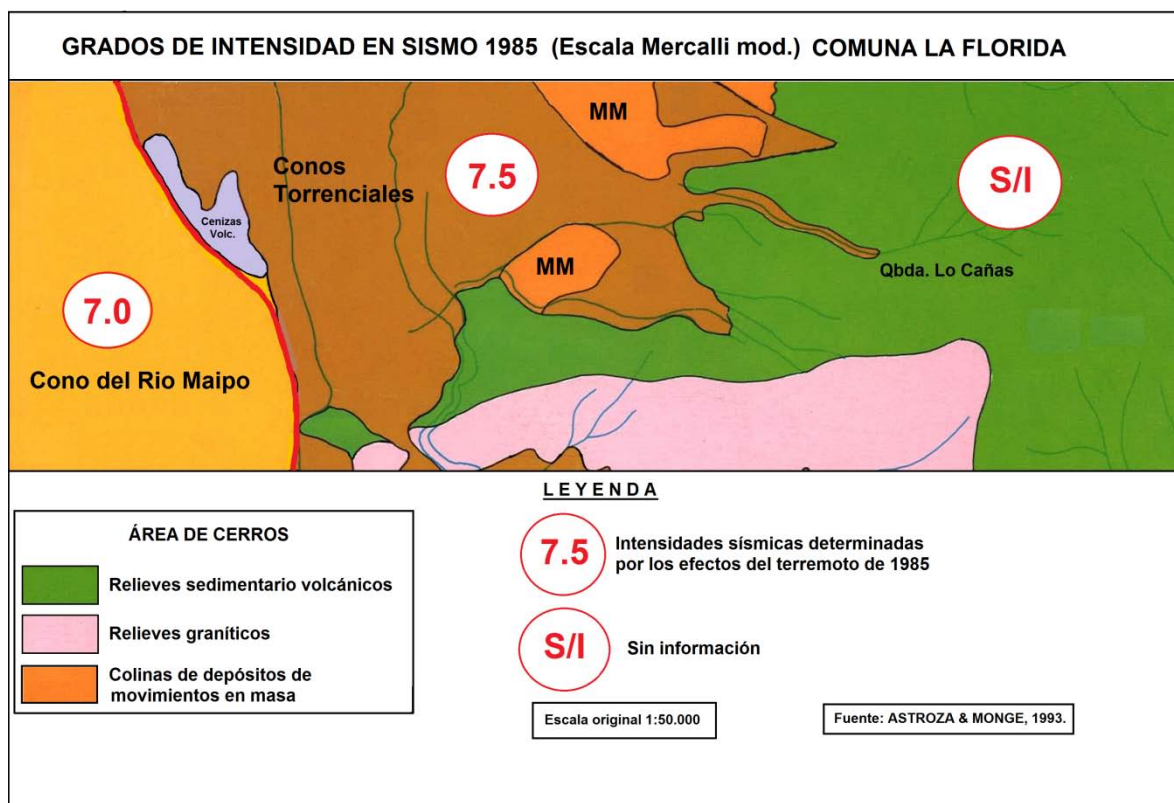
Fuente: Kausel, E., et al. 1993. Sismicidad y Peligro Sísmico de la Zona de Santiago - Valparaíso Incluyendo Efectos Locales de Suelos. En: Sextas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Vol. I, págs. 65-74.

Fig. II.2 : Escenarios probabilísticos de Amenaza sísmica de las regiones de Valparaíso y Metropolitana

De acuerdo a estos escenarios, el sector pedemontano y precordillerano de la Región Metropolitana tendría mayor probabilidad de registrar intensidades entre 6.0 y 7.0.

Sin embargo, el comportamiento sísmico en el sector de los depósitos sedimentarios del piedmont durante en terremoto de marzo de 1985, habría alcanzado intensidades de 7.5 en la escala de Mercalli modificada para el sector de la Comuna (Fig. II.3), tal como lo señalaron Astroza y Monge (1993).





*Fig. II.3: Grados de intensidad sísmica determinados ante la ocurrencia del terremoto de 1985 en la Comuna de La Florida.*

Contemporáneamente, Pinto el als (1993), basados en los datos de Astroza & Monge (1991), establecieron una clasificación a nivel comunal que, para el oriente de la región Metropolitana indican intensidades de 7,5 para las comunas de La Reina, Peñalolén y Macul, 7,0 para la Comuna de la Florida, y 8,0 para Puente Alto. (Fig. II.4)

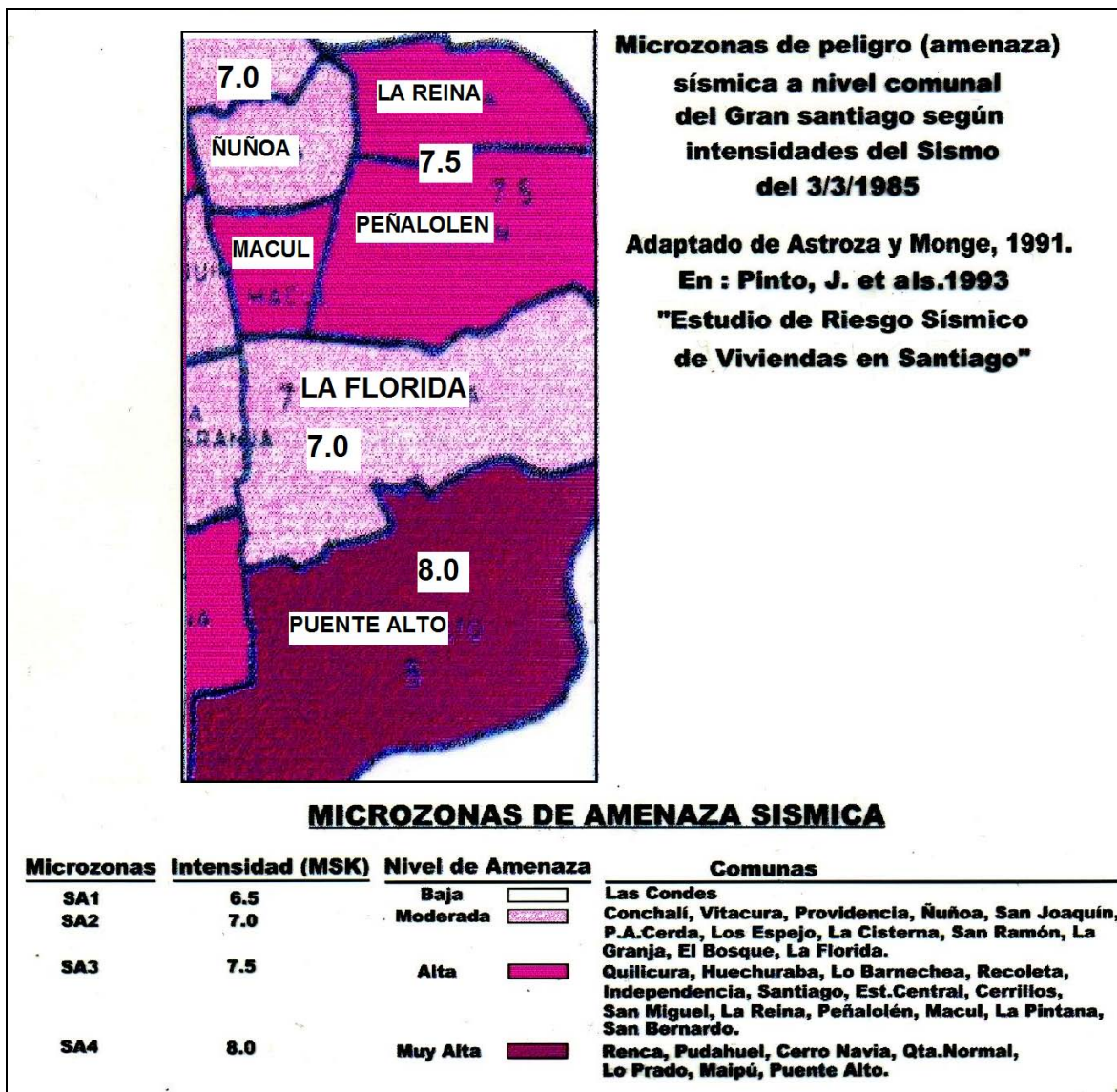


Fig. II.4: Determinación del nivel de intensidad y amenaza sísmica por comunas de la región Metropolitana. En la figura solo se presentan aquellas del sector de estudio y adyacentes.

Conforme a estos antecedentes, la carta de riesgo sísmico desarrollada en el contexto del Proyecto OTAS del Gobierno Regional Metropolitano, indica que las intensidades de más alta probabilidad en el sector precordillerano y del piedmont corresponden al grado 6,5. (Fig. II.5)

# FRAGMENTO CARTA RIESGO SISMICO REGION METROPOLITANA

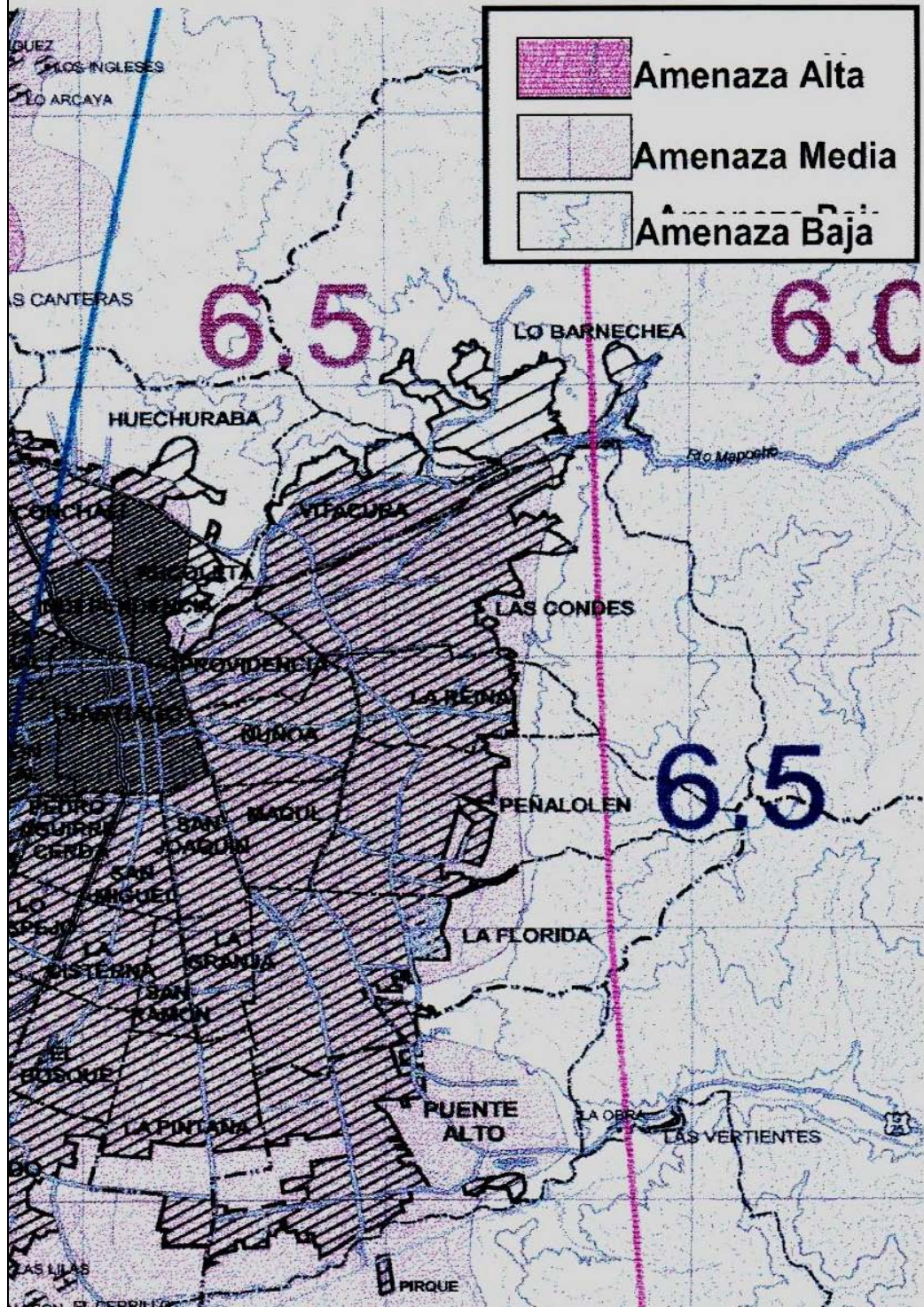


Fig. II.5: Segmento oriental de la Carta de Riesgo Sísmico del Proyecto OTAS. GORE-RM.

## II.2.- NUEVOS ANTECEDENTES SOBRE EL CONTEXTO SISMO TECTÓNICO DEL SISTEMA PIEDMONT - PRECORDILLERA

Recientemente, de acuerdo con el estudio de *Armijo, R. et als (2010) (\*)* el área de estudio se inserta en un contexto geofísico que presenta las siguientes componentes y características derivadas de los procesos evolutivos a que ha estado sometida:

- 1) El frente occidental chileno incluye un gran sistema de fallas inversas cabalgantes, las que tienen directa relación con el acoplamiento tectónico causante de la orogenia Andina (subducción de la placa Nazca, oceánica, bajo la placa Sudamericana, continental);
- 2) El funcionamiento del Cabalgamiento Andino Occidental (West Andean Thrust, WAT), tiene una importancia capital en la evolución Andina;
- 3) La falla de Ramón, en el frente cordillerano al este de Santiago, es una **falla inversa activa** de importancia clave, porque corresponde a la emergencia superficial particularmente clara del Cabalgamiento Andino Occidental (WAT); Se asume un desplazamiento total en la falla de Ramón de 4000 m, y una edad máxima de 21 Ma,
- 4) El estudio de escarpes morfológicos observados en el piedemonte santiaguino (Pleistoceno tardío - Holoceno) a lo largo de la falla de Ramón, indica **rupturas sísmicas en el pasado reciente**, posiblemente asociadas a eventos de magnitud significativa (Magnitudes de momento de 6.9 a 7.4), lo que representa una amenaza sísmica que no se puede despreciar.
- 5) El estudio citado indica que los depósitos de piedmont (Pleistoceno Inferior - Holoceno) son claramente controlados y cortados por la falla de Ramón.
- 6) Un modelo cinemático de la deformación del frente cordillerano a escala deca-kilométrica, desarrollado por *Armijo, R. et als (2010)* permitió establecer que esta estructura se caracteriza por una serie de pliegues kilométricos con vergencia al oeste que afectan las formaciones Abanico y Farellones (Fig. II.6) . Esta estructura pudo ser modelada por una propagación hacia el oeste del cinturón de plegamientos cabalgantes (*fold-thrust belt*), usando 4 fallas inversas con manteos entre 45 y 65° E.
- 7) El estudio cuantitativo de la deformación asociada a escarpes de falla en el piedemonte cordillerano (depósitos del Pleistoceno Inferior-Holoceno) y su relación morfoestratigráfica con terrazas fluviales deformadas de los ríos Maipo y Mapocho, muestra que las terrazas de estos ríos están deformadas por la Falla de Ramón.

---

(\*) *Armijo, R., R. Rauld, R. Thiele, G. Vargas, J. Campos, R. Lacassin, and E. Kausel (2010), The West Andean Thrust (WAT), the San Ramón Fault and the seismic hazard for Santiago (Chile), Tectonics, 29, TC2007, doi:10.1029/2008TC002427:*

Mediciones y dataciones permitieron caracterizar la geometría de la superficie desplazada 3 - 4 m verticalmente por el escarpe de falla más reciente del piedemonte, así como su edad máxima, de aproximadamente 45.000 años. Este escarpe es la evidencia patente del (de los) último(s) eventos sísmicos en la falla de Ramón con ruptura en superficie, en el Pleistoceno terminal - Holoceno.

8) Los resultados de Armijo, R. et als (2010) corroboran que las tasas de deformación asociadas al nivel de despegue de la falla a largo plazo, son del orden de 0.4 mm/año, coherentes con una estimación de un mínimo de 0.2 mm/año en el piedemonte.

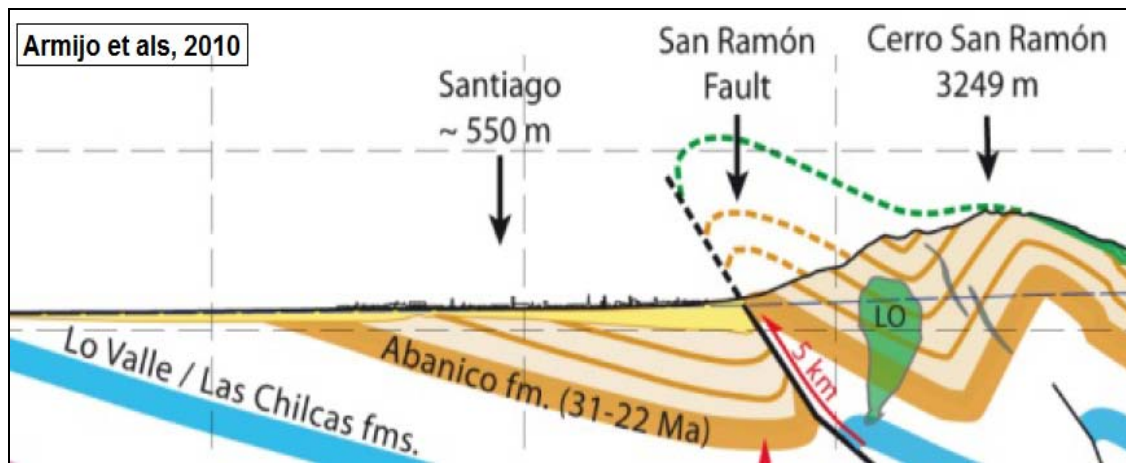


Fig. II.6: Perfil geológico-estructural que muestra el plegamiento con vergencia al W y la Falla de Ramón según Armijo et als (2010)

Esto implica posibles sismos con desplazamiento promedio de 1 a 4 m, magnitudes de momento ( $M_w$ ) entre 6.9 y 7.4, con recurrencias entre 2500 y 10000 años. Además, el estudio referido confirma la importancia de primer orden de la tectónica inversa de vergencia oeste en el desarrollo del frente cordillerano en la Cordillera Principal en Chile central, proceso que se mantiene claramente activo en la falla de Ramón, que representa una amenaza sísmica para Santiago.

Respecto de la presencia de escarpes de falla en el ante-país de la precordillera, Rauld (2011) establece que existe una serie de ellos afectando a los depósitos constitutivos del piedmont. Entre ellos y en relación con el área de estudio se reconocen escarpes medianos que poseen las siguientes características:

1. Son escarpes compuestos, relativamente bien conservados, que presentan alturas de entre 60 y 10 m;
2. Tienen pendientes, en promedio, entre  $20^\circ$  y  $35^\circ$ , pero que superan localmente los  $40^\circ$ ;

3. Al sur de la Quebrada de Macul, la deformación en superficie no es muy evidente, lo que se explicaría por complejidades estructurales derivadas de una serie de ramificaciones en los sectores de Lo Cañas y Lo Planella; y
4. Estas complejidades, muy probablemente, están asociadas a la cercanía del stock graniodiorítico La Obra, el que se encuentra en la zona formando parte de la estribación andina correspondiente al cordón de Cerro Santa Rosa-Cerro Chato.

### **II.3.- AMENAZA SÍSMICA DE LA FALLA SAN RAMÓN**

La estimación del peligro sísmico asociado a la Falla San Ramón Rauld (2011) la realizó mediante la aproximación determinística, pues al momento de realizar su estudio no se tenían los antecedentes suficientes para hacer una caracterización probabilística de la Falla. Es posible que en estudios posteriores se pueda suplir esta deficiencia, permitiendo realizar los cálculos probabilísticos.

Para estimar las capacidades sismogénicas de la Falla San Ramón, se utilizaron regresiones hechas con datos de todo el mundo, las cuales relacionan el largo de ruptura observado en superficie, los desplazamientos promedios en la falla y la magnitud máxima esperada (Wells & Coppersmith, 1994).

Considerando los datos de la Falla San Ramón, se utilizó la magnitud máxima que se puede esperar ( $M_w=7.4$ ). Dado este valor, se estimó las aceleraciones horizontales máximas (PGA) que puede producir la Falla San Ramón, considerando el efecto de bloque colgante (hanging-wall) hacia el Este.

De acuerdo con la información de la SEREMI-MINVU (2012), la expresión espacial de la Falla de Ramón, el dimensionamiento del riesgo de ruptura superficial y los terrenos adyacentes directamente comprometidos por su posible rejuego ante un evento sísmico de la magnitud señalada precedentemente se expresan cartográficamente en la siguiente figura (Fig. II.7).

En ella se verifica que el buffer es disimétrico, resultando afectados por deformaciones y desnivelaciones fuertes unos 100 m hacia el W y unos 200 m hacia el E, efecto que topográficamente se iría reduciendo en la medida que aumenta la distancia.

Además, se consideró un suelo Tipo II, similar a las gravas consolidadas del Maipo y el Mapocho. Otro aspecto que se consideró fue el efecto de la cuenca de Santiago, con un valor de profundidad promedio de 300 m. Haciendo uso de la ley de atenuación definida por Campbell & Bozorgnia (2008) se obtienen los valores de PGA presentados en la siguiente tabla (Tabla 1).

Las aceleraciones horizontales máximas alcanzan valores del 70% g hacia el lado Este de la Falla San Ramón, dando énfasis al impacto del efecto de bloque-colgante (\*).

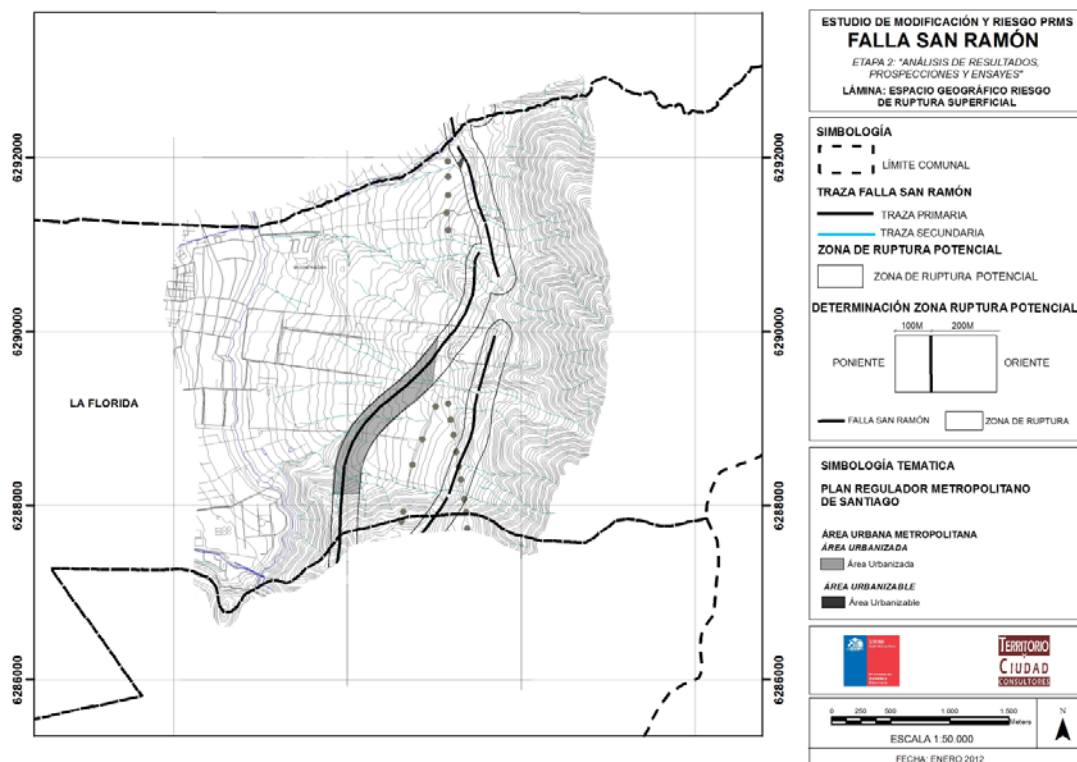


Fig. II.7.: Traza de la Falla de Ramón en la Comuna de la Florida y terrenos directamente comprometidos ante una ruptura.

Tabla 1. Valores de la aceleración horizontal máxima (PGA) en función de la distancia, para un evento de magnitud Mw=7.4. Notar que los valores hacia el Este son mayores que los obtenidos al Oeste por el efecto de bloque-colgante (ver detalles en el texto).

Distancia hacia el Oeste (km)	PGA (% g)
2.0	47.0
5.0	37.0
10.0	26.0
Distancia hacia el Este (km)	PGA (% g)
2.0	70.0
7.9	47.0
11.5	37.0
14.7	26.0

(\*) Fuente: Estudio "Riesgo y Modificación PRMS Falla San Ramón", Informe Etapa 2 – ID N° 640-27-LP10. Enero 2012. MINVU/SEREMI RM, Págs 68-69)

Conforme a estas determinaciones, en la siguiente figura tomada del estudio de la SEREMI-MINVU (2012) (Fig. II.8) se observa que a partir de la traza de la falla hacia el oriente se producirían elevadas aceleraciones de los suelos y cuerpos sedimentarios y rocosos, afectando severamente las laderas de los relieves precordilleranos, su estabilidad, los depósitos de movimientos en masa antiguos y la sección proximal de los conos de deyección torrenciales.

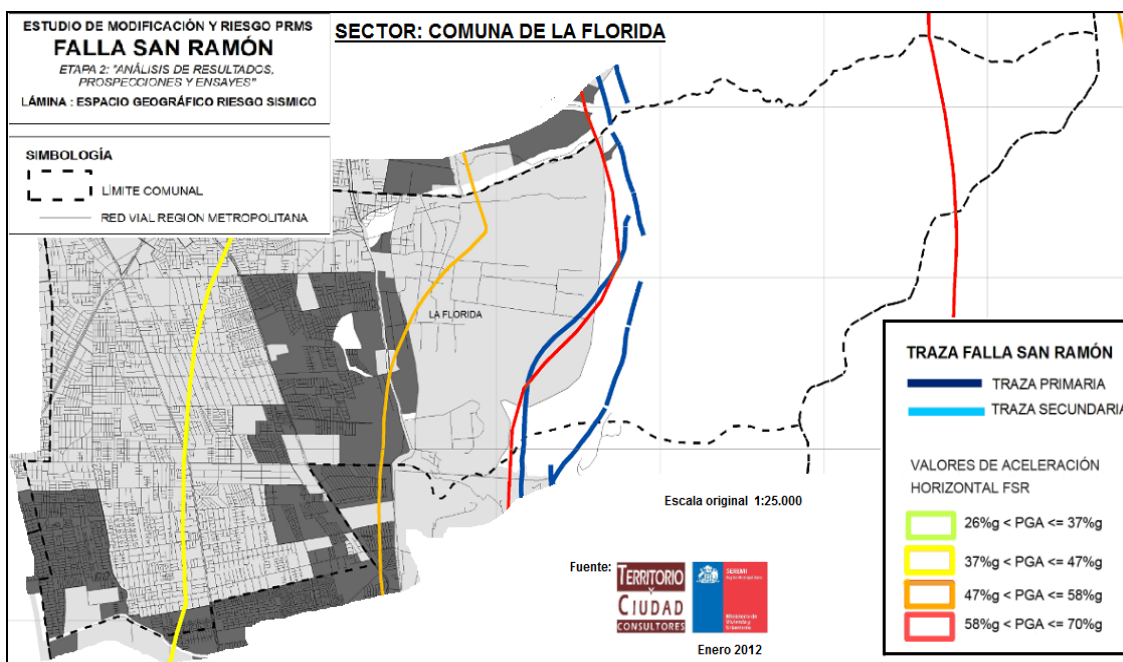


Fig. II.8: Valores de aceleración sísmica horizontal respecto de la traza de la Falla de Ramón.

Paralelamente, resultaría afectada la estabilidad de múltiples bloques rocosos existentes en las laderas y cumbres del cordón de cerros que limita la Comuna por el sur (Fig. II.9). Dado que estos terrenos no se encuentran bajo uso urbano, se considera la existencia de considerables niveles de amenaza por este concepto.

Un segundo nivel de aceleración de los suelos los sufrirían los sectores medios y distales de los conos torrenciales, lo cual implica un nivel de riesgo moderado para los usos y construcciones en dicho territorio.





*Fig II.9: Bloques rocosos inestables en la ladera norte (solana) del Cordón de Cerros que limita por el sur la Comuna de la Florida.*

### **II.3.- Comportamiento de los Depósitos Pedemontanos frente a Sismos.**

De acuerdo con Valenzuela (1978), los materiales constitutivos del piedmont presentan las siguientes características en relación con la ocurrencia de movimientos telúricos:

- 1- Los **escombros de falda** presentan desestabilizaciones y reacomodaciones importantes frente al paso de ondas sísmicas, lo que se cataloga como un mal comportamiento en caso de terremotos, pudiendo provocar derrumbes de si mismos y/o de obras existentes en ellos.
- 2- Los **conos de deyección** presentan un comportamiento diferenciado según sea la sección de ellos: los suelos más gruesos del sector apical, debido a su amplia granulometría y baja compactación así como al contenido de humedad, tienen alto peligro de deformaciones, subsidencias y reptaciones frente a aceleraciones del suelo por sismos. En cambio, los sedimentos más finos del sector distal, incluida la menor pendiente, tienen mejor comportamiento sísmico.
- 3- Los **cenuglomerados o depósitos de corrientes de barro** tienen un comportamiento diferenciado según su granulometría y compactación. La zona cercana a sus frentes y la base de ellos se presentan como factor negativo. Otros sectores son muy vulnerables a deslizamientos sea por falta de compactación o por asociación a fuertes pendientes.



### III.- COMPONENTE GEOMORFOLÓGICA

Dentro de las unidades geomorfológicas que se encuentran en la precordillera, destacan el frente cordillerano en sí y el piedmont o piedemonte.

#### III.1.- Frente cordillerano:

Aparece como un macizo irregular con orientación Norte – Sur, el cual es cruzado por una serie de quebradas en sentido este – oeste. Su composición litológica está determinada principalmente por el material de la formación Abanico, estando éstos afectados por una serie de escarpes de falla, producto de la actividad cuaternaria de la falla de San Ramón. Los escarpes de falla aparecen facetados y desalineados (ARAYA, 1985).

Las laderas del frente cordillerano poseen diferentes características, esto de acuerdo a la sección en la que se encuentren. De esta forma, las laderas en su parte superior se presentan rocosas y escalonadas, en secuencias diferenciales de escarpes y taludes detríticos no consolidados. En las secciones medias se concentran abundantes mantos detríticos inestables, mientras que en las secciones inferiores aparece vegetación, la cual es un signo de estabilidad de la ladera, apreciándose además diferencias de grado de acuerdo a las exposiciones de la ladera.

Las laderas son las que más aportan material detrítico propenso a convertirse en un movimiento en masa, esto porque poseen gran dinamismo y actividad por sobre los 2.500 msnm (FERRANDO, 2008). Esto se liga al hecho de que las laderas se presentan en forma discordante, es decir, los estratos se encuentran en forma paralela a la pendiente, lo que favorece el apareamiento de cornisas que proporcionan detritos.

#### III.2.- Piedmont:

Es el contacto principal entre el frente cordillerano y la depresión central (ARAYA, 1985). De acuerdo con Ferrando (2008), el piedmont se compone principalmente por: depósitos de movimientos en masa, depósitos de vertientes y por conos de deyección torrencial.

- Depósitos movimientos en masa: Se refiere a material de cenuglomerado y de corriente de barro que se depositan principalmente en el pie occidental del bloque precordillerano. Se tratan de depósitos consolidados, siendo la matriz arcillosa y/o pumicítica, mientras que los clastos que envuelve dicha matriz son heterogéneos tanto litológica como granulométricamente hablado.

Estos depósitos se presentan como colinas o lomajes coalescentes, de los que destacan el cerro Calán y Apoquindo.

- Depósitos de laderas: Se componen principalmente por clastos angulosos de tamaño variable, con una matriz fina de arena limo – arcilla, lo que han sido formados a partir de

la meteorización de rocas existentes. Estos materiales forman taludes de escombros y conos coluviales, los que se distribuyen en las laderas y pie de la precordillera.

Los suelos que se forman a partir de estos depósitos son de material suelto, gran espacio intersticial, con altas posibilidades de reacomodo de material por el lavado de éste. De esta forma, la estabilidad de los taludes es variable y depende del contenido de humedad, compacidad y granulometría del depósito.

- Conos de deyección torrencial: En Santiago, son uno de los conjuntos morfológicos más importantes, caracterizándose por interrumpir los grandes conos aluviales. Se desarrollan a partir del sistema hídrico, por lo que los conos de deyección más importantes estarán ligados a importantes quebradas dentro de la precordillera. En este sentido, y de acuerdo a la ubicación del área de estudio, el cono de deyección de la quebrada de Lo Cañas, encuentra condicionada su formación y emplazamiento de acuerdo al cono de deyección de la quebrada de Macul, el cual es mayor en tamaño.

Otro factor importante es la influencia de los depósitos de movimientos en masa antiguos, los que, de acuerdo con Ferrando (2008), hacia el sector norte del cono son de tamaño considerables y han sido modificados para poder emplazar terrenos urbanos. Hacia el sur, estos depósitos decrecen en cuanto a tamaño y corresponden a depósitos del extremo distal de un pequeño cono que se une al anterior por el sur.

Sobre el cono de deyección de la quebrada de Lo Cañas, se observa un entrelazamiento de múltiples líneas de talwegs, las que no se encuentran bien definidas en la mayoría de los casos.

Por otro lado, Rauld (2011) realiza una estratificación de los depósitos del piedmont de acuerdo a sus edades, lo cual queda espacializado en la figura n°1:

- Depósitos aluviales del Pleistoceno inferior y medio: afloran localmente en el cerro Calán, Apoquindo, Los Rulos, en la quebrada de Macul, Lo Caña y el sector de Lo Planella. Su parte basal está compuesta por depósitos de gravas fluviales con imbricaciones que indican aportes del río Mapocho, mientras que en la cabecera se encuentran depósitos de flujos de detritos, junto con arena, limos y gravillas, los cuales se presentan cubiertos por material de flujo de detritos y barro.

Los cerros Calán, Apoquindo y Los Rulos son tomados como una sola unidad, la cual se ha ido desarrollando a partir de la actividad de una falla, para luego ser disectada por la erosión de las quebradas que descienden por el este. Esta estructura ha sido interpretada como un anticlinal en los sedimentos más antiguos.

Quebrada de Macul: afloramiento en forma de meseta al norte de la quebrada. Bloques angulosos de brechas y lavas. Estos bloques poseen pátinas de óxido, lo que evidencia un

alto nivel de meteorización de un largo periodo de tiempo, infiriéndose de esta forma que mencionados bloques son más antiguos que los demás del frente cordillerano. Antiguo cono aluvial de la quebrada de Macul.

Quebrada de Lo Caña y sector de Lo Planella: clastos angulosos con una matriz fina de arcillas, sin una estructura interna consolidada, lo cual se interpreta como un antiguo deslizamiento.

- Depósitos aluviales del pleistoceno medio y superior: depósitos generados principalmente por flujos de detrito y barro, los que se caracterizan por ser bloques angulosos, de tamaño variable, con una matriz de material fino y además de presentar intercalaciones de arenas y materiales más finos. Se encuentran distribuidos por todo el frente cordillerano, desde el río Mapocho al Maipo, por lo que estos depósitos se ven disectados por las quebradas que aportan a los abanicos más recientes aguas abajo. Entre las quebradas Macul y San Ramón se presenta un piedmont más elevado.

Además de lo anterior, se identifican depósitos intercalados de cenizas, los cuales fueron datados con una edad máxima pleistocena media – superior.

- Depósitos aluviales del Pleistoceno superior y Holoceno: abanicos aluviales más recientes y activos. Al igual que los depósitos anteriores, los del pleistoceno superior y holoceno corresponden a materiales de flujos de detritos y/o barro, constituido por bloques heterogéneos en tamaño y angulosos. Morfología de abanico aluvial escasamente erosionado.

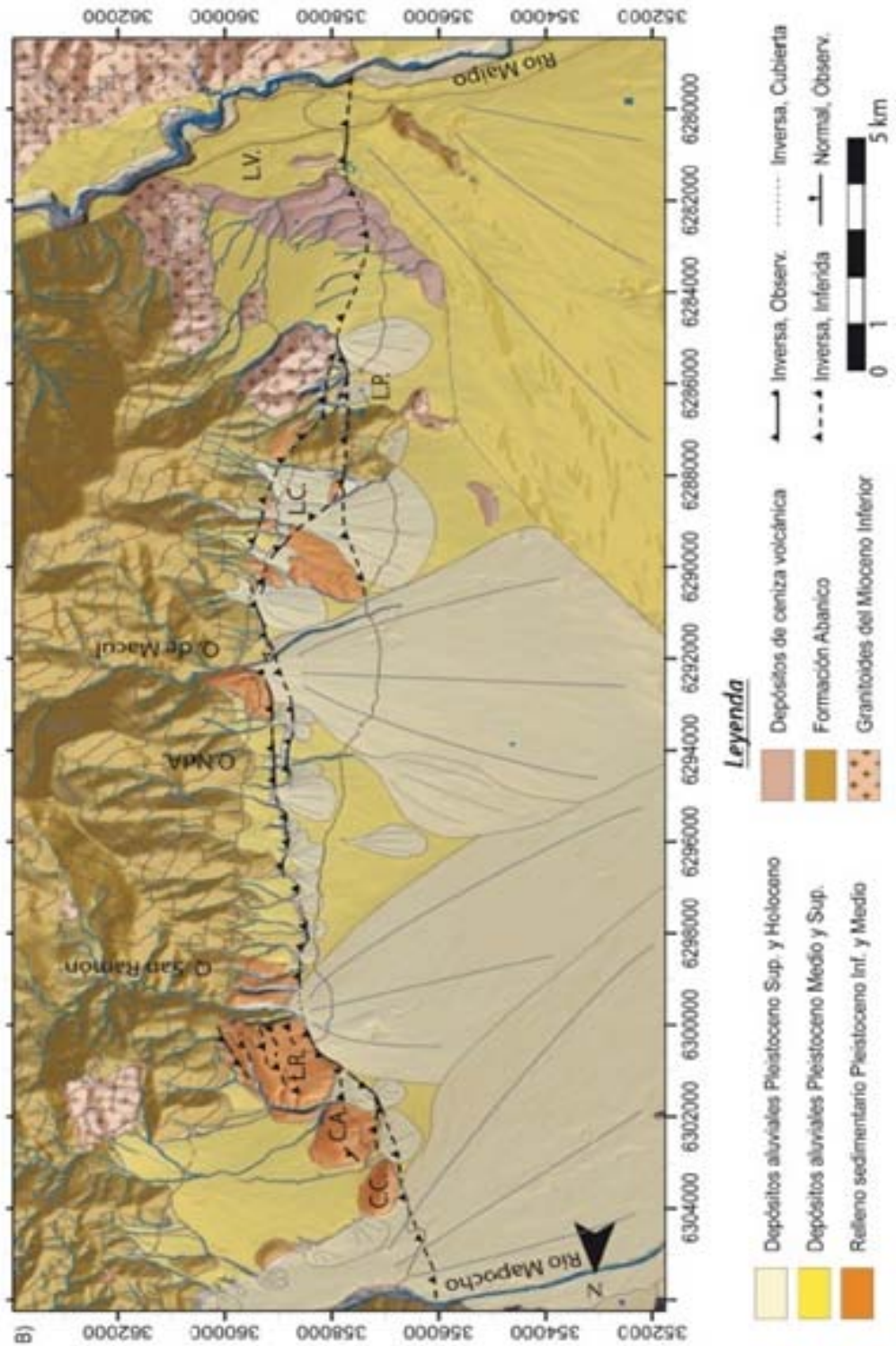


Figura III.1: Configuración geomorfológica precordillera y piedmont de Santiago

Fuente: Rauld, 2011.

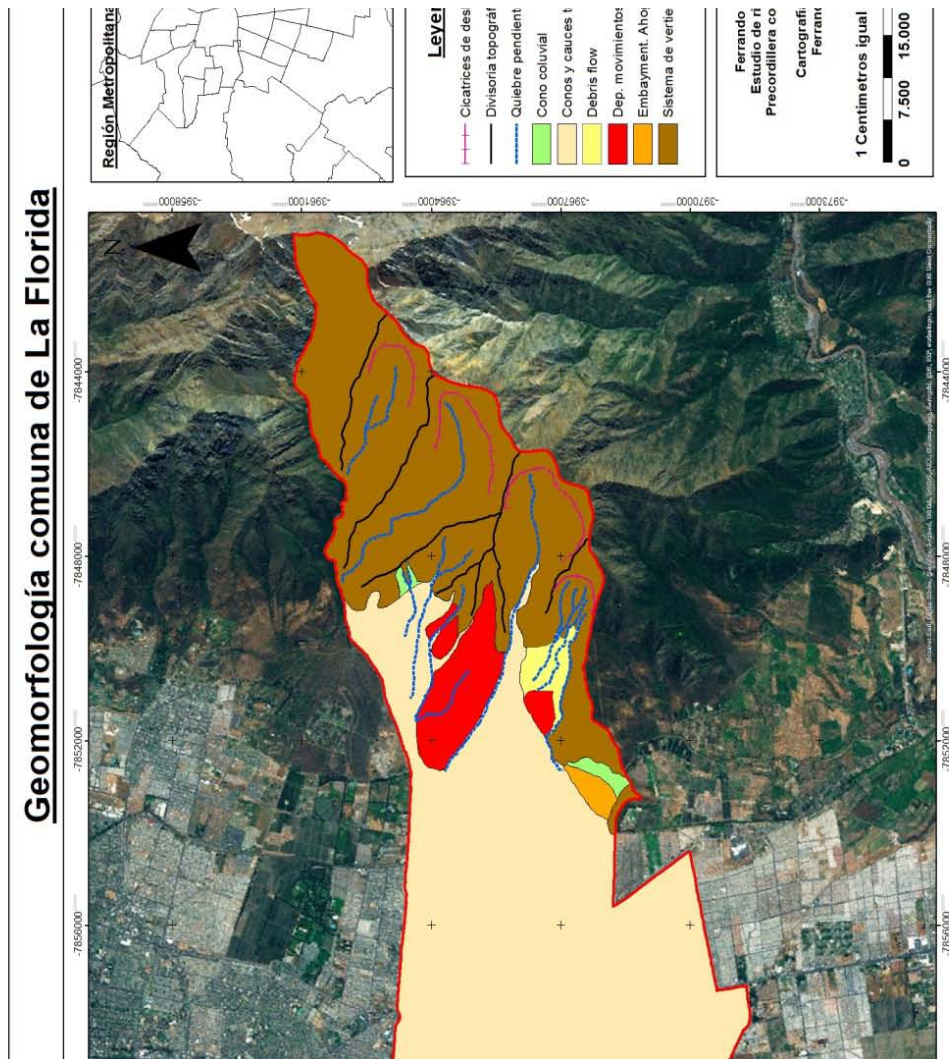


Figura III.2: Configuración geomorfológica precordillera y piedmont comuna de La Florida

Fuente: Ferrando y asociados, 2013, basado en Ferrando, 2006.

### **III.3.- PRINCIPALES QUEBRADAS Y DINÁMICA DE LADERAS PRECORDILLERA DE LA FLORIDA:**

#### **❖ Quebrada Las Perdices**

La quebrada de Las Perdices nace desde la intersección de las cabeceras de las quebradas El Durazno y de Lo Cañas. Mencionada intersección corresponde a una meseta de forma triangular de unos 1,5 km<sup>2</sup> de superficie, desde donde la cual nace la cabecera de la quebrada

en cuestión. Sus pendientes son superiores a los 25° mientras que su altura máxima es de 2.000 msnm.

Desde la cabecera hasta el cono torrencial, la quebrada posee una extensión de unos 2 kms aproximadamente, esto respecto al cauce principal, ya que ésta quebrada posee un sistema de a lo menos 6 quebradas que componen su configuración.

Las laderas se presentan con pendientes fuertes, mayores a los 30° en sus secciones superiores, donde el escarpe de la quebrada se presenta con suelo y no en roca como es el caso de las quebradas de Macul y Lo Cañas. Por su parte, las laderas en su secciones medias e inferiores se caracterizan por presentar pendientes entre 10° y 25°, además de estar constituidas por depósitos de movimientos en masa antiguos (MARTINEZ, 2009).

El sector pedemontano está constituido por depósitos aluviales aportados por la quebrada de Macul y de Las Perdices, en conjunto con depósitos de remociones en masa antiguos. Las quebradas provenientes de las laderas de la quebrada de Las Perdices se encuentran configurando el sector hasta los 780 msnm.

#### ❖ **Quebrada de Lo Cañas**

La cabecera del sistema de Lo Cañas se ubica en el cerro Minillas, desde la cual y hasta el ápice del cono de deyección, posee una longitud de 3 km aproximadamente. Posee una forma elongada y una dirección este - oeste, con pendientes superiores a los 30° y cumbres sobre los 2.500msnm (FERRANDO, 2008).

Las secciones altas de mencionadas microcuencas presentan, en su parte superior, fuertes pendientes y alta rugosidad superficial, lo que se traduce en un sistema de laderas irregulares y quebradas con presencia de laderas de Hogback. Dichas laderas se caracterizan por presentar pendientes muy agudas, con buzamiento de 60°, lo que beneficia el aporte de detritos desde ellas.

Esto último, junto con la disconformidad que afecta a las demás pendientes, además de la erosión geológica que afecta a todo el conjunto; constituyen una fuente abundante de material detrítico sobre los 1.500 msnm. Bajo esta altitud, la pendiente comienza a disminuir, mientras que la cobertura detrítica aumenta y gana estabilidad, lo que beneficia el desarrollo de suelos minerales de escaso espesor, junto con vegetación del tipo estepario y esclerófila.

Se identifican cicatrices en las cabeceras de las microcuencas, esto junto a depósitos en forma de lengua y lomajes suave, consecuencia de movimientos en masa pasado. Sobre mencionados depósitos, se distingue material obtenido a partir de flujos torrenciales del tipo debris flow, además de algunos deslizamientos y conos coluviales. De esta forma se configura el piedmont de la precordillera del sistema de quebrada de Lo Cañas, en donde se evidencia un alto nivel de erosión lineal, junto con flujos torrenciales recientes.



Otro tema importante dentro de este sistema es el bajo encajonamiento que presentan sus cauces, esto debido al constante cambio de su trazado. A partir de esta situación, se genera una considerable inestabilidad del medio construido frente a flujo de detritos que se presentan con frecuencia en invierno.

**Subunidades geológicas de suelo:** Sepúlveda (1998) categoriza en 6 las subunidades geológicas de suelos que se encuentran en la quebrada de Lo Cañas, los cuales se caracterizan a continuación:

- Suelo Residual de la Formación Abanico (TQr): Suelo compuesto por material descompuesto de la formación Abanico, el cual se encuentra principalmente en las divisorias que limitan a la quebrada. Posee vegetación arbustiva y pastizales, y geotectónicamente se caracteriza por ser estable, excepto en las laderas de alta pendiente.
- Depósitos Coluviales y Escombros de Falda (Qc): Se definen dos unidades, las cuales se ubican preferentemente en las laderas de los cerros:

Qc1 : Se encuentran en laderas con altas pendientes, siendo suelos de compacidad suelta y sin cobertura vegetal, siendo inestables ante lluvias y sismos, y por lo tanto susceptibles ante remociones en masa.

Qc2 : Depósitos de matriz abundante, compacidad blanda y con cobertura vegetal, derivados tanto de afloramientos rocosos como de suelo residual. Susceptibles a la erosión y a remociones lentas como reptación (SEPÚLVEDA, 1998).

- Depósitos de Cono de Deyección (Qcd): Depósitos volcánicos y sedimentarios aportados por la quebrada de Lo Cañas, los cuales varían en su granulometría, componiéndose de bloques y gravas. su matriz consta de limo y arcilla, siendo de compacidad densa. En cuanto al tamaño de los bloques, estos varían de acuerdo a la zona del cono, encontrándose bloques de 0,5 a 3m en la zona media y de 0,3m a 1,5m en la parte distal, los que surgen a partir de la construcción del cono por torrentes esporádicos de agua con alta carga sólida hasta flujos de detritos que transportaron los grandes bloques y generaron tales acumulaciones.
- Depósitos Glaciales (Qg): Se ubica en la salida norte de la quebrada, conformando un pequeño cerro. Se caracteriza por presentar clastos angulosos, facetados y algunos de ellos estriados, siendo estos depósitos diamicticos de 2 a 20 cm.
- Depósitos Diamicticos Antiguos (Qda): Esta unidad forma pequeños cerros que limitan al norte con la quebrada de Lo Cañas. Estos depósitos son definidos como antiguas remociones en masa, más específicamente como "corrientes de barro" (VALENZUELA,

1978; GARRIDO, 1994, 1987 en SEPÚLVEDA, 1998), lo cual es reafirmado por su morfología.

- Depósitos Aluvionales Antiguos (Qaa): Se ubican al sur del cauce principal y son depósitos generados por procesos aluviales y flujos de detritos antiguos, los cuales forman el relleno de fondo de la quebrada y que actualmente se encuentran cubiertos por vegetación. La granulometría de los depósitos varía, usualmente con más del 50% de su matriz. En sectores hay acumulaciones de grandes bloques, de hasta 4- 5m, en forma de lenguas.
- Depósitos Aluvionales Recientes (Qar): Estos se encuentran conformando tanto el cauce principal como las pequeñas quebradas que se aprecian al sur de éste. Como su nombre lo dice, son material reciente producto de los últimos eventos de flujos de detritos y algunos procesos aluviales, y debido a sus características son susceptibles a ser removidos. Los bloques varían su tamaño a medida que se va aguas abajo de la quebrada, encontrándose los bloques de 0,5 a 1m en tramo superior y medio, bajando a 5-20cm entre las cotas 1.100 y 1.000 msnm. El tamaño máximo de los bloques es de aproximadamente 6 metros.

La litología de los bloques está dominada por brechas piroclásticas pardo rojizas y rocas porfídicas de color gris verdoso. En menor proporción hay tobas, algunas con restos de troncos fósiles. Se encuentran escasos clastos de sedimentitas. Frecuentemente las rocas, especialmente las porfídicas, presentan amígdalas rellenas con minerales de metamorfismo de bajo grado (calcita, clorita, etc.) y pátinas de epidota (SEPÚLVEDA, 1998).

#### ❖ **Quebrada Tarapacá – Sta. Rosa**

A diferencia de la quebrada de Lo Cañas, la quebrada Tarapacá – Sta. Rosa presenta un sistema de cinco pequeñas quebradas poco profundas, las cuales finalizan su recorrido a los 750 msnm aproximadamente, donde termina el faldeo del cerro Sta. Rosa. Estas quebradas se encuentran estabilizadas, con bastante vegetación en su interior, aunque se manifiestan algunos depósitos coluviales en sus nacimientos.

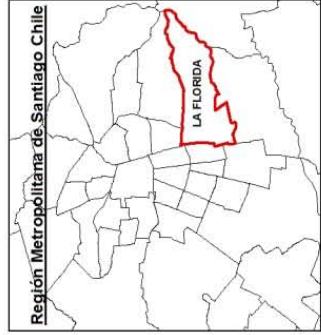
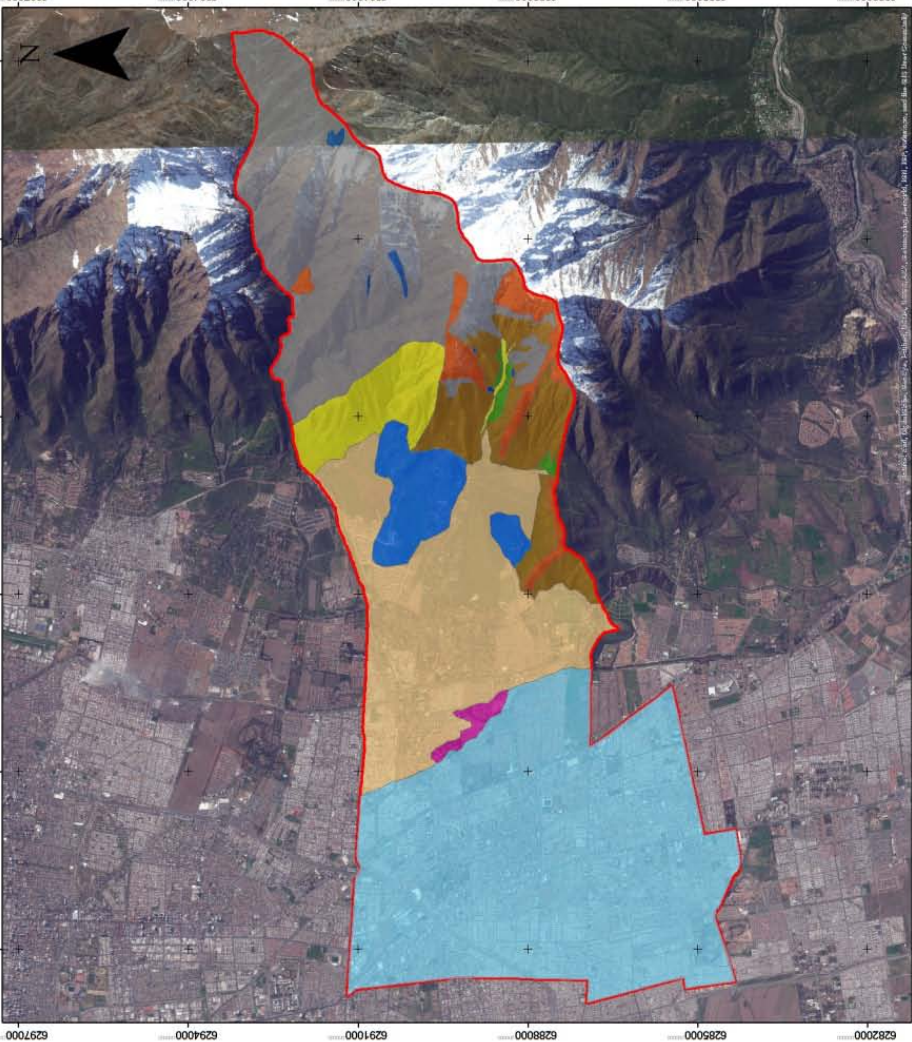
La cabecera del sistema nace desde la intersección de la cabecera sur de la quebrada de Lo Cañas con la cabecera de la quebrada de la comuna de Puente Alto. Este sistema de quebradas presenta una longitud, desde su nacimiento hasta el ápice del cono de deyección, de unos 3 km aproximadamente. Su máxima altura es a los 2.000 msnm, justo en la intersección de las dos cabeceras anteriormente mencionadas, mientras que sus pendientes máximas son de 35°.

Las laderas se caracterizan por sus pendientes fuertes de unos 20°. Su configuración se basa principalmente en suelo generado a partir de la formación Abanico, en conjunto con el intrusivo plutónico, en menor cantidad. Se aprecian depósitos coluviales en las secciones superiores, sobretodo en la ladera exposición sur, correspondiente a cerro Sta Rosa, en donde

existen varios afloramientos de la formación Abanico, la cual produce bastante material detrítico.

La sección pedemontana se configura a partir de conos torrenciales, los que también son flujos de detritos o “debris flow”. Se advierten materiales de medidas heterogéneas, encontrándose bloques de unos 3 metros de diámetro aproximado los que en su mayoría se encuentran ubicados en la parte proximal del cono, mientras que los clastos más pequeños en la parte distal de éste mismo.

# Geomorfología comuna de La Florida: subunidades geológicas de suelo



**Legenda**

- Qda: Depósitos diamicticos antiguos
- Qcd: Depósitos de cono de deyección
- Qc2: Depósitos coluviales y escombros de falda
- Qc1: Depósitos coluviales y escombros de falda
- Qaa: Depósitos aluvionales antiguos
- Qcp: Depósitos de pumacita
- Qami: Cono de deyección río Maipo
- Fa: Formación Abanico
- Qafr: Depósitos fluviales/aluvionales recientes
- Tqr: Suelo residual F. Abanico

Ferrando y asociados:  
 Estudio de riesgos naturales  
 precordillera comuna de La Florida

Cartografía basada en:  
 Sepulveda 1998 y Martínez 2009  
 Modificado por Ferrando 2015

1 Centímetros igual a 450 Metros

*Figura III.3: Geomorfología comuna de La Florida: subunidades geológicas de suelo*  
Fuente: Ferrando y asociado, 2013, basado en Sepúlveda (1998) y Martínez (2009).

#### **III.4.- Dinámica de laderas:**

Las laderas precordilleranas de Santiago se caracterizan, en general, por presentar una morfología escarpada y escalonada. En las secciones superiores se producen taludes con depósitos detríticos coluviales no consolidados, mientras que en las secciones medias, se presentan mantos detríticos inestables. Finalmente, en las zonas inferiores, la vegetación juega un rol fundamental en la estabilización del terreno, en conjunto con la formación de suelo.

##### **III.4.1.- Dinámica de laderas quebrada Las Perdices**

###### **- Sección precordillerana superior**

**Ubicación:** Desde los 2.000 msnm a los 1.500 msnm. Corresponde al sector de cabecera de la quebrada Las Perdices. Zonas de pendientes fuertes de 25°.

**Morfología:** La unidad geológica predominante es la formación Abanico, en conjunto con la subunidad de suelos residuales de dicha formación. No se aprecian mayores afloramientos rocosos, sin embargo, los que se pueden apreciar se encuentra emplazados en el escarpe de la

cabecera, donde se acumulan depósitos de detritos. En este sentido, el escarpe de la quebrada no se encuentra labrado en roca, sino que en suelo de unos 1 m de espesor aproximado. En esta sección superior, las quebradas se encuentran con vegetación en su interior, en conjunto con algunas acumulaciones de detritos.

**Ambientes y procesos de meteorización:** No se aprecian acumulaciones de nieve en la temporada nival, por lo que los procesos que generan meteorización de los afloramientos rocoso son más bien los cambios de temperatura (noches frías, días cálidos), en conjunto con precipitaciones de agua y en ocasiones de agua/nieve.

- **Sección precordillerana media**

**Ubicación:** Desde los 1.500 msnm hasta los 1.250 msnm, correspondiente a los sectores de término de la cabecera y quiebre de pendiente del cauce principal respectivamente. Pendientes entre 15° y 25°.

**Morfología:**

Ladera exposición sur: Esta ladera se encuentra labrada por tres quebradas que bajan desde los 1.500 msnm aproximadamente. Estas quebradas se encuentran bastante estabilizadas por la abundante vegetación que se presenta debido a la exposición de la ladera. Sin embargo, a los 1.500 msnm se aprecian dos deslizamientos de tierra, los que bajan por las quebradas hasta quedar estabilizados por la vegetación del sector.

Ladera exposición norte: En esta sección, mencionada ladera se encuentra modelada por dos quebradas que bajan hasta el cauce principal. Estas quebradas no se presentan con depósitos coluviales importantes, sin embargo, se aprecian algunos los cuales se entranpan en la vegetación existente. Su configuración se basa en depósitos fluviales y aluviales estables. Si bien es ladera exposición norte, se encuentra bastante vegetación en su composición, sobre todo en los cauces de las quebradas, mientras que en las mesetas entre mencionadas quebradas, se ubican especies más xerófitas, además de la presencia de depósitos coluviales de 5 cm de diámetro aproximado.

**Ambientes y procesos de meteorización:** Esto no varía en demasía respecto a lo especificado en la sección superior, sin embargo, las precipitaciones en este sector son más bien de aguas lluvias que lluvia/nieve. Junto con ello, se encuentran menores acumulaciones detríticas, aunque se aprecian algunos deslizamientos de tierra.

- **Sección precordillerana inferior**

**Ubicación:** Desde los 1.250 msnm a los 1.000 msnm. Corresponde al sector de quiebre de pendiente del cauce y el comienzo del sector pedemontano del sector respectivamente.

**Morfología:**

Ladera exposición sur: A los 1.250 msnm aproximadamente, mencionada ladera se abre hacia el norte, donde presenta en su configuración a lo menos 6 quebradas, las cuales terminan su recorrido a los 780 msnm aproximadamente. A los 1.180 msnm comienzan los lomajes relacionados a depósitos de movimientos en masa antiguos, los que modelan la mayoría del sector pedemontano de la zona. Las quebradas se presentan con pendientes de 15° y se encuentran estabilizadas por vegetación del sector. A simple vista no se presentan grandes depósitos coluviales, sin embargo, Ferrando (2008) reconoce un gran depósito a los 1.150 msnm aproximadamente.

Ladera exposición norte: Al igual que en todas las secciones, esta parte de la ladera está constituida por depósitos coluviales y aluviales, en conjunto con depósitos de remociones en masa antiguos. Estos últimos se reconocen como lomajes que comienzan a los 1.180 msnm y que finalizan a los 930 msnm. A los 1.240 msnm, la ladera presenta una forma de meseta, en donde se parecía un paño de vegetación bastante abundante dada la exposición de ésta.

**Ambiente y proceso de meteorización:** Esto no varía en demasía respecto a lo especificado en la sección superior y media, sin embargo, las precipitaciones en este sector son más bien de aguas lluvias que lluvia/nieve. Junto con ello, se encuentra vegetación bastante abundante, lo que ayuda a retener los materiales provenientes de las otras secciones.

- **Conos torrenciales:**

El sector pedemontano de la quebrada de Las Perdices, está configurado por depósitos aluviales aportados por la misma quebrada y por la quebrada de Macul. Junto con ello, se reconocen lomajes formados a partir de movimientos en masa antiguos, los que parten desde los 1.180 msnm. Este sector se encuentra sin urbanización hasta los 850 msnm, donde se aprecia urbanización de densidad media, las cuales bordean los lomajes generados por las remociones antiguas. Topográficamente en el sector, se generan relieves suaves y de pocas pendientes de 10°.

**III.4.2.- Dinámica de laderas quebrada Lo Cañas**

- **Sección precordillerana superior**

**Ubicación:** Entre los 2.000 y 1.630 m. Comprende los sectores de cabecera de la quebrada de Lo Cañas, tanto sur como norte. Zona de alta pendiente, entre 20° a 30°.

**Morfología:** La unidad geológica predominante en esta sección es la formación Abanico, la cual abarca la totalidad del sector. Esta formación se presenta meteorizada ya sea por fracturamiento interno (cualidad que le otorga su composición geológica) o por procesos relacionados con el ambiente predominante en sectores de alta precordillera, como es el caso del crioclastismo y fusión de nieve. A partir de mencionados procesos es que se genera una abundante cantidad de material detrítico de variado grado granulométrico, encontrándose bloques de hasta 6 a 7 m de altura. En la cabecera norte de la quebrada de Lo Cañas, existen 3

quebradas desde las cuales se movilizan, tanto por procesos gravitacionales como aluviales, material coluvial/aluvial respectivamente. Este material se acumula en el sector de confluencia triangular de dichas quebradas, a los 1.7000 msnm, desde donde el material confluye hasta el lecho principal.

En la cabecera sur de la quebrada Lo Cañas existen dos quebradas, las que confluyen a los 1.600 msnm, en donde se presentan material coluvial y aluvial reciente. Tanto en la cabecera norte como en la sur, se distingue la presencia de material de compacidad suelta y sin vegetación, junto con escombros de falda. Como material de compacidad suelta se entenderá al suelo que a partir de pruebas de terreno, presentan facilidad al cavar en él o al introducir una estaca.

A los 1.635 msnm se observan tanto en la ladera norte como sur, planos de debilidad o diques por donde se moviliza material aluvial y coluvial proveniente desde aguas arriba, los cuales se mezclan con el material producido en los mismos planos de debilidad, esto a causa de la meteorización del material en estos mismo planos, debido a procesos internos de fracturamiento, como por procesos externos.

Dentro del cauce principal coexiste material aluvial/ coluvial reciente, proveniente de las quebradas y procesos de las cabeceras norte y sur, y desde sus respectivas laderas; junto con material coluvial/aluvial antiguo.

En cuanto a la vegetación, ésta se aprecia con densidad considerable hasta los 1.635 msnm. Desde mencionada altura comienza a disminuir gradualmente, para ya en los 1.680 msnm encontrar baja a nula presencia de ésta.

**Ambiente y procesos de meteorización:** Entre los 2.000 y 1.680 msnm predomina el ambiente de alta precordillera, el cual se caracteriza por la presencia de nieve en invierno y su posterior deshielo en la época estival. Este ambiente provoca mayor generación de material detrítico, debido al crioclastismo, como la acción del hielo mismo, el que talla y meteoriza a la formación Abanico. Este material se acumula en las pequeñas quebradas que se mencionaron con anterioridad y son transportadas hasta el lecho principal por procesos coluviales (debido a las pendientes de entre 20° a 30°) y procesos aluviales (esto producto de los deshielos). Bajo los 1.680 msnm comienzan a predominar las lluvias y los procesos gravitacionales en cuanto al transporte y procesos de meteorización/producción de material detrítico.

*Figura III.4: Fotografías sección superior quebrada Lo Cañas*





Fuente: Ferrando y asociados, 2013. Las fotografías muestran el grado de fracturamiento que posee la formación Abanico en la sección precordillerana superior. Junto con ello, se divisan algunos depósitos coluviales producidos por dicha fracturación.

- **Sección precordillerana media**

**Ubicación:** Entre los 1.630 msnm y los 1.320 msnm. Comprende la sección en la cual el lecho principal de la quebrada presenta una curvatura con respecto a su trayecto normal, en donde el lado convexo de dicha inflexión se orienta al sur. Zona de pendientes de 15° a 20°.

**Morfología:**

Ladera exposición sur: Como subunidades geológicas predominan los depósitos coluviales y escombros de faldas de matriz abundante, compacidad blanda y cobertura vegetal, los cuales son derivados tanto de afloramientos rocosos como de suelo residual. Como suelos de compacidad blanda se entenderá a suelos que, en pruebas de terreno, demostraron ser fáciles de moldear y de apretar con los dedos, lo que indicaría alta presencia de arcillas y limos en su composición. Junto con ello, se reconocen afloramientos de la formación Abanico a los 1.330 msnm, los que conforman suelo residual de mencionada unidad. Debido a la exposición que posee la ladera, la vegetación aquí se presenta densa, la cual estabiliza el suelo residual y los depósitos coluviales en forma momentánea. Sin embargo, por la naturaleza de los depósitos y de la ladera en sí, éstos son susceptibles a ser removidos y causar erosión además de reptación.

Junto con lo anterior, se reconocen a lo menos dos quebradas activas, las cuales aportan material coluvial y aluvial reciente al lecho principal de la quebrada Lo Cañas.

Ladera exposición norte: Predominan tres subunidades. Por un lado, en la sección próxima al lecho principal de la quebrada Lo Cañas, se aprecian depósitos aluviales y coluviales antiguos. Adyacente a esta unidad, se presentan depósitos coluviales recientes de matriz abundante y compacidad blanda, con cobertura vegetal, los que se aprecian entre los 1.430 a los 1.340

msnm. Finalmente y con una extensión hasta la divisoria de la ladera, se reconocen depósitos de suelo residual proveniente de la formación Abanico, esto debido a la presencia de afloramientos de mencionada formación en el sector.

Desde la cabecera sur nacen tres quebradas, las que confluyen a los 1.550 msnm aproximadamente, para dar paso a una quebrada que baja por toda la ladera de misma orientación. Esta quebradas aportan material coluvial y aluvial reciente, tanto al lecho principal en esta altura, como a las unidades geológicas – geotécnicas que conforman la ladera.

En cuanto a la vegetación y debido a la exposición de la ladera, aparecen especies xerófitas como cactáceas y suculentas, en conjunto con especies propias del bosque esclerófilo. Esta vegetación es de menor densidad que la presentada por la ladera norte, aunque cabe señalar que en la quebrada que cruza paralelamente el lecho principal, la vegetación es densa e incluso se distingue bastante humedad en el sector.

**Ambientes y procesos de meteorización:** A diferencia de la sección anterior, el rol nival en la zona precordillerana media no es el predominante, sin embargo, los deshielos desde aguas arriba aportan material y erosionan la sección. En su lugar, el principal proceso externo que erosiona y moviliza el material que se encuentra en las quebradas y la ladera en sí, son las lluvias invernales.

- **Sección precordillerana inferior**

**Ubicación:** Desde los 1.320 a los 1.000 msnm. Luego de los 1.000 msnm corresponde a la zona piedmontana. Zona de pendientes moderadas, de 10° a 15°.

**Morfología:**

**Ladera exposición sur:** Como subunidades geológica predominante se encuentran depósitos coluviales de matriz abundante, compacidad blanda y cobertura vegetal, los que se encuentran distribuidos en toda ladera. El material de compacidad blanda y cobertura vegetal es más susceptible a movimientos en masa como del tipo reptación, en donde el material baja a velocidad lenta en forma de paquete. Cabe destacar la presencia de un lomaje a la salida norte de la quebrada de Lo Cañas, el cual está conformado por la presencia de depósitos glaciares antiguos, los que se presentan facetados y angulares, que comprueba actividad glacial en el sector tiempo atrás. Surcando mencionado lomaje, se aprecia una quebrada importante que nace desde esta parte de la ladera, la cual presenta signos de actividad reciente. En cuanto a la vegetación, en esta altura se presenta bastante densa, con material coluvial y aluvial entrampado en sus troncos, el cual en su mayoría es antiguo.

**Ladera exposición norte:** En cuanto a subunidades geológicas en esta sección predominan, al igual que la sección media, los depósitos aluviales y coluviales de matriz abundante, compacidad blanda y cobertura vegetal, en conjunto con depósitos de suelo residual

proveniente de la formación Abanico y depósitos coluviales y aluviales antiguos. Estos últimos depósitos se encuentran principalmente a los pies de la ladera, entrampados en la vegetación existente, mientras que los depósitos coluviales y aluviales recientes se encuentran principalmente a media ladera. Cabe destacar la presencia de sectores desprovistos de vegetación, con suelo desnudo, y presencia de material coluvial reciente, con intercalaciones de vegetación densa. Estos sectores se distribuyen desde los 1.260 a los 1.240 msnm aproximadamente. Al igual que en la sección media, en esta sección la vegetación se presenta menos densa que en la ladera anterior, presentándose especies del tipo xerófitas.

**Ambientes y procesos de meteorización:** El rol nival en la zona precordillerana inferior es casi inexistente, sin embargo, los deshielos desde aguas arriba aportan material y erosionan la sección. En su lugar, el principal proceso externo que erosiona y moviliza el material que se encuentra en las quebradas y la ladera en sí, son las lluvias invernales.

### **III.4.3.- Dinámica de laderas quebrada Tarapacá – Sta Rosa**

#### **- Sección precordillerana superior**

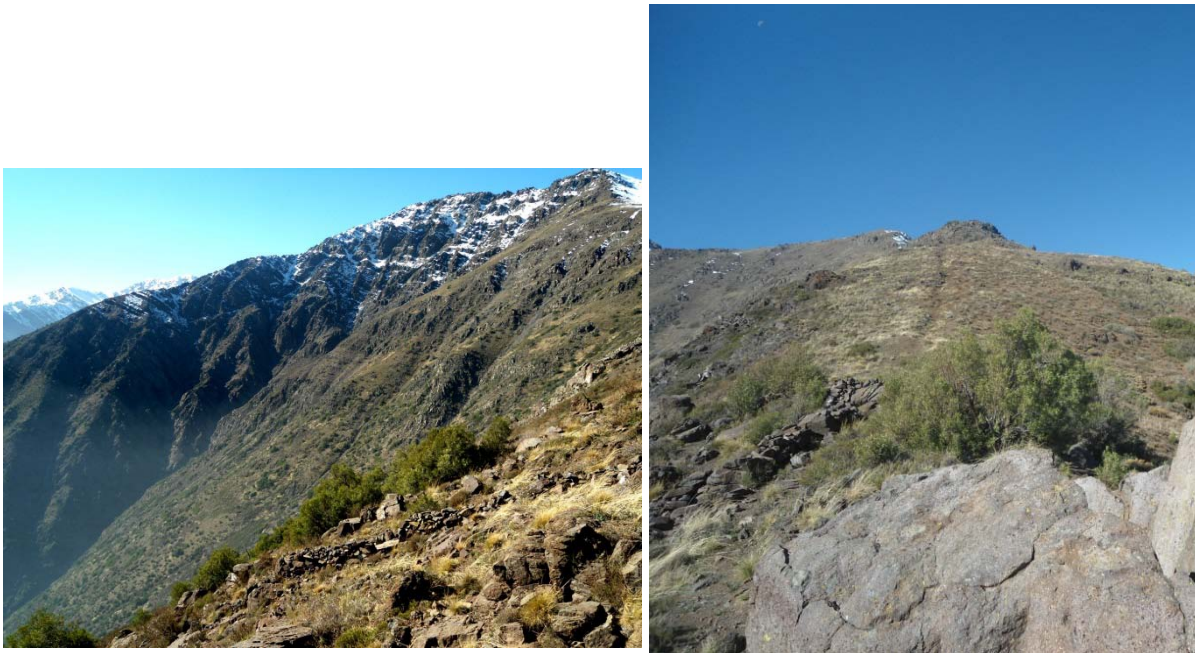
**Ubicación:** Entre los 2.000 y 1.770 msnm, comprende el sector de cabecera del sistema de quebradas Panul. Zona de pendientes altas, entre 25° y 35°.

**Morfología:** A diferencia de la quebrada de Lo Cañas, la quebrada Tarapacá – Sta Rosa posee sólo una cabecera, la cual se caracteriza por su forma de meseta y extensión. Esta meseta se extiende por unos 1.200 m aproximadamente, y se encuentra modelada por una quebrada que parte la cabecera sur de la quebrada Lo Cañas. A los 1.770 msnm termina la meseta y comienza el escarpe de la quebrada Tarapacá – Sta Rosa, donde la cara libre no se encuentra labrada en roca, sino que a partir de subunidades geológicas de suelo y algunos afloramientos rocosos. Las subunidades geológicas que se presentan corresponden a suelos residuales de la formación abanico y del intrusivo plutónico, la cual abarca hasta los 1.700 msnm aproximadamente; mientras que la otra subunidad corresponde a depósitos coluviales y escombros de falda de matriz abundante. Junto con estas subunidades, se reconocen algunos afloramientos rocosos de la unidad intrusiva, la que es descrita por Varela (1993) y Thiele (1990) como intrusivo plutónico mesozoico a terciario. No se divisan desprendimientos ni acumulación de material detrítico, salvo en los afloramientos rocosos correspondientes a la formación Abanico y del intrusivo plutónico, donde el material es generado debido al fracturamiento interno propio de las formaciones y por procesos de meteorización como el crioclastismo.

Se presenta vegetación del tipo subandina, es decir, vegetación del tipo matorral achaparrada y herbáceas.

**Ambiente y procesos de meteorización:** Predomina el ambiente de alta cordillera, en donde los vientos y la acción de los bruscos cambios de temperatura diarios en época estival (noches heladas, días calurosos) produce meteorización de los afloramientos rocosos, sin embargo, estos afloramientos se reducen a unos 5 aproximadamente y de poca extensión, por lo que el material que se produce no es de gran magnitud. La acción nival es mínima, ya que en temporada invernal no existen mayores acumulaciones de nieve, por lo que los deshielos no afectan en gran medida a esta zona.

*Figura III.5: Fotografías sección precordillerana superior quebrada Tarapacá – Sta Rosa.*



Fuente: Ferrando y asociados, 2013. Las fotografías muestran el sector de cabecera de la quebrada. A la izquierda se muestra la sección meseta descrita anteriormente (pastizal amarillo), mientras que a la derecha se aprecia uno de los afloramientos rocosos presentes en la sección.

#### - **Sección precordillerana media**

**Ubicación:** Desde los 1.770 msnm hasta los 1.270 msnm, corresponden al sector naciente de las quebradas hasta el quiebre de pendiente. Zona de pendientes de 15° a 25°.

**Morfología:** La quebrada Tarapacá – Sta Rosa se presenta como un sistema de 5 quebradas, las que parten desde los 1.770 msnm aproximadamente. Estas quebradas se caracterizan por estar, en su mayoría, estabilizadas por la vegetación, sin embargo, a la altura desde sus nacimientos, se aprecian algunas acumulaciones de detritos.

**Ladera exposición norte:** Corresponde a la ladera sur de la quebrada de Lo Cañas, pero observada desde el ángulo de la quebrada Tarapacá – Sta Rosa. Como subunidad geológica

predominan los suelos generados por residuos de la formación Abanico in situ, el cual se ubica en la divisoria de la ladera y cubierto por vegetación. Le sigue como subunidad geológica los depósitos coluviales y escombros de falda. Desde los 1.770 msnm la ladera se presenta con poca profundidad y pendientes de 25°, lo cual va aumentando paulatinamente a medida que se descende en altura, encontrándose pendientes mayores a 25° a los 1.500 msnm. A mencionada altura se observan pequeños deslizamientos de tierra, los que han sido cubiertos y retenidos por la vegetación del sector. Hacia el sur, se presentan las laderas de las cinco quebradas que se describieron anteriormente, las que se caracterizan por presentar algunas acumulaciones detríticas y pendientes fuertes de unos 15° a 25°.

Ladera exposición sur: Corresponde al sector del cerro Sta Rosa. Se caracteriza por presentar material coluvial de unos 10 cm de diámetro aproximado en toda su configuración. Este material se encuentra suelto, entrampado en la vegetación xerófila que predomina en el sector. A los 1.360 msnm se aprecian bastantes afloramientos rocosos y algunas acumulaciones de material detrítico. La subunidad geológica que predomina son los depósitos coluviales y escombros de falda, aunque existe presencia de algunos afloramientos rocosos como se indicó anteriormente. Las pendientes en este sector van de moderadas a fuertes de los 5° a los 25°. Las quebradas, desde la perspectiva sur, no cambian su configuración con respecto a la exposición norte.

**Ambientes y procesos de meteorización:** A los 1.700 msnm y a diferencia de lo que ocurre en el sector de cabecera, existen bastantes afloramientos rocosos con acumulaciones de material detrítico, el cual es producido tanto por los cambios de temperatura como por acción del mismo fracturamiento de la formación Abanico. Desde los 1.700 msnm se aprecia más una zona de acumulación de material más que de producción.

#### - Sección precordillerana inferior

**Ubicación:** Desde los 1.270 msnm hasta los 1.000 msnm comprende los sectores de quiebre de pendiente y de transición a los conos torrenciales.

#### **Morfología:**

Ladera exposición norte: No se aprecian cambios radicales con respecto a la configuración de la misma en la sección precordillerana media, de esta forma, se distinguen escombros de falda y material coluvial entrampados en la vegetación que va en aumento paulatino. Sin embargo, no se aprecian acumulación de material detrítico como en la sección media. Junto con lo anterior, en las quebradas que configuran el sistema, el material detrítico que se encuentra

posee menor diámetro, aunque se aprecia en la configuración total de las pequeñas laderas de dicho sistema. Esto reafirma la denominación de “debris flow” propuesta por Ferrando (2008) para la zona en cuestión, ya que adquieren la forma de conos de deyección pero de fuerte pendiente y trayectoria de alcance , dejando materiales más gruesos en su sección proximal y avanzando con los demás sedimentos hacia las partes más bajas.

Ladera exposición sur: Como subunidad geológica de suelo predominan los escombros de falda y depósitos coluviales. Sin embargo desde los 1.1400 msnm a los 1.060 msnm existe un quiebre, el cual está configurado por depósitos de remociones en masa pasadas, donde las pendientes son menores y se presenta una morfología parecida a una meseta. Es interesante destacar que precisamente por este punto pasa la falla de San Ramón. Desde los 1.060 msnm comienza el cerro Sta Rosa en sí, el cual se configura por suelos residuales de la formación Abanico en conjunto con depósitos coluviales. Existen varios afloramientos rocosos en esta sección, los cuales producen bastantes depósitos coluviales de tamaño heterogéneo, encontrándose varios bloques producidos por estos afloramientos en la sección pedemontana.

**Ambientes y procesos de meteorización:** En esta sección predomina más el rol de acumulación y captación de material que la producción de éste. Sin embargo, se distinguen procesos generadores de material en el sector del cerro Sta Rosa. Este material se acumula en la zona pedemontana y en las quebradas, quedando entrampado en la vegetación existente.

- **Conos torrenciales:**

La convergencia de los abanicos aluviales o conos de deyección que conforman el piedmont de las quebradas de Lo Cañas y Panul, generan una gran zona pedemontana en el sector que va desde los 700 a los 1.000 m. A partir de esto, y para un análisis más acabado, se dividirá la zona en tres sectores:

**Sector Santa Sofía de Lo Cañas:** Comprende la parte pedemontana al norte de la quebrada de Lo Cañas. Se compone básicamente de depósitos diamictíticos, es decir, depósitos sedimentarios mal clasificados sin estratificación, los que provienen de remociones en masa antiguas, más específicamente de corrientes de barro o “debris flow”. Estos depósitos cubren la mayor parte del sector de Santa Sofía y representan un precedente en cuanto a la trayectoria que puede seguir un movimiento en masa específico como el caso de una corriente de barro. Junto con ello, se presentan bloques antiguos de 2 a 3 m de diámetro, los que se encuentran repartidos por todo el sector y que son propios de ambientes pedemontanos, los que representan depósitos de conos de deyección aportados por la quebrada de Lo Cañas. Desde los 1.000 a los 970 msnm la vegetación se presenta densa, con especies esclerófilas que van desde arbustos hasta árboles de unos 2 a 3 m de longitud, sin embargo, pasado los 970 msnm, la vegetación comienza a disminuir, básicamente por la intervención antrópica. Desde mencionada altura aguas abajo, comienza la urbanización, en donde se encuentra la pavimentación del sendero que luego se transforma en la calle Longitudinal Sur, junto con

algunas viviendas con su respectivo tendido eléctrico. Este tipo de urbanización cabe en la clasificación de densidad baja, esto por las características de las viviendas como de su infraestructura de servicios.

**Sector bosque Panul:** Comprende el sector sur de la quebrada de Lo Cañas. Su composición consta básicamente de depósitos volcánicos y sedimentarios aportados por la quebrada de Lo Cañas, es decir, son depósitos propios del cono de deyección que genera la quebrada. Su granulometría es variada, encontrándose desde bloques de 2 a 3 m de diámetros, hasta gravas. En la parte distal del sector surgen acumulaciones de material que van desde 0,3 a 1,5 m de diámetro, los que se concentran debido a la construcción del cono por torrentes esporádicos de agua con carga sólida o hasta por flujos de detritos que transportaron los bloques y generaron las acumulaciones. A diferencia del sector de Santa Sofia de Lo Cañas, el sector del Panul permanece con vegetación densa hasta los 700 msnm aproximadamente, con alta presencia de materia orgánica y especies propias del bosque esclerófilo que, con sus raíces profundas y troncos duros y gruesos, entrapan los materiales acarreados por los torrentes esporádicos de agua con carga sólida, lo cual se evidencia en la mayoría del sector, en donde se encuentran árboles y arbustos con vegetación en sus troncos. Hacia el sector colindante a Santa Sofia de Lo Cañas, aparece una zona de pradera, de matorral abierto, en donde se presentan depósitos coluviales antiguos y recientes.

**Sector bosque Zavala:** Ubicado inmediatamente bajo la quebrada Panul, colindando por el norte con el bosque del mismo nombre, esta sección precordillerana se compone por depósitos volcánicos y sedimentarios aportados por la quebrada Panul, es decir, son depósitos propios del cono de deyección que genera la quebrada en sí. En la parte media y distal se encuentran bloques de entre 2 a 3 m de diámetro, en conjunto con material de menor tamaño. A diferencia de la quebrada de Lo Cañas, la quebrada Panul posee a lo menos dos lechos principales, los cuales configuran el sector del bosque Zavala. Estos lechos siguen su trayectoria hasta los 700 msnm aproximadamente, los cuales, desde los 1.000 msnm hasta mencionada altura se encuentran estabilizados, con vegetación abundante en su interior y sin signos de movilizar material. A los 880 msnm aproximadamente, se reconoce un pequeño lomaje compuesto por material anguloso e irregular en una matriz fina con predominancia de arcilla, los cuales son interpretados como depósitos de antiguos deslizamientos.

Desde los 940 hasta los 820 msnm se aprecia una fuerte intervención antrópica, la cual se ve materializada en numerosos surcos y regueros los cuales son causados por el uso de bicicletas, a partir de actividades como el descenso y el BMX, los que van en aumento debido a la acción del agua en conjunto con la actividad en sí. En este sentido, en esta sección del bosque Zavala el suelo se presenta compacto, fuertemente erosionado, con baja presencia de materia orgánica y de especies arbóreas.

*Figura III.6: Sector conos torrenciales comuna de La Florida*



Fuente: Ferrando y asociados, 2013. La fotografía muestra el sector pedemontano de la comuna de La Florida descrito con anterioridad.

### **III.5.- PENDIENTES Y UMBRALES DE PROCESOS**

Las laderas precordilleranas de Santiago se caracterizan, en general, por presentar una morfología escarpada y escalonada. En las secciones superiores se producen taludes con depósitos detríticos coluviales no consolidados, mientras que en las secciones medias, se presentan mantos detríticos inestables. Finalmente, en las zonas inferiores, la vegetación juega un rol fundamental en la estabilización del terreno, en conjunto con la formación de suelo.

Uno de los factores que mayormente influye en las dinámicas de las laderas son las pendientes que en ellas se presentan. En este sentido, el cuadro a continuación (Fig. III.4) caracteriza los procesos que se pueden presentar de acuerdo al tipo de pendiente.



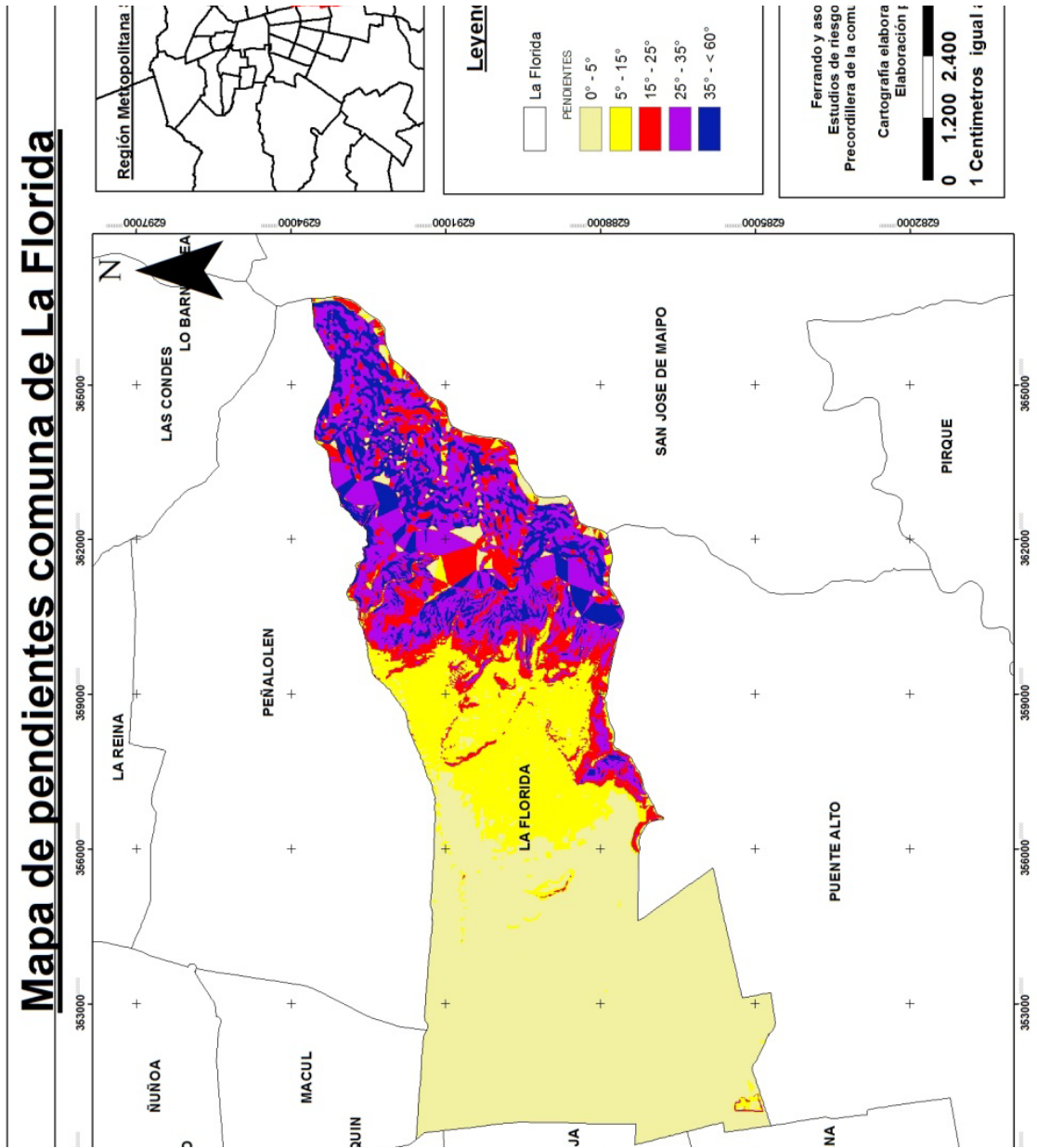
Figura III. 4: Umbrales de procesos según rango de pendientes

<b>Pendiente aproximada Grados</b>	<b>Pendiente aproximada %</b>	<b>Concepto de Pendiente</b>	<b>Justificación Geomorfológica</b>
0 – 2	0.0 – 4.5	Horizontal	Erosión nula a leve Denudación no apreciable
2 – 5	4.5 – 11.0	Suave o leve (ligeramente empinado)	Erosión leve, débil. Inicio de regueras. Soliflucción fría. Movimientos en masa lentos, escurrimiento laminar e inicial en regueras.
5 – 10	11.0 – 22.0	Moderada	Erosión moderada a fuerte. Inicio de erosión lineal
10 – 20	22.0 – 44.5	Fuerte	Erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes. Peligro de erosión de suelos y deslizamientos.
20 – 30	44.5 – 67.0	Muy fuerte a moderadamente Escarpada	Carcavamiento. Movimiento en masa y reptación
30 – 45	67.0 – 100.0	Muy Escarpada	Coluvionamiento y soliflucción. Posibles desprendimientos de rocas
+ de 45	+ de 100.0	Acantilada	Desprendimientos, derrumbes y corredores de derrubios. Desplomes y rodadura de roca.

Fuente: Ferrando, 2006, basado en Araya & Börgel (1972) y Zuidam (1986).

En este sentido, y considerando el mapa de pendientes mostrado en la figura III.5, las pendientes de las laderas de las quebradas de la comuna de La Florida van desde los 15° a los < 35° grados, estando categorizadas como pendientes fuertes a muy escarpadas. De esta forma, y considerando la dinámica de ladera descrita anteriormente, en donde se mencionan depósitos coluviales acumulados, se puede inferir que la precordillera de la comuna posee un nivel de susceptibilidad ante movimientos en masa alto.

*Figura III. 5: Cartografía de pendientes comuna de La Florida*



#### **IV.- ASPECTOS HIDROLÓGICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

##### **IV.1.- ANTECEDENTES GENERALES**

El frente precordillerano de Santiago, conjunto de relieves montañosos que supera localmente los 3000 msnm, presenta una morfología derivada tanto de origen geológico-tectónico como de la evolución geomorfológica desarrollada por múltiples procesos entre los que se cuentan los geofísicos, los gravitacionales y los hidrológicos. En este desarrollo morfogenético se han

configurado una serie de microcuencas, las cuales por sus características orográficas y el efecto de estas sobre los procesos climáticos, los que aportan aguas en forma tanto sólida como líquida, generan respuestas torrenciales que rompen su tranquilo y habitual comportamiento.

Dichos procesos, provistos de la gran energía que les provee tanto el volumen de la alimentación recibida en ciertas épocas del año como el relieve de las secciones superiores de las microcuencas, suelen constituirse en amenazas para los sectores ubicados en el piedmont adyacente. Es frente a estos fenómenos, los cuales registran una ocurrencia aleatoria, que el ordenamiento del territorio, principalmente precordillerano y del sector proximal del pie de monte, debe tener como objetivo básico el servir de mitigador de dichos mecanismos naturales.

Ello requiere reconocer y valorar las funciones hidrológicas que, entre otras, desarrolla la franja de territorio que comprende el sector de las nacientes de las microcuencas, así como los mecanismos naturales de amortiguación y absorción del *momentum* hidrológico que naturalmente cumple el sector pedemontano, acción sin la cual los impactos proyectados sobre el área urbana habrían sido más desastrosos de lo que se tiene memoria y registro.

Algo que no debe pasarse por alto es que los torrentes hídricos tienen la capacidad de erosionar e incorporar ingentes volúmenes de materiales detríticos de muy distinta granulometría, lo cual los transforma en flujos detríticos (popularmente conocidos como aluviones), tipo de movimiento en masa fluidal concentrado que tiene un elevado poder destructivo de lo que encuentra a su paso.

En este contexto y con el objeto de poder caracterizar con base cuantitativa los tipos de respuesta hidrológica de las microcuencas del área de estudio, específicamente de los sistemas de la Quebrada de Lo Cañas y de la de Tarapacá-Sta. Rosa, se requiere de registros hidrológicos los cuales no existen. Ante esta situación, se realizan determinaciones indirectas basadas en índices de escorrentía y en parámetros hidromorfométricos que permiten caracterizar de forma indirecta las potenciales respuestas hidrológicas.

A continuación se presentan los antecedentes, resultados y análisis de la información disponible respecto de los aspectos señalados.

#### **IV.2.- SISTEMAS HIDROLÓGICOS DEL SECTOR PRECORDILLERANO DE LA COMUNA DE LA FLORIDA**

Se trata de un conjunto de microcuencas, entre las que se cuentan: (Fig. IV.1)

- Los afluentes de la vertiente sur de la Quebrada de Macul, como en subsistema de Las Perdices, entre otros;
- La Quebrada de Lo Cañas con una altitud máxima en la divisoria de 2483 msnm; y al sur de ella
- El sistema de drenes que configuran la microcuenca que en este estudio es denominada como Tarapacá-Sta. Rosa de acuerdo a los topónimos locales que figuran en la Carta Topográfica IGM 1:50.000 correspondiente.

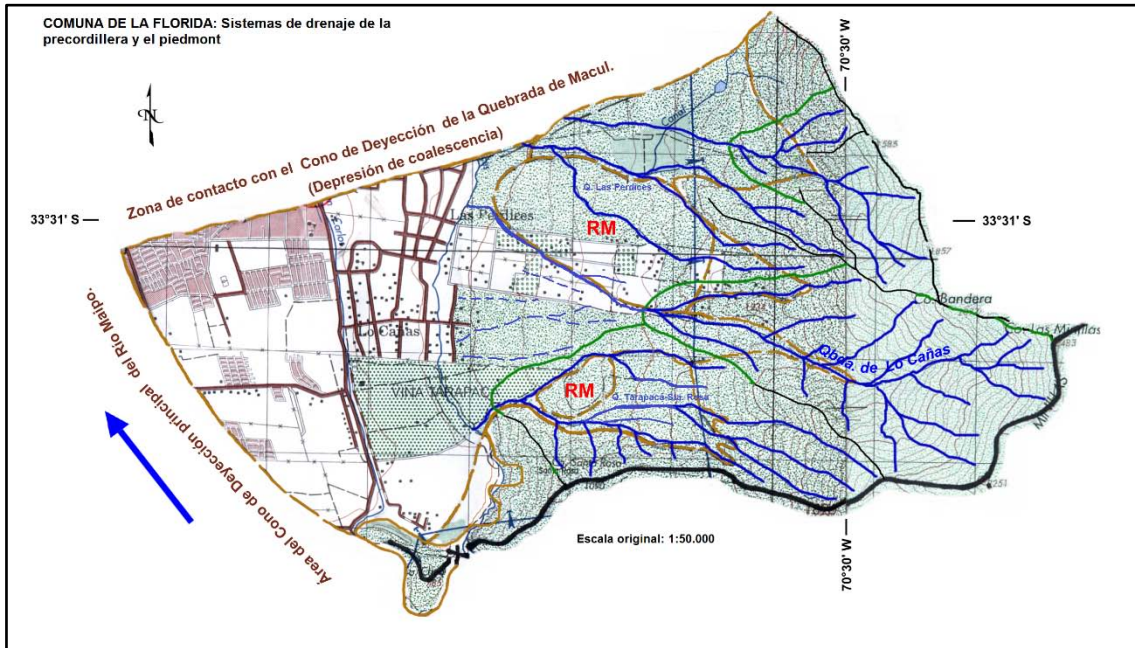


Fig IV.1: Sistemas de drenaje superficial de la precordillera y el piedmont de la Comuna de La Florida

Este sistema de microcuencas muestra un decrecimiento progresivo de la altitud de la divisoria y reducción en la superficie de sus secciones superiores de N a S.

Las laderas que conforman dichas secciones presentan, en su parte superior, fuertes pendientes y una alta rugosidad superficial asociada a la presencia de los frentes de las capas de roca del sustrato, los que con su resistencia diferencial a la erosión generan perfiles de ladera muy irregulares y quebrados. Se suma a ello la presencia local de estratos casi verticales y de menor espesor, lo cual genera vertientes de hog back que, aunadas a la disconformidad que impera en el resto de las vertientes y a la erosión geológica que afecta al conjunto, constituye una fuente de abundante material detrítico por sobre los 1500 msnm en promedio. (Fig. IV.2).



*Fig. IV.2: Sector rocoso propio de las nacientes de la Quebrada de Lo Cañas.*

Ello revela un efectivo mecanismo de tipo gravitacional, asistido por la acción de las aguas meteóricas y de fusión nival. Por lo tanto, los aportes de material clástico desde las vertientes a los cauces provienen fundamentalmente de la liberación de ellos desde los frentes rocosos ante la presión ejercida por el escurrimiento intrafractal, por la acción sísmica y, en menor cantidad, por la acción del viento.

Bajo esta altitud, las laderas registran una disminución gradual de la gradiente a la vez que el manto detrítico comienza a aumentar, lo cual ha permitido el desarrollo de regosoles y suelos predominantemente minerales de escaso espesor, en los que se soporta una vegetación de tipo estepario y de especies arbóreas esclerófilas con escasa densidad general, pero que muestra un aumento significativo en la proximidad de los talvegs.

La densidad de la erosión lineal en la cabecera de esta microcuenca es significativamente alta, especialmente en los sectores que en el pasado han sufrido el vaciamiento de sus mantos detríticos como parte de los procesos de movimientos en masa que las afectaron. Muestra de ello son las cicatrices de despegue de estos mecanismos que se reconocen fácilmente en sus nacientes. A partir de los procesos indicados, se generaron importantes depósitos en forma de lenguas y lomajes menores a la salida del marco montañoso precordillerano.

En cuanto las microcuencas Tarapacá-Sta. Rosa, la morfología de las laderas en la cabecera de este subsistema es notoriamente menos abrupta, con mucho menor rocosidad y rugosidad, y

con una gradiente relativamente suave, todo lo que deriva en condiciones más favorables para la acumulación de nieve en la divisoria por su ancho, y en el predominio de escurrimiento laminar. Ello se debe a la inoperancia de mecanismos actuales de detritificación de las rocas para la altitud de estos relieves.

Descendiendo, se pasa bruscamente a formas de escurrimiento concentrado en la sección media e inferior, apreciándose un rápido desarrollo de formas de erosión lineal. Localmente en estas vertientes y fondos de cauce se observan flujos detríticos de alcance reducido, pero que implican una acumulación en condiciones inestables de carácter progresivo.

Respecto de los cauces existe una clara diferencia entre el de la Quebrada de Lo Cañas y los otros. El primero de ellos presenta un ancho variable entre 30 y 50 m, con abundante material detrítico grueso en su fondo, el que se presenta ahogando tanto los aportes laterales como la vegetación arbórea y arbustiva en contacto directo con algunos bordes de socavamiento. Ello revela una mayor actividad de los flujos longitudinales respecto de la importancia de los aportes laterales durante las últimas décadas. Paralelamente, el cauce estacional actual se muestra desprovisto de vegetación y con presencia de material detrítico heterométrico (mal seleccionado) y fresco.

Por su parte, los cauces del subsistema Tarapacá-Sta. Rosa se presentan como formas de disección estrecha e incidida, con fondos de ancho reducido (menos de 5 m), pero igualmente provistos de material detrítico grueso, el cual aparece en gran medida semi enterrado. A ello se agrega la presencia de vegetación arbórea y arbustiva mejor desarrollada que en su entorno, lo que revela la poca actividad de flujos detríticos experimentada en las últimas décadas.

Dada la diferenciación altitudinal en términos de gradiente, rocosidad, rugosidad, cobertura vegetal y procesos morfogenéticos, el comportamiento de las aguas interceptadas o de las producidas por fusión nival pasa por etapas que van de escurrimiento laminar a progresivamente concentrado, proceso que tiene directa relación con la sumatoria progresiva de la carga sedimentaria y de la energía erosiva y de transporte.

Por su parte el sistema hidrológico Tarapacá-Sta. Rosa, provisto de una serie de cauces de patrón paralelo en el sector de laderas, presenta dos situaciones en el ámbito del cono torrencial: los cauces que confluyen gradualmente en su recorrido por la superficie de este, y los que desaparecen producto de la infiltración de las aguas que avenan estacionalmente, aportando a las aguas subterráneas. Ello refleja un rol hidrogeológico relevante de esta unidad morfológica en términos de controlar por percolación los flujos hídricos y las aguas de precipitación directa que llegan a su superficie, rol al que la vegetación nativa aporta eficientemente.

Desde el punto de vista de la evolución del relieve de estas microcuencas, y derivado tanto de la abrupta morfología resultante como de los mecanismos orogénicos y sísmicos como de la erosión periglacial, pluvial y de la escorrentía, se desencadenaron movimientos en masa densos que dejaron morfologías acolinadas así como flujos torrenciales de tipo debris flow, los que aparecen sepultando la sección superior de dichos depósitos así como modificando su morfología, encajándose en ellos y disectándolos, para depositarse en forma de conos torrenciales.

Actualmente, en las laderas se reconocen algunos deslizamientos y conos coluviales semiestabilizados, así como algunos corredores de derrubios activos,

Al respecto, y de acuerdo a lo señalado precedentemente, ambos sistemas hidroespaciales del área de estudio registran diferencias en la potencialidad de generar flujos detríticos, siendo la Quebrada de Lo Cañas la de mayor susceptibilidad.

Estos últimos, cuya historia es reciente en este sistema, se justifican en la suma de una serie de parámetro hidromorfométricos que actúan en conjunto para potenciarlos, tales como la alta pendiente, la gran densidad de los drenes de menor jerarquía y la elevada compacidad, lo que sumado a la baja densidad de cobertura del suelo viene a reducir sustantivamente los tiempos de respuesta hídrica frente a la ocurrencia de eventos pluviométricos propios de la estación invernal.

En el caso de las quebradas de Tarapacá-Sta. Rosa, la escasa disponibilidad y menor almacenamiento de masas de sedimentos en la sección superior de este sistema hace prever una baja factibilidad de ocurrencia de flujos detríticos, pero se detecta una inestabilidad potencial de las laderas, la cual se manifiesta ante intervenciones que rompen su perfil longitudinal, dando inicio a movimientos en masa de gran magnitud del tipo deslizamientos de laderas y reptación de la cubierta detrítica. Este fenómeno, que ya se presenta un avance incipiente sobre el trazado del “Sendero de Chile” producto de los cortes y obras efectuadas para su habilitación, podría masificarse de concurrir los agentes desencadenantes indicados.

### **IV.3.- ANTECEDENTES HIDROLÓGICOS**



Estos hacen referencia fundamentalmente a la red de drenaje que se desarrolla en la sección superior y media de las microcuencas, es decir, dentro del ámbito precordillerano y del piedmont. Por lo tanto, se consideran los cursos primarios de agua, tales como drenes elementales y esteros, los que constituyen las formas de expresión de la escorrentía superficial en el sector. Como parte del funcionamiento de estos sistemas de drenaje ante eventos de crecidas o ejarbes, las posibilidades de desborde y de arrastre de materiales dependen tanto de las características iniciales del escurrimiento como de las configuraciones naturales de las cuencas de recepción, y de las áreas de transferencia según el nivel de modificaciones de origen antrópico llevadas a cabo.

Entre los efectos de las intervenciones se encuentra la pérdida de la capacidad de infiltración, lo que constituye un aporte a la alimentación de las napas subterráneas. Esta situación puede ser natural (sustratos de naturaleza impermeable) o resultar de la intervención humana directa y, en particular, del tipo y magnitud de esta. Bertrand (1992) plantea que la lluvia que cae por debajo de los 1.500 msnm tiene menos oportunidad de evaporarse y de infiltrarse. Esta menor pérdida implica mayor velocidad de escurrimiento de los caudales dada la pendiente, lo que no permite, o al menos dificulta, la evaporación. De hecho, la propia pendiente en interacción con la calidad acuífera de los sustratos de las cuencas de recepción puede impedir o dificultar la infiltración.

Dadas estas condiciones, las aguas lluvias pueden escurrir raudamente aguas abajo, y alcanzar los conos torrenciales en cuya zona proximal una parte normalmente suele infiltrarse hasta llegar a la napa freática, en tanto que otra parte sigue por los cauces naturales.

La sección proximal de los conos es así la mejor área de infiltración del agua de los flujos detríticos en pro de las napas, ya que es capaz de mantener un coeficiente de infiltración igual al 60% del total de las aguas lluvias.

El 40% restante de las aguas provenientes de las quebradas se desplaza por la superficie (escurrimiento en manto), es retenida por la cobertura vegetal, o es concentrada en los cauces, los que presentan muy disímiles características en el área de estudio.

El cauce de la Quebrada de Lo Cañas es un cauce torrencial en el que la vegetación está ausente por este motivo, y presenta restos de flujos de detritos de tipo cenuglomerado, parte de los cuales se encuentra constituyendo camellones laterales, expresión morfológica de fenómenos de desborde por incapacidad del cauce para contener la masa hidro-detrítica en movimiento.

A diferencia, los cauces se del sistema de quebradas Tarapacá-Sta. Rosa se observan predominantemente vegetados por especies leñosas y herbáceas, lo que indica una buena capacidad de infiltración y, consecuentemente, de mitigación de las avenidas y los flujos detríticos.

Para las aguas que desbordan los cauces, las que se suman a las de la lluvia directa, el área de los conos torrenciales constituye la superficie de sedimentación e infiltración.

#### IV.3.1.- Determinaciones Hidrológicas previas (Bertrand 1992):

De acuerdo con el estudio de la referencia, la magnitud de estas superficies de infiltración (conos torrenciales) es la siguiente:

##### CONOS DE DEYECCION Y PIEDEMONTE.

Nombre Quebrada	Superficie (hás.)
Lo Cañas	750.0
Tarapacá-Sta. Rosa	135.0

Respecto de los caudales esperables, y por no contar con caudales medidos para las quebradas del piedmont, Bertrand (op. cit.) utilizó el Método Racional de estimación del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 1981). Este método es utilizable en cuencas pequeñas, menores de 1.000 hectáreas, aún cuando se aplica con éxito en áreas de hasta 3.000 hectáreas.

En este método, el **caudal máximo** para un determinado período de retorno se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = C i A / 3.6$$

Donde: Q = caudal en m<sup>3</sup>/seg.  
C = coeficiente de escurrimiento de la cuenca  
A = área portante en km<sup>2</sup>  
i = intensidad de lluvia de diseño en mm/hr.

Por su parte, el **Coficiente de Escurrimiento** fue calculado en función a los cuatro factores señalados por el MOP, a saber:

- permeabilidad de terreno,
- cobertura vegetal,
- capacidad de almacenaje de agua
- relieve del terreno.

Los tres primeros factores fueron analizados mediante fotointerpretación de las distintas cuencas.

La pendiente o relieve del terreno fueron determinados, mediante parámetros como las superficies de las intercurvas de nivel, el índice de compacidad y el lado mayor del rectángulo equivalente.

Para el cálculo específico del área intercurva en distintas altitudes, se digitalizó e ingresó la información de las cartas topográficas 1:50.000 IGM al SIG ARC/INFO PC.

El sistema facilitó enormemente el proceso en lo que se refiere al cálculo de áreas intercurva, por cuenca, cruzando la cobertura de curvas de nivel con aquella que contenía los límites de cada cuenca.

- **Área aportante o superficie de la cuenca**

Para determinar las superficies de las cuencas, éstas se delimitaron mediante identificación de líneas de cumbre y divisorias en la fotointerpretación, considerando la geometría de las curvas de nivel.

- **Intensidad de la lluvia de diseño.**

La intensidad de lluvia de diseño corresponde a la de duración igual al tiempo de concentración del área y a la frecuencia o período de retorno seleccionado como adecuado.

El tiempo de concentración del área se define como el tiempo necesario para que la partícula hidráulica de agua más alejada alcance el punto de salida y se estima mediante fórmulas empíricas aproximadas (MOP, 1981).

La fórmula general de la intensidad de lluvia de diseño corresponde a la siguiente:

$$I = T_c * I_m$$

Donde: I = intensidad de lluvia de diseño.  
T<sub>c</sub> = tiempo de concentración.  
I<sub>m</sub> = intensidad o precipitación media de lluvia para un período de retorno determinado.

En esta investigación se utilizamos la siguiente fórmula de tiempo de concentración desarrollada por el U.S. Soil Conservation Service:

$$T_c = 0.95 (L/H)^{0.235}$$

Donde: T<sub>c</sub> = tiempo de concentración en horas.  
L = distancia en kilómetros, medida siguiendo el curso principal

del agua, desde la salida hasta el punto más alejado del área.  
 $H =$  desnivel en metros desde la salida al punto más alejado.

Por otra parte, y para hacer mucho más real la precipitación media ponderada de cada cuenca, se estimó la Pp. Máx en 24 hrs. para cada banda de altitud considerando que el mes de Junio concentra el mayor número de máximas diarias.

Posteriormente, Bertrand (op. Cit.) pondero los montos de lluvia según altitud con la superficie que representaba la banda de altitud dentro de cada cuenca: las cuencas que poseen cabeceras más altas y de gran superficie incrementan en forma importante su precipitación ponderada. Finalmente, se multiplicó la precipitación media ponderada de cada cuenca por el coeficiente de duración de 1 hora (0.16). Esto quiere decir que dentro de una precipitación diaria, hay una concentración o peak, que acumula el 16% de la lluvia diaria.

De acuerdo a estos métodos, los caudales estimados según período de retorno para el sistema de Lo Cañas en metros cúbicos por segundo fueron los siguientes:

Nº (*)	Microcuencas	10 años	20 años	30 años	50 años
15	Lo Cañas	3,20	3,80	4,20	4,85
16	Tarapacá-Sta. Rosa	2,40	2,90	3,20	3,95

**Estos cálculos son actualizados en el presente estudio, en el capítulo correspondiente al análisis climatológico.**

#### **IV.4.- ASPECTOS HIDROMORFOLÓGICOS**

Como se ha señalado, en el frente montañoso de Santiago se han inscrito una serie de quebradas las que, alcanzando diferente desarrollo areal, diferente forma y pendientes medias considerables, tienen el carácter hidrodinámico de reaccionar con comportamientos exacerbados ante situaciones climáticas tales como lluvias intensas, lluvias prolongadas, y fusión nival violenta, a lo cual coadyuvan la gran cantidad de material detrítico existente en las partes altas de cuencas y laderas, su baja cohesión, las fuertes pendientes, así como también la actividad micro sísmica permanente alterada aleatoriamente por sismos de mayor magnitud.

Dado este escenario, se debe considerar que:

1.- las laderas de la parte superior de las quebradas, con pendientes superiores a la de equilibrio ( $>$  de  $30^\circ$ ) presentan el sustrato rocoso expuesto, el cual posee una fuerte fracturación y fragmentación interna y, consecuentemente, una alta producción de material

detrítico grueso (gravas y bloques). Parte de este material se encuentra aún en las laderas y otra parte en las secciones superiores y medias de los cauces.

2.- El sistema de erosión periglacial (estacional), así como los eventos sísmicos (eventuales pero frecuentes), aumentan la producción y acumulación de estos sedimentos cada vez que se manifiestan.

3.- Esta fábrica de sedimentos tiene su bodega de acumulación en los primeros contrafuertes andinos (precordillera), que no es otra cosa que un frente de falla, y el piedmont (Conos torrenciales). Esta acumulación progresiva lleva a situaciones de equilibrio límite, el cual cada cierto número de años se rompe provocando el vaciamiento (por suerte parcial) de estas bodegas naturales en altura, provocando desastres.

4.-Existe inestabilidad en los Conos Torrenciales: Dado que están compuestos por material detrítico muy mal seleccionado (mezcla de fragmentos de todos los tamaños) y por presentar una baja compactación (debido a su génesis violenta), la percolación de las aguas y su circulación por dentro de su masa va provocando en forma progresiva un lavado (extracción) de los sedimentos finos. Ello ha generado incremento de los intersticios, desequilibrio interno y reacomodación de los fragmentos. Esto los convierte en una masa sedimentaria propensa a las subsidencias (hundimientos) y a generar flujos detríticos. En el peor de los casos, los depósitos de movimientos en masa antiguos existentes en el sector pueden sufrir remoción, es decir, una reactivación y nueva puesta en movimiento de su masa. Este desequilibrio interno es controlado en gran medida por la masa radicular de las especies vegetales autóctonas.

5.- el sector del piedmont se encuentra comprometido por la Falla de Ramón, parte de la Falla Regional Pocuro, la cual está latentemente activa (se reactiva con cada sismo de magnitud mayor).

Complementariamente, Börgel (1989) estableció que el piedmont está formado por materiales de aluvionamiento, fenómeno en el que han intervenido fluctuaciones climáticas de largo y corto plazo, la pendiente y la pequeña dimensión del espacio entre la precordillera y el plano. Ello genera alta proclividad a fenómenos de movimientos en masa que tienden a repetirse con diversas magnitudes, cada vez que hay precipitaciones intensas y/o prolongadas. Una de las conclusiones ante esta situación, según Bertrand (op. cit.) indica que todo el sector pedemontano tiene una clase IV y V de capacidad de uso y que, por lo tanto, debe ser destinado a la forestación y recreación, observación que plantea concretamente la inconveniencia de transformar este sector en área residencial, cualquiera sea la densidad de la construcción.

## V.- CONTEXTO CLIMÁTICO

### V.1. - Antecedentes del sistema climático regional y su sector precordillerano

La principal característica que presenta el área metropolitana de Santiago es su clima de tipo "mediterráneo continental", el cual presenta una estación seca prolongada e inviernos lluviosos. Según la clasificación de Köppen presenta un clima templado de verano seco (Csa).

Respecto a las temperaturas extremas para el período de referencia 1981-2010, el mes de enero alcanza 30,1°C como temperatura media de las máximas, mientras que julio registra de media de las mínimas unos 3,9°C, lo cual implica una oscilación térmica de 26,2°C. La temperatura media anual es de 14,7°C, enero es el mes más cálido, con una temperatura media de 21,2°C, y el mes más frío corresponde a julio con 8,2°C, siendo la amplitud térmica media de unos 13°C (ver figura V.1).

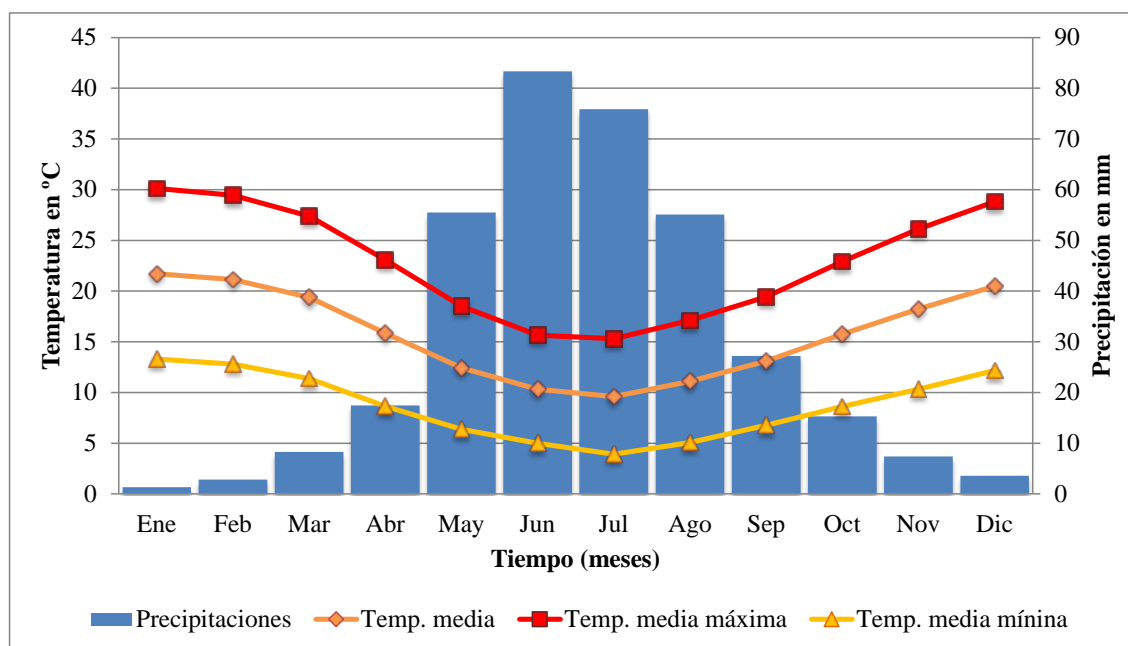


Figura V.1. Climodiagrama de temperatura y precipitación mensual para el período 1981–2010. Graficado según el índice xerotérmico de Gausson 1°C equivale a 2 mm.

Un asunto de interés es el progresivo aumento de las temperaturas máximas y mínimas año tras año que ha experimentado Santiago en su estación Quinta Normal. La temperatura media de las máximas ha aumentado 0,99°C en los últimos 56 años, muy similar al aumento de la temperatura media de las mínimas, que subieron 0,81°C, tal como muestra la figura V.2.

Estas tendencias reflejan en alguna medida el calentamiento global, pero son producto también del efecto de la isla de calor urbana.

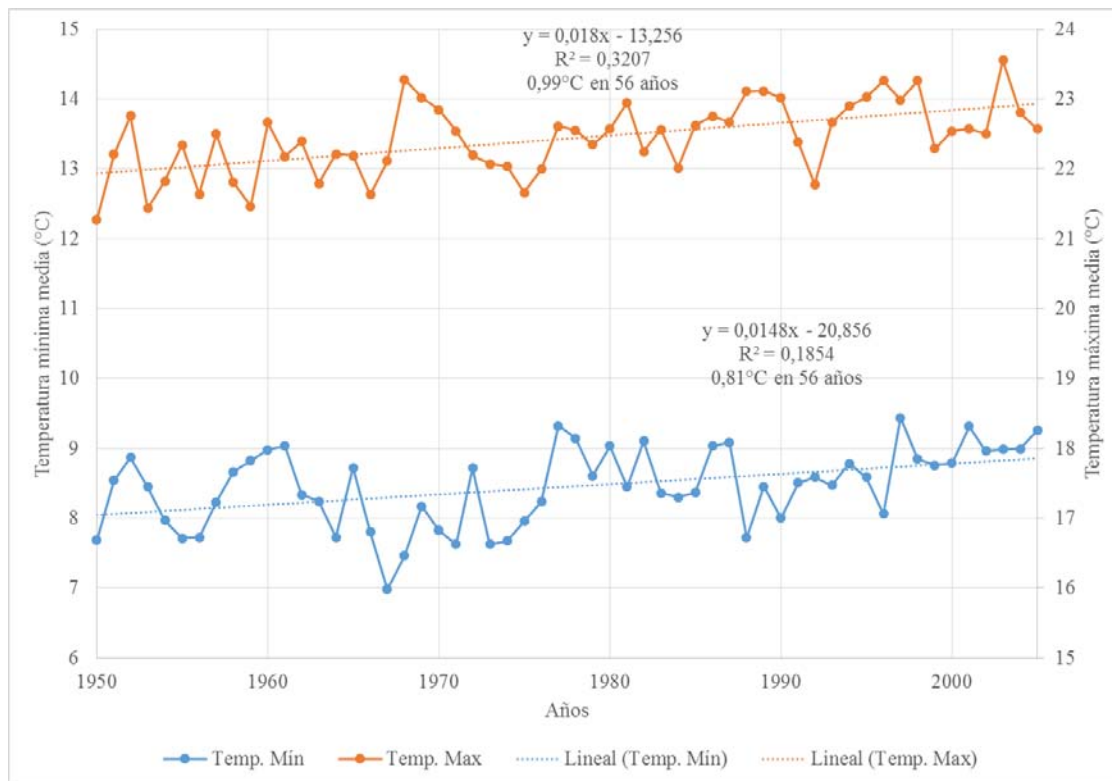


Figura V.2. Tendencias de las temperaturas máximas y mínimas de Quinta Normal desde 1950.

El sello característico del clima regional lo constituyen las precipitaciones, con montos promedio bastante modestos (336,03 mm) y una alta variabilidad (ver figura V.1). En el año más lluvioso entre 1981 y 2010 precipitaron 712,2 mm (1997), mientras que en el año más seco 89,3 mm (1998), lo que supone que la primera cantidad es 8 veces la segunda. No obstante, entre 1901 y 2010 el año más lluvioso recogió 11 veces la del año más seco, tal como se aprecia en la figura V.3.

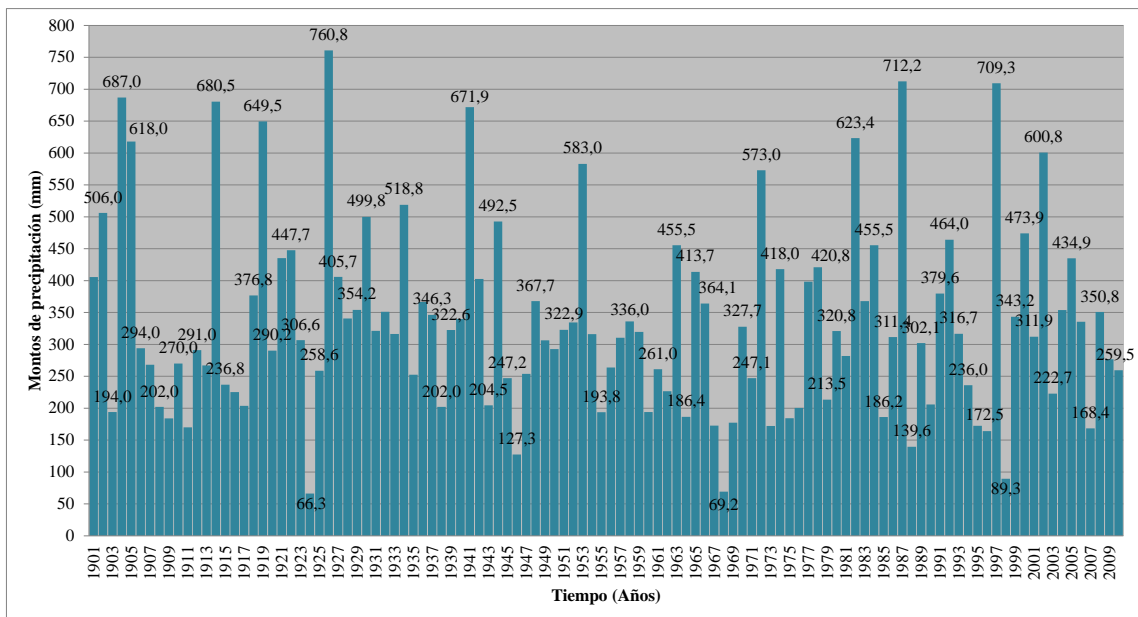


Figura V.3. Precipitación en Quinta Normal en el período 1901–2010.

Las precipitaciones en general están sometidas al efecto orográfico, por lo que decrecen desde la costa hacia la depresión intermedia, para aumentar nuevamente en la cordillera de los Andes; originándose de esta manera líneas bioclimáticas generales de la región y de la zona central de Chile (Dirección Meteorológica de Chile o DMC, 2011).

En el sector de Colina y en menor grado en la zona de Santiago existen climas más áridos y con mayores fluctuaciones térmicas, que reflejan la penetración del clima de estepa, hecho que se debe a la presencia de la cordillera costera, relativamente alta, que actúa como barrera, dificultando la penetración de las condiciones marítimas. La humedad relativa que se presenta en la cuenca de Santiago es apreciablemente menor que la de la costa. Santiago alcanza en el último período de 1981-2010 un 68% de humedad relativa media, siendo enero el mes más seco (53,6%) y junio el más húmedo, con un 81,2% (ver figura V.4).



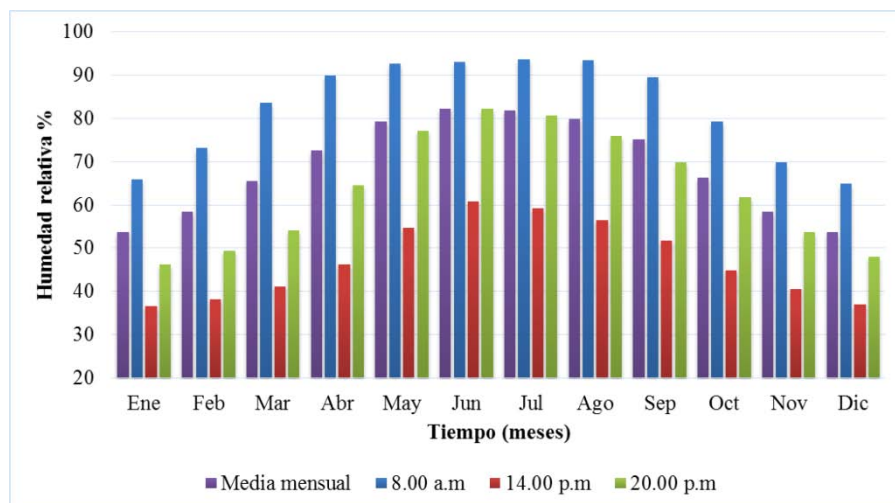


Figura V.4. Humedad relativa media mensual en el período 1981–2010.

La nubosidad en la región muestra una marcada estacionalidad (ver figura V.5): inviernos muy nubosos con cerca del 60% de los días en dicha situación y veranos despejados y poco nubosos en casi un 90% de los días.

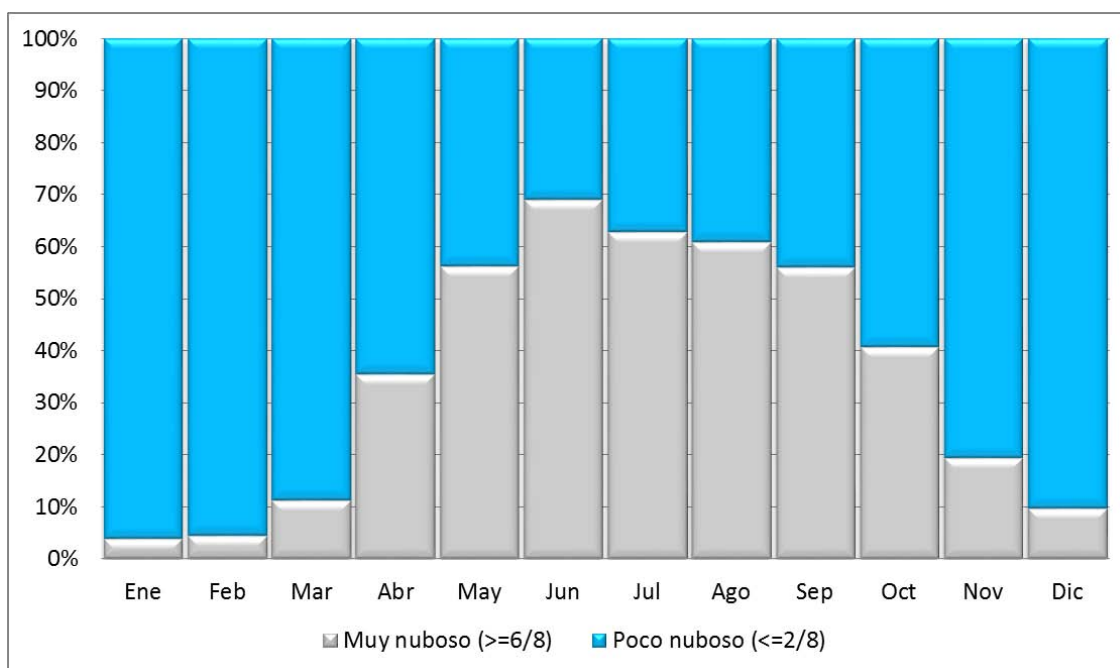


Figura V.5. Nubosidad media mensual en el período 1981–2010.

Una característica decisiva en el clima de la región la constituye la presencia de las cordilleras de los Andes y de la Costa y el alejamiento progresivo al Océano Pacífico, lo cual incide en una condición de “continentalidad” del clima de Santiago. Dentro de los límites fijados para el área de estudio se distinguen al menos 5 unidades bioclimáticas: Santiago, Piedmont norte, Precordillera, Colina-Tiltit y Batuco (ver figura V.6). Ellas se pueden reagrupar en dos unidades: Santiago, Batuco y Colina-Tiltit por un lado y Piedmont norte y Precordillera por otro, las que se diferencian principalmente por los atributos de la tabla V.1.

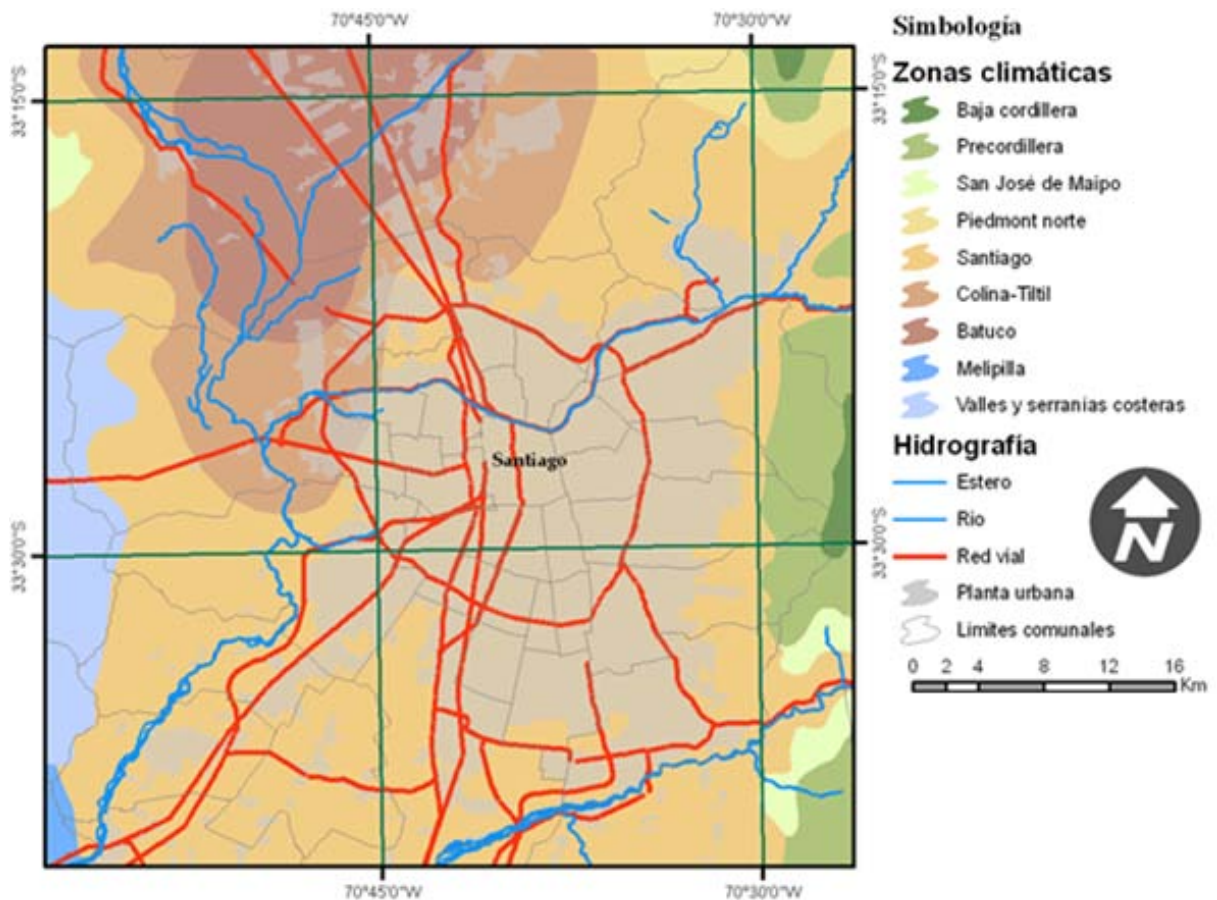


Figura V.6. Mapa de Zonas Climáticas.

Tabla V.1. Algunos parámetros de las zonas Climáticas presentes en el área de estudio.

<b>Parámetros climáticos</b>	<b>Santiago</b>	<b>Colina-Tiltil</b>	<b>Batuco</b>	<b>Piedmont Norte</b>	<b>Precordillera</b>
Temp. máx. media(°C)	21,1	22,5	22,8	17,7	16,0
Temp. mín . media (°C)	7,6	7,7	7,2	4,1	4,2
Temp. media (°C)	13,7	14,4	14,3	10,4	9,6
Suma térmica (DG)	1.606,0	1.856,0	1.895,0	953,0	724,0
DG acumulados	1.606,0	1.856,0	1.895,0	953,0	724,0
Horas de frío -HF (Horas)	1.125,0	1.074,0	1.478,0	3.289,0	3.464,0
HF acumuladas	1.125,0	1.074,0	1.478,0	3.289,0	3.464,0
Radiación solar (ly/día)	391,0	397,0	400,0	392,0	389,0
Humedad relativa (%)	72,0	68,0	70,0	59,0	57,0
Precipitación (mm)	418,9	348,0	307,9	585,1	715,0
Evapotranspiración potencial (mm)	1.242,0	1.272,0	1.290,0	1.080,0	1.062,0
Déficit hídrico (mm)	975,5	1.019,6	1.049,4	810,7	770,6
Excedente hídrico (mm)	152,4	95,6	67,3	315,8	423,6
Índice de humedad (pp/etp)	0,3	0,3	0,2	0,5	0,7
Heladas (días)	10,6	11,0	25,9	79,0	68,2

Fuente: Elaboración propia en base a informe OTAS (1997).

En la tabla V.1 es posible apreciar que en los montos de precipitación de zona bioclimática de Santiago, presenta valores de precipitación media anual (obtenida a partir de varios observatorios) de 418,9 mm, 13,7°C de temperatura media, 72% de humedad relativa y unos 10,6 días de heladas (mínimas bajo cero grados Celsius), mientras que Precordillera (donde se inserta el área de Estudio) presenta montos de 715 mm de precipitaciones, sólo 9,6°C de temperatura media, 57% de humedad relativa y casi 70 días de heladas. Lo anterior refleja que pese a la uniformidad de la ciudad, hay áreas donde precipita más (y más concentrado), asociado a la Cordillera de Los Andes, la cual también aumenta las heladas y reduce por humedad del aire.

## **V.2. – Análisis de amenazas hidrometeorológica mediante precipitación y escenarios de cambio climático**

Se consideran las precipitaciones de seis estaciones meteorológicas, la mayoría de ellas representa las condiciones pluviométricas de la cuenca de Santiago y su precordillera, siendo ellas las que se presentan en la tabla V.2 y V.3. Los datos son demuestran que en región precipitan entre 322 y 456 mm, sin embargo, dichos montos se incrementan en precordillera, superando en muchos caos los 700 mm.

Tabla V.2. Estaciones consideradas, localización (latitud, longitud y altitud), precipitación media (P) longitud de la serie y fuente de los datos

<b>Estación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud (m)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>Serie</b>	<b>Años</b>	<b>Fuente</b>
Cerro Calán	-33,40	-70,54	800	418	1976-2010	35	DGA
Quinta Normal	-33,41	-70,79	520	324	1965-2010	46	DMC
Tobalaba	-33,45	-70,55	654	352	1969-2010	42	DMC
Ofic. centrales DGA	-33,45	-70,65	560	322	1965-2010	46	DGA
Antupirén	-33,50	-70,52	920	456	1980-2010	31	DGA
Pirque	-33,67	-70,59	670	453	1972-2010	39	DGA

Fuente: Elaboración propia

La tabla V.3 expone los montos máximos en 24 horas de las estaciones meteorológicas utilizadas. Resulta de interés aquellos años de precipitación muy intensa en 24 horas, destacando los años 1977, 1987, 1989, 2000, 2002 y 2008.

Tabla V.3. Máximas en 24 horas de las estaciones utilizadas en este estudio.

<b>Años</b>	<b>Máx. 24 h. de Cerro Calán</b>	<b>Máx. 24 h. de Quinta Normal</b>	<b>Máx. 24 h. de Tobalaba</b>	<b>Máx. 24 h. de Terraza DGA</b>	<b>Máx. 24 h. de Antupirén</b>	<b>Máx. 24 h. de Pirque</b>
1965	-	50,7	-	49,5	-	-
1966	-	45,9	-	45,5	-	-
1967	-	28,9	-	29,2	-	-
1968	-	18,0	-	14,2	-	-
1969	-	26,7	37,6	22,5	-	-
1970	-	51,5	48,3	51,9	-	-
1971	-	68,7	33,2	71,4	-	-
1972	-	58,0	54,1	66,9	-	-
1973	-	26,8	24,9	23,8	-	27,0
1974	-	57,3	60,6	81,5	-	56,6
1975	-	30,5	55,3	31,9	-	43,5
1976	37,7	25,6	32,3	26,8	-	70,0
1977	106,0	32,5	41,4	32,0	-	65,0

<b>Años</b>	<b>Máx. 24 h. de Cerro Calán</b>	<b>Máx. 24 h. de Quinta Normal</b>	<b>Máx. 24 h. de Tobalaba</b>	<b>Máx. 24 h. de Terraza DGA</b>	<b>Máx. 24 h. de Antupirén</b>	<b>Máx. 24 h. de Pirque</b>
1978	57,0	51,7	48,6	49,8	-	58,5
1979	53,0	62,5	24,5	54,2	-	67,5
1980	47,0	31,1	41,4	34,8	49,0	50,0
1981	70,0	85,6	80,3	85,7	40,5	32,0
1982	58,0	61,2	49,0	58,3	88,0	60,0
1983	41,0	44,3	49,7	45,4	48,5	52,9
1984	72,0	77,6	51,0	69,7	74,0	96,0
1985	36,0	25,1	26,0	26,3	37,0	27,5
1986	73,5	40,6	60,7	44,5	52,0	65,0
1987	89,0	93,8	78,5	86,0	78,0	107,0
1988	40,5	23,2	33,3	20,3	37,5	50,0
1989	134,0	40,8	41,1	39,5	50,0	60,0
1990	59,6	56,1	54,0	53,0	50,5	55,5
1991	68,0	36,1	66,6	39,0	75,0	56,0
1992	62,4	60,8	50,2	46,9	55,0	73,0
1993	42,5	35,4	46,0	34,4	40,0	50,0
1994	48,5	33,5	51,6	27,0	53,0	51,5
1995	30,3	24,9	34,0	29,4	29,5	50,0
1996	36,4	41,4	39,0	40,1	35,7	41,0
1997	56,0	54,2	50,7	58,0	63,0	63,0
1998	30,0	16,5	18,5	19,3	17,5	23,0
1999	38,0	31,3	37,9	32,7	42,0	47,0
2000	95,0	58,4	105,3	67,6	89,5	117,0
2001	63,7	57,7	54,8	58,0	56,4	62,6
2002	146,3	111,1	103,0	109,4	102,0	68,5
2003	50,0	59,2	47,6	55,5	62,0	78,6
2004	70,5	44,6	50,6	46,2	82,5	67,8
2005	31,5	57,5	65,4	62,3	62,5	67,0
2006	51,3	57,4	47,4	62,5	45,0	64,0
2007	25,1	25,6	29,6	29,1	39,0	36,5
2008	100,5	78,3	83,1	77,7	100,0	93,0
2009	37,0	39,9	40,4	20,0	50,0	57,5
2010	61,0	36,7	51,6	44,0	76,0	48,9

Fuente: Elaboración propia en base a DGA y DMC.

Los montos son aún más altos en casos de precipitaciones de 48 y 72 horas, lo cual desde el punto de vista de remoción en masa es de vital importancia conocer y valorar, pues aparecen otros eventos extremos que son ignorados a resolución de un día (tabla V.4 y V.5), tales como los de los años 1970, 1978, 1981, 1982, 1984, 1992, 2001, 2005 y 2006.

Tabla V.4. Máximas en 48 horas de las estaciones utilizadas en este estudio.

Años	Máx. 48 h. de Cerro Calán	Máx. 48 h. de Quinta Normal	Máx. 48 h. de Tobalaba	Máx. 48 h. de Terraza DGA	Máx. 48 h. de Antupirén	Máx. 48 h. de Pirque
1965	-	86,2	-	84,6	-	-
1966	-	66,8	-	61,0	-	-
1967	-	30,7	-	30,2	-	-
1968	-	18,0	-	14,2	-	-
1969	-	45,5	46,9	41,8	-	-
1970	-	100,8	65,3	94,7	-	-
1971	-	75,0	33,2	80,9	-	-
1972	-	66,0	63,3	66,9	-	-
1973	-	33,6	31,6	25,3	-	27,0
1974	-	77,5	80,7	81,5	-	76,6
1975	-	43,8	61,8	41,3	-	66,0
1976	40,5	34,4	36,8	31,9	-	70,0
1977	116,8	50,1	55,6	50,5	-	115,0
1978	98,0	70,0	89,6	74,5	-	104,5
1979	56,0	62,5	34,5	54,9	-	72,5
1980	63,5	57,0	52,0	59,0	71,0	90,5
1981	80,0	95,3	98,3	95,6	47,0	32,0
1982	101,0	86,6	80,7	82,4	131,0	77,5
1983	67,0	67,6	61,5	62,8	74,5	77,7
1984	85,5	90,7	56,1	78,7	89,0	144,0
1985	45,0	29,4	36,0	27,0	53,5	53,0
1986	90,0	59,2	74,9	63,2	93,0	119,5
1987	169,0	116,8	80,7	119,3	150,0	126,0
1988	40,5	25,5	33,3	22,1	37,5	60,0
1989	134,0	69,9	58,5	58,9	73,0	106,2
1990	66,6	58,3	59,2	53,0	60,5	59,5
1991	81,8	61,0	83,1	57,8	102,0	88,8
1992	86,6	101,8	75,5	81,5	78,2	97,5
1993	57,8	51,6	63,0	51,1	75,0	73,5
1994	66,6	41,6	63,9	34,3	69,0	75,0
1995	34,7	25,1	34,6	29,4	45,5	57,3
1996	36,4	41,4	39,0	40,1	35,7	41,0
1997	84,0	77,4	85,8	82,3	81,8	110,0
1998	34,5	16,7	27,9	23,0	20,5	25,5
1999	52,4	48,0	61,5	47,5	51,5	83,5
2000	142,0	101,7	147,4	110,5	133,5	170,0
2001	86,5	73,3	71,2	73,9	75,4	84,1

<b>Años</b>	<b>Máx. 48 h. de Cerro Calán</b>	<b>Máx. 48 h. de Quinta Normal</b>	<b>Máx. 48 h. de Tobalaba</b>	<b>Máx. 48 h. de Terraza DGA</b>	<b>Máx. 48 h. de Antupirén</b>	<b>Máx. 48 h. de Pirque</b>
2002	192,3	167,3	153,1	160,9	152,5	118,0
2003	65,1	78,9	52,0	77,6	90,0	104,6
2004	86,9	59,5	67,4	71,5	99,3	79,9
2005	40,5	73,6	121,0	88,6	112,5	103,4
2006	81,5	71,8	65,2	77,9	59,7	99,5
2007	25,1	42,4	50,7	48,1	60,0	52,5
2008	108,0	81,9	95,7	84,5	102,5	97,0
2009	61,5	49,6	57,1	36,1	76,0	71,1
2010	63,0	44,9	65,8	47,2	76,0	48,9

Fuente: Elaboración propia en base a DGA y DMC.

Tabla V.5. Máximas en 72 horas de las estaciones utilizadas en este estudio.

<b>Años</b>	<b>Máx. 72 h. de Cerro Calán</b>	<b>Máx. 72 h. de Quinta Normal</b>	<b>Máx. 72 h. de Tobalaba</b>	<b>Máx. 72 h. de Terraza DGA</b>	<b>Máx. 72 h. de Antupirén</b>	<b>Máx. 72 h. de Pirque</b>
1965	-	90,4	-	89,7	-	-
1966	-	68,0	-	62,2	-	-
1967	-	30,7	-	39,2	-	-
1968	-	18,0	-	14,2	-	-
1969	-	45,5	61,3	41,8	-	-
1970	-	100,8	65,6	94,9	-	-
1971	-	83,9	38,6	80,9	-	-
1972	-	80,1	79,1	97,5	-	-
1973	-	34,4	34,4	25,3	-	27,0
1974	-	93,7	86,8	111,0	-	99,6
1975	-	43,8	61,8	41,3	-	67,0
1976	40,5	34,4	36,8	31,9	-	71,5
1977	116,8	71,7	72,6	71,1	-	146,0
1978	110,0	82,4	102,9	86,4	-	141,0
1979	69,0	63,9	41,6	70,4	-	87,5
1980	63,5	57,0	52,0	59,0	82,0	90,5
1981	82,4	101,8	102,3	102,0	47,0	42,0
1982	129,0	106,8	82,7	101,6	168,0	87,5
1983	74,5	74,6	70,0	80,2	83,5	90,0
1984	133,0	128,7	97,0	115,2	138,5	178,5
1985	51,5	34,0	40,2	32,1	60,5	54,0
1986	95,5	61,3	81,1	66,2	102,0	130,0
1987	228,0	182,5	132,6	178,7	199,0	185,0

Años	Máx. 72 h. de Cerro Calán	Máx. 72 h. de Quinta Normal	Máx. 72 h. de Tobalaba	Máx. 72 h. de Terraza DGA	Máx. 72 h. de Antupirén	Máx. 72 h. de Pirque
1988	40,5	25,7	33,3	22,2	37,5	60,0
1989	177,2	69,9	59,6	58,9	73,0	106,2
1990	72,4	59,3	61,6	53,0	60,5	60,7
1991	94,3	75,5	94,2	70,3	113,5	104,8
1992	97,8	117,2	89,1	96,0	97,9	99,0
1993	58,7	56,0	63,0	52,9	75,0	84,0
1994	72,5	47,2	69,5	35,5	80,4	89,5
1995	34,7	25,1	34,8	29,4	45,5	61,5
1996	44,4	53,6	47,6	54,3	43,5	50,6
1997	107,5	97,9	108,5	106,2	108,8	151,5
1998	34,9	16,7	28,0	23,0	20,5	25,5
1999	58,9	57,0	68,7	53,0	70,5	93,0
2000	186,0	144,5	178,4	149,9	169,5	208,0
2001	103,5	76,8	87,5	82,5	93,4	97,1
2002	235,8	211,8	194,1	210,9	202,5	164,2
2003	65,5	79,5	55,7	78,6	90,0	105,9
2004	87,4	59,5	68,8	73,3	102,3	80,6
2005	40,5	89,7	151,4	105,7	144,5	131,7
2006	82,1	72,3	65,8	78,5	61,2	101,5
2007	26,5	50,3	62,0	57,1	65,0	66,5
2008	110,5	81,9	98,7	84,5	104,5	98,7
2009	61,5	49,6	57,8	37,1	81,3	73,1
2010	63,0	44,9	65,9	47,2	76,0	48,9

Fuente: Elaboración propia en base a DGA y DMC.

### Períodos de retorno en 24 horas

Para el análisis de los episodios extremos de precipitación se ha empleado un procedimiento objetivo de análisis; Para ello se requiere el uso de la estadística de los eventos extremos (mediante el ajuste de los datos a una ley de probabilidad y cálculos de períodos de retorno). Para luego, realizar mapas de precipitación máxima en 24 horas en Sistema de Información geográfica.

Para el cálculo de los períodos de retorno se usó la función de Gumbel, la cual cuenta con dos parámetros ( $u$  forma y  $\alpha$  escala, calculados a partir de la media y desviación típica), tal como se aprecia en la siguiente expresión:

$$f(x) = \exp(-\exp(-((x - u)/ \alpha)))$$



Las funciones de probabilidad (como Gumbel), se pueden llevar a períodos de retorno, pues es la función inversa de la probabilidad ( $1/f(x)$ ). En el caso de Gumbel queda de la siguiente manera:

$$T = \frac{1}{1 - f(x_T)}$$

Considerando las seis estaciones de análisis, y en el período 1965-2010 nos da máximos en 24 horas muy similares a los alcanzados por estudios previos (Ayala, Cabrero y Asociados, 1995; Vargas, 1999) (Tabla V.6 y fig. V.7), pero con mayor resolución y explicitando los parámetros de la función Gumbel.

Tabla V.6. Estaciones consideradas, parámetros Gumbel y períodos de retorno de precipitaciones para 10, 20, 30, 50 y 100 años

<b>Estación</b>	<b><math>\alpha</math> Gumbel</b>	<b><math>v</math> Gumbel</b>	<b>T=10 (mm)</b>	<b>T=20 (mm)</b>	<b>T=30 (mm)</b>	<b>T=50 (mm)</b>	<b>T=100 (mm)</b>
Cerro Calán	21,82	47,93	97,0	112,7	121,8	133,1	148,3
Quinta Normal	15,43	34,46	69,2	80,3	86,7	94,7	105,4
Tobalaba	14,58	41,56	74,4	84,9	90,9	98,5	108,6
Ofic. centrales DGA	15,63	34,52	69,7	80,9	87,4	95,5	106,4
Antupirén	16,07	48,16	84,3	95,9	102,5	110,9	122,1
Pirque	15,55	50,49	85,5	96,7	103,1	111,2	122,0

Fuente: Elaboración propia

Considerando que La Florida y su precordillera se alcanzan hasta altitudes cercanas a 3000 metros, se estima que el máximo en 24 horas supera los 140 mm para un período de retorno de 10 años, y los 200 mm en 100 años.

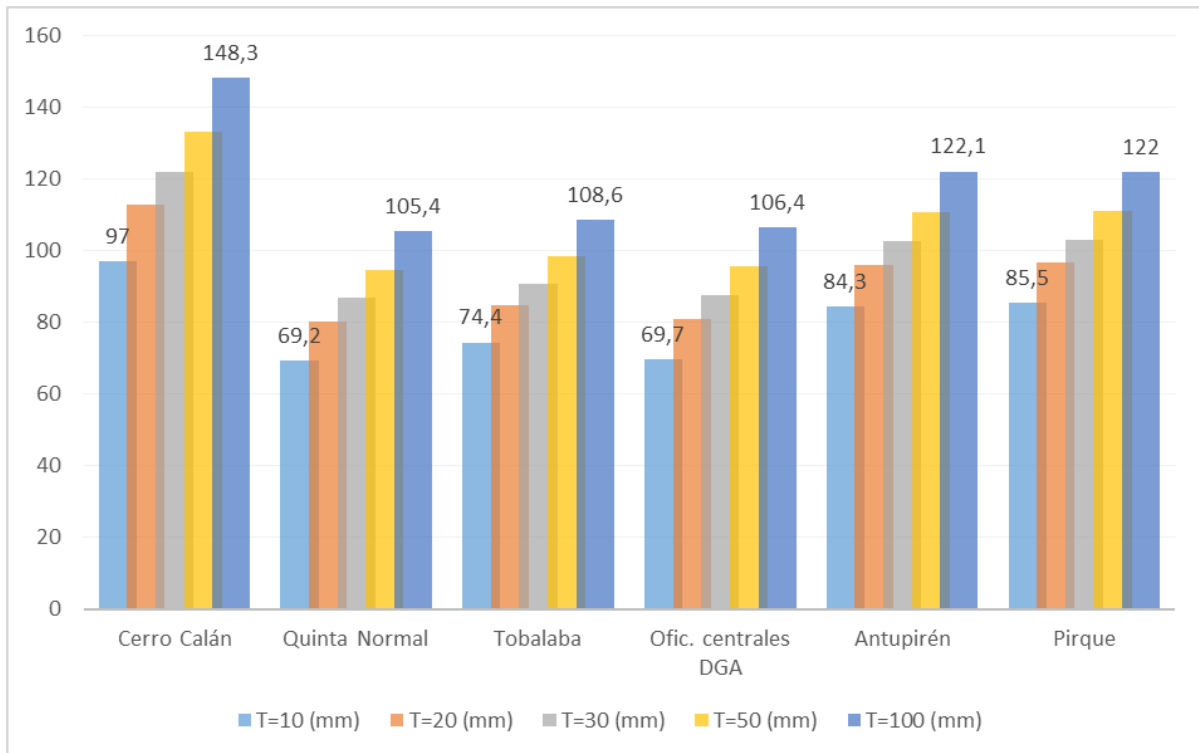


Fig. V.7. Períodos de retorno de las precipitaciones para 10, 20, 30, 50 y 100 años en las estaciones meteorológicas consideradas.

Al interpolar las isolíneas de precipitaciones máximas en 24 horas se usó un modelo digital de terreno a alta resolución (10 metros), el cual permite mediante regresión lineal, conocer topoclimáticamente la configuración de dichas precipitaciones. Así, se exponen los casos extremos, es decir el mapa de máximas en 24 horas para 10 años (fig. V.8), el que se contrasta con el de Ayala, Cabrera y Asociados (1995, fig.V.9) y el mapa de máximas en 24 horas para 100 años (fig.V.10). En todos los casos, los umbrales detonantes de remoción en masa son alcanzados.

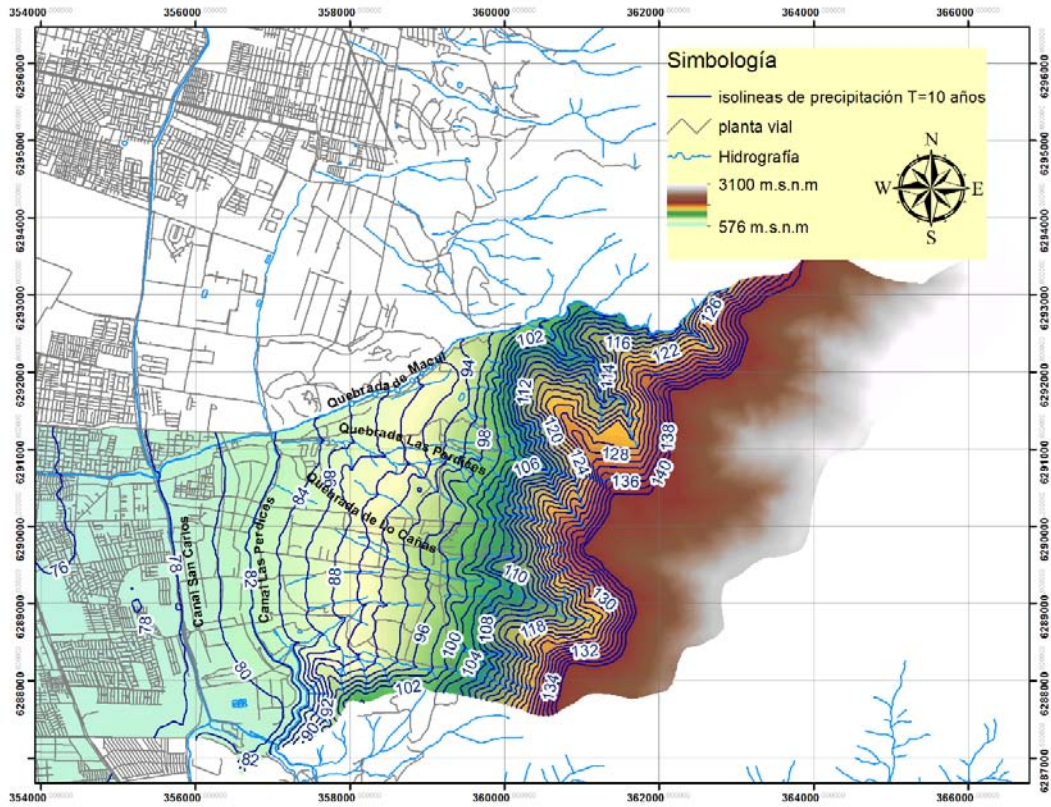


Fig. V.8. Mapa de isolíneas de precipitaciones máximas en 24 horas y para un período de retorno de 10 años en la Comuna de La Florida.

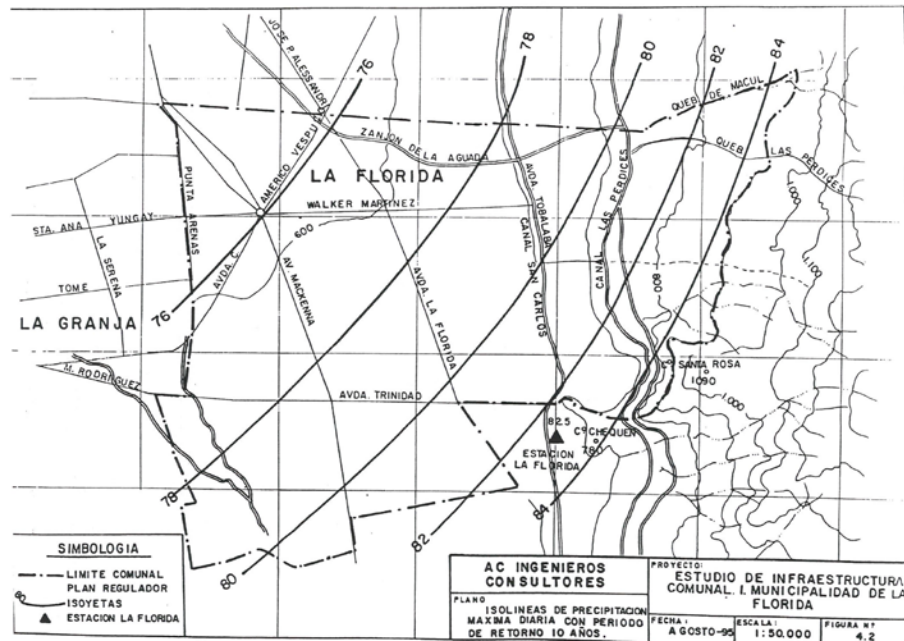


Fig. V.9. Mapa de isolíneas de precipitaciones máximas en 24 horas y para un período de retorno de 10 años en la Comuna de La Florida, según Ayala, Cabrera y Asociados (1995).

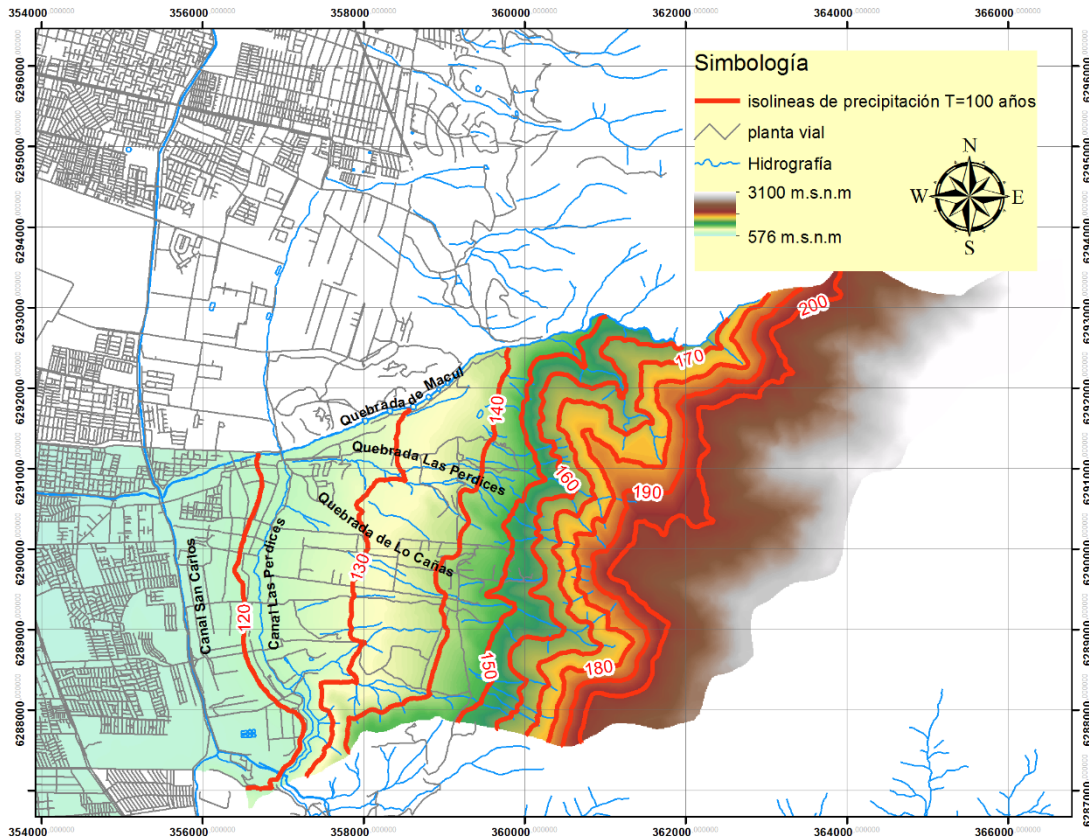


Fig. V.10. Mapa de isolíneas de precipitaciones máximas en 24 horas y para un período de retorno de 100 años en la Comuna de La Florida.

En Lara y Sepúlveda (2008) se menciona el trabajo de Hauser (1985), quien establece que las lluvias generadas en periodos estivales de la Región Metropolitana, con un umbral de 60 mm/día en la zona preandina, son de crucial importancia para la generación de eventos de remoción en masa, ya que esto se asocia con las características mecánicas tanto de los suelos superficiales como de las rocas que experimentan resacamiento por ausencia de lluvias, generándose un microfracturamiento superficial propicio para la generación de flujos ante la presencia de lluvias repentinas e intensas. En invierno estos valores serán más altos, pues depende de los aportes nivales y la altura de la isoterma cero. No obstante, los valores de precipitación en 24 horas para períodos de retorno de 100 años son claramente desencadenantes de remoción en masa en la precordillera. La Tabla V.7 muestra el número de eventos que supera los 60 mm/día, siendo Cerro Calán la que más eventos presenta (17) en un período de 36 años.

Tabla V.7. Suma anual de eventos pluviométricos mayores a 60 mm/día en las estaciones consideradas

<b>Años</b>	<b>Cerro Calán</b>	<b>Quinta Normal</b>	<b>Tobalaba</b>	<b>Terraza DGA</b>	<b>Antupirén</b>	<b>Pirque</b>
1965		0				
1966		0				
1967		0				
1968		0				
1969		0	0	0		
1970		0	0	0		
1971		1	0	1		
1972		0	0	2		
1973		0	0	0		0
1974		0	1	1		0
1975		0	0	0		0
1976		0	0	0		1
1977	1	0	0	0		1
1978	0	0	0	0		0
1979	0	1	0	0		1
1980	0	0	0	0	0	0
1981	1	1	1	1	0	0
1982	0	1	0	0	1	0
1983	0	0	0	0	0	0
1984	1	1	0	1	1	1
1985	0	0	0	0	0	0
1986	1	0	1	0	0	1
1987	3	3	2	2	2	2
1988	0	0	0	0	0	0
1989	1	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0
1991	1	0	1	0	2	0
1992	1	1	0	0	0	1
1993	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	1	1
1998	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0
2000	1	0	1	1	2	1
2001	1	0	0	0	0	1
2002	2	2	1	2	2	2

Años	Cerro Calán	Quinta Normal	Tobalaba	Terraza DGA	Antupirén	Pirque
2003	0	0	0	0	1	1
2004	1	0	0	0	1	1
2005	0	0	1	1	1	1
2006	0	0	0	1	0	2
2007	0	0	0	0	0	0
2008	1	1	1	1	1	1
2009	0	0	0	0	0	0
2010	1	0	0	0	1	0

Fuente: Elaboración propia

### Cambio de las áreas de acumulación nival en función de la isoterma cero

La posición climática de la isoterma cero implica una regulación el régimen y caudal de los ríos y las quebradas, las cuales condicionan el escurrimiento superficial e infiltración. Si el nivel que separa agua lluvia y nival modifica su altura, el escurrimiento es alterado. Así, según la CONAMA-DGF (2006) la isoterma de 0°C sufrirá de un alza de altura por el proceso de calentamiento, las crecidas invernales de los ríos con cabecera andina se verán incrementadas por el consiguiente aumento de las cuencas aportantes, y la reserva nival de agua se verá disminuida. (Fig. V.11.)



Fig. V.11. Variación de la isoterma cero en la simulación del clima actual (línea azul) y bajo escenario A2 de PRECIS (línea roja) a través del año (ene-feb, mar-abr, may-jun, jul-ago, sep-oct, nov-dic) en la región de estudio.

Utilizando información de radiosonda de las estaciones Quintero y Santo Domingo (32° 74' S, 71° 33' O, 8 msnm y 33° 38' S, 71° 38' O, 77 msnm, respectivamente), Carrasco et al. (2008) determinó que la isoterma cero representativa para Chile central, en el período 1975 – 2001, ha elevado su altura media anual, representada por el mes de Marzo, en  $152 \pm 4$  m, con incrementos de  $200 \pm 6$  m en verano (Diciembre – Febrero) y  $122 \pm 8$  m en invierno (Junio – Agosto). Sin embargo, los registros sugieren que esta tendencia positiva se frenó a principios de la década de 1990, lo que concuerda con la estabilidad de las temperaturas observada en las últimas décadas (Bustos, 2011).

En el caso de la cuenca de la Quebrada de Macul este tema es de gran relevante, pues alcanza una cota máxima de 3253 metros (Ayala, Cabrera y asociados, 1995). El resto de las subcuencas de la comuna de La Florida no supera los 2488 metros.

Según el estudio detallado de Cortés *et al.* (2012) la isoterma cero en su variación mensual incrementará su altitud entre 89 y 441 m.s.n.m. en Junio y Marzo respectivamente. Eso desde el punto de vista de los valores medios. Sin embargo, en algunos eventos de invierno, la isoterma puede subir peligrosamente a áreas nevadas, y consecuentemente, aportar un mayor caudal a las quebradas de la comuna de La Florida. La tabla V.8 muestra los cálculos de la isoterma cero, que es derivada de los gradientes de temperatura para los escenarios futuros (A2 y B19). Estos resultados se calcularon indirectamente de proyecciones de temperatura media mensual para la estación de Pirque.

Tabla V.8. Isoterma cero a resolución mensual para la región (en base a la Estación Meteorológica de Pirque)

Mes	Altitud climática	Altitud futura (A2)	Altitud futura (B1)	Dif. altitud del escenario A2	Dif. altitud del escenario B1
Enero	4235	4576	4525	341	290
Febrero	4197	4627	4520	430	323
Marzo	4001	4442	4278	441	277
Abril	3322	3695	3527	373	205
Mayo	2673	2841	2777	168	104
Junio	2295	2413	2384	118	89
Julio	2153	2292	2278	139	125
Agosto	2241	2384	2340	143	99
Septiembre	2475	2671	2670	196	195
Octubre	2929	3106	3078	177	149
Noviembre	3514	3787	3741	273	227
Diciembre	3978	4276	4244	298	266
<b>Año</b>	<b>3146</b>	<b>3398</b>	<b>3334</b>	<b>252</b>	<b>188</b>

Fuente: Elaboración propia en base a Cortés *et al.* 2012.

### Análisis de caudales de diseño

Se calculan los caudales de diseño según precipitación máxima en 24 horas de este estudio particular, usando la fórmula de Grunsky (infiltración de 2,5 mm/h) en base al trabajo de Vargas (1999). Cabe recordar que la autora calculó las intensidades y los caudales en función al estudio de períodos de retorno en 24 horas de la DGA (1990).

Los resultados son consistentes con los alcanzados por Vargas (1999), y muestra caudales máximos (T=100) de 54 m<sup>3</sup>/s en Cerro Calán y 43,3 m<sup>3</sup>/s en Antupirén, muy cercanos a los alcanzados en el aluvión de 1993, tal como se aprecia en la tabla V.9.

Tabla V.9. Estaciones consideradas, intensidades de precipitaciones en 1 hora, y caudales (m<sup>3</sup>/s) para eventos pluviométricos máximos en 24 horas.



Estación	Int. Máx (mm/h) T=10	Caudal (m <sup>3</sup> /s) T=10	Int. Máx (mm/h) T=20	Caudal (m <sup>3</sup> /s) T=20	Int. Máx (mm/h) T=30	Caudal (m <sup>3</sup> /s) T=30	Int. Máx (mm/h) T=50	Caudal (m <sup>3</sup> /s) T=50	Int. Máx (mm/h) T=100	Caudal (m <sup>3</sup> /s) T=100
Cerro Calán	20,9	33,1	24,3	39,5	26,2	43,2	28,7	47,8	31,9	54,0
Quinta Normal	14,9	21,7	17,3	26,2	22,7	36,5	20,4	32,1	22,7	36,5
Tobalaba	16,0	23,8	18,3	28,1	23,4	37,8	21,2	33,7	23,4	37,8
Ofic. centrales DGA	15,0	21,9	17,4	26,5	22,9	36,9	20,6	32,4	22,9	36,9
Antupirén	18,1	27,9	20,6	32,6	26,3	43,3	23,9	38,7	26,3	43,3
Pirque	18,4	28,4	20,8	32,9	26,3	43,3	23,9	38,9	26,3	43,3

Fuente: Elaboración propia



## **VI.- COMPONENTE BIOGEOGRÁFICA**

### **VI.- CARACTERIZACION**

A continuación se presenta una caracterización Biogeográfica de la zona precordillerana de la comuna de La Florida, como primera parte se presenta la relevancia que tiene la vegetación natural, describiendo los servicios ecosistémicos que provee la vegetación natural en la precordillera de La Florida, para luego caracterizar en términos regionales y local, los elementos que caracterizan la biota presente.

#### **VI.1.- Relevancia de la vegetación natural**

En la precordillera de la Comuna de La Florida, según la información disponible, los servicios ecosistémicos más relevantes para el bienestar de las personas se relacionan con la regulación del flujo hidrológico, el control de la erosión del suelo, el tratamiento de residuos, y la captación de material particulado y gases contaminantes dónde la vegetación nativa de hoja perenne juega un rol preponderante en el control de los efectos adversos de la contaminación atmosférica en ambiente urbanos. La biodiversidad también ofrece servicios culturales y escénicos que forman parte de un paisaje y una identidad regional, y que se constituyen en atractivos turísticos y en recursos educativos y de sensibilización social. El concepto de servicios ecosistémicos permite entonces hacer un vínculo explícito entre el estado y el funcionamiento de los ecosistemas (sistemas ecológicos), con el bienestar humano (sistemas sociales), contribuyendo así a orientar (o reorientar) el rumbo de la gestión de la base biofísica que sustenta el bienestar humano en escenarios de cambio ambiental. Esta relación puede ser directa o indirecta, y los seres humanos pueden o no estar conscientes de su existencia e importancia<sup>1</sup>. Es posible analizar el valor que tienen los servicios ecosistémicos mediante la estimación de la pérdida de la provisión de los servicios, expresada en términos del valor económico<sup>2</sup>. Esta aproximación ha sido empleada, por ejemplo, para estimar el aporte de servicios ecosistémicos otorgados por las áreas protegidas en Chile<sup>3</sup>, estimándose su aporte para la Región Metropolitana en US\$ 1.700 millones/año, considerado un subsidio que los sistemas naturales aportan a la calidad de vida de la población humana<sup>4</sup>. No obstante esta aproximación teórica, es posible que este valor económico total esté subestimado; por ejemplo, el aporte del bosque esclerófilo a la regulación de perturbaciones como aluviones no ha sido aún estimado, pese al valor que tendría para proteger la población.

---

<sup>1</sup>Daily, 1997.

<sup>2</sup>de Groot et al., 2002.

<sup>3</sup>Figueroa, 2010.

<sup>4</sup> Este cálculo de valor económico total de los servicios ecosistémicos aportados por los ecosistemas de la Región Metropolitana, se ha recalculado a partir de Figueroa, 2010, considerando el aporte por hectárea en dólares americanos de los siguientes ecosistemas de: Matorral espinoso Bosque espinoso. Matorral arborescente, Bosque esclerófilo, Bosque esclerófilo, Bosque caducifolio, Matorral bajo de altitud y Herbazal. De estos ecosistemas, el que mayor valor económico presenta por hectárea son el bosque esclerófilo (U\$ 436/ha) y el bosque caducifolio (U\$ 470/ha), siendo este último el ecosistema con menor superficie en la región.

Se pueden distinguir dos grandes grupos de servicios, que entrega la vegetación natural presente en el área de la precordillera de la Comuna de La Florida, los servicios relacionados con aspectos de bienestar humano, como son los servicios de apoyo y soporte que entregan funciones de seguridad y los relacionados a servicios culturales, que dan cuenta de funciones de salud y buenas relaciones sociales:

### ***Servicios de apoyo y regulación (Seguridad ante desastres)***

La vegetación nativa juega un rol clave en aspectos de mitigación del cambio climático, ya que los árboles son uno de los principales sumideros de carbono, al absorber el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Ello se refleja en una reducción de contaminantes atmosféricos que forman parte de los gases de efecto invernadero. Además, producen y aportan oxígeno a la atmósfera urbana; humedad a las masas de aire por evapotranspiración y, consecuentemente, aportan al refrescamiento de los vientos locales, tan necesarios para una caldeada ciudad como Santiago, en el límite del desierto. En este contexto, el Bosque Panul ubicado en el ámbito de oscilación anual de las capas de inversión térmica (700 y 1500 msnm) cumple, entre otras funciones, un papel relevante en la ventilación urbana.

Las especies nativas (arbustivas y arbóreas) cumplen, a diferencia de las especies introducidas, una efectiva contención y estabilización de las laderas actuando positivamente sobre su equilibrio, reduciendo la posibilidad de deslizamientos y de reptación de suelos. Las laderas del sector son inestables, ya que se puede observar desestabilizaciones de cortes, retroceso por derrumbamiento de los mismos, especies arbóreas inestables con raíces descubiertas, incremento de taludes coluviales, etc.

Rol amortiguador de la lluvia (en el sector precipita entre 450 y 900 mm/año) por intercepción y obstaculización de la escorrentía superficial. Incremento de la infiltración y, por ende, alimentación de las escuálidas napas subterráneas del área metropolitana. Reducción de la efectividad de la erosión superficial y de la escorrentía superficial.

Retenedor o mitigador de flujos detríticos (flujos aluvionales) provenientes de la cabecera de las quebradas, rol que cumplen por su menor pendiente (8° a 10° respecto de los más de 25° de las laderas) y por el rol entorpecedor y de freno que troncos y ramas bajas ejercen sobre el avance de las masas de rocas de diferentes dimensiones que se concentran en laderas y cauces en pos de las áreas pobladas.

### ***Servicios culturales (salud y buenas relaciones sociales)***

La vegetación natural de la precordillera de la Comuna de La Florida constituye un área de esparcimiento, paseo, ejercicio al aire libre, oxigenación del organismo. La Comuna de La Florida posee menos de 1 m<sup>2</sup> de parque público por habitante contra los 9 m<sup>2</sup>/hab que recomienda la OMS). Contacto con la naturaleza y educación sobre ella, algo que tanta falta hace sobre todo a la juventud que, además de vivir aquejada de sedentarismo y sus consecuencias, carece de los conocimientos que le permitan valorar, cuidar y disfrutar de la naturaleza.

## **VI.2.- Caracterización a Escala regional**

Las singularidades que hacen relevante a la precordillera de la Comuna de La Florida a nivel nacional e internacional, es que está situada en uno de los escasos ambientes con clima tipo mediterráneo del mundo, los que se caracterizan por poseer una biodiversidad con elevados niveles de riqueza y endemismos bajo condiciones de fuerte presión antrópica<sup>5</sup>. Estos ecosistemas de tipo mediterráneos comprenden solo el 2% de la superficie terrestre pero poseen el 20% de la diversidad de flora del planeta; y debido a que en estos tipos de ambientes se asientan grandes concentraciones de poblaciones humanas, presentan una alta conversión de la vegetación natural, lo que sumada al uso directo de las poblaciones de animales y plantas silvestres, determinan amenazas significativas para la sobrevivencia de la biodiversidad. No obstante ello, en la actualidad solo un 4,3% de las superficies de los ecosistemas mediterráneos a nivel mundial se encuentran protegidas; en Chile, entre la tercera y la octava región se protege solo un 2,3% de la superficie<sup>6</sup>. En la Región Metropolitana sólo un 1,4 % de su superficie se encuentra bajo protección en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado, siendo la tercera región menos protegida del país.

La biodiversidad regional a nivel de especies y ecosistemas es relevante a nivel nacional e internacional pues se sitúa en segundo lugar a nivel nacional en términos de número de especies de plantas vasculares nativas, conteniendo 1.355 especies lo que representa el 25,3% de la flora chilena; de ellas 6,7% son endémicas a la Región. Igualmente, de los 127 pisos vegetacionales presentes en Chile, la Región Metropolitana posee 14 que en un 100% están restringidos a la zona central, presentándose solo entre la IV y la VI Región<sup>7</sup>. Además siete de ellos corresponden a formaciones de Bosque espinoso y Bosque esclerófilo, ambas escasamente representadas en el SNASPE a nivel nacional, con un 2,4% (Bosque espinoso) y 1,9% (Bosque esclerófilo) de superficie protegida<sup>8</sup>. Entre los vertebrados, 7 de las 17 (42%) especies de mamíferos terrestres endémicos habitan la región<sup>9</sup>. En general, los ecosistemas de tipo mediterráneo de Chile albergan más del 50% de las especies de vertebrados terrestres conocidas del país así como el 50% de las especies endémicas y un 50% de las especies amenazadas<sup>10</sup>. En efecto, el endemismo es el atributo más reconocido por los actores relevantes para la gestión de la biodiversidad en la región: un 68% de ellos reconoce como característico el endemismo de la biota regional, y un 66% señala que la biota regional integra un “punto caliente” de biodiversidad; es decir, dispone de un conjunto elevado de especies endémicas significativamente amenazadas<sup>11</sup>.

---

<sup>5</sup>Arroyo et al., 2005.

<sup>6</sup> Ministerio del Medio Ambiente, 2012.

<sup>7</sup> Pliscoff y Fuentes-Castillo. 2011.

<sup>8</sup> Ministerio del Medio Ambiente, 2012.

<sup>9</sup> Mella et al., 2007.

<sup>10</sup> Simonetti, 2011.

<sup>11</sup> Conservation International ha definido a la fecha un total de 34 hot spots o puntos calientes de biodiversidad, definidos como zonas de elevada biodiversidad con excepcionales niveles de endemismo y pérdidas importantes de hábitats. Se ha identificado a la zona mediterránea de Chile como un punto caliente de biodiversidad, denominándolo “Chilean Winter Rainfall and Valdivian Forests”. Este es uno de variados métodos para la priorización de áreas de alto valor de conservación.

Tabla VI.1. Listado de algunas especies de flora y fauna en categoría de protección con presencia en la Región Metropolitana.

Nombre científico	Nombre común
<b>Especies de flora</b>	
<i>Adesmia resinosa</i>	Paramela de Til-Til
<i>Adiantum pearcei</i>	Palito negro
<i>Alstroemeria umbellata</i>	-
<i>Eriogyne aurata</i>	-
<i>Maihueopsis ovata</i>	-
<i>Placca davidii</i>	-
<i>Porlieria chilensis</i>	Guayacán
<i>Solaria miersoides</i>	-
<i>Tristagma grammifolia</i>	-
<b>Especies de fauna</b>	
<i>Alsodes tumultosus</i>	
<i>Ardea cocoi</i>	Garza cuca
<i>Callopistes maculatus</i>	Iguana
<i>Caudiverbera caudiverbera</i>	Rana chilena
<i>Cygnus melancoryphus</i>	Cisne de cuello negro
<i>Chelemys megalonix</i>	Ratón topo del matorral
<i>Lagidium viscacha</i>	Viscacha
<i>Liolaemus ramonensis</i>	Lagartija leopardo del Ramón
<i>Octodon brigdesi</i>	Degú de los matorrales
<i>Prystidactylus volcanensis</i>	Gruñidor de El Volcán

Fuente: Elaboración propia.

La precordillera de la comuna de La Florida posee ciertas características que la convierten en una zona de gran importancia para la conservación de la diversidad biológica, destacándose por sus condiciones geográficas y climáticas y como consecuencia de ello, su variedad de

hábitats y ecosistemas<sup>12</sup>. Según el Convenio sobre Diversidad Biológica (1992), la diversidad de ecosistemas hace referencia a las grandes agrupaciones vegetacionales determinadas por la geografía y el clima, así como a las asociaciones existentes entre ellas y la fauna del lugar, entendiéndose el ecosistema como un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos en su medio no viviente, que interactúan como una unidad funcional. Esta diversidad de ecosistemas es difícil de medir porque los límites de las comunidades no están bien definidos; no obstante, en la medida que se utilice un conjunto de criterios coherente para definir comunidades y ecosistemas, podría medirse su número y distribución. Dependiendo de la escala de observación, pueden reconocerse diferentes ecosistemas; por ejemplo, a escala regional es posible hacer una distinción de diferentes categorías de coberturas naturales y usos del suelo, los cuales son presentados en la Figura VI.1.

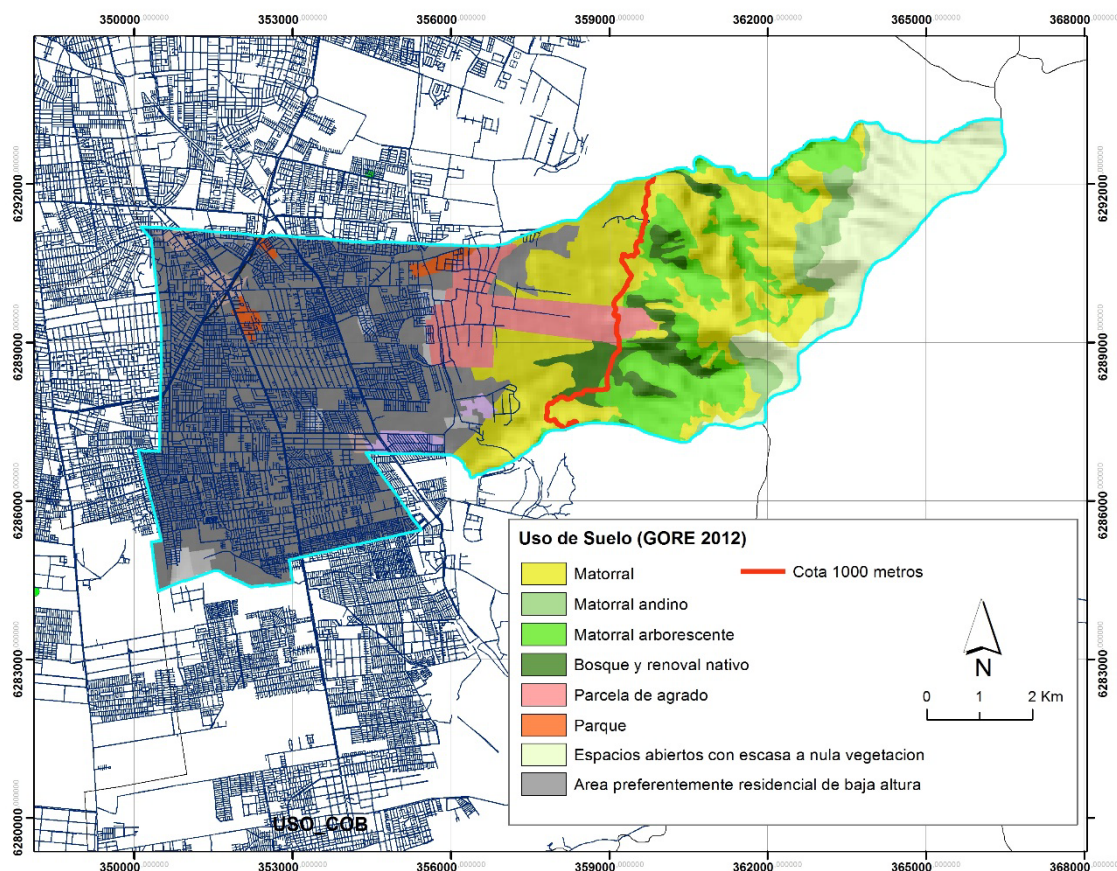


Figura VI.1. Usos de suelo presentes en la comuna de La Florida (Gobierno Regional de Santiago 2012).

Como se observa en la Figura VI.1, la cota de los mil metros señala el cambio de la vegetación de un matorral dominado por especies espinosas (*Acacia caven*) más degradado, por una vegetación dominada por especies arbóreas esclerófilas, en ese sentido, se rescata el valor de

<sup>12</sup>Myers *et al.*, 2000.

la vegetación de Bosque esclerófilo presente bajo la cota 1000, que corresponde a un 28,5% del total que existe en la comuna.

De las coberturas naturales, aquellas que representan vegetación se han clasificado en pisos vegetacionales<sup>13</sup>, siendo éstos la expresión de los diferentes ecosistemas presentes en la región. Los pisos vegetacionales, definidos para todo Chile por Luebert y Pliscoff (2006), son espacios caracterizados por un conjunto de comunidades vegetales zonales con estructura y fisionomía uniforme, situadas bajo condiciones mesoclimáticamente homogéneas, y que ocupan una posición determinada a lo largo de un gradiente de elevación y a una escala espacio-temporal específico. En el caso de la Región Metropolitana, es posible identificar 14 de los 127 pisos vegetacionales identificados para Chile, específicamente en la Comuna de La Florida se identifican 4 pisos de vegetación, los cuales son descritos en detalle en la siguiente sección. En la Tabla VI.2 se presentan cada uno de estos pisos y la superficie que involucran en términos regionales y nacionales.

Tabla VI.2. Superficies potenciales a nivel nacional y regional de los pisos vegetacionales presentes en la Comuna de La Florida. Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en Luebert y Pliscoff (2006).

<b>Piso Vegetacional</b>	<b>Superficie nacional del piso (has)</b>	<b>Superficie potencial en la RM (has)</b>	<b>% en RM respecto al nacional</b>	<b>% respecto a la superficie regional</b>
Bosque Espinoso de mediterráneo andino <i>Acacia caven</i> y <i>Baccharis paniculata</i>	102.600	99.649	97,2	6,5
Bosque Esclerófilo mediterráneo andino de <i>Kageneckia angustifolia</i> y <i>Guindilla trinervis</i>	382.600	127.993	33,4	8,3
Bosque Esclerófilo mediterráneo andino de <i>Quillaja saponaria</i> y <i>Lithrea caustica</i>	321.000	139.680	43,5	9,1
Matorral bajo mediterráneo andino de <i>Chuquiraga oppositifolia</i> y <i>Nardo phyllumlanatum</i>	369.400	101.203	27,4	6,6

<sup>13</sup>Luebert y Pliscoff, 2006.



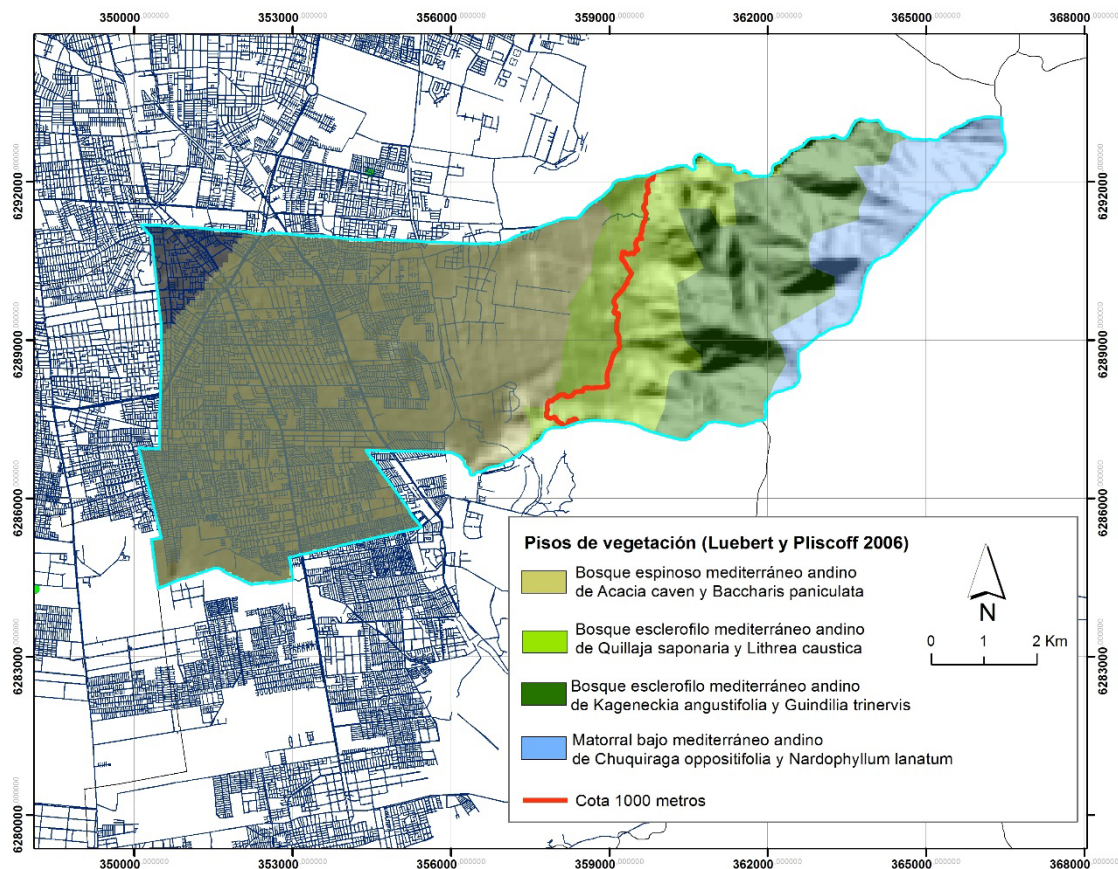


Figura VI.2. Pisos de vegetación potenciales (Luebert y Pliscoff 2006, presentes en la comuna de La Florida.

La diversidad de especies, vale decir, la riqueza y abundancia de las poblaciones de las diversas especies que habitan la región se relaciona, entre otros factores, con la disponibilidad de hábitat que exista en los territorios y a la conectividad entre ellos. Esto implica que los sistemas naturales de la región, tanto terrestres como acuáticos, debieran tener zonas y puntos de contacto y conexión entre sí a través, principalmente, de los sistemas productivos de las zonas rurales (agrícolas, silvícolas y pecuarios) y de los sistemas urbanos (áreas verdes, corredores, entre otros). Esto permitiría que las especies de fauna tengan zonas de tránsito, facilitando a su vez la dispersión de semillas y la polinización, entre otros procesos ecosistémicos.

En este sentido, es importante recalcar que un ecosistema representa las relaciones dinámicas entre las poblaciones, tanto de especies de flora como de fauna, y que estas relaciones o interacciones son afectadas por la alteración de los hábitats y ecosistemas mencionados.

Como se ha mencionado anteriormente, la Región Metropolitana cuenta con un alto número de especies endémicas, tanto de la región como de la zona mediterránea, principalmente de flora vascular (6,7% de las especies de la región son endémicas) y de mamíferos (7 de las 17 especies de mamíferos terrestres endémicos del país, habitan sólo en la Región Metropolitana).

En particular, la flora nativa de la Región Metropolitana sostiene 1.434 especies y subtaxa; si no se consideran los subtaxa, el número se reduce a 1.355 especies<sup>14</sup>.

La flora mediterránea en general se ha caracterizado por su alto endemismo local, característica evidenciada en los altos niveles de endemismo en la flora regional: 627 especies son endémicas de Chile continental (43,7%), 422 especies son endémicas mediterráneas (29,4%), 132 especies son endémicas de las regiones Metropolitana de Santiago y V de Valparaíso en conjunto (9,2%), y existen 91 especies exclusivas de la Región Metropolitana de Santiago.

Respecto a las especies de fauna, del total de especies de vertebrados terrestres del país, 336 (48%) se encuentran en las regiones de Valparaíso y Metropolitana de Santiago. Entre éstas se cuentan el 57% de las aves de Chile, el 37% de los mamíferos, el 36% de los peces, el 28% de los reptiles y el 20% de los anfibios; estos porcentajes implican que la Región alberga una gran parte de la riqueza específica del país. Especialmente relevantes, por su vulnerabilidad y distribución restringida, son las especies de reptiles y anfibios, algunas de las cuáles son presentadas en la Tabla VI.3. Las especies de anfibios que son endémicas en la Región Metropolitana son *Alsodes laevis* (Sapo de pecho) y *A. montanys* (Sapo de montaña). Entre los reptiles, la Familia que presenta más especies en la región es Liolaemus, mientras que las especies que son endémicas son *Liolaemus valdesianus* (Lagarto de Lo Valdés), *Pristidactylus volcanensis* (Gruñidor del Volcán) y *P. valeriae* (Gruñidor de Valeria).

Tabla VI.3. Lista de algunas especies de anfibios y reptiles que habitan en la Región Metropolitana. Fuente: Elaboración propia.

Nombre científico	Nombre común
<b>Anfibios</b>	
<i>Alsodes laevis</i>	Sapo de pecho
<i>Alsodes montanys</i>	Sapo de montaña
<i>Alsodes tumultuosus</i>	-
<i>Batrachyla taeniata</i>	Rana de ceja o ranita de antifaz
<i>Caudiverbera caudiverbera</i>	Rana chilena
<i>Pleurodema thaul</i>	Sapito de cuatro ojos
<i>Rhinella arunco</i>	Sapo de rulo
<i>Rhinella spinulosa</i>	Sapo espinoso

<sup>14</sup>Arroyo *et al.*, 2002.

<b>Reptiles</b>	
<i>Liolaemus valdesianus</i>	Lagarto de Lo Valdés
<i>Pristidactylus volcanensis</i>	Gruñidor del Volcán
<i>Pristidactylus valeriae</i>	Gruñidor de Valeria
<i>Callopistes maculatus</i>	Iguana
<i>Liolaemus bellii</i>	Lagartija parda
<i>Liolaemus chiliensis</i>	Lagarto chileno
<i>Liolaemus fuscus</i>	Lagartija oscura
<i>Liolaemus gravenhorsti</i>	Lagartija de Gravenhorst
<i>Liolaemus lemniscatus</i>	-
<i>Liolaemus leopardinus</i>	Lagarto leopardo
<i>Liolaemus monticola</i>	Lagartija de los montes
<i>Liolaemus nigroviridis</i>	Lagartija negro verdosa
<i>Liolaemus nitidus</i>	Lagarto nítido
<i>Liolaemus ramonensis</i>	Lagartija leopardo de Ramón
<i>Liolaemus schroederi</i>	Lagartija de Schröder
<i>Liolaemus tenuis</i>	Lagartija esbelta
<i>Philodryas chamissonis</i>	Culebra de cola larga
<i>Phymaturus flagellifer</i>	Matuasto
<i>Tachymenis chilensis</i>	Culebra de cola corta

De las especies de aves cuya distribución incluye la Región Metropolitana, ninguna ha sido informada como endémica, y su presencia se registra en prácticamente todos los ecosistemas de la región, incluidos los sistemas urbanos y productivos. La Tabla VI.4 presenta un listado de algunas de las especies de aves de ambientes acuáticos (humedales, vegas, cursos y cuerpos de agua) y de ambientes terrestres, posibles de encontrar en la Región Metropolitana.

Tabla VI.4. Listado de algunas especies de aves que habitan en la Región Metropolitana. Fuente: Elaboración propia.

Nombre científico	Nombre común
<i>Asio flammeus</i>	Nuco
<i>Attagis gayi</i>	Perdicita cordillerana
<i>Buteo albigula</i>	Aguilucho chico
<i>Chloephaga melanoptera</i>	Piuquén
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino
<i>Vultur gryphus</i>	Cóndor

Entre las especies endémicas a Chile de mamíferos que se distribuyen en la Región Metropolitana están *Chelemys megalonyx* (Ratón topo del matorral), *Spalacopus cyanus* (Cururo) y *Octodon lunatus* (Degú costino); la Tabla VI.5 presenta un listado de algunas de las especies de mamíferos que se distribuyen en la región.

Tabla VI.5. Listado de algunas especies de mamíferos que habitan en la Región Metropolitana. Fuente: Elaboración propia.

Nombre científico	Nombre común
<i>Conepatus chinga</i>	Chingue común
<i>Euneomys mordax</i>	Ratón sedoso nortino
<i>Galictis cuja</i>	Quique
<i>Lagidium viscacia</i>	Vizcacha
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco
<i>Leopardus colocolo</i>	Colo-Colo
<i>Leopardus guigna</i>	Güiña
<i>Myocastor coypus</i>	Coipo
<i>Octodon bridgesi</i>	Degú de los matorrales
<i>Pseudalopex culpaeus</i>	Zorro colorado o Culpeo
<i>Pseudalopex griseus</i>	Zorro chilla o gris
<i>Puma concolor</i>	Puma
<i>Thylamys elegans</i>	Llaca o Marmosa

De acuerdo a los procesos de clasificación de especies según su estado de conservación, 41 especies de flora y 82 especies de fauna (123 en total) que presentan distribución en la Región Metropolitana (ya sea endémicas o compartidas con otras zonas del país), han sido evaluadas

en dichos procesos de clasificación desde el año 2003 a la fecha. El total se desglosa en 38 especies de plantas vasculares y helechos en lo que respecta a flora. En el caso de la fauna, se han evaluado 3 especies de invertebrados, 16 de mamíferos, 25 de aves, 19 de reptiles, 8 de anfibios y 10 especies de peces. En la Tabla VI.6 se presenta el número de especies dentro de las categorías UICN de clasificación de estado de conservación.

*Tabla VI.6 Estados de conservación por taxón para la flora y fauna de la Región Metropolitana.  
Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en los decretos de clasificación de especies (MMA, 2012).*

<b>Estado de Conservación<sup>15</sup></b>	<b>Plantas Vasculares y Helechos</b>	<b>Invertebrados</b>	<b>Anfibios</b>	<b>Peces</b>	<b>Reptiles</b>	<b>Aves</b>	<b>Mamíferos</b>
Fuera de Peligro	1	0	0	0	1	0	0
Insuficientemente Conocida	0	1	0	3	2	5	1
Preocupación Menor	4	0	1	0	0	0	2
Casi Amenazada	2	0	2	0	0	9	2
Rara	12	0	0	1	4	7	2
Vulnerable	8	0	2	4	8	0	5
En Peligro	10	2	2	2	4	4	4
En Peligro Crítico	0	0	1	0	0	0	0
Extinta	1	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>19</b>	<b>25</b>	<b>16</b>

<sup>15</sup>Estas categorías están derogadas en la clasificación UICN vigente, pero persisten en uso en Chile hasta no se re-evalúen los taxones a que se refieren.

### **VI.3.- Caracterización a Escala local**

A continuación se detallan, las unidades de vegetación presentes en la Comuna de La Florida, para cada una de estas unidades se presenta una breve descripción, algunas especies de flora presentes (composición florística) y la distribución nacional que tiene la unidad basados en las descripciones presentadas por Luebert & Pliscoff 2006 (**Figura VI.2**). Finalmente se resume en un cuadro las comunidades vegetacionales que han sido identificadas, señalando el autor que primero la definió.

#### **- *Bosque espinoso de mediterráneo andino *Acacia caven* y *Baccharis paniculata****

Matorral espinoso arborescente, abierto, dominado por *Acacia caven* y *Baccharis paniculata*. Ocasionalmente se encuentran algunos individuos arbóreos aislados de *Quillaja saponaria*, *Lithrea caustica* o *Kageneckia oblonga*. Las especies arbustivas más comunes son *Colliguaja odorifera*, *Retanilla trinervia* y *Trevoa quinquenervia*. En la estrata herbácea, que suele ser muy abundante en primavera, participan varias especies introducidas, como *Avena barbata*, *Bromus berterianus*, y *Centaurea melitensis*, y nativas, principalmente *Helenium aromaticum*, *Moscharia pinnatifida* y *Phacelia brachyantha*. De acuerdo con los antecedentes y con la posición ecológica, probablemente corresponde a una fase de degradación del bosque esclerofilo original, que se recuperaría en ausencia de presión antrópica (Caro 1996). Composición florística: *Acacia caven*, *Avena barbata*, *Baccharis paniculata*, *Bromus berterianus*, *B. hordeaceus*, *Centaurea melitensis*, *Cestrum parqui*, *Colliguaja odorifera*, *Gochnatia foliolosa*, *Helenium aromaticum*, *Kageneckia oblonga*, *Lithrea caustica*, *Madia sativa*, *Moscharia pinnatifida*, *Muehlenbeckia hastulata*, *Retanilla trinervia*, *Pasithea coerulea*, *Phacelia brachyantha*, *Podanthus mitiqui*, *Quillaja saponaria*, *Solanum ligustrinum*, *Trevoa quinquenervia*, *Vulpia myuros*. Distribución nacional: Laderas bajas (pie-de-monte) de la cordillera de Los Andes de la región Metropolitana se Santiago y de la del Libertador Bernardo O'Higgins, entre 600 y 1200 m. Se encuentra en los pisos bioclimáticos mesomediterráneo inferior semiárido y seco oceánico.

#### **- *Bosque esclerofilo mediterráneo andino de *Kageneckia angustifolia* y *Guindilia trinervis****

Bosque esclerofilo abierto dominado por *Kageneckia angustifolia* en la estrata arborea y por *Guindilia trinervis* y *Colliguaja integerrima* en la estrata arbustiva. Es frecuente la presencia de elementos propios de los pisos altitudinales inmediatamente inferior (e.g. *Kageneckia oblonga*, *Baccharis rhomboidalis*) y superior (e.g. *Tetraglochin alatum*, *Viviania marifolia*, *Phacelia secunda*), por lo que en algunos trabajos se le ha otorgado un carácter transicional entre el bosque esclerofilo y el matorral bajo de altitud. La estrata herbácea está típicamente dominada por *Acaena pinnatifida* y *Stachys grandidentata*. En laderas de exposición norte es frecuente observar matorrales espinosos dominados por *Puya berteroniana* y *Echinopsis*

*chiloensis*. En las zonas marginales más húmedas es posible encontrar un bosque abierto dominado por *Austrocedrus chilensis* y *Schinus montanus*. El reclutamiento de *Kageneckia angustifolia* parece estar asociado a la acumulación de nieve; la mayor cantidad de nieve tiende a retardar la germinación y las plántulas tienen menos posibilidades de sobrevivir a la estación seca, por lo que bajo los individuos preexistentes de *Kageneckia*, la probabilidad de sobrevivencia es mayor ya que la acumulación de nieve es menor, lo que explicaría la distribución espacial agrupada en manchones. La formación de nuevos machones de vegetación ocurre a través de mecanismos de facilitación de las especies colonizadoras, que permitirían la colonización por parte de las especies arbóreas. Composición florística: *Acaena pinnatifida*, *Azara petiolaris*, *Baccharis rhomboidalis*, *Colliguaja integerrima*, *Ephedra chilensis*, *Guindilia trinervis*, *Gymnophyton isatidicarpum*, *Haplopappus illinitus*, *Kageneckia angustifolia*, *K. oblonga*, *Mulinum spinosum*, *Phacelia secunda*, *Quinchamalium chilense*, *Ribes polyanthes*, *Schinus montanus*, *Stachys grandidentata*, *Tetraglochin alatum*, *Tristerix corymbosus*, *Valeriana stricta*, *Viviania marifolia* (véase Arroyo y Uslar 1993, Muñoz Schick et al. 2000).

Distribución Nacional: Laderas medias de la Cordillera de Los Andes de la región del Libertador Bernardo O'Higgins, Metropolitana de Santiago, de Valparaíso y de Coquimbo, entre 1400 y 2200 m, pisos bioclimáticos supramediterráneo inferior semiárido, seco, subhúmedo y húmedo inferior hiperoceánico y oceánico.

- ***Bosque esclerofilo mediterráneo andino de Quillaja saponaria y Lithrea caustica***

Bosque esclerofilo, típicamente dominado por *Lithrea caustica*, *Quillaja saponaria* y *Kageneckia oblonga*; *Cryptocarya alba* es localmente abundante en los sectores de mayor humedad. La estrata arbustiva es muy diversa, destacando la presencia de *Escallonia pulverulenta*, *Proustia cuneifolia*, *Colliguaja odorifera*, *Satureja gilliesii* y *Teucrium bicolor*. La estrata herbácea también es diversa, con importante presencia de geófitas, como *Alstroemeria haemantha*, *Pasithea coerulea* y *Solenomelus pedunculatus*. Las laderas rocosas de exposición norte, generalmente presentan un matorral dominado por *Colliguaja odorifera*, *Puya berteroniana* y *Echinopsis chiloensis*, con presencia de individuos aislados de *Quillaja saponaria* o *Lithrea caustica*. En algunas zonas costeras este bosque se encuentra asociado con *Jubaea chilensis*. Los bosques esclerofilos de Chile han estado sometidos a fuertes presiones antrópicas (incendios, talas, pastoreo), razón por la que actualmente se encuentran muy degradados. La degradación de bosque esclerofilo original tiene como efecto una transformación estructural y cambios en la composición florística, que dependen del tipo y nivel de perturbación. Los primeros estadios de degradación producen la transformación estructural de bosque a matorral arborescente y una penetración de elementos más xerófitos como *Baccharis linearis* y *Muehlenbeckia hastulata*. Perturbaciones más severas podrían producir la transformación completa del bosque en un espinal dominado por *Acacia caven* o incluso en una pradera anual. Teóricamente, en ausencia de perturbaciones, estas comunidades

de degradación tienden a recuperarse, a través de mecanismos de facilitación, para retornar a su estado original, cuya composición de especies dominantes dependerá de las condiciones específicas del sitio, en especial la disponibilidad hídrica (Oberdorfer 1960, Gutiérrez y Armesto 1977, Armesto y Gutiérrez 1978a, Balduzzi *et al.* 1982, Armesto & Pickett 1985, Caro 1996, Donoso 1998, Teillier 2003a). Composición florística: *Alstroemeria haemantha*, *Azara petiolaris*, *Baccharis paniculata*, *B. rhomboidalis*, *Colliguaja odorifera*, *Cryptocarya alba*, *Eccremocarpus scaber*, *Escallonia pulverulenta*, *Gochnatia foliolosa*, *Kageneckia oblonga*, *Lithrea caustica*, *Nassella chilensis*, *Pasithea coerulea*, *Podanthus mitiqui*, *Porlieria chilensis*, *Proustia cuneifolia*, *Quillaja saponaria*, *Satureja gilliesii*, *Schinus polygamus*, *Solanum ligustrinum*, *Solenomelus pedunculatus*, *Teucrium bicolor*, *Trevoa quinquenervia*, *Tristerix corymbosus* (véase Donoso 1982, Muñoz-Schick *et al.* 2000).

Distribución Nacional: Laderas bajas de la Cordillera de Los Andes y de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa de la región del Libertador Bernardo O'Higgins, Metropolitana de Santiago y de Valparaíso, 200-1700 m, pisos bioclimáticos mesomediterráneo seco y subhúmedo inferior oceánico.

- ***Matorral bajo mediterráneo andino de Chuquiraga oppositifolia y Nardophyllum lanatum***

Matorral bajo con una cobertura vegetal que generalmente oscila entre 20 y 40%, dominado por subarbustos, donde destaca la presencia de *Chuquiraga oppositifolia*, *Mulinum spinosum*, *Nardophyllum lanatum*, *Viviania marifolia*, *Ephedra chilensis* y *Tetraglochin alatum*. Las herbáceas perennes son también frecuentes, en especial *Phacelia secunda*, *Tropaeolum polyphyllum* y *Argilia adscendens*. Es posible que perturbaciones de mesoescala como eventos de remoción en masa estén actuando permanentemente, limitando el avance de la sucesión, aunque no es posible, con el conocimiento actual, identificar cuáles son las especies pioneras. Observaciones directas sobre la composición florística revelan la presencia de un conjunto de especies introducidas asociadas al ganado. Composición florística: *Acaena alpina*, *Acaena splendens*, *Alstroemeria pallida*, *Anarthrophyllum cumingii*, *Argilia adscendens*, *Berberis empetrifolia*, *Chuquiraga oppositifolia*, *Ephedra chilensis*, *Euphorbia collina*, *Guindilia trinervis*, *Junellia scoparia*, *Mulinum spinosum*, *Mutisia subulata fma. rosmarinifolia*, *Haplopappus anthylloides*, *Nardophyllum lanatum*, *Phacelia secunda*, *Sisyrinchium arenarium*, *Stachys albicaulis*, *Stipa chrysophylla*, *Tetraglochin alatum*, *Tropaeolum polyphyllum*, *Viviania marifolia* (véase Cavieres *et al.* 2000, Muñoz-Schick *et al.* 2000, Aravena 2002).

Disitrbución Nacional: Ampliamente repartida en las laderas altas de la Cordillera de Los Andes de la región del Libertador Bernardo O'Higgins, Metropolitana de Santiago, de Valparaíso y sur de Coquimbo, 2000-2600 m, pisos bioclimáticos supramediterráneo superior y oromediterráneo seco, subhúmedo y húmedo inferior hiperoceánico y oceánico.



#### **VI.4.- Comunidades Vegetacionales presentes en la precordillera de la comuna de La Florida**

##### ***Bosque espinoso de mediterráneo andino Acacia caven y Baccharis paniculata***

*Acacietum cavenii* (Pisano 1966)  
*Acacia caven-Lithrea caustica* (Gajardo 1994)  
*Rubo-Cestretum* (ruderal, cursos de agua) (Oberdorfer 1960)  
*Cestro-Trevoetum, Bromo-Lolietum* (ruderal) (Pisano 1966)  
*Meliloto-Avenetum* (ruderal) (Oberdorfer 1960)

##### ***Bosque esclerofilo mediterráneo andino de Kageneckia angustifolia y Guindilia trinervis***

*Quillaja saponaria-Lithrea caustica* (Donoso 1982)  
*Quillaja saponaria-Colliguaja odorífera* (Donoso 1982)  
*Cryptocarya alba-Quillaja saponaria* (Donoso 1982)  
*Cryptocarya alba-Lithrea caustica* (Donoso 1982)

##### ***Bosque esclerofilo mediterráneo andino de Quillaja saponaria y Lithrea caustica***

*Fabianetum imbricatum* (Pisano 1966)  
*Azaro-Escallonietum* (Oberdorfer 1960)  
*Kageneckia angustifolia-Guindilia trinervis*, (Oberdorfer 1960)  
*Puya berteroniana-Trichocereus chilensis* (Oberdorfer 1960)  
*Escallonia myrtoidea-Maytenus boaria* (quebradas) (Gajardo 1994, Niemeyer *et al.* 2002).

##### ***Matorral bajo mediterráneo andino de Chuquiraga oppositifolia y Nardophyllum lanatum***

*Mulinum spinosum-Chuquiraga oppositifolia* (Gajardo 1994)  
*Chuquiraga oppositifolia-Guindilia trinervis* (Gajardo 1994)  
*Fabiana imbricata-Ephedra chilensis* (Gajardo 1994)  
*Patosia clandestina-Juncus balticus* (vegas) (Gajardo 1994)  
*Escallonia myrtoidea-Maytenus boaria* (quebradas) (Gajardo 1994).



**SEGUNDA PARTE**

**DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE AMENAZAS  
POR COMPONENTE  
Y  
POR MICROCUENCA**



## **Niveles de Amenaza Geofísica**



## **A.- DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA SEGÚN LAS COMPONENTES GEOFÍSICAS:**

La amenaza sísmica, asociada al estado y manifestación de las componentes geofísicas del territorio, se relaciona con los efectos de los procesos endógenos que han condicionado la evolución de los relieves así como de aquellos cuya ocurrencia aleatoria actúa como factor desencadenante de aceleraciones y dislocaciones de los terrenos, entendidos como relieves y suelos de fundación.

En este contexto y dadas las diferencias en la escala temporal se considera, por una parte, la influencia de aquellas condiciones del sustrato rocoso y sedimentario determinadas por los procesos orogénicos, los cuales plantean diferentes niveles de fallamiento y plegamiento, con el consiguiente grado de fracturamiento interno y pérdida de integridad y estabilidad estructural, así como por los procesos paleoclimáticos que han determinado la evolución de los relieves montañosos erigidos y el vaciamiento de grades masa detríticas que llevaron a la construcción del piedemonte en base a mecanismos de movimientos en masa del tipo flujos detríticos y deslizamientos. En este caso se determinan y ponderan aspectos del factor geológico-tectónico en cuanto a su influencia en el grado de amenaza sísmica potencial, en tanto respuesta de los materiales del sustrato al paso de las ondas sísmicas.

Por la otra parte se considera el rol de los eventos telúricos respecto de la aceleración horizontal de los terrenos ante sismos ponderada en niveles de amenaza, para lo cual se consideran las determinaciones alcanzadas por las investigaciones pertinentes. Lo anterior se plantea dentro de un escenario de amenaza alto determinado para toda la comuna por los estudios de Pinto et als (1993), Kausel et als (1993) y Astroza, Monge & Varela (1993).

El estudio de riesgo sísmico de viviendas en Santiago (Pinto, 1993) determinó para la Comuna de la Florida una amenaza de nivel medio (intensidad 7.0 Mercalli mod.) en el área construída, pero esta puede afectar negativamente el equilibrio de formas y depósitos del área montañosa y depositacional.

El estudio de Kausel et als (1993), de base probabilístico-histórica, recogido por el Proyecto OTAS indica que las intensidades más probables para la Comuna son de 6,5 grados MSK, lo que es suficiente para desestabilizar taludes y cubiertas regolíticas en las laderas.

Por último, este estudio de Astroza y Monge (1993), basado en los efectos del sismo de 1985, estableció intensidades de 7,5 (Mercalli mod.) para el sector urbano del cono torrencial de la Quebrada de Lo Cañas en la Comuna, lo cual representa la amenaza potencial en el sector proximal de este.

### **A.1.- Factor Geológico-Tectónico: Variables consideradas**

De acuerdo a los antecedentes existentes, su revisión, evaluación y observaciones de terreno, se determinaron las siguientes variables claves para establecer el grado amenaza derivado de este factor:

- a) **Presencia de fallas activas:** La existencia de fallas activas tanto en el área montañosa como en el cono torrencial representa un factor de inestabilidad que afecta el equilibrio de rocas y suelos de fundación, así como favorece la ocurrencia de movimientos en masa.

Ante la existencia de fallas activas, las cuales ante el movimiento o rejuego de los bloques rocosos suelen comprometer franjas de territorio de ancho variable a ambos lados de su traza, se establece que su presencia representa un nivel de amenaza potencial alto.

En este sentido, respecto de la Falla San Ramón, Rauld (2011) establece que:

- (i) es una estructura cortical de tipo inversa que ha estado activa a escala del Cenozoico tardío,
- (ii) que ha jugado un rol fundamental en la configuración geomorfológica del frente cordillerano de Santiago,
- (iii) que tiene manifestación superficial, y
- (iv) que ha tenido actividad durante el Pleistoceno tardío y muy posiblemente durante el Holoceno.
- (v) Por todo lo anterior, **esta estructura representa una amenaza sísmica para la ciudad de Santiago.**

Sin embargo, por otra parte, el mismo autor establece que el tiempo para recargar la falla con un desplazamiento de 1 – 4 m corresponde a un valor entre 2.500 – 10.000 años, y que la probabilidad de que haya algún registro histórico de un evento originado en la falla son bajas.

En otras palabras, existe una baja probabilidad que se produzcan eventos sísmicos a propósito de la existencia de la falla lo cual, como consta en este y otros estudios, no excluye el que la falla se mueva a consecuencia del paso de ondas sísmicas, lo cual viene a incorporar deformaciones topográficas a la sacudida de los terrenos por el paso de dichas ondas.

De hecho se indica que si la falla se reactiva por este motivo sufriendo un desplazamiento entre 1 y 4 m, el sismo asociado alcanzaría magnitudes Mw 6,6 a Mw 7,0. Paralelamente, se plantea que si la ruptura de la falla se produjera a 15 km de profundidad comprometería una franja de 30 km de ancho con magnitudes de Mw 6,9 a Mw 7,4.



Se establece también, dadas ciertas características tectónico-estructurales asociadas a la falla (Pérez et al., 2009), que la posibilidad de que rompa todo el ancho de la Falla San Ramón no es descartable.

En Armijo et al. (2010) se deja constancia que en el área cercana a la Quebrada de Macul, se encuentra expuesto uno de los escarpes más recientes de la falla, de 3,0 a 3,7 m de alto, efecto morfológico que es asociado a los últimos eventos sísmicos con ruptura superficial.

En este sentido, una evidencia de efecto morfológico lo constituye el “escalón en la superficie del terreno del orden de 3-5 m de diferencia vertical, (.....) la que corresponde a la deformación en superficie asociada a la actividad más reciente de la falla” (SEREMI-MINVU, 2012).

- b) **Tectónica de Bloques:** La presencia de facetas trapezoidales y triangulares en los cordones montañosos indica fallamientos locales que contribuyen a la inestabilidad de las laderas y a la existencia de masas rocosas inestables.

Considerando que el frente montañoso precordillerano constituyó el bloque solevantado (horst) de la falla de Ramón, en este proceso se produce una serie de fallamientos y movimientos de bloques menores, cuyas trazas y efectos se reconocen en las morfologías indicadas. Su existencia en el relieve determina discontinuidades, fracturamientos y escarpes rocosos desprendentes, lo cual conduce a establecer un nivel de amenaza potencial alto para los relieves precordilleranos por este factor.

- c) **Plegamiento y fracturamiento:** El grado de plegamiento junto al consecuente fracturamiento interno de las capas de rocas establece inestabilidad estructural de los relieves montañosos.

En las estructuras rocosas de los relieves de la precordillera se reconocen altos grados de plegamiento con ejes tanto N-S como E-W, reconociéndose incluso fenómenos de cabalgamiento. Este doblamiento de las capas de rocas determina, dada su escasa ductilidad, un considerable rompimiento interno en las formaciones, el que afecta diferencialmente a cada capa de rocas. En consecuencia, al tratarse de sustratos que han perdido su integridad por un lado, pero que su propia compresión produce trabamiento interno, se establece un nivel de amenaza medio a la pérdida de estabilidad de los relieves.

- d) **Lito-estructura:** La presencia de formaciones rocosas constituidas por secuencias de capas de distinta litología y naturaleza constituye un factor de reducción de la resistencia ante sollicitaciones sísmicas e hidrológicas.

La heterogeneidad de los materiales líticos de cada capa de rocas sedimentarias (marinas y continentales) y volcánicas (lavas y brechas), lo cual redundaría en su respuesta diferencial ante procesos erosivos o sollicitaciones sísmicas, fundamenta el asignar un nivel de amenaza medio al rol de esta variable en la pérdida de estabilidad de los materiales constituyentes del sustrato.

- e) **Presencia de cuerpos intrusivos:** La existencia de cuerpos intrusivos según sus redes de diaclasas y grado de fracturamiento favorece el desprendimiento de bloques rocosos.

Lo observado en terreno respecto de esta variable, principalmente en el sector del Cordón de Santa Rosa, en cuya sección superior existe un cuerpo intrusivo de naturaleza granitoide, y donde se visualizan múltiples bloques métricos desprendidos y claros fracturamientos en los conjuntos rocosos somitales, muchos de los cuales al estar sobrepuestos pueden fácilmente perder estabilidad y ser movilizados pendiente abajo, lleva a determinar un nivel de amenaza alto ante su presencia.

## **A.II.- Factor Sísmico: Variables claves y zonificación**

Considerando la escala comunal o regional de la información existente, la cual conduce a establecer una amenaza sísmica considerablemente alta para la Comuna (Pinto et als, 1993; Kausel et als, 1993; Astroza, Monge & Varela, 1993), se ha considerado como una forma de establecer diferenciaciones al interior de ella los antecedentes que los estudios mediante el método determinístico arrojan sobre grados de aceleración horizontal del terreno ante el paso de las ondas sísmicas, lo cual se desprende del estudio “Riesgo y modificación PRMS Falla San Ramón” ID N° 640-27-LP10.(Informe Etapa 2 – Enero 2012) realizado por encargo de la SEREMI-MINVU.

Lo anterior obedece a que la aceleración horizontal máxima (PGA) es el parámetro más utilizado para caracterizar el movimiento fuerte del terreno, ello a pesar de algunas deficiencias.

De acuerdo al estudio anteriormente citado, las aceleraciones horizontales máximas (PGA) se determinaron para la magnitud máxima esperable ( $M_w$  7,4). De acuerdo a ello, y como se ve en la tabla siguiente (Tabla AS-1), los valores hacia el Este son mayores que los obtenidos al Oeste por el efecto de bloque-colgante (Falla inversa).

En el estudio de la SEREMI-MINVU (2012), al igual que en los trabajos e investigaciones consultadas, se concluye que la Falla San Ramón no sólo tiene evidencias de falla geológicamente activa, sino que además, evidencias de ser una falla sísmicamente activa,

razón por lo que se establece que es un elemento de primer orden a considerar para la estimación de la amenaza sísmica para toda la RM y en especial la ciudad de Santiago.

**Tabla AS-1: Valores de la aceleración horizontal máxima (PGA) en función de la distancia, para un evento de magnitud  $M_w=7.4$ .**

Distancia hacia el W (km)	PGA (%g)
2.0	47.0
5.0	37.0
10.0	26.0
Distancia hacia el E (km)	PGA (%g)
2.0 (¿?)	70.0
7.9	47.0 (¿?)
11.5	37.0 (¿?)
14.7	26.0 (¿?)

Fuente: SEREMI-MINVU, 2012.

(¿?): Respecto de las distancias hacia el E de las franjas de aceleración máxima, en dicho estudio se observa una diferencia con la cartografía (Fig. 4.32 de dicho informe), pues la franja con PGA máxima menor o igual a 70 %g tendría unos 5 km de ancho. Entre los 5,0 y los 7,9 km la PGA máxima sería de 58 %g; la entre 7,9 y 11,5 km la PGA alcanzaría a 47 %g; y la entre 11,5 y 14,7 km una PGA máxima de 37 %g.

### A.III.- Resultados

#### a) Amenaza Sísmica:

Considerando los factores geológico-tectónicos y sísmicos explicitados, y teniendo en cuenta los antecedentes que indican la condición de amenaza sísmica a nivel comunal como escenario de referencia general, lo cual es analizado mediante una matriz de doble entrada (ITUR-MOPT, 1991) (Ver Matriz de Amenaza Geo-Sísmica), se establece una zonificación basada en el estudio SEREMI-MINVU (2012) que considera los rangos de aceleración horizontal del suelo a partir de la Falla de Ramón como indicativos del nivel de amenaza ante posibles eventos sísmicos que generen rejuego en ella.

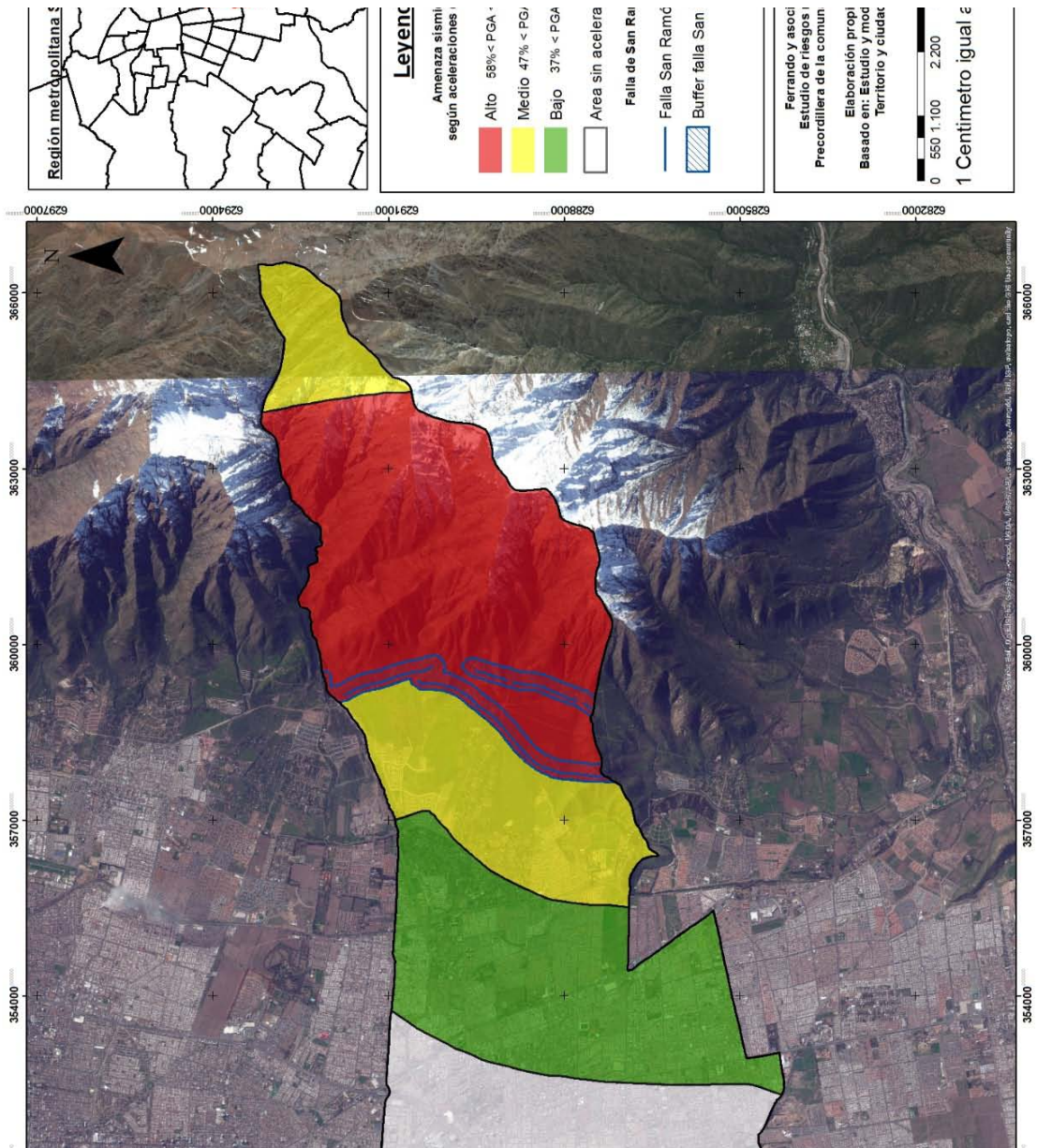
Estos resultados quedan expresados en la cartografía correspondiente (Mapa Amenaza Sísmica Precordillera Comuna de La Florida)

**b) Riesgo Sísmico:**

Dado que la zonificación abarca áreas urbanizadas o en proceso de urbanización, los niveles de amenaza señalados corresponden a una de las componentes del riesgo del medio ambiente construido, requiriéndose determinar la vulnerabilidad sísmica de las construcciones (materialidad e ingeniería sísmo-resistente incorporada en la construcción). En este sentido, Pinto et als (1993) ya indican un riesgo alto ante actividad sísmica para la Comuna de la Florida.

**(Insertar Matriz en hoja A2)**

## Amenaza sísmica precordillera comuna de La Florida



### Bibliografía:

Armijo, R., Rauld R., Thiele R., Vargas G., Campos J., Lacassin R., Kaussel E. 2008. The West Andean Thrust (WAT), the San Ramón Fault and the seismic hazard for Santiago (Chile). *Tectonics*, Vol. 29, doi: 10.1029/2008TC002427.

Astroza, M., Monge, J. y Varela, J. 1993. Intensidades del sismo del 3 de marzo en la Región Metropolitana y el Litoral Central. En R. Flores, ed., Ingeniería Sísmica, el caso del sismo del 3 de marzo de 1985, págs. 103–117. Ediciones Dolmen (ex Hachette).

Ferrando, F. et als. 1993. "Plan Regional de Prevención de Situaciones de Riesgo, Sector Piedmont y Precordillera Andina. Región Metropolitana: Diagnóstico, Análisis y Propuestas". Secretaría Regional Ministerial de Planificación y Coordinación de la Región Metropolitana MIDEPLAN. 226 pp., mapas., figs.

Ferrando, F. 2002. Falla de Ramón: Análisis de las noticias aparecidas en la prensa. Revista Electrónica de Urbanismo N° 6, págs. 1-7. Edit. Depto. de Urbanismo, Universidad de Chile.

ITUR-MOPT. 1991. Directrices Ambientales para la Planificación y Gestión de Asentamientos. Ed. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de España con el auspicio del PNUMA y HABITAT-ONU. Madrid, España. 477 pp.

Kausel, E., Astroza, M., Monge, J., 1993. Sismicidad y Peligro Sísmico de la Zona de Santiago-Valparaíso incluyendo efectos locales de suelos. VI Jornadas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Vol I, págs. 65-74.

Lara, A., Marques, E. & Almeida, L. 1997. Geological-geotechnical risk mapping related to landslides – The example of Serrinha, Río de Janeiro, Brasil. En: Vol 2, II PSL & II COBRAE, Río de Janeiro, Brasil. Págs. 837-846.

Pérez., A., Leyton. F., Campos., J., Barrientos., S., 2009. Determinación de un modelo de estructura de velocidad 1D para sismos corticales en Chile Central entre los 32.5S-34.5S y los 69.5W-71.5W. Actas XII Congreso Geológico Chileno, Santiago, Chile.

Pinto, J., Astroza, M., Monge, J., 1993. Estudio de Riesgo Sísmico de Viviendas en Santiago. VI Jornadas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Vol I, págs. 21-30.

Rauld, R. 2002. Análisis morfoestructural del frente cordillerano Santiago Oriente entre el río Mapocho y la Quebrada de Macul. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile.

Rauld P., R. 2011. Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la Falla San Ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile central (33° S). Tesis Grado Doctor en Ciencias, mención Geología. Depto. De Geología-FCFM-Univ. de Chile. 445 pp.

Sanchez M., M. & Figueroa M., R. 1993. El Piedemonte de Santiago: Área de Riesgos Geofísicos. Caso de Estudio: Quebrada Lo Cañas. En: Anales XIV Congreso de Geografía y V Jornada de Cartografía temática.. Universidad de Talca.. Chile. (Págs. 20-27).

SEREMI-MINVU. 2012. “Riesgo y modificación PRMS Falla San Ramón” ID N° 640-27-LP10.(Informe Etapa 2 – Enero 2012). 202 pp.

VARGAS, R., J.. 1992. Metodología para Estudios, Realización y Evaluación de Mapa de Riesgo Geológico y Zonificación Geotécnica. En: Memorias del I Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y SIG para el estudio de Riesgos Naturales. ICAG. Colombia. Págs. 521-536.





## **Nivel de Amenaza Geomorfológica**

## **B.- Determinación de niveles de Amenaza Geomorfológica**

## B.1.- ÍNDICES DE SUSCEPTIBILIDAD (IS).

La evaluación de la susceptibilidad ante movimientos en masa en la precordillera de la comuna de la Florida, se realizará a partir de la definición del Índice de Susceptibilidad (IS) para cada uno de los movimientos. En este sentido y como primera aclaración, se entiende como susceptibilidad a la capacidad o potencialidad de una unidad geomorfológica de ser afectada o de ser capaz de generar procesos potencialmente peligrosos.

De esta forma, el índice de susceptibilidad será el cálculo de los distintos factores condicionantes que generan una situación potencialmente inestable. Así, se ponderarán los factores de geología, geomorfología, antrópicos y de vegetación para distintas unidades geomorfológicas presentes en la precordillera, esto de acuerdo a diferentes matrices de ponderación para cada uno de los movimientos en masa, las cuales fueron modificadas a partir de la metodologías propuesta por Lara (2007).

A continuación se definen las distintas tablas de ponderación que se utilizaron para el cálculo del IS, esto a partir de lo acuñado por Lara (2007), donde el IS va desde 0% a 100%. Cabe señalar que las ponderaciones fueron realizadas a partir de revisión bibliográfica y consulta a expertos en la materia.

### B.1.1.- Índice de Susceptibilidad de Deslizamientos de Suelo

#### Matriz ponderaciones máximas de factores condicionantes deslizamientos de suelo

<b>FACTOR</b>		<b>%</b>
<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	Pendiente de laderas	35%
	Exposición del sol	
<b>GEOLOGÍA GEOTÉCNIA</b> –	Características geológicas – geotécnicas del material	30%
	Condiciones de humedad y saturación	
<b>CLIMA VEGETACIÓN</b> –	Acumulación de nieve	10%
	Cobertura vegetal	
<b>ANTRÓPICO</b>	Desestabilización artificial de la ladera	10%
<b>ANTECEDENTES</b>	Deslizamientos declarados en la ladera	15%
	Deslizamientos declarados en la unidad de suelo	

Fuente: Lara (2007). “Metodología para la evaluación y zonificación de peligros de remociones en masa con aplicaciones en quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana”.

#### Matriz ponderaciones factores condicionantes deslizamientos de suelo

<b>FACTOR</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>RANGOS</b>	<b>%</b>
<b>Pendientes de laderas F(1)</b>	Promedio de la unidad	5° - 10°	9%
		10° - 20°	15%
		20° - 30°	21%
		30° - 35°	26%
		>35°	30%
<b>Exposición al sol F(2)</b>	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando al E-W. Baja: laderas mirando al S	Alta	5%
		Parcial	3%
		Baja	1%
<b>Características geológicas – geotécnicas del material F(3)</b>	Condiciones muy favorables para generación de deslizamiento son, entre otros, baja densidad (<~1,6 - 1,8 kN/m <sup>3</sup> ), baja resistencia, alta cantidad de material fino en su composición (>~50%); además de la estructura y estratificación del suelo. La generación de material removible a partir de roca se ve favorecido por alta meteorización y alteración.	Muy favorable	20%
		Favorable	14%
		Medianamente favorable	10%
		Poco favorable	6%
		Muy poco favorable	2%
<b>Condiciones de humedad y saturación F(4)</b>	Considerar: (1) Capacidad de saturación por abajo (profundidad nivel freático) y por arriba (infiltración por precipitación). (2) Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo (asociado a presencia de niveles impermeables). Saturación y mayor almacenaje favorecen generación de deslizamientos. La relación (profundidad N.F./espesor suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	Muy favorable	10%
		Favorable	7%
		Poco favorable	3%
		Sin antecedentes	2%
<b>Acumulación de nieve F(5)</b>	Según la estacionalidad	Siempre	5%
		Estacional	2%
		Esporádica	1%
		Nula	0%
<b>Cobertura vegetal F(6)</b>	Densidad en la ladera	Nula a baja	5%
		Moderada	2%
		Alta	0%
<b>Desestabilización artificial de la ladera F(7)</b>	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	10%
		Poco importante	5%
		No observado	0%
<b>Deslizamientos declarados en la unidad geomorfológica F(8)</b>	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	Presente	10%
		Sin antecedentes	3%
		No observado	0%
<b>Deslizamientos declarados en la unidad geológica de suelo F(9)</b>	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	Presente	5%
		Sin antecedentes	2%
		No observado	0%
<b>Tipo de material F(10)</b>	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores.	Suelo	1%
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	0%

Fuente: Lara (2007). “Metodología para la evaluación y zonificación de peligros de remociones en masa con aplicaciones en quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana”.

De esta manera, el Índice de Susceptibilidad para cada unidad geomorfológica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IS_{DS} = \left( \sum_{i=1}^9 f_i \right) \cdot f_{10}$$

En este caso cualquier unidad asociada sólo a roca entregará un  $IS=0$ , pues  $f_{10}=0$ . Debe tenerse en cuenta, que las zonas que geológicamente representan unidades de roca pero que presentan suelo superficial de espesor  $\geq 1m - 1.5m$  deberán tener siempre un  $f_{10}=1$ , pues podrían generar tanto deslizamientos superficiales de suelo como deslizamientos de roca y/o caídas de roca. Debe considerarse que el espesor de suelo señalado es sugerido ya que depende de la escala de trabajo.

## B.1.2 Deslizamiento de rocas

### Matriz ponderaciones máximas de factores condicionantes deslizamientos de roca

FACTOR		%
<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	Pendiente de laderas	35%
<b>GEOLOGÍA – GEOTÉCNIA</b>	Características geológicas – geotécnicas del material	35%
	Condiciones de humedad y saturación	
<b>CLIMA</b>	Acumulación de nieve	5%
<b>ANTRÓPICO</b>	Desestabilización artificial de la ladera	10%
<b>ANTECEDENTES</b>	Deslizamientos declarados en la ladera	15%

Fuente: Lara (2007). “Metodología para la evaluación y zonificación de peligros de remociones en masa con aplicaciones en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana”.

### Matriz ponderaciones factores condicionantes deslizamientos en roca

Fuente: Lara (2007).

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
<b>Pendientes de laderas F(1)</b>	Promedio de la unidad	0° - 5°	11%
		5° - 10°	15%
		10° - 20°	20%
		20° - 30°	25%
		30° - 35°	30%
		>35°	35%
<b>Características geológicas – geotécnicas del material F(2)</b>	Su generación se ve favorecida por alto grado de fracturamiento, alta meteorización y presencia de agua en el macizo. La orientación de fracturas permitirán identificar el tipo de deslizamiento: deslizamiento plano (superficie de deslizamiento en el sentido de la ladera), cuña (por intersección de estructuras) o toppling (fracturas opuestas al sentido de la ladera). Puede considerarse valores bajos de RMR (<30) - modificado según orientación de estructuras en laderas- como indicativo aproximado de condiciones muy favorables para generación de deslizamientos.	Muy favorable	35%
		Favorable	28%
		Medianamente favorable	18%
		Poco favorable	11%
		Muy poco favorable	4%
<b>Acumulación de nieve F(3)</b>	Según la estacionalidad	Siempre	5%
		Estacional	2%
		Esporádica	1%
		Nula	0%
<b>Desestabilización artificial de la ladera F(4)</b>	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	10%
		Poco importante	5%
		No observado	0%
<b>Deslizamientos declarados en la ladera F(5)</b>	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	Presente	15%
		Sin antecedentes	5%
		No observado	0%
<b>Tipo de material F(6)</b>	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores.	Suelo	0%
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	1%

En este caso el cálculo del IS para cada unidad geomorfológica es:

$$IS_{DR} = \left( \sum_{i=1}^5 f_i \right) \cdot f_6$$

Las unidades asociadas sólo a suelo entregarán un IS=0, con  $f_6=0$ .



### B.1.3 Susceptibilidad de ocurrencia de Flujos Detríticos

Matriz ponderaciones máximas de factores condicionantes flujos

FACTOR		%
GEOMORFOLOGÍA	Pendiente de laderas	35%
	Pendiente canal de drenaje	
	Encajamiento del canal de drenaje	
	Exposición del sol	
GEOLOGÍA GEOTÉCNIA	Características geológicas – geotécnicas del material	35%
	Condiciones de humedad y saturación	
CLIMA VEGETACIÓN	Acumulación de nieve	10%
	Cobertura vegetal	
ANTRÓPICO	Desestabilización artificial de la ladera	10%
	Obstrucción del canal de drenaje	
ANTECEDENTES	Aluviones declarados en la hoya	10%

Fuente: Lara (2007). “Metodología para la evaluación y zonificación de peligros de remociones en masa con aplicaciones en quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana”.

Matriz ponderaciones factores condicionantes Flujos

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
Pendientes de laderas F(1)	Promedio de la unidad	0° - 5°	3%
		5° - 10°	6%
		10° - 20°	9%
		20° - 30°	11%
		30° - 35°	13%
		>35°	15%
Pendiente canal de drenaje al pie de la ladera F(2)	Promedio de la unidad. Si la unidad es sólo el canal de drenaje, el puntaje f(2) se asocia a f(1), quedando sólo como un puntaje otorgado por “pendiente del canal”.	20 - 30°	1%
		30° - 35°	5%
		>35°	10%
Encajamiento canal de drenaje F(3)	Dado por la geomorfología y la relación profundidad/ancho del canal. Un encajamiento alto puede reflejarse, entre otros, en un valor alto de esta razón. Puede considerarse un valor mayor a 0,7 como encajamiento alto.	Alto	7%
		Medio	4%
		Bajo	1%
Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando al E-W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	5%
		Parcial	3%
		Baja	1%
Características geológicas – geotécnicas del material	La generación de flujos se ve favorecida, entre otros, por suelos de baja compacidad, permeabilidad y espesores críticos de suelo, presencia de estructuras y presencia de finos. En roca: Alta meteorización y frecuencia de fracturas (valores bajos de GSI a nivel de ladera) litología (rocas menos resistentes) y alteraciones.	Muy favorable	25%
		Favorable	18%
		Medianamente favorable	13%
		Poco favorable	8%
		Muy poco favorable	3%

<b>Condiciones de humedad y saturación</b>	Asociado a: (1) Capacidad de saturación por abajo (profundidad nivel freático <2m es muy favorable para generación de flujos, >2m poco favorable, ~2m favorable) y por arriba (infiltración por precipitación). (2) Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo. (3) Variaciones estacionales de humedad. Mayor almacenaje y humedad alta favorecen la generación de flujos.	Muy favorable	10%
		Favorable	7%
		Poco favorable	3%
		Sin antecedentes	2%
<b>Acumulación de nieve</b>	Según la estacionalidad	Siempre	5%
		Estacional	2%
		Esporádica	1%
		Nula	0%
<b>Cobertura vegetal</b>	Densidad en la ladera	Nula a baja	5%
		Moderada	3%
		Alta	0%
<b>Desestabilización artificial de la ladera</b>	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	5%
		Poco importante	3%
		No observado	0%
<b>Obstrucción de canal de drenaje</b>	No considera estructuras destinadas a contener flujos	Importante	5%
		Moderada	4%
		Baja	2%
		No observada	0%
<b>Aluviones declarados en la hoya hidrográfica</b>	Información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la zona de estudio. Considerar como eventos frecuentes aquellos con recurrencia $\geq 10$ .	Presente	5%
		Sin antecedentes	2%
		No observado	0%
<b>Tipo de material</b>	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores.	Suelo	1%
		Roca (cobertura aproximada <1 m-1,5m de suelo)	0%

Fuente: Lara (2007).

El IS en este caso es:

$$IS_F = \left( \sum_{i=1}^{11} f_i \right) \cdot f_{12}$$

Y como se ha aplicado anteriormente, las unidades asociadas sólo a roca entregarán un  $IS=0$ , con  $f_{12}=0$ .

### B.1.4 Amenaza de Caída de rocas (Derrumbes, desplomes)

#### Matriz ponderaciones máximas de factores condicionantes caída de rocas

FACTOR		%
<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	Pendiente de laderas	35%
<b>GEOLOGÍA–GEOTÉCNIA</b>	Características geológicas – geotécnicas del material	35%
<b>CLIMA</b>	Acumulación de nieve	5%
<b>ANTRÓPICO</b>	Desestabilización artificial de la ladera	10%
<b>ANTECEDENTES</b>	Caídas de rocas declaradas en la ladera	15%

Fuente: Lara (2007). “Metodología para la evaluación y zonificación de peligros de remociones en masa con aplicaciones en quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana”.

#### Matriz ponderación factores condicionantes caída de rocas

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
<b>Pendientes de laderas</b>	Promedio de la unidad	0° - 5°	4%
		5° - 10°	10%
		10° - 20°	18%
		20° - 30°	25%
		30° - 35°	32%
		>35°	35%
<b>Características geológicas – geotécnicas del material</b>	Condiciones muy favorables para generación de deslizamiento son, entre otros, baja densidad (<~1,6 - 1,8 kN/m <sup>3</sup> ), baja resistencia, alta cantidad de material fino en su composición (>~50%); además de la estructura y estratificación del suelo. La generación de material removible a partir de roca se ve favorecido por alta meteorización y alteración.	Muy favorable	35%
		Favorable	24%
		Medianamente favorable	15%
		Poco favorable	9%
		Muy poco favorable	3%
<b>Acumulación de nieve</b>	Según la estacionalidad	Siempre	10%
		Estacional	4%
		Esporádica	2%
		Nula	0%
<b>Desestabilización artificial de la ladera</b>	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	Importante	5%
		Poco importante	3%
		No observado	0%
<b>Deslizamientos declarados en la ladera</b>	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	Presente	15%
		No observado	0%
<b>Tipo de material</b>	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto, pondera 0 al resto de los factores	Suelo	0%
		Roca	1%

Fuente: Lara (2007). “Metodología para la evaluación y zonificación de peligros de remociones en masa con aplicaciones en quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana”

El IS para cada unidad geomorfológica se calcula mediante la siguiente ecuación:

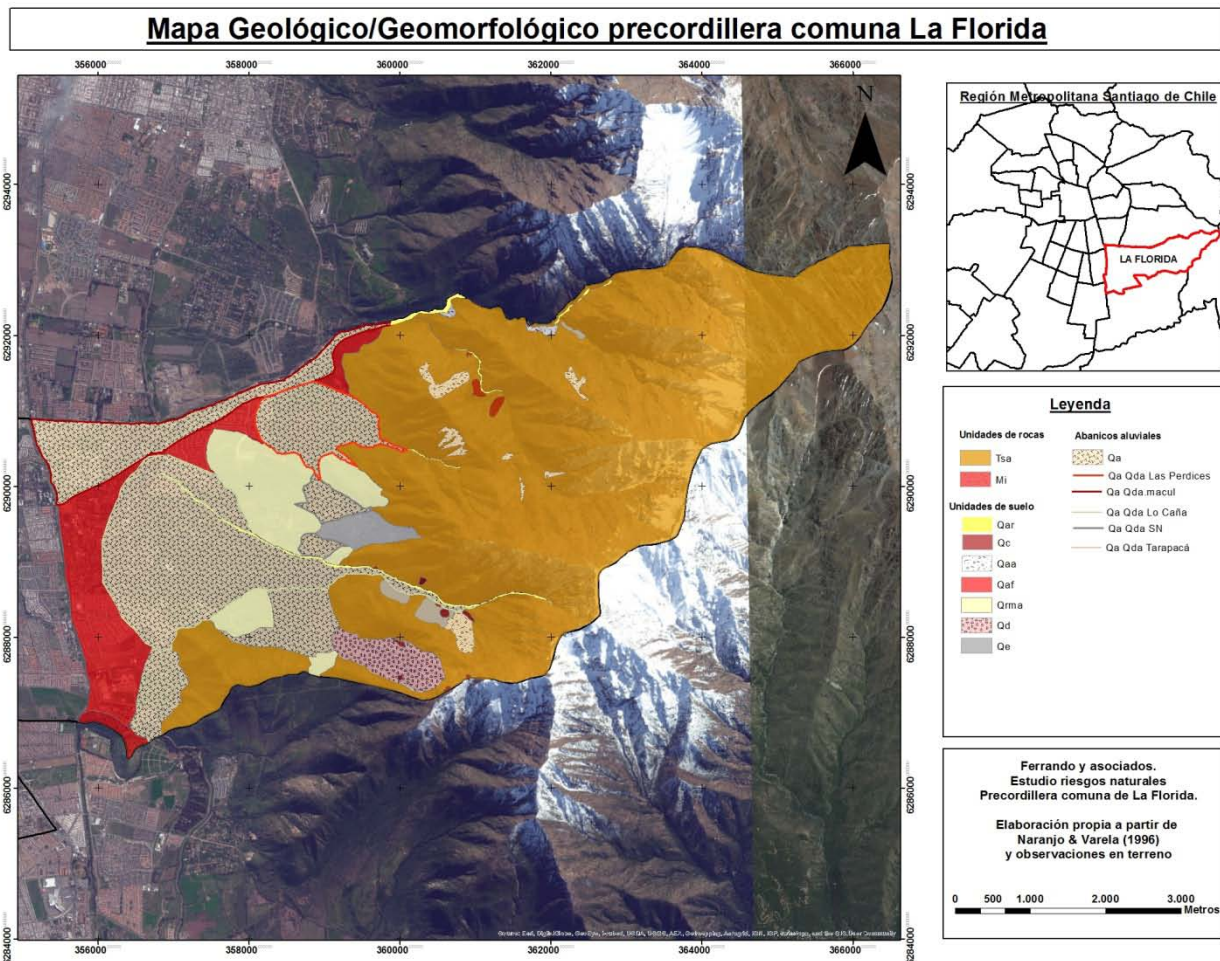
$$IS_c = \left( \sum_{i=1}^5 f_i \right) \cdot f_6$$

Cualquier unidad asociada sólo a suelo entregará un IS=0, pues  $f_6=0$ .

## B.2.- UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Para la determinación del índice de susceptibilidad, es necesario primero definir las unidades geomorfológicas que serán ponderadas y evaluadas. De esta manera, los factores geomorfológicos de exposición y pendientes son traslapados con factores de litología y depósitos, lo que da como resultado distintas zonas con iguales valores en cuanto a pendiente, exposición al sol y depósitos.

### B.2. 1.- Primer insumo: Cartografía geología y geomorfología.



Fuente: Elaboración propia, 2013, a partir de Naranjo & Varela (1996) y observaciones en terreno.

Si bien en la cartografía se demuestra que la totalidad de las laderas de las microcuencas de Lo Cañas, Las Perdices y Tarapacá – Sta Rosa, están conformadas por la formación Abanico, esto se modifica de acuerdo a lo observado en terreno y lo acuñado por Sepúlveda (1998), en donde las laderas están conformadas por suelos constituidos por residuos de la formación Abanico y escombros de falda. Las siguientes fotografías muestran lo especificado con anterioridad.



a)

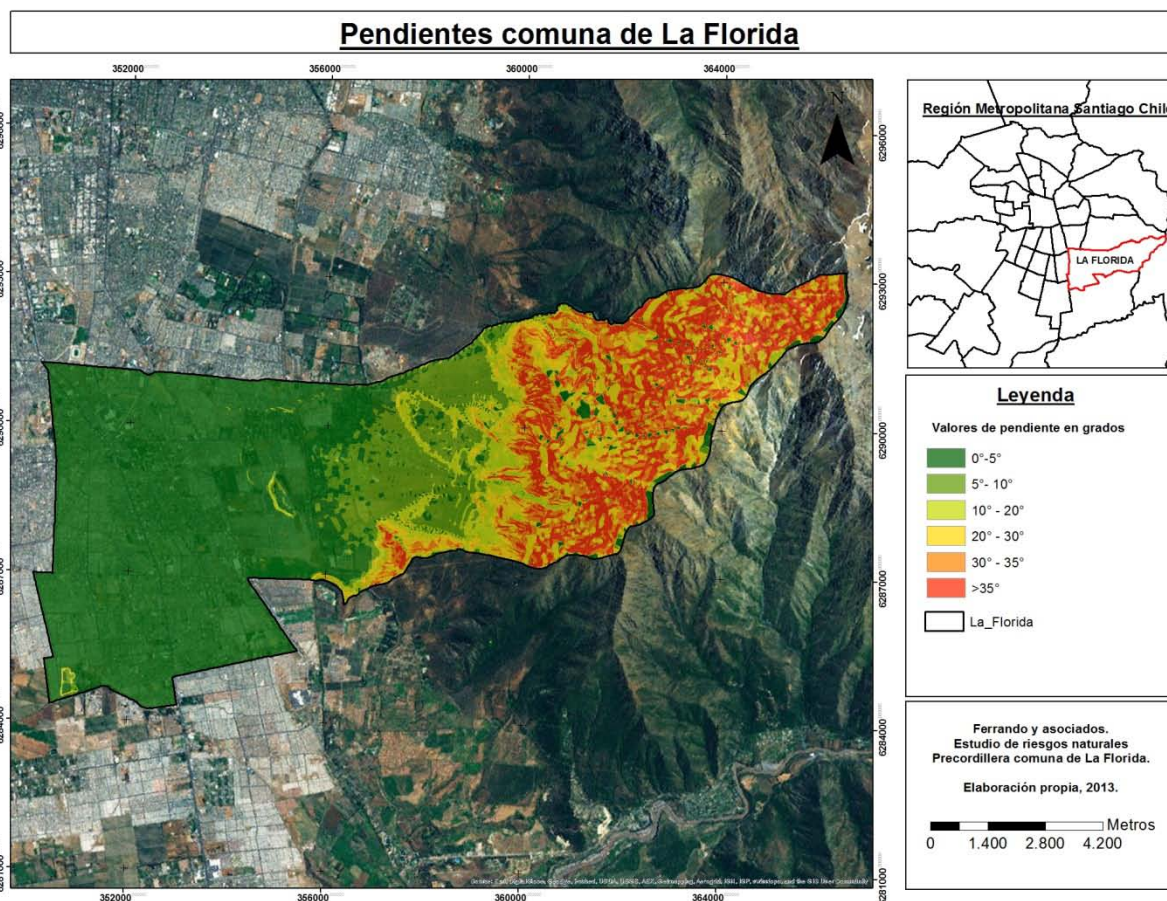


b)

Fotografías tomadas en campaña de terreno. La fotografía a) muestra escombros de faldas encontrados en la ladera norte de la Qda de Lo Cañas, mientras que la fotografía b) muestra suelo residual y afloramientos rocosos observados en la cabecera de la quebrada Tarapacá – Sta Rosa.

Esta salvedad es de suma importancia a la hora de realizar la evaluación del índice de susceptibilidad.

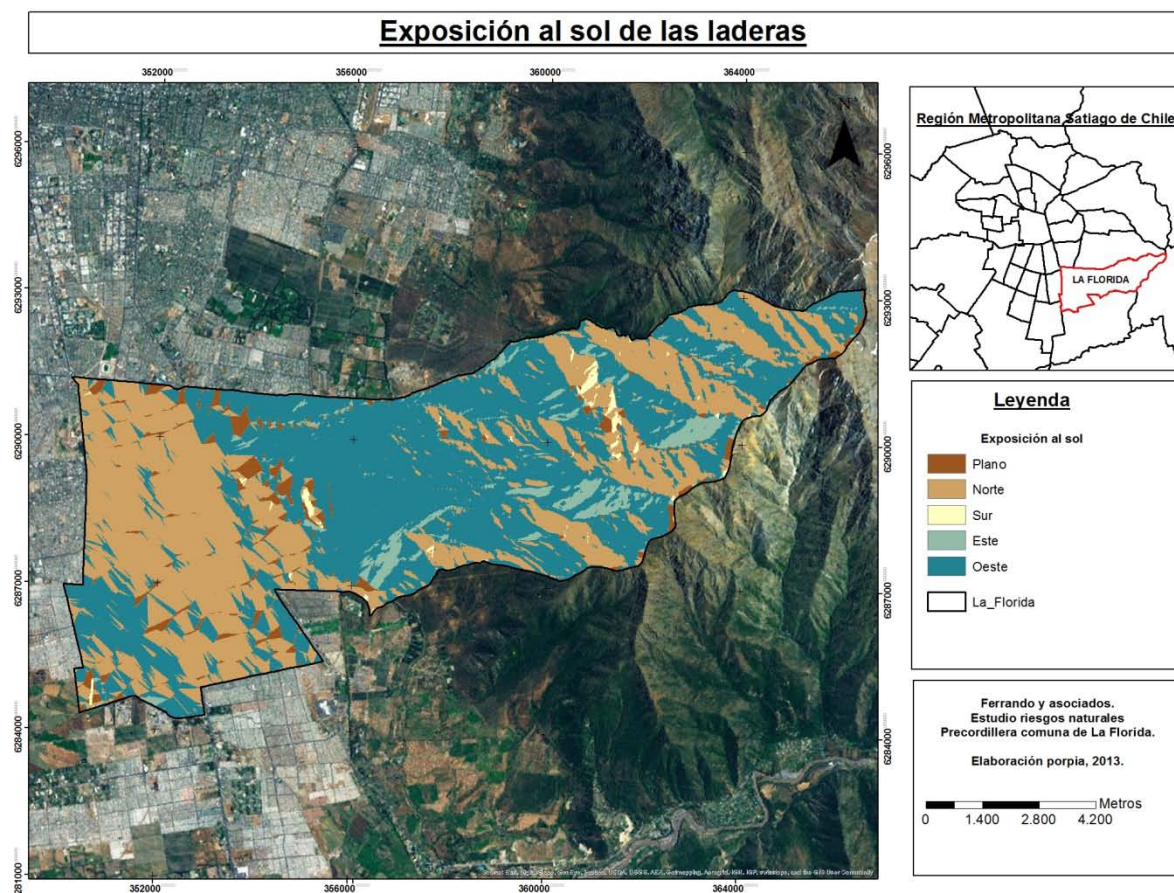
### B.2.2.- Segundo insumo: Cartografía de pendientes



Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de curvas de nivel del IGM.

Tanto la cartografía de pendientes como la de exposición fueron realizadas a partir de curvas de nivel del IGM, desde los 3000m a los 1500 de 50 m de intervalo y desde los 1500 en adelante con un intervalo de 5 m. Como se puede observar en la cartografía, las pendientes de la precordillera de la comuna de La Florida son bastante elevadas. En este sentido, este tipo de pendientes muy escarpadas, son aptas para generar procesos como desprendimientos de rocas y soliflucción, además de cárcavamientos y procesos de movimientos en masa, por lo cual, es de bastante relevancia a la hora del análisis de susceptibilidad.

### B.2. 3.- Tercer insumo: Cartografía exposición

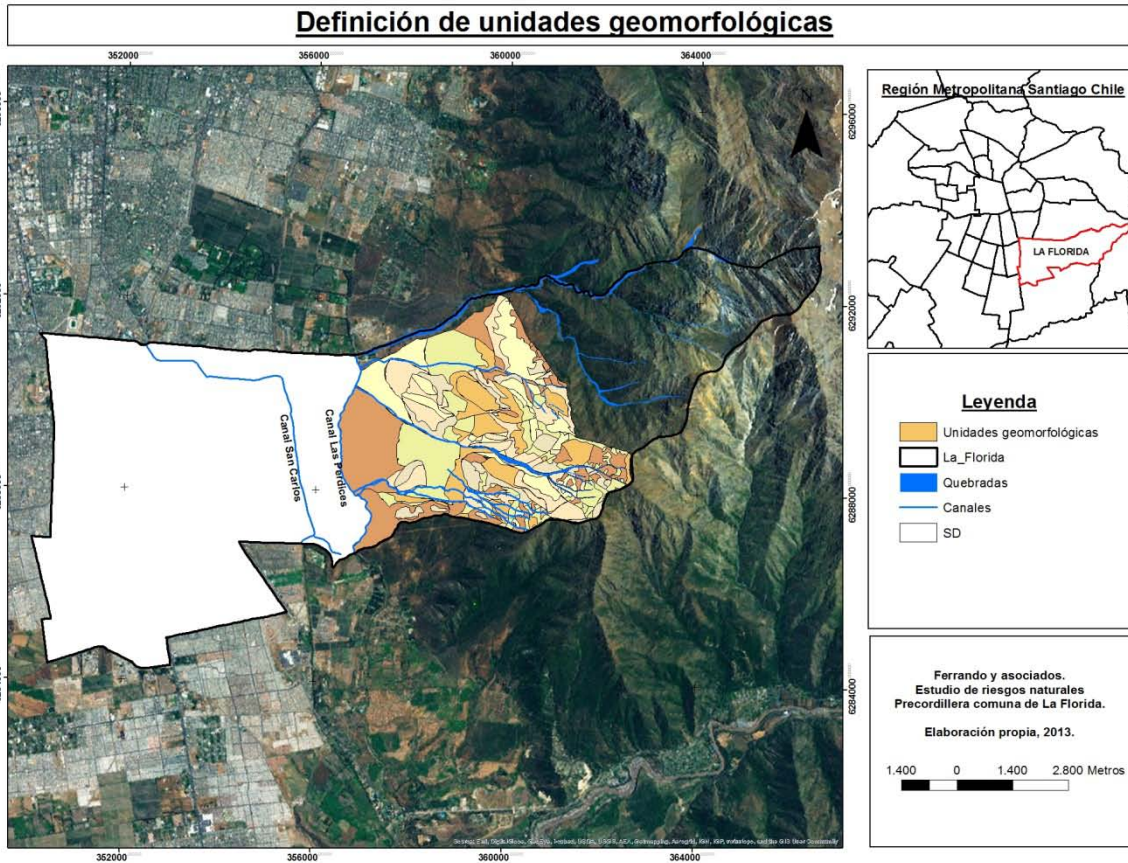


Fuente: Elaboración propia, 2013 a partir de curvas de nivel del IGM.

De la cartografía presentada se puede destacar el predominio de la exposición de las laderas hacia el Oeste, aunque la exposición norte también se impone con predominancia. Esto último es de relevancia para el estudio de la susceptibilidad, ya que la exposición norte representa un factor vital para la producción de detritos o materiales propensos a ser removidos, esto debido a que en las laderas se presentan baja vegetación y humedad del sustrato, entre otros factores.



Con estas cartografías de insumos, se dividió a la precordillera en 83 unidades geomorfológicas, las cuales están distribuidas entre las microcuencas de Lo Cañas, Tarapacá – Sta Rosa y Las perdices. Si bien el sistema de microcuencas de Macul no se encuentra en su totalidad en la precordillera de la comuna, se estima realizar el análisis debido a que los procesos que en ella se generan afectan al sector en estudio. Las unidades geomorfológicas y el índice de susceptibilidad de la quebrada de Macul son extraídos de fuente secundaria, utilizando el estudio de Martínez (2009).



Fuente: Elaboración propia, 2013. Cartografía unidades geomorfológicas microcuencas de Lo Cañas, Las Perdices y Tarapacá – Sta Rosa.

### **B.3.- Evaluación Índice de Susceptibilidad (IS)**

Obtenidas las unidades geomorfológicas, se procede a ponderar cada una de ellas de acuerdo a las matrices presentadas en el punto B.1. Evaluadas las unidades, se realizan cuatro cartografías de amenaza o susceptibilidad de los distintos movimientos en masa: flujos, deslizamientos de suelo, deslizamientos de roca y caída de rocas. Estas cartografías presentan el nivel de amenaza de acuerdo a factores condicionantes, por lo cual y en la siguiente etapa del estudio, deben ser ponderadas y evaluadas con los factores desencadenantes de movimientos en masa como lo son los sismos y las precipitaciones para obtener así la amenaza.

#### **B.3.1.- IS al Deslizamientos de Suelo**

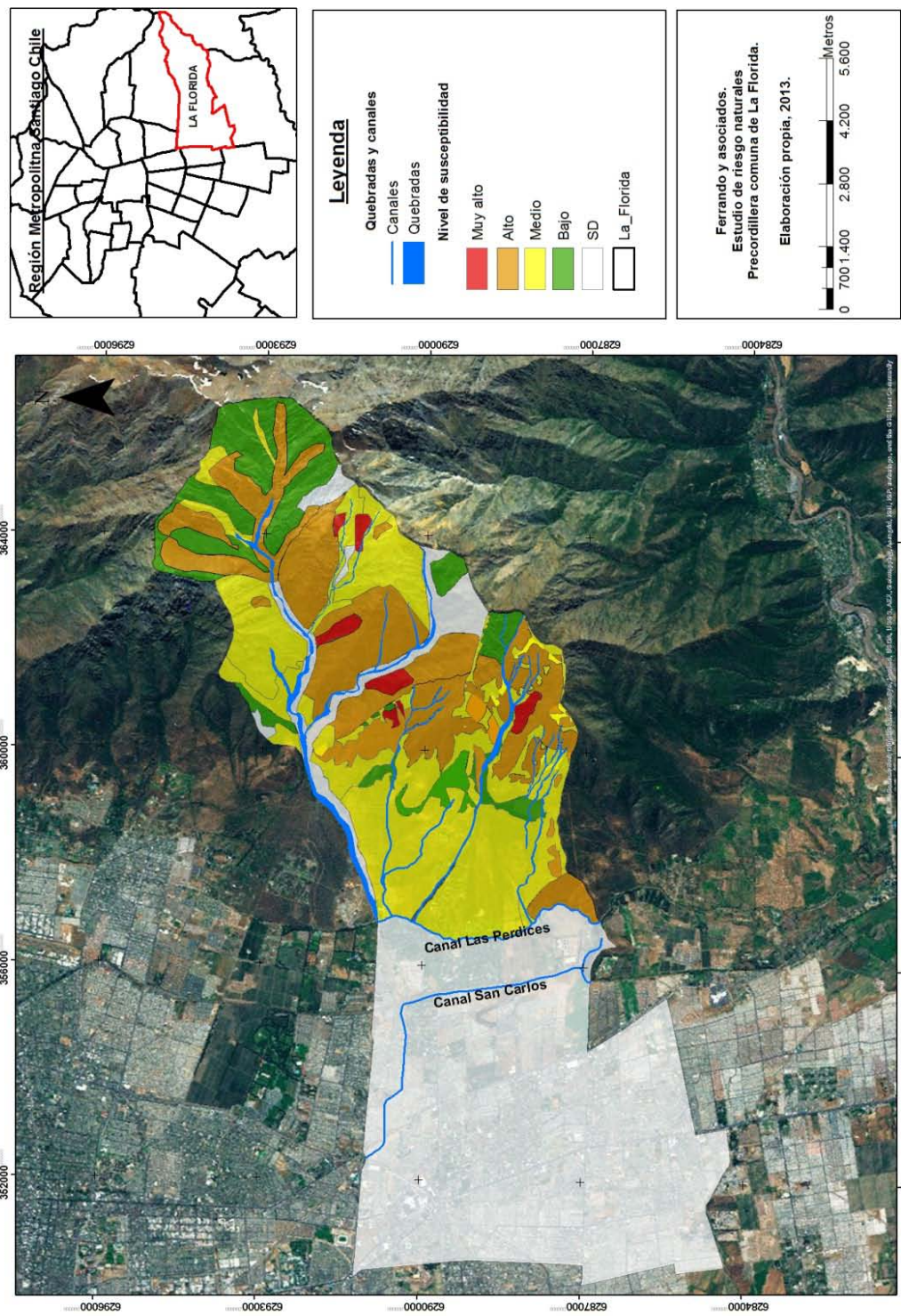
En las microcuencas de Tarapacá–Sta Rosa, Lo Cañas y Las Perdices, el nivel de susceptibilidad ante deslizamientos de suelos (regosoles y depósitos de laderas) en general es alto, lo cual se concentra principalmente en las laderas en zonas donde las pendientes van desde los 30° a mayores de 35°. Esto se debe a que el material de cubierta se encuentra, en su mayoría, configuradas por escombros de falda, depósitos que, según Hauser (2000) son susceptibles a ser removidos, ya que son materiales permeables, donde el agua se percola fácilmente superando su capacidad de infiltración, produciendo saturación rápida y facilitando el escurrimiento acelerado del agua en este material saturado (Hauser, 2000). En general, esto aplica a materiales sueltos, donde se incluyen también depósitos de deslizamientos antiguos y/o desprendimientos, así como laderas que presenten reptación lenta o solifluxión (Hauser, 2000). Esto último explica porque en el sector de abanicos aluviales, los niveles de susceptibilidad no son bajos como es de esperar debido a la baja pendiente, sino que son moderados debido a la presencia de depósitos de remociones en masa antiguos los cuales, como se explicó anteriormente, son materiales susceptibles a ser removidos.

Tanto en la ladera norte de la quebrada de Lo Cañas como en la ladera sur de la quebrada Las Perdices, se distinguen sectores de deslizamientos frecuentes de este tipo de materiales edáfico-detríticos. Se trata de laderas caracterizadas por una alta densidad de pequeños fenómenos de esta naturaleza.

Si bien los depósitos que se encuentran entre las pequeñas quebradas de la microcuenca de Tarapacá – Sta Rosa son diferentes a los que configuran las demás laderas, estos son igual de susceptibles a ser removidos, esto porque son acumulaciones detríticas sin sustento que se encuentran en continuo retrabajo y movilización por la lluvia y los sismos.

En cuanto a la microcuenca de la quebrada de Macul, y a diferencia de Martínez (2009), en donde se calificó los niveles de deslizamientos de las laderas asumiendo que estas eran solo superficies de roca del sustrato expuestas y estables, lo cual no se condice con la realidad, queda de manifiesto y según lo observado en terreno, que predomina un alto nivel de susceptibilidad ante deslizamientos de las cubiertas detríticas, y que en el sector de cabecera, donde predominan fenómenos periglaciales y gravitacionales, los fenómenos predominantes son otro tipo (desplome y desprendimientos desde los frentes rocosos).

**Índice de susceptibilidad deslizamiento de suelos**



mayores a 1m, por lo que escapan del análisis de este tipo de movimiento en masa.

Se excluye la cabecera norte de la quebrada de Lo Cañas, la que se caracteriza por presentarse constituida por roca en todo su frente (Formación Abanico), la cual se presenta con un alto

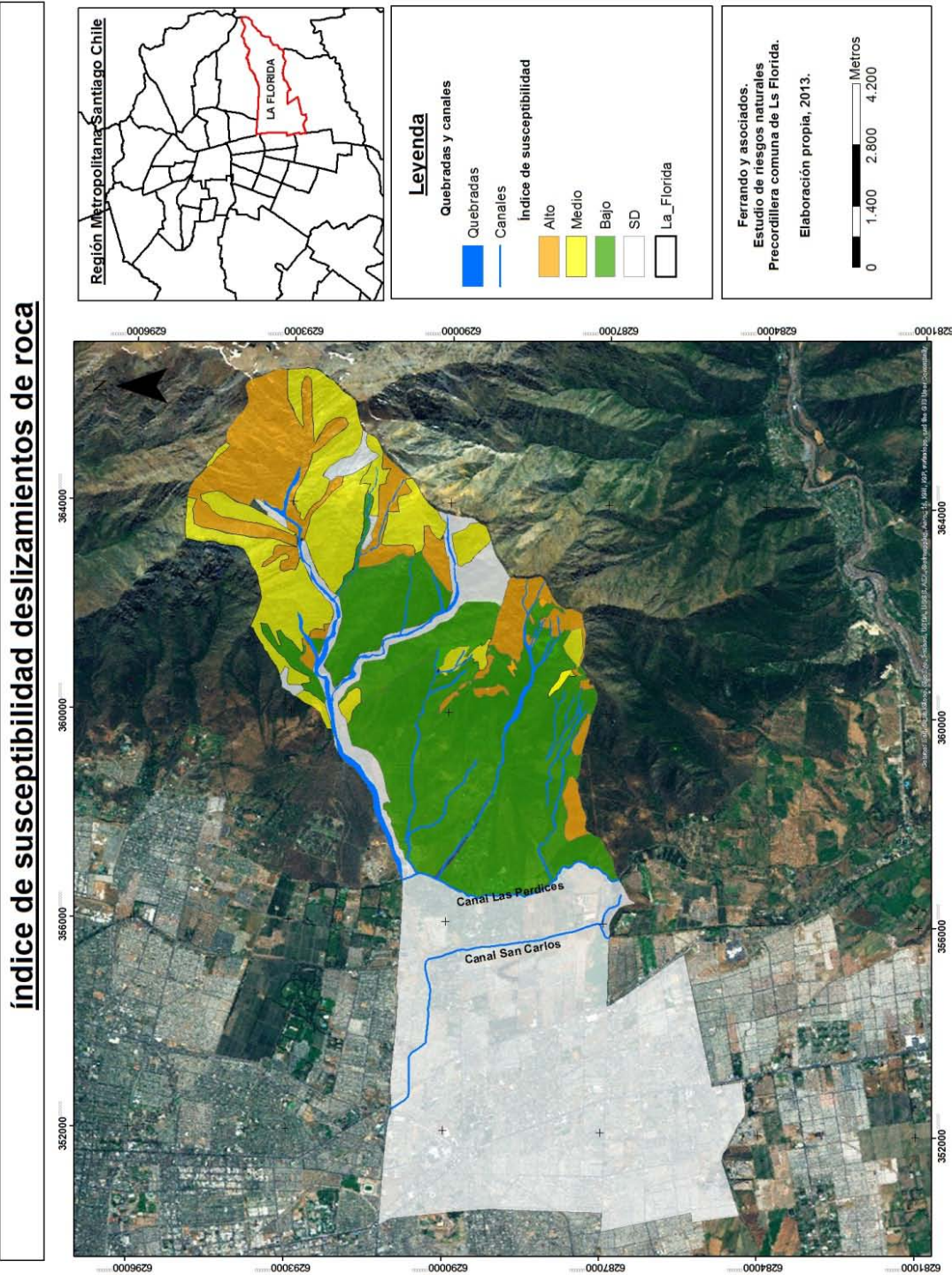
grado de fracturamiento interno (condición que deriva de ser un frente de falla local), a lo que se suma el efecto de los procesos morfoclimáticos estacionales predominantes en los sectores altos de la precordillera, como es el caso del crioclastismo y fusión de nieve. Lo anterior justifica que exista un nivel alto de desprendimiento de rocas en el sector mencionado.

Los sectores de la cabecera sur de la quebrada de lo cañas y la cabecera de la quebrada de Las Perdices presentan suelo residual con algunos afloramientos rocosos bastante fracturados, por lo que se justifica lo puntual de la zonificación en esta parte del área en estudio. Si bien en la cabecera de la quebrada Tarapacá – Sta Rosa se presentan los mismos depósitos, las pendientes, la exposición y las condiciones de humedad hacen que el nivel de susceptibilidad sea moderado y no alto.

El sector del cerro Santa Rosa también presenta un nivel alto de susceptibilidad ante deslizamientos de roca, esto debido a que en el sector superior del cerro se encuentran importantes afloramientos rocosos de la formación Abanico, los cuales generan material susceptibles a desprendimiento y rodadura de bloques rocosos. Junto con ello, se reconocieron bastantes rocas caídas o deslizadas desde la punta al cerro hasta el sector de los abanicos aluviales, lo cual confirma aún más los altos niveles de susceptibilidad.

Para la quebrada de Macul y de acuerdo a lo modificado de Martínez (2009), los niveles altos de susceptibilidad a desprendimientos de rocas y formación de corredores detríticos se concentran principalmente en la cabecera de la microcuenca, la que se encuentra modelada en roca fuertemente alterada, mientras que en las laderas de las quebradas del Durazno y el Ensueño, estos índices resultan bajos por la presencia de cubiertas edáficas (suelo) en la mayor parte de su superficie.

Fue  
área



### B.3

De:  
Lo

las microcuencas, donde este fenómeno es poco frecuente. En la cabecera sur de la mencionada quebrada, se encuentran dos sectores en donde la susceptibilidad se califica como muy alta debido a los tipos de depósitos que allí se encuentran (escombros de falda y depósitos coluviales) y a lo reciente de los mismos, a lo que contribuyen la pendiente y la saturación del material, los que son factores con ponderaciones bastante elevadas en el modelo utilizado.

El sector de la cabecera norte de la quebrada de Lo Cañas presenta bajo niveles de susceptibilidad de generar flujos de detritos, esto debido a que se encuentra constituida en su totalidad por un frente de roca desprendente. Lo mismo ocurre con los faldeos del cerro Santa Rosa, los que, si bien no se encuentran constituidos por roca en su totalidad, poseen cubiertas de materiales coherentes que lo hacen ser menos susceptibles ante este tipo de movimiento en masa.

En las hoyas hidrográficas de las quebradas de Tarapacá – Sta Rosa y Las Perdices los niveles de susceptibilidad ante mencionado movimiento en masa son, en su totalidad, moderados, sin embargo, en los sectores cercanos a las cabeceras se presentan algunas unidades con niveles altos de susceptibilidad, esto debido a la pendiente de los cauces locales.

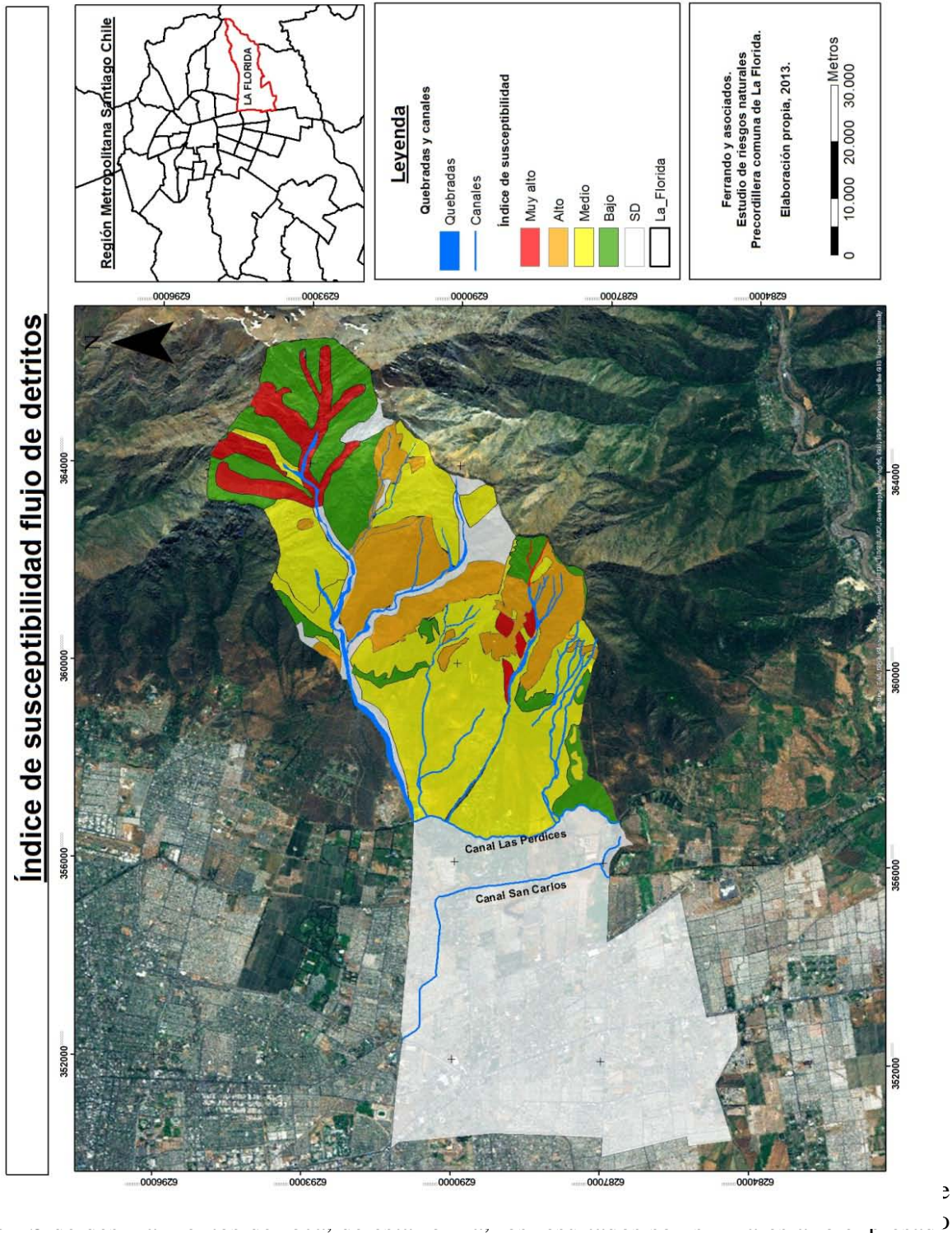
El canal principal de la quebrada de Lo Cañas presenta, desde su sección superior hasta donde termina el encajonamiento del sistema un nivel muy alto de susceptibilidad ante flujo de detritos, lo que representa una amenaza alta, esto debido a que el canal principal de quebrada está repleto de depósitos torrenciales y aluvionales sin matriz ni vegetación que lo sustente.

Cabe señalar que los depósitos que configuran la mayoría de las laderas de la precordillera de la comuna son permeables, lo que facilita la movilización de las cubiertas detrítico-sedimentarias ante la ocurrencia de factores desencadenantes como lluvias persistentes y eventos sísmicos.

Se define un sector Q2, el cual hace referencia a los cauces de las quebradas de Tarapacá – Santa Rosa y Las perdices. En las secciones superiores de estos, las marcas de la escorrentía en el lecho muestran índices moderados de torrencialidad, los que en las partes bajas se reducen definiéndose bajos índices de susceptibilidad locales a generar flujos detríticos, lo cual queda demostrado por el desarrollo vegetacional intracauce.

Al igual que en la Quebrada de Lo Cañas, la Quebrada de Macul presenta índices muy altos de susceptibilidad ante flujos de detritos en la sección superior del cauce principal, mientras que en los cauces de las quebradas El Durazno y El Ensueño, las condiciones morfológico-topográficas y la granulometría y estado de los sedimentos indica alta amenaza a este tipo de movimientos en masa. Los índices bajos se concentran en la cabecera, la cual se encuentra labrada en su totalidad por roca de la formación Abanico.

Fi



B

E

C

en el punto 3.2.

El nivel muy alto de susceptibilidad ante caída de rocas se concentra, principalmente, en la cabecera norte de la quebrada de Lo Cañas y en el cordón del cerro Santa Rosa, lo cual se

debe, tal como se explicó en el IS de deslizamiento de roca, por la configuración de la cabecera (roca formación Abanico) y del sector superior del cerro (afloramientos rocosos fracturados), a esto se le suma a la presencia de caída de rocas en los faldeos de dicho cerro.

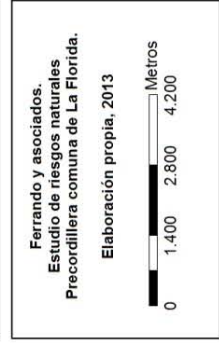
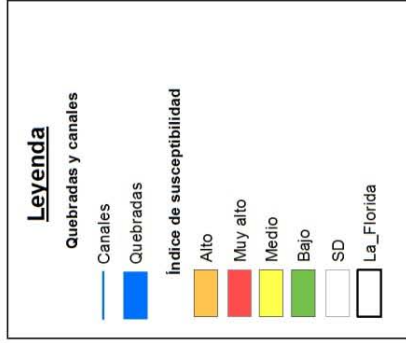
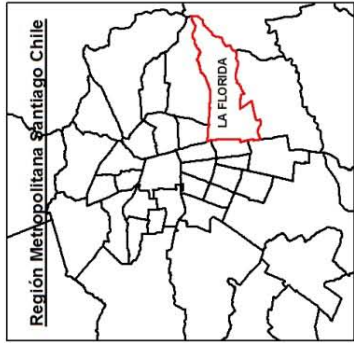
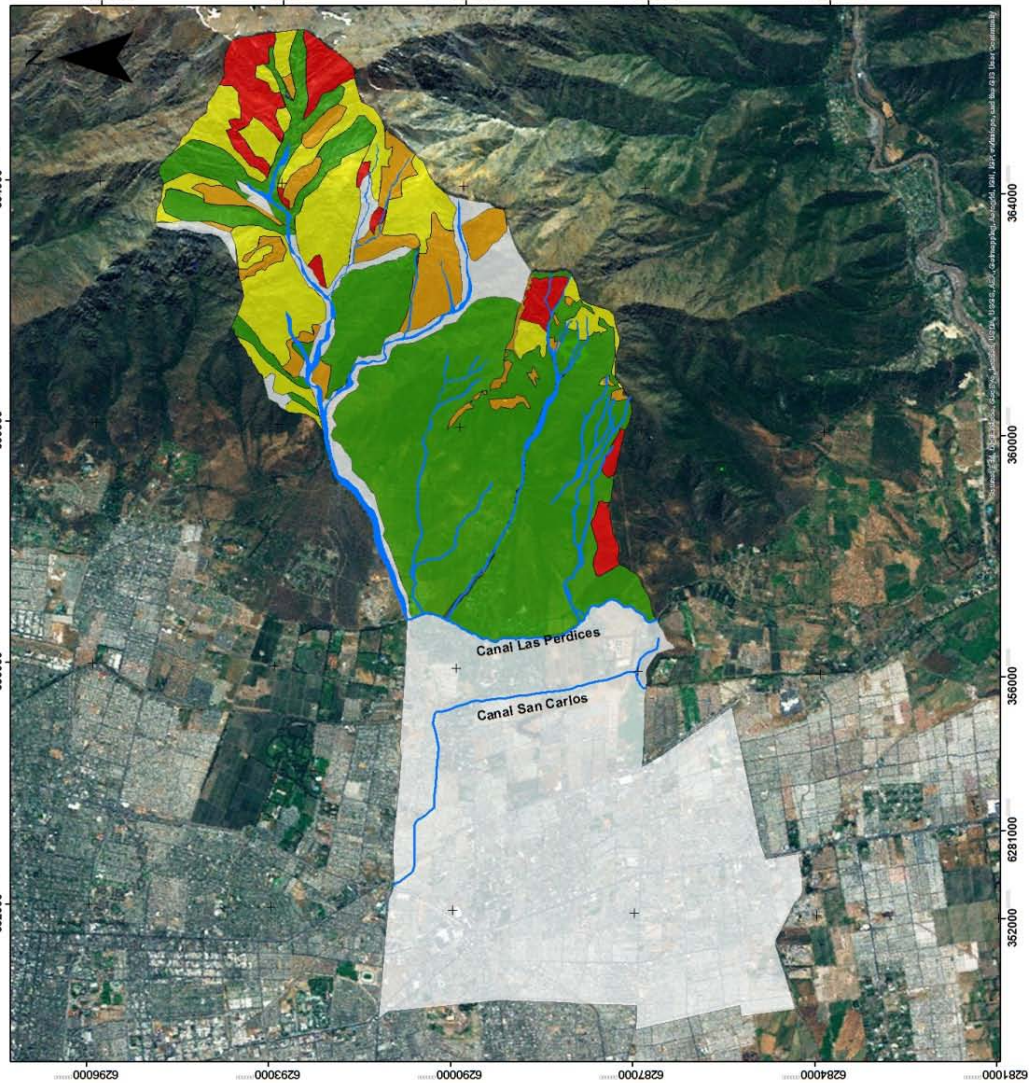
El nivel moderado de susceptibilidad se ubica casi en su totalidad en el sector de la cabecera de la quebrada Tarapacá – Santa Rosa, esto debido a la presencia de una menor rocosidad (menor número de afloramientos rocosos por unidad de superficie), hecho que sumado a las pendientes moderadas da como resultado el mencionado nivel de susceptibilidad.

El nivel bajo se distribuye por todo el piedmont de la comuna, en conjunto con las laderas de la sección media y baja de los tres hidrosistemas, mientras que el nivel alto de susceptibilidad predomina principalmente en la ladera sur de la quebrada de Lo Cañas.

En cuanto a la quebrada de Macul, esta posee similar distribución de los niveles de susceptibilidad que la quebrada de Lo Cañas, en donde en la cabecera se encuentran niveles muy altos de amenaza ante el mencionado movimiento en masa, mientras que en las laderas más abajo los niveles son bajos. Cabe destacar el porcentaje de área con nivel medio de susceptibilidad, el que resulta de la existencia de una presencia moderada de afloramientos rocosos en relación con el porcentaje de suelo en su configuración superficial respecto de las demás quebradas en estudio.



**Índice de susceptibilidad caída de rocas**



anteriormente, sin embargo, en los sectores que se presentan, lo hacen de manera puntual y con índices bastante elevados, como lo son las cabeceras de las quebradas de Macul y Lo Cañas y el sector del cerro Santa Rosa.

En cuanto al sector del piedmont, si bien este posee pendientes bastante menores que las laderas de las quebradas, está expuesto por una parte a recibir los movimientos en masa generados en las secciones superiores de las quebradas y, por otra, a desarrollar deslizamientos de suelo y flujo de detritos de génesis local, lo que se califica como nivel moderado de susceptibilidad. Esto último se debe principalmente a que los depósitos aluviales y de remociones en masa antiguas, son bastante susceptibles a ser re-trabajados y re-movilizados.

### **Bibliografía**

FERRANDO, 2008. “Amenazas naturales en el sector oriente de la región metropolitana de Santiago de Chile: Los movimientos en masa”. Tesis para optar al grado de doctor en Geografía. 349 pág.

HAUSER, 2000. “Remociones en masa en Chile”. Boletín informativo Sernageomin, versión actualizada. 82 pág.

LARA, 2007. “Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en la quebrada de San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana”. Tesis para optar al grado de magister en ciencias, mención geología. 229 pág.

MARTINEZ, 2009. “Susceptibilidad de remoción en masa en la quebrada de Macul, región metropolitana”. Memoria de título para optar al grado de geólogo. 124 pág.

NARANJO Y VARELA, 1996. “Flujo de detritos y barro que afectaron al sector oriente de Santiago el 3 de Mayo de 1993”. Boletín informativo Sernageomin. 42 pág.



**Niveles de Amenaza**  
**Hídrico-Meteorológicos**

## **C.- DETERMINACIÓN NIVEL DE AMENAZA HIDRICO-METEOROLÓGICA**

Las amenazas de origen hidrico-meteorológico dicen relación directa con la respuesta más probable de los sistemas hidroespaciales, en este caso tres sistemas de drenaje con carácter de microcuencas, ante las manifestaciones meteorológicas, especialmente las pluviométricas, según sean los montos previsibles que las precipitaciones pueden alcanzar y su recurrencia.

Las microcuencas que comprometen con su funcionamiento al territorio comunal corresponden, en un sentido N-S, a la Quebrada de Macul, la Quebrada de Lo Cañas, y la Quebrada Tarapacá-Sta. Rosa. En el caso de la primera, si bien el límite intercomunal con Peñalolén va por el eje o cauce principal de ella, se la considera como un todo en un sentido sistémico.

La naturaleza de la amenaza hidrico-meteorológica asociada a estas microcuencas apunta a la posibilidad de generación de procesos tales como crecidas y desbordes, con las consiguientes inundaciones, y a procesos de movimientos en masa tales como flujos de lodo, flujos detríticos (aluviones) y deslizamientos de laderas, últimos que pueden comprometer la movilidad de grandes bloques rocosos.

Consecuentemente, para la determinación de este tipo de amenaza, donde la conducta hidrológica que presentan las microcuencas constituye la variable dependiente, y los eventos climáticos la variable independiente, se consideran y analizan diferentes aspectos hidromorfométricos y escenarios de precipitación, los que luego son clasificados según el nivel de amenaza que representan. Posteriormente, estos niveles de amenaza específicos son integrados en una matriz de doble entrada para determinar la amenaza resultante de esta interacción. Se desarrollaron tres matrices, una por cada microcuenca.

Debe tenerse presente que en estas microcuencas no existen estaciones de aforo y, por lo tanto, tampoco datos de caudales medidos directamente. En el mismo sentido, tampoco existen al interior de cada una estaciones meteorológicas, por lo que se utilizan los datos de las más cercanas o de aquellas ubicadas en igual contexto hidromorfológico.

A continuación se indican las variables consideradas tanto desde el punto de vista hidromorfométrico como desde el punto de vista hidrometeorológico, y los niveles de amenaza asignados según cada una de ellas.

### **C.I.-Variables de contexto hidromorfométrico y nivel de amenaza**

Las variables hidromorfométricas consideradas claves para determinar el nivel de amenaza de esta componente corresponden a:

#### **- Área de la Sección Superior**

La sección superior de la microcuenca corresponde al área de intercepción-producción del drenaje. Existe una relación directa entre el tamaño de esta sección y las características,

volumen y tipo de respuesta hidrológica ante eventos pluviométricos extremos. Estas superficies corresponden a:

Nombre de la Microcuenca	Área de la sección superior
Macul	23,30 km <sup>2</sup>
Lo Cañas	5,09 km <sup>2</sup>
Tarapacá-Sta. Rosa	3,86 km <sup>2</sup>

De acuerdo a estas cifras y al criterio establecido, se cualifican los niveles de amenaza hidrológica de cada microcuenca:

1. Qbrada de Macul: Amenaza alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza media
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Amenaza media

#### - Área sobre la altura media de la isoterma de 0°C

Los sectores generadores de detritos y alimentadores de los movimientos en masa se ubican principalmente por sobre los 1750msnm, altura media de la isoterma 0°C, dado que estos se encuentran sometidos a procesos de fragmentación de la rocas expuestas (sobre el límite vegetacional) por situarse en el dominio estacional de los mecanismos periglaciales (crioclastismo) y gravitacionales (desprendimientos, desplomes) y coluviales.

Nombre de la Microcuenca	Superficie sobre la Isoterma 0° C
Macul	66,01% (15.4 km <sup>2</sup> )
Lo Cañas	39,69% (2,02 km <sup>2</sup> )
Tarapacá-Sta. Rosa	4,15% (0,16 km <sup>2</sup> )

De acuerdo con lo señalado, y considerando las superficies comprometidas, el nivel de amenaza que se asigna es el siguiente:

1. Qbrada de Macul: Amenaza muy alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza alta
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Sin efecto perceptible

#### - Altura media de la LNE de invierno

La altitud inferior que frecuentemente suelen alcanzar las precipitaciones sólidas (Línea de nieves estacional – LNE) en el período invernal incrementa la posibilidad de la sumatoria con eventos pluviométricos favoreciendo la ocurrencia de avenidas y flujos detríticos. Esta situación de precipitación líquida sobre áreas de laderas previamente nevadas llevó al tristemente célebre aluvión de mayo de 1993.

Las superficies comprometidas por sobre y bajo dicha línea son las siguientes:

Nombre de la Microcuenca	Superficie bajo la LNE de Invierno		Superficie sobre la LNE de Invierno	
	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>
<b>Macul</b>	25,42	5,93	74,58	17,4
<b>Lo Cañas</b>	52,46	2,67	47,54	2,42
<b>Tarapacá-Sta. Rosa</b>	93,26	3,60	6,74	0,26

Dados los efectos indicados, ello se interpreta según los siguientes niveles de amenaza:

1. Qbrada de Macul: Amenaza muy alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza alta
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Amenaza baja

#### - Gradiente media de la sección superior del cauce principal

La gradiente (o valor de la pendiente) de la sección superior del cauce implica una energía cinética que potencia la pérdida de equilibrio de los regolitos y la movilidad de los flujos concentrados. Las microcuencas analizadas presentan los siguientes grados de inclinación de la sección superior de sus respectivos cauces principales:

Nombre de la Microcuenca	Gradiente Sección Sup Cauce Principal
<b>Macul</b>	<b>27,33°</b>
<b>Tarapacá- Sta. Rosa</b>	<b>33,34°</b>
<b>Lo Cañas</b>	<b>32,79°</b>

Considerando que la pendiente de equilibrio de los taludes es de 30°, así como los umbrales de procesos morfodinámicos, ello se traduce en los siguientes niveles de amenaza:

1. Qbda. de Macul: Amenaza alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza muy alta
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Amenaza muy alta

#### - Gradiente media de las laderas de la sección superior

El valor de la inclinación de las laderas se relaciona directamente con los umbrales de pérdida de equilibrio de las cubiertas detríticas y su movilidad hacia los cauces. La gradiente de las laderas de dicha sección para cada una de las quebradas es la siguiente:

Nombre de las	Sección Producción Superior
---------------	-----------------------------



Microcuencas	Grad (°)	Grad (%)
Macul	29,86	66,36
Lo Cañas	32,09	71,31
Tarapacá-Sta. Rosa	31,20	69,34

Dichas gradientes en términos de efectos hidrodinámicos vienen a representar los siguientes niveles de amenaza:

1. Qbrada de Macul: Amenaza alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza alta
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Amenaza alta

#### - Compacidad de la sección de producción de las microcuencas

Se dimensiona la forma de la zona de producción en su relación con la magnitud del peak hidrológico frente a un evento de precipitación o de fusión nival. La aplicación de dicho índice entrega los siguientes resultados, los que se expresan en la rapidez del escurrimiento que se indica:

Nombre de la Microcuenca	Índice de Compacidad (Gravelius)	Limites de los rangos	Rapidez Escurrimiento potencial
Macul	1,29	1,26-1,50	Acelerado
Lo Cañas	1,38		
Tarapacá-Sta. Rosa	1,60	1,51-1,75	Moderado

Ello se traduce en los niveles de competencia de los flujos hídricos, lo cual implica la velocidad de concentración y respuesta de los escurrimientos, así como el grado de capacidad de transporte de sedimentos, mecanismos que se cualifican con los siguientes niveles de amenaza para cada microcuenca:

1. Qbrada de Macul: Amenaza alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza alta
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Amenaza media

#### - Jerarquía de la red de drenaje

El grado de desarrollo de la red de drenaje (cauces) influye directamente en la velocidad de organización de las aguas lluvias en escurrimientos concentrados. Ello influye directamente en el tiempo de respuesta de la escorrentía directa y en las características de la curva de concentración en el hidrograma, lo que aumenta la capacidad erosiva (CE) y de transporte (T).

La jerarquía de la red de drenaje de cada microcuenca y su competencia (CE y T) se indican en el siguiente cuadro:

Nombre de la Microcuenca	Jerarquía	Met. Breaks	CE y T
Macul	72	> de 50	Muy Alta
Lo Cañas	16	10 a 20	Media
Tarapacá-Sta. Rosa	10		

De acuerdo a estos valores y su significancia hidrodinámica, se asignan los siguientes grados de amenaza potencial a cada microcuenca:

1. Qbrada de Macul: Amenaza muy alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza media
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Amenaza media

#### - Índice de torrencialidad

Resultante de la relación entre la ramificación de la red de cauces y el largo acumulado de los mismos, este índice viene a determinar la torrencialidad o momentum de la respuesta hidrológica, lo cual tiene directa relación con la energía erosiva que desarrollan las corrientes hídricas ante eventos de alimentación, especialmente aquellos sobre los niveles medios.

El valor que alcanza este índice para cada una de las microcuencas es el siguiente:

Nombre de la Microcuenca	Torrencialidad
Macul	159,20
Lo Cañas	38,02
Tarapacá-Sta. Rosa	26,80

Consecuentemente, a cada microcuenca se le asignan los siguientes niveles de amenaza por este concepto:

1. Qbda. de Macul: Amenaza muy alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza alta
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Amenaza media

#### - Energía del Relieve: Criterio integrador

La energía erosiva o **energía del relieve** se determina en función de la integración progresiva de las variables consideradas según aúnen sus efectos.

Todas las variables e índices considerados apuntan a determinar diferenciadamente cual es el nivel de respuesta hidrológica potencial que cada uno de los sistemas hidroespaciales puede desarrollar frente a la ocurrencia de eventos de alimentación simples o mixtos.

La integración se efectúa en base a la condición de amenaza predominante resultante de la aplicación cualitativa de cada variable considerada. Este procedimiento, el cual permite aunar los niveles de amenaza hidrodinámica y resolver situaciones intermedias mediante el criterio experto, arroja los resultados que se indican en la tabla siguiente.

Nombre de la Microcuenca	Nivel de Amenaza por .....								Energía del Relieve
	Área Sección Superior	Sup. s a 0°C	Áreas LNE Inv.	Grad. cauce	Grad. laderas	Ic (Rapid .)	Jerarquía	It	
Macul	A	MA	MA	A	A	A	MA	MA	Alta a Muy Alta
Lo Cañas	M	A	A	MA	A	A	M	A	Alta
Tarapacá-Sta. Rosa	M	SEP	B	MA	A	M	M	M	Media

En consecuencia, los niveles de amenaza por concepto de las respuestas hidrológicas en términos de la energía que la escorrentía superficial puede desarrollar, y los efectos que esta puede tener en cuanto a crecidas, desbordes, desarrollo de flujos de lodo o detríticos, y su avance hacia los sectores pedemontanos de la Comuna, se califica con los siguientes niveles de amenaza potencial para cada microcuenca:

1. Qbrada de Macul: Amenaza Alta a muy alta
2. Qbda. de Lo Cañas: Amenaza alta
3. Qbda. Tarapacá-Sta Rosa: Amenaza Media

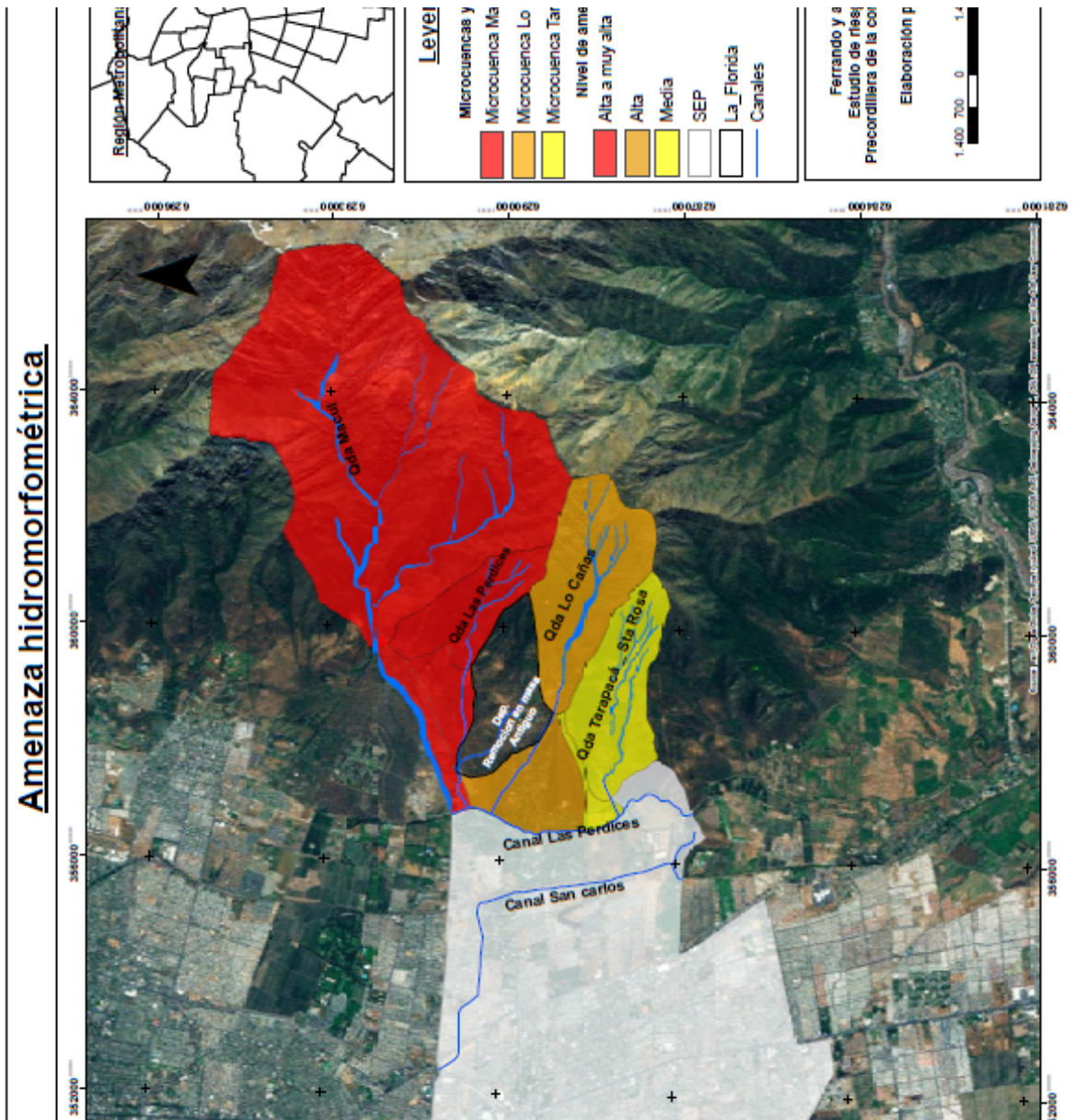
### C.I.a.- Cartografía del nivel de amenaza de la Energía de la Escorrentía Superficial (expresada mediante la Energía del Relieve)

Para el proceso cartográfico, una vez delimitadas las áreas de producción y las de sedimentación de cada microcuenca considerada (la zona de transferencia carece de expresión espacial en estos casos), se procede a diferenciar dichos niveles de amenaza según se trate de la zona de generación de la amenaza o de la zona de recepción de esta, entendida esta última como el área expuesta al impacto de dicha amenaza.

En este sentido, se considera que si el nivel de amenaza es muy alto, alto o medio, en la zona de producción, dicho nivel se mantendrá en la zona de sedimentación, la que en este estudio corresponde a la sección proximal (media superior) de cada cono.

Este nivel de amenaza, considerando los mecanismos de avulsión que llevan a la construcción de los conos de deyección, se establece para la totalidad de la superficie de la sección proximal del cono torrencial de cada quebrada.

Si las características de permeabilidad y cobertura vegetal de la sección proximal se mantiene o mejora, es evidente que el grado de absorción del impacto de flujos de barro o detríticos, así como de aguas de desborde por avenidas, será suficientemente efectivo como para pensar que hacia la sección distal de los conos, el efecto de la amenaza, ahora visto como riesgo para el área urbanizada, se minimiza. Ello enfatiza el rol de buffer mitigador-amortiguador de esta sección de los conos torrenciales de las tres microcuencas.



## **C.II.- Variables del contexto meteorológico y nivel de amenaza**

Las variables meteorológicas son factores desencadenantes (detonantes o gatillantes) de las amenazas de inundación y los procesos de remoción en masa, por lo que su inclusión en un estudio de riesgos es fundamental, pues aportan umbrales que dan origen a niveles de amenazas, y además, un horizonte de tiempo de recurrencia.

En particular, la precordillera de La Florida presenta características similares a las comunas localizadas en el Piedmont de Santiago, pero con algunos matices propios de las características morfométricas de las cuencas en cuestión.

En este sentido, y dado que la amenaza meteorológica se define como la probabilidad de ocurrencia de un evento extremo, el criterio pluviométrico se basó en el cálculo de máximas en 1, 2 o 3 días, mediante la determinación de períodos de retorno (y recurrencia). Ello es información muy relevante para estimar caudales y niveles de amenaza. Es por ello que la calidad de la información histórica de los registros de precipitación debe ser lo más confiable y extensa posible.

El concepto de período de retorno (o recurrencia), es definido como el tiempo promedio, en años, en que el valor (umbral) de un evento pluviométrico es alcanzado o superado por lo menos una vez. Y el inverso del período de retorno se entiende como una medida de la probabilidad en que se presenta el fenómeno en este lapso de tiempo. Distintos períodos de retorno determinan caudales máximos, los cuales fueron aportados en el informe de avance anterior.

Así, la frecuencia en que ocurra una inundación o un movimiento en masa, dependerá entre otras cosas, de la recurrencia de precipitaciones extremas y de los caudales excepcionales generados por ellas, siendo las categorías y los criterios, los que se muestran en la siguiente tabla (Tabla C.II.1).

*Tabla C.II.1: Frecuencia, períodos de retorno e intensidad y nivel de amenaza a precipitaciones y caudales máximos*

<b>Frecuencia</b>	<b>Período de retorno en años (T)</b>	<b>Intensidad y nivel de Amenaza</b>
<b>Muy alta</b>	<b><math>T \leq 10</math> años</b>	<b>Baja</b>
<b>Alta</b>	<b><math>10 &lt; T \leq 20</math> años</b>	<b>Media</b>
<b>Media</b>	<b><math>20 &lt; T \leq 30</math> años</b>	<b>Alta</b>
<b>Baja</b>	<b><math>50 &lt; T \leq 100</math> años</b>	<b>Muy alta</b>

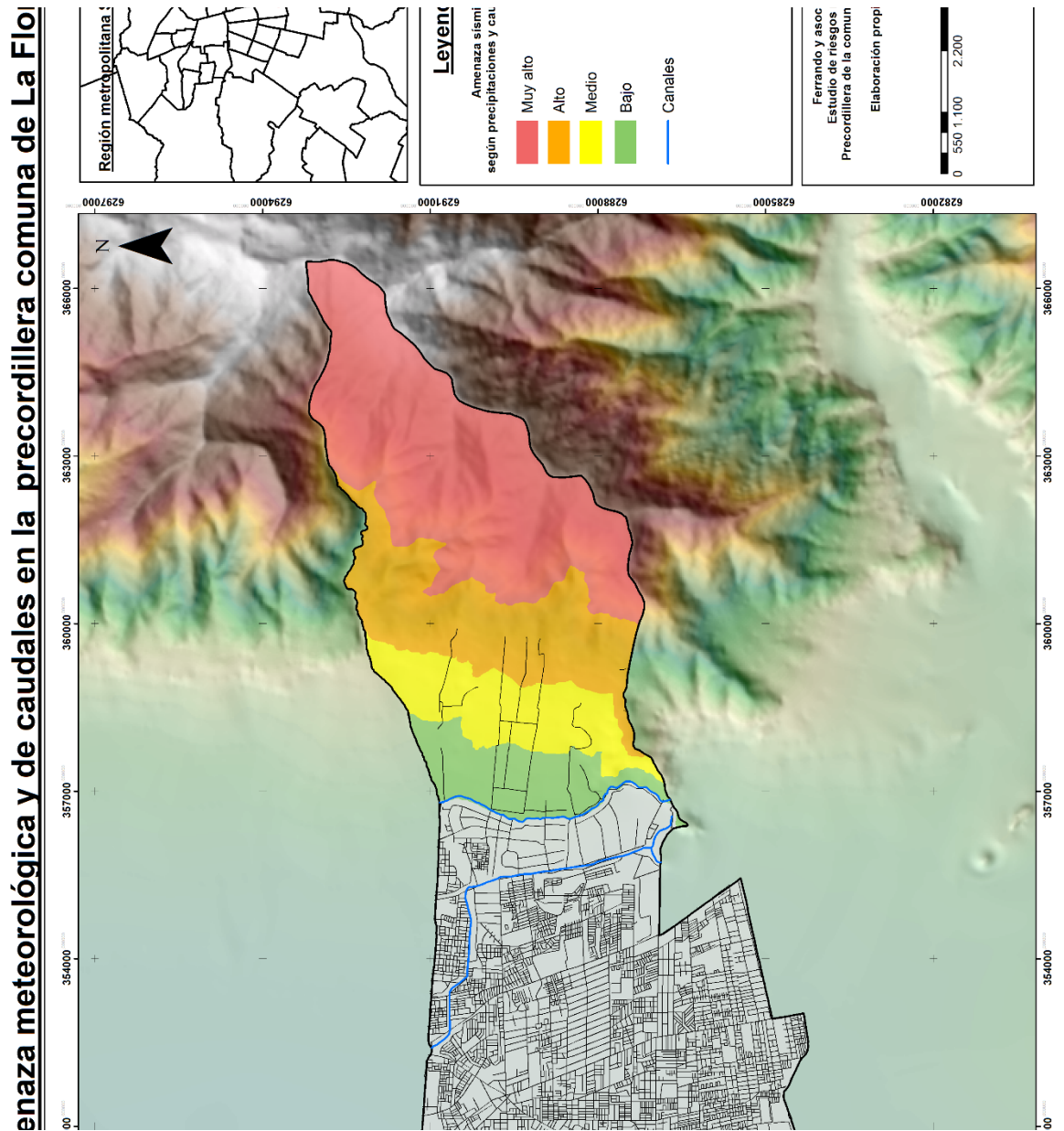
Cabe destacar que no se consideran períodos de retorno mayores a 100 años, lo cual se debe a que las series de datos de precipitación diaria, no son lo suficientemente extensas para extrapolar a períodos de retorno mayores. Dicho lo anterior, se considera una muy alta frecuencia como la menor o igual a 10 años, de 10 a 20 años una alta frecuencia, una moderada frecuencia entre 20 y 30 años, y sobre 50 años, tenemos una baja frecuencia de precipitación extrema y caudales.

No obstante, entre menos frecuente sea un evento pluviométrico su intensidad será mayor, o bien, su capacidad de causar daño (tabla C.II.1), por lo que los niveles de amenaza son referenciados a la intensidad, y no a la frecuencia.

En consecuencia, se establecen las siguientes categorías de amenaza y la información que las determina:

- **Nivel de amenaza baja:** Con precipitaciones en 24 horas entre 82 y 88 mm (para períodos de retorno de 10 años, las cuales alcanzan la cota 847 m.s.n.m. Los caudales derivados de estos eventos corresponden a 28 y 33 m<sup>3</sup>/s.
- **Nivel de amenaza media:** Cuando las precipitaciones máximas en 24 horas y para un período de retorno de 20 años están entre 102 y 110 mm, lo cual ocurre entre los 847 y 1000 m.s.n.m. Los caudales máximos esperados se alzarían entre 33 y 40 m<sup>3</sup>/s.
- **Nivel de amenaza alta:** Para períodos de retorno de 30 años, es de esperar precipitaciones máximas en 24 horas de hasta 150 mm a una altitud de 1500 m.s.n.m. Por otra parte, los caudales estimados pueden llegar a unos 43 m<sup>3</sup>/s.
- **Nivel de amenaza muy alta:** Precipitaciones centenarias, las cuales alcanzan sobre 180 mm a una altura superior a 1500 m.s.n.m. Los caudales máximos pueden llegar a superar los 50 m<sup>3</sup>/s.

La cartografía muestra desde el canal Las Perdices hasta la divisoria topográfica de las microcuencas, los cuatro niveles de amenaza, los que indican que un 11% de la superficie está sometida a nivel de amenaza bajo, un 13% a nivel medio, un 34% a nivel alto y un 42% a niveles muy altos de amenaza. En definitiva, es un área en que los factores desencadenantes muestran por sobre un 75%, altos niveles de amenaza a caudales excepcionales y precipitaciones extremas.



## Bibliografía

Cortes G., S. Schaller, M. Rojas, L. García, A. Descalzi, L. Vargas, J. McPhee. 2012. Assessment of the current climate and expected climate changes in the Metropolitan Region of Santiago de Chile. UFZ-Report 03/2012. ISSN 0948-9452.

Ferrando, F. 2007. Santiago de Chile: Discusión de la Relación Genética entre Clima y Movimientos en Masa Preandinos. En: 11° Encuentro de Geógrafos de América Latina – EGAL, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. 15 pp



Ferrando, F. 2008. Amenazas Naturales en el Sector Oriente de la Región Metropolitana de Santiago de Chile: Los Movimientos en Masa. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, España. 366 págs.

Garrido Urzúa, N. 2012. Determinación de peligro de flujos de detritos en la Quebrada Macul, cuenca de Santiago. Memoria para optar al Título Profesional de Geólogo. Departamento de Geología. Universidad de Chile

Garreaud, R., 1992. Impacto de la variabilidad de la línea de nieves en crecidas Invernales en cuencas pluvio-nivales de Chile central. XI Congreso Chileno de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.

Martínez, B., 2009. Susceptibilidad de remoción en masa en la quebrada de Macul, Región Metropolitana. Memoria para optar al título de geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Padilla, C., 2006. Análisis de factores meteorológicos desencadenantes de remociones en masa en el sector oriente de Santiago. Memoria para optar al Título Profesional de Geólogo. Departamento de Geología. Universidad de Chile.

Peña, H.; Vidal, F., 1993. Estimación estadística de la línea de nieves durante los eventos de precipitación entre las latitudes 28 y 38 grados sur. En Actas XI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.

Sepúlveda, S.; Padilla, C., 2008. Rain-induced debris and mudflow triggering factors assessment in the Santiago cordilleran foothills, central Chile. *Natural Hazards* 47(2): 201-215.

Vargas, X.; Lara P., 1996. Caudales máximos asociados a eventos aluvionales en cuencas del piedemonte de Santiago. Sociedad Chilena de la Ingeniería Hidráulica. XII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Santiago, Chile. Vol. 1 pp. 243-253.

Vargas, X., 1999. Corrientes de detritos en la quebrada de Macul, Chile. Estudio de Caudales máximos. *Ingeniería del Agua* Vol. 6, Num. 4, pp. 245-248.

### **C.III.- Niveles de Amenaza Hídrico-Meteorológicos (integrados)**

La determinación de los niveles de amenaza integrados entre los resultados de la energía erosiva y competencia de transporte de sedimentos de la escorrentía superficial y los escenarios probabilísticos de precipitaciones extremas y caudales esperables en respuesta a ellas se efectúa combinando, para cada microcuenca, los resultados de cada componente en cuanto a los niveles de amenaza establecidos.

De este modo y con la información generada (Puntos C.I y C.II), se construye una matriz para cada microcuenca que permite visualizar las interacciones y las más probables situaciones resultantes. (Ver matrices por microcuencas).

Para ello se considera, por una parte, que las características hidromorfométricas de las microcuencas y la energía del relieve resultante son elementos constantes y condicionantes de la manifestación y organización superficial de las precipitaciones.

Por otra parte, se concibe la escorrentía superficial desde el punto de vista del nivel de amenaza que puede alcanzar como la variable dependiente de la ocurrencia de precipitaciones extremas que se traduzcan en caudales extremos.

**(Incorporar matriz microcuenca Macul)**

**(Incorporar matriz microcuenca Lo Cañas)**

**(Incorporar matriz microcuenca Tarapacá-Sta. Rosa)**



- **Construcción cartográfica**

Dada esta estrecha relación de causa-efecto y regulación-potenciación, el aspecto hidromorfométrico de las microcuencas que es llevado a expresión cartográfica es aquel del índice integrador denominado como Energía del Relieve.

Por su parte, desde el punto de vista meteorológico son considerados en forma conjunta los cuatro escenarios de precipitaciones determinados en conjunto con los equivalentes caudales de respuesta esperables ante las mismas.

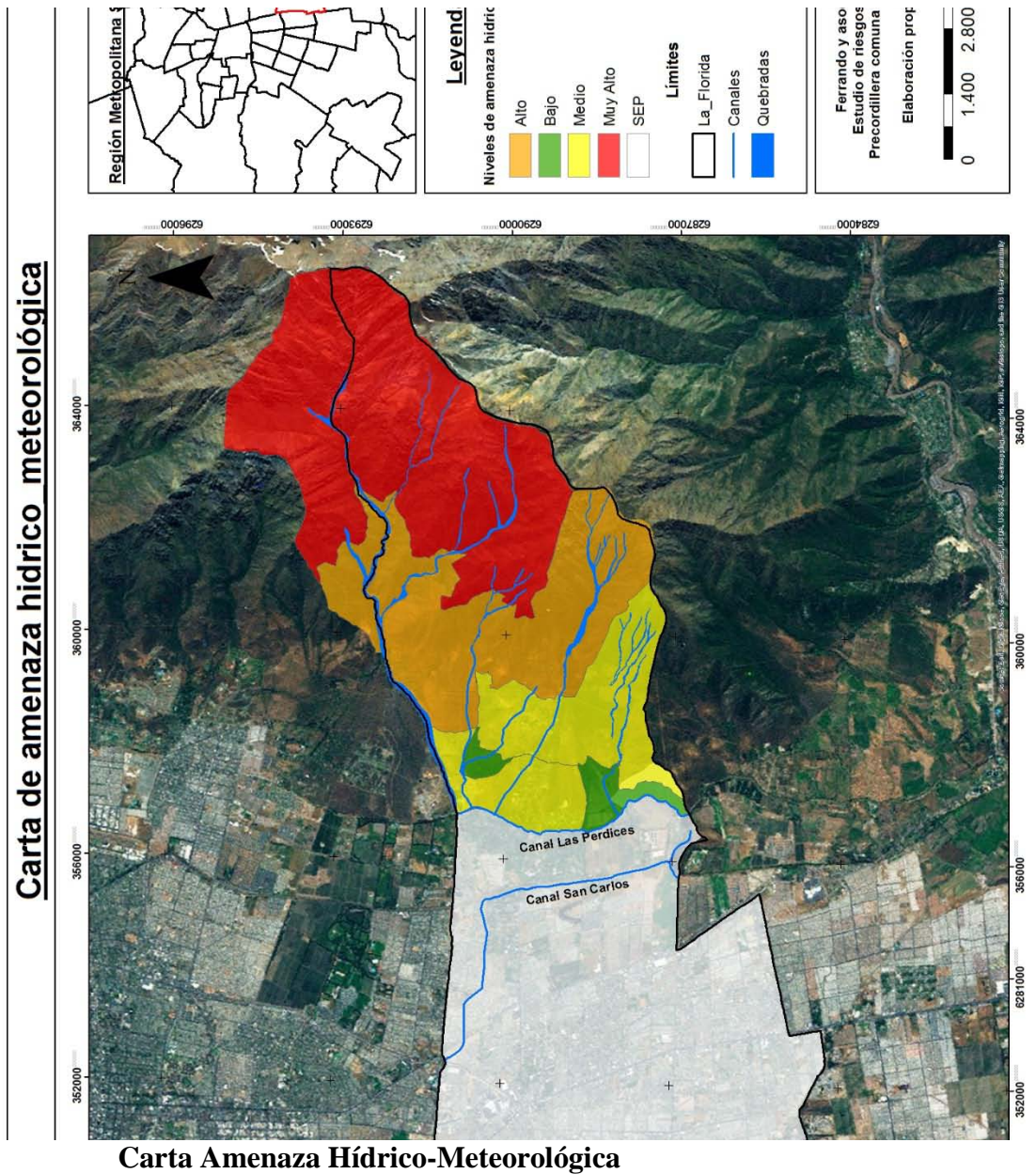
**Matriz de integración de niveles de Amenaza por Energía del Relieve con Amenaza por Eventos de Precipitación extremos y caudales resultantes**

Nombre de la Microcuenca	Nivel de Amenaza por Energía del Relieve	Nivel de Amenaza Meteorológico			
		Muy Alta	Alta	Media	Baja
Macul	Alta a Muy Alta				
Lo Cañas	Alta				
Tarapacá-Sta. Rosa	Media				

Nivel de Amenaza Hídrico-Meteorológica	
	Muy Alto
	Alto
	Medio
	Bajo

Nota: En cada caso para definir el nivel de amenaza integrado se consideró el nivel más bajo teniendo en cuenta que los métodos desde el punto de vista meteorológico, aunque están basados en series de datos históricas, son fundamentalmente probabilísticos. Ello no implica necesariamente que el nivel de amenaza pueda alcanzar el grado inmediatamente superior considerando que las precipitaciones son una componente aleatoria y discreta del clima.





#### D.- INTEGRACION BIOGEOSISTEMA Y DETERMINACIÓN DE AMENAZAS

A continuación se presenta la integración de los factores relacionados a los aspectos bióticos presentes en la comuna de La Florida, con factores que se relacionan a procesos geomórficos. Para el caso del presente estudio, el aspecto biótico quedó definido por la presencia de la vegetación natural en el área de estudio, por lo que se usó este componente del sistema natural para relacionarlo con aspectos físicos que en su conjunto pueden definir amenazas para el medio humano.

La vegetación es el elemento estructurador de los ecosistemas, concentra la mayor proporción de biomasa y *refleja* la influencia del *complejo* ambiental (Leuschner 2005). Como primera etapa del capítulo, se presenta una introducción acerca de las relaciones entre la vegetación y el medio físico y como esto se puede relacionar con el bienestar humano a través de la provisión de distintos tipos de servicios ecosistémicos.

Posteriormente se detallan los factores vegetacionales y geomórficos considerados en la integración, la cual es presentada posteriormente en una matriz de doble entrada. Finalmente se presenta una cartografía asociada, donde se identifican las áreas con vegetación natural más amenazadas basadas en la interacción con los factores geomórficos.

### **D.1.- La vegetación natural como proveedor de servicios**

Se define como servicios ecosistémicos a las funciones del ecosistema que permiten satisfacer una serie de necesidades humanas de manera directa e indirecta, siendo éstos cruciales para el desarrollo económico y el bienestar social (Constanza et al. 1997). En Chile, la vegetación nativa constituye un importante productor de servicios ecosistémicos. Entre estos servicios se incluyen la regulación y provisión de agua en calidad y cantidad, la captura de carbono, la conservación de suelos y de la diversidad biológica, y las oportunidades para el turismo y la recreación (Daly 1997).

La inadecuada cuantificación y valoración económica de los servicios ecosistémicos han provocado que, en la mayor parte de los casos, éstos carezcan de un precio de mercado que los haga comparables a otros bienes, y no hayan sido considerados en la toma de decisiones respecto al uso y manejo del territorio, las cuencas o los bosques (Constanza et al. 1997, Nahuelhual et al. 2007). Sin embargo, el desarrollo del país también ha significado un incremento de la valoración social de los ecosistemas naturales. Las diversas demandas sociales son reflejo de los cambios favorables en la valoración ambiental de los bosques nativos y otros ecosistemas y sus servicios.

Ejemplo de esta nueva visión la constituye la creciente valoración de algunos servicios ecosistémicos, como la provisión de agua en cantidad y calidad en cuencas hidrográficas donde los bosques nativos juegan un rol clave (Lara et al. 2010).

Este último ejemplo donde el agua se torna un bien escaso y estratégico, requerido para satisfacer diversos usos y actividades económicas (consumo humano, agricultura, generación hidroeléctrica, acuicultura, conservación de ecosistemas acuáticos y otros), es particularmente válido en la Región central y centro sur de Chile entre las Regiones de Valparaíso a la Araucanía.

La vegetación nativa juega un rol clave en aspectos de mitigación del cambio climático, ya que los árboles son uno de los principales sumideros de carbono, al absorber el dióxido de

carbono (CO<sub>2</sub>). Ello se refleja en una reducción de contaminantes atmosféricos que forman parte de los gases de efecto invernadero. Además, producen y aportan oxígeno a la atmósfera urbana; humedad a las masas de aire por evapotranspiración y, aportan al refrescamiento de los vientos locales, tan necesarios para una caldeada ciudad como Santiago, en el límite del desierto.

En este contexto, el Bosque Panul ubicado en el ámbito de oscilación anual de las capas de inversión térmica (700 y 1500 msnm) cumple, entre otras funciones, un papel relevante en la ventilación urbana. Las especies nativas (arbustivas y arbóreas) cumplen, a diferencia de las especies introducidas, una efectiva contención y estabilización de las laderas actuando positivamente sobre su equilibrio, reduciendo la posibilidad de deslizamientos y de reptación de suelos. Las laderas del sector son inestables, ya que se puede observar desestabilizaciones de cortes, retroceso por derrumbamiento de los mismos, especies arbóreas inestables con raíces descubiertas, incremento de taludes coluviales, etc.

Otro de los atributos de la vegetación natural es el rol amortiguador de la lluvia (en el sector precipita entre 450 y 900 mm/año) por intercepción y obstaculización de la escorrentía superficial. Incremento de la infiltración y, por ende, alimentación de las escuálidas napas subterráneas del área metropolitana. También, la vegetación permite reducir de la efectividad de la erosión superficial y de la escorrentía superficial. Reteniendo o mitigando de flujos detríticos (flujos aluvionales) provenientes de la cabecera de las quebradas, rol que cumplen por su menor pendiente (8° a 10° respecto de los más de 25° de las laderas) y por el rol entorpecedor y de freno que troncos y ramas bajas ejercen sobre el avance de las masas de rocas de diferentes dimensiones que se concentran en laderas y cauces en pos de las áreas pobladas.

## **D.2.- Factores Vegetacionales**

Para establecer los factores que permiten caracterizar los aspectos relacionados a la vegetación presente en la zona de la precordillera de la comuna de La Florida, se seleccionaron aspectos que permiten caracterizar la composición florística (riqueza, abundancia, frecuencia) y la estructura de la vegetación (área basal, dominancia, cobertura y regeneración), agregándose además un elemento que incorpore la dinámica temporal de la vegetación (Tasa de pérdida de la cobertura). A continuación se explica y justifica brevemente cada uno de estos elementos.

Riqueza = Diversidad presente en la composición florística. Una mayor riqueza da cuenta de un bajo grado de alteración de la cobertura vegetal nativa, la presencia de un contingente florístico diverso da cuenta de un buen estado de la vegetación y la mayor variedad de especies permite garantizar procesos ecosistémicos e interacciones biológicas.

Abundancia = Se refiere al número de individuos en una unidad de superficie. Una mayor abundancia de individuos da cuenta de condiciones favorables para el desarrollo de una especie.

Frecuencia = Corresponde al número de especies que se puede encontrar una determinada especie dentro de una muestra. Permite establecer en forma conjunta con los otros indicadores de composición, áreas de mayor diversidad florística.

Área basal = Corresponde a una medida de superficie (diámetros) en relación al número de individuos. Entrega información sobre la fisionomía de la vegetación.

Dominancia = Determina la posición relativa de una especie, en relación al resto del contingente florístico presente en un área. Se determina en función del área basal de una especie en relación al total de las especies presentes.

Cobertura = Corresponde a la proporción de suelo ocupado al proyectar las partes aéreas de una especie en forma vertical sobre el suelo. Es un indicador de la estructura de la vegetación.

Regeneración = Define la capacidad de crecimiento de las estructuras una especie en función de los factores externos que definen el hábitat particular de la especie.

Tasa de pérdida de cobertura = Establece la relación del cambio de cobertura entre dos o más momentos temporales. Una disminución de la tasa, da cuenta de procesos de pérdida de hábitat y fragmentación en la vegetación nativa.

### **D.3.- Factores geomórficos**

Se seleccionaron aspectos relacionados al relieve y a procesos morfogenéticos que pueden influir directamente en la cobertura de la vegetación natural. A continuación se detallan los seleccionados para la integración con los factores vegetacionales:

Elevación = El gradiente altitudinal corresponde a uno de los factores determinantes de la composición y estructura de la vegetación. Determina según la altitud los factores climáticos a distintas escalas que definen la presencia de las especies vegetales.

Angulo de pendiente = Un mayor ángulo de pendiente acelera distintos procesos mecánicos sobre el suelo y la cobertura vegetal.

Exposición = Diferentes exposiciones definen la composición florística de la vegetación. Existen especies que definen sus requerimientos de hábitat en función de la radiación solar.

Tipo de suelo = Diferentes tipos de suelo permiten albergar conjuntos de especies de flora con diferente composición y estructura.

Tipo de roca = El basamento litológico define la presencia del contingente florístico a distintas escalas espaciales, relacionando aspectos históricos evolutivos con la ecología de las especies.

Movimientos en masa = Procesos de movimientos en masa pueden causar perturbaciones a gran escala en la cobertura vegetal.

Escorrentía = Diferentes niveles de escorrentía pueden modificar la estructura de la vegetación a través de la acción mecánica del agua.

Erosión superficial = Procesos erosivos disminuyen la cobertura de la vegetación, provocando modificaciones en términos de composición y estructura.

#### **D.4.- Matriz de integración**

La matriz de integración muestra la combinación de los factores vegetacionales y geomórficos detallados anteriormente, definiendo para cada factor un nivel de amenaza para la provisión de servicios ecosistémicos al ser humano. Por ejemplo, la interacción de factores estructurales de la vegetación junto a procesos de carácter erosivo, se identifican como un nivel de amenaza alto, ya que conllevan directamente la pérdida de la cobertura vegetal y por ende de los servicios ecosistémicos asociados. (Fig. D.1 en hoja siguiente)

#### **Matriz de integración del bio-geosistema (A-2)**

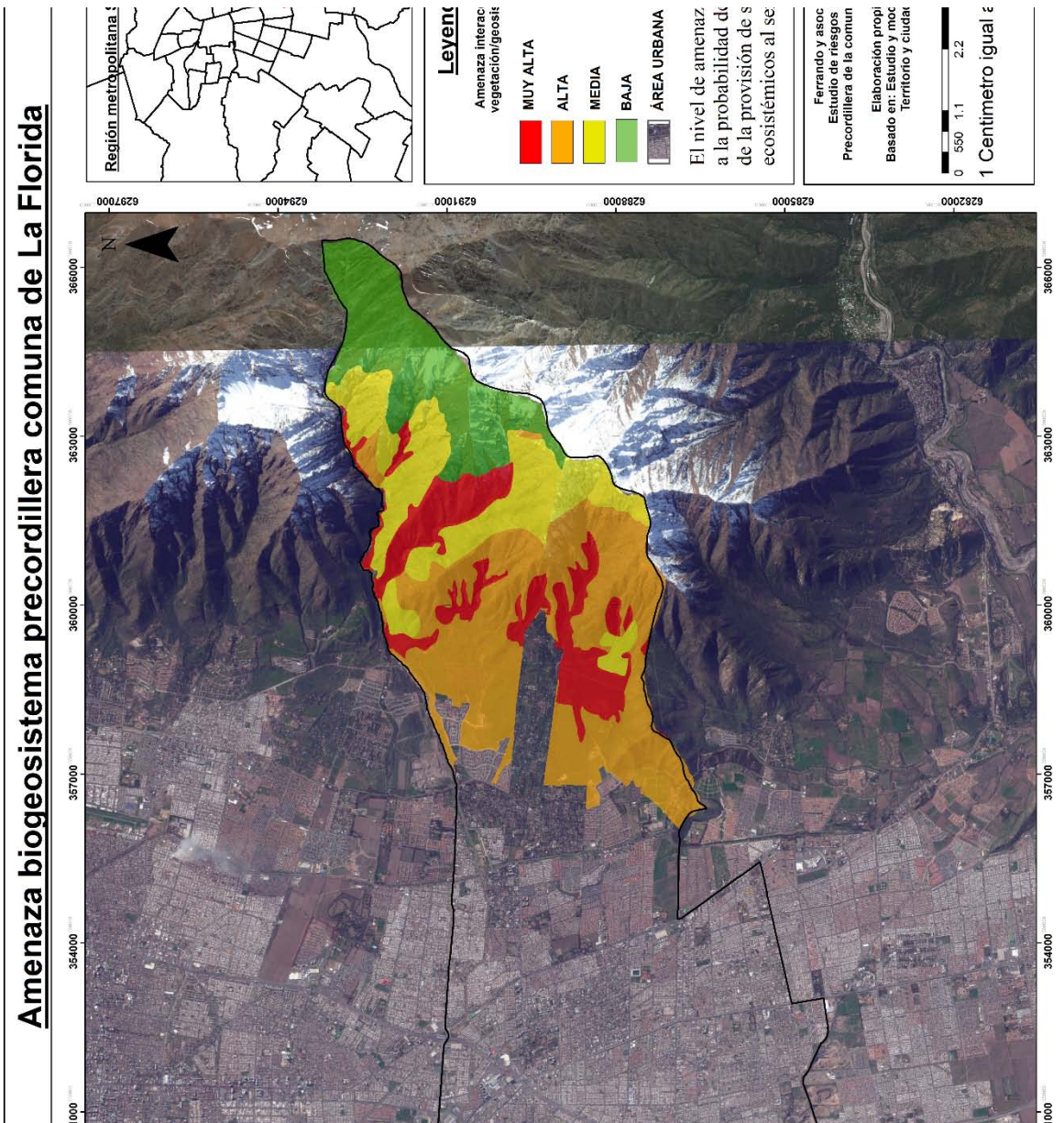


## **D.5.- Cartografía**

Finalmente, la interacción de los factores vegetacionales y geomórficos en la precordillera de la comuna de La Florida se expresan cartográficamente en términos de su interacción o afectación recíproca respecto de la probabilidad de pérdida de los servicios ambientales, así como de mitigación de otros procesos que la cobertura vegetal entraña.

Para ello, se seleccionó como factor vegetacional el grado de cobertura del suelo, con el fin de expresar en las unidades de vegetación definidas para el área (basadas en Alvarez 2008) las zonas más relevantes en términos de amenaza a la provisión de servicios ecosistémicos.

El resultado indica las zonas asociadas a coberturas boscosas como las sujetas a mayor amenaza, ya que estas coberturas son las que entregan el mayor número y calidad de servicios (servicios de soporte y de regulación entre otros), los cuales podrían perderse o degradarse tanto por procesos geomórficos como antrópicos. (Fig. D.2)



**Fig. D.2: Amenazas al biogeosistema precordillerano de la Comuna de La Florida.**

#### **D.6.- Bibliografía**

Alvarez, S. 2008. Caracterización florística y proposición de una tipología de la vegetación para la Pre-Cordillera Andina De Santiago. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Costanza R, D' Arge R, De Groot R, Farber S, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.



Daily, G.C. 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington. 392pp.

Lara A, C Little, R Urrutia, J McPhee, C Álvarez-Garretón, C Oyarzún, D Soto, P Donoso, L Nahuelhual, M Pino, I Arismendi. 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management* 258: 415-424

Leuschner, C. 2005. Vegetation and ecosystems. En: *Vegetation ecology* (Van der Maarel, E., ed.), pp. 85-105. Blackwell Science, Oxford.

Nahuelhual L, Donoso P, Lara A, Núñez D, et al. 2007. Valuing ecosystem services of Chilean temperate rainforests. *Environment, Development and Sustainability* 9: 481-499.



## **ASPECTOS NORMATIVOS**

## **E.- ASPECTOS NORMATIVOS**

En el siguiente capítulo se realiza un análisis del marco normativo y reglamentario en materia de urbanismo y construcción, instrumentos de planificación territorial y normativa ambiental asociada, como elemento fundamental para la inserción de la propuesta de zonificación en el Plan Regulador Comunal, a través de su modificación N° 9.

El estudio de la normativa se enfoca a identificar las herramientas vigentes a través de las cuales se pueden incorporar los resultados de los estudios técnicos en materia de riesgos naturales y protección ambiental, en concordancia con las políticas y planes vigentes que apuntan al desarrollo de territorios más armónicos, en pos del desarrollo sustentable y la calidad de vida urbana de la Ilustre Comuna de La Florida.

En la presentación se destacan los aspectos más relevantes en relación con el soporte legal para la consecución de estos objetivos.

### **E.1.- DISPOSICIONES LEY GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES Y SU ORDENANZA**

La planificación urbana es entendida como el proceso que orienta y regula el desarrollo de los centros urbanos en cuatro niveles: nacional, regional, intercomunal y comunal. La planificación urbana comunal debe ser realizada a través del Plan Regulador Comunal.

Regulado y establecido en la LGUC Y OGUC, el PRC es el principal instrumento de planificación a nivel comunal, aplicable solo al ámbito urbano. Es elaborado por la Municipalidad y está conformado por los siguientes documentos: (i) Memoria explicativa, (ii) Ordenanza Local que fija las normas relativas a los límites urbanos, anchos de vías estructurantes, zonificación del área urbana con sus respectivos usos de suelo y normas para las edificaciones, *condiciones para la ocupación de áreas de riesgo, según lo dispuesto en los artículos 2.1.17 y 2.1.18 de la OGUC*, normas que afectan a las zonas o inmuebles de conservación histórica, zonas típicas y Monumentos Nacionales, y las exigencias de plantaciones y obras de ornato en áreas afectas a utilidad pública; (iii) Planos, que expresan gráficamente las disposiciones del Plan, especialmente la zonificación del área urbana y la vialidad estructurante, elaborados en escala 1:10.000, 1:5.000 o 1:2.500.

Este instrumento debe contar obligatoriamente con algunos estudios complementarios, tales como el *Estudio de Riesgos y Protección Ambiental*.

Las Autoridades competentes en la elaboración del PRC corresponden:

Asesoría Urbana, unidad municipal dependiente de la Secretaría Comunal de Planificación y su asesoría urbana. El PRC es aprobado por el Concejo Municipal y debe ser presentado a la comunidad local, mediante **audiencias públicas** y una **exposición de todos los documentos y planos**, a la cual deben tener **acceso todos los vecinos**. De acuerdo a la ley N°20.417,

debe someterse también al Servicio de Evaluación Ambiental SEA, a través de una **Evaluación Ambiental Estratégica**<sup>16</sup>.

Una vez aprobado por el Concejo Comunal, todos los antecedentes deben ser remitidos a la *SEREMI-MINVU* respectiva. Esta Secretaría debe emitir un informe relativo a los aspectos técnicos y a su concordancia con la Ordenanza General y con el PRMS.

### **E.1.1.-Riesgos “Naturales”**

El sustento legal para la identificación de riesgos naturales en los Planes Reguladores Comunales está determinado por las disposiciones presentes en el artículo 60 de la LGUC:

*“El plan regulador señalará los terrenos que por su especial naturaleza y ubicación no sean edificables. Estos terrenos no podrán subdividirse y sólo se aceptará en ellos la ubicación de actividades transitorias, manteniéndose las características rústicas del predio. Entre ellos se incluirán, cuando correspondan, las áreas de restricción de aeropuertos”*

En este artículo se asimila un mismo concepto para zona no edificable y riesgo natural. (DDU, MINVU 2012)

Dentro de las disposiciones complementarias que establece la OGUC, en el artículo 2.1.17 se establece que el IPT podrá **definir áreas de riesgo previo estudio específico**, cuando dichas áreas constituyan un peligro potencial para los asentamientos humanos. El **estudio Fundado de Riesgo** forma parte de los estudios complementarios que todo Plan Regulador posee.

En dichas áreas, se determinarán **zonas no edificables** o de **condiciones restringidas de edificación**, entendidas como *“aquellas áreas del territorio en las cuales, por razones fundadas, se limite determinado tipo de construcciones y se establezcan los requisitos y condiciones que deberán cumplirse para su utilización”*<sup>17</sup>.

Se establece de manera explícita que las áreas inundables o potencialmente inundables y áreas de peligro de rodados o aluviones, **deben ser identificadas estableciendo las condiciones de urbanización para ellas**.

El artículo 3.2.1.2.3 de la DDU 227, precisa los requerimientos para la determinación de estas áreas, señalando:

*“El estudio fundado servirá de base para que en la Ordenanza Local y en los planos del Plan Regulador Comunal, se pueda establecer limitaciones a determinadas construcciones,*

---

<sup>16</sup> Revisar punto 2.2

<sup>17</sup> Artículo 2.1.7, OGUC.

*por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que para su utilización requieran de la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos.*

*Si para la elaboración de este estudio se toma como base antecedentes de otros estudios aplicables al territorio que se norma, se podrá considerar los aspectos técnicos que aquellos estudios abordaron en lo relativo a limitantes que presenten ciertos territorios frente a desastres naturales u otros semejantes. Sin embargo, el estudio fundado de riesgos, -que respalde las decisiones de planificación-, debe contener el análisis y los efectos territoriales de las limitaciones que representa el territorio.*

*Este estudio deberá incorporar las áreas de riesgo de nivel intercomunal establecidas por el Plan Regulador Intercomunal, cuando las hubiere.*

*Con todo, el Plan Regulador Comunal tiene las facultades para precisar o disminuir dichas áreas de riesgo, debiendo en estos casos incluirse en el Estudio Fundado de Riesgos los antecedentes de mayor detalle que los justifiquen”*

De la normativa anteriormente citada y de documentos guía elaborados por la DDU de la SEREMI – MINVU, se desprenden diferentes formas de tratar el riesgo en el Instrumento de Planificación Territorial, las que se pueden resumir en:

- A) **Como capa de riesgo sobre zonas del IPT vigente:** Se define un área<sup>18</sup> de riesgo sobre una o más zonas del IPT, que restringe los usos establecidos por ésta. El riesgo se trata de manera particular para cada proyecto sobre el sector a intervenir. Para poder regirse en función de las condiciones urbanísticas de la zona, se debe presentar un estudio fundado según lo establecido en el artículo 2.1.17 OGUC.
- B) **Como norma urbanística:** En el área identificada con riesgo, se establece una zona con las condiciones y normas urbanísticas de manera de restringir el desarrollo urbano.
- C) **Como zona y área de riesgo:** IPT define y reconoce área de riesgo (que requiere estudio fundado) y complementariamente determina zonas de riesgo cuyas normas urbanísticas limitan el desarrollo.
- D) **Como normas urbanísticas y acciones en el IPT:** Se reconoce el riesgo a través de la definición de una zona, cuyas normas urbanísticas regulan el desarrollo e incorpora elementos relacionados con un plan de acción como normas. (Ej. Fajas viales, áreas verdes, etc.)

---

<sup>18</sup> ÁREA: Se designaron bajo el concepto de áreas, aquellos predios o sectores en que aplica una restricción o condición especial, manteniéndose las normas generales de la zona en que se encuentran.

Para incorporar al IPT cualquiera de estas definiciones, es necesario contar con el estudio de riesgo correspondiente, en el cual se den cuenta de las condiciones geográficas que hacen necesaria las restricciones a la edificación a través de “áreas o zonas de riesgo y/o no edificables”. Analizando las diferentes opciones disponibles en la legislación, se recomienda para aquellas áreas identificadas como de peligro de inundación y movimientos en masa, generar una nueva zonificación que atienda el riesgo que implica la existencia de dichas áreas para los asentamientos humanos, a través de la creación de normas urbanísticas específicas que restrinjan el desarrollo urbano, permitiendo sólo las actividades transitorias según lo establece el artículo 60° de la LGUC.

### **E.1.2.- Protección Ambiental**

La protección ambiental en la normativa de urbanismo y construcciones, se encuentra orientada a resguardar los recursos de valor natural y patrimonial cultural, otorgando la facultad al IPT de establecer condiciones urbanísticas específicas a una determinada zona con dicho valor, de manera que sea compatible con la protección jurídica que estos recursos poseen. Estas disposiciones deben resguardar a las áreas de valor natural y patrimonial ante potenciales daños, intervenciones antrópicas propias del proceso de urbanización.

Las áreas de valor natural, representan además limitantes o restricciones para la ocupación del territorio, esto referido a su utilización actual o futura dentro de un marco de sustentabilidad y considerando su protección, conservación y/o preservación.

Definidas en el artículo 2.1.18 de la OGUC, se establece que en ellas podrán definirse **zonas no edificables**, las que fueron caracterizadas en el punto anterior, y son precisadas en el Artículo 3.2.3.17 DDU GENERAL 227.

*“Las áreas de protección de recursos de valor natural corresponden a aquellas en que existan **zonas o elementos naturales protegidos por el ordenamiento jurídico vigente**, tales como: bordes costero marítimos, lacustres o fluviales, parques nacionales y monumentos naturales.*

*En estos casos, en la Ordenanza Local Del Plano Regulador se pueden establecer las condiciones urbanísticas que deberán cumplir las edificaciones que se pretenda emplazar en las áreas protegidas por el ordenamiento jurídico. Estas condiciones deberán ser compatibles con la protección oficialmente establecida para dichas áreas.*

*Se hace presente que en estos casos, el Plano Regulador Comunal, no tiene facultades para definir “nuevas áreas de protección de recursos de valor natural”, -que no cuenten con protección oficial-, encontrándose facultado sólo para reconocer las oficialmente protegidas.*



*A continuación se indica un ejemplo de definición de normas urbanísticas que la Ordenanza Local, puede establecer en áreas de protección de recursos de valor natural que cuenten con protección oficial:*

*Ejemplo:*

*“Uso de suelo permitido”*

*Estas áreas se regirán conforme a lo establecido en los correspondientes Decretos Supremos” y en sus respectivos planes de manejo; permitiéndose complementariamente las siguientes actividades”*

Luego de la realización del estudio que reconozca aquellas áreas de protección de recursos de valor natural, deberán definirse las zonas no edificables o de protección junto con las normas urbanísticas asociadas, que aseguren un debido resguardo de éstas ante los procesos de urbanización.

### **E.1.3 Subdivisión predial mínima**

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones es su artículo 2.1.20, señala cuál será la subdivisión predial mínima para aquellos terrenos de condiciones especiales:

*“En el área urbana los Instrumentos de Planificación Territorial podrán establecer superficies prediales mínimas de cualquier tamaño, cuando la zona afecta a dicha disposición presente alguna de las siguientes condiciones:*

- 1- Estar expuesta a zonas de riesgo o contener recursos de valor natural o patrimonial cultural, que se deba proteger, conforme a lo establecido para estos casos en la presente Ordenanza.*
- 2- Tener una pendiente promedio superior al 20% (9°)*
- 3- Carecer de dotación de infraestructura de agua potable, alcantarillado y pavimentación, en al menos la mitad de su perímetro frente a vías públicas.*

*En el área urbana, excluidas las áreas de extensión urbana, cuando la zona afecta no presenta alguna de las condiciones señaladas, la superficie predial mínima será de 2.500 m<sup>2</sup> o menos, según lo determine el Instrumentos de Planificación Territorial.”*

De la normativa citada se desprende, que **la subdivisión predial mínima es una de las normas urbanísticas que permite proteger aquellas zonas del área urbana que, por sus especiales características geográficas en función de los riesgos naturales y la protección ambiental, no permite usos intensivos.** En estas zonas el Instrumento de Planificación Territorial debe normar con aquella subdivisión predial mínima que **asegure el resguardo**

**ante proyectos que amanecen la seguridad de los habitantes y la permanencia de especies naturales de alto valor ecológico.**

## **E.2.- DISPOSICIONES NORMATIVA AMBIENTAL**

### **E.2.1 Constitución Política de la República**

La Constitución Política de la República, resguarda el Derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación en su artículo 19, señalando de forma explícita que *“Es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza (...) La ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos y libertades para proteger el medio ambiente”* (Artículo 19, N° 8 de la Constitución Política de Chile, 1980), para más adelante agregar que *“El derecho de propiedad está limitado por la función social de la propiedad (comprende cuando exijan los intereses del país, la seguridad nacional, la utilidad y salubridad públicas y la **conservación del patrimonio ambiental**”)*. Estas normas son la fuente primaria del estatuto de protección de la naturaleza y el patrimonio ambiental, que puede imponer restricciones o limitaciones específicas al derecho de desarrollar una actividad económica y al derecho de propiedad, cuando esto contribuye a mejorar el medio ambiente y asegurar la permanencia y regeneración de sus componentes y los servicios ecosistémicos que provee.

Siendo deber del Estado velar por la preservación de la naturaleza, sus órganos deben someter su actuar a la Constitución, y sus normas deben dictarse conforme a ella. Uno de estos órganos es la municipalidad, cuya función es satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de la comuna.

### **E.2.2- Ley General de Bases del Medio Ambiente**

La Ley de Bases del Medio Ambiente, exige que toda modificación a los instrumentos de planificación territorial, en especial los Planes Reguladores, ingresen al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a través de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), entendida como el procedimiento mediante el cual se incorporan las consideraciones ambientales del desarrollo sustentable al proceso de elaboración o modificación del plan, siendo éstas integradas en la dictación del respectivo instrumento y sus modificaciones sustanciales.

El estudio contempla llegar en su fase final, a un producto denominado “zonificación de niveles de riesgo según tipo de amenaza y zonificación de recomendaciones para el ordenamiento territorial” en el área definida, para que con posterioridad la Municipalidad pueda llevar a cabo su incorporación en el Plan Regulador Comunal. Debe entenderse que la

Municipalidad acogerá esta propuesta, una vez terminado el estudio, decidiendo los aspectos que incorporará a su Plan Regulador Comunal. Si bien es el Municipio el que realizará la EAE y el respectivo informe ambiental, el estudio indicará los objetivos y criterios de sustentabilidad ambiental que incorpora, como base de la EAE.

### **E.2.3.- Ley de Bosque Nativo**

Considerando que para la definición de áreas de protección de recursos de valor natural es necesario tener en cuenta el ordenamiento jurídico vigente que protege a éstos, se menciona la Ley 20.283 de 2008. Aprobada luego de más de 10 años de tramitación, establece un marco general vinculado al bosque nativo y los instrumentos que permiten su protección. Toda acción de corta de bosque nativo debe someterse a la aprobación del respectivo plan de manejo por parte de la Corporación Nacional Forestal. (Artículo 5).

Si bien el plan de manejo tiene por objeto el aprovechamiento de alguno de los recursos de bosque nativo con fines productivos, se deben siempre proteger los suelos, la calidad y cantidad de los caudales de los cursos de agua y la conservación de la diversidad biológica. Es por ello, que se han establecido restricciones y prohibiciones específicas, como las señaladas en el artículo n° 19:

*“Prohíbese la corta, eliminación, destrucción o descepado de individuos de las especies vegetales nativas clasificadas, de conformidad con el artículo 37 de la ley N° 19.300 y su reglamento, en las categorías de "en peligro de extinción", "vulnerables", "raras", "insuficientemente conocidas" o "fuera de peligro", que formen parte de un bosque nativo, como asimismo la alteración de su hábitat. Esta prohibición no afectará a los individuos de dichas especies plantados por el hombre, a menos que tales plantaciones se hubieren efectuado en cumplimiento de medidas de compensación, reparación o mitigación dispuestas por una resolución de calificación ambiental u otra autoridad competente. Excepcionalmente, podrá intervenir o alterarse el hábitat de los individuos de dichas especies, previa autorización de la Corporación, la que se otorgará por resolución fundada, siempre que tales intervenciones no amenacen la continuidad de la especie a nivel de la cuenca o, excepcionalmente, fuera de ella, que sean imprescindibles y que tengan por objeto la realización de investigaciones científicas, fines sanitarios o estén destinadas a la ejecución de obras o al desarrollo de las actividades señaladas en el inciso cuarto del artículo 7°, siempre que tales obras o actividades sean de interés nacional”*

La posibilidad de alterar o intervenir el hábitat de los individuos de especies en categoría de conservación es muy restringida y está acotada a proyectos u obras de interés nacional,

previo estudio e informes de expertos que aseguren que las obras no alteren la continuidad de la especie.

Considerando este artículo, lo establecido en la normativa urbanística y los antecedentes proporcionados por el capítulo sobre valor ambiental del territorio pre cordillerano comunal, **el área de estudio está formada por un bosque nativo en el que se encuentran especies en categoría de conservación, por lo cual la definición de normas urbanísticas que acoja el IPT, deberán estar en concordancia con la prohibición a la corta, eliminación, destrucción o descepaos de éstas especies, así como la alteración de su hábitat**, a través por ejemplo de la declaración de zonas no edificables, previo reconocimiento de las áreas de recursos de valor natural, que se sustentan en esta normativa.

#### **E.2.4.- D.S N° 82/74 y 327/74: Prohíbe la corta de árboles y arbustos en la zona de precordillera y cordillera andina que se señala.**

Complementando a la citada Ley de Bosque Nativo, **estos decretos corresponden a decretos específico para el área precordillerana y cordillerana de la Provincia de Santiago, creados para la protección de las quebradas, flora y fauna, dado su alto valor paisajístico y ecosistémico.** El D.S 82/74, en su considerando, señala que para proteger estos recursos resulta *“indispensable prohibir la corta de árboles y arbustos en dicho sector”*, por lo cual en su artículo primero señala:

*“Prohíbese la corta o aprovechamiento en cualquier forma de los árboles y arbustos que se encuentran situados en los terrenos ubicados dentro de los siguientes límites<sup>19</sup> (...)”*

En su artículo segundo agrega:

*“... La Corporación Nacional Forestal podrá autorizar la corta de árboles y arbustos dentro de los límites fijados precedentemente, cuando dichas faenas tengan por objeto despejar terrenos para la construcción o realización de obras de beneficio público o la puesta en marcha de planes de manejo o mejoramiento de las mismas masas vegetales que se están protegiendo...”*

El D.S 327/74 incorporó a la zona protegida el área de las quebradas *“de Macul, Peñalolén, sectores Lo Hermida, Lo Cañas, La Reina y parte interior del Cerro Manquehue”*.

El IPT comunal, tiene la facultad entonces, de reconocer de manera normativa a través de una zonificación de protección o zona no edificable dada la característica de valor natural, a aquellas especies nativas que cumplan con las características citadas por el anterior decreto.

---

<sup>19</sup>Los límites considerados incluyen el área de estudio de la modificación.

Considerando que la modificación N° 9, en su sector precordillerano, se sustenta sobre la base de la necesidad de resguardar aquellas superficies que, teniendo condiciones de uso de suelo urbano, contienen en ella una riqueza ecológica ambiental a ser preservada y presentan características especiales producto de fenómenos de riesgos naturales, se recomienda en virtud de los antecedentes proporcionados por el estudio, utilizar las normas relativas a riesgos naturales y áreas de protección de recursos de valor natural mencionadas, para crear una o más zonas no edificables, de restricción o uso compatible con el resguardo necesario (tales como área verde) en el polígono a modificar.

### **E.3.- INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL (IPT)**

#### **E.3.1.- Instrumentos de Planificación Territorial Normativos**

Corresponden a aquellos IPT en los que sus disposiciones son vinculantes para cualquier particular que quiera realizar una obra, proyecto o actividad en un área regulada. Las regulaciones establecidas mediante estos instrumentos son de cumplimiento obligatorio y se sanciona su incumplimiento. Se encuentran establecidos en la Ley General de Urbanismo y Construcciones y su Ordenanza.

#### ***Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS)***

Corresponde al nivel intercomunal de planificación a cargo de la Seremi – MINVU (aprobado por Gobiernos Regionales) y busca la regulación del desarrollo físico de las áreas urbanas y rurales de diferentes comunas que por sus relaciones se integran en una misma unidad urbana, en este caso, la ciudad de Santiago.

El actual PRMS, en su ordenanza especifica aquellas áreas que son parte del Sistema Metropolitano de Áreas Verdes y Recreación. Define a los “Parques Quebradas”<sup>20</sup>, según lo establecido por los artículos 5.2.3 y 5.2.3.3, dentro de la categoría de Parques Intercomunales. Aquellos parques quebradas no consolidados no permiten destinar su superficie original o parte de ésta, a otros usos de características urbanas compatibles con entorno. El PRMS reconoce las quebradas de Macul y de Lo Cañas en la comuna de La Florida.

Lo usos de suelo permitidos en estas quebradas serán equipamiento de áreas verdes, recreacional – deportivo y esparcimiento y turismo al aire libre. Considerando que las quebradas representan un alto riesgo natural para los asentamientos humanos, para dar

---

<sup>20</sup> Áreas adyacentes a los cauces de las quebradas identificadas.

autorización a algún tipo de construcción se debe dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 8.2.11.

Además, el PRMS establece que complementariamente deben definirse áreas de riesgo geofísico asociada a eventos naturales y determina en específico la necesidad de establecer aquellas áreas de riesgo asociada a fenómenos de remoción en masa. En todas estas áreas de riesgo por eventos naturales los usos de suelo permitidos sólo corresponden a actividades de forestación y esparcimiento al aire libre, de acuerdo al artículo 8.2.1.4:

***“En estas áreas sólo se permitirán actividades de forestación y esparcimiento al aire libre, con instalaciones mínimas complementarias a dichas actividades y que no impliquen concentración masiva y/o permanencia prolongada de personas.***

***Las instalaciones no podrán alterar la topografía del suelo, como asimismo el escurrimiento natural de aguas provenientes de esteros y/o quebradas”***

La nueva normativa del PRC, a la luz de los antecedentes técnicos otorgados por este estudio, deberá ser coherente y dar cumplimiento a los usos de suelo preferente descritos por este instrumento.

### ***Plan Regulador Comunal***

El actual Plan Regulador comunal establece la siguiente normativa para el área de estudio:

#### **ÁREA E-AB1 AISLADA BAJA DENSIDAD N° 1**

Uso	Subd. Pred. Min	Coef ocup	Coef. Constrc .	Altura max. Edif	Sist. agrup	Rasante	Distan- cia media- nero	Adosa- miento	Ante jardín	Estacio- namiento	Dens. Bruta max. (viv/ha)	Dens, bruta Min.
Residen- cial	1000	0,26 salvo en vivienda existente 0,60	0,78	8,40	Aislado	70°	OGUC	No, salvo vivienda existente según OGUC	8	Art. 15 Ordenan- za local	10	1
Equipa- miento	Aplicar tabla de condiciones de edif. Artículo 39 Orden. local			10,5	Aislado		4		8		-----	-----

La zona corresponde un área de baja densidad en la que se pueden construir viviendas y equipamiento. Esta zonificación debe ser modificada según las disposiciones de la LGUC, OGUC, PRMS anteriormente citados, de manera de actualizar el instrumento comunal cumpliendo los objetivos de resguardo del patrimonio ambiental y de seguridad humana.

### **E.3.2.- Instrumentos de Planificación Territorial Indicativos**

Corresponden a aquellos instrumentos que otorgan criterios y lineamientos a seguir. Sus disposiciones son indicativas, por lo cual, no son obligatorias para los particulares. Su incumplimiento no está sujeto a sanciones. Están destinados a orientar las decisiones que las autoridades tomen respecto de las materias que indican.

### ***Estrategia Regional de Desarrollo Región Metropolitana (ERD)***

La ERD de la Región Metropolitana, se define como consecuencia de un proceso de planificación en el cual se anticipan riesgos y se movilizan las potencialidades de un territorio, en función de objetivos comunes. Corresponde al primer eslabón del sistema de planificación, que entrega lineamientos y objetivos para el desarrollo de los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT), políticas regionales, cartera de inversión regional y convenios de programación. Los IPT normativos, si bien no tienen la obligación de cumplir con las disposiciones de esta estrategia, debiesen ser compatibles con sus objetivos y lineamientos integrados.

Dentro del diagnóstico regional, existe un ítem de insustentabilidad, referido a la baja capacidad de poder desplegar las potencialidades actuales sin comprometer las posibilidades de generaciones futuras. Los escenarios de preocupación señalados por la estrategia corresponden al balance hídrico (efectos del cambio climático en aumento de temperaturas y disminución de las precipitaciones, déficit de agua para consumo humano), el creciente condiciones de vulnerabilidad (asociada a los riesgos naturales y al estado de conservación de sus recursos naturales y ecosistémicos), generando una muy baja proporción del territorio regional destinado a bosque y áreas protegidas. Además resulta preocupante la cifra de 37% de los suelos de la región con erosión severa y muy severa.

Otro elemento es la contaminación atmosférica, ya que la ciudad de Santiago ha sido declarada como zona saturada por MP10, PTS, O<sub>3</sub> Y CO y latente por NO<sub>2</sub>. Esto asociado a sus malas condiciones de ventilación y la alta emisión de contaminantes por tráfico vehicular. Finalmente, se señala el déficit de m<sup>2</sup> áreas verdes por habitante como una problemática no sólo ambiental, sino que también social, ya que éstas se encuentran concentradas en los sectores de la región donde habitan las personas de niveles socioeconómicos más altos.

La comuna de La Florida, según cifras del Observatorio Urbano – MINVU, posee 3,1 m<sup>2</sup> de áreas verdes con mantenimiento por habitantes, mientras que comunas como Ñuñoa y Vitacura poseen 7,2 y 9,4 m<sup>2</sup> de área verde con mantenimiento respectivamente. Ahora, si se considera el área verde con o sin mantenimiento, las cifras son aún más extremas: comunas como Vitacura poseen 56,2 m<sup>2</sup> de área verde por habitante, mientras que La Florida no supera los 5 m<sup>2</sup> per cápita. (MMA, 2012).

Considerando este diagnóstico uno de los lineamientos estratégicos regionales corresponde a: “Santiago, región limpia y sustentable”, en el cual destacan los objetivos estratégicos de promover el uso sustentable y estratégico del recurso agua, liderar el desarrollo de un sistema regional de áreas verdes, promover la desconcentración demográfica del área

metropolitana<sup>21</sup>, y los objetivos operacionales de liderar e implementar un sistema de corredores regionales de biodiversidad, promover la implementación de una red de arbolado urbano y mejorar la distribución de áreas verdes en los sectores deficitarios.

**Estos objetivos establecen lo que debe ser el lineamiento principal para la nueva zonificación del área de estudio, considerando que corresponde a un área natural de alto valor ecológico que presta servicios no solo a escala comunal, sino que es de gran importancia en el contexto regional y metropolitano.** El reconocimiento normativo de estos recursos y las acciones específicas para su protección, son completamente coherentes con los objetivos de desarrollo que se plantean a nivel regional.

### *Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO)*

El Plan de Desarrollo Comunal de La Florida está plateado para el periodo 2009 – 2016. En éste, al igual que en la estrategia, se define los objetivos y lineamientos de planificación social, económica y territorial a escala comunal, que debiesen regir el actuar de la administración municipal, en torno a objetivos comunes. Se nombrarán aquellos aspectos relevantes en el contexto del estudio de riesgo y zonificación ambiental y sus implicancias en la planificación comunal.

Dentro de los escenarios de desarrollo, se encuentra el ítem “Ciudad y Hábitat”, donde parte de los desafíos es mejorar la calidad física y ambiental del territorio. Al mismo tiempo, se definen 3 principios de acción: Gobernabilidad, Sociabilidad y **Sustentabilidad**, éste último conceptualizado como la acción de revertir el deterioro y degradación ambiental. Para ello, se definen áreas de desarrollo y la primera corresponde a “Gestión del Medio Ambiente”. Comienza con el reconocimiento del sector pre cordillerano como el fuerte de los recursos medio ambientales de la comuna y la necesidad de la protección de su paisaje y naturaleza. Así mismo, señala **la creciente e incesante urbanización ha disminuido la superficie de espacios libres y junto con ello, las funciones ambientales asociadas a éstos. El déficit de áreas verdes, la contaminación y la presencia de riesgos naturales (remociones en masa en la parte alta e inundaciones en la parte baja de la comuna) son nombrados también como los ejes de la problemática ambiental de la comuna que es necesario resolver.** Al respecto la visión estratégica corresponde a:

*“Una comuna –ciudad, organizada desde la acción pública y privada en la búsqueda de soluciones integrales, preventivas y participativas de los problemas ambientales locales de su competencia. Que potencie y fortalezca su institucionalidad ambiental comunal y favorezca la educación ambiental local, teniendo como objetivo una comuna limpia, con*

---

<sup>21</sup> La comuna de La Florida está dentro de las 3 comunas con mayor cantidad de población de la región.



*una comunidad comprometida e informada, con vías públicas libre de contaminación y congestión, con arborización planificada, con fiscalización efectiva y propuestas innovadoras para el desarrollo sustentable, con una gestión municipal autónoma y eficiente.”*

Dentro los lineamientos estratégicos de esta visión, son relevantes los siguientes:

**Lineamiento Estratégico N° 1.**

Sustentabilidad ambiental de las actividades sociales, urbanas y económicas

**Lineamiento Estratégico N° 2.**

Proteger y preservar zonas prioritarias para la naturaleza y el paisaje

**Lineamiento Estratégico N° 3.**

Condicionar los usos en las áreas de riesgos naturales

**Lineamiento Estratégico N° 5.**

Asegurar calidad ambiental a la población humana

**Lineamiento Estratégico N° 6**

Proteger los espacios libres de la zona urbana

**Lineamiento Estratégico N° 7.**

Aumentar la cobertura de áreas verdes

**Lineamiento Estratégico N° 8.**

Formular una política de gestión ambiental comunal

Esto muestra la pertinencia de la modificación actual del Plan Regulador con los objetivos trazados en el Plan de Desarrollo y permite tener lineamientos respecto de la propuesta de zonificación y sus restricciones, ya que **en los Lineamientos Estratégicos n° 2, 3 y 6 se establece la protección de la naturaleza y el respectivo condicionamiento de sus usos, a la función que ésta cumple en materia de área verde, riesgo natural, paisaje, sustentabilidad de actividades urbanas.**

Dentro de los proyectos enmarcados en estas líneas estratégicas, se encuentra el “Programa de Preservación de la Pre cordillera” planificado para el año 2010 y cuyo indicador es haber diseñado y puesto en marcha un programa de acción. La modificación normativa de los usos de suelo de la comuna en el sector precordillerano y su mayor restricción, son coherentes con este plan de acción y compromiso de desarrollo comunal en función de la sustentabilidad ambiental de la comuna.

#### **E.4.- OTRAS NORMATIVAS, POLÍTICAS Y PLANES ASOCIADOS**

##### **E.4.2.1.- Proyecto OTAS: Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana de Santiago.**

Iniciado el año 2006 por el Gobierno Regional en conjunto con la Universidad de Chile y la GTZ<sup>22</sup>, fue un proyecto realizado durante 10 años con el objeto de apoyar la función de ordenamiento territorial que la Ley 19.175 otorga a los Gobiernos Regionales. Se realizó mediante la perspectiva de la planificación ecológica generando lineamientos de Ordenamiento Territorial que expresan los objetivos del desarrollo y un Marco Orientador de Ordenamiento Territorial (MOT) en el que se expresan cartográficamente dichos objetivos (MOT). De carácter indicativo, no forma parte de los IPT de esta naturaleza, más bien se han planteado sus resultados como un insumo en la elaboración de los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT) que actualmente se encuentran en proceso de elaboración.

Se señala ya que contiene importantes consideraciones respecto del área estudio sometida a modificación. En el proceso de planificación ecológica que realiza, en conjunto con el diagnóstico territorial integrado, define como principal producto: áreas de la naturaleza y el paisaje a proteger normativamente. Dentro de estas destaca la **propuesta de proteger la totalidad del pie de monte andino bajo la figura de “Parque Regional Piedmont Andino”**. Propuesta coherente con el sitio prioritario definido por la Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad de la Región Metropolitana, y con el objetivo de protección normativa a través del IPT comunal, de la modificación n° 9.

#### **E.4.2.- Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad Región Metropolitana**

La Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad, es una iniciativa de escala regional que se ha implementado en todas las regiones del país, con el objetivo de avanzar en el desarrollo sustentable y entendiendo que la biodiversidad es fundamental el bienestar humano desde el punto de vista económico y social. Atiende también el compromiso del país en este tema, establecidos en el Convenio Internacional sobre Diversidad Biológica, ratificado el año 1994.

Actualmente se encuentra en proceso de actualización, y ha definido 23 sitios prioritarios para la conservación, de los cuales el número 7 corresponde al “**Contrafuerte Cordillerano**” ubicado en las comunas Lo Barnechea, Las Condes, La Reina, Peñalolén, **La Florida** y Puente Alto.

**Destaca por su cercanía a la ciudad, lo cual es muy positivo en términos de servicios ambientales entregados a ésta**, pero dicha cercanía ha generado una alta presión y degradación sobre sus ecosistemas, lo cual hace necesaria su protección y conservación.

---

<sup>22</sup> Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, cooperación alemana para el desarrollo.

El área de modificación es parte del sitio prioritario.

#### **E.4.3.-Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana**

Cuando en el año 1996 se declara a la Región Metropolitana como zona saturada por Ozono, material particulado respirable (MP10), partículas totales en suspensión y monóxido de carbono, y zona latente por dióxido de nitrógeno, nace este instrumento como un esfuerzo de gestión ambiental a nivel regional.

Actualizado por primera vez el año 2004 para luego pasar a una segunda etapa de revisión el año 2007, traza metas de calidad de aire y emisiones proyectadas al año 2010. Actualmente se encuentra vigente y posee dentro de sus ejes el fortalecimiento del monitoreo de la calidad del aire, control de emisiones de la industria, control de emisiones del transporte, control de emisiones de leña-biomasa, pronóstico de calidad del aire e iniciativas gubernamentales en pro de un aire más limpio.

Con el fin de contribuir a la descontaminación en la ciudad de Santiago, el artículo 60 establece como meta *“aumentar la dotación de áreas verdes por habitantes, lo que implica la implementación y mantención de 1800 nuevas hectáreas de espacios verdes urbanos”*.

**Considerando la función ecológica del bosque nativo urbano, la creación de área protegida y/o protección de la urbanización de la precordillera comunal de La Florida se ajusta a los objetivos y metas en materia de descontaminación de la región, además de aportar con las hectáreas de área verde proyectadas.**