

ESTUDIO DE RIESGO

PLAN REGULADOR COMUNAL DE COLBÚN

Localidad de Colbún

Localidad de Panimávida

Localidad de Borde Lago



ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE COLBÚN

Colbún, 8.4.2013 -fecha archivo-

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
2	ÁREA DE ESTUDIO.....	6
3	OBJETIVO	8
3.1	OBJETIVO GENERAL	8
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
4	ALCANCES Y LIMITACIONES	8
5	MARCO JURÍDICO.....	9
6	METODOLOGÍA.....	11
	PASOS METODOLÓGICOS.....	11
7	DIAGNÓSTICO O CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA	12
8	Trabajo de Terreno	15
9	Determinación de Áreas Susceptibles	19
10	MARCO TEÓRICO.....	19
10.1	RIESGO, PELIGRO Y SUSCEPTIBILIDAD	19
10.2	PROCESOS ENDÓGENOS Y EXÓGENOS DE LA TIERRA.....	20
11	DIAGNÓSTICO O CARACTERIZACIÓN GENERAL.....	22
11.1	CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	22
11.2	MARCO GEOLÓGICO	24
12	MARCO GEOMORFOLÓGICO	30
12.1	SUELOS	34
13	CONDICIONES DE TERRENO (elevación, exposición y pendientes)	38
13.1	PENDIENTES	39
13.2	EXPOSICIÓN	41
14	CARACTERIZACIÓN Y CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS ANALIZADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	43
14.1	FENÓMENOS ENDÓGENOS.....	43
14.1.1	SISMICIDAD	43
14.1.2	VOLCANISMO.....	56
15	FENÓMENOS EXÓGENOS	61
15.1	INUNDACIÓN.....	61
15.2	MOVIMIENTOS EN MASA.....	65
15.2.1	DESCRIPCIÓN	65

16 ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD FRENTE A PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	71
16.1 PELIGRO NO ZONIFICABLE	71
16.1.1 PELIGRO SÍSMICO	71
16.2 PELIGROS VOLCÁNICOS	72
16.3 PELIGROS ZONIFICABLES	74
16.3.1 PELIGRO DE INUNDACIÓN	74
16.4 PELIGRO MOVIMIENTOS EN MASA	82
17 SÍNTESIS PELIGROS ANALIZADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	86
18 RECOMENDACIONES.....	89
18.1 GENERALES	89
18.2 INCORPORACIÓN AL PLAN.....	90
19 REFERENCIAS	91
20 ANEXO 1: LÁMINAS SÍNTESIS.....	93

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen Nº 1: Ubicación General de las Localidades.....	7
Imagen Nº 2: Pasos Metodológicos	11
Imagen Nº 3: Puntos de Control - Localidad de Colbún.	16
Imagen Nº 4: Puntos de Control - Localidad de Panimavida.....	17
Imagen Nº 5: Puntos de Control - Localidad de Panimavida.....	18
Imagen Nº 6: Gestión de Riesgos y eventos de desastre.....	20
Imagen Nº 7: Geología Escala Comunal	26
Imagen Nº 8: Carta Hidrogeológica, Hoja Talca	27
Imagen Nº 9: Perfil de terreno - Lecho inundación estero Machicura	31
Imagen Nº 10: Series de Suelo en el Área de Estudio.	37
Imagen Nº 11: Modelo de Elevación Digital	38
Imagen Nº 12: Pendiente Localidad de Borde Lago	41
Imagen Nº 13: Exposición de laderas Localidad de Borde Lago.	42
Imagen Nº 14: Anillo de Fuego del Pacífico.....	44
Imagen Nº 15: Convergencia de Placas.	44
Imagen Nº 16: Sismo de magnitudes 5 a 8 desde el año 1973 al año 2012.....	46
Imagen Nº 17: Peligros Volcánicos.	61
Imagen Nº 18: Áreas de inundación	62
Imagen Nº 19: Zonificación de Peligros Volcánicos en el Área de Estudio.	73
Imagen Nº 20: Áreas de Inundación o de preservación en Embalse Colbún – sector Borde Lagos	77
Imagen Nº 21: Áreas de Inundación en Embalse Machicura – Colbún (PRC Colbún y PRI Colbún Machicura)	78
Imagen Nº 22: Áreas de Susceptibilidad - Peligro de Inundación / Colbún.....	80
Imagen Nº 23: Áreas de Susceptibilidad Peligro de Inundación – Panimávida	81

Imagen N° 24: Áreas de Alta Susceptibilidad frente a Movimientos en Masa.....	84
Imagen N° 25: Áreas de Susceptibilidad por Peligros de Movimiento en Masa Borde Lago. (Ver Lámina N° 2).....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Datos climáticos	22
Tabla N° 2: Precipitaciones de Tormenta en Estación Colbún (Maule Sur).....	23
Tabla N° 3: Umbrales de Pendientes.	39
Tabla N° 4: Eventos críticos y caudales máximos instantáneos asociados al embalse Colbún. .	63
Tabla N° 5: Fechas de crecidas del río Maule.	64
Tabla N° 6: Clasificación de umbrales geomorfológicos asociados a fenómenos de movimientos en masa.	69
Tabla N° 7: Síntesis Peligro Inundación.	86
Tabla N° 8: Síntesis Peligro Movimientos en Masa	87
Tabla N° 9: Síntesis Peligro Sísmico	87
Tabla N° 10: Síntesis Peligro Volcánicos.....	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Superficies por Tipo de Pendientes en Borde Lago.	40
Gráfico N° 2: Caudales año 2011 – 2012 Embalse Colbún	79

1 INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo, a través de la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo de la Región del Maule, ha solicitado la actualización y adecuación de los Planes Reguladores Comunales (PRC) de la región, con la finalidad de incorporar las exigencias requeridas por la ley de bases de medio ambiente nº 20.417, en la que se exige la incorporación de la evaluación ambiental estratégica (EAE) a Planes Reguladores Comunales y a otros Instrumentos de Planificación territorial (según lo señalado en el art. 7 bis de ley 20.417).

En este contexto, Colbún es una de las comunas que requiere de este instrumento de planificación territorial en tres de sus localidades (Colbún, Panimávida y borde Lago), debido al constante crecimiento de la población en áreas con características urbanas y en las cuales se proyecta una mantención de estas condiciones y/o un aumento, por lo cual se considera necesario incluirlas como áreas urbanas para normar y establecer condiciones apropiadas para habitar en el territorio, referidas a adecuadas condiciones de seguridad e higiene de los edificios y espacios urbanos.

Las exigencias legales para la implementación de dicho instrumento (PRC) incorpora estudios especiales entre los que se encuentran: estudio de equipamiento, factibilidad sanitaria, de riesgos y de capacidad vial, los cuales apuntan a cumplir con los objetivos de planificación urbana: uso del suelo o zonificación, localización del equipamiento comunitario, jerarquización de la estructura vial, fijación de límites urbanos, densidades y determinación de prioridades en la urbanización (expansión de la ciudad), en función de la factibilidad de ampliar o dotar de redes sanitarias y energéticas.

El presente documento corresponde al estudio de riesgos, el cual tiene por objetivo reunir la información necesaria para zonificar áreas de riesgos en las superficies urbanas, de acuerdo a lo señalado por el art. 2.1.17 de la Ordenanza de Urbanismo y Construcciones (LGUC), en las localidades de: Colbún, Panimávida y Borde Lago. De este modo contar con antecedentes y localización de las condicionantes física – naturales que generan riesgos para la población urbana, y así fijar normas urbanísticas adecuadas a cada riesgo identificado, permitiendo la localización de usos de suelo residenciales o de equipamiento con restricciones, orientado a mitigar los eventuales riesgos o establecer zonas de amortiguación, es decir definir una zonificación de usos de suelo que otorgue seguridad a la población urbana.

2 ÁREA DE ESTUDIO

La comuna de Colbún se ubica al sur oriente de la Región del Maule (VII) en la provincia de Linares, entre los 35° 37' y 36° 29' latitud sur y los 70° 22' y 71° 26' longitud Oeste. Su superficie total es de 2.900 km², se caracteriza por poseer relieves cordilleranos con actividad volcánica, destacando el complejo centro volcánico Laguna del Maule, superficies precordilleranas con alturas bajo los 1.500 m.s.n.m y sector de valles. (Ver Imagen N° 1)

El límite administrativo se define por los relieves cordilleranos que estructuran la cabecera de la cuenca del río Melado, aguas abajo el límite norte corresponde al río Maule y el sur por el río Putagán, mientras que el límite poniente corresponde a límites prediales.

La comuna se inscribe en la cuenca del Río Melado, uno de los afluentes del río Maule, cuyo origen se encuentra entre los 2.500 a 3.000 m.s.n.m en los cerros: San Pablo, San Pedro, Cerro Negro, de Moralitos, de Cisternas, los Chicharrones y Las Callanas y Achibueno, su flujo es alimentado además por las quebradas que surgen de las lomas y sierras, estribaciones de la cordillera de los Andes.

En el sector precordillerano de la comuna las alturas descienden bajo los 1.500 m.s.n.m. entre las principales alturas se encuentran: Cerró el Roble, Cerro el Potrerillo, Cerro Las Cardones, Cerro Lagunillas, Cerro Descabezado, entre otros.

En el sector de confluencia con el río Maule al sur se localiza el embalse Colbún y Machicura, cuya principal función es la producción de energía para el funcionamiento del sistema interconectado central, por lo cual posee un rol destacado en términos energéticos a nivel nacional, además de proveer de aguas de riego a la comuna.

Hacia el valle del Maule se encuentran las principales localidades pobladas como es el caso de Colbún y Panimávida, en ellas se mantiene un ambivalente estado entre la ruralidad y las condiciones urbanas. En este sector destacan la producción agrícola hortofrutícola, con un amplio sistema de regadío el cual es proveído por los embalses que se encuentran aguas arriba.

Localidades en estudio

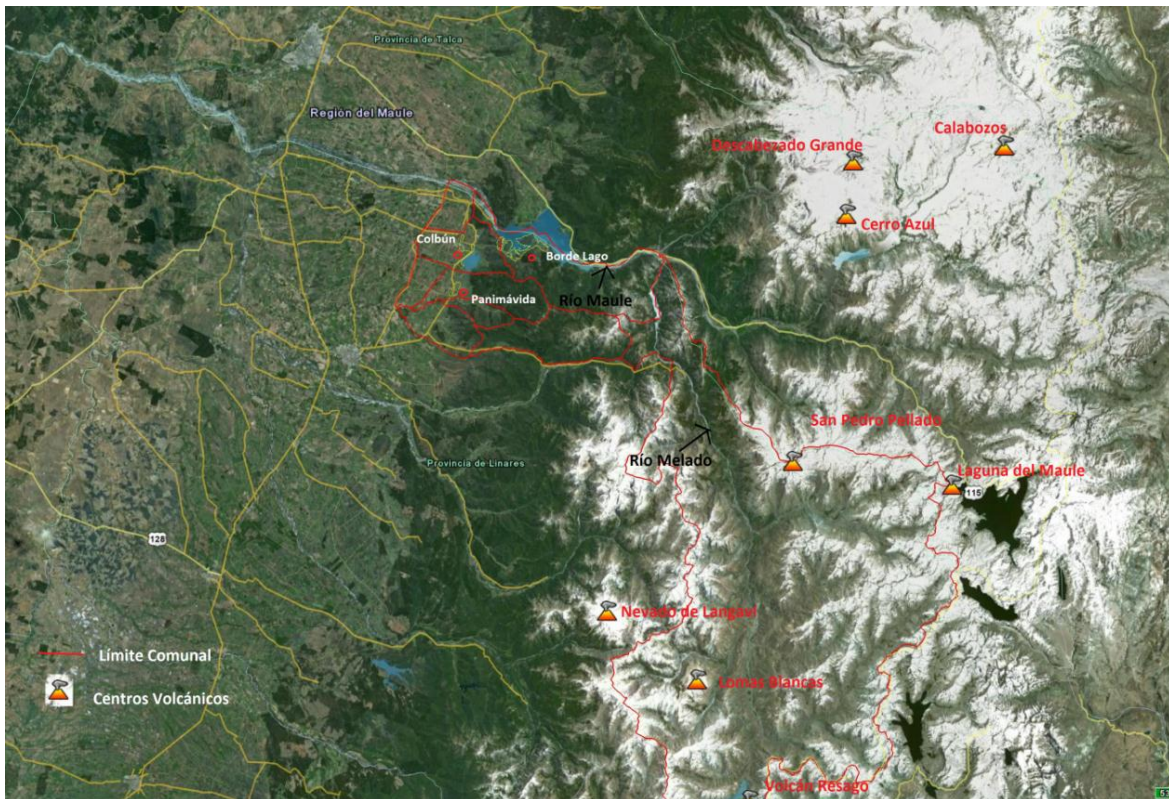
Las localidades que se encuentran en estudio, dadas sus condiciones de urbanización y a las proyecciones futuras de población y desarrollo urbano son:

- Colbún, es cabecera comunal, ya que ahí se encuentra el principal centro administrativo de la comuna. Se localiza en el sector del valle, bajo el embalse Machicura.
- Panimávida se encuentra a 6 Km. de Colbún, en el camino pavimentado que une Colbún a Linares. Al igual que Colbún se encuentra en superficies de valle. Destaca

por su carácter agrícola y turístico, encontrándose este último relacionado a la existencia de aguas termales.

- Borde Lago, se encuentra al oriente la comuna en torno al Embalse Colbún. Posee superficies con alturas inferiores a los 1.000 m.s.n.m.

Imagen N° 1: Ubicación General de las Localidades.



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Google Earth (2006), 2012.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar y delimitar las áreas susceptibles a peligros naturales, de acuerdo a aquellos identificados por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), las cuales serán incorporadas a la zonificación de usos de suelo como Áreas de Restricción en el Plan Regulador Comunal de Colbún, en las localidades de Colbún, Panimávida y Borde Lago.

Esta delimitación se realizará a partir de un estudio que caracterice el área y permita justificar en términos técnicos las condicionantes físicas naturales del territorio.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Catastro y descripción de los principales peligros geológicos (endógenos y exógenos) que afecten al área de estudio.
- Reconocer los factores condicionantes y detonantes de cada uno de los peligros identificados en las localidades según el artículo 2.1.17 de la OGUC.
- Delimitación de los principales peligros geológicos (endógenos y exógenos) que afecten al área de estudio.

4 ALCANCES Y LIMITACIONES

Para conseguir los objetivos propuestos se realizó una revisión de referencias bibliográficas, antecedentes históricos, fotointerpretación de fotos aéreas (2002) e imágenes satelitales (2006), visitas a terreno y la evaluación de los factores condicionantes para zonificar las áreas susceptibles a ser afectadas por peligro geológico.

La escala de trabajo corresponde a 1:5.000, la mayor parte de la información referida a la información geológica y de suelos se encuentra representada a escalas 1:1.000.000, sin embargo esta situación fue corroborada con estudios locales específicos.

Para el análisis se utilizaron los conceptos de susceptibilidad y de factores condicionantes, ya que no se realizó un análisis riguroso de las consideraciones socioeconómicas locales. El resultado corresponde a la delimitación de áreas de susceptibilidad de cada uno de los peligros geológicos reconocidos en cada una de las localidades (Colbún, Panimávida y Borde Lago) a una escala 1: 5.000., reconociendo en cada uno de ellos factores condicionantes (geológicos, suelos, geomorfológicos, etc.)

5 MARCO JURÍDICO

El fundamento de las proposiciones del Plan, sus objetivos, metas y justificación, corresponden de manera específica a los respectivos estudios especiales de capacidad vial, equipamiento comunal, de factibilidad y de riesgos.

El estudio de Riesgos con sus respectivas áreas de restricción y condiciones están contempladas en los artículos 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC).

De acuerdo a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) en el artículo 2.1.17 los planes reguladores comunales podrán definir áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial a los asentamientos humanos.

Las áreas de restricción se pueden definir como:

- Zonas no edificables: entendidas como aquéllas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones.

En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias. corresponderán a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gaseoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente.

- Áreas de riesgo, las cuales corresponden a aquellos territorios en los que con previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos.

Las "áreas de riesgo" se determinarán en base a las siguientes características:

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

La definición de áreas de riesgo para el presente informe se ajustará a aquellas definidas por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) mencionadas con anterioridad, cuya finalidad es establecer normas urbanísticas adecuadas en aquellas superficies coincidentes con áreas de riesgos con el fin de mitigar o disminuir los riesgos.

De acuerdo a la OGUC, para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un estudio fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases generales del Medio Ambiente, cuando corresponda. Este tipo de proyectos podrán recibirse parcial o totalmente en la medida que se hubieren ejecutado las acciones indicadas en el referido estudio.

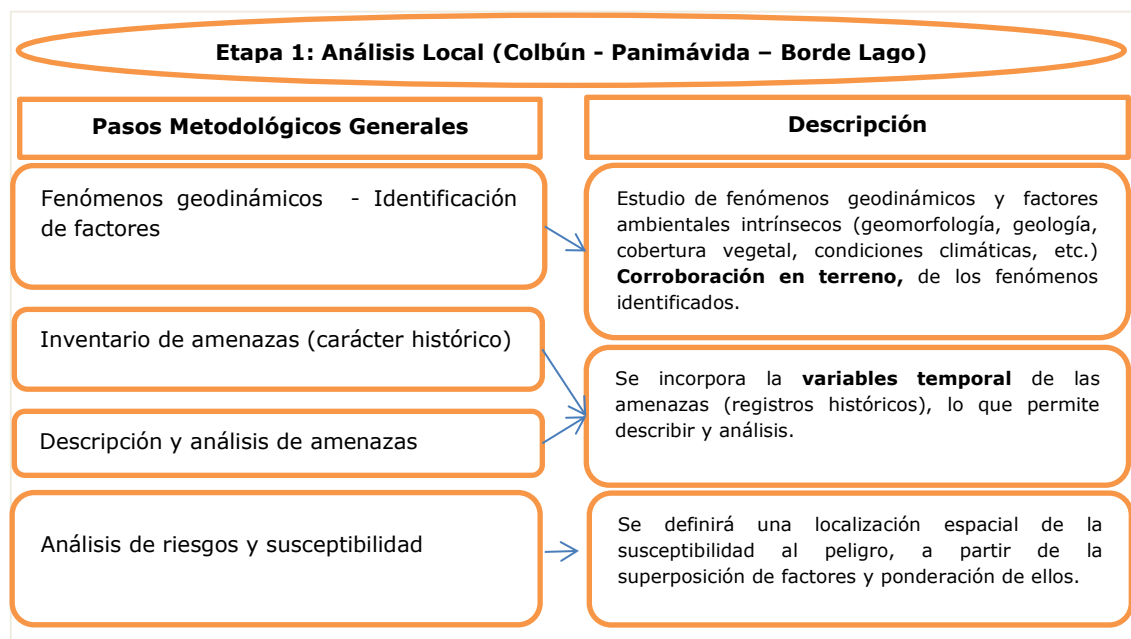
6 METODOLOGÍA

La metodología a utilizar se enfoca en la caracterización y análisis de los peligros geológicos presentes en el área de estudio o que ejercen influencia en su superficie (a pesar de que su fuente de origen se encuentre fuera del área en estudio), con la finalidad de establecer una zonificación de áreas susceptibles a peligros o amenazas.

PASOS METODOLÓGICOS

Los pasos metodológicos que corresponden al proceso de identificación de áreas susceptibles a ser afectadas por peligros geológicos se presentan en la Figura N° 1: Pasos Metodológicos, cada uno de los pasos se describen con mayor detalle a continuación.

Imagen N°2: Pasos Metodológicos



Fuente: Elaboración Propia, 2012

7 DIAGNÓSTICO O CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA

Previo a la determinación de áreas susceptibles frente a peligros, se procedió a la elaboración de una etapa de diagnóstico o caracterización del área en estudio con la finalidad de analizar variables de trascendencia en términos cualitativos y cuantitativos.

Para ello se hizo una revisión de antecedentes bibliográficos correspondientes al área de estudio, además del procesamiento de datos digitales para la elaboración de modelos digitales de elevación.

Entre las variables que se analizaron se encuentran:

- **Clima:** Permite caracterizar las condiciones climáticas y establecer las condiciones favorables para la generación de procesos morfodinámicos peligrosos en el área de Piedmont Cordillerano.

Se recopilaron datos de precipitaciones máximas en 24 horas para la estación Maule como antecedente para la caracterización climática del área de estudio entre los años 1996 – 2012. La estación es Colbún (Maule Sur).

Estación	Código BNA
Colbún (Maule Sur)	07358008 – 0

Fuente: Dirección general de Aguas.

- **Caracterización Geológica:** Para la descripción geológica del área de estudio se utilizó el mapa geológico de Chile (SENAGEOMIN, 2002) escala 1:1.000.000 además de la Carta Hidrogeológica de Talca 1:100.000, y como complemento se utilizó la información contenida en estudios del área de Colbún en torno al embalse Colbún – Machicura. Entre los estudios se encuentran:
 - Cenozoic tholeiitic volcanism in the Colbún area, Linares. Precordillera, central Chile (35°35'-36°S). (Vergara M. et al, 1999). Revista Geológica Chile, Santiago, v. 26, n. 1, julio.
 - Proyecto hidrogeológico Colbún Machicura. Estudio Estratigráfico Estructural. Instituto de Investigaciones Geológicas. 1974

- **Suelos:** Para la descripción de las condiciones de suelos existentes en el área de estudio, se utilizó el estudio Agrológico de la VII región (1997). Esta variable permite identificar el tipo de perfil de suelo, origen y las limitaciones asociadas a cada asociación de suelo presente en el área.
- **Caracterización Geomorfológica:** Para la caracterización geomorfológica se utilizaron los datos Geológicos y de suelos, además de ellos se realizó un análisis y fotointerpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas. Para su descripción y análisis se realizó un análisis de vertientes y de las formas deposicionales de base o de contacto de valle, con la finalidad de establecer la evolución y dinámica actual de las geoformas identificadas. Además de ello se realizó una descripción de las condiciones hidrológicas y aspectos relevantes para el estudio, relacionados con fenómenos peligrosos, (Índices morfométricos relacionados con la agresividad de la evacuación de cuencas, etc.)
- **Condiciones de elevación, exposición de laderas y pendientes:** Para la determinación de estas variable se elaboró un modelo digital de elevaciones (MDE) a partir de curvas de nivel cada 2 metros, levantadas a partir de puntos de elevación registrados en torno a cada una de las localidades.

Modelo Digital de Elevaciones (MDE): como estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable continua y cuantitativa, permite la elaboración de una carta de altitud y de exposición (FELÍCISIMO, 1999).

Corresponde a una representación espacial de elevaciones, cuyo procesamiento mediante la utilización de algoritmos permite la formalización espacial de otras variables de terreno como son las pendientes, exposición, etc. La representación final corresponde a imágenes raster, las cuales se estructuran a partir de celdas o píxeles en los cuales existe información referida a las variables tratadas por ejemplo: exposición norte, sur, este u oeste.

Para la elaboración de este modelo se procedió a la utilización de curvas de nivel cada 2 metros, las cuales bajo el método de triangulación denominado TIN (Extensión 3D análisis Arc Gis) permitieron la elaboración del modelo digital que permitió el cálculo de exposición y pendientes.

Estas variables fueron utilizadas para la definición de características geomorfológicas en la etapa de diagnóstico, además de ello representan factores condicionantes de fenómenos de riesgo, como es el caso de los fenómenos de remoción en masa, en función de los umbrales que desencadenan rodados y deslizamientos.

En cada uno de los fenómenos a estudiar se describió el peligro geológico, luego se identificaron los factores físicos que intervienen en el área comunal, de ellos se estableció un peso relativo el que a través de la herramienta SIG se superpuso y se obtuvo la sumatoria de ellos estableciendo así distintos niveles de susceptibilidad a determinados peligros geológicos.

Eventos Peligrosos

Para el área en estudio los eventos peligrosos a los cuales se encuentran expuestas las localidades, en función de las condiciones físicas de su localización (Colbún y Panimávida – valle fluvial / Borde Lago – Precordillera) son los siguientes:

1. Actividad volcánica
2. Actividad sísmica
3. Inundaciones
4. Movimientos en masa

Los primeros fenómenos son considerados a una escala mayor de trabajo debido a la fuente de origen asociada y a las condiciones estructurales del territorio (sistema de placas continentales). En cada uno de ellos existen registros o antecedentes históricos los cuales se utilizarán para describir las condiciones de riesgo y establecer su frecuencia y la probabilidad de ocurrencia de dichos fenómenos.

Los antecedentes históricos y registros de inundaciones como de fenómenos de remoción en masa, también serán utilizados para describir y comprender la condición de cada una de las localidades afectadas por dicho evento. Se considerarán para su determinación variables principalmente geomorfológicas asociada al lecho mayor del cauce, condiciones de suelo y umbrales de pendientes

Análisis y fotointerpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales.

La fotointerpretación permitió la identificación y formalización espacial de las condiciones geomorfológicas del área, las que a su vez permiten comprender la dinámica pasada y actual del territorio. De la misma manera permite identificar mediante la comparación de imágenes en distintos periodos los cambios ocurridos en el pasado hasta la actualidad y así establecer conclusiones en función de los cambios de coberturas, fenómenos de peligros registrados con anterioridad y la intervención antrópica.

Para la zonificación de condiciones geomorfológicas se utilizaron estereoscopio que permitió identificar en las fotos aéreas las superficies a partir de la diferenciación de niveles apoyado por la visión en tres dimensiones de dichas imágenes.

Las imágenes utilizadas corresponden a:

- Fotografías aéreas escala (1: 8.000) vuelo SAF año 2002 de Borde Lago, Panimávida y Colbún.
- Imágenes Google Earth (2006).

8 Trabajo de Terreno

El trabajo de terreno contempla la corroboración y evaluación de los antecedentes recopilados en la fase de identificación de factores y fenómenos geodinámicos presentes en el área de estudio (Colbún, Panimávida y Borde Lago), referidas principalmente a las áreas de inundación (lecho mayor del río) y superficies afectadas por fenómenos de remoción en masa.

Existen aquí dos pasos relevantes:

- Identificación de áreas críticas o de interés de acuerdo al área local requerida para el estudio (Análisis de riesgo local).
- Medios de Corroboración: Evaluación en terreno las condiciones geomorfológicas (dinámica de vertientes y formas de depósito), toma de muestras fotográficas de características especiales (formas de depósito, incisión de talwegs, calicatas, perfiles de terreno etc.).

Los terrenos realizados en el área de estudio fueron:

- 20 de Agosto denominado inspección general. Se realizó en compañía de personal de la SEREMI DEL Ministerio de Vivienda y Urbanismo de la VII Región. Este terreno tenía como objetivo identificar los principales problemas que afectan el área de estudio, corroboración de las geoformas presentes en terreno (terrazas fluviales, conos aluviales, formas de remoción en masa) e identificación de las características de la zonificación urbana. Reconocimiento de los lechos de esteros Machicura y Caballo Blanco, condiciones actuales y lechos mayores (diferenciación de cotas). Además se identificaron sectores urbanos recientes y las condiciones actuales de la ciudad (Imagen N° 3, 4 y 5: Puntos de Control visitados en terreno)
- 30 de agosto, terreno que consistió en consultas técnicas referidas a las temáticas de riesgo e inundación en la localidad e Colbún. Estas consultas se realizaron debido a la situación especial que afecta a la localidad tanto por el desborde de canales como por el tema de evacuación de aguas lluvias. La finalidad de esta consulta es reconocer la visión de actores locales relevantes, como es el caso de la asociación de canalistas de riego del Maule, y la definición precisa de cursos de aguas naturales e intervenidos en la localidad, y así comprender la dinámica hidrológica natural.

Imagen N° 3: Puntos de Control - Localidad de Colbún.



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Google Earth (2006).

Imagen N°4: Puntos de Control - Localidad de Panimavida



Fuente: Elaboración propia en base a Imágenes Google Earth (2006), 2012.

Imagen N°5: Puntos de Control - Localidad de Panimavida



Fuente: Elaboración propia en base a Imágenes Google Earth (2006), 2012.

9 Determinación de Áreas Susceptibles

Para la determinación de áreas susceptibles se definieron para cada uno de los peligros factores desencadenantes, los cuales se encuentran relacionados con la dinámica natural de las condicionantes naturales. Entre éstos se encuentran:

- Elevación, pendientes, exposición de laderas y dirección de drenaje. Se elaboraron a partir del modelo digital de elevaciones (MDE) mediante el cálculo de las variables mencionadas con una resolución de celdas de 1 metro. (Ver más detalles en Diagnóstico o Caracterización del Área (1.5.1.1.): Condiciones de elevación, exposición de laderas y pendientes)
- Condiciones geológicas y de suelos. En base a estudios locales, carta geológica de Chile y caracterización de suelos de acuerdo al estudio Agrológico de la VII Región. (Ver más detalles en Diagnóstico o Caracterización del Área (1.5.1.1.): Caracterización Geológica y Suelos).

10 MARCO TEÓRICO

10.1 RIESGO, PELIGRO Y SUSCEPTIBILIDAD

El estudio de riesgos consiste en el análisis, la caracterización y localización de procesos naturales extremos que pueden representar una amenaza potencial o daño a la población y al ambiente que les rodea. El riesgo se define a partir de dos factores relevantes, estos son:

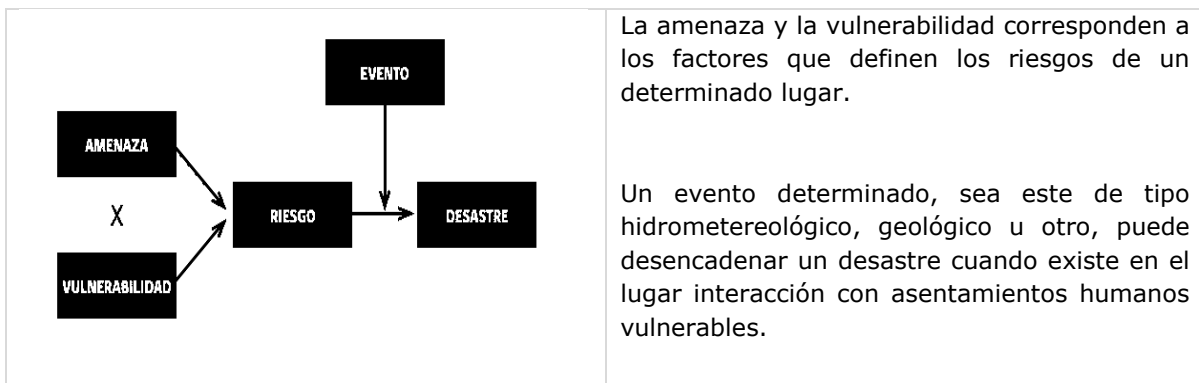
- Amenaza o peligro: (factor externo del riesgo) Corresponde a la potencial ocurrencia de un fenómeno natural que se manifiesta en un lugar específico, con una magnitud e intensidad determinadas. (Arenas F., Hidalgo R. y Lagos M.,2010) Aquí es clave la recopilación de antecedentes históricos, ya que estos permiten comprender el fenómeno, su magnitud y frecuencia.

La estimación de la amenaza o peligrosidad implica necesariamente una consideración de la variable temporal, es decir, el período de recurrencia de un evento. La amenaza o peligro para períodos de retorno infinitos tiende a ser similar a la susceptibilidad. De acuerdo a lo anterior y considerando que no se cuenta con datos suficientes para estimar períodos de retorno, se zonificará la susceptibilidad frente a cada uno de los peligros identificados en el área, para lo cual se consideran los factores desencadenantes del fenómeno estudiado.

- Vulnerabilidad (factor interno) representa la predisposición de un individuo, comunidad u objeto a ser dañado o susceptible por un evento. Incorporando en este aspectos la valoración económica y/o social (valoración específica).

Por lo tanto, el riesgo corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un proceso natural extremo, potencialmente peligroso para la población o comunidad. Se determina a través de un análisis de las amenazas y vulnerabilidad en una población o una unidad de asentamientos y así se estima los niveles de riesgo para una determinada unidad en estudio. Un elemento clave a considerar es la recopilación de antecedentes históricos, ya que estos permiten comprender el fenómeno, su magnitud y frecuencia, siendo capaz de causar daño a las personas, sus bienes y su infraestructura.

Imagen N° 6: Gestión de Riesgos y eventos de desastre.



Fuente: Elaborado por GTZ, (Echborn, 2001).

Otro concepto relevante para comprender los riesgos y su representación espacial es la susceptibilidad.

La susceptibilidad es la posibilidad de que una superficie o un territorio sea afectado por una amenaza natural. La representación espacial de estas posibilidades de afección corresponde a los mapas de susceptibilidad, que representan cada uno de los peligros estudiados. Para ello se deben conocer los factores que operan en cada uno de los fenómenos estudiados y la dimensión histórica de ocurrencia de dichos fenómenos peligrosos en el área de estudio.

10.2 PROCESOS ENDÓGENOS Y EXÓGENOS DE LA TIERRA

El presente estudio analizará los **fenómenos geodinámicos**, es decir aquellos procesos relativos a movimientos que experimenta la Tierra tanto internos (sismicidad) como externos (entre la interacción de la hidrosfera y/o la atmósfera sobre la corteza terrestre). El estudio de estos procesos permite comprender la ocurrencia de los fenómenos de peligro, sus causas y factores, condiciones en las que se desarrollan y sus efectos sobre la superficie terrestre.

Para el área en estudio se identificaron los siguientes, en conformidad con la denominación otorgada por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) en el artículo 2.1.17:

- **Procesos exógenos o externos de la Tierra:** Corresponden aquellos fenómenos que actúan sobre la superficie terrestre, son esencialmente destructores del relieve originario de la superficie. Entre ellos se pueden mencionar movimientos en masa, procesos fluviales, meteorización, fenómenos eólicos (huracanes) etc. De acuerdo a las condiciones ambientales que operan en el terreno de estudio se considerarán la identificación y análisis de los siguientes:

Áreas inundables o potencialmente inundables: Se definen como flujo o invasión de agua, por exceso (desbordamiento) de escurrimientos superficiales o por su acumulación en terrenos planos, ocasionada por falta o insuficiencia de drenaje tanto natural como artificial. (ERN, 2011) Se incluyen en ello desbordes fluviales, napas freáticas (permeabilidad), acumulación de aguas lluvias, flujo no canalizados, entre otros.

Áreas propensas a ser afectadas por procesos de remoción en masa: Constituyen una familia de procesos que abarcan desde aquellos netamente gravitacionales, como desplomes y derrumbes de masas rocosas, hasta aquellos netamente fluidales como corrientes de barro, procesos aluvionales. (Departamento de investigación y desarrollo de la Universidad de Chile, 2002).

- **Procesos endógenos o internos de la Tierra:** Comprende a todos aquellos procesos que operan bajo la superficie terrestre, los cuales corresponden a las manifestaciones de la energía interna de la Tierra la que crea nuevas estructuras y da origen a fenómenos tectónicos (solevantamiento o depresiones topográficas, formación de cadenas montañosas), fenómenos sísmicos y volcánicos. Para el área en estudio se estudiarán:

Áreas con peligro de ser afectadas por sismicidad: Los sismos se definen como un proceso paulatino, progresivo y constante de liberación súbita de energía mecánica debido a los cambios en el estado de esfuerzo, de las deformaciones y de los desplazamientos resultantes, regidos además por resistencia de los materiales rocosos de la corteza terrestre, sea en zonas de interacción de placas como dentro de ellas. (ERN, 2011)

Áreas con peligro volcánico: Corresponden a aquellos peligros derivados de la acción volcánica, entre los cuales podemos encontrar flujos de lahares, desplome de cono volcánico, pluma de tefra, etc.

11 DIAGNÓSTICO O CARACTERIZACIÓN GENERAL

11.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

La cuenca del río Maule, se encuentra bajo la influencia de un clima mediterráneo. Es decir, existen al menos dos meses consecutivos del verano con déficit hídrico. La condición geomorfológica general determina la existencia de climas locales que varían de húmedo a subhúmedo, reflejados en los montos de precipitación.

Las variaciones en términos de precipitaciones sumadas a las diferencias térmicas, definen en su conjunto dos tipos bioclimáticos en la cuenca, de acuerdo al estudio de la Cuenca del Río Maule (DGA, 2004), estos son:

- a) Mediterráneo pluviestacional – oceánico: influyendo los sectores costeros, la Cordillera de la Costa, el Valle Central y los pisos inferiores de la Cordillera de los Andes, bajo los 2.000 m.s.n.m. Áreas que representan las características y ubicación de Colbún y Panimávida.
- b) Mediterráneo pluviestacional – continental: se encuentra en las zonas andinas altas por sobre los 2.000 m.s.n.m, cuyo régimen ombrotérmico está dado por el efecto que ejerce la altitud sobre la continentalidad. Si bien Borde Lago se encuentra bajo las alturas mencionadas como límite, esta zona posee condiciones climáticas bastante diferentes a la zona de valles por tal motivo se integra a este grupo, formando parte de zonas de transición.

A continuación se presentan datos climáticos relevantes para estaciones representativas de la zona cordillerana - precordillerana (Cordillerilla) y valles interiores centrales (Marengo) de la Región del Maule, las que permiten caracterizar a las localidades de Borde Lago y Colbún - Panimávida, respectivamente:

Tabla N° 1: Datos climáticos

Datos	Estación Marengo	Estación Cordillerilla
Temperaturas Máxima (° C)	25,1	24
Temperaturas Mínima (° C)	9,2	8,9
Humedad relativa (%)	67	65
Precipitaciones mes (mm)	17,3	20,06
PP. Acumuladas (desde Mayo)	753	900
Evapotranspiración (mm)	163,7	156

*PP: Precipitaciones

Fuente: Elaboración propia extraída de Boletín Agroclimático Regional, Región del Maule (junio, 2012).

Precipitaciones máximas en 24 horas.

A continuación se expone una serie de datos extraídos de la estación Colbún (Maule sur) que entregan antecedentes de las precipitaciones de tormenta en el área de estudio. (Ver Tabla N° 2)

La estación Maule sur se localiza a un altura de 280 msnm, en las coordenadas 35° 37' latitud Sur - 71° 24' Longitud Oeste. Existen registros en esta estación desde el año 1960 en adelante, a modo de resumen se presentan el periodo más reciente para señalar los periodos en lo que existió casos excepcionales en términos climáticos, con precipitaciones superior a lo 10 milímetros.

Tabla N° 2: Precipitaciones de Tormenta en Estación Colbún (Maule Sur).

Año	Precipitaciones > 10mm (días)	Precipitaciones máximas mensuales (24 h) mm
1970	31	69 mm / Julio
1971	23	80 mm / Mayo
1972	37	200 mm / Mayo
1973	26	49 mm / Mayo
1974	28	130 mm / Junio
1975	29	135 mm /Julio
1976	25	50 mm / junio
1977	15	58 mm / Agosto
1978	30	85 mm/ Julio
1979	35	65 mm / Julio
1980	43	133 mm / Junio
1981	35	87 mm / Mayo
1982	49	75 mm / Mayo
1983	24	108 mm / junio
1984	42	120 mm / Julio
1985	23	21 mm/ mayo
1986	35	92 mm/ Mayo
1987	30	73 mm/ julio
1988	24	75 mm / junio
1989	23	70 mm/ julio
1990	24	70 mm/ Marzo
1991	33	87 mm / Mayo
1992	37	68 / junio
1993	29	51,50 mm / mayo
1994	29	208,5 mm/ julio
1995	30	85 mm / julio
1996	18	46 mm / Agosto
1997	42	83 mm/ Junio
1998	11	52 mm / Abril
1999	28	69 mm / junio
2000	32	51 mm / junio
2001	30	97 mm/ Julio
2002	43	65 mm/ Mayo

Año	Precipitaciones > 10mm (días)	Precipitaciones máximas mensuales (24 h) mm
2003	25	48 mm/ Mayo
2004	26	93 mm/ julio
2005	42	84 mm/ Junio
2006	35	88 mm/ junio
2007	22	115 mm/ Julio
2008	28	83 mm/ Mayo
2009	28	93 mm / Agosto
2010	24	46 mm/ Junio
2011	27	57 mm/ Junio

Fuente: Centro de Información de Recursos hídricos. DGA (2012.)

En color amarillo se marcan las fechas que poseen mayores intensidad de precipitaciones. Estos periodos coinciden con aquellos identificados a nivel nacional con temporales o fenómenos con anomalías climáticas principalmente vinculados con el fenómeno del Niño.

11.2 MARCO GEOLÓGICO

La caracterización geológica del área de estudio, se realizó en base a la carta hidrogeológica hoja Talca escala 1:100.000 (HAUSSER, 1996) y el mapa geológico de Chile escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2002), además de trabajos a escala local (Vergara et al., 1999) y del Instituto de Geología (1974).

Se presenta a nivel comunal la geología identificando las localidades en estudio. El área comunal posee presencia de secuencias sedimentarias de tipos fluviales y aluviales (remoción en masa), secuencias volcánicas caracterizadas en el área de estudio por la Formación Coya Machalí, centros volcánicos y secuencias sedimentaras marinas del Jurásico Superior.

La formación Coya Machalí alimenta las superficies deposicionales ubicadas bajo ella en los interfluvios, valles intermontanos y valle fluviales. Estas formaciones rocosas con aquellas que se encuentran en las superficies de mayor altura de la comuna (Graneodoritas, rocas intrusivas y basaltos y rocas pirocláticas) corresponden a superficies actuales de erosión que alimentan los valles intermontanos y las superficies basales.

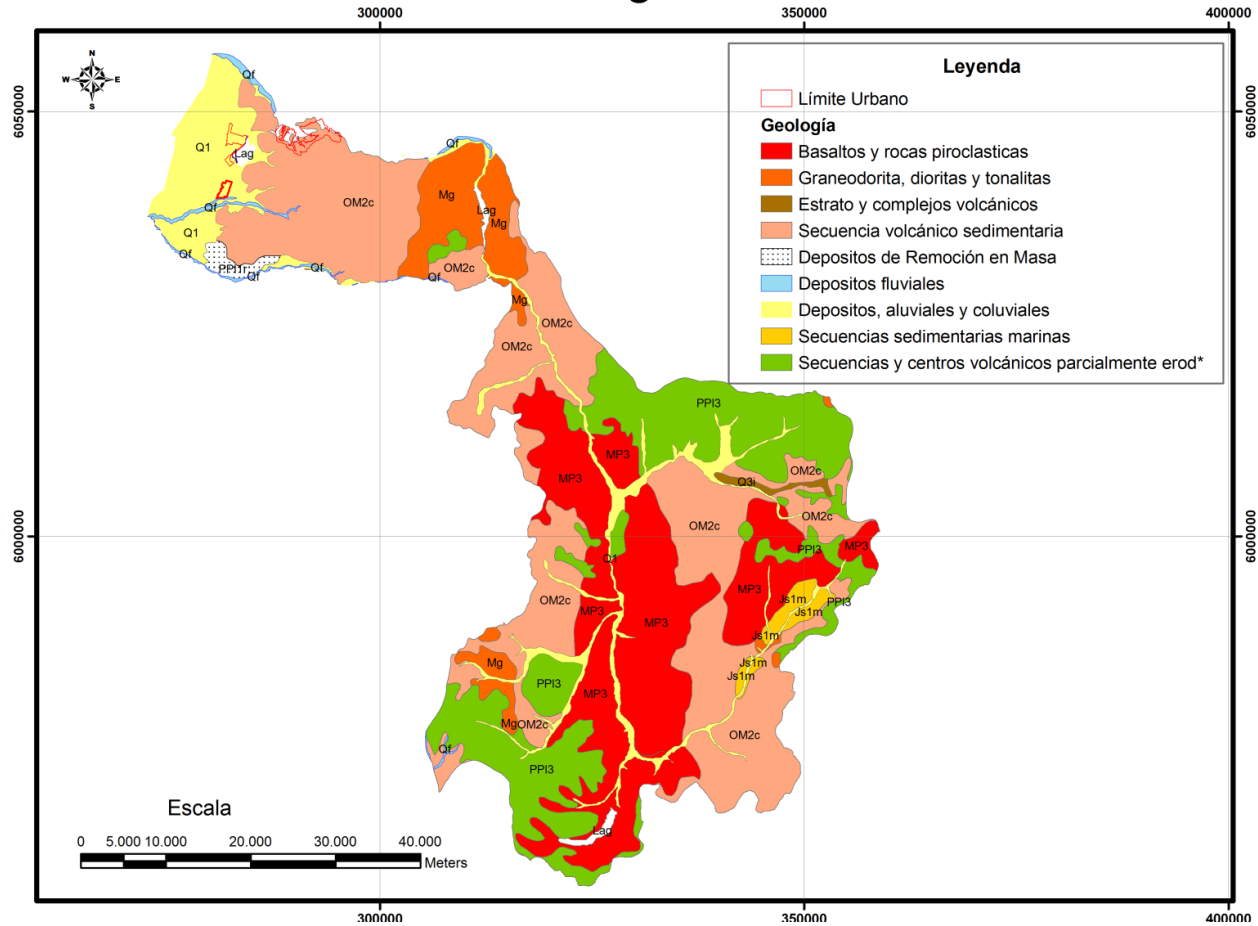
De acuerdo a esta caracterización comunal, las superficies en estudio se encuentran en superficies de depósitos fluviales de terrazas antiguas, depósitos coluviales y aluviales, las que corresponden a procesos dinámicos de desarrollo actuales en términos geológicos (Cuaternario). Aquí se localizan Colbún y Panimávida.

Las superficies de Borde Lago, se ubican estratos volcánicos superiores la denominada Formación Coya Machalí. De acuerdo a la definición de la carta Hidrogeológica y con un nivel de

detalle mayor se identifican superficies de depósito aluviales, conformada por fragmentos volcánicos heterogéneos basaltos, brechas, entre otras con una matriz fina de arcilla y limos. Estas superficies de depósito se localizan en los lomajes inferiores y quebradas, las vertientes superiores corresponden a los estratos volcánicos mencionados anteriormente.

Imagen N° 7: Geología Escala Comunal

Marco Geológico Comunal

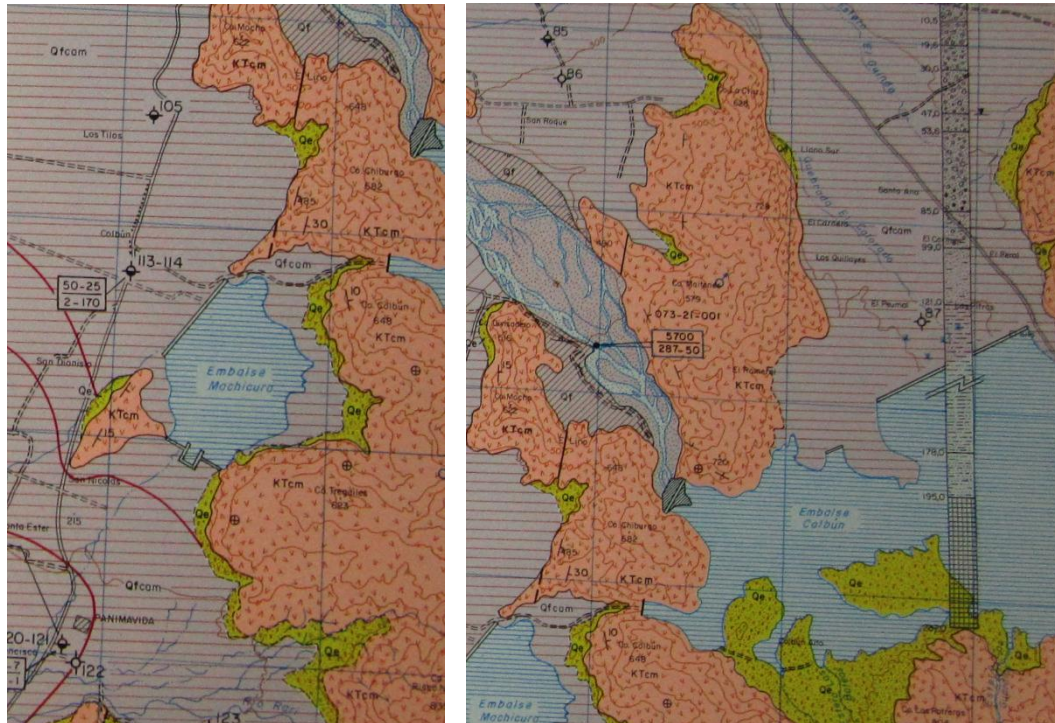


Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Para caracterizar a nivel local utilizaremos la definición de la carta hidrogeológica escala 1:100.000. Aquí se definen para el área en estudio tres tipologías asociadas a depósitos fluviales (Qfcam) y coluviales (Qe), además de la formación Coya Machalí presente en la el área de la precordillera andina.

A continuación se describe cada una de las tipologías hidrogeológicas identificadas (Ver Imagen N°8):

Imagen N° 8: Carta Hidrogeológica, Hoja Talca



Fuente: Carta Hidrogeológica hoja Talca (Hausser, 1996).

Formas de depósito

- **Qfcam – En el valle Colbún y Panimavida**

Corresponden a depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule. Presentan un comportamiento hidrogeológico que corresponde al comportamiento de **acuiferos semiconfinados** vinculados a bancos de gravas y gravas arenosas con frecuentes niveles de bancos de buen desarrollo de ripios con bolones, con abundante arcilla intersticial, estas condiciones (granulometría) permiten encontrar en esta unidad numerosos pozos perforados.

En los relieves preandinos los pozos existentes **presentan profundidades que fluctúan entre los 20 y los 35 m** (niveles estáticos). Que representan las mayores profundidades estáticas en la zona de Talca.

Esta unidad presenta una secuencia heterogénea, lo que determina que las perforaciones intercepten con frecuencia acuíferos ubicados por encima del nivel local de las aguas. Lo anterior dice relación con las "*aguas colgadas*", asociada a **estratos lenticulares aislados**, que permiten la extracción por cortos periodos de tiempo, ya que presentan gran dependencia de mecanismos de recarga (percolación pluvial y retornos de riego).

- **Qe – Depositos de conos de deyección (Borde Lago)**

Esta unidad alcanza mayor desarrollo al pie de los relieves montañosos donde existe rocas sometidas a alteraciones o fracturamiento. Corresponde a procesos modeladores actuales. (Imagen N° 6: Perfil Sector Borde Lago)

Se encuentra en zonas de contacto entre el valle y la cordillera, presentan material fragmentado bastante heterogéneo con una matriz escasa de limos, arcillas y arenas. Normalmente se observa suelto y por lo tanto bastante permeable.

La morfología es de tipo abanico, cuyo ápice es coincidente con el origen de quebradas, mientras que sus partes distales presentan formas lobulares. De acuerdo a las características de suelos, existe superficies que corresponden a terrazas fluviales antiguas del río Maule. En el sector de Borde Lago esta superficie se presenta bastante amplia en el sector en torno al estero Las Bateas.

Foto N 1: Perfil Sector Borde Lago.



En este perfil se observa la presencia de material arcilloso en superficie y clastos heterogeneos en cuanto a su tamaño, que corresponden a basaltos , brechas y cineritas, las cuales se observan fragmentadas producto de su exposición y transformación al interior del perfil de suelos. Corresponde a la formas deposicionales de acuerdo a la descripción Geológica establecida en la carta Hidrogeológica de Talca. La matriz que sustenta ésta formación corresponde a arcillas principalmente y los bloques presentan formas redondeadas, se encuentran fracturados y alterados por las condiciones ambientales (interperización) y de meteorización en el perfil.

Fuente: Propia, 2012.

Secuencias Volcánicas

- **KTcm – sector precordillerano – Formación Coya Machalí Drake et al. (1982)**

La formación consiste en una alternación de coladas andesíticas a dacíticas con intercalaciones de capas volcanioclásticas con predominio de brechas y esporádicos niveles sedimentarios de areniscas a lutitas. Las rocas de esta unidad morfológicamente constituyen un “plateau”.

Corresponde a la superficie actual de erosión que alimenta los valles y depositos intermontanos.

En torno al cauce preandino dominan la brechas (coloración verde clara) con clastos andesíticos, afaníticos y porfídicos con tamaño de 2,5 mm. Con una abundante matriz de cineritas.

Los sedimentos y brechas presentan intemperización superficial fuerte, desarrollandose en ellos suelo de 2 – 3 m de espesor, con tonalidades claras, muy plásticos (con suficiente humedad).

12 MARCO GEOMORFOLÓGICO

Las geoformas identificadas en el área de estudio se analizarán comprendiendo los sistemas en los cuales se encuentran insertos, estos son sistema de vertientes o sistemas basales.

- Sistema basal:

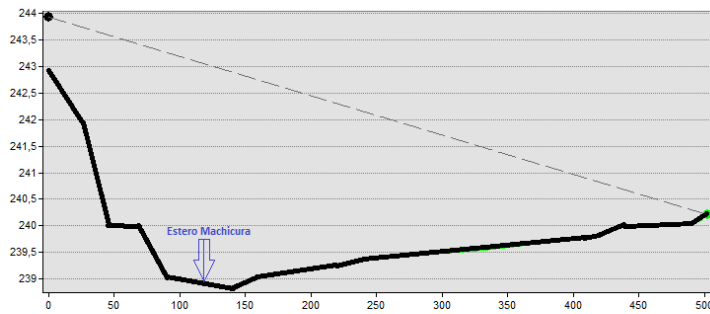
Las formas de base de vertiente o de contacto entre montaña y valle, se caracterizan por ser depósitos con una suave inclinación en forma de abanico, los cuales son considerados como los principales depósitos correlativos a las formas de erosión de montaña, reguladores actuales hacia el fondo de valle (ARAYA – VERGARA, 1985). Estos corresponden a conos de deyección de tipo aluviales o coluviales, depósitos de remoción en masa y depósitos fluviales.

Las superficies en las cuales se encuentran las localidades de Colbún y Panimávida, corresponden a terrazas fluviales o depósitos antiguos del Río Maule se caracteriza por presentar suelos arcillosos con buenas condiciones de drenaje y con aptitud agrícola debido a su desarrollo y a las condiciones topográficas (superficies planas). Existe en la localidad de Colbún, superficies de terrazas asociadas a conos de deyección o superficies aluviales provenientes de quebradas ubicadas al oriente, afluentes del Río Rari.

- Depósitos fluviales

En la localidad de Colbún se identificó el lecho de inundación del Estero Machicura a partir de la delimitación del lecho mayor o episódico del curso hídrico. Se definió así un lecho cuya variación de alturas es de 4 metros, existiendo mayor amplitud y desarrollo hacia el sur de la localidad, debido a las condiciones topográficas. (Imagen N° 10: perfil de terreno - lecho inundación estero Machicura)

Imagen N° 9: Perfil de terreno - Lecho inundación estero Machicura



Segmento de perfil -
Colbún

Fuente: Elaboración propia, 2012.

En el caso del Estero Caballo Blanco en Panimávida, fue posible identificar el lecho actual y el lecho mayor o episódico, los cuales poseen una distancia entre ellos de 10 metros aproximadamente. En torno al estero se identifican diferencias de altura de 2 a 4 metros con respecto al lecho del río, lo que permite definir la terraza inferior (Imagen N° 8: Terraza inferior Estero Caballo Blanco) la que se identifica como terraza remanente con suelos con características similares a los existentes en Colbún (serie de suelo Colbún) arcillosos, profundos y con aptitud agrícola, a diferencia de los suelos en los que se emplaza la ciudad de Panimávida los cuales poseen un escaso desarrollo y con limitaciones en cuanto al uso agrícola (serie de suelo RARI).

Foto N 2: Terraza inferior Estero Caballo Blanco.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Depósitos - Conos de deyección (aluviales)

Corresponden a formas de contacto de valle para las localidades en estudio. El sector de interés es Borde lago, esta superficie se encuentra conformada por formas de contacto de valle entre ellas conos de deyección e incluso terrazas remanentes del Río Maule suelos pertenecientes a la serie Bramadero, suelos caracterizados por su buen desarrollo y excelente aptitud.

De acuerdo a los antecedentes geológicos y de suelos, este sector corresponde a depósitos volcánicos alterados en matriz fina arcillosa. Los procesos que dominan corresponden a la erosión de las vertientes, activación de quebradas y transporte de rodados y gravas heterogéneas aguas abajo. (Ver Imagen N° 9: Quebrada y acumulación de rodados) De hecho en la mayor parte de las vertientes y conos, se observa erosión laminar acentuada y en regueros, lo cual de acuerdo a lo observado en terreno corresponde a las condiciones intrínsecas del terreno que se ve acentuado por la intervención antrópica.

Foto N 3: Quebrada y acumulación de rodados



Fuente: Propia, 2012.

Sistema de Vertientes

Los sistemas de vertientes representa la condición estructural del medio además de aquellas superficies de erosión que permiten el desarrollo de las formas basales. En el área destaca la formación Coya Machalí en los dominios de la precordillera andina, la que se caracteriza por presentar secuencias volcánicas con materiales heterogéneos alterados y con desarrollo escaso de suelos, es posible observar en él sistema de vertientes, camino a Borde Lago, caras libre. Las

rocas en esta unidad morfológicamente, como es posibles observar en la Imagen N° 10, contituyen un “plateau”.

En el sector de Borde Lago las vertientes se presentan erosionadas, afectadas por condiciones propias de estos dominios, sin embargo afectadas por actividad antrópica, actividad forestal (senderos forestales, deforestación, etc.)

Foto N 4: Caras libres en sistema de Vertientes



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Foto N 5: Superficies de Erosión Laminar



Fuente: Elaboración propia, 2012.

12.1 SUELOS

Los suelos existentes en el área de estudio comprenden suelos de origen aluvial, volcánico y sedimentario volcánico. Éstos corresponden a las siguientes series de acuerdo al Estudio Agrológico de la VII Región (1996) (Ver Figura N° 4):

- **Serie Colbún (CBN)**

Suelos sedimentarios de origen aluvial, en posición de terrazas remanentes. De color pardo oscuro y textura franco arcillosa en superficie y de color pardo rojizo oscuro, de textura arcillo limosa en profundidad, presentando un substrato constituido por piedras de distintos grados de meteorización con matriz franco arcillosa.

Los suelos de esta serie son planos, profundos (+ de 90 centímetros) con drenaje imperfecto, permeabilidad moderada lenta y escurrimiento superficial lento. El nivel freático se presenta a los 65 cm de profundidad.

Las variaciones de serie de suelos presentes en el área de estudio son:

Serie de Suelo	Textura Superficial	Capacidad de uso	Erosión
Colbún 1 (plano)	Franco arcillo limosa y franco limosa	IIIs5 (suelo textura fina el todo el pedón)	Ninguna o Leve
Colbún 5 (casi plano)	Franco arcillo limosa	IIIs5 (suelo textura fina el todo el pedón)	Ninguna o Leve

Fuente: *Elaboración propia, 2012.*

Los suelos de las variaciones mencionadas Colbún 1 y 5 presentan moderadas limitaciones en su uso y restricción en cuanto a la elección de cultivo. La limitación de estos suelos se refieren a la textura fina en todo el pedón y problemas relacionados al escurrimiento superficial.

- **Bramadero (Borde Lago)**

Suelo sedimentario, de origen volcánico (cenizas volcánicas), en posición de terrazas altas y lomajes suaves. De textura franco limosa y color negro en superficie y de textura franco limosa de color pardo fuerte en profundidad.

Los suelos se localizan en sectores de topografía suavemente ondulada a casi plano, bien drenado, de permeabilidad moderada y escurrimiento superficial moderadamente lento.

La serie de suelo presente en el sector de Borde Lago corresponde a Bramadero 6, a continuación se señalan las características principales:

Serie de Suelo	Textura Superficial	Capacidad de uso	Erosión
Bramadero – 6	Franco limosa	IVe1	Ligera

Fuente: *Elaboración propia, 2012.*

Los suelos de la variación Bramadero 6 presentan limitaciones, sin embargo en ella se pueden desarrollar cultivos aunque requieren de cuidadosas prácticas e manejo y conservación.

▪ **Series de Suelo Rari**

Suelo sedimentario en posición de cuenca deposicional. De color gris oscuro y textura franco arcillosa en superficie, de color grisáceo muy oscuro y de textura franco arcillosa con gravilla fina en profundidad.

En la tabla a continuación se resumen las características:

Serie de Suelo	Textura Superficial	Capacidad de uso	Erosión
Rari – 2	Arcillosa	IVw2	Nula o leve

Este suelo se localiza en sectores con topografía casi plana, delgado, drenaje pobre (el nivel freático se presenta a los 30 cm de profundidad), de permeabilidad muy lenta y escurrimiento superficial muy lento.

Los suelos Rari 2 corresponden a la variación de suelos que se ubica en la localidad de Panimávida. Posee una textura superficial franco arcillosa, delgados, casi planos con 1% a 3% de pendiente y pobremente drenados. La capacidad de uso corresponde a IV, por lo cual posee limitaciones referidas a algunos cultivos y posee además problemas de inundación (w – humedad drenaje e inundación).

▪ **Asociación Sierra Bellavista**

Son suelos desarrollados de materiales volcánicos básicos (andesita) que constituye la roca dominante de la precordillera de Los Andes; en posición de cerros con 30% a 50% pendiente, textura franco gravosa en profundidad, descansando sobre el material generador consolidado. Corresponde en el área de estudio al sector oriental, específicamente a estribaciones de la Cordillera de los Andes.

Los suelos de la variación Sierra Bellavista 1, poseen una capacidad de uso bastante limitada con aptitudes preferentemente forestal. Posee limitaciones severas asociadas a problemas de erosión existentes o de antiguas erosiones.

Las características de estos suelos son:

Serie de Suelo	Textura superficial	Capacidad de uso	Erosión
Sierra Bellavista 1	Franco arenosa	VIIe1 (suelos con limitaciones de erosión)	Ligera erosión

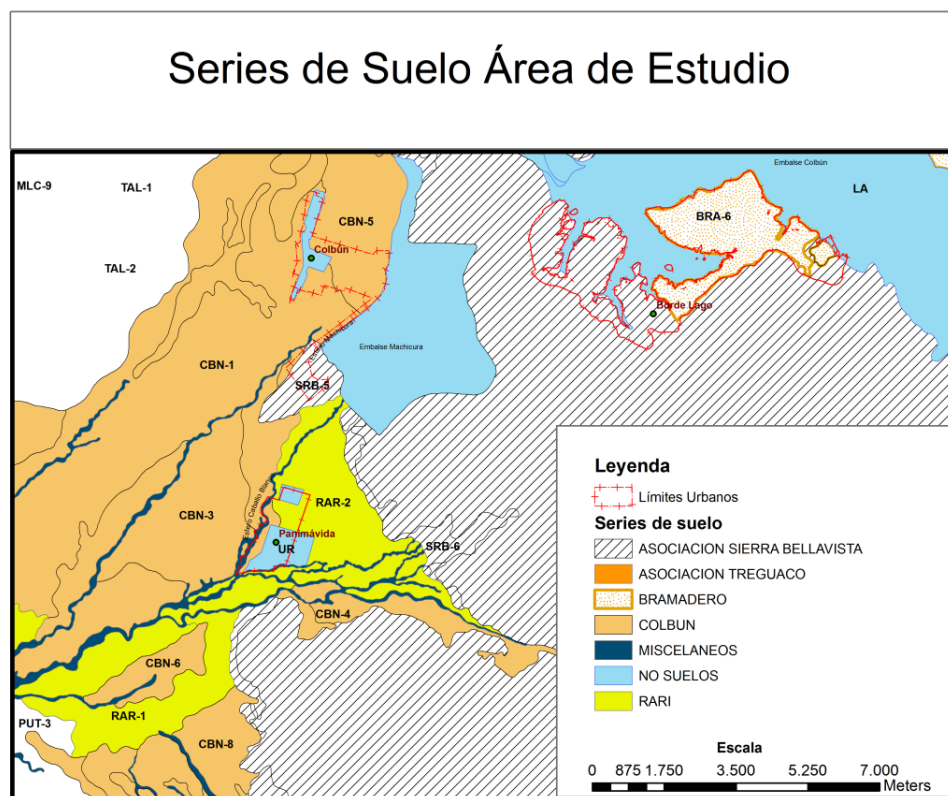
Fuente: *Elaboración propia, 2012.*

▪ **Misceláneo**

Corresponde a terrenos existentes en el cauce y bordes de cursos menores de agua, muy delgados, de topografía irregular, de drenaje pobre y sometido a inundaciones ocasionales.

Este tipo de suelos se localiza en torno al estero Caballo Blanco e incluso en el Machicura, corresponde a capacidad de uso VIII o categoría de conservación de acuerdo al Estudio Agrológico.

Imagen N° 10: Series de Suelo en el Área de Estudio.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

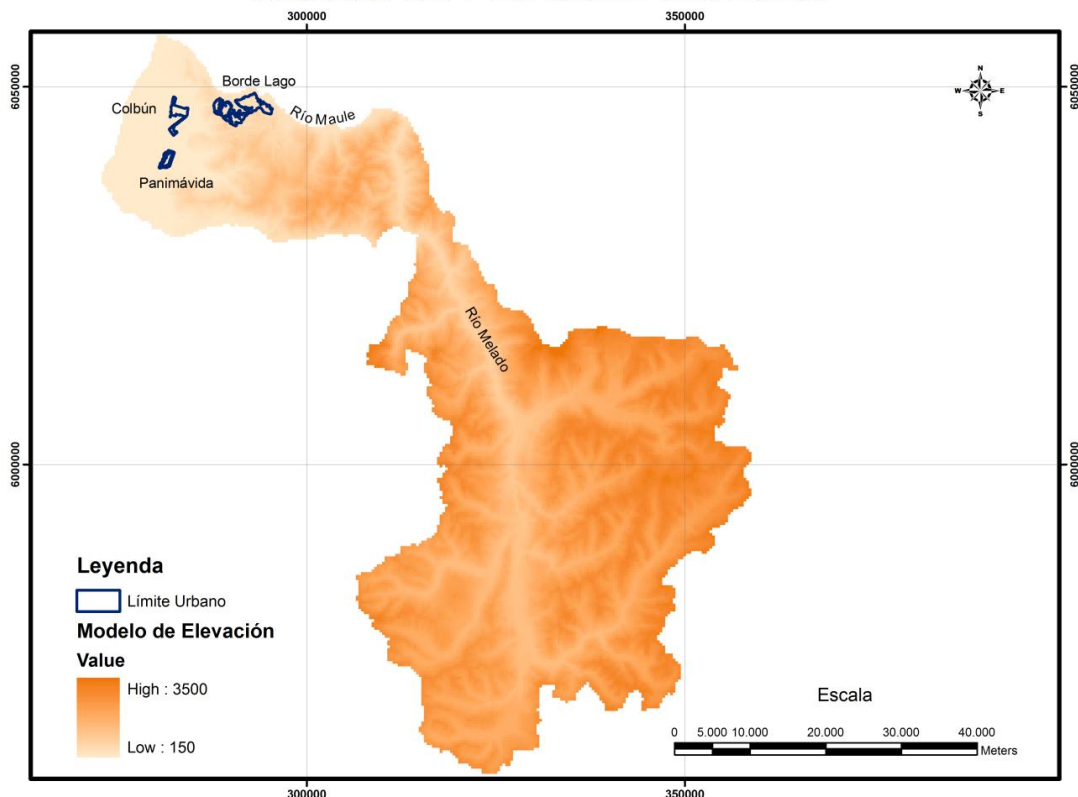
13 CONDICIONES DE TERRENO (elevación, exposición y pendientes)

Para reconocer las características del terreno en el área de estudio se elaboró un modelo digital de terreno del cual se genera una superficie con elevaciones. A nivel comunal se observa una diferencia de elevaciones desde los 150 a los 3.500 metros, las últimas alturas corresponden a la cabecera de la cuenca del río Melado. Imagen N° 12: Modelo de Elevación Digital.

Las localidades en estudio se localizan en superficies de valle para el caso de Colbún y Panimávida con elevaciones hasta los 300 metros, mientras que para el caso e Borde Lago las elevaciones aumentan al encontrarse en relieves montañosos de hasta 500 metros.

Imagen N° 11: Modelo de Elevación Digital

Modelo de Elevación Comunal



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Dada la relevancia de las elevaciones, la topografía y su influencia en procesos de peligros por movimientos en masa, se profundizará las condiciones de terreno especialmente para la localidad de Borde Lago, debido a que el resto de las localidades se encuentra en superficies planas de valle. Las variables que se abordarán son: Pendiente y exposición, las cuales surgen como resultado de procesamientos digitales.

13.1 PENDIENTES

Los umbrales de pendientes corresponden a una categoría en la cual se señalan las condicionantes, o procesos limitantes asociado a movimientos en masa que posee una superficie. (Ver Tabla N° 3)

Tabla N° 3: Umbrales de Pendientes.

Categoría	Pendientes	Umbral de Pendientes	Superficie en Borde Lago (hectáreas)
Horizontal	0 - 2	Erosión Nula o Leve	152
Suave	2 - 5	Erosión débil o difusa	324
Moderada	5 - 10	Erosión Moderada a fuerte. Inicio de erosión lineal <i>Rill wash</i> o desarrollo de regueros. Presencia de flujos atenuados. Deslizamientos	382
Fuerte	10 - 20	Erosión Intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes. Deslizamientos (15° en arcilla)	278
Muy Fuerte	20° - 30°	Cárcavas frecuentes. Movimientos en masa. Reptación > 25° flujos deslizamientos (20° en arenas)	77
Escarpada	30° - 45°	Coluvionamiento. Solifluxión intensa.	25
Muy Escarpada	45° - +	Desprendimientos y derrumbes. Corredores de derrubios frecuentes.	5

Fuente: Elaboración propia basada en la definición de umbrales geomorfológicos definida por Elaboración propia a partir de Araya Vergara & Börgel (1972), Joung (1975), Pedraza (1996) y Jaque (1995).

La mayor parte de la superficie en estudio de Borde Lago corresponde a pendientes moderadas (5° - 10°) en los que es posible observar principios de erosión lineal o *Rill Wash*, seguida de pendientes suaves (2° - 5°) con erosión débil o prácticamente nula y pendientes fuertes (10° - 20°) en los cuales dominan erosión intensa con rasgos claros de erosión lineal sobre suelos arcillosos (Foto N° 6 y Imagen N° 13).

Foto N 6: Erosión en Regueros sobre vertientes de Borde Lago.

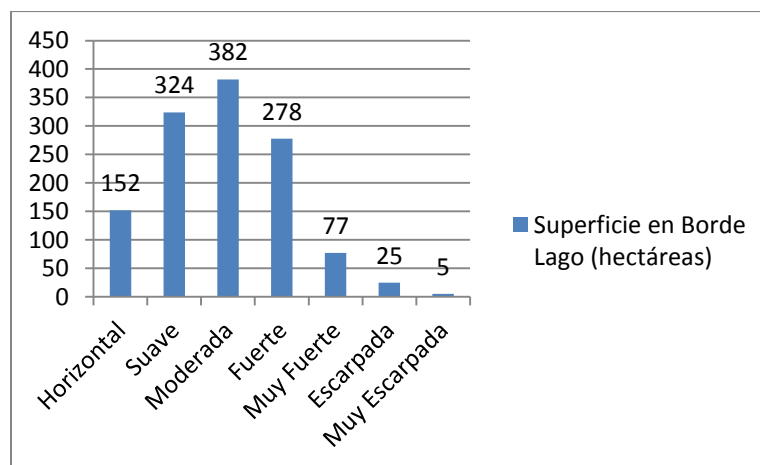


Fuente: Elaboración propia, 2012.

Las pendientes escarpadas y fuertes, se encuentran expuestas a fenómenos de erosión intensa, procesos de desprendimientos y derrumbes. Por este motivo se procedió a realizar una caracterización sólo para el área de Borde Lago, debido a que las otras localidades poseen pendientes suaves y horizontales, por lo tanto no se encuentra expuesto a fenómenos de movimientos en masa.

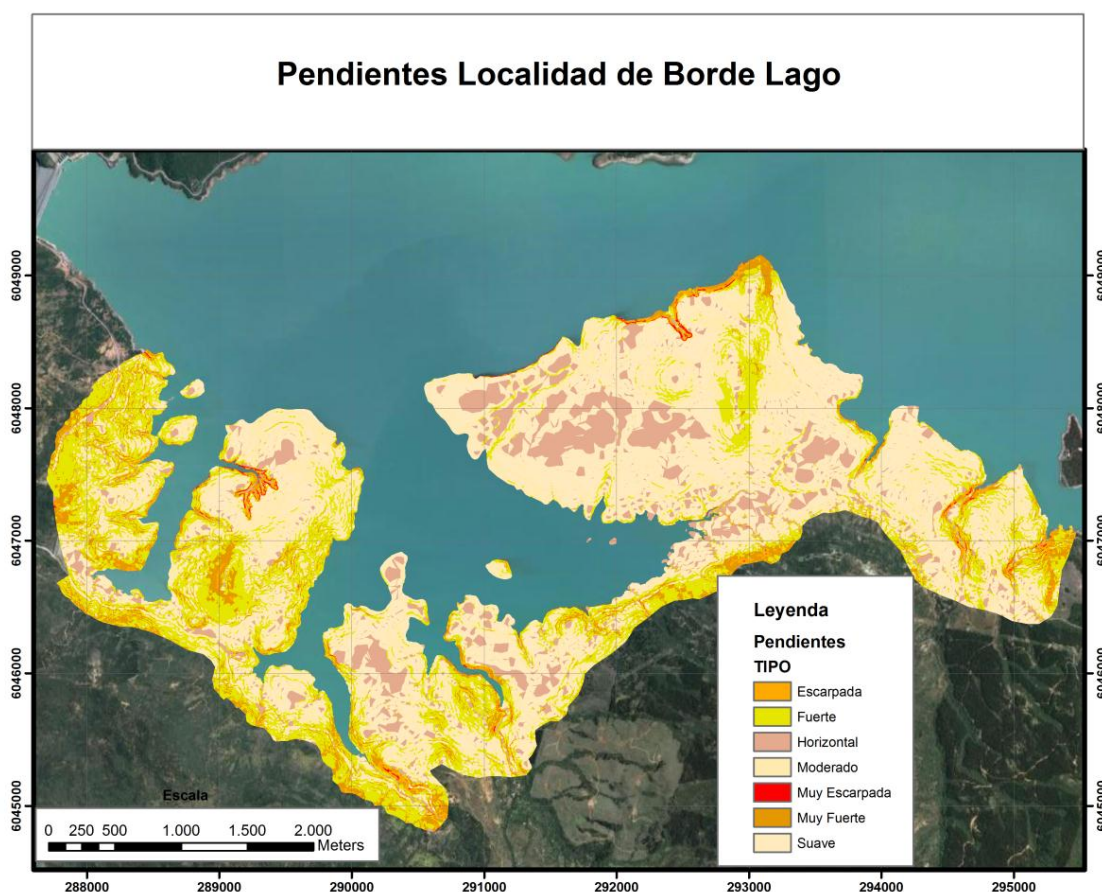
La mayor parte de las superficies de Borde Lago corresponden a pendientes moderadas, seguidas de suaves y fuertes, en menor proporción aquellas escarpadas y muy escarpadas. (Ver Gráfico siguiente)

Gráfico N° 1: Superficies por Tipo de Pendientes en Borde Lago.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Imagen N° 12: Pendiente Localidad de Borde Lago



Fuente: Elaboración propia.

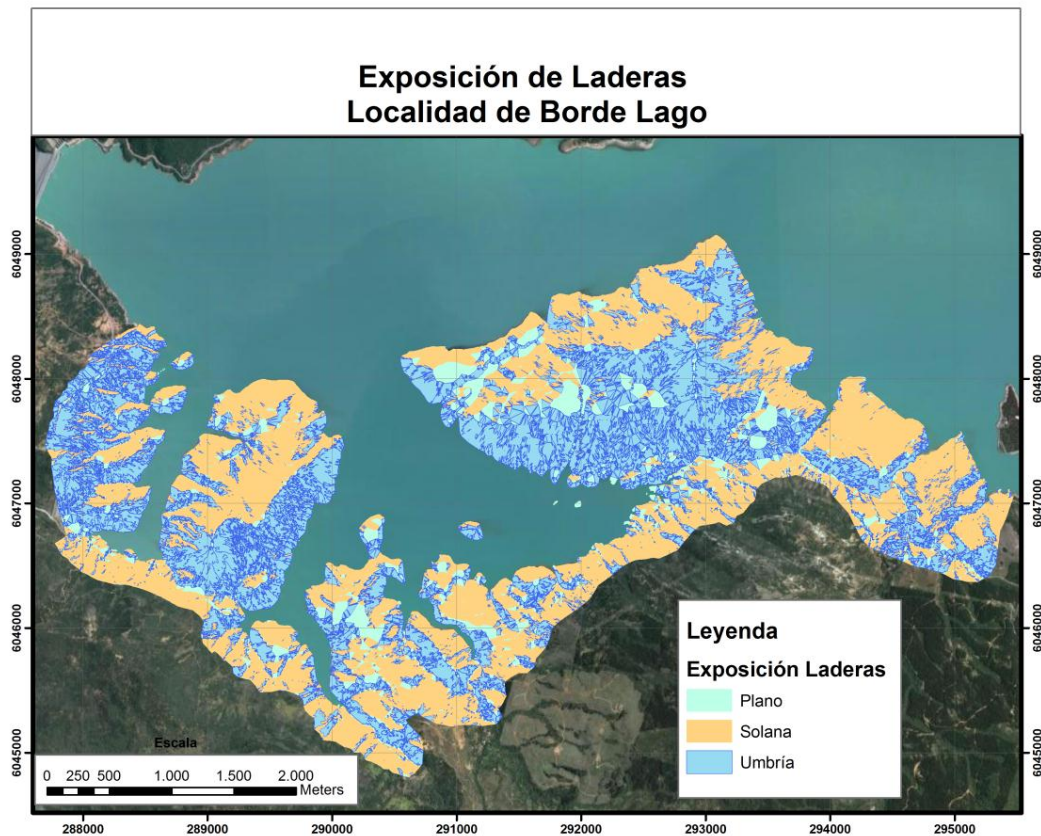
13.2 EXPOSICIÓN

La variable Exposición de laderas permite identificar vertientes en las cuales se está desarrollando una dinámica de degradación activa, dependiendo de las condiciones de desarrollo biológico y de suelos relacionadas con la captación de luz del sol. Es así como se definen superficies de solana (expuestas al sol) y de umbría (sin exposición al sol o menor cantidad).

Las superficies de umbría poseen mayor cobertura vegetal, por lo que los suelos se encuentran más desarrollados y protegidos, a diferencia de lo que ocurre en superficies de solana. Por lo tanto las superficies de solana se encuentran mayormente expuestas a degradación.

En La Figura N° 7 se muestran las superficies de solana existentes en la localidad de Borde Lago. Esta representa una de las variables relevantes a la hora de determinar fenómenos de movimientos en masa, debido a la relación que posee esta variable con el desarrollo y cobertura vegetal, lo cual permite mantener las vertientes estabilizadas frente a fenómenos peligrosos.

Imagen N°13: Exposición de laderas Localidad de Borde Lago.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

14 CARACTERIZACIÓN Y CATASTRO DE PELIGROS GEOLÓGICOS ANALIZADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

La caracterización y el catastro de los peligros geológicos en el área de estudio comprende la fase de aproximación a las localidades. Cada uno de los peligros se agrupo en función a los fenómenos de carácter endógeno (procesos internos de la tierra) y aquellos que representan la acción de agentes externos como el clima y su influencia sobre procesos de degradación de suelos (fenómenos exógenos).

En este capítulo se realizó una descripción de cada uno de los peligros identificados en el área de estudio, se señalaron sus factores desencadenantes y los impactos que generan sobre el medio construido y la población.

14.1 FENÓMENOS ENDÓGENOS

Los fenómenos endógenos son aquellos que operan al interior de la Tierra, corresponde a manifestaciones de la energía interna de la Tierra. Los fenómenos que se describirán en el presente estudio son: sismicidad y volcanismo.

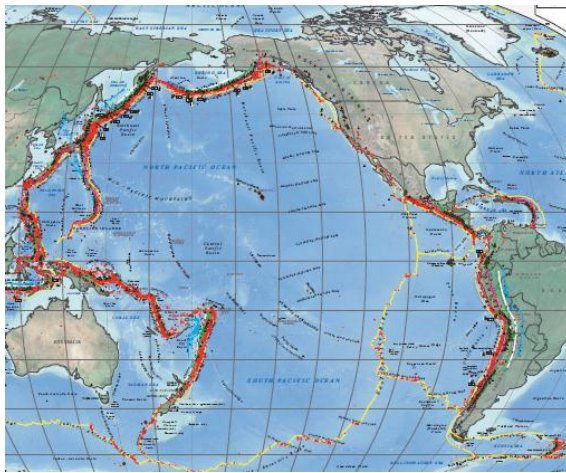
14.1.1 SISMICIDAD

DESCRIPCIÓN

Chile se ubica en la costa oeste de Sudamérica, posee gran actividad sísmica, ya que se encuentra ubicado en un área de contacto de placas que para el caso del territorio continental Chileno corresponde a la Placa tectónica de Nazca y la Placa Sudamericana. Esta superficie a su vez pertenece al denominado Anillo de Fuego del Pacífico o Circumpacífico, que se caracteriza por la existencia de actividad volcánica y sísmica, existiendo aquí registros de los mayores sismos a nivel mundial. (Ver Imagen N° 3)

Los terremotos son agentes del tectónismo, proceso mediante el cual se modifica y transforma el paisaje de la superficie terrestre. En la imagen anterior, es posible identificar las regiones y las estructuras tectónicas más activas de la Tierra. Los límites de Placas Tectónicas, son los lugares en donde existe mayor manifestación de estos fenómenos, y por lo tanto, la constante y mayor transformación de la superficie terrestre.

Imagen N° 14: Anillo de Fuego del Pacífico



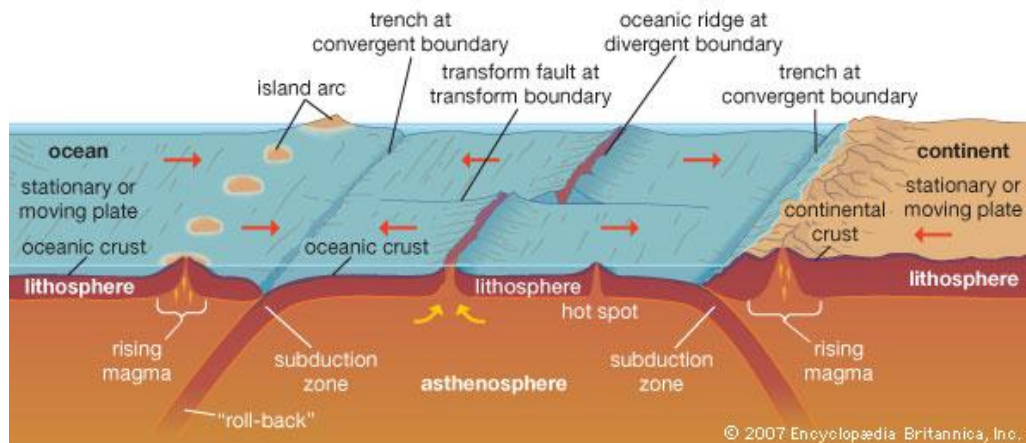
En la imagen se puede observar en amarillo los límites de las placas tectónicas, en las que se observa la ocurrencia de sismos de diferentes magnitudes (puntos rojos).

La cuenca del Pacífico se encuentra enmarcada por una dinámica sísmica y volcánica, por este motivo se le denomina anillo de fuego del Pacífico.

Fuente: Extraída de Seismicity of the Earth 1900 – 2007. USGS.

En Chile continental existe una convergencia por subducción de Placas Oceánicas y Continental Sudamericana, lo que corresponde a la penetración de la placa oceánica en el manto terrestre.

Imagen N°15: Convergencia de Placas.



Fuente: Enciclopedia Británica.

La conversión entre la placa oceánica y continental, al ser la primera más densa, subduce debajo de la corteza continental. El magma generado por la subducción asciende debajo del continente y se cristaliza como un cuerpo ígneo antes de llegar a la superficie o es expulsado a la superficie (erupción), constituyendo una cadena de volcanes o denominada arco volcánico (Wincander, 2000), como el que existe en la zona centro sur entre los 33° y 46° Latitud Sur.

La corteza que penetra en el manto terrestre en Chile es del orden de los 6 a 7 centímetros al año, de acuerdo a Khazaradze y Klotz (2003). El contacto, la tensión y fricción entre las placas tectónicas, genera acumulación de energía que es liberada en los sismos (fricción y roce – zonas de ruptura) y erupciones volcánicas (producto de la fundición de la corteza). Existe una banda sísmica activa muy angosta (100-150 kilómetros de ancho) y con profundidad variable (entre 5 y 150 Km. de profundidad) entre el cordón montañoso de los Andes y la fosa Perú-Chile.

Tipos de Sismos

En el área de estudio se reconocen las siguientes fuentes sísmicas (Ver imagen N° 15):

- **Sismos Interplaca o de Subducción:** Corresponden a aquellos eventos que se producen en el contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana. Se extienden desde la fosa hasta unos 50 km. de profundidad y se extiende hasta una profundidad máxima de 200 km., debido a que históricamente en Chile no se han observado daños por sismos de mayor profundidad.

Este tipo de eventos alcanzan grandes magnitudes, como el terremoto del 27 de febrero, por lo que se considera una fuente activa que puede generar terremotos destructivos en la zona.

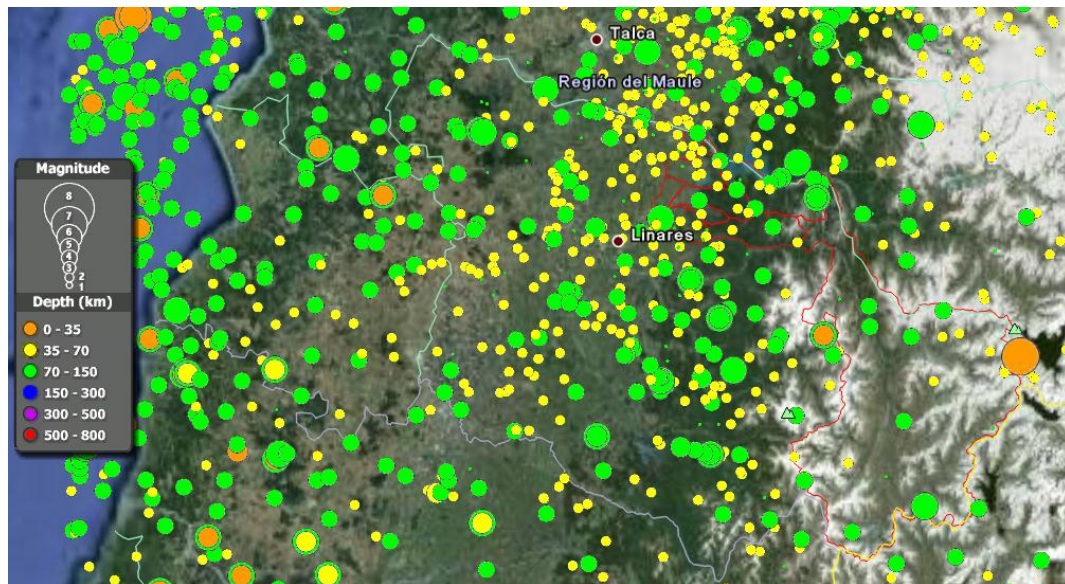
- **Sismos Intraplaca de Profundidad Intermedia:** Esta fuente está compuesta por sismos que ocurren dentro de la placa de Nazca, después de la zona de contacto; ellos poseen profundidades mayores de 50 km. y llegan hasta los 150-200 km. Recientemente, se ha puesto en evidencia que este tipo de eventos poseen notorias diferencias con los de contacto interplaca en las características de la fuente, reflejándose en mayores daños producidos en la zona epicentral y altas aceleraciones máxima reportadas. Este tipo de fuente se caracteriza por tener una magnitud máxima creíble de $M_S=8.0$, similares al terremoto de Chillán de 1939. Se considera como una fuente posible para generar terremotos en la zona. En la Imagen se observa gran actividad sísmica en torno a los valles (Linares) alcanzando incluso magnitudes 5 (antiguos 1979 y recientes 2012).
- **Sismicidad cortical:** es aquella sismicidad que ocurre en el interior de la placa Sudamericana, principalmente en los sectores precordilleranos y cordilleranos, ubicándose a una profundidad menor de 30 km. Para el área de estudio dichas fuentes

sismogénica es relevante debido a localización en superficies precordillerana de las localidades, cuya característica a nivel comunal corresponde a la amplitud de los paisajes cordilleranos. En la imagen de sismos de magnitudes superiores a 5 se observa la existencia de sismos de magnitud 6 recientes (2012) en la superficie cordillerana en torno a la laguna del Maule.

- **Sismos Outsider:** Esta fuente sísmica se produce por la flexión de la placa de Nazca previa a la subducción. Es caracterizada por generar eventos de magnitud moderada a distancias mayores a 150 km de la costa, por lo que no produce daños significativos en la zona de estudio. Este tipo de sismos no afectan el área en estudio, ya que Colbún debido a su localización en el sector precordillerano.

En la Imagen N° 18 se muestra los sismos ocurridos entre 1979 hasta la actualidad, con magnitudes variables. Se observan enjambres sísmicos en el sector interplaca e intraplaca, además de sismos aislados al interior en la cordillera.

Imagen N°16: Sismo de magnitudes 5 a 8 desde el año 1973 al año 2012



Fuente: Información disponible online en: <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic>

CATASTRO HISTÓRICO

A continuación se exponen los registros históricos existentes de terremotos en la zona central y sur de Chile, en la que se localiza el área de estudio.

Se hizo una subdivisión en registros de grandes magnitudes en el siglo XVI, XVII, XVIII, XIX Y XX.

1. Registros de sismos de grandes magnitudes del SIGLO XVI

Terremoto de Lebu

Epicentro:-
Magnitud: -
Fecha: 28 de Octubre de 1562.

Registro: Un sismo de intensidad X en la escala de Mercalli produjo daños significativos en la ciudad de Lebu. El epicentro parece estar ubicado en el Sur de la península de Arauco. El sismo provocó la destrucción completa de Ciudad Imperial y un tsunami que siguió al terremoto afectó la costa por una distancia de 1.200 kilómetros y causó numerosas víctimas entre los aborígenes.

Terremoto e Concepción (Actualmente en Penco)

Epicentro del terremoto: latitud 38,0° S; longitud 73,5° W
Magnitud estimada: 8,0 Richter
Fecha : 8 de Febrero de 1570,

Registro: De acuerdo a registros el mar retrocedió alrededor de diez kilómetros para posteriormente inundar completamente la ciudad, dejando algunas embarcaciones encalladas y terminando de destruir lo poco que se había salvado del terremoto.

Terremoto en Valdivia

Epicentro del terremoto: latitud 36,5° S; longitud 74° W
Magnitud estimada: 8 – 8,5 Richter
Fecha : 16 de Diciembre de 1575

Registro: Variación máxima del nivel del mar: 4 metros en La Concepción *Terremoto de Valdivia*, con tsunami asociado que destruyó las ciudades de Valdivia y Toltén.

Terremoto en Corral

Epicentro del terremoto: latitud 38,5° S; longitud 74,5° W
Magnitud estimada: 8,5 Richter

Registro: Variación máxima del nivel del mar: 4 metros en Corral

2. Registros de sismos de grandes magnitudes SIGLO XVII

Terremoto de Santiago

Epicentro: latitud 33,0° S; longitud 71,5° W
Magnitud: Magnitud estimada: 8,5 Richter
Fecha: *13 de Mayo de 1647.*

Registro: Hay informes de fuertes movimientos del mar a lo largo de toda la costa, cuyas ondas fueron lo suficientemente altas para sumergir los cerros costeros.

Terremoto de Concepción

Epicentro: latitud 37° S; longitud 72,8° W Magnitud

Magnitud: 8,0 Richter

Fecha: 15 de Marzo de 1657

Registro: fuerte terremoto ocurrió entre las provincias de Maule y Cautín, alrededor de las 20:00 horas. El terremoto, en la ciudad de Concepción, destruyó completamente la mayoría de las casas, permaneciendo de pie solo una iglesia. Dos horas más tarde arribó el maremoto cubriendo la parte baja de la ciudad y alcanzó hasta el centro de la plaza. Más personas murieron ahogadas que por el efecto mismo del terremoto.

3. Registros de sismos de grandes magnitudes SIGLO XVIII

Terremoto de Valparaíso

Epicentro: latitud 32,5° S; longitud 71,5° W Magnitud

Magnitud: estimada: 8,7 Richter

Fecha: 8 de julio de 1730.

Registro: Sismo que afectó a toda el área central, causando daños en Valparaíso, La Serena, Coquimbo, Illapel, Petorca y Tiltil. El maremoto resultante fue muy grande y afectó alrededor de 1.000 kilómetros de costa, desde Callao a Valdivia, dañando las ciudades de Concepción y se reportaron efectos en la ciudad de Honshu, Japón.

Al llegar a la Bahía de Concepción desde el Norte el fenómeno se manifestó de manera similar a los anteriores, el mar se retiró aproximadamente un kilómetro de la playa y cuatro olas gigantescas seguidas destruyeron los 2/3 de Concepción, arrastrando los objetos al mar. La ciudad de Concepción fue una de las más afectadas por el maremoto. En Valparaíso, el maremoto sólo inundó las partes bajas y arrasó las bodegas más inmediatas a la playa.

Terremoto de Concepción

Epicentro del terremoto: latitud 36,5° S; longitud 74,0° W
Magnitud estimada: 8,5 Richter
Fecha: 25 de mayo de 1751.

Registro: Tercer terremoto y maremoto destructores en La Concepción. La mayor parte de los daños causados por el sismo ocurrieron desde Curicó a La Concepción, e incluso se reportaron daños en Santiago, destruyéndose además Chillán, Cauquenes y Talca. El maremoto arribó a La Concepción alrededor de media hora después del terremoto, con un retiro inicial del mar seguido por tres grandes ondas de maremoto. Las oscilaciones del mar continuaron con menores amplitudes hasta por lo menos el mediodía. El maremoto fue el más grande experimentado en la ciudad y al poco tiempo se planteó su traslado tierra adentro hasta su ubicación actual. El maremoto también fue destructor en Juan Fernández, donde perecieron 35 personas incluyendo el Gobernador.

Variación máxima del nivel del mar: 3,5 metros en Concepción

Terremoto de Valdivia

Epicentro: -

Magnitud: -

Fecha: 24 de Diciembre de 1737.

Desde Valdivia hasta Chiloe se sintió el terremoto del 24 de diciembre, el cual según fuentes de la época sobrepasó los 8,5 grados en la escala de Mercalli. El sismo en Valdivia produjo el derrumbe de casas, hundimiento de terreno y el desborde de ríos. El movimiento telúrico fue acompañado de tres grandes réplicas y por la erupción del volcán Osorno.

4. Registros de sismos de grandes magnitudes SIGLO XIX

Terremoto de Concepción

Epicentro del terremoto: latitud 33,0° S; longitud 72,5° W
Magnitud estimada: 8,3 Richter
Fecha: 20 de Enero de 1816

Registro: Un sismo produce significativos daños en Concepción provocando muchas trizaduras en edificios. Es el primero que afecta a la ciudad en su nueva ubicación. Tuvo una intensidad de VIII en la escala de Mercalli en esa ciudad. *Terremoto de Valparaíso, 19 de noviembre de 1822.* Terremoto en Valparaíso precedido por varios sismos que ocurrieron desde el día 14 al 17 y con numerosas réplicas durante los tres días posteriores al terremoto. En Valparaíso se destruyeron la mayor parte de los edificios públicos y alrededor de 700 casas particulares. También hubo

gran destrucción en Casablanca y Quillota. El maremoto arribó a la costa de Valparaíso 15 minutos después de ocurrido el terremoto con un retiro de las aguas y un posterior alzamiento del nivel del mar que arrojó algunas embarcaciones menores a las puertas de la Aduana, localizada 3,5 metros sobre el nivel de las altas mareas. Se registraron un total de 3 ondas de maremoto. Variación máxima del nivel del mar: 3,5 metros en Valparaíso.

Terremotos de Concepción (1831 y 1832)

Epicentro: -

Intensidad: VIII Mercalli

Fecha: 24 de Diciembre de 1831

Registro: Se reportó un sismo con una intensidad de VIII en la escala de Mercalli. Un mes más tarde, el 21 de Enero de 1832, se produjo un remezón similar.

Terremoto de Concepción

Epicentro del terremoto: latitud 36,8° S; longitud 73,0° W

Fecha: 20 de febrero de 1835.

Magnitud estimada: 8-8,2 Richter

Registro: Por cuarta vez en su historia, la zona de Concepción fue impactada por un fuerte terremoto y posterior maremoto. Hubo 50 muertos y 30 desaparecidos en la ciudad de Concepción, pero también hubo víctimas en Talcahuano, Chillán, Constitución, Cauquenes y Talca. Todas las ciudades al Sur de Rancagua sufrieron daños. No hubo estragos en los edificios de Santiago, pero se observaron ondulaciones periódicas del agua en numerosas zanjas de irrigación. La ciudad de Chillán fue destruida en su totalidad. Se decidió reconstruirla en un lugar más seguro unos 3 km del sitio anterior. No todos los vecinos se cambiaron al nuevo lugar, por lo que la ciudad quedó dividida en Chillán Viejo y Chillán Nuevo.

El maremoto comenzó con una gran retirada del mar que, media hora después de ocurrido el terremoto, dejó casi seca la bahía de Talcahuano dejando varadas a numerosas embarcaciones. La primera onda llegó en la bahía a alturas de 9 metros sobre el nivel de la marea alta, seguidas en un corto lapso por dos ondas más de alturas superiores. Las casas ubicadas en isla Quiriquina a alturas de 13 metros sobre el nivel del mar fueron destruidas por el maremoto que inundó completamente a Talcahuano y también a las instalaciones portuarias ubicadas en Juan Fernández.

En Valparaíso las amplitudes fueron bajas y en Castro produjo estragos. Se estima una magnitud de 8 para este terremoto cuyo epicentro estaría a menos de 30 km de la ciudad de Concepción. Se generó además un maremoto de proporciones que agregó más destrucción. Dentro de la historia de Chile, el terremoto del 20 de Febrero de 1835 se conoce como "La Ruina. Existió una variación máxima del nivel del mar de 13 metros en isla Quiriquina.

Terremoto de Valdivia

Epicentro del terremoto: latitud 42,5° S; longitud 74,0° W

Magnitud estimada: >8,0 Richter

Fecha: 7 de Noviembre de 1837.

Registro: De acuerdo a los escritos dejados por Claudio Gay, el terremoto de Valdivia afectó a las ciudades de Talca, Concepción, Valdivia y Osorno, y reporta un gran daño a los edificios fiscales. De acuerdo a las crónicas, este terremoto no produjo un maremoto con grandes efectos en Chile, si se propagó por el océano Pacífico, siendo registrado en Samoa, Archipiélago Tuamotu, islas Tonga, Hilo, Hawaii, donde murieron alrededor de 50 personas y en Honshu, Japón. Variación máxima del nivel del mar: 2 metros en Ancud

5. Registros de sismos de grandes magnitudes SIGLO XX

Terremoto de Valparaíso

Epicentro del terremoto: latitud 33,0° S; longitud 72,0° W

Magnitud calculada: 8,3 Richter

Fecha: 16 de Agosto de 1906

Registro: Gran terremoto en la zona de Valparaíso con intensidades IX en la escala Mercalli desde Papudo a la desembocadura del río Rapel. El maremoto generado fue relativamente menor con alturas máximas de poco más de 1 metro sobre el nivel de la marea alta. No hubo daños en la bahía de Valparaíso causados por este maremoto. El maremoto fue registrado en Hawaii, Japón, Estados Unidos e islas Marquesas donde produjo daños a una iglesia. Existió una variación máxima del nivel del mar de 1,5 metros en Valparaíso

Terremoto de Talca y Constitución

Epicentro del terremoto: latitud 35,0° S; longitud 72,0° W

Magnitud calculada: 7,9 Richter

Fecha: 1 de Diciembre de 1928,

Registro: Terremoto que provoca destrucción desde Valparaíso a Concepción, ocurrido a las 00:07 horas. Hubo 108 muertos en Talca, 67 en Constitución y alrededor de 50 en los pueblos aledaños y 500 heridos. Durante toda la mañana del 1 de diciembre se observaron inundaciones inusuales a lo largo de la costa de Chile central. En Constitución el agua se elevó 1,5 metros sobre el nivel de la alta marea Variación máxima del nivel del mar: 1,5 metros en Constitución

Terremoto de Chillán

Epicentro: -

Magnitud: escala de Mercalli modificada XI

Fecha: 24 de Enero de 1939.

Registro: Sismo que sacudió a Chillán y a todas las ciudades colindantes, con una intensidad registrada de 7,8° en la Escala Richter. Ostenta el record de la mayor cantidad de muertos en un sismo en la historia de Chile, con alrededor de 30.000 víctimas fatales. A diferencia de los otros sismos nombrados, corresponde a un terremoto de intraplaca, asociado al quiebre de la placa de Nazca en profundidad. En la escala de Mercalli Modificada, el terremoto tuvo las siguientes intensidades: Arica III, Iquique y Antofagasta IV, La Serena VI, Valparaíso, Santiago y Rancagua VII, Talca VIII, Parral IX, Cauquenes, Quirihue, Bulnes y Concepción, X; Chillán XI, Arauco IX, Los Ángeles y Angol VIII, Temuco VIII, Valdivia VI, Puerto Montt V y Aysén IV.

Terremoto de Lebu e Isla Mocha

Epicentro: cerca de la Isla Mocha a 70 km de profundidad

Magnitud: 7.2 Richter

Fecha: 20 de Abril de 1949.

Registro: Diez años después del Terremoto de Chillán, un terremoto de magnitud 7.2, destruye el 80% de la ciudad de Angol provocando un ambiente de pánico y confusión en la población. Tuvo una intensidad de IX en la escala de Mercalli Modificada, VIII en Concepción, Temuco y Los Ángeles y VII en Chillán, Valdivia y Talca. En Lebu también produjo algunos daños a los que se sumó un maremoto. En Concepción se sintió el sismo sin provocar daños materiales ni personales.

Un sismo de magnitud 7.2 se produjo a las 11:32 hrs. El epicentro se localizó 25 km al Sur de Lebu. Se generó un maremoto que inundó parte de la ciudad hasta la plaza de armas. La resaca siguiente fue brusca y rápida, arrastrando numerosos objetos al mar.

Terremoto de Tomé

Epicentro: costas de tome

Magnitud: 7,6 Richter

Fecha: 6 de Mayo de 1953

Registro: Terremoto frente a las costas de Tomé, alcanzando una magnitud de 7,6 en la escala de Richter y provocando 12 muertes. La zona más afectada, fue la misma del terremoto de 1939, es decir, Concepción y Chillán. En Concepción el 15% de las edificaciones resultaron

dañadas y en Chillán, el daño fue mayor aún. En la ciudad de Tomé, la violencia del movimiento hizo que las casas habitación de la gente modesta, sufrieran considerables daños, quedando muchas familias a la intemperie. Los daños se remitieron al agrietamiento de murallas, techos hundidos, etc. Las industrias textiles de la localidad y Bellavista no sufrieron daños materiales de consideración. Hubo quebrazón de vidrios y pedazos de murallas desprendidas. La gente se aglutinó en la Plaza de Armas y lanzaban gritos histéricos lo que hizo más confusa la situación. En Cauquenes se cayeron murallas de casas viejas. En Coronel la mayoría de los edificios resultaron con grietas en muros y techos y se cortó la luz y agua. En Bulnes el sismo provocó grietas en las murallas y destrozos totales o parciales en las techumbres. Dos heridos graves y 25 casas derrumbadas y semidestruidas, fue el balance en la localidad de Florida.

Terremotos del 21 y 22 de Mayo de 1960 en Valdivia y en otras ciudades del Sur de Chile

Epicentro del terremoto: latitud 38,5° S; longitud 74,5° W

Magnitud calculada: 9,5 Richter

Fecha: 21 de mayo

Registro: Terremotos que causaron gravísimos daños en las provincias comprendidas entre Concepción y Chiloé, siendo las ciudades más afectadas las de Valdivia, Puerto Montt, Ancud, Castro y Corral. Este terremoto originó un maremoto de tales proporciones que asoló todos los puertos de esa zona produciendo enormes daños y alrededor de 1.000 víctimas. El maremoto se propagó por toda la cuenca del océano Pacífico causando daños y víctimas en Hawaii, Oceanía y Japón.

La variación máxima del nivel del mar fue de 15 metros en Ancud.

Terremoto en Valparaíso.

Epicentro del terremoto: latitud 33,11° S; longitud 71,61° W

Magnitud calculada: 8,0 Richter

Fecha: de Marzo de 1985.

Registro: Extenso daño en Valparaíso y pueblos aledaños. Hubo 177 muertos y miles de heridos. Se produjo un pequeño maremoto que no produjo daños, pero fue registrado a lo largo de la costa de Chile. Con una variación máxima del nivel del mar de 1,2 metros en Valparaíso.

6. Registros de sismos de grandes magnitudes del siglo XXI

Terremoto del 27 de febrero de 2010

Epicentro del terremoto: latitud 36,29° S; longitud 73,24° W

Magnitud calculada: 8,8 Richter

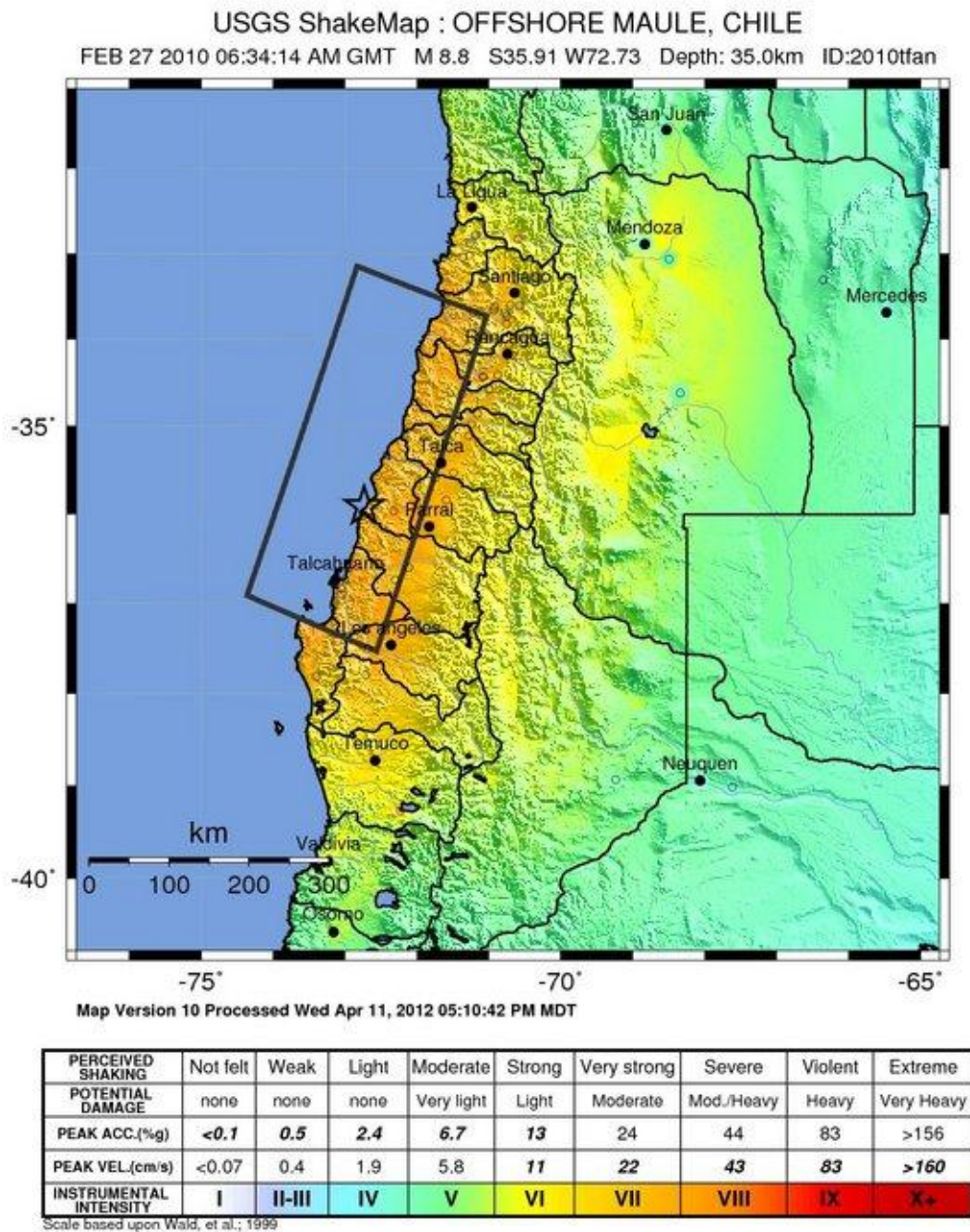
Fecha: 27 de febrero 2010

Registro: Terremoto Constitución - Concepción. Extensos daños en Araucanía, Biobío, Maule, O'Higgins, Región Metropolitana y Valparaíso. Hubo 521 muertos, 12.000 heridos y un total de 1,8 millón de personas afectadas. En la escala de Mercalli Modificada, el terremoto tuvo las siguientes intensidades: Concepción IX, Chiguayante, Coronel, Lebu, Nacimiento, Penco, Rancagua, Santiago, San Vicente, Talca, Temuco y Tome VIII, desde La Ligua hasta Villarrica VII, Ovalle y Valdivia VI. Se sintió hasta Iquique y Punta Arenas. En Argentina se sintió en Cutral-Có y San Juan V, Córdoba y Mendoza IV y en Buenos Aires III. En Sao Paulo, Brasil II.

El maremoto posterior causó daños y destruyó edificios en Concepción, Constitución, Dichato y Pichilemu. Se observaron hasta 2 metros de alzamiento en la costa cerca de Arauco. La variación máxima del nivel del mar fue 2,6 metros en Valparaíso.

A continuación, se presenta la imagen N° 16 con las intensidades del sismo del 27 de Febrero. En esta se identifican el área principal afectada por el terremoto, que corresponde a la zona centro sur de Chile. Además en esta imagen se hace patente la influencia sobre el territorio chileno e incluso Argentino a pesar de la distancia, existiendo intensidades menores a VI hacia el norte de la Quinta región e incluso para Mendoza en Argentina.

Imagen N°17: Intensidades de sismo 27 de febrero 2010 en Chile.



Fuente: Fuente: USGS, 2012. Disponible en:
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/global/shake/2010tfan/>

14.1.2 VOLCANISMO

DESCRIPCIÓN

La actividad volcánica constituye un peligro natural, cuya fuerza y dinámica son capaces de modificar y transformar el escenario físico de su entorno, afectando la vida y alterando la atmósfera.

La acción volcánica presenta una amplia gama de eventos eruptivos que generan peligros directos e indirectos de distinta magnitud. La mayor parte de los eventos de peligro volcánico son conocidos, ya sea por observaciones directas de erupciones históricas e incluso a través de registros y estudios prehistóricos, que permiten tener un manejo adecuado y así disminuir el riesgo de la población y atenuar sus efectos.

La Cordillera de los Andes representa un ejemplo de desarrollo de magmatismo efusivo en un margen oceánico – continental, este proceso de subducción ha dado origen a tres grandes cadenas volcánicas. Sin embargo, el frente de subducción de placas no es homogéneo, por lo que existen superficies en que existen condiciones favorables para la acción volcánica, lo cual se encuentra asociado a subducciones con un ángulo de 10° a 35°. La subducción de la corteza oceánica y las condiciones termodinámicas generan las condiciones para que el material de la corteza se funda al interior de la corteza, por las características del material fundido este asciende (magma) a la superficie terrestre que por controles estructurales, y condiciones físico – químicas (densidad y temperatura), provoca las erupciones volcánicas.

En Chile el volcanismo activo se encuentra localizado en zonas discontinuas. Las zonas con dominio de volcanismo activo corresponden a zona entre los 18° y 27°S y aquella al Sur de los 33°S se ubica el volcanismo activo, mientras que entre los 27°-33°S está ausente.

Tipos de Peligros Volcánicos

La actividad volcánica presenta una amplia gama de eventos eruptivos que generan peligros directos e indirectos.

- **Los peligros directos** asociados a la actividad volcánica se encuentran: Terremotos volcánicos, lluvia de tefra y proyectiles balísticos, flujos y oleadas de piroclastos, flujos de lava, gases volcánicos y ondas expansivas atmosféricas.

Temblores: Corresponde a la sismicidad que se presenta en sectores volcánicos activos. Se identifican como tales cuando existe fracturamiento de la corteza asociada, explosiones volcánicas, movimientos de masas rocosas, esfuerzos tectónicos de compresión y expansión asociado al ciclo eruptivo.

Lluvia de tefra y proyectiles balísticos: Se encuentran asociados a erupciones explosivas, las cuales generan un chorro de piroclastos en la atmósfera a gran altura.

Flujos y oleadas de piroclastos: Son masas calientes entre 300° y 600° C secas, de piroclastos y gases que se mueven a gran velocidad de varios cientos de metros por segundo.

Flujo de lava y domo: Corresponde a la salida de magma desde los conos volcánicos. Existen distintos tipos de magmas lo que permite diferenciar su comportamiento; si existen lavas de alta viscosidad presenta una tasa baja de efusión lávica lo que permite la conformación de domos, caso contrario ocurre con lavas d baja viscosidad.

Ondas expansivas atmosféricas: Ondas expansivas generadas por el rápido ascenso y expansión de gases mezclados en el chorro de eyección durante una erupción explosiva.

Gases volcánicos: El magma tiene una gran cantidad de gases disueltos que son liberados a la atmósfera durante la erupción o desde sistemas hidrotermales.

- Entre los peligros indirectos asociados a la actividad volcánica se encuentran: los deslizamientos volcánicos o avalanchas de rocas, lahares y flujos de barro.

Deslizamientos volcánicos: Se genera en aquellos conos volcánicos que poseen inestabilidades referidas a pendientes, fallas y materiales poco consolidados, los cuales son generados por intrusión de lava, actividad sísmica, los cuales inestabilizan las laderas y generan deslizamientos y avalanchas.

Lahares e inundaciones: Mezcla de rocas fragmentadas con aquellas preexistentes en las laderas de los volcanes, producto de la actividad volcánica existe fusión de la nieve lo que conlleva al arrastre de materiales aguas abajo. Generando flujos de materiales rocosos y finos que colmatan los cursos hídricos generando un aumento de caudales producto de la ocupación de parte del cauce por materiales del deslizamientos.

CATASTRO HISTÓRICO

En función de las cuencas que drenan hacia el valle del Maule, sector donde se emplaza las localidades de Colbún, se desarrollará un análisis de catastro y registros de los centros volcánicos ubicados desde los 35° a los 37° Latitud Sur, debido a la influencia que ejercen estos sobre el sistema de cuencas que alimenta el valle del Maule.

La zona mencionada con anterioridad comprende a centros volcánicos que se encuentran en la zona definida como activa en términos volcánicos, de hecho entre los 33° y los 46° se define un alto índice de actividad volcánica.

Dentro de los registros de actividad histórica se encuentran los siguientes centros volcánicos:

▪ **Calabozos**

Complejo volcánico que posee una caldera de 26 X 14 kilómetros cuadrados en la que existen una serie de estrato volcanes antiguos, entre los que se encuentran el volcán Cerro del Medio y el Descabezado Chico.

La caldera se formó por masivas erupciones desde hace 800.000, 300.000 y 150.000 años de antigüedad. Dichas erupciones generaron cientos de kilómetros cúbicos de depósitos de cenizas volcánicas.

En el Pleistoceno tardío la caldera Calabozos produjo importantes flujos de magma riodacíticos y dacíticos de 200 -500 kilómetros cúbicos denominados como tobas loma seca hace 0,5 millones de años.

▪ **Descabezados y Quizapu (35° 35' S - 70° 45'O)**

Descabezado

Corresponde a un estratovolcán de cima achatada con un cráter central de 1.5 km de diámetro, relleno con hielo. Está emplazado en la alta cordillera de la región de Maule, 65 km al este de San Clemente. Este volcán es activo desde hace al menos unos 300 mil años y sus productos volcánicos corresponden principalmente a lavas, tefras y aglutinados de composición andesítica a riodacítica, que han alcanzado hasta 7 km de longitud. (SERNAGEOMIN)

La última erupción que registra fue en el junio del año 1932, aquí se abre un respiradero de 900 metros de diámetro, lo que generó una columna de ceniza volcánica de 7 a 9 Km. de altura, las que alcanzaron la depresión central y caída de piroclastos. Actualmente el volcán Descabezado Grande no tiene actividad, salvo pequeñas fumarolas en el cráter lateral "Respiradero" en 2009. (SERNAGEOMIN)

Quizapu

El volcán Quizapú de carácter explosivo, ha presentado varias erupciones históricas, donde destacan la erupción de 1.846, el ciclo eruptivo de 1.907 que finaliza con una gran erupción en 1.932, y pequeños ciclos eruptivos posteriores.

La erupción en abril del año 1932 es una de las más violentas del siglo XX en Chile, la columna de tefra alcanza los 25.000 metros, las cenizas cubrieron más de 2.000.000 de kilómetros cuadrados desde Chile a Argentina, afectando incluso la quinta región.

Uno de los principales peligros asociados a la actividad volcánica tanto del Quizapú como del Descabeza corresponde a las lluvias de ceniza, que generalmente en función de la dirección de los vientos poseen un comportamiento nororiente - oriente y aquellos asociados al colapso de la columna de tefra y del edificio volcánico que podrían generar flujos piroclásticos los cuales se

encausarían en los afluentes del río Maule generando efectos asociados a inundaciones, crecidas del río e estancamiento del flujo aguas abajo.

▪ **Complejo Volcánico Caldera del Maule (36° 03' S 70° 30'W)**

Posee una altura de 2.180 m (cota del espejo de agua). La laguna del Maule posee dimensiones de 15 x 25. Está conformada por lavas e ignimbritas andesito – basálticas, andesitas y dacita de edad probable Pliocena - Pleistoceno. (González Ferran O., 1997)

La actividad eruptiva más reciente (desde 1,5 Millones de años) asociada a este centro volcánico de caldera se encuentra al menos en unos 22 centros eruptivos monogenéticos que han conformado flujos de lavas basálticas, conos de piroclastos, lavas domo y domos andesíticos, dacíticos y riodacíticos vítreos, principalmente en torno al anillo interior de la caldera y en su vertiente exterior norte.

▪ **Complejo Volcán Pedro - Pellado (35°.99 S 70.85° W)**

Corresponde a un estrato volcán con una altura de 3.221 metros, posee una caldera cuyas dimensiones son de 6 x 12 kilómetros. Se encuentra conformado por el volcán Pellado, volcán Tatara, volcán guadal y San Pedro.

No posee registros históricos actuales de erupciones volcánicas. Se reconocen erupciones durante los últimos 10.000 años los que contribuyó a la conformación de un cono de escorias.

▪ **Resago (36° 27' S – 70° 55'W)**

Posee una altura de 1.890 m. Corresponde a centro eruptivo monogénico con doble pulso magmático generador de lavas andesíticas –basálticas sobrepuesto con un cono de piroclastos con un doble cráter traslapado. Los flujos de lava escurrieron aguas bajo por el cajón del resago (afluente del río Melado – perteneciente a la cuenca en estudio) hasta las vegas de Leal, junto a la laguna de Dial. (González Ferrán O., 1997)

Su edad se considera histórica y es muy probable que su erupción de corta duración y pequeña magnitud no haya sido perceptible por su ubicación en un sector de valle intermontano.

▪ **Lomas de Longaví (36° 10° S – 71° 10° W)**

Posee una altura de 3.240 metros. Corresponde a un estrato volcán en el que predominan las lavas andesíticas, está conformado por lavas andesíticas brechosas y coladas con estructura

columnar y depósitos de piroclastos pumíceos andesíticos - dacíticos. Se estima una edad Pleistocénica – Holocénica- reciente.

Su cono central alcanza unos 1800 metros de altura y 9 km de diámetro basal, en él se identifican varios conos adventicios y coladas cercanas a la cumbre del volcán los que rellenan los valles.

No existen registros actuales, sin embargo en base a las características morfológicas y estudios geológicos se señalan que han existido erupciones durante los últimos 10.000 años, las cuales conformaron domos.

▪ **Lomas Blancas (36° 16'S 71° 01' W)**

Posee una altura de 2.230 metros y su edad se estima Pleistoceno – Holoceno. Corresponde a un pequeño centro eruptivo constituido por lavas basálticas. Posee un anfiteatro abierto hacia el sur oeste, probablemente generado por colapso del edificio volcánico, que posee 2 kilómetros de ancho, desde el cual habrían escurrido flujos de lava basáltica hacia los flujos hídricos cercanos. No existen registros actuales de erupciones volcánicas.

Efectos de Peligros Volcánicos

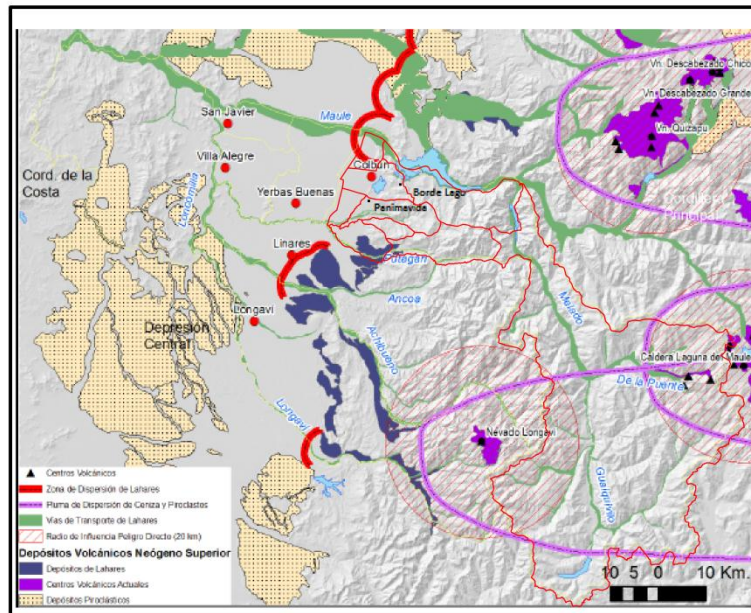
Los efectos asociados a peligros volcánicos en la comuna de Colbún, se relacionan con los centros volcánicos anteriormente mencionados. Estos de acuerdo a los registros históricos, a las características de las erupciones y las condiciones geográficas (presencia de nieves o nieves permanentes y estabilidad del edificio volcánico) pueden generar en la población que habita en centros poblados cercanos, pérdidas económicas (daños a actividades productivas, infraestructura y obras civiles), daño ambiental (contaminación de aguas, problemas sanitarios, suelos cubiertos por cenizas inutilizados para la actividad ganadera y agrícola), además de pérdidas de vidas humanas.

En la comuna existen peligros principalmente asociados a:

- la pluma de dispersión de cenizas y piroclastos en torno al radio directo de influencia del área de los volcanes (radio de 20 km) en las superficies altas en torno a los centros volcánicos Caldera del Maule, donde se encuentran los principales afluentes del río Melado y desde ahí hacia Argentina. Sin embargo, dependiendo de la dirección de los vientos locales esta condición puede cambiar.
- Flujos laháricos en las líneas de flujo preferenciales asociadas a cursos hídricos afluentes del estero melado y aquellos afluentes del Maule, siendo este último el que alimenta el Embalse Colbún, generando un aumento de nivel afectando a la localidad de Bordo Lago, sin embargo el caudal del embalse y su capacidad son controlados con una cota de inundación. El aumento continuaría aguas abajo abriéndose en forma de abanico en la salida del valle encajonado de la precordillera andina. Para el

caso de las localidades de Colbún y Panimávida no existe peligro asociado a la actividad volcánica.

Imagen N° 17: Peligros Volcánicos.



Fuente: Elaboración propia extraída de Plan Intercomunal de Linares (2010).

15 FENÓMENOS EXÓGENOS

Corresponde a fenómenos que se desarrollan sobre las superficies terrestre, y que representan a las manifestaciones entre la interacción de la superficies terrestre, la atmosfera – biosfera – hidrosfera.

15.1 INUNDACIÓN

15.1.1 DESCRIPCIÓN

Las inundaciones son eventos en los cuales se produce la evacuación de aguas contenidas en una masa hídrica, sean ríos, lagos o mar, hacia sectores fuera de su área de influencia normal.

Los procesos de inundación pueden originarse por varios factores, tales como lluvias intensas durante temporales, pero también pueden originarse por colapso o desbordamiento de represas y canales, marejadas en zonas costeras, o como afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas.

En términos geomorfológicos, la definición de áreas de inundación se realiza a partir de las llanuras de inundación. Las llanuras de inundación son, en general, aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua.

Las llanuras de inundación deben ser protegidas, ya que la urbanización y la correspondiente construcción e impermeabilización, aumentan la descarga y la tasa de descarga, lo que reduce el área de superficie disponible para absorber la lluvia y canaliza mucho más rápidamente el flujo hacia alcantarillados y vías de drenaje.

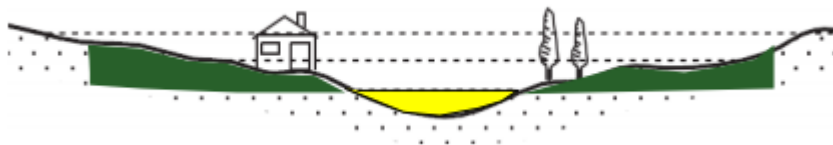
En resumen, las dinámicas de la llanura de inundación son consideraciones básicas a ser incorporadas en un estudio de planificación. Es esencial que el estudio reconozca que los cambios causados por el desarrollo pueden y han de afectar las llanuras de inundación de muchos modos. La revisión de antecedentes e información disponible de inundaciones es la fase inicial que permite prever y evaluar los problemas relacionados con las condiciones hidrológicas y la dinámica de las llanuras de inundación.

Factores de Inundación

Las condiciones topográfica es una de las condicionantes para determinar la profundidad de la inundación a lo que se suma las condiciones climáticas (precipitaciones). Los factores de inundación califican el potencial de un punto particular de ser inundado.

Con las definiciones de estos factores se pueden diferenciar 4 zonas de interés:

Imagen N° 18: Áreas de inundación



Fuente: Extraída de Modelos de evaluación de amenazas (CAPRA)

- Zonas bajas o rodeadas de montañas con mayor peligro de inundación que asemejan
- cauces de ríos. Estas zonas se resaltan en la imagen anterior en color amarillo. El tirante de inundación es igual a la precipitación efectiva más un 50%.

- Lugares cercanos a zonas bajas identificadas como cauces. El tirante de inundación
- es igual a la precipitación efectiva más un 20%. Estas zonas se encuentra en la imagen en color verde.
- Lugares con pendiente topográfica baja o plana. Se considera que el tirante de inundación es igual a la precipitación efectiva.
- Lugares con pendiente topográfica alta. Se considera que no se presenta inundación. A partir de la precipitación efectiva y los factores de inundación se estima aproximadamente el valor de la profundidad de inundación

CATASTRO HISTÓRICO

Con respecto al registro de inundaciones, no se cuenta con datos locales para la comuna de Colbún. Por ello se recurrió a los datos proporcionados por la DGA (2010) para aquellos eventos críticos que generaron caudales de crecida en el embalse Colbún Machicura y aquellos eventos registrados por la ONEMI y Vialidad con fechas de crecidas del Río Maule.

Al considerar la cuenca del Maule como un sistema ambiental, se reconocen en él condiciones climáticas extremas, las cuales influyen a su vez en las superficies que integran este medio, como son las localidades de Colbún, Borde Lago y Panimávida. Por este motivo, se decidió considerar aquellos registros existentes del embalse Colbún – Machicura. (Ver Tabla N° 4: Eventos críticos y caudales de crecida instantáneas asociados al embalse Colbún y Tabla N° 5: Fechas de Crecidas del Río Maule)

Tabla N° 4: Eventos críticos y caudales máximos instantáneos asociados al embalse Colbún.

Fecha de Evento	Embalse m ³ /s
19 de junio de 1986	5.300
28 de mayo 1991 / 29 de mayo de 1991	6484
29 de junio 2000 / 3 de julio 2000	4318
10 de julio 2006 /13 de julio 2006	4904
19 de mayo 2008 / 23 de mayo 2008	6181

Fuente: DGA, 2010

Tabla N° 5: Fechas de crecidas del río Maule.

Fechas Evento	Registro
24 . 07 1940 / 25 - 07 - 1940	ONEMI
8 - 08 - 1941/ 15 - 08 - 1941	
Mayo 1953	
Julio 1965 / Agosto 1965	
Mayor 1972	
21 -05 1974 / 22-05-1974	
Junio 1994	Vialidad
Julio 1995	
Junio 1997	
Agosto 1998	
Septiembre 1999	
Junio 2000 / Julio 2000	
Mayo, Julio, Agosto y Septiembre del 2001.	

Fuente: Modificada de (DGA, 2010), 2012.

Los eventos de crecidas mencionados en la tabla corresponden a fenómenos atmosféricos extremos o las denominadas precipitaciones de tormenta que de acuerdo a registros corresponden a los años 1902, 1905, 1911, 1914, 1918, 1925, 1929, 1939, 1941, 1953, 1957, 1965, 1972, 1976, 1982, 1986, 1992, 1997, 2000 y 2006, años que se asocian a fenómenos Niño.

Para el año 1986 se produjeron inundaciones en gran parte de la zona centro sur, debido a un intenso sistema frontal que generó precipitaciones pluviales sobre la cota 1.500 m.s.n.m. sectores en los que generalmente se encuentran cubiertos de nieve, esta situación causó una situación completamente anómala para los meses invernales. Ésta situación generó que el embalse debiera vertir sus aguas hacia el río Maule (de un caudal medio de 3.320 m³/s) lo que corresponde a un máximo histórico. A nivel regional producto de estas inundaciones del año 1986 se registraron 6 víctimas fatales y más de 3.000 damnificados.

Para el año 2008 en la zona centro sur se registra un temporal que afectó y obligó la apertura de compuertas en el embalse Colbún, lo que provocó aguas abajo y al sistema que abastece el Río Maule (esteros y ríos) zonas de inundación y daños a las actividades productivas, por tal motivo INDAP estableció un financiamiento especial por situación de emergencia en la Región del Maule, de acuerdo a resolución exenta N° 852 del año 2008.

En el año 2010 existen registros de problemas por apertura de las compuertas asociados a problemas estructurales de los canales del embalse Colbún, motivo por el cual ocurrieron una serie de inundaciones en las localidades ubicadas aguas abajo como es el caso de Yervas Buenas.

Es importante mencionar que el área de estudio, especialmente la localidad de Colbún, se encuentra controlado por un sistema de riesgo asociado al canal Machicura, el cual entrega aguas al Estero Machicura que bordea el límite oriente de la localidad. Por lo tanto el sistema hídrico en Colbún se encuentra regulado por el embalse Colbún, y es así que tiene relación directa con sus crecidas y apertura de compuertas para casos extremos.

Si bien se reconoce el manejo de los canales en periodo invernal, época en la que no se utilizan los canales debido a las posibles inundaciones, existen registros de inundaciones en torno a canales de regadío principalmente asociados a la mantención local de ellos y a inundaciones en el estero Machicura cuyo caudal se encuentra controlado tanto por el canal Machicura como por cauces tributarios, por lo cual existen inundaciones constantes en invierno.

Los registros expuestos de precipitaciones extremas en la región y en la cuenca del río Maule entregan antecedentes relevantes para poner en contexto la situación local en estudio. Estos antecedentes sumado a los datos entregados por el municipio y la asociación de canalistas de Riego Maule permiten identificar la realidad local, referida al peligro de inundación, que por un lado se encuentra bastante asociado a problemas de mantención de los canales de riego y a la evacuación de aguas lluvias y por otro a las condiciones naturales de los esteros Machicura (control parcial de canal Machicura) y Estero Caballo Blanco en Panimávida.

Efectos de las Inundaciones

Las inundaciones generan efectos sobre las superficies de las cuales se apropia, entre estos se encuentran:

- Daños a la infraestructura vial e inmuebles de uso
- Daño a viviendas
- Pérdidas económicas derivadas de pérdidas de cosechas
- Pérdidas de vías
- Erosión de suelos, por la remoción de los suelos por arrastre del flujo
- Embancamiento de suelos (depósitos de arenas) por transporte de materiales desde aguas arriba.

15.2 MOVIMIENTOS EN MASA

15.2.1 DESCRIPCIÓN

▪ Concepto de Sistema de Vertientes

Se considera a las vertientes como sistemas. En otras palabras, se refiere a una combinación de varios tipos de vertientes individuales que conforman el sistema o la gran vertiente, y a las formas deposicionales correlativas a éstas. "De la clasificación estructural de los sistemas de vertientes queda implícita la acción de la geodinámica externa frente a cada morfoestructura. Por esta razón, ella es resaltada más especialmente en cuanto a la tendencia erosiva de las vertientes de media montaña y de relieves bajos, en los cuales la estructura no es tan definitiva en la explicación de los fenómenos externos como en la alta montaña". Esto se debe principalmente a razones morfoclimáticas, pues en los ambientes de media montaña existe poca

influencia del frío y las formaciones superficiales cubren de mejor manera las morfoestructuras (ARAYA – VERGARA, 1985).

Se revisa el concepto de vertientes debido a la importancia que adquiere esta superficie en el desarrollo de proceso de movimientos en masa. Por tal motivo, ésta corresponde a la superficie de análisis principal para los fenómenos mencionados.

- **Movimientos en Masa**

Los movimientos en masa, se refieren intrínsecamente a procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambas, en diversas proporciones, generadas por una serie de factores. Corresponden a procesos gravitacionales, en los que una porción del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original (ARAYA – VERGARA, 2002)

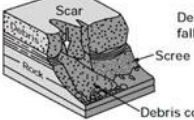
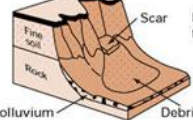
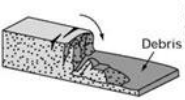
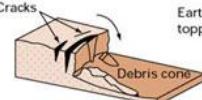
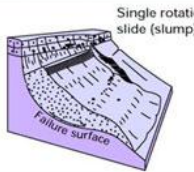
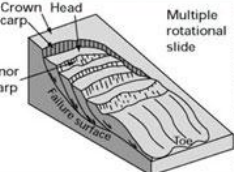
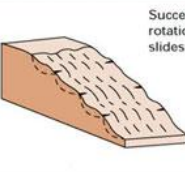
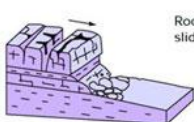
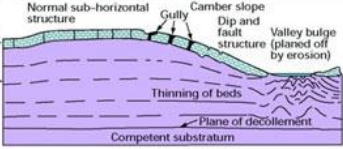
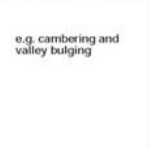
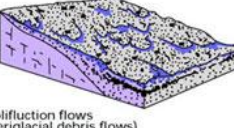
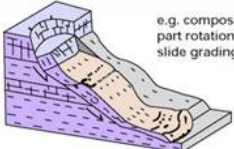
- **Factores Desencadenantes de Fenómenos de Movimiento en Masa**

Los fenómenos de movimiento en masa están condicionados por factores geológicos, morfológicos, físicos y humanos, pero son gatillados por un estímulo externo, tales como lluvias intensas, derretimiento rápido de nieves, cambios niveles del agua, erupciones volcánicas, terremotos, rápida erosión de corrientes, etc., que causa una respuesta inmediata en la forma de estos fenómenos, por el rápido incremento de los estrés o por la disminución de la resistencia de los materiales expuestos en las laderas (WIECZOREK, 1996; Y CARRASCO, 2000).

- **Tipos de Movimientos en Masa**

Los movimientos en masa se clasifican a partir del tipo de movimiento, su velocidad y el tipo de material transportado. A continuación se presenta un resumen de los tipos de movimientos en masa.

Imagen N° 19: Tipos de Movimientos en Masa

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS				
		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES				
		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	Rotational			
	Translational (Planar)			
SPREADS				
		Cap rock		Earth spread
FLOWS				
		Solifluction flows (Periglacial debris flows)	Debris flow	Earth flow (mud flow)
COMPLEX				
		e.g. Slump-earthflow with rockfall debris	e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

BGS © HERC

Fuente: Extraído de

http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

Entre los fenómenos destacados se encuentran el deslizamiento y el flujo, debido a que ambos presentan diferencias asociado principalmente al tipo de material que transportan.

▪ **Deslizamientos de Terreno**

Los deslizamientos son remociones en masa en las cuales las masas de suelo o roca se deslizan principalmente a lo largo de superficies de ruptura, al superarse la resistencia al corte, generando el movimiento del material en su conjunto (Hauser, 1993). Los deslizamientos pueden ocurrir de varias formas dependiendo de las propiedades del material y las características geológicas y geomorfológicas del entorno, por lo que los movimientos pueden ser rotacionales y/o traslacionales. Esto implica que las superficies de ruptura pueden ser curvas o cóncavas, o a lo largo de un plano o superficie ondulada, respectivamente.

Consiste en un movimiento pendiente abajo de una masa de suelo o roca que ocurre predominantemente sobre superficies de ruptura o en zonas relativamente estrechas con intenso *strain de cizalle*. El movimiento es progresivo, es decir se propaga desde un área de debilidad local de cizalle, sin necesitar de un plano o superficie de ruptura previa. A menudo los primeros signos de movimientos son las grietas en la superficie original, a lo largo de las cuales se formara el escarpe original de ruptura. Cuanto mayor sea la pendiente mayor es la componente de cizalle y los deslizamientos serán más frecuentes.

▪ **Flujos de Detritos y Barro**

Los flujos de detritos, referidos comúnmente como 'aluviones', son remociones en masa que ocurren cuando una masa de sedimentos con mala clasificación, agitados y saturados con agua, se movilizan pendiente abajo como flujos de sedimentos. Los flujos de detritos usualmente son descritos como fluidos no-newtonianos o plásticos de Bingham, donde la fracción sólida varía generalmente entre 50% a 90% en volumen (Costa, 1984).

Para la ocurrencia de flujos de detritos es necesario que exista una cuenca donde se colecten los aportes de lluvia y una zona de acumulación de material donde los detritos se acopien para ser posteriormente transportados en el caso de que se cumpla alguna condición desencadenante. En Chile, el factor desencadenante más común de flujos de detritos son las lluvias esporádicas, de corta duración y de intensidad excepcional. Por otro lado, en nuestro país existen muy pocos estudios que relacionen las intensidades de precipitaciones y este tipo de fenómenos, debido principalmente a los escasos registros de intensidad de precipitaciones y de flujos de detritos históricos.

▪ **Elementos relevantes a Considerar**

Para el presente estudio los elementos que se considerarán para definir la zonificación respectiva para los riesgos de movimientos en masa son:

▪ **Pendiente**

Todos los movimientos que se efectúan sobre una vertiente son más o menos función de su inclinación. Para saber a qué niveles de pendiente se pueden producir fenómenos, es necesario hablar de una pendiente crítica o umbral de pendiente (ARAYA VERGARA, 2002). Por ello se evaluará la superficie del área de estudio a partir de la clasificación siguiente Tabla, que permite reconocer a partir de las pendientes umbrales geomorfológicos asociados a movimientos en masa.

Tabla N° 6: Clasificación de umbrales geomorfológicos asociados a fenómenos de movimientos en masa.

Pendiente en grados	Pendiente en Porcentaje	Concepto	Umbral Geomorfológico
2	0 - 4,5	Horizontal	Erosión nula o leve
2 - 5	4, 5 - 11	Suave	Erosión débil, difusa, <i>Sheet wash</i> , inicio de regueros, solifluxión fina.
5 - 10	11 - 22	Moderada	Erosión moderada a fuerte, inicio de erosión lineal, <i>Rill wash</i> o desarrollo de regueros, presencia de flujo atenuado
10 - 20	22 - 44,5	Fuerte	Erosión intensa: Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes, deslizamientos (15% en arcilla).
20 - 30	44, 5 - 67	Muy Fuerte a Moderada mente escarpada	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa, reptación. > a 25° flujos deslizamientos (20° en arenas)
30 - 45	67 - 100	Escarpada	Coluvionamiento, solifluxión intensa, inicio de derrubación.
45 - +	De 100	Muy Escarpada p acentuada	Desprendimientos y derrumbes. Corredores de derrubios

			frecuentes.
--	--	--	-------------

Fuente: Fuente: Elaboración propia a partir de Araya Vergara & Börgel (1972), Joung (1975), Pedraza (1996) y Jaque (1995).

▪ **Exposición**

La exposición de las laderas del área de estudio es un factor condicionante para los procesos naturales, especialmente los movimientos en masa. Se observa que los talwegs orientados según eje este – oeste presentan perfiles asimétricos, de modo que los flancos sur poseen comparativamente pendientes menores y mayor desarrollo de la cobertura de suelos y vegetación. En cambio las laderas norte presentan fuertes pendientes y escaso desarrollo de suelos y vegetación.

▪ **Geología**

Dependiendo del tipo de material existente en el área, y si éste posee un alto grado de meteorización, baja permeabilidad, fracturamiento, textura fina y con un alto contenido de agua, se dan las condiciones para que dicho fenómeno ocurra.

Para el caso del área en estudio existen características similares en la localidad de Borde Lago en lo referido al tipo geológico, material volcánico sedimentario y superficies de conos aluviales en sectores de quebradas.

Efectos de fenómenos de movimientos en Masa

Los efectos generados por los fenómenos de movimientos en masa son:

- Daños a infraestructura
- Pérdidas de vidas
- Daños a viviendas
- Perdas económicas por efectos negativos sobre áreas de producción, actividades económicas.
- Problemas de conectividad, principalmente cortes de caminos.

CATASTRO HISTÓRICO

No existen registros asociados a los fenómenos de movimientos en masa en la comuna. Se analizaron y compararon fotografías aéreas (Vuelo SAF - 2002) e imágenes satelitales del área. Los cuales se mencionan en el capítulo de Peligro de Movimientos en Masa. Sin embargo, para las superficies en estudio de Colbún y Panimávida no se registran dichos fenómenos, ya que por sus condiciones geográficas y topográficas en la actualidad no se encuentran afectas. Sin embargo, las terrazas sobre las cuales se emplazan corresponden a depósitos aluviales, encontrándose en una posición de recepción de materiales de remoción ubicadas aguas arriba del Río Maule y las quebradas cercanas a Colbún.

En las superficies de Borde Lago, existen superficies de depósito asociadas a fenómenos de deslizamientos y de acuerdo a observaciones de terreno existe una dinámica activa de las vertientes, lo que favorece deslizamientos, además de erosión difusa y concentrada.

16 ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD FRENTE A PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

En cuanto a la zonificación de los peligros, en el presente estudio se localizarán en el área de estudio, aquellas superficies que fueron identificadas a escala local, no se zonificarán aquellos peligros que no otorgan nivel de detalle a escala urbana, entre estos se encuentran los peligros volcánicos y sísmicos.

16.1 PELIGRO NO ZONIFICABLE

16.1.1 PELIGRO SÍSMICO

De acuerdo a los registros de sismos importantes, al igual que casi todo Chile la región y la localidad presenta una sismicidad bastante acentuada, existiendo amplios registros de sismicidad.

El terremoto el 27 de febrero generó una amplia zona de ruptura (500 kilómetros), la que liberó energía acumulada desde 1835, por lo que se estima una probabilidad baja de ocurrencia. Sin embargo, dada la recurrencia de estos fenómenos y la dinámica de subducción, no debe descartarse la ocurrencia de este tipo de fenómenos en la planificación a mediano y largo plazo.

Dependiendo del área de ruptura y la magnitud del sismo éste afectará el área. Magnitudes superiores a 7 grados sobre los 200 kilómetros de profundidad pueden afectarla, de acuerdo a

registros históricos y a los datos de registros recientes, cuya fuente sismogénica sea de tipo interplaca, intraplaca o corticales.

16.2 PELIGROS VOLCÁNICOS

Los centros volcánicos que pueden afectar el área son aquellos que se encuentran en la cuenca del Río Maule, ubicados entre los 35° a los 37° de Latitud. Al encontrarse en una superficie de gran actividad volcánica y a los registros históricos recientes de actividad en el área existen altas probabilidades de ocurrencia de peligros asociados a la actividad volcánica (Pluma de Tefra, Sismicidad local, Flujos de Lahares, Flujos de Piroclastos, Masa de Gases).

Los volcanes que registran actividad reciente corresponden al Quizapú y el Descabezado Grande, siendo este último monitoreado actualmente por la Red Nacional de Vigilancia Volcánica del SERNAGEOMIN, registrando niveles verdes de actividad (comportamiento estable, no existe peligro inmediato).

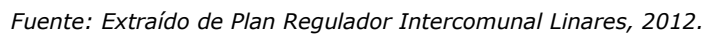
Entre los peligros registrados en el área los que pueden afectarla son:

- Actividad cercana en un radio de 20 kilómetros se estableció un peligro directo asociado a caída de cenizas, efectos de gases Fluor, derrumbes, flujos de piroclastos y de lahares.
- Flujos de lahares y piroclastos, se extienden por las líneas principales del flujo, principales quebradas asociadas a los Ríos Maule y Melado.
- La pluma de tefra afectaría principalmente el área cercana, sin embargo esta situación dependerá de la dirección de los vientos, lo que afectaría las quebradas intermontanas y valles del área comunal. Como ocurrió con erupciones del volcán Quizapu en 1932.

Las condicionantes para que estos fenómenos ocurran en el área de estudios son:

- Presencia de nieves en los centros volcánicos en erupción para que exista presencia de flujos de lahares
- Altura del colapso de la columna de tefra, mientras mayor sea ésta mayores serán los efectos de flujos de piroclastos.

- Imagen N° 19: Zonificación de Peligros Volcánicos en el Área de Estudio.**



16.3 PELIGROS ZONIFICABLES

16.3.1 PELIGRO DE INUNDACIÓN

Cursos Hídricos Naturales – Esteros

Para determinar las superficies de susceptibilidad frente a inundaciones en las localidades de Colbún y Panimávida, se estableció una zonificación basada en interpretación geomorfológica del área en estudio, principalmente referida a cursos hídricos, a partir de un análisis de fotografías aéreas, imágenes satelitales, modelación digital de terreno, datos y consulta en terreno.

A continuación se describen las características de cada una de las localidades y condiciones de susceptibilidad.

De acuerdo a los antecedentes brindados por el Municipio y la Asociación de Canalistas de Riego Maule, el Estero Machicura localizado al oriente de la localidad de Colbún paralelo a la ruta variante Machicura (en dirección a Maule Sur), representa una de las problemáticas ambientales para la comunidad debido a los desbordes de cauce en época invernal.

A partir del análisis de las fotografías aéreas e imágenes satelitales, modelo de elevación y datos proporcionados por la comunidad local. Se determinó la siguiente zonificación de susceptibilidad:

- **Susceptibilidad Muy Alta:** Superficies ubicadas en torno al cauce natural del Estero Caballo Blanco en Panimávida. Corresponden en términos geomorfológicos al lecho menor de depósitos fluviales activos de los cursos hídricos mencionados. (Ver Imagen N° 23: Lecho menor estero Caballo Blanco) (Ver Figura 9)

Para la localidad de Colbún se identifica una superficie bastante amplia como lecho de inundación, cuya superficie es plana, a diferencia de lo que ocurre en Estero Caballo Blanco donde existe un lecho menor claramente delimitado.

- **Susceptibilidad Alta:** Corresponde a las terrazas fluviales bajas de los esteros Machicura y Estero Caballo Blanco. En el caso de éste último, existe una clara delimitación de la terraza inferior o lecho mayor en el sector sur de Panimávida, con áreas en torno a los 20 metros aproximadamente. (Ver Figura 9)

Para el caso de Colbún las áreas definidas en el sector norte se presentan bastante acotadas ampliando su superficie en torno al Puente (en Calle Adolfo Novoa), en este sector en dirección al sur oriente, existe una disminución de alturas por este motivo se amplía la superficie de susceptibilidad frente a inundación. (Ver Imagen N° 24: Estero Machicura sector Puente)

Foto N 7: Lecho Estero Caballo Blanco



Fuente: Elaboración propia (Agosto, 2012).

Foto N 8: Estero Machicura sector Puente



Fuente: Elaboración Propia, 2012.

Embalse Machicura y Colbún. Peligro de Inundación.

Las inundaciones no sólo se relaciona con los cursos naturales, sino que también al sistemas de canalización de las localidades. De acuerdo a los antecedentes brindados por la Asociación de Canalistas de Riego Maule, el problema se centra en la falta de manejo y mantención (problemas de limpieza afectan el sistema e evacuación) de los canales secundarios dependientes del Canal Colbún (matriz) y a la evacuación de aguas lluvias, las que escurren a favor de la pendiente por Avenida O'Higgins y por los desagües de ésta avenida afectando a las Población El Esfuerzo ubicada en torno al Camino San Dionisio.

Para efectos de este estudio se identificaron las llanuras de inundación de los cursos hídricas naturales, no se identificaron los sectores de inundación relacionados con los canales de regadío que pasan por el área urbana de Colbún, y lo que se asocia principalmente a evacuación de aguas lluvias y a la mantención de los canales (limpieza periódica).

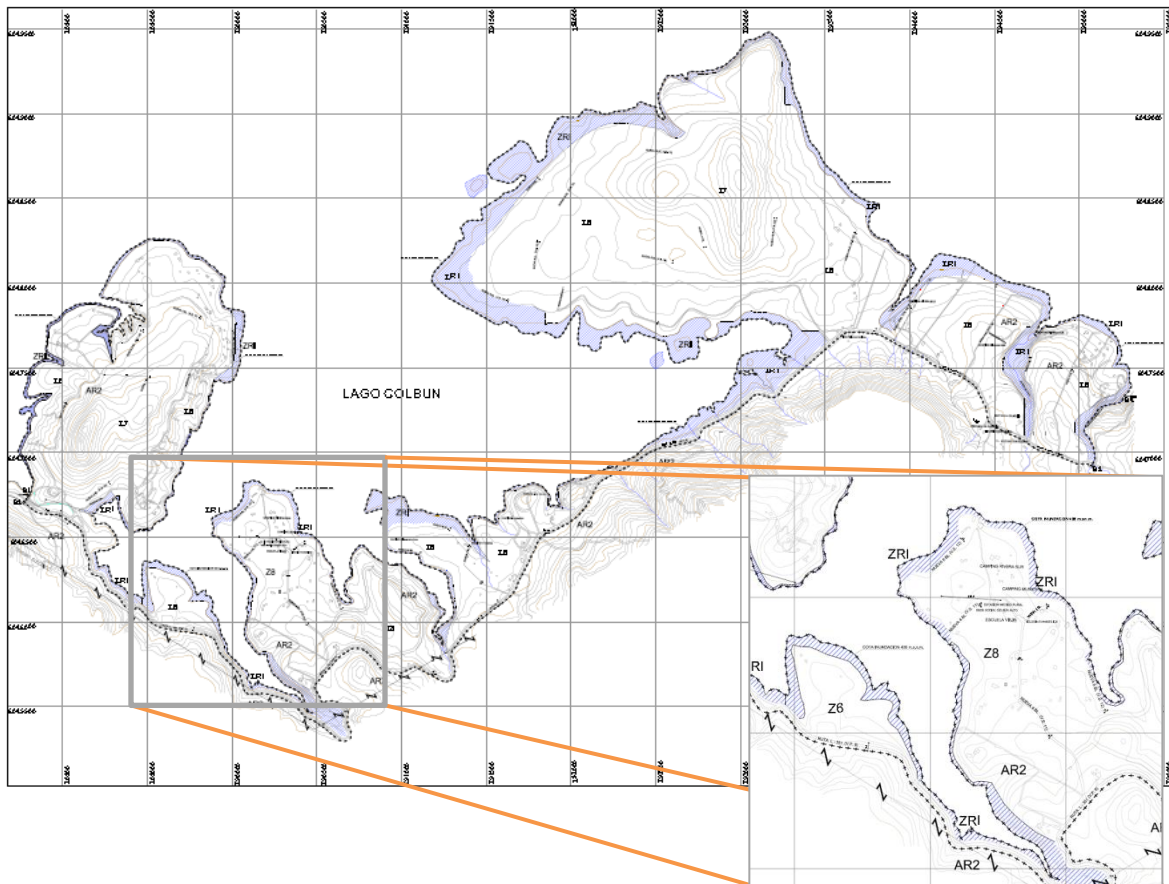
De acuerdo al Plan Regulador Intercomunal Colbún – Machicura vigente desde el año (1989), los terrenos de eventual inundación y de preservación de riberas de los embalses, corresponden a una línea paralela 5 metros tierra adentro de la cota de seguridad, correspondiente a la cota 441 m.s.n.m. en Embalse Colbún y 260 m.s.n.m. en Embalse Machicura. (Ver Imágenes N° 22 y 23)

Se deberán considerar como áreas de riesgo aquellas zonas de restricción definidas en torno al embalse Colbún por el Plan regulador Intercomunal Colbún – Machicura (1989):

- ZR – 2: Terrenos de eventual inundación o de preservación de la ribera de los embalses comprendidos entre las cotas máximas de inundación y la línea paralela a 5 metros tierra adentro de la cota de seguridad.
- ZR – 4: Terrenos que conforman áreas verdes intercomunales ubicados en los bordes del embalse. No son subdividibles ni edificables.

Para el caso del embalse Machicura se contempla la zona de restricción ZR – 1, terrenos de protección a las obras de infraestructura y terrenos de eventual inundación o preservación de ribera (ZR - 2), quedando estos últimos fuera de la zonificación del Plan.

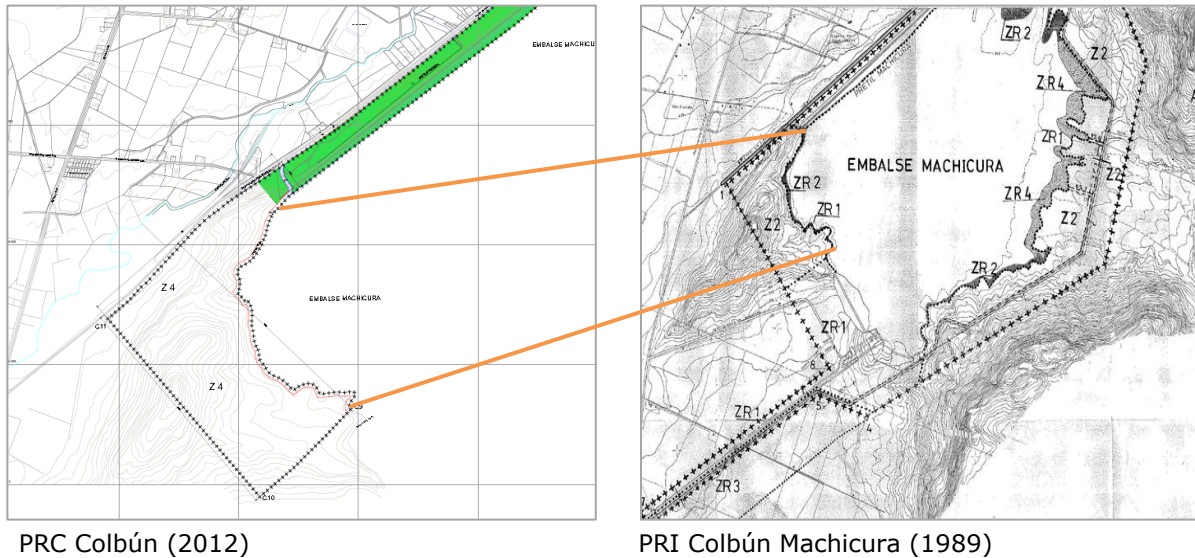
Imagen N° 20: Áreas de Inundación o de preservación en Embalse Colbún – sector Borde Lagos



Fuente: Elaboración propia.

Los niveles del embalse Colbún en la actualidad de acuerdo a lo observado en el recorrido de terreno, posee niveles muy bajos en relación a años anteriores, esta situación se debe a la extensión de periodos secos en la zona centro - sur de Chile, especialmente durante el año 2012. (Ver Foto: Embalse Colbún)

Imagen N° 212: Áreas de Inundación en Embalse Machicura – Colbún (PRC Colbún y PRI Colbún Machicura)

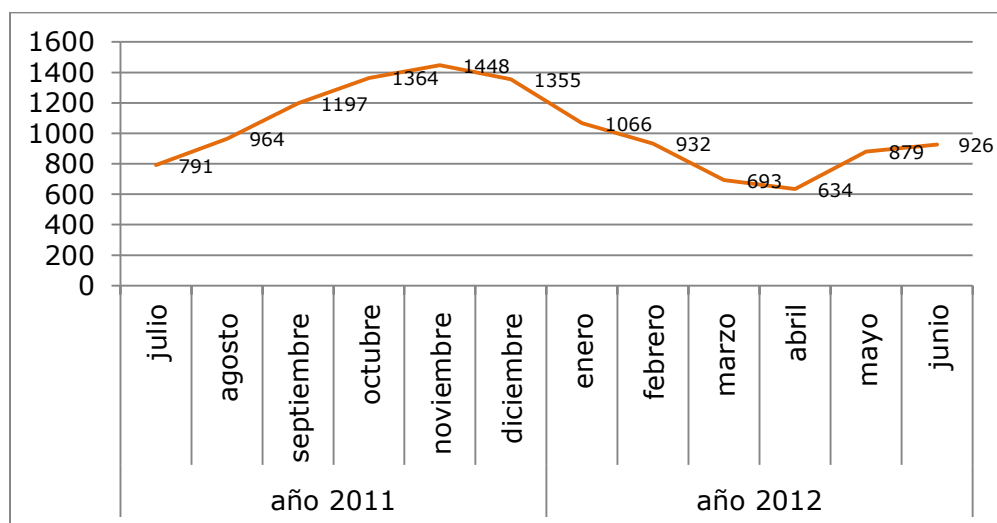


Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a registros de la Dirección General de Aguas (DGA) (Boletín N° 40 – Junio del 2012), existe un constante descenso de los niveles del embalse Colbún. (Ver Gráfico N° 2: Caudales año 2011 – 2012 Embalse Colbún)

La capacidad del embalse corresponde a 1.544 millones de m³ existiendo un promedio anual de 1.053 millones de m³, en la actualidad existen niveles inferiores al promedio (mes de junio del 2012 sólo 926 millones de m³).

Gráfico N° 2: Caudales año 2011 – 2012 Embalse Colbún



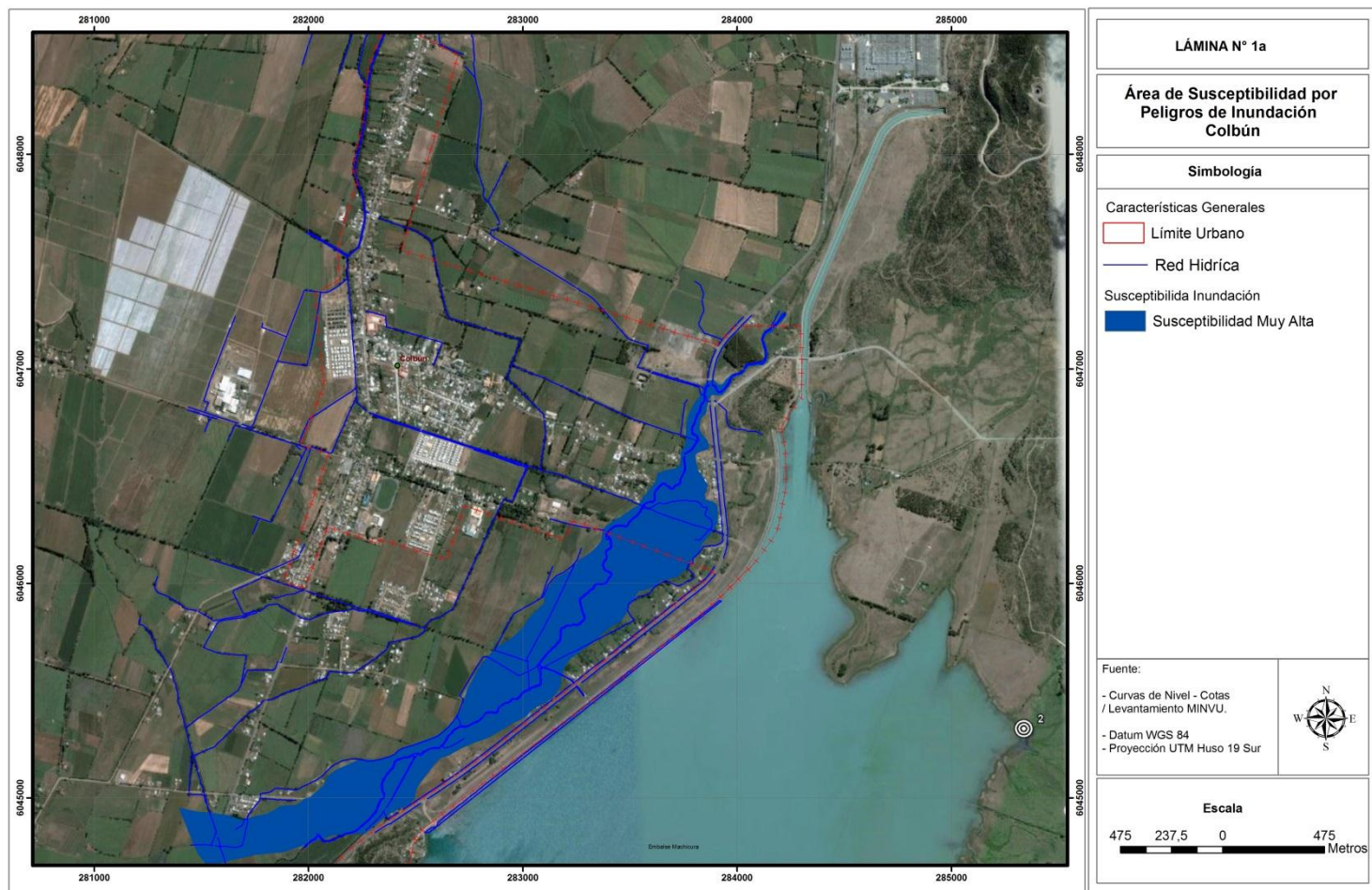
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Boletín N° 40 (DGA, 2012).

Foto N 9: Embalse Colbún – 2012.



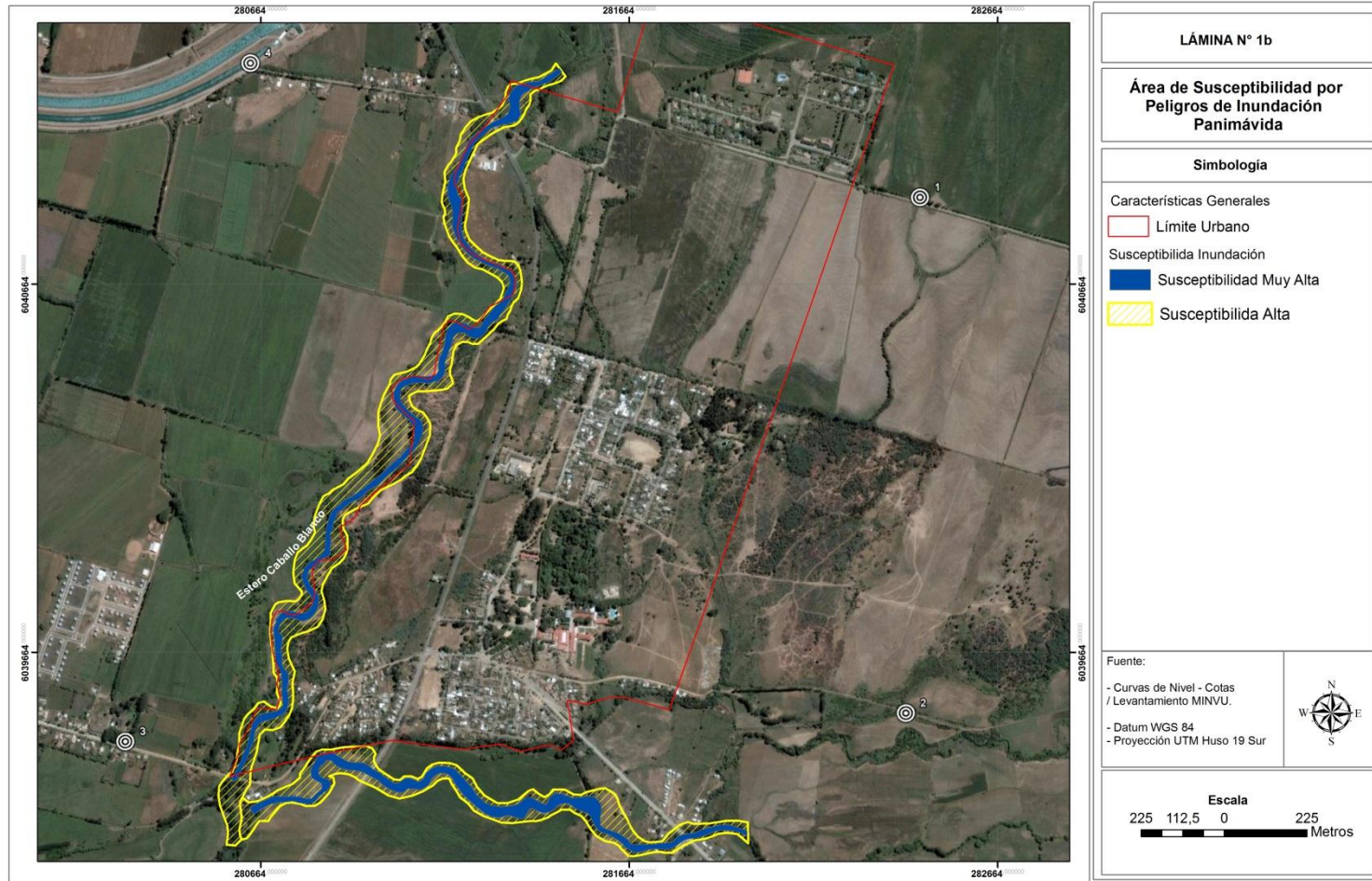
Fuente: Propia, agosto – 2012.

Imagen N° 22: Áreas de Susceptibilidad - Peligro de Inundación / Colbún



Fuente Elaboración Propia, 2012.

Imagen N°23: Áreas de Susceptibilidad Peligro de Inundación – Panimávida



Fuente Elaboración Propia, 2012.

16.4 PELIGRO MOVIMIENTOS EN MASA

En el presente estudio se identificaron las zonas susceptibles a ser afectadas por movimientos en masa (cuya naturaleza corresponde a flujos y/o deslizamientos). Para ello se trabajó en identificar la inclinación de zonas de vertiente, y la exposición situación que está ligada a las condiciones de cobertura vegetal, y por lo tanto a la estabilidad de la misma.

El área a estudiar para este tipo de peligro corresponde a la localidad de Borde Lago superficies de vertientes y formas de depósitos aluviales con pendientes que varían entre suaves (2° – 5°), moderadas (5° – 10°) y fuertes (10° – 20°). Las localidades de Colbún y Panimávida poseen pendientes suaves entre 0% y 11%, ya que se emplazan en superficies de terrazas fluviales antiguas o superficies de valle, donde no se manifiestan fenómenos de este tipo, salvo en torno a escarpes de terrazas fluviales situación que no se observó ni se manifiesta en el modelado digital de terreno.

Se entiende por **movimientos en masa** a aquellos procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambas, en diversas proporciones, generadas por una serie de factores. Corresponden a procesos gravitacionales, en los que una porción del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original. (ARAYA – VERGARA, 2002)

Factores condicionantes a movimientos en masa:

1. Pendiente

Todos los movimientos en masa que se desarrollan sobre una vertiente se encuentran en directa relación a la inclinación. Por ello autores como Jaque (1995) y Araya Vergara (2002) han desarrollado una clasificación basada en rangos de niveles de pendientes en los cuales se pueden producir dichos fenómenos, a cada grupo se le denomina *pendiente crítica o umbral de pendiente*.

2. Exposición de Laderas

Otro de los factores que permite el desarrollo de estos procesos es la exposición de las laderas, ya que esta condición permite identificar sectores con mayor o menor actividad erosiva en función de su cobertura vegetal y desarrollo de suelos. Aquí en términos generales es posible identificar laderas de solana y umbría, en las primeras dominan procesos de degradación mientras que las laderas de umbría favorece la concentración de humedad y por lo tanto mayor desarrollo de cobertura vegetal que a su vez contribuye al desarrollo de los suelos.

3. Geología

De acuerdo al Mapa hidrogeológico (1994)- Hoja Talca, las condiciones del área de Borde Lago corresponde a flancos de valle y relieves precordilleranos, Qe – Escombros de faldas y conos de deyección, los cuales corresponden a formas de depósitos, presentes en quebradas. Posee materiales de tamaños heterogéneos, fracturados y

alterados, con una matriz de arcilla, limo y arena. Corresponde a procesos actuales de modelamiento.

Los materiales depósito de Q_e , se encuentran relacionados con la formación Coya Machalí, presente en las superficies montañosas de la precordillera andina. La cual se encuentra constituida por coladas andesíticas a dacíticas, con intercalaciones de capas volcanoclasticas con predominio de brechas.

Los factores condicionantes fueron ponderados y resultado del cruce de datos se establecieron niveles de susceptibilidad:

Tabla N° 6: Tabla de susceptibilidad

Susceptibilidad	Pendiente	Exposición
Alta	Fuerte ($10^\circ - 20^\circ$) Muy Fuerte ($20^\circ - 30^\circ$) Escarpada ($30^\circ - 45^\circ$) Muy Escarpada ($45^\circ - \text{más}$)	Norte Noreste Noreste (Laderas de Solana)
Media	Moderada ($5^\circ - 10^\circ$)	Norte Noreste Noroeste Sur Sureste Suroeste Plano
Baja	Horizontal ($0^\circ - 2^\circ$) Suave ($2^\circ - 5^\circ$)	Norte Noreste o Noroeste Sur Sureste - Suroeste Plano

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Es importante mencionar que las áreas de mayor susceptibilidad frente a fenómenos de movimientos en masa se delimitaron, ya que estas áreas representan las superficies de mayor riesgo para la población y su medio construido.

A continuación se presenta una imagen con las delimitaciones, es importante destacar que las superficies que se encuentran cercanas a las superficies de variación de los niveles del Lago, ya que estas zonas se definen como áreas de inundación del embalse.

Imagen N° 24: Áreas de Alta Susceptibilidad frente a Movimientos en Masa.



Fuente: Elaboración propia.

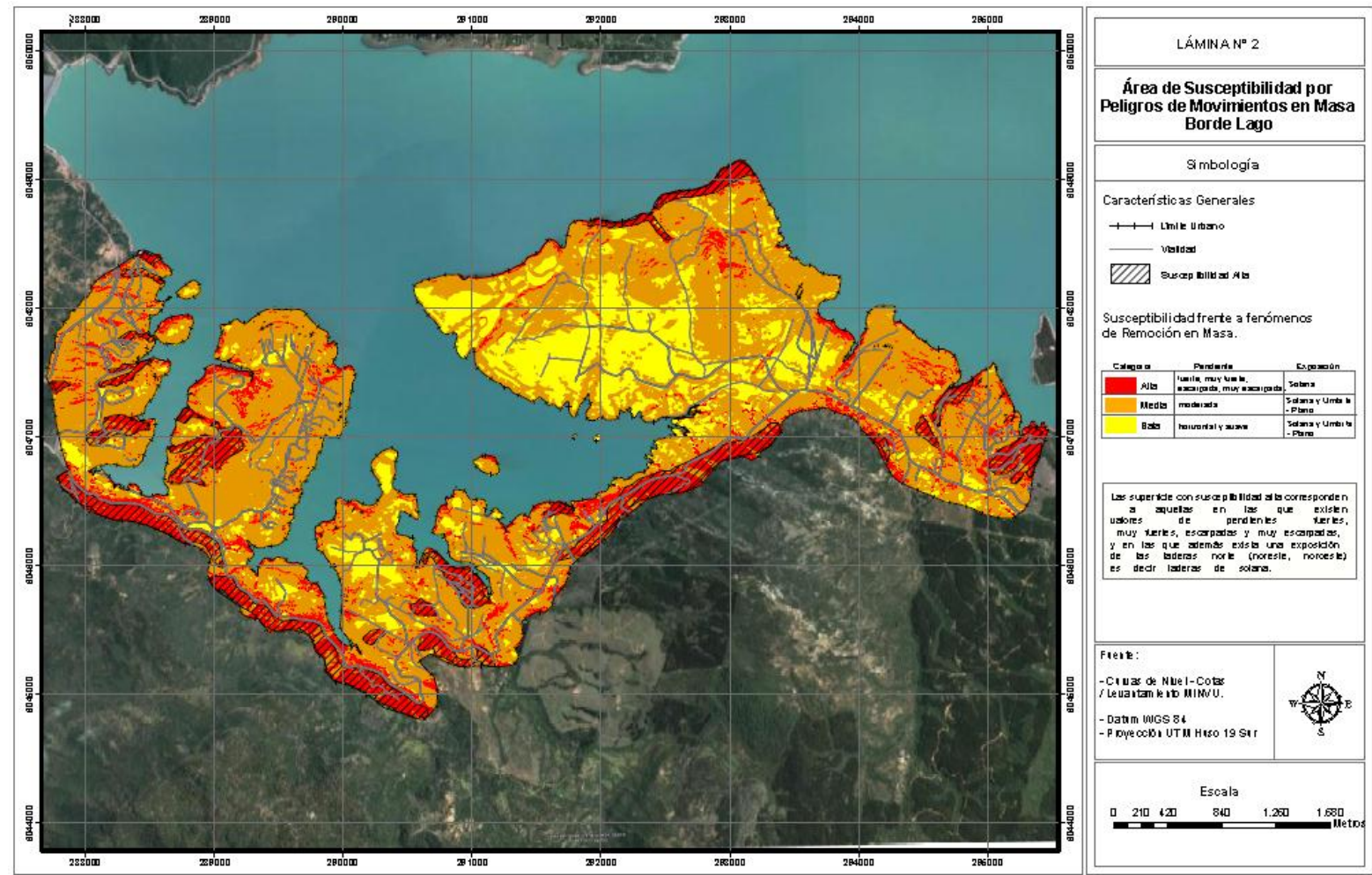
Las superficies de susceptibilidad (marcadas en achurado) son las que se deben incorporar como áreas de riesgo de acuerdo a lo dispuesto en la OGUC en su artículo 2.1.17., en la denominación otorgada Zonas Propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.

Las superficies que posee una representación espacial menor a 500 m² no son consideradas de acuerdo a la escala de trabajo.

Los resultados por área de susceptibilidad se exponen a continuación¹ (Ver Imagen Siguierte):

¹ Es importante mencionar que se delimitaron superficies con susceptibilidad alta con la finalidad de incluirlas como áreas de riesgos por movimientos en masa, rodados y erosión acentuada. Estas superficies corresponden a susceptibilidad alta superior a 500 m² con la finalidad de que estas se puedan representar, además de ello no se incluyeron aquellas superficies en torno al embalse Colbún debido a que estas corresponden a superficies de inundación (hasta los 436 m.)

Imagen N° 25: Áreas de Susceptibilidad por Peligros de Movimiento en Masa Borde Lago. (Ver Lámina N° 2)



Fuente: Elaboración Propia, 2012.

17 SÍNTESIS PELIGROS ANALIZADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En la Tablas N°:7, 8 y 9 se resumen los peligros analizados en las localidades en estudio, describiendo en cada uno los procesos asociados, aspectos históricos, factores desencadenantes, metodología utilizada para la clasificación y descripción de las áreas afectadas en cada una de las localidades.

Tabla N° 7: Síntesis Peligro Inundación.

Peligro	Inundación	
Descripción	Corresponde a desbordes de cauce de los esteros Machicura en Colbún y Caballo Blanco en Panimávida, asociado a eventos pluviométricos extremos. *Los dos esteros mencionados corresponden a cursos hídricos naturales, aunque el estero Machicura se encuentra controlado aguas arriba por el canal del mismo nombre. Existe una problemática asociada a desborde de canales y evacuación de aguas lluvia.	
Factores desencadenantes	Precipitaciones de Tormenta./ anomalías climáticas (fenómeno ENOS)	
Antecedentes históricos	De acuerdo a antecedentes locales el estero Machicura todos los inviernos presenta desborde de su cauce. Año 1986, 2000, 2006, 2007 y 2010, registros de noticias hablan de problemas de inundación entre las comunas de Yerbos Buenas y Colbún debido a problemas de manejo del embalse Colbún, específicamente del Canal Machicura y Canal 1 Sur. Existiendo para el caso del año 2010 problemas estructurales producto del terremoto 27F. La mayor parte de los años mencionado se asocia a fenómenos Niño en Chile.	
Metodología	Se definieron superficies de inundación a partir de la interpretación y análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas, considerando las geoformas presentes en las localidades. Se definieron los lechos del estero o superficie actualmente ocupada por con una distancia del eje hidráulico aproximada para el caso del estero Caballo blanco de 5 metros. Además de definir el lecho mayor a una distancia del eje hidráulico de 20 metros. (Estas superficies fueron identificadas en terreno y a través de fotointerpretación) Se definieron 2 áreas de susceptibilidad: *<u>Susceptibilidad Muy Alta</u>, representada por el lecho actual del estero. *<u>Susceptibilidad Alta</u>, representada por el lecho mayor del Estero. Para el caso del Estero Machicura se define solamente esta superficie debido la superficie es plana y no existe diferenciación de terrazas.	
Zonificación propuesta	Colbún	Panimávida
	Se definen las zonas de Susceptibilidad alta como áreas	Se definen las áreas de susceptibilidad alta como áreas

	de Inundación. En torno al Estero Machicura ampliando su extensión hacia el sur debido a las condiciones topográficas. Se identifica como área de inundación el área sur oriente del puente de ingreso a la ciudad (ubicado al oriente de la ciudad en calle Adolfo Novoa)	de Inundación. Se definen en torno al Estero Caballo Blanco a un distancia del eje aproximadamente de 20 m., terraza inferior, con una altura de 2 metros aprox.
--	--	--

Fuente: *Elaboración Propia, 2012.*

Tabla N° 8: Síntesis Peligro Movimientos en Masa

Peligro	Movimientos en Masa
Descripción	Procesos gravitacionales en los cuales una porción del terreno se desplazan desde una superficie a una inferior, cuya naturaleza corresponde a flujos o deslizamientos.
Factores desencadenantes	Eventos Pluviométricos o Sísmicos
Antecedentes históricos	No existen registros. De acuerdo a las fotografías aéreas del año 2004, se observan superficies de erosión laminar y lineal en regueros. Las cuales se ven acentuadas en el año 2006, especialmente en las zonas forestales.
Metodología	Se elaboró un modelo digital de terreno en los cuales se calculó las pendientes y exposición de laderas, se ponderó cada uno de los resultados obtenidos para luego establecer áreas susceptibilidad. Se definieron las siguientes: <u>Susceptibilidad Alta</u> : Representada por laderas y superficies de exposición norte con pendientes fuertes, muy fuertes y escarpadas. <u>Susceptibilidad Media</u> : Representada por pendientes moderadas en laderas de solana y umbría. <u>Susceptibilidad Baja</u> : Corresponde a superficies con pendientes suaves u horizontales en laderas de solana y umbría y superficies planas.
Zonificación propuesta	Borde Lago
	La zonificación propuesta para el PRC de Colbún en la localidad de Borde Lago corresponde a áreas de susceptibilidad alta, cuyas superficie supere los 500m ² con la finalidad de que corresponda a superficies representativas para la escala de trabajo local.

Fuente: *Elaboración Propia, 2012.*

Tabla N° 9: Síntesis Peligro Sísmico

Peligro	Sismicidad
Descripción	Los sismos son agentes liberadores de la energía interna de la Tierra. Corresponde a movimientos de la superficie de la Tierra, debido a fracturamientos de la corteza terrestre.
Factores desencadenantes	Energía interna de la Tierra.
Antecedentes históricos	Terremotos de la zona centro sur en Chile. Ocurridos desde el siglo XVII hasta la actualidad.
Metodología	Se recopiló registros históricos y antecedentes de los sismos registrados a nivel nacional, específicamente en el área centro sur de Chile. Es así como se reconoce en el área central – sur una actividad sísmica importante a nivel nacional registrándose en este sector los mayores sismos de los últimos años, con zonas de rupturas muy amplias. Además de ello existe importante actividad volcánica a nivel regional, destacando entre los volcanes al Quizapú.

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla N° 10: Síntesis Peligro Volcánicos

Peligro	Volcanismo
Descripción	Corresponde a fenómenos de liberación de la energía interna de la Tierra. Estos se desarrollan en áreas de fracturamiento de la corteza en donde existe liberación de magma hacia la superficie.
Factores desencadenantes	Energía interna de la Tierra.
Antecedentes históricos	No existen amplios registros históricos de los centros volcánicos estudiados en la cuenca del Maule. Sin embargo en ella destaca la actividad del Volcán Quizapú.
Metodología	Se recopiló antecedentes de los principales centros volcánicos existentes en el área de estudio, específicamente en la cuenca del Río Maule. Estos datos permiten comprender la actividad volcánica presente en el área de estudio y los posibles peligros a los que se ve expuesta la población que habita en el entorno. La comuna de Colbún se encuentra localizada en una zona de actividad volcánica.

Fuente: *Elaboración Propia, 2012.*

18 RECOMENDACIONES

18.1 GENERALES

Con respecto a los peligros geológicos se recomienda mantener un **registro con antecedentes locales** de aquellos fenómenos naturales que han generado daño a la población, y a partir de ello identificar puntos recurrentes de peligro, con la finalidad de establecer un sistema de **alerta temprana previo a fenómenos meteorológicos extremos** como aquellos ocurridos durante el año 1986 y 2008. Los puntos identificados con peligros, servirán para dar el aviso correspondiente de estos fenómenos y así evacuar a la población o establecer medidas de protección a la población.

Los peligros de inundación representan para la comuna un problema importante, principalmente para la localidad de Colbún. Sin embargo, al encontrarse el estero Machicura regulado por la empresa Colbún en el sector del Canal Machicura (aguas arriba de la localidad de Colbún), es importante establecer una **alianza en conjunto entre el Municipio y la empresa Colbún** con la finalidad de regular los caudales de salida del canal y de esta manera mantener en aviso en casos extremos de evacuación desde el embalse. Uno de los puntos de inundación relevantes en el área de Colbún es en el sector del Puente hacia el sur, donde de acuerdo a la asociación de regantes regularmente existen inundaciones.

Con respecto a las inundaciones por desborde de canales en el área urbana de la localidad, se requiere una **fiscalización, mantención y control de los canales** (específicamente del canal San Nicolás que cruza el área urbana y el San Dionisio), desagües en torno a las vías de comunicación, además de la necesidad de una elaboración y ejecución de un **sistema de evacuación de aguas lluvias** apropiado para la localidad. Considerando los focos puntuales de inundación, éste no es problema generalizado, sin embargo existe población afectada en el área sur, específicamente en la población El Esfuerzo, motivo por el cual se requiere de medidas prontas y concretas.

Para el caso de los peligros asociados a movimientos en masa en el área no existen registros, sin embargo dadas las condiciones del terreno en la localidad de Borde lago se reconoce la existencia y la potencialidad para que se accionen estos fenómenos, principalmente en torno a quebradas y áreas de pendientes fuertes sobre los 10° – 20°.

Para establecer la zonificación en el Plan Regulador Comunal de Colbún (PRC de Colbún), se recomienda definir como **Áreas de Riesgo en aquellas superficies con alta susceptibilidad a inundaciones** que corresponden al lecho mayor de Esteros Machicura y Caballo Blanco, para las zonas de usos de suelo del PRC de Colbún en que se superponga mencionada superficie se deben establecer áreas verdes, recreacionales o edificaciones de baja densidad y superficie predial amplia, y que para su edificación cuente con los estudios respectivos para sus fundaciones.

Se respetarán las **zonas de inundación referidas a los embalses** Colbún y Machicura, ya que ellas se establecen en base a las capacidades máximas de cada uno de los embalses que son 439 msnm y la cota 260 metros en Colbún y Machicura respectivamente. Para el caso del embalse Colbún de acuerdo al análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas presenta variaciones bajo estos niveles, registrándose niveles especialmente bajos en la actualidad.

Para el caso de los canales de regadío presentes tanto en las localidades de Colbún como Panimávida, se deben reconocer como elementos relevantes en la estructura urbana y por ello respetar la respectiva normativa sectorial asociada (de acuerdo a lo establecido por la DDU 227).

Para el caso de la **zonificación por riesgos de movimientos** en masa se recomienda establecer como áreas de riesgo aquellas superficies que se encuentran identificadas con pendientes acentuadas y exposición en laderas de solana, sin embargo como una primera aproximación a la temáticas de peligros en la zona por lo que se recomienda realizar estudios especiales de riesgo a una escala mayor 1:500 para definir las áreas en las que se puede edificar. Se recomienda en la zonificación del área de Borde Lago establecer restricciones (normas urbanísticas) de edificación para toda la zona urbana dadas las condiciones topográficas existentes en el área, referidas principalmente a bajas densidades y superficies prediales mínimas, estableciendo condiciones estructurales de edificación especiales para dicha condición.

18.2 INCORPORACIÓN AL PLAN

Se recomienda incorporar todas aquellas superficies de mayor susceptibilidad tanto para el caso de la susceptibilidad frente a inundaciones, las que afectan a las localidades de Colbún y Panimávida, como para aquellas superficies susceptibles a fenómenos de movimientos en masa que afectan a la localidad de Borde Lago.

Las superficies mencionadas con anterioridad se encuentran graficadas en las láminas 1 a y b, y lámina 2, en las que se expone a modo de síntesis los resultados del análisis.



Gabriela Muñoz Pérez

Geógrafa, Universidad de Chile

19 REFERENCIAS

Arenas F., Hidalgo R. y Lagos M. "Riesgos naturales en la planificación". Centro Políticas públicas UC. AÑO 5, N°39. 2010. Santiago, Chile.

Araya Vergara, J. Análisis de la carta Geomorfológica de la cuenca del Mapocho. Revista: *Informaciones Geográficas* N°32. Pág: 31 –47. Santiago de Chile.1985.

Corvalán J et all. Proyecto hidrogeológico Colbún - Machicura. Estudio Estratigráfico Estructural. Instituto de Investigaciones Geológicas. 1974

Chuvieco, E. Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. Editorial Ariel. 586 p. Barcelona. 2002

CIREN. "Estudio Agrológico de la VII Región: Descripción de suelos, materiales y símbolos". (1996).

Departamento de Investigación y Desarrollo U. de Chile. "Planificación Ecológica del Territorio". 2002. Santiago Chile

Departamento de Políticas y Descentralización de la División de Políticas y Estudios SUBDERE. "Guía Análisis de riesgo para el ordenamiento territorial". 2011.

DGA. Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses yaguas subterráneas. Boletín N° 40, junio 2012.

DGA. Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según Objetivos de Calidad, Cuenca del Río Maule. 2004

DGA. "Ley 20.304 sobre operación de embalses frente a alertas y emergencias de crecidas y otras medidas que indica. Definición de Embalse Colbún como Embalse de Control". 2010.

ERN Consultores en Desastres Naturales. "Metodología de Modelación Probabilista de Riesgos Naturales". 2011. Bogotá, Colombia.

Felicísimo A. M." La utilización de los MDT en los estudios del medio físico". 16 p. 1999. Disponible en: <http://etsimo.uniovi.es/feli>.

Instituto de Investigaciones Geológicas. "Proyecto hidrogeológico Colbún Machicura. Estudio Estratigráfico Estructural". 1974

Khazaradze y Klotz. Short and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the South-central Andes. *Journal of Geophysical Research* 108 (B4), doi: 10.1029/2002JB001879: 1-13. . 2003.

Lagos, M. y Cisternas, M. El nuevo riesgo de *tsunami*: considerando el peor escenario. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 2008, vol. 12, N° 270. Disponible en línea: <http://www.ub.es/geocrit/-xcol/436.htm>

MEDINA J. "Fenómenos geodinámicos: Estudio y Medidas de Tratamiento". 1991. Lima, Perú.

MINVU. "Ordenanza Plan Regulador Intercomunal Colbún Machicura". (1989)

MINVU. "Memoria Explicativa Plan Regulador de Linares" (en proceso de aprobación).

Orrego A. Anexo E: Estudio de Paisaje. Proyecto Línea de Transmisión Eléctrica San Clemente – Chiburgo, Comuna de San Clemente y Colbún, VII Región. Colbún S.A. 2009.

Soto et al. "Procesos geodinámicos actuales en ambiente de media y baja montaña. Borde meridional de la cuenca del río Maipo, Región Metropolitana de Santiago". 2006. Revista Norte grande N° 35, páginas: 77 - 95. Santiago, Chile.

Strahler, A. "Geografía Física". Ed. Omega. Barcelona, España. 1986

Velozo L. y Sánchez M. "Características Geomorfológicas. Área Litoral: Iquique – Caleta Molle". 1991. Revista Norte Grande N° 18, paginas 3 – 8. Santiago, Chile.

Wincander. "Fundamentos de la Geología". Editorial Thomson. Edición 2 año 2000.

Páginas web consultadas:

- US – Geological Survey / <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/?source=sitenav>
- Dirección Meteorológica de Chile / <http://www.dga.cl/Paginas/default.aspx>
- Dirección General de aguas / www.meteochile.cl/
- Agroclima / <http://www.agroclima.cl/>

20 ANEXO 1: LÁMINAS SÍNTESIS
