

**Caracterización de Áreas Críticas y de  
Conservación del Cerro Otto  
(Bases para el Ordenamiento Territorial)**

**Aspectos Geológicos**

**Informe Final**

*Gustavo Villarosa*

*Valeria Outes*

*Débora Beigt*

*Léa Olsen*

*Noviembre de 2008*

## Contenido

1. Introducción.....	3
2. Marco Teórico y consideraciones especiales .....	4
3. Ubicación.....	7
4. Geología del Área .....	7
5. Geomorfología.....	9
6. Suelos.....	10
7. Usos actuales del suelo .....	11
8. Mapa de Áreas Críticas .....	12
8.1. Metodología empelada .....	12
8.2. Proceso de creación del mapa de áreas críticas .....	13
8.2.1. Capa de áreas críticas geomorfológicas .....	13
8.2.2. Capa de áreas críticas cobertura vegetal .....	16
8.2.3. Capa de áreas críticas de los sectores con cañadones .....	17
8.2.4. Capa de áreas críticas final .....	18
9. Problemáticas locales detectadas .....	22
9.1. Remoción en masa .....	22
9.2. Erosión .....	24
9.3. Modificaciones de la red de drenaje y aumento de caudales .....	26
10. Problemáticas regionales .....	27
10.1. Caídas de tefras (cenizas) .....	27
10.2. Sismos.....	32
11. Diagnóstico y Conclusiones .....	34
12. Recomendaciones .....	36
13. Bibliografía.....	37
ANEXO FOTOGRÁFICO.....	38

## ***1. Introducción***

El propósito del presente informe es aportar una evaluación general de peligrosidad geológica a una escala aceptable para el Cerro Otto y su entorno, fundamentalmente para el sector de la ladera norte, como soporte para ser tomada en consideración para la elaboración de una propuesta de manejo de las áreas boscosas por sobre la cota de los 900 msnm. Esto constituye un aporte de importancia para el Plan de Ordenamiento Territorial del Cerro Otto, cuya necesidad se manifiesta claramente a partir de los resultados del presente proyecto.

Este trabajo surge a raíz de la necesidad de pautar y ordenar la creciente expansión de las urbanizaciones en San Carlos de Bariloche, en particular, en diversos ambientes boscosos de este Cerro. Debido a esta falta de normativa y de planificación especial para urbanizar este amplio sector urbano-suburbano se ha prohibido, en forma transitoria, su ocupación hasta tanto se logre elaborar un plan de Ordenamiento racional atendiendo los diversos aspectos que lo caracterizan. Es por ello, que se ha abordado la evaluación de peligrosidad geológica a partir de un límite aproximado dado por la cota 900 o 950, y no analizando el ámbito del Cerro Otto por cuencas que sería, una manera más racional para caracterizar el área bajo estudio.

Esta evaluación apunta a proveer a las autoridades provinciales y municipales diagnósticos actualizados sobre el estado ambiental del cerro Otto, su caracterización y zonificación, lo que les será de utilidad para elaborar la normativa para administrar y orientar estrategias que determinen las clases y el uso del suelo, pautas generales para el desarrollo urbano, la aptitud para el desarrollo y sustentabilidad de las actividades socioeconómicas, y las restricciones debido a la localización de áreas protegidas, áreas con amenazas naturales, etc.

Por la escala y características del trabajo, este estudio no debe ser considerado como herramienta suficiente para evaluar la peligrosidad geológica o planificar la urbanización a escala de lotes, para lo cual se requiere de estudios de mayor resolución y detalle que deberían ser encarados posiblemente a nivel de juntas vecinales.

Por lo tanto se considera que es imprescindible avanzar en un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) mediante el cual se oriente la ocupación y la utilización racional del territorio, incluyendo estrategias para gestionar adecuadamente las urbanizaciones existentes.

Para este trabajo se ha utilizado la información que se encuentra disponible, que incluye informes y mapas a escala 1:50.000 del Estudio Geocientífico Aplicado al Ordenamiento Territorial de San Carlos de Bariloche, que abarcan el área en evaluación elaborados por el Servicio Geológico Minero Argentino, así como mosaicos fotográficos, imágenes satelitales y los datos obtenidos a partir de observaciones de campo realizadas específicamente para este propósito.

## ***2. Marco teórico y consideraciones especiales***

Dado que el objeto de este trabajo ha sido el de aportar una herramienta útil para la elaboración de un Plan de Ordenamiento Territorial, es necesario identificar y caracterizar, desde el punto de vista geológico, el área bajo estudio analizando los procesos que han actuado y que están activos hoy.

Los conceptos de exposición, vulnerabilidad, peligrosidad y riesgo empleados en este informe son de acuerdo a las definiciones de la UNDRO, 1991<sup>1</sup>.

Se entiende por *peligrosidad* o *amenaza natural* a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural capaz de producir daño, dentro de un período de tiempo específico y en un área dada. Por lo tanto, la *evaluación de la peligrosidad* implica localizar las áreas inestables y las potencialmente inestables, es decir las zona más susceptibles. La *susceptibilidad* hace referencia, entonces, a la predisposición del terreno para verse afectado por algún fenómeno natural.

---

<sup>1</sup> UNDRO: *United Nations Disaster Relief Organization: Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre.*

Como el *riesgo* es la interacción entre la amenaza o peligrosidad y los objetos y personas que están expuestos al peligro, así como el grado de destrucción que dichos objetos y personas pueden experimentar, sólo hablamos en este informe de *peligrosidad*, ya que el factor “pérdidas” (económicas y de vidas humanas) no ha sido contemplado.

Para la identificación de amenazas o peligros y riesgos pueden emplearse diversas metodologías, entre las que se cuenta el Método Determinístico o Físico-Estadístico; el Método Indirecto, y la metodología conocida como Mora-Vahrson-Mora (Mora et al., 1992<sup>2</sup> y Mora et al., 2002<sup>3</sup>).

Con el primer método se aplica un modelo que realiza un análisis dinámico -estadístico que calcula la frecuencia espacial y temporal de los procesos considerados, se aplica, fundamentalmente para la ocurrencia de deslizamientos. El modelo utiliza parámetros tales como: valores de precipitación, de evapotranspiración, modelo de elevación digital del terreno, pendiente, dirección de flujo subterráneo, espesor de la capa del suelo, Angulo de fricción interna del suelo, porosidad, entre otros.

El Método Indirecto se basa en que el grado de amenaza o peligro a un evento específico en un área dada es determinado por la conjunción de diferentes factores que pueden ser analizados de forma separada en función de las características que inciden de forma directa en cada proceso que se evalúa. En el caso de un deslizamiento, por ejemplo, se analizan los factores que inciden, de forma directa, en la inestabilidad de los taludes. Con este método se utilizan mapas temáticos con la geología, el tipo de suelos, el uso de la tierra, las pendientes, vegetación. Cada mapa contiene unidades las que se analizan de forma independiente en función de su influencia en la generación o desencadenamiento de los procesos evaluados; de esta forma se analiza la interrelación entre las características y condiciones en que se encuentra el terreno y la potencialidad de

---

<sup>2</sup> Mora, R., Vahrson, W. & Mora, S., 1992. Mapa de amenazas de deslizamientos, Valle central, Costa Rica. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC).

<sup>3</sup> Mora, R., Chaves, J. & Vázquez, M., 2002. Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson (Mora R., Vahrson & Mora, S., 1992). Servicios especializados de laboratorio de suelos y rocas. FUNDEVI, Universidad de Costa Rica.

ocurrencia de los derrumbes, deslizamientos, caídas de roca, carcavamiento, entre otros. Para esto, se procede a la asignación de valores de peso a cada una de las unidades contenidas en los diferentes mapas temáticos utilizados, transformando mediante un proceso de reclasificación los mapas de clases en mapas de valores. Posteriormente estos mapas son integrados mediante un proceso de adición dando como resultado final el mapa de amenazas que contiene una clasificación con categorías. En cuanto a los valores asignados a los mapas, se emplea el criterio que implica que los valores más altos corresponden a la mayor influencia que puedan ejercer los factores analizados en el aceleramiento de los mecanismos que generan los peligros.

La metodología Mora-Vahrson y sus modificaciones han sido aplicada fundamentalmente para el estudio de la susceptibilidad al deslizamiento y es muy empleada en Centroamérica (Costa Rica, Nicaragua, Venezuela). Esta metodología incluye los factores más significativos desde el punto de vista de la inestabilidad de las pendientes y se basa en parámetros que se determinan en el campo y emplea valoraciones que incluyen el peso relativo de los parámetros considerados.

La mayoría de los criterios existentes en las publicaciones internacionales están basados en observaciones o estadísticas elaboradas para ambientes tropicales o subtropicales lluviosos, con frecuentes eventos de precipitaciones muy copiosas y de sismos que actúan de disparadores de los fenómenos naturales que se evalúan. En Nicaragua, Costa Rica y Venezuela son muy frecuentes los deslizamientos y para su evaluación se emplean, con buenos resultados, estas metodologías descriptas y adaptaciones de las mismas.

En el caso del Cerro Otto, no se dispone de estudios locales sobre la susceptibilidad de las rocas y sedimentos frente a procesos de remoción en masa como por ejemplo, deslizamientos y no se cuentan con registros adecuados que documenten la ocurrencia de fenómenos naturales, ni estadísticas y valores de los parámetros necesarios para emplear un método determinístico o metodología tipo Mora-Vahrson. Por lo tanto, se ha empleado una metodología del tipo indirecto, que combina las observaciones y la experiencia de campo, datos sobre fenómenos naturales ocurridos en el pasado y la información extraída de los mapas topográficos, geológicos, geomorfológicos y de uso de la tierra. Es decir que se ha adaptado la metodología conocida a los elementos disponibles, de manera tal de poder se delimitar las zonas más peligrosas de acuerdo a las evidencias que son observables in situ, considerando los pocos datos sobre episodios ocurridos en las últimas décadas y adicionando las valoraciones de los atributos considerados frente a la erosión, remoción en masa y anegabilidad del terreno. Esta metodología se explica en detalle en la sección 7: Mapa de Áreas Críticas, 7.1 Metodología Empleada, de este informe.

Con la metodología empleada se obtuvo un mapa de áreas críticas según factores de peligrosidad geológica que representa el grado de exposición a los peligros geológicos del terreno. Sin embargo, deben tenerse presentes las limitaciones ya que el grado de peligrosidad natural puede verse modificado por causa de los proyectos futuros, de acuerdo a las características de las obras que se planteen realizar, así como de la manera en que se intervenga sobre varios factores como los drenajes, los cortes de pendientes, la eliminación de la cobertura de vegetación y edáfica, las cargas aplicadas o la generación de vibraciones, entre otros. Es claro que en varios sectores del Cerro Otto, en donde las intervenciones han sido no planificadas, la peligrosidad natural se ha visto aumentada por la acción antrópica o, sectores en donde la peligrosidad es directamente inducida por la intervención.

### ***3. Ubicación***

La zona en estudio está incluida dentro del ejido municipal, en el Departamento Bariloche. El área objeto de análisis se encuentra ubicado dentro del ámbito del Cerro Otto, abarcando sus ambientes de laderas altas y moderadas por encima de la cota 950 y los sectores más planos que se encuentran densamente urbanizados y, en general por debajo de la cota 950 pero que se ven afectados por los procesos geomórficos que se desencadenan a mayor altura.

El carácter difuso de los límites naturales en el terreno hace difícil analizar exclusivamente la situación de las áreas ubicadas por sobre las cotas mencionadas, lo que, por otra parte, carece de sentido práctico. Por ello este informe abarca sectores amplios ubicados por debajo del límite propuesto, extendiéndose el alcance a varios sectores de pendientes menores ubicados sobre todo al norte del Cerro Otto.

### ***4. Geología del área***

La Geología del área de San Carlos de Bariloche tiene como principal elemento a la depresión del lago Nahuel Huapi que se encuentra limitada al NE y SW por dos macizos de rocas graníticas y metamórficas que constituyen las rocas más antiguas de la zona y se las denomina, en conjunto, como el Basamento Cristalino. Nos estamos refiriendo a la Sierra de Cuyín Manzano por un lado y al cordón integrado por la Sierra de la Ventana-Cerro Catedral-Cerro López por el otro.

Entre estos bloques, en la depresión ocupada por el actual lago Nahuel Huapi, se encuentran rocas volcánicas piroclásticas y sedimentarias, más jóvenes (Terciario) que son el resultado de un período

caracterizado por una intensa actividad volcánica en la zona. Estas rocas apoyan sobre las rocas del Basamento Cristalino y conforman dos formaciones: *Formación Ventana* que forma una faja a ambos lados de la depresión y la *Formación Ñirihuau* que se deposita más tarde, y se la encuentra entre ambas fajas en lo que es aproximadamente el eje de la depresión.

La *F. Ventana* está formada básicamente por rocas de origen volcánico con intercalaciones de sedimentos marinos mientras que la *F. Ñirihuau* se trata de una secuencia volcanoclástica que se formó por la depositación en ambientes fluviales y palustres de materiales clásticos derivados de la meteorización, erosión y transporte de las volcanitas de la *F. Ventana*. Luego se produjeron intensos movimientos tectónicos que fallaron y plegaron al G. Nahuel Huapi y que fueron los primeros movimientos de ascenso de la Cordillera. El posterior ascenso de la Cordillera produjo la reorganización de la red de drenaje y las aguas comenzaron a circular hacia el este excavando valles y quebradas que luego fueron ocupados por los glaciares que durante el Cuaternario se encauzaron por ellas, modelando el paisaje que hoy vemos en nuestra zona.

Luego del retiro de los hielos los productos del volcanismo explosivo provenientes del arco volcánico activo, situado al oeste del eje de los Andes, cubrieron la región proveyendo del material parental que originó los suelos de la zona.

En el área en estudio afloran las *Formaciones Ñirihuau y Ventana*. La primera constituye el basamento rocoso de todo el sector este del Cerro Otto sobre el cual se apoyan los depósitos glaciogénicos y piroclásticos cuaternarios y los suelos que conforman la cobertura superficial. Los afloramientos de *F. Ñirihuau* aparecen fundamentalmente en los sectores más elevados, al este de la Falla Otto, donde se presentan como asomos rocosos irregulares, muchas veces con notable fracturación y exponiendo diferentes niveles de rocas estratificadas con distinto grado de cohesión y meteorización. En particular muchos de estos afloramientos, así como las rocas que conforman el sustrato edáfico, corresponden a rocas hipabisales de composición mesosilícica, de gran resistencia a la erosión.

La Falla Otto corre con dirección NE-SO y separa a la *F. Ñirihuau* de los afloramientos de la *F. Ventana*, que asoman en el sector oeste y sudoeste del Otto, así como en sectores bajos ubicados al noroeste, en las proximidades de los barrios Rancho Grande y Pinar de Festa, donde la *F. Ventana* presenta un contacto concordante con las rocas de la unidad superior.

Las pendientes se encuentran, en general, cubiertas por suelos de tipo *andisoles* que en muchos casos presentan espesores considerables. Por debajo de estos suelos es frecuente la presencia de relictos de *till glaciario* constituido por rodados de diverso tamaño con distintas proporciones de matriz. Este material removilizado constituye con frecuencia los depósitos coluviales que pueden verse en las pendientes más elevadas o por debajo de los suelos en los sectores estables.

## 5. Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico el Cerro Otto comprende una serie de Unidades Geomórficas (Estudio Geocientífico aplicado al Ordenamiento Territorial, SEGEMAR-BGR, 2005) que están básicamente relacionadas con la acción glaciaria.

Se han identificado en nuestra zona al menos tres glaciaciones mayores, la más antigua ha sido la más extensa mientras que la última de ellas, conocida como Glaciación Nahuel Huapi ha sido la de menor extensión areal y ha ocupado posiciones altimétricas más bajas. Las características morfológicas de nuestra zona responden esencialmente a este último episodio glaciario y a los procesos fluviales y de remoción en masa posteriores, los que se constituyen como los actuales modeladores del paisaje.

Los sectores más elevados del cerro corresponden a las Unidades Geomórficas denominadas *Relieve de crioplanación* y *Laterales de valles glaciarios* y los sectores más bajos, al oeste, suroeste y este, están caracterizados por depósitos morénicos y por un paisaje erosivo-depositacional típicamente glaciario. Hacia el norte, la ladera del cerro Otto culmina con un paisaje caracterizado por pendientes aluvio-coluviales. Aún en la parte superior del barrio Ladera Norte donde culmina el camino habilitado para transitar con vehículos se observan evidencias de actividad glaciaria antigua con presencia de grandes bloques y depósitos de *till glaciario* expuestos en los cortes del camino.

Es decir que el paisaje del Cerro Otto ha sido labrada por la acción de los glaciares que actuaron en nuestra zona durante el Cuaternario, dejando geoformas erosivas como el lateral de valle que conforma la margen sur de la gran artesa glaciaria que ocupaba la cubeta del actual lago Nahuel Huapi, y otras geoformas deposicionales como las morenas laterales que se apoyan al pie del Otto.

Estos depósitos glaciogénicos han sido posteriormente modificados, y removilizados por procesos de remoción en masa y erosión fluvial. La cobertura es heterogénea, observándose presencia de *till* que constituye los depósitos morénicos, afloramientos rocosos que han sufrido erosión glaciaria, depósitos coluviales

producto del reptaje, depósitos aluviales y acumulaciones varias producidas por el material proveniente de los diversos procesos de remoción en masa que han tenido lugar y siguen produciéndose, en los vastos sectores de Bariloche y sus alrededores.

## **6. Suelos**

En toda el área de Bariloche, incluyendo al Cerro Otto, los suelos se han desarrollado a partir de material derivado de la importante actividad volcánica que afectó la región durante el Holoceno. Los volcanes que integran el arco volcánico ubicado en la Cordillera de los Andes han tenido repetidas erupciones explosivas que inyectaron en la atmósfera abundante material piroclástico que fue transportado hacia el Este de los Andes por los vientos predominantes del Oeste. Este material ha llegado a superficie en forma de lluvias de ceniza formada por fragmentos de diferentes tamaños (lapilli, ceniza y polvo volcánico), todos ellos ricos en sílice, con contenido de aluminio importante y presencia de hierro, que se han entremezclado con el material proveniente de depósitos glaciarios (till), coluviales y aluviales.

Estos suelos generados a partir de ceniza volcánica se forman por la rápida meteorización del vidrio volcánico que deriva en la formación de minerales aluminosilicatados del grupo de las arcillas.

En términos generales, los suelos de la zona en estudio se han desarrollado en un ambiente con clima húmedo y presencia de bosque y vegetación, siendo los resultantes suelos del Orden Andisoles. La presencia de estos suelos es coincidente con la variación que se verifica en el tipo de vegetación y bosque que se desarrollan de acuerdo a la altura.

En los sectores con pendientes pronunciadas predominan los afloramientos rocosos con ausencia de suelos y, en aquellos sectores con pendientes moderadas, el desarrollo de suelo es pobre con perfiles poco profundos (menos de 50cm de profundidad), con escasa diferenciación. De acuerdo al estudio geocientífico del SEGEMAR estos suelos corresponden a la Unidad Cartográfica 1: Suelos de altas divisorias, y se encuentran en las altas cumbres y divisorias de aguas de los relieves montañosos. A menor altura, predominan los suelos de la Unidad Cartográfica 2: Suelos de laterales de valles glaciarios.

## 7. Usos Actuales del suelo

El uso actual del suelo es básicamente urbano de media a alta densidad con una presión creciente en el faldeo norte. Al oeste, en el sector lindero con la zona urbanizada del centro de Bariloche (Barrios Las Margaritas, Alto Jardín Botánico) también hay una tendencia hacia la urbanización de media densidad. La expansión de Arelauquen en el faldeo sur junto a otros proyectos de urbanización pone de manifiesto una tendencia hacia la ocupación de estos sectores que hasta hace poco tiempo eran simplemente suburbanos con baja densidad de urbanización.

A su vez, el Cerro Otto tiene un uso turístico-recreativo importante, con un centro de esquí, y sectores para la práctica de trekking, 4x4, motocross y bicicletas, y una oferta creciente de cabañas y complejos turísticos. El uso intensivo sin planificación adecuada ha conducido a la degradación de amplios sectores, por ejemplo en la ladera oeste, en donde la deforestación y la erosión hídrica han intensificado la peligrosidad geológica.

En el estudio Geocientífico del SEGEMAR, el Cerro Otto es analizada como una única Unidad de Gestión denominada *Faldeo del Otto*, en el presente informe nos referimos a sus faldeos, norte, sur y oeste por separado. El SEGEMAR señala que la zona del Otto presenta un grado de peligrosidad geológica alta a muy alta, debido a sus características naturales que hace que la inestabilidad de las pendientes sea muy alta con frecuentes caídas de roca, deslizamientos y flujos densos en su parte superior y a menor altura, la erosión hídrica y las inundaciones son las problemáticas frecuentes. A esto debe agregarse la fuerte presión antrópica. También mencionan que la deforestación y el avance de especies exóticas en detrimento de la vegetación natural autóctona contribuyen a intensificar la peligrosidad natural.

Con respecto a la *Aptitud para la Urbanización*, el trabajo del SEGEMAR encuentra a esta *Unidad de Gestión* como **Poco Apta**, recomendando un uso recreativo y turístico y considerando como **Aceptable** un uso para *Urbanización de baja densidad*. También se señala en ese trabajo, que las *Instalaciones técnicas de servicios* resultan **Aceptables con limitaciones**, requiriéndose de EIA's específicos para los mismos.

## ***8. Mapa de Áreas Críticas***

### ***8.1. Metodología empleada***

El mapa de áreas críticas es la resultante de una evaluación de los mayores factores de peligrosidad geológica que pueden actuar e impactar, en un plazo indefinido, sobre la zona urbana de San Carlos de Bariloche en el entorno del Cerro Otto. Fue elaborado en ArcGis 8.3 sobre la base de un conjunto de 3 mapas (geología-geomorfología, cobertura vegetal y cañadones urbanos) cuyos potenciales de erosión, anegamiento y remoción en masa fueron evaluados empleando una escala numérica establecida en forma arbitraria para lograr calificar grados de impacto.

Para la elaboración de Áreas Críticas solo fueron considerados estos tres factores de peligrosidad (erosión, anegamiento y remoción en masa) por ser considerados los más trascendentes de acuerdo a las experiencias registradas durante las últimas décadas, desestimando por el momento otros peligros de menor relevancia con el objeto de simplificar el proceso en esta etapa.

La información volcada en la capa de geología-geomorfología fue obtenida a partir de publicaciones existentes realizadas a varias escalas y con diferentes propósitos. En cuanto a la geología el trabajo que presenta mayor detalle es el de González Bonorino (1973). Si bien el carteo geológico resulta bastante detallado, desde el punto de vista cartográfico resulta bastante impreciso. También se utilizó la Hoja Geológica Bariloche 4172-IV (Giacosa y Heredia, 2001) y el Estudio Geocientífico Aplicado al Ordenamiento Territorial, realizado a escala 1:50000 por el SEGEMAR (Anales N° 42). También se utilizó como base general para la geomorfología el Mapa Geomorfológico del Parque Nacional Nahuel Huapi (González Díaz, 1998).

Esta información, junto con datos de campo e interpretación de imágenes satelitales, fue procesada de manera de llegar a conformar la capa teniendo en cuenta los elementos morfológicos, litológicos y estructurales básicos combinados a una escala coherente para satisfacer los requerimientos de este trabajo en la presente instancia.

La capa de cobertura vegetal utilizada resulta de la reinterpretación del mapa de cobertura vegetal original con el objeto de utilizar a la cobertura vegetal como un indicador de la calidad y grado de preservación/vulnerabilidad de los suelos. Así, se trabajó con el equipo a cargo del tema vegetación y se llegó a una zonación de vegetación que aporta información sobre las condiciones del sustrato.

Finalmente se agregó la capa “Cañadones” que resultó de la identificación de cursos de agua de cierta importancia en imágenes satelitales, fotografías aéreas y salidas de campo.

Las áreas críticas de cada mapa fueron determinadas sumando los valores de cada uno de los peligros considerados (erosión, anegamiento y remoción en masa) creando una capa de áreas críticas para cada uno de los 3 mapas originales (geomorfología, cobertura vegetal y cañadones).

A partir de estas tres capas de áreas críticas se sumaron los valores correspondientes al grado de impacto (Tabla 6) y se obtuvo una única capa de áreas críticas que constituye el mapa de áreas críticas que se presenta.

## ***8.2. Proceso de creación del mapa de áreas críticas***

### ***8.2.1. Capa de áreas críticas geomorfológicas***

La capa de geomorfología fue digitalizada a una escala aproximadamente de 1:5.000 a partir del mapa “geomorfología”, escala 1:50.000 de San Carlos de Bariloche (SEGEMAR, 2005). El área del mapa original que coincide con el área de estudio abarca 8 atributos distintos (Tabla1) que luego fueron reclasificados en 6 atributos (Tabla 1).

GEOMORFOLOGÍA 1	COUNT	GEOMORFOLOGÍA 2
Fajas aluviales (12)	29	Fajas aluviales (12)
Pendientes aluvio-coluviales (14)	177	Pendientes aluvio-coluviales (14)
Morenas marginales Glaciación Nahuel Huapi (2)	83	Morenas
Morenas frontales del Lago Gutiérrez (3)	221	Morenas
Laterales de valles glaciarios (5)	1640	Laterales de valles glaciarios (5)
Relieve de crioplanación (6)	1338	Crioplanación + erosivo glaciario
Paisaje erosivo-deposicional glaciario (8)	14	Crioplanación + erosivo glaciario
Terrazas y planicies glaci-fluviales (9)	90	Terrazas + planicies GF

**Tabla 1. Esquema de reclasificación de la capa de geomorfología**

Es decir que se agruparon y se simplificaron las geoformas que se identifican en el mapa de geomorfología del SEGEMAR para obtener un producto útil y más sencillo de manejar. Se unificaron algunas de las geoformas originales (*morenas* y *paisaje erosivo-depositacional glaciario*) reduciéndose a 6 tipos de geoformas.

La capa de *áreas críticas geomorfológicas* fue armada usando los atributos de geomorfología reclasificados, asignándole a cada uno un valor de 1 a 3 en base a su potencial de erosión, anegamiento y remoción en masa (1 señalando un potencial mayor y 3, uno menor).

Luego se sumaron los valores de cada categoría de peligro para cada atributo resultando en un *mapa de áreas críticas*. Los valores finales van desde un valor 3 que indica mayor peligrosidad hasta un valor 9 que indica menor peligrosidad (Tabla 2).

<b>GEOMORFOLOGÍA 2</b>	<b>EROSIÓN</b>	<b>REMOCIÓN EN MASA</b>	<b>ANEGAMIENTO</b>	<b>AREAS CRÍTICAS GEOMORFOLÓGICAS</b>
Fajas aluviales (12)	2	3	1	<b>6</b>
Pendientes aluvio-coluviales (14)	2	3	1	<b>6</b>
Laterales de valles glaciarios (5)	1	1	3	<b>5</b>
Crioplanación + erosivo glaciario	2	3	3	<b>8</b>
Morenas	2	2	1	<b>5</b>
Terrazas + planicies GF	2	3	2	<b>7</b>

**Tabla 2. Atributos de la capa de geomorfología y sus potenciales de peligrosidad (1= mayor peligro, 3= menor peligro). Para la capa de áreas críticas geomorfológicas el valor 3 es el valor de peligrosidad máximo mientras que el valor 9 indica la menor peligrosidad**

### 8.2.2. Capa de áreas críticas cobertura vegetal

La *capa de cobertura vegetal* fue elaborada originalmente por Javier Grosfeld. Luego se trabajó en conjunto de manera de establecer criterios que permitieran deducir la calidad del sustrato para evaluar su susceptibilidad frente a los diferentes peligros considerados.

CLASE	COUNT	N_CLASE
incendios_recientes	275	1
matorral_postfuego	87	1
pistas eski	17	1
e_cipres_degrad	138	2
matorral_ñire	334	2
n_cipres	449	2
n_cipres_roca	34	2
urbano	5	2
estepa_herbacea_alt	512	3
exotica+casas	67	3
matorral_altura	197	3
nativas+casas	307	3
lenga_postfuego	29	4
plantaciones_exot	75	4
lenga	669	5
mixto_coihue	270	5

**Tabla 3. Esquema de reclasificación de la capa de cobertura vegetal**

De esta manera, sus atributos se digitalizaron mediante la interpretación de unidades vegetales y del uso del suelo, visibles en fotos aéreas. La zona del Cerro Otto y de la parte urbana de San Carlos de Bariloche estaba caracterizada por 16 atributos distintos que luego fueron reclasificados en 5 atributos (Tabla 3) vinculados con el tipo de sustrato o grado de degradación de cada zona, un valor 1 indicando menor aptitud y un 3 que indica mejor calidad.

A cada una de las 5 categorías consideradas, se las evaluó de acuerdo al factor de peligrosidad potencial de erosión, remoción en masa y anegamiento, y luego, se sumaron los valores para conformar una capa final, con las *áreas críticas de la cobertura vegetal* (Tabla 4).

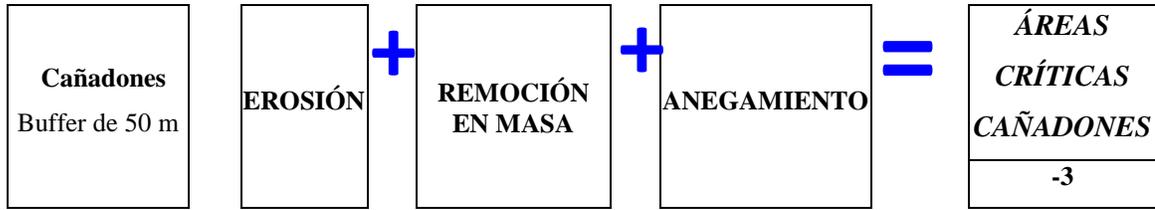
CLASE	EROSIÓN		REMOCIÓN EN MASA		ANEGAMIENTO		ÁREAS CRÍTICAS COBERTURA
1	1	+	1	+	2	=	4
2	2		2		3		7
3	2		2		2		6
4	2		2		3		7
5	3		3		3		9

**Tabla 4. Atributos de la capa de cobertura y sus potenciales de peligrosidad (1= mayor peligro, 3= menor peligro). Para las áreas críticas, 3 es el valor de mayor peligro mientras que el valor 9 corresponde al menor peligro posible.**

### 8.2.3. Capa de áreas críticas de los sectores con cañadones

Los cañadones de la parte urbana de San Carlos de Bariloche y del Cerro Otto fueron digitalizados a partir de imágenes satelitales y fotos aéreas de varias fuentes. Se les agregó a cada uno un “buffer” de 50 metros para que el análisis tome en cuenta la zona que suele ser impactada por las crecidas debidas a las lluvias y al derretimiento de nieve y por fenómenos erosivos y de remoción en masa asociados a las condiciones del suelo y pendientes en estos ambientes.

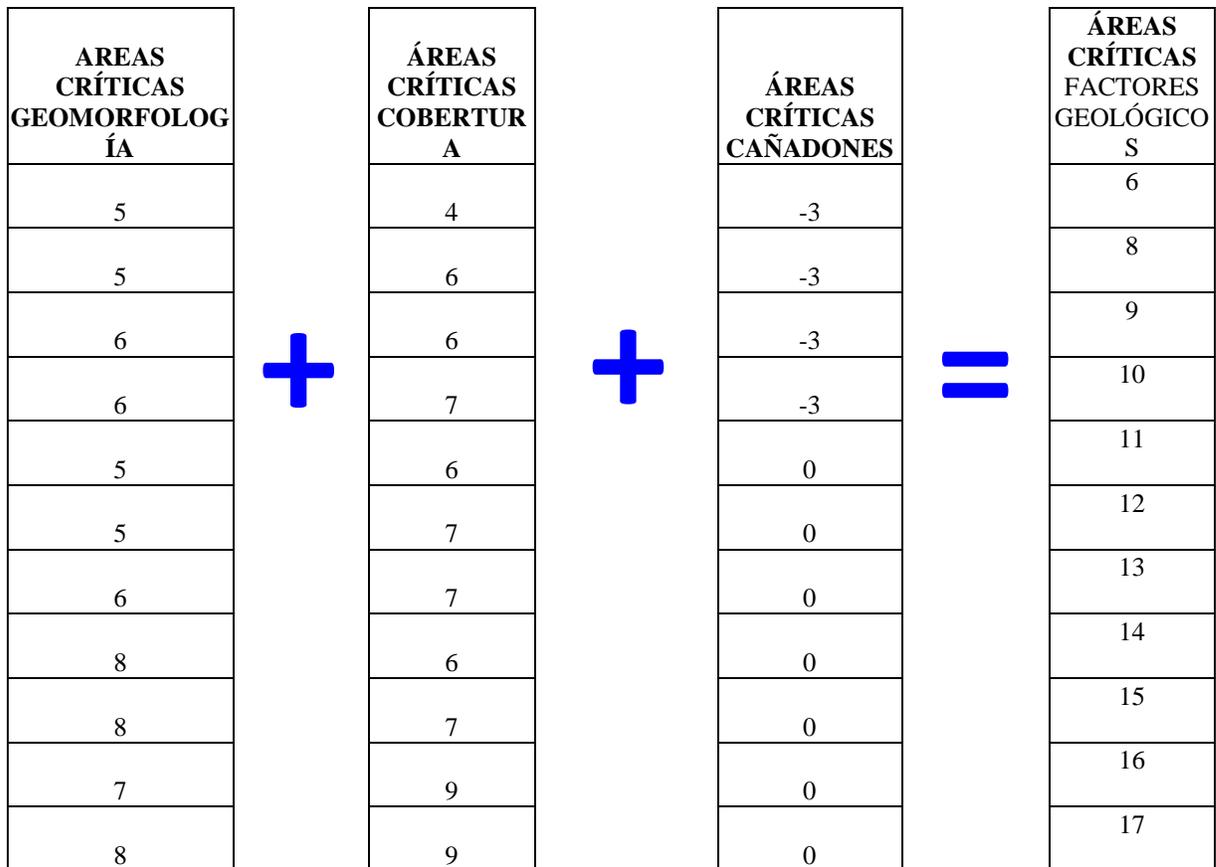
Dado que se identificó un solo tipo de cañadón (y no varias categorías) a todos ellos se les asignó un buffer de 50 metros (Tabla 5), por lo tanto la capa de cañadones tiene solo un atributo. Esta capa de buffer condiciona negativamente al terreno dentro de estas áreas frente a cada factor de peligrosidad. Por esta razón se le atribuyó un valor negativo al atributo, de manera de reducir el índice de aptitud original del sector.



**Tabla 5. Atributos de la capa de cañadones y sus potenciales de peligrosidad**

#### 8.2.4. Capa de áreas críticas final

La etapa final implicó sumar los valores correspondientes a las capas de áreas críticas de geomorfología, cobertura vegetal y cañadones en una sola capa de áreas críticas de 11 atributos (Tabla 6).



**Tabla 6. Proceso usado para armar el mapa de áreas críticas de factores geológico**

Por otro lado se establecieron cinco rangos de pendientes de acuerdo a criterios basados en la observación de las características morfológicas del terreno y al comportamiento que cada uno de ellos presenta frente a los distintos peligros naturales considerados.

Estos factores de peligrosidad fueron evaluados para cada rango de pendiente, asignándose a cada peligro un valor de carácter cualitativo de 1 a 4. La suma de estos valores determina un **Índice de Pendiente** que valora la susceptibilidad de cada clase a los peligros considerados (Tabla 7).

CLASE DE PENDIENTE (%)	CLASE DE PENDIENTE (°)	ANEGAMIENTO	EROSIÓN	REMOCIÓN EN MASA	ÍNDICE DE PENDIENTE
0-9	0-5	1	4	4	<b>9</b>
9-27	5-15	3	3	3	<b>9</b>
27-36	15-20	4	2	2	<b>8</b>
36-70	20-35	3	1	1	<b>5</b>
>70	>35	2	3	3	<b>8</b>

**Tabla 7. Calificación de rangos de pendientes de acuerdo a los diferentes factores de peligrosidad (valores menores indican menor aptitud).**

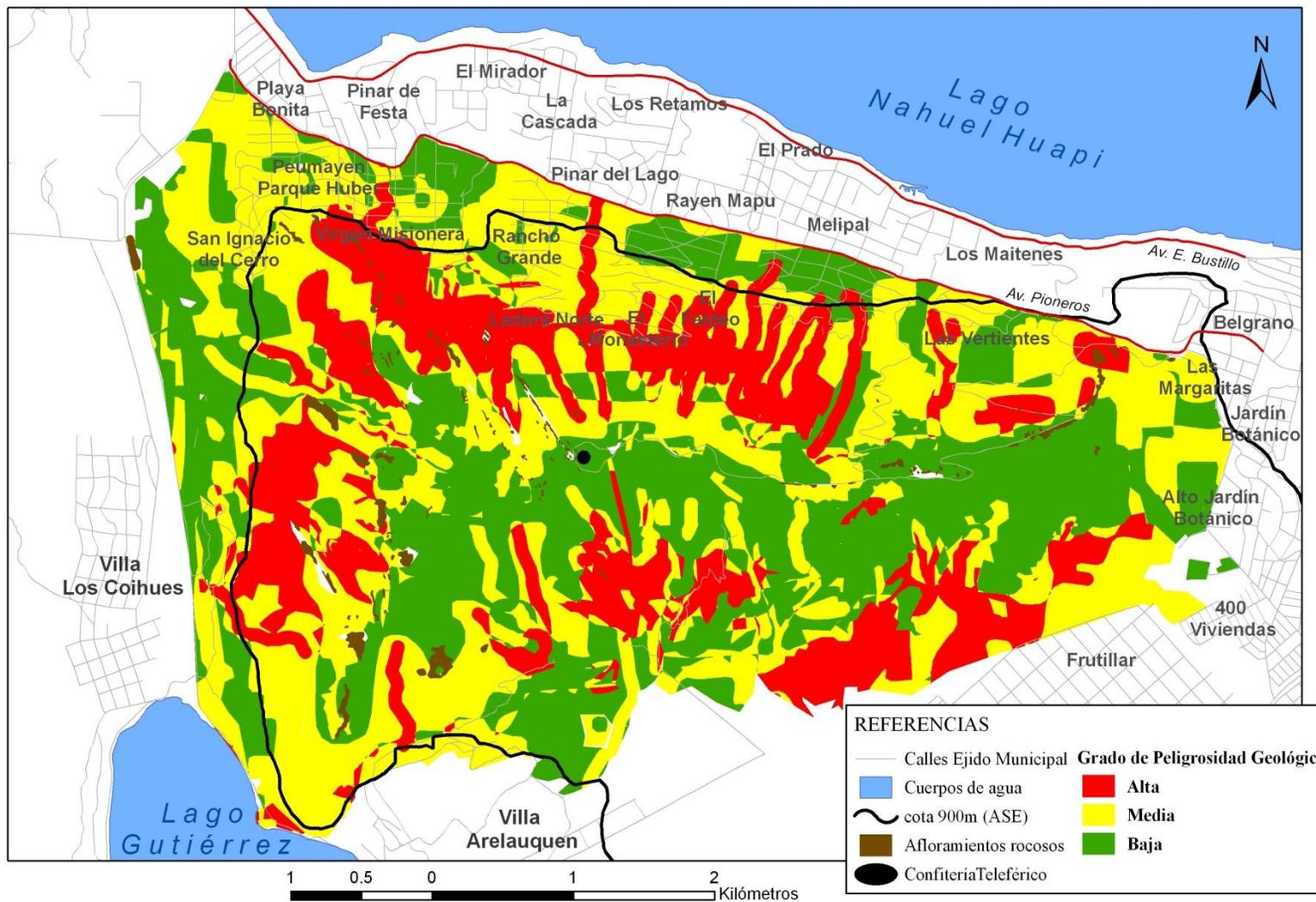
Finalmente estos índices de pendientes fueron cruzados con los de áreas críticas de factores geológicos de manera de obtener un mapa final de áreas críticas. Este mapa fue elaborado sumando los puntajes cualitativos finales de pendientes y geología y valorando luego el resultado para establecer tres rangos de susceptibilidad total, donde las áreas críticas finales propuestas corresponden a aquellos sectores de menor aptitud. Los ambientes críticos han sido representados en color rojo, en amarillo aquellos con cierta exposición a peligros moderados y finalmente las áreas verdes son aquellas que presentan mayor aptitud para la urbanización (Mapa 1).

Del análisis rápido de estas áreas críticas surge que éstas han quedado definidas básicamente por tres factores condicionantes principales:

- ***Cañadones: estos sectores se encuentran muy expuestos fundamentalmente al anegamiento y a la erosión, muchos de los cuales también verifican fenómenos de remoción en masa, dependiendo del grado de cobertura vegetal.***
- ***Pendientes moderadas a altas con geomorfología y cobertura susceptibles a la erosión y a la remoción en masa.***
- ***Sectores de bajas pendientes: condicionados fundamentalmente por anegamiento y, en menor medida, por erosión.***

Adicionalmente han sido indicados en el mapa los afloramientos rocosos de dimensiones considerables, dado que la presencia de los mismos es una limitante a tener en cuenta para la ocupación racional del suelo. Además de las limitaciones o consideraciones especiales que suponen para la fundación de construcciones, estos ambientes suelen ser susceptibles a fenómenos de remoción en masa (caídas de roca).

## Mapa de Areas Críticas según factores de Peligrosidad Geológica



## 9. Problemáticas locales detectadas

Para identificar y valorar las problemáticas geoambientales que afectan al Cerro Otto se la información obtenida a partir de imágenes y modelos de terreno se realizaron relevamientos de campo especialmente en las áreas catalogadas según su peligrosidad geológica como “críticas” o problemáticas. Los fenómenos detectados fueron descritos y analizados para relacionarlos con los procesos y factores de peligrosidad identificados. Los sitios de interés fueron georeferenciados y se tomaron fotografías representativas.

Se prestó especial atención a los numerosos cañadones que se ubican mayormente en el faldeo norte del Cerro. Dado que los mismos actúan en mayor o menor grado en todos los cañadones presentes en los cuatro faldeos del cerro, sólo se presentan aquí los casos que resultaron más representativos, en donde se observa con mayor claridad cada situación o proceso y sus posibles efectos.

### 9.1. *Remoción en masa*

Los fenómenos de remoción en masa se encuentran ampliamente distribuidos en el ámbito del Cerro Otto debido básicamente a la existencia de pendientes con inclinación moderada a alta, de depósitos de material detrítico en amplios sectores de estas laderas que frecuentemente resulta escasamente cohesivo depositados por acción glaciaria (durante las sucesivas glaciaciones) o de origen coluvial. El grado de perturbación antrópica, la erosión hídrica, los sismos y las abundantes precipitaciones (néveas y pluviales) actúan como factores predisponentes o desencadenadores de los procesos de remoción en masa, pues son responsables de aumentar la inestabilidad de las pendientes, tanto por modificación de la morfología original, por pérdida de la cobertura vegetal, por sobrecarga, disminución de la fricción interna o por efectos vibratorios disparadores.

Los fenómenos de remoción en masa más frecuentemente observados en el área pueden ser agrupados de la siguiente forma:

- Caídas de roca y de detritos

- Deslizamientos (planares y rotacionales)
- Flujos densos (debris flows)

Debido a la escala de trabajo (1:50.000) no se han representado individualmente en el mapa los depósitos o morfologías derivadas de procesos de remoción en masa, y han sido considerados en su conjunto para estimar los grados de peligrosidad representados en el mapa de zonación.

El Cerro Otto muestra cierta variabilidad en cuanto a los tipos de remoción en masa presentes y por ende en los factores que los controlan. Los fenómenos más comunes son las caídas de roca, los deslizamientos y los flujos densos. Las caídas de rocas son más frecuentes en las zonas en que dominan los afloramientos rocosos de la F. Ñirihuau al este y noreste, aunque también están presentes en rocas de la F. Ventana en el sector oeste y sudoeste, y en cortes de pendientes labrados sobre till glaciario con presencia de bloques de gran tamaño. Los deslizamientos están ampliamente distribuidos y dominan los de tipo planar que implican al material detrítico que tapiza las pendientes con espesores que por sectores superan los dos metros.

Los flujos densos son fundamentalmente *debris flows* que se asocian a cauces temporarios o estacionales y a pendientes con importante cobertura detrítica, depósitos morénicos y afloramientos de rocas intensamente meteorizadas y diaclasadas. Estos flujos son frecuentes en el faldeo norte del cerro Otto, especialmente en la zona de Melipal. Este sector, que se ubica alrededor del km 4 en la zona del faldeo (sobre la Avenida Pioneros), experimenta frecuentemente, durante los meses lluviosos o en temporada de deshielo, "aluviones" que afectan numerosas viviendas. Estos flujos y anegamientos se producen en los numerosos cañadones que tienen sus nacientes en la parte elevada del cerro Otto, especialmente los ubicados en los km 3,6; 4,5 y 6,5 aproximadamente.

Un claro ejemplo de estos procesos fue el aluvión rápido o avalancha de detritos del 21 de junio de 1976, que causó importantes daños en uno de los cañadones que desemboca en el barrio Melipal. En el estudio

realizado<sup>4</sup> se determinó que la principal causa que desencadenó este aluvión fueron las lluvias torrenciales que se registraron.

Diversos factores influyen en la ocurrencia de estos aluviones, entre los que se cuentan altas pendientes de las cabeceras (más de 30°), deforestación intensa, cañadones con laterales empinados con material grueso poco consolidado (morénico y aluvio-coluvial) que se asienta sobre roca. Al insumirse el agua en el material muy permeable de los depósitos glaciarios (favorecido por la deforestación y los efluentes domiciliarios que aumentan la disponibilidad de agua), llega al sustrato rocoso y ahí corre a favor de la pendiente quitando sustentación al material suprayacente y aumentando la carga, favoreciendo así su deslizamiento.

La obstrucción, aumento de la sinuosidad o acumulación de residuos en los cursos de agua constituyen un factor predisponente para la ocurrencia de estos procesos (ver 8.3).

Los cortes realizados en las pendientes para construir caminos o edificaciones no cuentan, por lo general, con evaluaciones geotécnicas adecuadas ni se prevén métodos de estabilización.

Existen numerosos afloramientos de rocas fracturadas y con distinto grado de meteorización, muchas veces con pendientes sumamente elevadas, alcanzando a conformar paredes verticales. En estos ambientes son frecuentes las caídas de bloques, los que pueden rodar varias decenas de metros pendiente abajo, dependiendo de la inclinación de esta última.

## **9.2. Erosión**

La erosión producida por el agua (erosión hídrica) es el principal proceso responsable de la degradación de suelos y, junto con los incendios y la acción antrópica, es responsable de generar inestabilidad en las pendientes y aportes de material detrítico para fenómenos de remoción en masa.

---

<sup>4</sup> Dominguez, Rabasa y Cabral, Mayo de 1978.

Los procesos erosivos debidos a la acción del agua son importantes en la mayoría de los sectores relevados, mayoritariamente como producto de la eliminación de la cobertura natural y la intervención sobre las pendientes. Son especialmente frecuentes en los barrios de la ladera Norte y, en menor medida sobre las caras Oeste y sur del cerro Otto en donde las calles están atravesadas por cárcavas y rills por donde se canaliza el agua de lluvia y deshielo, muchas veces, acarreando material que luego es depositado en los sectores más bajos. También es frecuente observar que las calles que corren a favor de la pendiente se transforman en importantes vías de escurrimiento superficial durante tormentas, deshielos o lluvias prolongadas y depositan buena parte de los sedimentos movilizados al disminuir la pendiente en las intersecciones con la Av. De los Pioneros formando depósitos semejantes a pequeños abanicos aluviales, muy peligrosos para el tránsito vehicular.

Los senderos y picadas frecuentemente se transforman en vías de drenaje fácilmente erosionables, convirtiéndose en verdaderas cárcavas que pueden alcanzar el metro de profundidad. En particular en los caminos y senderos ocurre que, luego de removida la cobertura vegetal, se produce la compactación y deshidratación de los suelos típicos de la zona (andisoles). Una vez alcanzado este estado, este tipo de suelos se torna prácticamente impermeable, impidiendo la normal infiltración de las aguas de precipitación y favoreciendo la escorrentía y, consecuentemente, la erosión.

La erosión es mayor en las cabecera de los cañadones coincidiendo con las pendientes más elevadas y es cuando el curso de agua que por ellos circula posee mayor energía y a medida que la pendiente se hace más suave, aguas abajo, se pierde capacidad erosiva y se comienza a depositar la carga. También es importante tener en cuenta que los efectos erosivos progresan en forma retrocederte (aguas arriba). Es decir que estos cañadones que hoy vemos tan activos tienden a aumentar sus dimensiones tanto el longitud como en ancho del valle. Las cárcavas en cualquier sector del sistema y las paredes inestables en laterales y cabeceras, en donde el material poco consolidado se desprende por causa de los procesos de remoción en masa, se van erosionando, avanzando aguas arriba hacia los sectores de las nacientes.

La falta de vegetación, las pendientes pronunciadas, los suelos poco desarrollados, la presencia de till glaciario con bloques de diverso tamaño, los cortes de pendientes sin control (las intervenciones en general sin planificación) y las condiciones climáticas de la región hacen que la erosión hídrica sea muy efectiva. Los factores que suelen disminuir el accionar de la erosión hídrica son la vegetación (tipo y grado de cobertura) y las particularidades de los suelos, en especial el tipo de horizonte superficial. Es por ello que, en zonas con abundante vegetación y bosque, como en vastas áreas del Cerro Otto, en donde esta masa boscosa protege el

suelo y actúa de control frente a los procesos erosivos, la deforestación, las intervenciones sobre el suelo y las pendientes para urbanización provocan o favorecen los procesos erosivos.

Se han observado caminos y obras de alcantarillado afectados por erosión, en algunos casos severamente, llegando a poner en riesgo la integridad de las estructuras. Son frecuentes los descalces de estructuras de hormigón por la acción erosiva de pequeños torrentes que actúan exclusivamente durante eventos pluviales intensos o deshielos abundantes (ver fotografías en el Anexo Fotográfico).

### ***9.3. Modificaciones de la red de drenaje natural y aumento de caudales***

Otro problema derivado de la acción antrópica, por la expansión urbana, son las modificaciones a las redes de drenaje superficial naturales. Son frecuentes los endicamientos, modificaciones, desvíos y obstrucciones de cursos de agua por parte de particulares para aprovechar mejor las superficies de los terrenos o para dar aparente solución a problemas generados por la acción del agua o el descenso de flujos, se ejemplifica en detalle en el Anexo Fotográfico. Esto genera problemas mayores que terminan afectando a barrios enteros, tanto aguas abajo como aguas arriba de la intervención.

Estas acciones significan una modificación sustancial de la red de drenaje natural rompiendo la tendencia al equilibrio dinámico que mantiene un funcionamiento armónico y razonablemente previsible del sistema natural. Estas alteraciones generan un aumento en los procesos erosivos y depositacionales y en la susceptibilidad a la remoción en masa.

Lo mismo sucede con la intervención en sectores de mallines, los que son drenados o se desvía la circulación de agua para poder construir. De esta forma, se aumenta el escurrimiento superficial, ya que los mallines juegan un papel de amortiguador en el flujo superficial o subsuperficial, actuando como buffers del drenaje. Su desaparición implica por lo tanto aumentos en los volúmenes de agua de escorrentía y la consecuente posibilidad de anegamientos o inundaciones y fenómenos erosivos.

La obstrucción parcial de las vías de escurrimiento naturales (como por ejemplo por la construcción de puentes, terraplenes de caminos, obras de toma, alambrados, etc.) y la modificación de la traza de los cursos de agua, favorecen los procesos erosivos, las inundaciones y los torrentes o flujos. Se ha observado

con demasiada frecuencia la presencia de alambrados, rejas y otros obstáculos dispuestos directamente en el cauce de cauces. En estos escollos se acumula basura, restos vegetales y material detrítico que termina obstaculizando seriamente el flujo del agua y pueden producir eventualmente el endicamiento del curso de agua provocando inundaciones en sectores aledaños. La liberación abrupta de la obstrucción provoca la ocurrencia de flujos.

Por otra parte la abundancia de desechos de todo tipo y restos vegetales en los cauces provoca obstrucciones en el alcantarillado de calles internas y caminos principales. Ejemplo de ello fue lo ocurrido a fines de julio de 2004 cuando abundantes lluvias produjeron el descenso de grandes caudales de agua por los arroyos principales. La gran cantidad de residuos y la modificación de las características originales de los cauces, así como la ubicación de viviendas en lugares inapropiados resultó en la obturación de las alcantarillas y la inundación de hogares, siendo la solución de emergencia viable la apertura de una zanja cortando la Av. de los Pioneros y la posterior reubicación de la alcantarilla (ver fotografías en el Anexo Fotográfico).

Adicionalmente a lo descrito deben considerarse los aumentos de caudales en la escorrentía superficial resultantes de varios motivos asociados a la urbanización:

- ✓ Disminución de la absorción de aguas de precipitación por aumento significativo de las superficies construidas.
- ✓ Aumento del aporte de caudal a los sistemas acuíferos subterráneos por aportes de los sistemas sanitarios, que eventualmente afloran a la superficie aguas abajo
- ✓ Disminución de la permeabilidad natural de suelos por compactación en caminos y senderos.

## ***10. Problemáticas regionales***

### ***10.1. Caída de tefras***

Se refiere a la posibilidad de ocurrencia de fenómenos de caídas de materiales volcánicos (generalmente cenizas) a partir de erupciones explosivas ocurridas en alguno de los volcanes activos localizados en Chile en las proximidades de nuestra ciudad.

Se incluye este elemento de peligrosidad natural aún cuando resulta claro que las medidas de mitigación y prevención exceden la esfera de las acciones a escala de sectores específicos del ejido, de las juntas vecinales o de los emprendimientos privados. Se considera que se deben generar normativas o pautas de gestión del territorio dispuestas por el municipio, así como planes de contingencia razonables. Estos elementos deben incluirse en el POT.

De todas maneras se desarrolla este tema ya que resulta un factor cierto de peligrosidad y existen algunas recomendaciones que pueden tomarse en cuenta en esta instancia. Este factor no fue incluido en la elaboración del mapa de peligrosidad ya que la exposición es relativamente semejante en todo el ámbito analizado.

A lo largo de los Andes Norpatagónicos se alinean numerosos volcanes (Figura 1), algunos de los cuales pueden ser considerados entre los más activos de Sudamérica (Villarrica, Llaima).

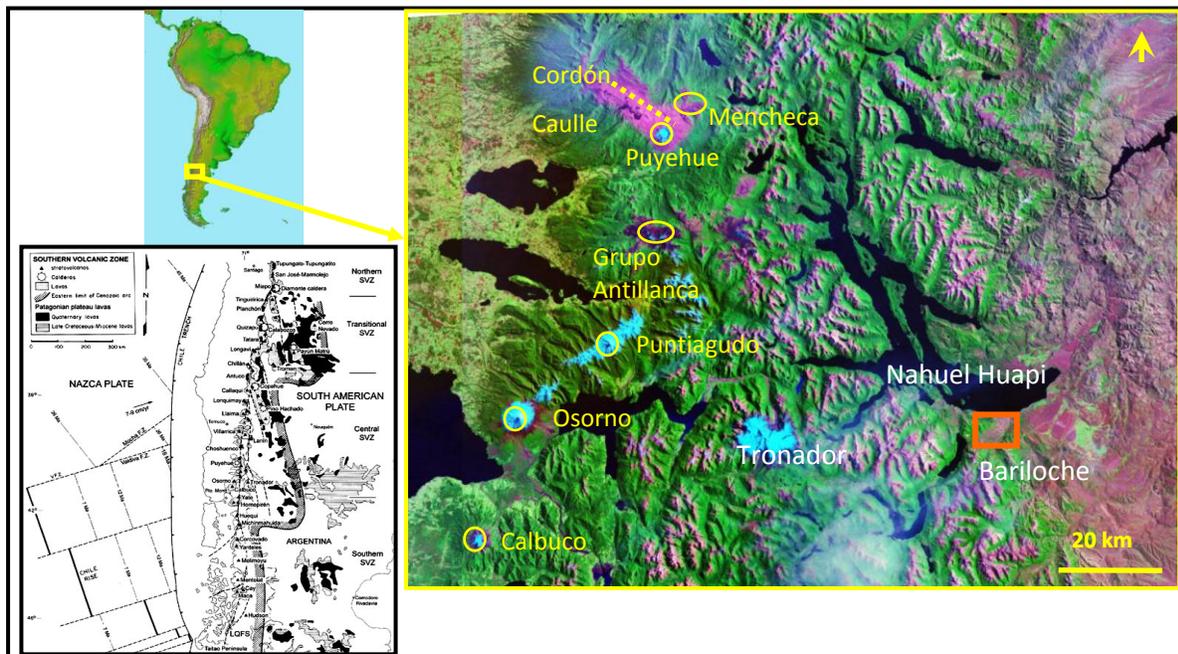


Figura 1: Situación tectónica de la región de Nahuel Huapi y localización de los volcanes activos que constituyen una amenaza a la ciudad de Bariloche

La extrema influencia que los fenómenos de volcanismo explosivo han tenido en la Patagonia a lo largo del tiempo se manifiesta claramente en los registros geológicos. Así, desde los suelos actuales de la zona, que deben su origen a la acumulación de cenizas volcánicas, hasta los sedimentos depositados en

cuenas lacustres o en superficie, muestran la numerosa cantidad de episodios de caída piroclásticas que se han producido como consecuencia de las erupciones explosivas de los volcanes cordilleranos. Estos materiales volcánicos han sido transportados al este de los Andes por los vientos dominantes provenientes del oeste.

En la historia reciente se cuentan en Patagonia las caídas de ceniza provocadas por la erupción del volcán Hudson en 1991 cuyas cenizas llegaron hasta Buenos Aires, o las ocurridas en Bariloche y Villa La Angostura por erupción del Cordón Caulle en 1921 y 1960 y del volcán Calbuco en 1961. El impacto de sus efectos negativos se vio atenuado por la moderada intensidad de las erupciones y la baja densidad de población de los centros urbanos afectados y la poca infraestructura existente en aquella época que difiere sustancialmente de la situación actual. La erupción de mayo de 1960 fue desencadenada por el sismo de Valdivia (Lara et al., 2004) que desencadenó el tsunami que cobró dos vidas y terminó arrasando el puerto existente y modificando la parte de la costa en el área céntrica. Además de este recordado episodio, Bariloche fue afectado por una caída de ceniza. En esa oportunidad las cenizas en la atmósfera impidieron el paso de la luz solar produciendo el oscurecimiento de la ciudad y acumulando aproximadamente 2 cm de cenizas.

En 1961 hubo una nueva erupción pero esta vez del volcán Calbuco. De acuerdo a registros históricos una breve y fuerte fase explosiva ocurrió el 10 de marzo y la columna eruptiva alcanzó los 12 km aproximadamente sobre el cráter y las cenizas oscurecieron toda el área y se suspendió en Bariloche el tránsito vehicular por la escasa visibilidad. (Petit-Breuilh, 1999). Estas crónicas históricas de episodios volcánicos ocurridos hace pocas décadas sirven para ejemplificar y sostener la necesidad de una adecuada evaluación, de la peligrosidad en nuestra zona. Una aproximación al problema puede realizarse estudiando los registros geológicos de la zona que hayan preservado las evidencias de caídas de ceniza en el pasado durante los últimos miles de años. Los sedimentos lacustres resultan excelentes archivos de los eventos del pasado y la abundancia de estos sistemas en la región permite disponer de datos de calidad que posibilita la confección de reconstrucciones precisas.

Para este caso puede tomarse como referencia el registro de la laguna El Trébol (Figura 2). En estos sedimentos han quedado preservados al menos 47 niveles de tefras relevantes en un lapso de aproximadamente 15.000 años, lo que determina un promedio de una erupción de importancia cada 320 años, con 14 eventos ocurridos en los últimos 2.000 años, lo que da un promedio de una erupción cada 140 años. Cabe destacar que las erupciones históricas mencionadas (3 en los últimos 85 años) no son visibles macroscópicamente en los testigos debido a sus bajos volúmenes de material caído y su tamaño de grano

fino, lo que implica que a las erupciones registradas macroscópicamente en el testigo habría que sumarle aquellas no visibles en el registro, lo que aumentaría sensiblemente la frecuencia.

En forma sintética y con el propósito de demostrar la necesidad de incluir las recomendaciones que a continuación se mencionan, se incluye una breve reseña sobre las implicancias que una lluvia de cenizas puede tener para la zona de Bariloche a escala de urbanizaciones:

- Oscuridad completa o parcial
- Interrupción de la aeronavegación
- Sobrecarga de techos
- Cobertura de ceniza sobre la vegetación y también en animales.
- Afectación de fuentes de provisión de agua potable
- Afectación del tránsito, la comunicaciones y la provisión de energía



**Figura 2:** Niveles de tefras de caída en testigos de la laguna El Trébol, se cuenta un total de 47 niveles macroscópicos que representan episodios de importancia ocurridos durante los últimos 15.000 años. (Villarosa et al., 2006).

La principal causa de inconvenientes a considerar durante una caída de cenizas se debe al depósito de cenizas sobre los techos de los edificios, los que pueden colapsar por la sobrecarga, especialmente si la ceniza está húmeda por efecto de las lluvias que suelen estar asociadas a estos episodios eruptivos. Para dar idea más acabada de los valores a los que hacemos referencia se puede decir que 1 cm de espesor de ceniza seca pesan hasta  $20 \text{ kg/m}^2$  y húmeda hasta  $30 \text{ kg/m}^2$ . La únicas medidas de atenuación son las de ajustar la pendiente del techado a los valores recomendados por UNESCO y entidades internacionales dedicadas al manejo de emergencias volcánicas que deben ser superiores a  $20^\circ$  y, a su vez, generar planes de contingencia que contemplen las prácticas adecuadas de limpieza y remoción del material durante la emergencia. En cualquier comunidad expuesta al peligro volcánico se debe desarrollar una conciencia general del riesgo para la vida y los bienes, esta es indispensable para poder avanzar en la elaboración de los planes de contingencia.

En nuestra ciudad se desconocen los antecedentes y no existe conciencia general del peligro y, especialmente, de las medidas sencillas que se deben adoptar para minimizar los daños y trastornos. Será muy difícil trabajar en prevención o intentar implementar planes de emergencia generales.

## **10.2. Sismos**

Este factor no ha sido incluido en la elaboración del mapa de peligrosidad ya que su influencia es equivalente en toda la zona pero se considera importante mencionarlos ya que los movimientos telúricos y, en particular, los fenómenos asociados desencadenados durante episodios sísmicos pueden ser de magnitud y traer aparejados grandes daños económicos e incluso pérdidas humanas debido a que funcionan como disparadores de los fenómenos de remoción en masa.

El peligro sísmico, que es la probabilidad de que ocurra una determinada amplitud de movimiento del suelo en un intervalo de tiempo fijado, depende del nivel de sismicidad de cada zona. La mayor cantidad de sismos ocurre en los bordes o contactos de las placas litosféricas y en general son los de mayor magnitud. La Argentina se encuentra afectada por la convergencia de la placa de Nazca con la placa Sudamericana. Esta zona de contacto se ubica a lo largo de la costa de Perú y Chile y es considerada la más larga del mundo. La placa de Nazca se desplaza hacia el este y se sumerge (subduce) bajo la placa Sudamericana, que se desplaza hacia el oeste. La velocidad relativa con que se mueven estas placas es de 11cm/año. Debido a los grandes esfuerzos generados en los contactos entre placas, se producen también terremotos a distancias considerables, generalmente asociados a fallas activas, como ha ocurrido en nuestro país en varias oportunidades (terremotos de Salta: 1692, 1844, 1948; San Juan: 1894, 1944 y 1977; Mendoza: 1782, 1861 y 1985 entre los más importantes.)

La mayor zona de contacto entre placas en el mundo es la llamada *Cinturón de Fuego del Pacífico*, a la que se le puede asociar el 90% de la sismicidad total del planeta. Aquí han tenido lugar los mayores terremotos registrados instrumentalmente en el siglo XX (Chile 1960 y Alaska 1964).

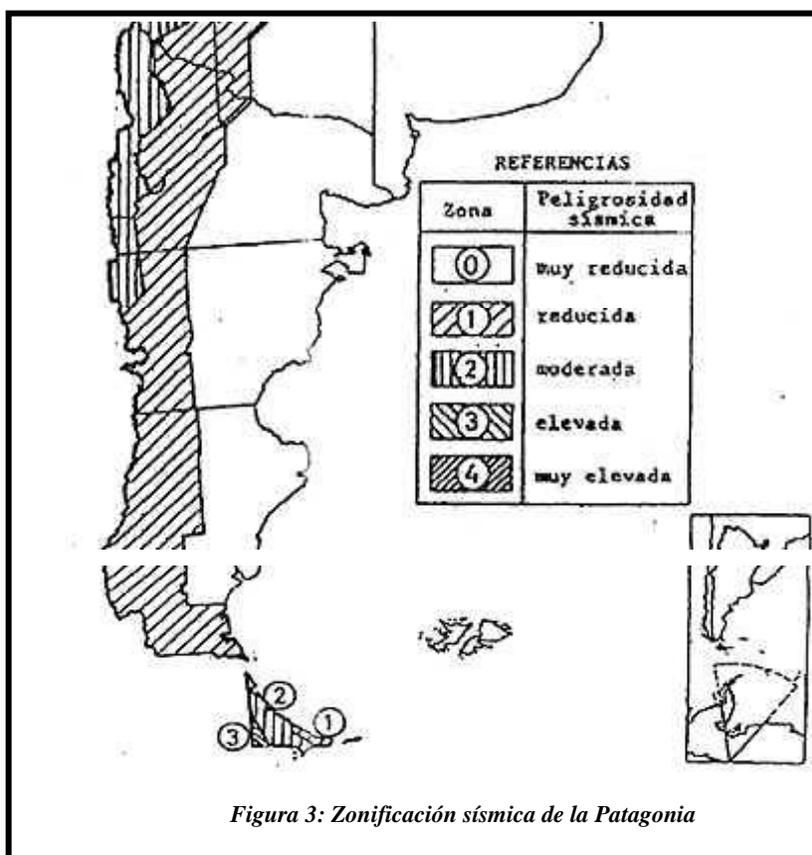


Figura 3: Zonificación sísmica de la Patagonia

El antecedente más próximo y destructivo ocurrió en mayo de 1960, fecha en la que tuvo lugar un episodio sismo-volcánico en el cual se produjo un tsunami en el lago Nahuel Huapi vinculado con el sismo ocurrido en cercanías de Valdivia, Chile. Este sismo fue el más importante registrado en la historia, alcanzando los registros instrumentales más altos jamás registrados (9,5 Mw).

En la figura 3 se representa la zonificación sísmica de la Patagonia argentina en función del grado de peligrosidad sísmica (INPRES) y se observa que San Carlos de Bariloche se encuentra en la zona 2, es decir de peligrosidad sísmica moderada (2).

## ***11. Diagnóstico y Conclusiones***

A partir de lo descripto anteriormente han podido identificarse los siguientes problemas geoambientales los que se ejemplifican con claridad en el Anexo Fotográfico:

- ✓ *Anegamientos y Obstrucción de cauces*
- ✓ *Intervención en los márgenes y laterales de cauces generando desestabilización y favoreciendo los procesos de remoción en masa.*
- ✓ *Modificación de la posición, pendientes y dimensiones de los cauces.*
- ✓ *Modificación o eliminación de mallines.*
- ✓ *Entubamientos y alcantarillados inadecuados, frecuentemente descalzados por erosión*
- ✓ *Mal mantenimiento de obras*
- ✓ *Cortes de pendientes y generación de taludes inestables y/o expuestos a la erosión*
- ✓ *Perdida de cobertura vegetal y edáfica que favorece los procesos erosivos*
- ✓ *Senderos y caminos informales que no reúnen las condiciones mínimas de diseño y mantenimiento (erosión)*
- ✓ *Caminos, obras particulares y otras obras públicas no prevén la estabilización de pendientes intervenidas*
- ✓ *Construcciones en pendientes elevadas con fundaciones inapropiadas*
- ✓ *Fenómenos de remoción asociados a desestabilización de laderas en cursos de agua o por acumulación de sedimentos y residuos en fondos de cañadones.*
- ✓ *Caídas de rocas o bloques asociadas a afloramientos rocosos (frecuentemente intervenidos) o a grandes bloques expuestos por erosión o corte de pendientes.*

Intentando relacionar estas observaciones con sus posibles causas surgen como diagnóstico las siguientes causas generales:

- En la mayoría de los casos no se han aplicado criterios básicos de ordenamiento territorial o gestión ambiental para pautar el desarrollo urbano.
- No se aplican estrategias o normas de manejo para la gestión de los cursos de agua. Cada particular o institución maneja la porción de la red de drenaje que cae dentro de su propiedad o jurisdicción de la

manera que cree adecuado o conveniente. Así se obstruyen cauces (alambrados que acumulan residuos, endicamientos, resaltos artificiales, etc.) se rellenan cursos de agua, se drenan mallines, se entuban drenajes y se modifican los cursos naturales sin tener en cuenta las consecuencias ambientales que esto acarrea.

- Al no existir criterios de manejo la situación de los cursos de agua es muy heterogénea, incluso dentro del mismo sistema, observándose grandes diferencias en los distintos tramos (obstrucciones, basura y restos vegetales en los cauces, erosión, tipo y nivel de intervención, etc.). Esto dificulta la caracterización y categorización del estado de cada subcuenca, lo que requiere necesariamente relevamientos de sumo detalle. Estos además son difíciles de realizar ya que se debe ingresar a un gran número de propiedades privadas.
- Frecuentemente no se aplican criterios geotécnicos adecuados para la realización de obras viales en sectores de pendientes significativas ni en el diseño de las construcciones de viviendas u obras de infraestructura.
- La construcción y utilización de terrenos poco apropiados es preocupante, llegando incluso en algunos sectores, a que las construcciones afecten cursos de agua importantes o se realicen cortes de pendientes peligrosos sin que se verifique ninguna previsión de manejo para ellos.

En términos generales puede decirse que se han observado situaciones de peligrosidad geológica derivada de:

- ✓ *manejo inadecuado de los drenajes y efluentes*
- ✓ *manejo inadecuado de pendientes y taludes ya sea por cortes indebidos o indiscriminados*
- ✓ *manejo inadecuado de sistemas naturales con características especiales (mallines, áreas con suelos sensibles, etc.)*
- ✓ *Implantación de viviendas e infraestructura sin tener en cuenta los factores de peligrosidad natural o antrópica.*

## 12. Recomendaciones

- *Se requiere un Plan de Ordenamiento Territorial que contemple:*
  - *Los procesos de ocupación, de urbanización, deben considerar las limitaciones que imponen las características geológicas de los terrenos. Para esto se requiere de estudios geoambientales a escala adecuada.*
  - *Evitar la ocupación de sitios ubicados sobre cañadones o cursos de agua*
  - *Disminuir al mínimo la posibilidad de erosión hídrica.*
  - *Gestionar en forma adecuada las aguas residuales y efluentes domiciliarios.*
  - *Incorporar el requerimiento de estudios ambientales (informe ambiental, de factibilidad o de impacto, de peligrosidad geológica e informes geotécnicos para el caso de fundaciones) para cualquier obra pública o privada que se efectúe en los sectores considerados como de mediana a alta peligrosidad*
  - *Hacer un manejo adecuado de los taludes y de los cortes de taludes ya sea para abrir calles o para implantar una vivienda o infraestructura o para generar espacio durante la construcción.*
  - *Establecimiento de distancias de seguridad para las viviendas respecto de:*
    - *Afloramientos rocosos que puedan originar caídas de bloques*
    - *Proximidad a cortes o pendientes abruptas con procesos activos*
  
- *Diseño de normas y aplicación de sistemas de gestión de la red de drenaje a nivel de cuenca que incluyan al menos:*
  - *Programas de monitoreo, limpieza y despeje de cauces*
  - *Pautas de intervención sobre los cauces*
  - *Aplicación de retiros para la construcción de viviendas en ambientes inundables*
  - *Estudios e implementación de sistemas adecuados para la realización de tomas de agua*
  - *Minimizar procesos erosivos*
  - *Relevamiento y pautas de manejo de mallines y vertientes*
  
- *Se recomienda la realización de estudios de aptitud ambiental y de peligrosidad natural del terreno a escala adecuada para aplicarlos a la aprobación de edificaciones, obras de infraestructura y gestión general de lotes, considerando las características naturales y socioeconómicas de cada ámbito. Posiblemente sea conveniente que este proceso sea encarado a nivel de juntas vecinal.*

### ***13. Bibliografía consultada***

- Anbalagan, R. y Singh, B., 2001. Landslide Hazard and Risk Mapping in the Himalaya. Landslide hazard mitigation in the Hindu Kush-Himalayas, 163-201.
- Dominguez, Rabasa y Cabral, 1978. Estudio del Aluvión de Melipal del 21 de junio de 1976.
- Giacosa y Heredia, 2001. Hoja Geológica Bariloche 4172-IV.
- González Bonorino, 1973. Geología del área entre San Carlos de Bariloche y Llao Llao. Publ. N°16, Dpto. Rec. Nat y En. F. Bariloche.
- González Díaz, 1998. Mapa Geomorfológico del Parque Nacional Nahuel Huapi.
- Mora, R., Chaves, J. & Vázquez, M., 2002. Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson (Mora R., Vahrson & Mora, S., 1992). Servicios especializados de laboratorio de suelos y rocas. FUNDEVI, Universidad de Costa Rica.
- Mora, R., Vahrson, W. & Mora, S., 1992. Mapa de amenazas de deslizamientos, Valle central, Costa Rica. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC).
- Romana, M. 1992. El problema de la previsión de la rotura en un talud en función de la pluviometría. III Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. La Coruña vol 1, 53-69.
- SEGEMAR-BGR, 2005. Estudio Geocientífico aplicado al Ordenamiento Territorial. Anales N° 42.
- Varnes, D. J. 1978. Slope Movement Types and Processes, in Schuster and Krizek eds., Landslides Analysis and Control, Transportation. Research Board, Special Report 176, 12-33.
- Villarosa, Gustavo, Outes, Valeria y Crivelli, Ernesto, 2006. Los niveles piroclásticos de la laguna El Trébol: registro clave para el desarrollo de una tefrocronología postglacial en el área de Nahuel Huapi, Patagonia. IV Congreso Latinoamericano de Sedimentología y XI Reunión Argentina de Sedimentología. Noviembre 20 al 25, Bariloche. Argentina.