



Evaluación de la peligrosidad de flujos rápidos del volcán Lanín (Neuquén, Argentina)

Hazard assessment of rapid flow slides at Lanín volcano (Neuquén, Argentina)

Salminci, José G. ¹✉ - Malagnino, Eduardo C.

Recibido: 09 de Mayo de 2011 • Aceptado: 10 de Abril 2012

Resumen

La zona que comprende al volcán Lanín, ubicado entre los lagos Tromen y Huechulafquen, presenta una serie de peligros geológicos, entre los cuales se destacan los relacionados con la estabilidad de pendientes.

El objetivo del presente trabajo consistió en una evaluación cualitativa y zonificación de la peligrosidad, la vulnerabilidad y el riesgo geológico, en función de los factores condicionantes y desencadenantes de los procesos de remoción en masa y de los elementos antrópicos bajo riesgo.

Particularmente, se ha estudiado con mayor detalle las situaciones de riesgo generadas por flujos rápidos, debido a que constituyen los procesos geológicos más relevantes por la amenaza que representan.

Se ha obtenido como resultado una zonificación correspondiente a diversos grados de peligrosidad a los flujos rápidos, vulnerabilidad y riesgo, representada en una serie de mapas temáticos. Sobre la base de dicha información, se sugiere la relocalización de diversas obras de infraestructura.

Palabras clave: *volcán Lanín, peligrosidad geológica, flujos rápidos.*

Abstract

The area comprised by Lanín volcano, located between Tromen and Huechulafquen lakes, posit a series of geological hazards of which the most important is slope instability.

The aim of this work is to perform a qualitative evaluation and a zonification of hazard, vulnerability and geological risk considering the conditioning and unleashing factors of mass wasting and anthropic elements in danger.

Risk situations created by rapid flows were studied in detail since they are the most outstanding geomorphologic processes due to the threaten they constitute.

As a result, several thematic maps representing a zonification corresponding to distinct hazard degrees of rapid flow, vulnerability and risk were obtained. On the basis of this information it is suggested to relocate several infrastructure works.

Keywords: *Lanín volcano, hazard, rapid flows.*

¹ Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires
Ciudad Universitaria Pab II - CP 1428
Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

✉ jsalminci@gl.fcen.uba.ar

INTRODUCCIÓN

La estructura volcánica del Lanín, ubicado dentro del Parque Nacional homónimo en la región sur de la provincia de Neuquén, presenta condiciones que favorecen el desarrollo de flujos rápidos, dadas por el fuerte gradiente topográfico de sus pendientes y la inestabilidad del material volcánico re trabajado por la acción glaciaria que las componen. A su vez, los grandes volúmenes de agua que periódicamente se desplazan sobre este material, como resultado de la suma de la ablación de los glaciares, de la nieve acumulada y de las intensas precipitaciones que estacionalmente tienen ocurrencia en esta comarca, contribuyen a esta situación de inestabilidad de pendientes.

En este contexto, si bien la presencia de poblaciones humanas y de infraestructura no es de gran magnitud, la zona se caracteriza por el reciente crecimiento de emprendimientos turísticos, la existencia de caminos viales, la presencia de estancias ganaderas, poblaciones indígenas, puestos de Gendarmería Nacional y de Parques Nacionales que constituyen los elementos bajo riesgo.

Los trabajos geológicos recientes realizados en la región corresponden a *Salminci (2007)* y *Mancino (2007)* los cuales basan sus estudios en la determinación de la peligrosidad geológica y a *Lara (2003, 2004)* el cual desarrolla estudios geológicos y volcanológicos en el área.

A partir del análisis geológico se definieron zonas con distinto grado de riesgo, lo que permitió obtener una cartografía temática básica para la planificación y el desarrollo de futuras actividades humanas en el ámbito de influencia del volcán Lanín, minimizando los perjuicios que puedan llegar a ocasionar la ocurrencia de catástrofes naturales.

UBICACIÓN

El área estudiada se encuentra dentro del Parque Nacional Lanín, departamento de Huiliches, provincia de Neuquén (Figura 1).

La región está comprendida, de norte a sur, entre la margen sur del lago Tromen hasta la margen norte del Huechulafquen incluyendo así al volcán Lanín. Emplazada en la Cordillera Principal Neuquina, está situada sobre el límite internacional con Chile.

Se accede a la comarca desde San Martín de los Andes a través de la ruta nacional N° 234 la cual empalma con las rutas provinciales N° 60 y N° 61.

MARCO CONCEPTUAL

Los conceptos de Peligrosidad, Vulnerabilidad y Riesgo definidos en el reporte de la reunión "Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad" de La United Nations Disaster Relief Organization (*UNDRO 1979*) en conjunto con la United Nations Educational Scientific and Cultural Organization se exponen a continuación:

Peligrosidad (H), definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.

Vulnerabilidad (V), grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.

Riesgo específico (RS), grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la Amenaza y la Vulnerabilidad.

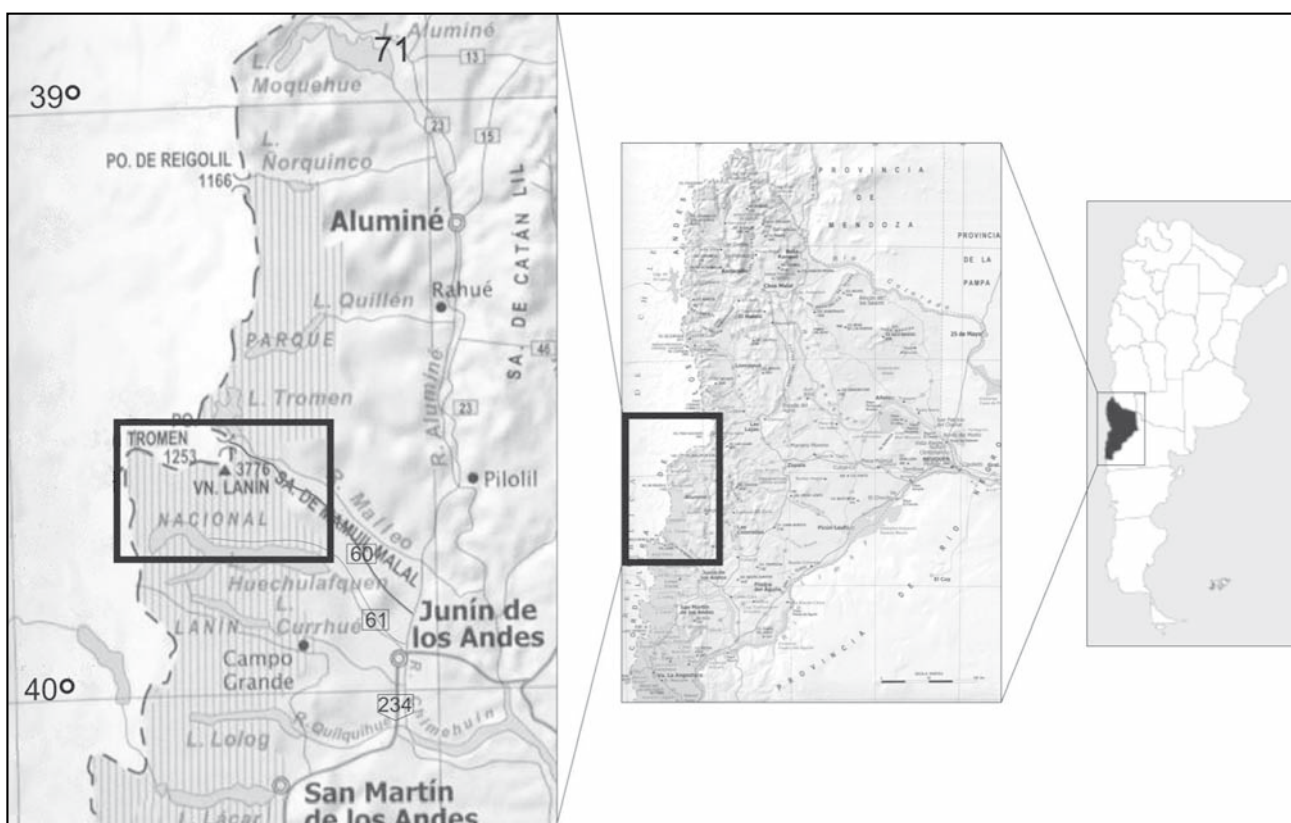


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

En el presente trabajo se utilizarán las definiciones expuestas precedentemente, siguiendo una metodología particular, que se detalla a continuación.

METODOLOGÍA

La secuencia metodológica para la obtención de los resultados es la siguiente: en primer lugar se localizaron los procesos de remoción en masa dentro de la zona de estudio y se caracterizaron en detalle los fenómenos correspondientes a los flujos rápidos de mayor envergadura.

Para determinar la susceptibilidad y la peligrosidad de flujos rápidos se agruparon los diversos parámetros físico-naturales en factores condicionantes y factores desencadenantes. La susceptibilidad se determinó de forma directa según *Western et al (2003)* la cual está basada en la experiencia de los autores y sobre la base del conocimiento de los factores condicionantes y la zonificación de la peligrosidad de flujos rápidos se desarrolló teniendo en cuenta el análisis de los factores desencadenantes.

Por último, para estimar la vulnerabilidad y el riesgo específico se identificaron los elementos humanos (obras de infraestructura y vidas humanas) bajo riesgo y se los relacionó con los datos de peligrosidad.

A continuación se presenta un diagrama de flujo de la metodología utilizada (Figura 2):

REMOCIÓN EN MASA

Las características de los depósitos de remoción en masa presentes en el área de estudio corresponden básicamente a Flujos. Se ha identificado un gran número de movimientos de remoción en masa del tipo flujos rápidos desarrollados desde las laderas del Vn. Lanín, los cuales configuran el rasgo más importante y objeto de estudio del presente trabajo. El término flujos rápidos corresponde a los flujos de detritos y hace referencia a la ocurrencia de estos fenómenos con velocidades mayores a 3 m/min correspondientes a los Flujos muy rápidos a extremadamente rápidos de la clasificación de *Cruden y Varnes (1996)*. En la Figura 3 se presenta una imagen satelital con la identificación de los Flujos de mayor importancia.

Evidencias geomórficas de un evento de este tipo es el que denominamos Flujos Rucu Leufú, que tienen su origen en la ladera sur del volcán Lanín, ocupando el valle formado por el arroyo Rucu Leufú. En su recorrido desde la zona de arranque superior, se desplazaron en forma encauzada a lo largo del referido valle Rucu Leufú. Cuando estas acumulaciones, del tipo cenoglomerados, llegaron hasta el lago, se expandieron sobre el extenso conoide ahí presente. Esta última característica geomórfica dio lugar a que el lago presente una angostura y permita su separación en dos cuencas: la mayor y correspondiente al lago Huechulafquen y la más reducida correspondiente al lago Paimún. Es probable que este conoide en su conjunto se

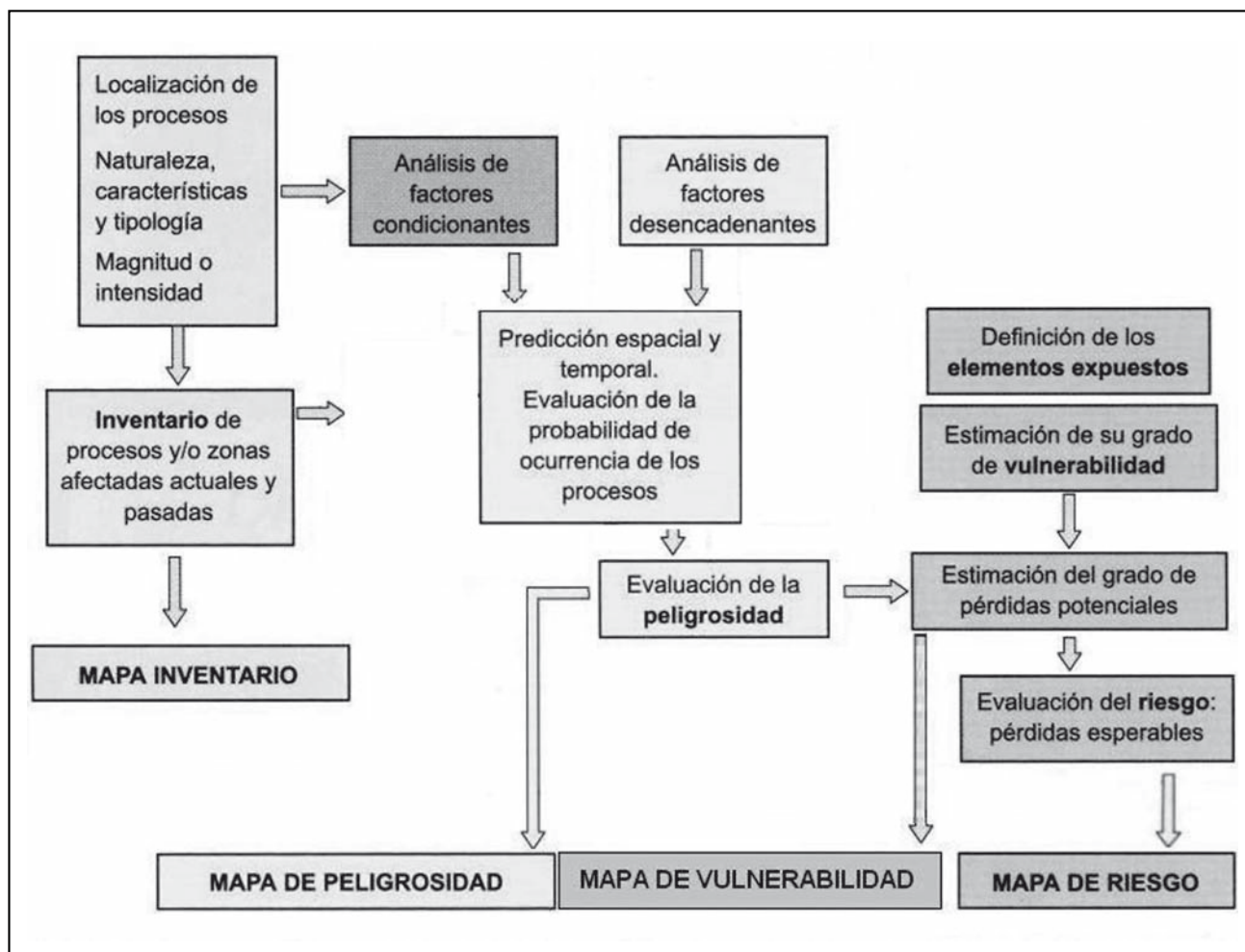


Figura 2. Secuencia metodológica. Modificado de González de Vallejo (2002).



Figura 4. Vista de la serie de flujos rápidos ubicados sobre valle del arroyo Rucu Leufú.

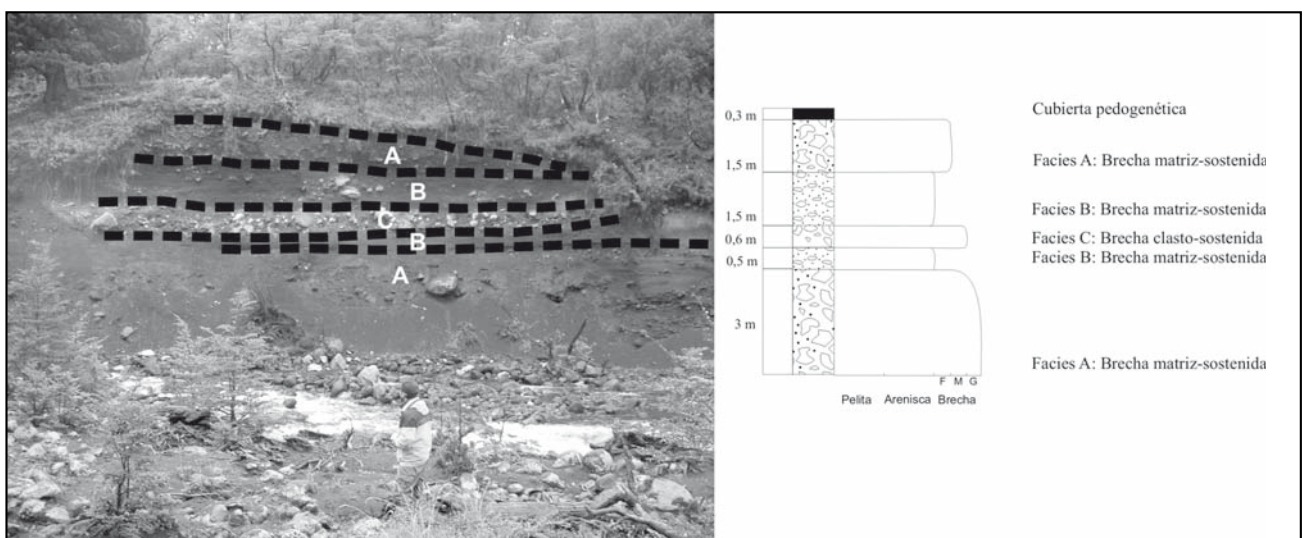


Figura 5. Perfil columnar.

Otros eventos de este tipo se pueden identificar sobre la ladera noreste del volcán Lanín a lo largo del arroyo Turbio, los que llegaron encauzados hasta la margen sur del lago Tromen.

Asimismo, evidencias estratigráficas de eventos recurrentes de flujos rápidos pueden ser observadas en varias localidades. Por ejemplo, a lo largo del valle del arroyo Hueyeltué, en su sección media y proximal se expone un perfil de un depósito correspondiente a flujos densos, según un espesor de 5 metros. Un segundo perfil puede reconocerse a lo largo del arroyo Turbio. En la sección situada a los S 39° 35' 19'' O 71° 25' 55,9'' de este curso fluvial, se expone una acumulación de 3.5 m. de potencia integrada de bloques de variada granulometría que alcanzan tamaños mayores a 1 m, formas sub-angulares preferentemente elongadas, alguno de los cuales son de origen es volcánico, mientras que otros muestran evidencia de transporte glaciario.

Otros fenómenos de remoción en masa presentes en baja proporción corresponden a deslizamientos ubicados sobre la Ruta Provincial N° 61 a metros del Pro. Vda. De Barriga y conos de deyección ubicados a lo largo de del arroyo Hueyeltué.

FACTORES CONDICIONANTES

Se definen como factores condicionantes o pasivos, a aquellos que son intrínsecos al terreno. Se incluyen los factores topográficos (orografía), los factores biológicos (vegetación) y los factores geológicos (suelo, litología y estructura y geomorfología). Cada uno de ellos se describe a continuación en forma general.

Topografía

La región se encuentra ubicada en la Cordillera Principal y está compuesta por una serie de cerrilladas de poca extensión, que disminuyen en altitud de noroeste a sudeste (Turner 1973).

El volcán Lanín (3.776 m) es el pico más elevado del área. Está ubicado en la zona central del presente trabajo, y junto con el cerro Colorado (1.785 m) conforman la Sierra de Mamuil Malal de dirección noroeste-sudeste. Este cordón separa las aguas del río Malleo, al norte, y del lago Huechulafquen y río Chimehuín, al Sur.

Un rasgo notable es la presencia de grandes diferencias altimétricas en distancias horizontales relativamente cortas, que dan lugar a altos valores de inclinación de las pendientes, refiriéndonos a valores promedio, y más aun, a valores locales. Esta situación, en consonancia con otros factores, como por ejemplo los de naturaleza geológica, condiciona la materialización de movimientos de remoción en masa del tipo flujos rápidos. El la Figura 6 se presenta un mapa topográfico.

Vegetación

La vegetación es mayormente arbórea predominando el pehuén o pino (*Araucaria araucana*) hallándose en una comunidad casi pura en el tramo superior del arroyo Rucu Leufú. Otras especies asociadas son el ñire (*Nothofagus antarctica*), la lenga (*N. pumillo*), el coihue (*N. dombeyi*) y el raulí (*N. proceras*). El sotobosque está integrado por coligüe (*Chasquea coleu*), calafate (*Berberis buxifolia*), grosellero (*Ribes magellanicum*), amancay (*Alstroemeria aurantiaca*), etc.

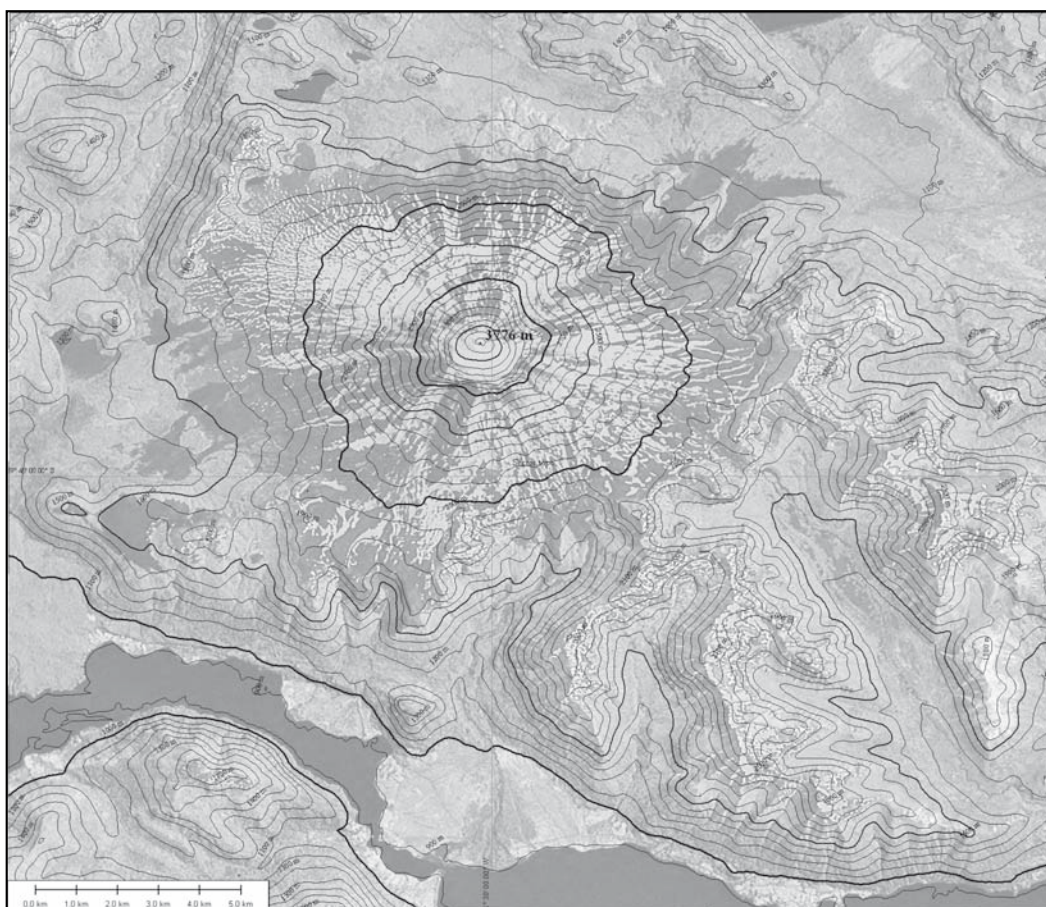


Figura 6. Mapa topográfico del Vn. Lanín con una equidistancia de 100 m.

El límite de presencia arbórea se ubica alrededor de los 1800 m, a partir del cual sólo crecen gramíneas, compuestas, plantas en cojín y arbustos bajos.

En este caso la vegetación da lugar a un aumento de la rugosidad de la ladera y por lo tanto retarda la escorrentía superficial disminuyendo así la erosión. Además, el aumento del tiempo de residencia del agua sobre la pendiente posibilita una mayor percolación del agua al subsuelo subsuperficial, lo que permite su absorción radicular y por lo tanto la posterior evapotranspiración. Esta última situación se traduce en una disminución de la presión poral, factor interno este último que puede actuar como un agente que dispara la caída de la pendiente cuando adquiere una magnitud superior.

Suelo

De los cinco factores de formación de los suelos, los más influyentes en el desarrollo de los mismos son: el material original y la topografía.

En cuanto a la distribución existe un importante desarrollo horizontal a lo largo de los valles de los ríos Malleo y Chimehuín. En el sector de bosques hay cierto desarrollo vertical con tendencia al tipo *podzol* faltando el horizonte silíceo (Turner 1973). Desde aproximadamente la zona de Lago Tromen hacia el sur predominan los Andosoles húmicos (FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Si bien la presencia de suelos tipo Andosoles debe tenerse en cuenta, en vinculación con procesos de remoción en masa debido al comportamiento tixotrópico que presentan, los suelos en zonas elevadas no tienen un desarrollo vertical significativo. Por otro lado la presencia de vegetación mencionada en el apartado anterior, actúa como agente estabilizador de las pendientes, y dicha presencia de vegetación supera los 1800 m de altura. Al respecto se señala que a continuación de un incendio de la cubierta boscosa, se generalizan sobre las pendientes afectadas los movimientos de remoción en masa de diversa tipología lo cual ratifica la capacidad estabilizadora. Por lo tanto no se considerará a los suelos, en el presente trabajo, como elementos potencialmente susceptibles de ser deslizados.

Estructura y Litología

La disposición general que presentan las sucesivas coladas y bancos de piroclastos que fueron emitidos por el volcán Lanín a lo largo de su evolución, dieron lugar a la generación de un aparato de rápido crecimiento con pendientes empinadas situadas sobre un cuerpo en el cual son localmente abundantes las superficies de deslizamiento potencial. Entre estas se destacan como las de mayor importancia a los horizontes estratigráficos que separan a las referidas coladas de las unidades piroclásticas, las que no presentan el mismo grado de tenacidad que las primeras. Si bien estas superficies de discontinuidad pueden presentar en general inclinaciones similares a las laderas del volcán, cuando son cortadas por la acción del proceso fluvial y glaciario, las unidades volcánicas situadas por encima de ellas se desplazan a favor de movimientos de remoción en masa locales, especialmente deslizamientos traslacionales y avalancha de rocas. Los materiales involucrados en estos desplazamientos, en la mayoría de los casos lo hacen a lo largo de los valles existentes dando lugar a flujos rápidos.

Las secuencias volcánicas que forman el cuerpo principal del volcán, se presentan como factor litológico de importancia en cuanto a los valores de inestabilidad presentes, ya que se

trata de coladas que se disponen en forma interestratificada con otros niveles volcánicos menos tenaces, según horizontes de estratificación que por sectores interceptan la de la pendiente topográfica según un valor menor al de esta, condición que da lugar a potenciales movimientos traslacionales.

Geomorfología

A continuación se describe la morfología del área de estudio según el proceso geológico actuante, con excepción de la morfología por remoción en masa descripta precedentemente.

Morfología volcánica

El rasgo geomórfico sobresaliente es la presencia de un estratovolcán compuesto, predominantemente efusivo, de forma cónica ubicado en el centro de la zona de estudio denominado Lanín. A partir del estudio realizado por Lara et. al. (2004), han sido definidas cuatro unidades según criterios geomorfológicos, la primera (Unidad Lanín 1) representaría restos de una estructura ancestral constituida por lavas dacíticas con disyunción columnar que probablemente conforman un antiguo estratocono; la segunda (Unidad Lanín 2), formada por secuencias volcanoclásticas intercaladas con coladas de lava basáltica, forman la sección basal del actual estratovolcán; la tercera unidad (Unidad Lanín 3) corresponde a coladas de lava que forman la estructura del cono y la cuarta unidad (Unidad Lanín 4) está formada por coladas basálticas y depósitos piroclásticos que cubren la unidad precedente.

Como se indicó precedentemente, la referida estructuración dio lugar a la existencia de un edificio volcánico de elevada inestabilidad con laderas susceptibles a la erosión glaciogénica, la fluvial y a la remoción en masa.

Morfología glaciaria

En la actualidad, si bien no alcanzan un desarrollo muy importante, existen glaciares activos ubicados sobre el volcán Lanín, caracterizados por encontrarse en una situación de franco retroceso. Esta localizada acción glaciaria ha dado lugar a una serie de formas de erosión y acumulación que han condicionado favorablemente la inestabilidad de las pendientes superiores del volcán. Las formas de erosión corresponden a circos y artesas de poco desarrollo, mientras que las formas de acumulación son morenas marginales y frontales, estas últimas recesionales.

Las formas de erosión glaciaria dan lugar en la sección superior del volcán, a pendientes empinadas aumentando los niveles de inestabilidad iniciales que presentaban sus laderas, mientras que las acumulaciones morénicas desagregadas configuran depósitos susceptibles a movilizarse como flujos ante disparadores adecuados.

Morfología fluvial

El diseño fluvial del área es del tipo complejo ya que fue parcialmente interrumpido y modificado por la morfología volcánica y glaciaria que se sobre impuso a la red de drenaje ancestral.

En la zona central-occidental, donde se ubica el volcán Lanín, se dispone un diseño radial centrífugo de densidad media sobre el cono volcánico.

La elevada profundización y expansión lateral que presentan los valles fluviales excavados sobre las pendientes del volcán, especialmente en su sección superior e intermedia, posibilitan la existencia de pendientes empinadas e inestables a lo

largo de las cuales han tenido lugar distinto tipo de movimientos de remoción en masa. Asimismo, la referida red fluvial configura el sistema de conducción a lo largo del cual se desplazaron los reiterados eventos de flujos encauzados que han sido identificados en este estudio.

FACTORES DESENCADENANTES

Los factores desencadenantes o activos, son aquellos que actúan como mecanismos disparadores de los procesos de remoción en masa. Son capaces de generar grandes cambios en las condiciones físicas presentes en las laderas, en un corto período temporal. Tales cambios afectan a un sistema en equilibrio estático o cuasi estático, llevándolo a una situación de inestabilidad, dando como resultado el desenlace de movimientos gravitacionales. Para el área de estudio, se incluyen los factores climáticos y a los geológicos (marco tectónico: sismicidad y vulcanismo).

Climáticos

Los vientos, bajo la influencia del Anticiclón del Pacífico, soplan durante la mayor parte del año desde el oeste. Presentan una elevada carga de humedad ya que atraviesan el Océano Pacífico y a medida que se encuentran con los distintos cordones montañosos, resuelven la humedad en precipitaciones nivales y o pluviales, efecto conocido como de sombra pluviométrica. A medida que avanzan en el antepaís, producen desertización ya que avanzan secos y recogen la humedad del mismo. El resultado de estas condiciones es un régimen de precipitaciones calculado en 3039,6 mm anuales (Turner 1973) (Figura 7).

Se puede considerar que el clima es "montaños", influenciado por presencia de importantes lagos, que sirven como

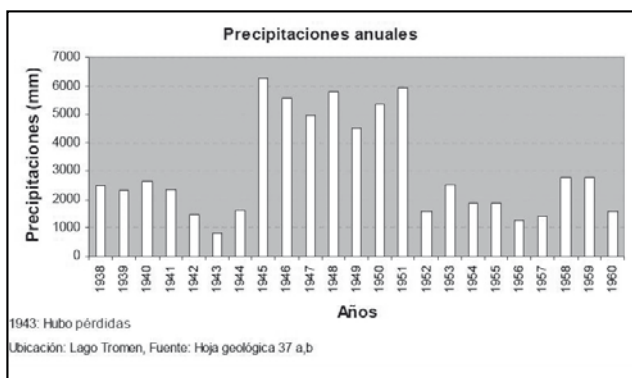


Figura 7. Hidrograma de precipitaciones anuales.

reguladores climáticos locales. Las temperaturas en verano oscilan entre 20 y 30 °C durante el día, para descender a 5 y 0 °C por la noche. En invierno, durante el día rondan los 0 °C y durante la noche llegan hasta -20 °C. Las diferencias de temperatura dan lugar ciclos de congelamiento y descongelamiento favoreciendo la gelificación de los materiales. Además, la gran altura del volcán Lanín (3776 m) en relación al clima, da lugar a la generación de glaciares permanentes hacia la cumbre.

Los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio (La Unión, Lago Huechulafquen y Lago Tromen), indican que las precipitaciones son predominantemente invernales con un pico en el mes de mayo que supera los 400 mm mensuales. Asimismo se remarca un pico de precipitaciones en el mes de noviembre de alrededor de 200 mm mensuales.

Las elevadas tasas de precipitación anual y sobre todo los picos de precipitación mensuales, que se suman al derretimiento de los hielos en períodos estivales, generan una situación de inestabilidad en las pendientes, dada por el sobrepeso de la columna de agua y el aumento de la presión intersticial. A este efecto se le suma la gelificación que quita coherencia al material afectado. Cabe remarcar el carácter periódico en el cual se incrementa la presencia de agua en el sistema, el cual está dado por variaciones estacionales con ocurrencia cíclica anual. En este sentido, se destacan los factores climáticos como uno de los principales factores desencadenante de los flujos rápidos en el área.

Geológicos

El marco tectónico nos brinda información acerca del desarrollo de la actividad sísmica y volcánica, dos aspectos que se tendrán en cuenta por su eventual capacidad de actuar como mecanismos disparadores de los procesos de remoción en masa.

La zona de estudio está situada en el segmento sur de los Andes Centrales, lugar donde el ángulo de subducción de la placa oceánica de Nazca por debajo de la placa continental de América del Sur es del tipo normal. Este margen de placa activo, genera los esfuerzos compresivos que dan origen al ascenso de la Cordillera de los Andes, y la fusión de la losa oceánica que regula la actividad volcánica.

Según Folguera y Ramos (2000), el segmento comprendido entre los 39° y los 45° está caracterizado por la subducción levemente oblicua, con un vector de convergencia de 79° de azimut, de la placa de Nazca bajo la placa de América del Sur a los 46° 30'S. Esta componente oblicua produciría movimientos transcurrentes en la zona de arco volcánico, cuyo frente es paralelo a la trinchera oceánica como resultado de la geometría de la zona de Benioff. Estos movimientos están atestiguados por sismos superficiales a los 39° y a los 45°, cuyos mecanismos focales sugieren componentes dextrógiras en las fallas meridianas a la región (Cembrano y Lavenu 1997). Este esquema fue extendido hacia el norte hasta los 39°S por Prian et al. (1994), López Escobar et al. (1995) y Lavenu et al. (1997), entre otros.

Actividad Sísmica

La actividad sísmica responde al cuadro tectónico descrito precedentemente, donde los terremotos son mayoritariamente de interplaca correspondientes a focos superficiales y de profundidad intermedia, con una densidad de eventos baja y magnitudes que alcanzan los 6 grados en la escala de Richter, en zonas alejadas del área de estudio.

Los terremotos deben presentar altos valores de intensidad para actuar como factor desencadenante de procesos de remoción en masa. Un gráfico de susceptibilidad de deslizamientos inducidos por terremotos tomado de Hays (1990) muestra la relación entre la magnitud y la distancia al epicentro (Figura 8).

De acuerdo con el gráfico de susceptibilidad de Hays (1990) y de los antecedentes sobre los valores de magnitud e intensidad de terremotos ocurridos desde 1920 a la actualidad obtenidos de los registros del INPRES, y teniendo en cuenta las características litológicas, estructurales, morfológicas y topográficas reconocidas en la comarca analizada, se observa que la posibilidad de ocurrencia de avalanchas, flujos y deslizamientos de gran magnitud, donde el evento desencadenante sea exclusivamente un sismo, es muy baja ya que el desarrollo de un movimiento de remoción en masa de gran escala involucraría un terremoto de una magnitud superior a los registrados desde 1920.

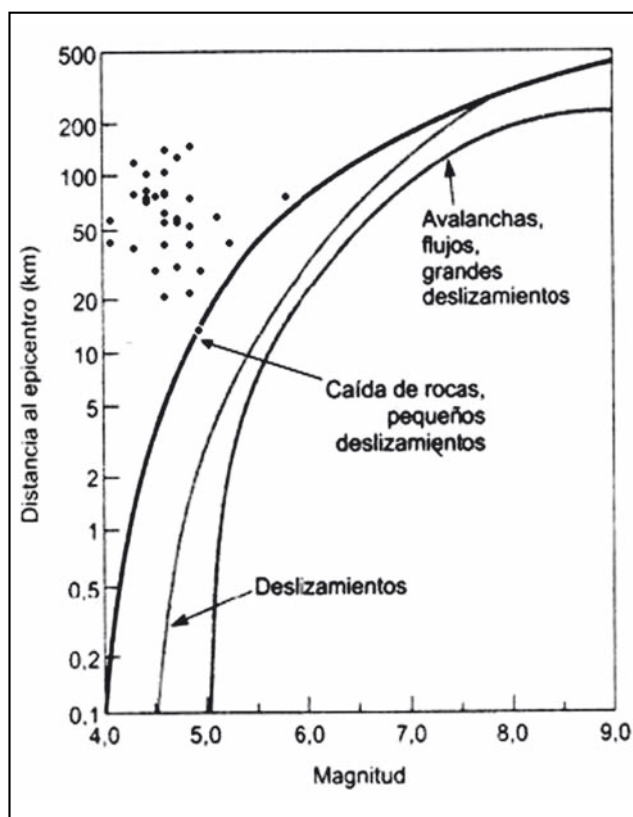


Figura 8. Susceptibilidad de deslizamientos inducido por terremotos tomado de Hays (1990).

A partir del cruce de esta información podemos concluir que la sismicidad es potencial fuente de peligro geológico, sin embargo, puede considerarse razonablemente que los sismos relacionados con el desplazamiento de placas, no constituyen en esta zona el principal factor en la inducción de grandes deslizamientos gravitacionales de masas.

Actividad volcánica

La zona de estudio presenta dos sistemas volcánicos desvinculados genéticamente, el volcán Lanín y los Conos El Arenal, cuyas características volcanológicas se detallan a continuación.

El volcán Lanín es un estratovolcán compuesto, edificado en dos etapas desde el Pleistoceno Medio. A partir del análisis estratigráfico y de los rasgos geoquímicos de los productos volcánicos, Lara (2004) infiere un comportamiento cíclico y monótono, en el cual la evolución magmática estaría dominada por la cristalización fraccionada en sistema cerrado de pulsos magmáticos discretos que evolucionarían en un reservorio superficial. La forma de evacuación de los magmas, estaría controlada por el mecanismo de diferenciación, induciendo la salida de magma viscoso desde la zona apical y magmas basálticos desde la periferia del conducto central o desde los centros adventicios. Los episodios de colapso parcial del sector central habrían resultado del vaciamiento acelerado de la cámara magmática.

El sistema El Arenal ha sido estudiado por Corbella y Alonso (1989) los cuales atribuyen las características de los afloramientos a la actividad fratomagmática.

Si bien los volcanes Lanín y Arenal son de tipo activo, teniendo en cuenta la continuidad de las características geodinámicas actuantes y la juventud de las emisiones holocenas, no se

considera al vulcanismo, en el presente trabajo, la principal causa de peligrosidad del área, ni el principal factor desencadenante de flujos rápidos.

Sin embargo se llama la atención sobre los procesos potencialmente peligrosos vinculados a la actividad volcánica como ser los flujos laháricos, la dispersión de cenizas y la probabilidad de colapso. Cabe destacar aquí que hay depósitos vinculados a erupciones del sistema del volcán Lanín con edades de c.a. 600 años (Lara 2004) determinadas en base a estudios cronestratigráficos.

ELEMENTOS BAJO RIESGO

Se consideran, en el presente trabajo, elementos bajo riesgo al contexto social y material. Como veremos en el desarrollo de este apartado, tanto la densidad de población estable como la infraestructura son escasas, por lo cual se hará hincapié en el estudio de pequeñas áreas muy sensibles.

Estas áreas corresponden fundamentalmente a las vías de comunicación, áreas destinadas al turismo y puestos de población permanente.

Medios de comunicación y transporte

Los dos caminos principales en el área tienen dirección aproximada este-oeste y salen ambos de Junín de Los Andes, que a su vez provienen de San Martín de los Andes a partir de la ruta nacional N° 234. El camino ubicado hacia el norte es la ruta provincial N° 60 m que bordea el río Malleo y se dirige hacia el paso Mamuil Malal (ex Tormen). Es un camino asfaltado.

El camino ubicado al sur es la ruta provincial N°61, bordea al río Chimehuín, el lago Huechulafquen y llega hasta la confluencia de los lagos Paimún y Huechulafquen, lugar al que se denomina "La Unión".

Estas dos vías principales (rutas N° 60 y 61) se verían moderadamente afectadas por procesos de flujos rápidos, sin grandes consecuencias desde el punto de vista ingenieril, pero incidirían en algunos servicios, dentro de los cuales se destaca el cese de tránsito hacia el paso internacional con Chile Mamuil Malal.

Población e industria

Debido a que la comarca forma parte del Parque Nacional Lanín, la densidad de población es baja, encontrándose distintas comunidades Mapuches, las cuales subsisten sobre la base del cultivos propios, ganadería ovina, comercio y el turismo, particularmente dirigido al campamentismo. Estas comunidades se dedican, también, a la tejeduría regional y a la recolección de piñones del pehuén (*Araucaria araucana*), durante los meses de febrero y marzo. La recolección les está permitida sólo a las comunidades Mapuches que elaboran productos regionales y los comercializan.

Parte de la población, distribuida en estancias, se dedica mayormente a la ganadería, mientras que Oficiales de Gendarmería Nacional controlan las fronteras, fundamentalmente en el paso internacional Mamuil Malal (ex Tormen).

Por último se encuentran los puestos de los Guardabosques, dependientes de Parques Nacionales, ubicados cerca de las rutas; al sur sobre el arroyo Rucu Leufú y al norte sobre el río Turbio.

La industria de mayor desarrollo es la del turismo, la cual se expande fundamentalmente en los meses de verano, cuando

el clima es benevolente. En otoño y primavera el turismo disminuye, el clima es más frío y se desencadenan precipitaciones nivales. Hacia el invierno la actividad cesa.

La infraestructura para el turismo es baja, ya que se intenta preservar el medio natural. El enfoque es hacia el campamentismo o la visita del parque de un día. Existen pequeños puertos lacustres, de los cuales el Puerto Canoa se utiliza con fines tanto turísticos como para el control de las actividades en el perímetro de la costa.

Las áreas destinadas al campamentismo se ubican sobre la margen norte del lago Huechulafquen y del Paimún y la margen sur del Tromen, en estas zonas se encuentra las viviendas de las comunidades mapuches que residen durante todo el año.

Los senderos de ascenso al volcán son dos, al sur se asciende a través del valle formado por el arroyo Rucu Leufú, y al norte por una importante morena lateral denominada *Espina del Pez*, pasando por tres refugios antes de llegar a la cumbre.

Considerando los datos aquí expuestos, se ponen en evidencia, algunas actividades humanas susceptibles de ser afectadas por procesos de flujos rápidos: Puestos de Guardabosques de Parques nacionales, de Gendarmería, los campamentos, los dos senderos de ascenso al volcán, y el Puerto Canoa.

Asimismo es conveniente destacar que existe una alta probabilidad de que el desarrollo de flujos provenientes del volcán Lanín se extiendan hacia las márgenes del lago penetrando en él, situación que daría lugar a un tsunami. Bajo tales circunstancias, toda la infraestructura y población ubicada en las márgenes se vería seriamente afectada.

RESULTADOS

A partir del estudio realizado y considerando que los procesos de remoción en masa más relevantes por la amenaza que representan corresponden a flujos rápidos, se determinaron en una primera etapa numerosas áreas con diverso grado de inestabilidad, en las cuales se detectaron morfologías relacionadas con este tipo de peligro geológico y áreas donde estos eventos no se presentan, pero en las cuales son numerosos los factores condicionantes que los promueven. En estos ambientes se evaluaron los niveles de susceptibilidad, peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo, considerando en este análisis la tipología, magnitud y persistencia de los factores condicionantes y desencadenantes que fueron identificados como los de mayor fluencia de la comarca. Por último se confeccionó una cartografía temática con base geológico-geomorfológica de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo.

Determinación directa de la susceptibilidad y evaluación de la peligrosidad

Sobre la base de criterios geomorfológicos y considerando la identificación de factores condicionantes que dan lugar a situaciones de inestabilidad y caída de las pendientes, se pudieron establecer varios niveles de susceptibilidad para la totalidad de las laderas reconocidas. En este caso se tuvieron en cuenta la naturaleza petrológica de las litologías existentes, el grado de cementación de las unidades clásticas, el tipo de diagénesis en las acumulaciones más modernas, la existencia de diversas superficies de despegue, tales como horizontes estratigráficos y estructuras de fracturación capaces de propiciar la generación de deslizamientos traslacionales, y la disposición espacial que estas superficies guardan en su intersección con las superficies de las pendientes consideradas. Por su parte, la interpretación geomorfológica realizada permitió identificar, especialmente en

el ámbito del volcán Lanín y sus áreas periféricas adyacentes, una serie de morfologías relacionadas con flujos rápidos de diversa densidad que en forma recurrente se desplazaron sobre sus laderas e, incluso, llegaron a irrumpir sobre el lago.

Como consecuencia de la integración de esta información surge que el área con la mayor problemática en cuanto a la inestabilidad de pendientes se refiere, la constituye el volcán Lanín y sus áreas periféricas adyacentes. En este ambiente se ha reconocido que las acumulaciones morénicas situadas sobre las laderas del Lanín constituyen los elementos de pendiente que presentan la mayor susceptibilidad a la inestabilidad. Esta condición se debe a la sumatoria de factores externos e internos, entre los que se mencionan como los más destacados a los siguientes: el elevado grado de inclinación de la pendiente en la cual se encuentran acumuladas, el mínimo a inexistente grado de diagénesis que presentan, el bajo grado de compactación que tienen, los valores de permeabilidad variable, la presencia permanente de agua a partir de la fusión de la nieve y el hielo, lo que permite el mantenimiento de presiones porales elevadas durante la mayor parte del año, con picos estacionales al comienzo de la primavera, y el efecto del estrés transitorio por onda sísmica. Asimismo, se destaca la presencia una estructura y litología que favorecen el desarrollo de remoción en masa, como se mencionó precedentemente.

Se han definido 4 categorías de susceptibilidad: Muy Alta, Alta, Media y Baja, siendo el valor entre cada una de ellas relativo.

Susceptibilidad Muy Alta: La zona con este nivel de susceptibilidad se localiza sobre las pendientes Sur y Norte del volcán Lanín. Hacia el sur se observa una serie de flujos rápidos que se desplazaron recurrentemente a lo largo del valle del arroyo Rucu Leufú, los que posteriormente fueron afectados por la erosión fluvial, razón por la cual sus morfologías distintivas están enmascaradas. Estos flujos tienen su zona de arranque en la cabecera del valle, e incluso, en un sector superior más difuso donde se observa un sistema de drenaje incipiente.

Hacia el norte los depósitos correspondientes a un flujo se encuentran ubicados a lo largo del río Turbio. En el sector proximal se encuentra en contacto con morenas y en el sector distal alcanza la margen sur del lago Tromen. Es probable que dicho lago deba su existencia, en parte, a una endicamiento producido por una acumulación de esta naturaleza.

Susceptibilidad Alta: Salvo algunos sectores periféricos, la mayor parte de las pendientes que componen al volcán Lanín presentan susceptibilidad alta debido a varios factores. Entre los más destacados se mencionan los valores de inclinación de las pendientes y su relación con la distancia de recorrido, las acumulaciones glaciogénicas y la existencia de planos de despegue. Se destaca especialmente la presencia de un flujo denso que se desplazó por el valle Hueyeltué, ocupándolo en su sección superior y media a lo largo de aproximadamente 10 Km.

Susceptibilidad Media: Son clasificadas con este nivel de peligrosidad las pendientes en las cuales se localizan afloramientos de secuencias volcánicas pertenecientes a los volcanes Lanín y El Arenal y a otras litologías de tenacidad variable, pero en las cuales se observa una cubierta de vegetación importante. Se considera por lo tanto que la vegetación actúa como agente estabilizador de las pendientes, atenuando los restantes factores que podrían ser similares a los referidos para las zonas de Susceptibilidad Alta.

Susceptibilidad Baja: Este nivel de susceptibilidad se restringe a las zonas donde las pendientes son bajas, las litologías

tenaces, las estructuras poco favorables a desarrollar planos de despegue y donde, en algunos casos, se observa una cubierta vegetal. Arealmente son las superficies de mayor desarrollo, en su mayor parte localizadas en la sección Norte y Este de la comarca relevada.

Dado que el régimen de precipitaciones es constante en el área de mayor susceptibilidad a los flujos, es decir la correspondiente al Vn. Lanín, podemos asumir que el mismo, como factor disparador de los procesos de remoción en masa en general y de flujos en particular son homogéneos arealmente, en este sentido existe una paridad o igualdad entre la zonificación de la susceptibilidad y peligrosidad.

Una forma de acotar el momento en el cual pueden desarrollarse movimientos en masa corresponde a métodos basados en la correlación directa con las lluvias. En áreas propensas al desarrollo de movimientos superficiales y rápidos, las correlaciones con lluvias pueden proporcionar un criterio aceptable de previsión (Corominas, 1987).

En este sentido, si bien el presente estudio es de carácter cualitativo, se destaca la ciclicidad climática descrita en el apartado de Clima, en la cual existen épocas del año donde es mayor la probabilidad de desarrollo de flujos dado que el mecanismo disparador de los procesos de remoción en masa se intensifican. Anualmente esta condición corresponde a los meses mayo y junio en época invernal y a los meses de agosto y septiembre en época primaveral, en esta última se suma el derretimiento del hielo aumentando la cantidad total de agua que afectan superficialmente y por infiltración a esta zona.

El registro anual de precipitaciones en la zona es discontinuo y existe entre los años 1938 y 1980, lo cual no permite realizar estimaciones de ciclicidad plurianual, sin embargo cabe destacar, en función de lo explicado anteriormente, que la probabilidad de desarrollo de flujos aumenta en los meses de mayo y junio y de agosto y septiembre intensificándose en los años donde la precipitación anual es mayor que la media histórica.

Para obtener una zonificación de la peligrosidad, teniendo en cuenta la afectación asociada a la susceptibilidad, la cual afecta no solo el sector medio de las laderas, sino también el sector bajo Chacón (1994) correspondiente en esta caso los valles fluviales, se han definido 4 categorías de peligrosidad: Muy Alta, Alta, Media y Baja, con una correspondencia directa con la susceptibilidad, representadas en el Mapa de Peligrosidad geológica a los flujos rápidos (Figura 8), siendo el valor entre cada una de ellas relativo.

Peligrosidad Muy Alta: Hacia el Sur se desarrolla como una faja angosta que en su sector distal se espátula y hacia el norte se desarrolla como una faja que se abre en forma de abanico en el sector distal.

Peligrosidad Alta: Corresponde a la mayor parte de las pendientes que componen al volcán Lanín en las cuales la presencia de glaciares y nieve generan aporte de agua líquida durante la mayor parte del año, especialmente durante la época de deshielo.

Si bien se detectaron depósitos correspondientes a la presencia de un flujo denso que se desplazó por el valle Hueyeltué, ocupándolo en su sección superior y media, cabe esperar que el desarrollo futuro fluvial de este tipo de flujos afecte la totalidad de los valles alcanzando los sectores bajos de desembocadura. Se advierte que la época esperable para el desenlace de flujos, es durante el período de deshielo donde se suma el volumen de agua debida al derretimiento de los glaciares y la nieve, al de eventuales precipitaciones pluviales.

Peligrosidad Media: En este caso si bien existe presencia de nieve y hielo durante períodos invernales, los mismos presentan volúmenes inferiores y no se da la presencia de glaciares permanentes como en el caso de Peligrosidad alta restringido al Vn. Lanín.

Peligrosidad Baja: Los sectores de peligrosidad baja presentan condiciones en las cuales la lluvia como disparador tiene un potencial bajo a nulo al igual que el efecto de fusión de la nieve y el hielo.

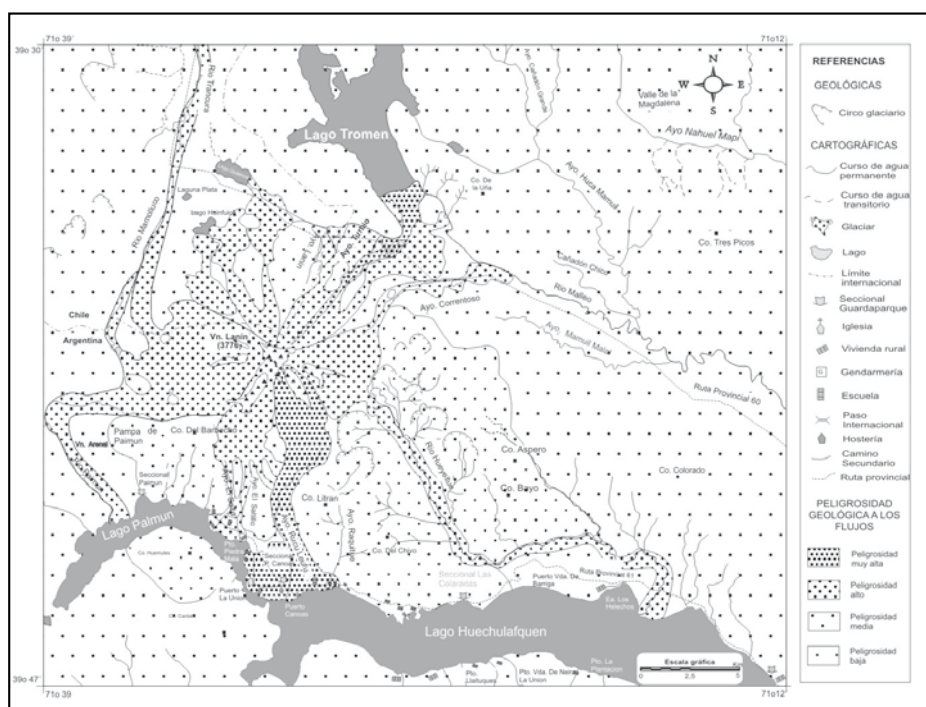


Figura 9. Mapa de peligrosidad geológica a los flujos rápidos.

Evaluación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad, definida como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, depende de la intensidad del fenómeno y de las características de los elementos considerados. La evaluación suele medirse entre 0 (sin daño) y 1 (destrucción total del elemento) ó entre 0% y 100% de daños (González de Vallejo 2002).

Se han agrupado los elementos bajo riesgo descriptos precedentemente, en 4 grupos, teniendo en cuenta la ubicación de los mismos (Tabla 1). Al primer grupo pertenecen las instalaciones ubicadas hacia el norte del volcán Lanín donde se encuentran los puestos de Gendarmería, de Aduana, de Parques Nacionales, una zona de campamento, el paso internacional y la Ruta provincial N°60. El segundo grupo está constituido por los puestos de Parques Nacionales, la oficina de informes, el puerto, el bar, los baños, la iglesia, la escuela, la ruta provincial N° 61. El tercer grupo corresponde a las zonas costeras sobre la margen norte del lago Huechulafquen, las cuales están destinadas a campamentos y donde se ubican las viviendas de las comunidades mapuches. Por último, el cuarto grupo, está formado por dos senderos que sirven para el ascenso pedestre al volcán Lanín, el sendero norte, a través del cual se puede hacer cumbre, posee tres refugios intermedios entre la base y el ápice del volcán y el sendero ubicado hacia el sur, sobre el valle del arroyo Rucu Leufú.

En el presente trabajo, la vulnerabilidad se define sobre la base de la hipótesis de las pérdidas potenciales que ocasionarán los fenómenos si éstos ocurrieran, sobre los elementos bajo riesgo (Tabla 2).

El carácter de la evaluación es cualitativo y corresponden a tres categorías: vulnerabilidad alta, media y baja, representados en el Mapa de Vulnerabilidad (Figura 10).

Vulnerabilidad Alta: Las zonas de alta vulnerabilidad incluyen las instalaciones correspondientes a los grupos 1 y 2 mencionados precedentemente, para los cuales se prevén altos niveles de destrucción si se desencadenaran flujos de similares características que los descriptos para los Flujos Rucu Leufú.

Vulnerabilidad Media: Las áreas de vulnerabilidad media engloban los grupos 3 y 4 de elementos bajo riesgo. Los elementos del grupo 3 se verían afectados por la ocurrencia de un tsunami y los del grupo 4, presentan baja densidad de tránsito aun en épocas estivales y se verían afectados por la acción directa del desenlace de flujos.

Vulnerabilidad Baja: Básicamente se distinguen zonas donde la vulnerabilidad es baja en áreas despobladas y donde la ocurrencia de flujos no alcanzaría las instalaciones.

Evaluación del riesgo

El cálculo del riesgo específico, definido como el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad, se ha obtenido a partir de la multiplicación de los valores de peligrosidad y de vulnerabilidad, dando como resultado 4 grados de riesgo: muy alto, alto, medio y bajo, representados en el Mapa de Riesgo (Figura 11 y Tabla 3).

Riesgo Muy Alto: Las áreas de riesgo muy alto corresponden a las zonas donde la peligrosidad es muy alta y la vulnerabilidad alta para los elementos bajo riesgo (grupos 1 y 2). Se ubican hacia la desembocadura del arroyo Rucu Leufú sobre la margen norte del lago Huechulafquen, y sobre el río Turbio hacia la margen norte del lago Tromen.

Riesgo Alto: Se encuentra una zona de riesgo alto donde los valores de peligrosidad y la vulnerabilidad son altos para algunos elementos bajo riesgo correspondientes al grupo 2. Se ubica en sectores acotados de la margen norte del lago Paimún.

Riesgo Medio: Las zonas de riesgo medio se ubican sobre las laderas norte y sur-este del volcán Lanín y sobre la margen norte del lago Huechulafquen, en dichas áreas se cruzan peligrosidades altas con vulnerabilidades medias y peligrosidades medias con vulnerabilidades altas.

Riesgo Bajo: En cuanto al riesgo bajo, se da e las demás zonas donde la vulnerabilidad es baja, independientemente de la peligrosidad.

Tabla 1. Elementos bajo riesgo agrupados.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Elementos bajo riesgo	Ladera Norte Vn. Lanín y Valle del Río Malleo Gendarmería Aduana Parques Nacionales Zona de campamento Paso internacional RP N°60	Ladera Sur Vn. Lanín Parques Nacionales Oficina de informes Puerto, Bar y los sanitarios Iglesia Escuela RP N° 61	Margen Norte L. Huechulafquen y Paimún Zonas de campamento Viviendas	Vn. Lanín Senderos de ascenso al volcán Lanín.

Tabla 2. Potencial afección de los distintos grupos ante el desarrollo de Flujos.

Vulnerabilidad \ Elementos Bajo Riesgo	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Alta	X	X		
Media			X	X
Baja	Zonas despobladas sin afección ante el desarrollo de Flujos			

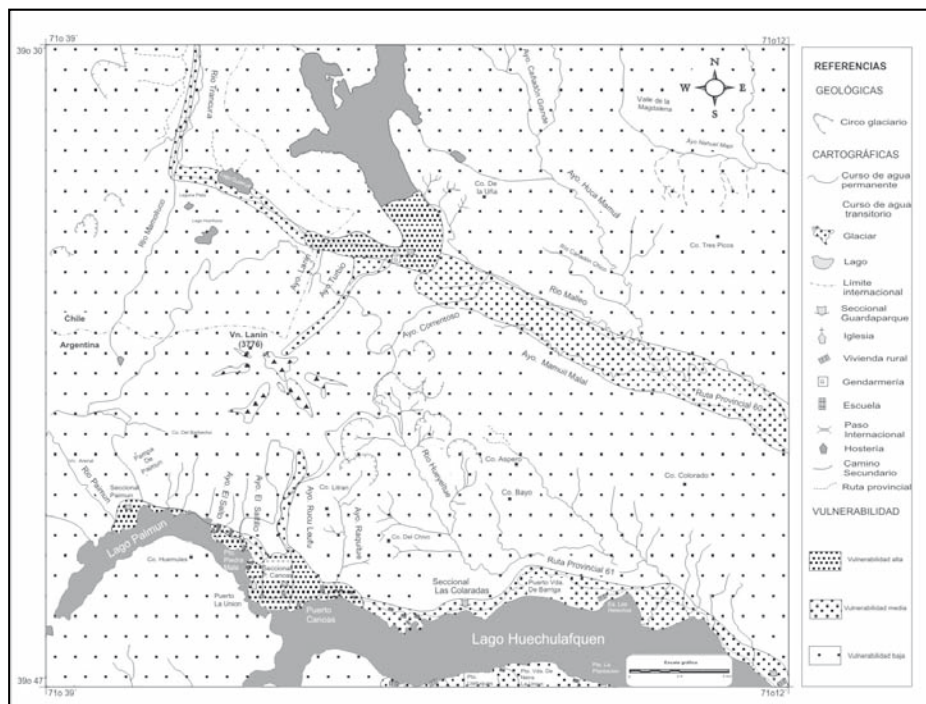


Figura 10. Mapa de vulnerabilidad.

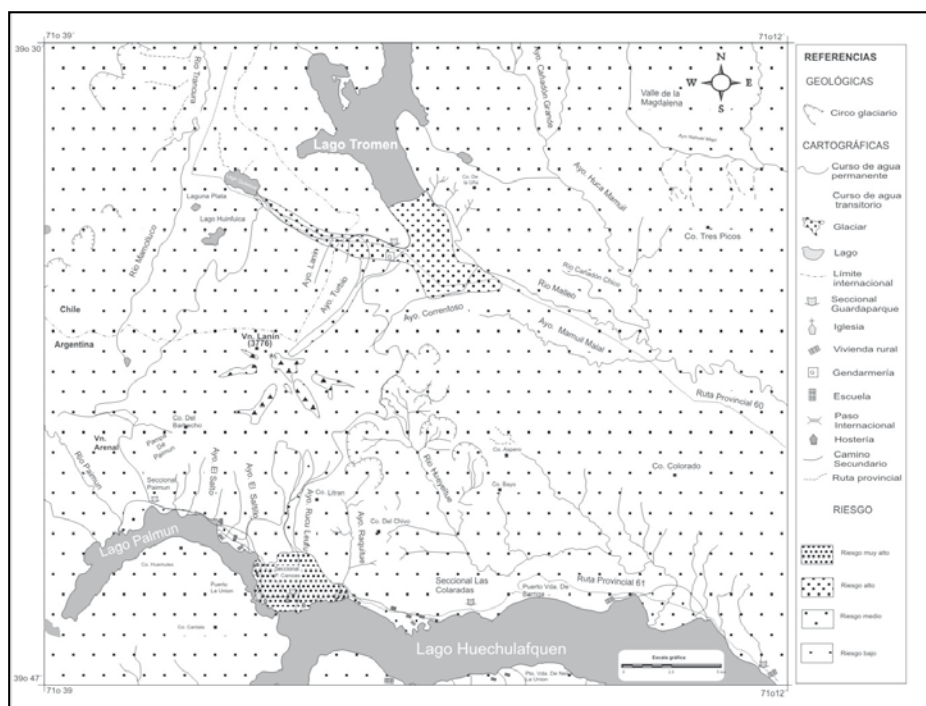


Figura 11. Mapa de riesgo.

Tabla 3. Matriz de valoración del riesgo. La intensidad del gris indica el grado de riesgo: gris oscuro riesgo muy alto a blanco riesgo bajo.

Peligrosidad \ Vulnerabilidad	Alta	Media	Baja
Muy alta	Grupos 1 y 2	Grupo 4	Zonas despobladas y sin infraestructura
Alta	Grupo 2	Grupo 3	
Media	Grupos 1 y 2	Grupo 3	
Baja	Grupo 1 y 2	Grupo 3	

Se ha mencionado previamente que la medición del riesgo es de carácter cualitativo, ya que el trabajo posee una base geológica y no se presentan estimaciones económicas de las pérdidas asociadas a los eventos peligrosos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como hemos visto a lo largo del presente trabajo, el desarrollo de flujos rápidos se ve favorecido, en el área de estudio, por la inclinación de las pendientes, las diferencias altimétricas en espacios reducidos, el material morénico permeable e incoherente y el volcánico, las precipitaciones, la ablación glaciaría y, en menor medida, los probables eventos eruptivos y sísmicos.

Los flujos rápidos tienden a encauzarse por los valles fluviales, razón por la cual las áreas peligrosas de mayor importancia son, hacia el norte, los cauces de los arroyos Lanín, Turbio y Correntoso y hacia el sur El Saltillo, El Salto, Rucu Leufú y Hueyeltué. La presencia de depósitos correspondientes a diversos eventos de flujos rápidos sobre el arroyo Rucu Leufú, el Hueyeltué y el Turbio, indican la preexistencia de este tipo de movimiento de remoción en masa y se propone dar especial atención en dicha zona.

La vulnerabilidad relacionada con la actividad antrópica, tanto de obras de infraestructura como de poblaciones humanas,

y la amenaza respecto de flujos rápidos, indica una situación desfavorable tanto en la ladera sur, como en la ladera norte del volcán Lanín.

El riesgo asociado a la peligrosidad y a la vulnerabilidad previamente mencionados, nos induce a proponer la relocalización de las obras de infraestructura ubicadas sobre el valle de arroyo Rucu Leufú, más específicamente, las dos cabañas de Guarda parques, El Centro de Informes, el muelle, el comedor, los sanitarios y los campamentos. El análisis realizado permite definir como áreas adecuadas para la reubicación mencionada: el sector comprendido entre la Seccional Las Coloradas y el inicio del Abanico del Ayo Raquitué, atendiendo a un traslado bajo.

Para el sendero de ascenso al volcán Lanín por la ladera sur se recomienda restringir el acceso durante épocas de elevadas precipitaciones incluyendo el período de inicio de deshielos.

Asimismo, la información obtenida permite evaluar la localización acertada de futuras estructuras.

Por otro lado, se sugiere poner en marcha la elaboración de planes de contingencia respecto de la probable interrupción de las rutas, fundamentalmente hacia el norte donde la ruta nacional 60 se dirige hacia el paso internacional Mamuil Malal (ex Tromen).

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CEMBRANO, J. Y A. LAVENU, 1997.
Coeval Transpressional and Trantensional magmatic arc tectonic in the Southern Andes.
Actas 8º Congreso Geológico Chileno Volumen III: 1613-1616. Antofagasta.
- CHACÓN J., IRIGARAY C. Y T. FERNÁNDEZ, 1994.
Large to middle scale landslides inventory, analysis and mapping with modelling and assessment of derived susceptibility, hazards and risks in a GIS.
7th International IAEG Congress. Ed. Balkema (Rotterdam). Vol. VI, 4669-4678. Lisboa.
- CORBELLA, H. Y M. S. ALONSO, 1989.
Post-glacial hydroclastic and pyroclastic deposits in the Lanín National Park. North-Patagonian Cordillera, Neuquén.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 44 (1-4): 127-132. Buenos Aires.
- COROMINAS, J., 1987.
Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera.
En: IGME (1987) Riesgos Geológicos, 193-201.
- CRUDEN, D.M. Y D.J. VARNES, 1996.
Landslides types and processes.
En: Landslides. Investigation and mitigation. Special Rep. 247. Transportation research Board, US National Council., Turner and Schuster Eds, 36-75 pp. Washington.
- FOLGUERA, A. Y V.A. RAMOS, 2000.
Control estructural del volcán Copahue (38°S-71°O): implicancias tectónicas para el arco volcánico cuaternario (36°-39°S).
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 55 (3): 229-244. Buenos Aires.
- FOLGUERA, A., RAMOS, V.A. Y D. MELNICK, 2002.
Partición de la deformación en la zona del arco volcánico de la cordillera neuquina en los últimos 30 millones de años (36°-39°S).
Revista Geológica de Chile, 29 (2): 227-240. Santiago.
- GONZÁLES DE VALLEJO, L. I., FERRER, M., ORTUÑO, L., OTEO, C., 2002.
Ingeniería Geológica.
En: Prevención de Riesgos Geológicos. Ferrer, M. Pearson educación, 607-613 pp. Madrid.
- HALLER, M.J., 1981.
Estructura y mineralización en la Cordillera Patagónica.
Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, 125 pp.
- HERVÉ, M., 1976.
Estudio geológico de la falla de de Liquiñe-Reloncaví en el área de Liquiñe.
Antecedentes de un movimiento transcurrente. 1º Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 1339-1356. Santiago.

- LARA, L., 2003.
Análisis cuantitativo del peligros volcánicos: una aplicación en lahares del volcán Lanín (39°S), Andes del Sur.
Congreso Geológico Chileno.
- LARA, L., 2004.
Geología del Volcán Lanín, Región de la Araucanía.
Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica. Mapa escala 1:50000. 87 : 18. Santiago.
- LARA, L., NARANJO, J. Y H. MORENO, 2004.
Lanín volcano (39.5°S), Southern Andes: geology and morphostructural evolution.
Revista Geológica de Chile, 31 (2): 241-257. Santiago.
- LARA, L. Y H. MORENO, 2004.
Geología del área Liquiñe-Neltume. Servicio Nacional de Geología y Minería,
Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica. Mapa escala 1:50000. 83. Santiago.
- LARA, L.E., RODRIGUEZ, C., MORENO, H. Y C. PÉREZ DE ARCE, 2001.
Geocronología K-Ar y geoquímica del volcanismo plioceno superior- pleistoceno de los Andes del Sur (39°-42° Sur).
Revista Geológica de Chile, 28 (1): 67-90. Santiago.
- LAVENU, A., CEMBRANO, J., ARANCIBIA, G., DERUELLE, B., LÓPEZ ESCOBAR, L. Y H. MORENO, 1997.
Neotectónica tranpresiva dextral y volcanismo, falla Liquiñe Ofqui, sur de Chile.
Actas 8º Congreso Geológico Chileno, 1: 129-133. Concepción.
- LÓPEZ, L., CEMBRANO, J. Y H. MORENO, 1995.
Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes basaltic quaternary volcanism (37°-46°S).
Revista Geológica de Chile, Vol. 22, No. 2: 219-234. Santiago.
- MANCINO, C., 2007.
Geomorfología y peligros geológicos en las márgenes del Lago Huchulafquen, Paimún y Epulafquen,
Parque Nacional Lanín, Provincia de Neuquén.
Trabajo final de Licenciatura. Universidad de Buenos Aires (inédito). Buenos Aires.
- RABASSA, J., EVENSON, E., CLINCH, J., SCLIEDER, G., ZEITLER, P. Y G. STEPHENS, 1990.
Geología del cuaternario del valle del río Malleo, Provincia del Neuquén.
En Revista de la Asociación Geológica Argentina, 45 (1-2): 55-68. Buenos Aires.
- SALMINCI, J.G., 2007.
Flujos Rápidos y Peligro Geológico: Estudio del Volcán Lanín.
Trabajo Final de Licenciatura. Universidad de Buenos Aires (inédito). Buenos Aires.
- TURNER, J.C.M., 1973.
Junín de los Andes, Provincia de Neuquén.
Carta Geológica de Argentina 37 a, b, escala 1:200.000. Boletín de la Dirección Nacional de Geología y Minería. 138. Buenos Aires.
- UNDRO, 1979.
Natural Disasters and Vulnerability Analysis,
Report of Experts Group Meeting, Geneva.