

## APORTE MODERNO DE MASA Y SU IMPLICANCIA EN LA DEFINICIÓN DE NIVELES DE RIESGO NATURAL\*

MODERN CONTRIBUTION OF VOLUME AND ITS IMPLICATION  
IN THE DEFINITION OF LEVELS OF NATURAL RISK

CARMEN PAZ CASTRO CORREA\*\*  
MARIA VICTORIA SOTO BÄUERLE  
CAROLINA CHAVEZ  
Universidad de Chile

**RESUMEN:** Esta investigación se centra en la necesidad de evaluar el trazado propuesto del Corredor Internacional de Comercio Las Leñas en términos de su vulnerabilidad a amenazas naturales, con el fin de aportar a la mitigación de potenciales situaciones de riesgo que puedan afectar el funcionamiento de esta obra vial internacional. En este contexto, el estudio geomorfológico junto al mapeamiento de formas de alta dinámica actual, y su evaluación en términos de aporte de masa al fondo de los valles, permite conocer la localización y magnitud de estos fenómenos, situación que es reflejada en el mapa de niveles de amenaza, cuya superposición con el trazado en estudio permite configurar los escenarios de riesgo. La alta energía del ambiente de montaña favorece la generación y aporte de sedimentos mediante procesos de remoción en masa los que, activados por precipitaciones intensas, por la acción del sistema periglacial o por actividad sísmica, pueden generar eventos catastróficos, definiendo un ambiente muy inestable. La dominancia de estructuras volcánicas fuertemente plegadas y expuestas, genera laderas con una gran disponibilidad de detritos, que incide en un alto potencial de procesos de difusión de sedimentos desde las vertientes. Se establece que las diferencias en términos de la forma y dinámica de los depósitos basales, tanto de alta como de media montaña, se asocian fundamentalmente con diferencias en la morfoestructura y litología, así como con las condiciones del piso altitudinal y las topoclimáticas.

**PALABRAS CLAVES:** Amenazas naturales, dinámica de los sistemas de vertientes, formas basales, fuentes detríticas.

**ABSTRACT:** The meaning of this research is to evaluate the existence of natural hazards vulnerability of the proposed location of Las Leñas Trading International Corridor, in order to contribute to mitigate potential risk situations that could affect the international road functioning. Into the local scenery,

\* Proyecto DI TNAC 11-02/01

\*\* Las tres investigadoras pertenecen al Departamento de Geografía

[cpcastro@uchile.cl](mailto:cpcastro@uchile.cl)

[mvsoto@uchile.cl](mailto:mvsoto@uchile.cl)

geomorphologic investigations joint to actual high dynamic morphological processes mapping, and his valley floor sediments contribution, makes possible to know phenomenal localization and the magnitude that they can reach. This situation can be reflected in a hazard levels chart whose overlay with the road buffer makes possible to define potential risks. The high energy of the mountain environment favors the mass removal, like detritic flows, principally activated by intense rains, by periglacial processes and/or by seismic activity. Those mechanisms generally lead to catastrophic events, determining a very instable environment. The dominance of exposed and highly folded volcanic structures, that means high detritic slopes, determines a high potentiality to mass diffusion from the slopes. Differences are established in terms of basal deposits morphology and dynamic in the high as in the middle mountain. Those are associated, fundamentally, to differences in the morphostructure and lithology, so as in altitudinal steps and topoclimatological conditions.

KEYWORDS: Natural hazards, dynamics of slopes systems, slope basal forms, detritic founts

## **Introducción**

En el escenario de globalización de las economías y de apertura del comercio mundial, en que se encuentra Chile, la habilitación de rutas de comercio internacional que atraviesen la Cordillera de los Andes es un aspecto fundamental para la difusión del crecimiento económico a través del incremento del intercambio entre puntos nodales. El funcionamiento seguro y permanente de tales rutas internacionales implica la elaboración de diagnósticos que permitan identificar las vulnerabilidades y el impacto de los fenómenos naturales que ocurren periódicamente en estos sectores montañosos.

El caso de estudio, el corredor Las Leñas en la VI Región ha sido seleccionado por las autoridades de Chile y Argentina para ser habilitado como vía complementaria al Sistema Cristo Redentor, de allí la importancia de conocer las vulnerabilidades físicas de este territorio de montaña.

Esta presentación se centra en el análisis del ambiente de montaña, paisaje de gran dinamismo en relación a los procesos geomorfológicos, que pueden incidir en eventos de riesgo para el funcionamiento de un corredor de comercio.

La consideración de diferentes secciones de montaña en función a las condiciones ambientales a través de las variaciones de vegetación y pendiente, se incorporan como un elemento de sistematización del análisis, que junto a las condiciones morfoestructurales y tectónicas conforman territorios diferenciados en cuanto a las formas presentes, su condición dinámica actual y consecuentemente, los niveles de riesgos naturales, que se expresan fundamentalmente a través del aporte de masa desde las vertientes a los fondos de valle.

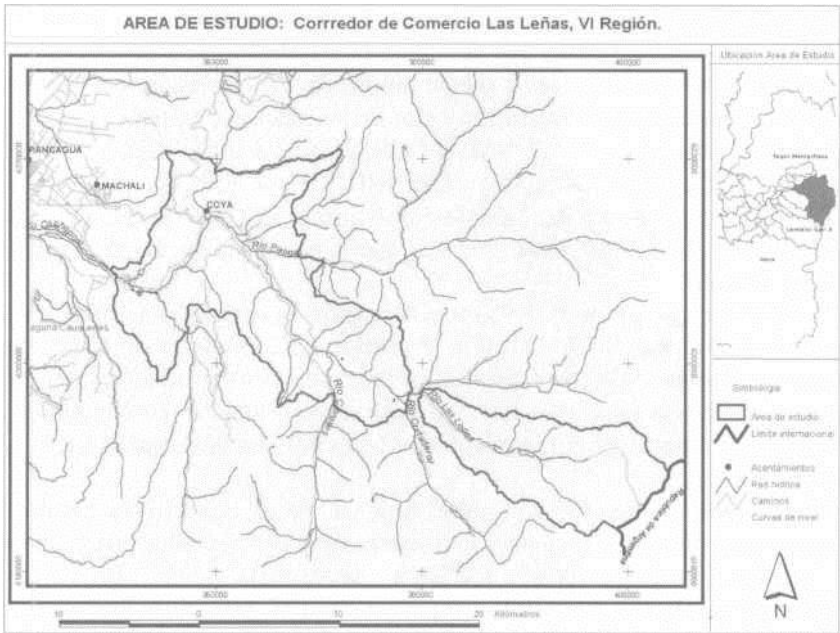
## **Área de estudio**

Corresponde a la cuenca alta del río Cachapoal y su afluente Las Leñas, localizada a los 34°22' - 34°30' Lat. S y 70°15' - 70°00' Long. W. Esta zona comprende además, las

cuencas tributarias de los ríos Pangal, Cortaderal y Las Leñas, esta última corresponde al sector proyectado para el último tramo del corredor de comercio (Fig. 1).

El ambiente de montaña, donde los procesos geomorfológicos operan con mayor rapidez e intensidad que en otras regiones, son considerados relieves de alta energía. En estas zonas, los factores climáticos, topográficos y tectónicos intensifican la actividad geomorfológica, incrementando el aporte de sedimentos (GARCÍA-RUIZ, 1990).

No existen centros poblados en el área, tratándose sólo de propiedades privadas en el flanco norte y del Parque Nacional Cipreses, en el flanco sur del valle.



**Fig. 1:** Área de Estudio. Valle del río Cachapoal y valle de Las Leñas, tributario alto andino.

## **Objetivos**

Analizar el aporte de masa desde las vertientes, y su implicancia en términos de riesgos naturales en las zonas de media y alta montaña del río Cachapoal, en función de la posible implementación de un corredor internacional.

## **Metodología**

Se realizó un análisis geomorfológico de los sistemas de vertientes y sus formas de base correlativas, aplicando la clasificación de vertientes de ARAYA- VERGARA (1985, 1988, 1996). Este análisis fue realizado en base a foteointerpretación de fotografías aéreas vuelo GEOTEC 1996, escala 1: 50. 000 y mapeamiento de terreno.

Se estudiaron las formas de base comparando las asociadas a sistemas de vertientes de alta montaña con los de media montaña. Para definir el límite entre ambas unidades se consideraron diferentes criterios, entre ellos los planteamientos de TROLL (1972) en GARCÍA-RUIZ (1990) referidos a la definición del nivel inferior del modelado periglacial activo, es decir, la frecuente presencia de procesos y formas vinculados a la acción del hielo en el suelo, y por otra parte, la definición del *timberline* superior (límite superior del bosque), que define bien el nivel inferior de la denudación crionival activa.

Este último criterio es utilizable para el área de estudio en la medida que se trata de montañas poco afectadas por acciones antrópicas, que manifiestan generalmente un descenso del *timberline* (GARCÍA-RUIZ *et al*, 1990). No obstante, debe considerarse que el ambiente estudiado corresponde a un relieve de montaña con un fuerte plegamiento, cuya dinámica actual responde en gran medida a las características morfoestructurales y tectónicas imperantes, aspectos estudiados por CORVALÁN (1959), KLOHN (1969), VICENTE *et al*, (1973), CHARRIER (1983) y CHARRIER *et al*, (1997).

En relación a la determinación de dicho límite, KOTARBA *et al* (1987) en GARCÍA-RUIZ (1990), distingue tres claros niveles entre las altas montañas del mundo:

- a) el cinturón nival, con innivación prolongada, persistencia de manchas de nieve durante todo el año, presencia ocasional de glaciares de circo, pendientes próximas a la vertical, predominio de áreas muy productoras de sedimentos (cabeceras de avalanchas) y divisorias muy agudas. La vegetación es extraordinariamente dispersa, adaptada a las extremas condiciones climáticas y geomorfológicas.
- b) El cinturón subnival alpino, dividido a su vez en dos nuevos niveles, el superior con derrubios, vegetación dispersa y pionera y suelos estructurales, y el inferior, con pasto denso y soliflucción controlada.
- c) El nivel subalpino, cuyo límite superior coincide con el *tree line* superior.

Por debajo se iniciaría el nivel montano o forestal, que alcanza su límite más alto en el *timberline*. En consecuencia, se ha considerado al papel del hielo como el principal agente morfogénico, como criterio fundamental para delimitar ambas secciones cordilleranas, que en combinación con la vegetación, determinan el comienzo de la alta montaña (GARCÍA-RUIZ *et al*, 1990).

En consecuencia, los criterios para establecer los límites entre alta y media montaña para el área de estudio fueron los siguientes:

- a) Línea de vegetación, obtenida mediante el indicador NDVI, (Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación), que indica las superficies con vegetación. Se utilizaron fotografías satelitales, imagen Landsat de 1999.
- b) Geomorfología, a través de la identificación de la acción glacial en el valle, reconociendo aquellas formas características, como circos y remanentes morrénicos.

c) Rangos de pendiente, según umbral morfodinámico de procesos/pendiente de la clasificación de ARAYA-VERGARA y BORGEL (1972), YOUNG (1975), FERRANDO (1993) en MESINA (2003).

d) Morfotectónica y estructura, considerando el paso de un ambiente dominado por formaciones poco plegadas a otro con máximo plegamiento, tectonismo y presencia de intrusivos. Hay actividad sísmica registrada por COMTE *et al.* (2003).

Consecuentemente, la determinación de la morfotectónica y la morfoestructura se realizó basándose en los trabajos de CORVALÁN (1959), KLOHN (1969), VICENTE *et al.* (1973), CHARRIER (1983) y CHARRIER *et al.* (1997).

El aporte de masa desde las vertientes se determinó analizando las formas de base y los procesos dinámicos actuales, según lo aplicado en MORALES (1988), MESINA *et al.* (2001), CASTRO *et al.* (2002), SOTO y CASTRO (2003). En este aspecto se consideró además la acción de la disección y del retrabajamiento paraglacial (BALLANTYNE, 2002).

## **ANTECEDENTES**

### **Morfoestructura y Morfotectónica**

El ambiente morfoestructural del área de estudio corresponde a una cordillera plegada, fuertemente tectonizada, y con componente intrusiva (Fig. 2). En la componente de cordillera plegada, de la sección de alta montaña del valle de Las Leñas, destacan las rocas de formación Río Damas, como un complejo de sedimentos clásticos, depositados esencialmente en un ambiente terrestre subaéreo y lagunar, con intercalaciones de potentes series de rocas volcánicas, efusivas y piroclásticas (CHARRIER, 1983).

En este valle se presenta la formación Leñas-Espinoza, de ocurrencia muy local, que corresponde a una secuencia de sedimentos marinos, integrada por una serie transgresiva de rocas clásticas y una serie de estratos calcáreos fosilíferos sobrepuestos (KLOHN, 1960), con sedimentos marinos del Titoniano, compuestos por calizas compactas, areniscas calcáreas finas y algunas intercalaciones de lutitas fosilíferas (CORVALÁN, 1959). De acuerdo a los antecedentes de CHARRIER, 1983, corresponde a la sección más plegada y tectonizada del área de estudio.

La formación Coya-Machalí (Cretácico superior - Terciario inferior), se presenta tanto en Las Leñas como en la sección más baja de la cuenca del río Cachapoal. Corresponde a una secuencia espesa fundamentalmente volcánica. Los estratos de esta formación, están intensamente plegados (KLOHN, 1960; CHARRIER, 1983).

En la sección correspondiente a la media montaña, predomina la formación Farellones (Mioceno superior), de depósitos volcánicos continentales de rocas principalmente andesíticas de carácter calco-alcalino, escasamente plegadas. Las capas más altas y expuestas de esta formación, forman el actual límite superior de la erosión. Esta formación se presenta en el sector de media montaña, en la zona de

río Cipreses (CHARRIER, 1983).

La componente intrusiva representa un 5% de la superficie estudiada. El cuerpo mayor corresponde al batolito Universidad y supera los 150 km<sup>2</sup>; se trata de cuerpos relativamente pequeños y aislados correspondiente a stocks, apófisis, diques y filones. (CHARRIER, 1983).

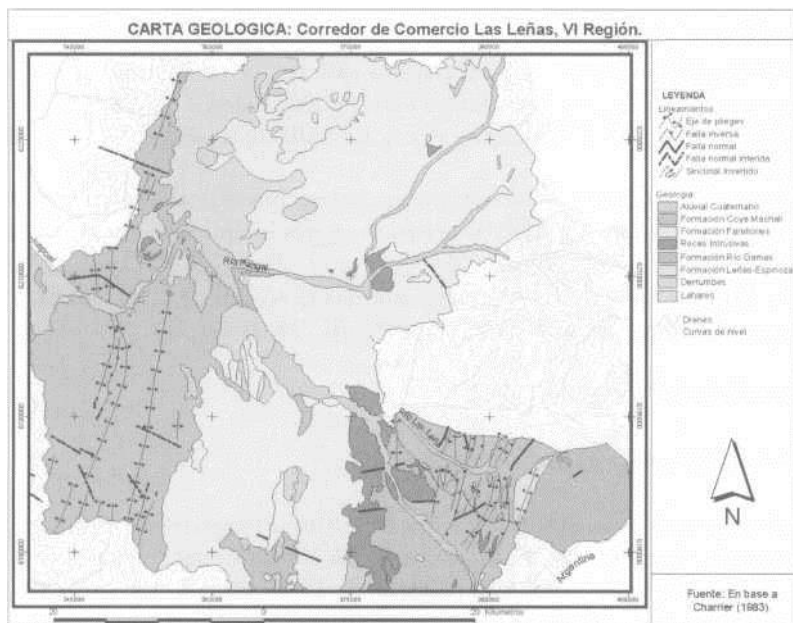


Fig. 2. Dominio morfotectónico y estructural. Principales unidades geológicas del área de estudio.

## RESULTADOS

### Delimitación del ambiente de Alta y Media Montaña

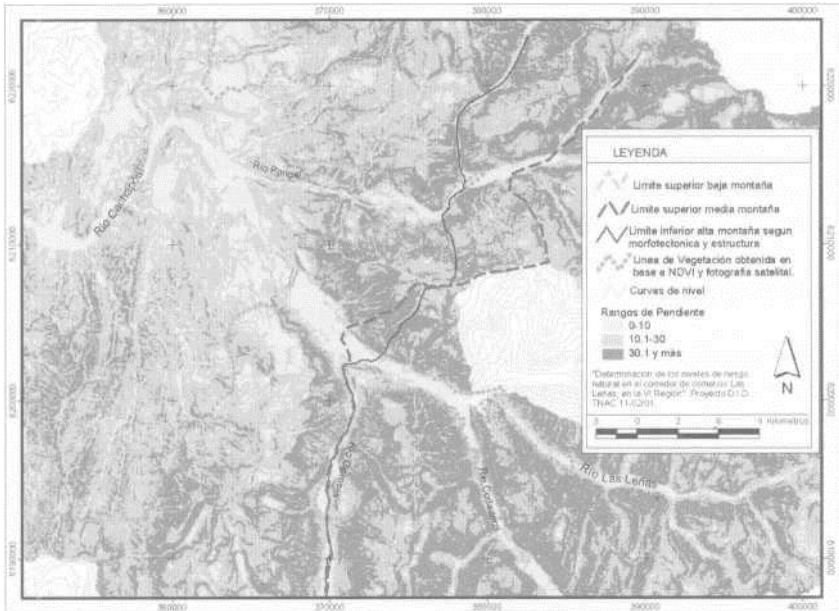
Según los criterios señalados en la metodología, se determinaron los límites de media y alta montaña que se indican en la Fig. 3. Desde el punto de vista altitudinal, el límite entre media y alta montaña coincide aproximadamente con una altitud de 1. 800 m. s. n. m. Se estableció además, una división entre dos secciones de media montaña debido a las diferencias de pendientes y de la cobertura y tipo vegetacional, de arbórea a arbustiva, que se observa a una altitud aproximada de 800 m. s. n. m.

Sin embargo, el criterio de altura y de vegetación no dan cuenta de la conformación de pisos y ambientes diferentes, ya que la distribución y concentración de vegetación se relaciona a la cota de los fondos de valle. En este sentido, la consideración de aspectos morfológicos más allá del nivel altimétrico, expresa mejor la conformación de paisajes diferentes, que en el caso de estudio se ha expresado a través del límite inferior de vestigios de acción glacial en el valle. El estado actual de las formas de base ha contribuido también en la delimitación.

En consecuencia, el límite superior de media montaña fue establecido considerando la existencia de vegetación, rangos de pendiente, entre  $10^\circ$  y  $20^\circ$ , la altitud y la presencia de formas vestigios de ambientes glaciares, tales como remanentes morrénicos. La morfoestructura se incluyó diferenciando ambientes según plegamiento y tectonismo.

Al analizar la distribución espacial de los criterios empleados, resulta importante destacar la superposición de los límites vegetacionales, el ambiente morfoestructural y tectónico y la zona morfológica de influencia glacial en el valle del río Cipreses, estableciéndose ese lineamiento como el límite entre el piso de alta y media montaña en esa parte del valle. En la ribera norte del valle del Cachapoal, si bien no hay superposición, hay una marcada orientación de las líneas correspondientes a los criterios de morfología, morfotectónica y también de vegetación.

Para el límite superior de baja montaña se utilizaron los mismos criterios, distinguiendo la vegetación de tipo arbóreo, la disminución altimétrica y de pendiente. La morfoestructura, que si bien corresponde a un nivel de alto plegamiento y tectonismo, es enmascarada por la cobertura vegetal.



**Fig. 3.** Límites del ambiente de media y alta montaña según criterios altitudinales, pendiente, vegetación y ambiente morfoestructural y tectónico.

## **Relación vertiente /aporte de masa en ambiente de Alta Montaña**

### ***Sistemas de vertiente***

BARSCH & CAINE (1984) señalan que las altas montañas se caracterizan por la extraordinaria complejidad de sus estructuras geológicas, por la actividad tectónica

durante el Cuaternario y por las altas tasas de erosión, relacionadas con la energía del relieve y con una intensa dinámica geomorfológica de tipo crionival.

En Las Leñas, la cabecera de la cuenca se caracteriza porque sus sistemas de vertientes están coronados por circos, con pendientes muy escarpadas a las que se correlacionan importantes depósitos de génesis postglacial. Este tipo de vertientes predomina en el flanco de valle sur, donde se localizan las rocas sedimentarias continentales estratificadas y plegadas.

Las *vertientes discordantes*, que exponen sus estratos transversalmente al buzamiento de las capas en el monoclinal, se observan exclusivamente en la alta montaña y presentan los mayores rasgos de plegamiento de esta sección de la cuenca. A esta condición de intensa rugosidad se asocian depósitos basales que dan cuenta del alto grado de meteorización y detritificación, conformando potentes depósitos de taludes de avalanchas.

Sin embargo, según el sistema de clasificación utilizado, los sistemas de vertientes que dominan en alta montaña son los clasificados como *inversas*, que exponen sus estratos en una pendiente inversa a la inclinación de estos, caracterizadas por vertientes rugosas con peldaños y depósitos basales de talud. El otro flanco de estas vertientes corresponde a las *conformes*, que presentan una rugosidad relativa menor, dado que la vertiente se desarrolla en la misma dirección que los estratos rocosos (ARAYA-VERGARA, 1985).

Por último, las vertientes *hogback*, modeladas en rocas de gran plegamiento, generan también importantes aportes de detritos en función a la exposición de los estratos rocosos a la acción de la meteorización (Formación Leñas-Espinoza y Coya-Machalí).

### **Formas Basales**

Responden a las condiciones post glaciales en ambiente periglacial de montaña, siendo relevante también reconocer aquellos grupos de formas heredadas de la última glaciación del Cuaternario, documentadas por VARELA (1986). Los depósitos de alta montaña son los que presentan los sistemas de conos coluviales más potentes, inconsolidados y dinámicos de todo el valle. Se puede señalar que a partir de una altura aproximada a los 2. 400 m. s. n. m. el paisaje es netamente periglacial (Fig. 4).

Bajo esa altitud, los taludes característicos son muy elevados y escarpados, pero se encuentran estabilizados estacionalmente por una cubierta vegetal homogénea de hierbas bajas.

Los depósitos de soliflucción identificados corresponden a formas con una posición bien definida y puntual en el área de estudio, localizándose sólo en las vertientes de rumbo SW de una cuenca tributaria de la sección alta del valle. Este tipo de formas se desarrolla en la base de vertientes conformes de estructuras plegadas de origen sedimentario continental, en un paisaje local con menor rugosidad relativa. Esto coincide con lo señalado por ARNAEZ & GARCÍA-RUIZ (2000), acerca de la localización de la soliflucción en el Sistema Ibérico Noroccidental, en laderas de suave pendiente



y suelos profundos con gran capacidad de absorción de agua. Estos autores indican que la solifluxión está relacionada con los procesos de fusión de la nieve y la consiguiente saturación del suelo, dando como resultado pequeños lóbulos métricos que se superponen unos a otros.

En el sector de la laguna El Yeso, es posible encontrar potentes taludes ligados a la acción de la gravedad, que se encuentran totalmente desprovistos de vegetación y son correlativos a los potentes estratos rocosos de las vertientes discordantes.

Aguas abajo de la laguna, los depósitos asociados a vertientes conformes y de *hogback*, presentan un perfil cóncavo y una pendiente menor que en la parte alta de la cuenca, caracterizándose principalmente por un cierto grado de estabilización asociado a una cobertura de matorral esclerófilo abierto, que varía según la altura del valle a una cubierta de hierbas bajas. Estos depósitos son retrabajados por flujos torrenciales estacionales.

Los *conos coluviales* representan las formas depositacionales más características de la dinámica actual del paisaje de montaña del área de estudio. Son depósitos modernos, que responden tanto a procesos gravitacionales puros como a avalanchas.

### **Relación vertiente /aporte de masa en ambiente de media montaña**

Cerca de la confluencia de los ríos Cortaderal y Las Leñas, se encuentra la formación de rocas intrusivas granodioríticas, cuyos sistemas de vertientes son muy escarpados y de fuerte pendiente, con aspecto rugoso y asociados a una alta detritificación. No poseen cobertura de suelo ni de vegetación.

Los sistemas asociados a la formación Farellones corresponden principalmente a vertientes de estructura concordante modeladas en rocas volcánicas principalmente andesíticas. Según la terminología de ARAYA-VERGARA (1985, 1996) han sido definidas como vertientes *de plateau*, donde las partes culminantes, de topografía suavemente ondulada se presentan como superficies residuales de erosión.

Por otra parte, se observan al igual que en la alta montaña, vertientes modeladas en estructuras monoclinales que a diferencia de éstas, presentan cobertura de suelo y de vegetación, donde los estratos sólo afloran en las partes culminantes. Por esta razón presentan un dinamismo menor que en alta montaña.

### ***Formas de Base***

Los conos coluviales se mantienen como las formas de mayor expresión territorial de la sección y corresponden a depósitos modernos de laderas, sin embargo, los conos aluviales de las cuencas tributarias locales son cada vez más relevantes (Fig. 4).

En la media montaña, los depósitos más potentes, inconsolidados y activos, muy similares a los del periglacial, son los conos de gravedad correlativos a las vertientes expuestas del intrusivo granodiorítico.

En el sector de la confluencia del río Cachapoal y Cipreses, los taludes están estabilizados por la vegetación, no obstante incididos localmente por flujos de detritos de carácter estacional. A medida que se desciende en el piso, el nivel de disección es cada vez menos expresivo, siendo de esta manera concordante con las condiciones de estabilidad propias de la media montaña. La estructura es sin embargo un factor determinante.

En este sector se observa una amplia terraza aluvial con conos aluviales torrenciales sobreimpuestos. Estos conos provienen de cuencas tributarias al Cachapoal, que tienen un claro carácter torrencial estacional y alto potencial de carga.

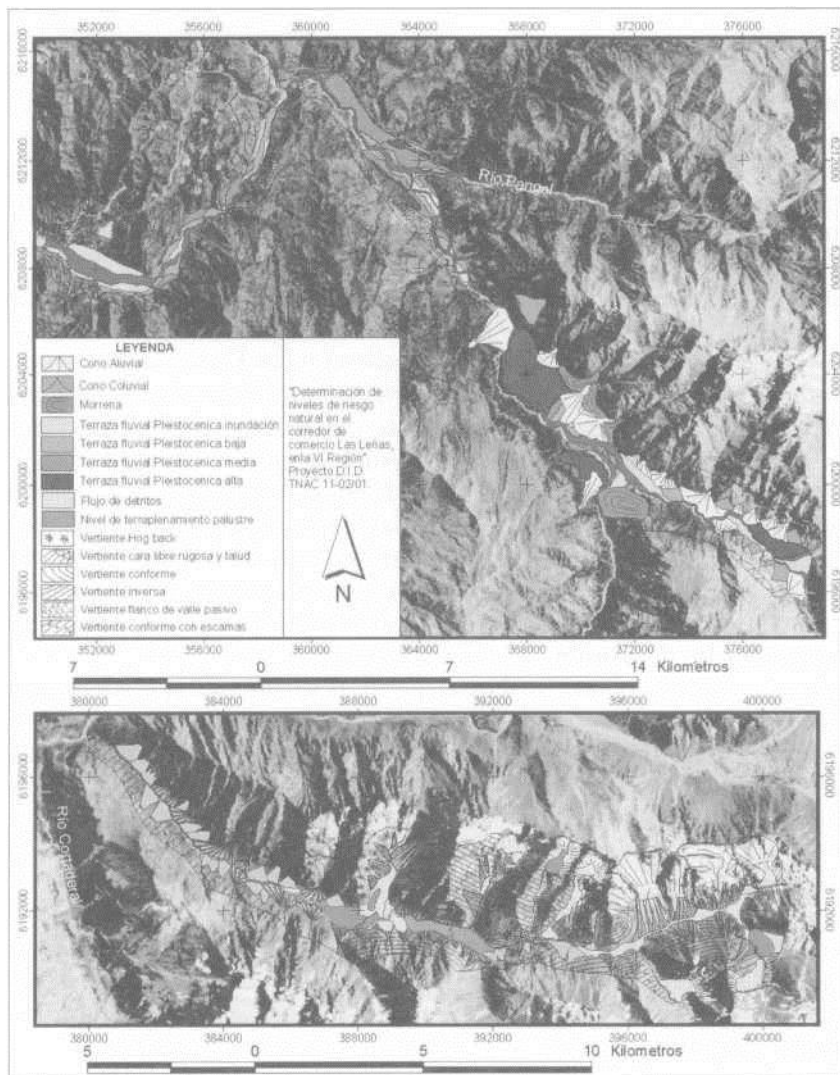


Fig. 4. Sistemas de vertientes y formas basales correlativas, en ambiente de alta y media montaña del río Las Leñas-Cachapoal.

## Niveles de riesgo asociado

Con los resultados obtenidos se determinaron niveles de riesgos de aporte de material desde las vertientes a los fondos de valle, en función de la intensidad actual de los procesos geomorfológicos, como se presenta a continuación, en una adaptación de DE MARCOS (2000):

Ámbito Geomorfológico		Proceso	Forma Asociada	Intensidad Actual
<b>ALTA MONTANA</b>				
Circos	Paredes	Gelifracción	Caras libres y conos	Alta
	Taludes y conos	Nivación Movimientos en masa	Reordenación de bloques Coladas de derrubios	Alta Alta
Vertientes conformes	Cornisas discontinuas	Soliflucción	Lóbulos de soliflucción	Moderada/alta
Vertientes inversas	Conos y taludes	Movimientos en masa	Reordenación de bloques Coladas de derrubios	Alta
Vertientes discordantes	Conos y taludes	Movimientos en masa	Reordenación de bloques Coladas de derrubios	Alta
Vertientes <i>hogback</i> con cubierta vegetal estacional	Conos y taludes	Movimientos en masa	Reordenación de bloques Coladas de derrubios	Moderada
Vertientes <i>hogback</i> sin cubierta vegetal estacional	Conos y taludes	Movimientos en masa	Reordenación de bloques Coladas de derrubios	Alta

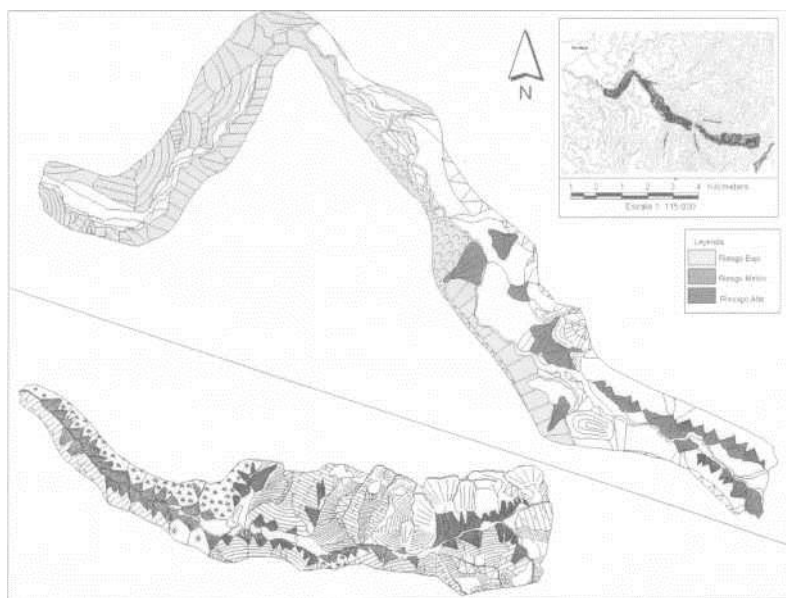
<b>MEDIA MONTAÑA</b>				
Ámbito Geomorfológico		Proceso	Forma Asociada	Intensidad Actual
Vertientes del intrusivo granodiorítico	Aflojamiento rocosos Taludes y conos	Avalanchas Movimiento en masa por gravedad	Coladas de derrubios Reordenación de bloques	Alta
Vertientes de <i>plateau</i>	Conos aluviales torrenciales	Movimientos en masa	Conos sobreimpuestos a las terrazas	Moderada
	Taludes y conos	Movimientos en masa		Moderada
	Caras libres	Aporte de detritos		Moderada
Vertientes monocinales y plegadas	Conos y taludes Caras libres	Movimientos en masa	Conos estabilizados	Baja

Al analizar los diferentes tipos de formas y procesos y su relación a una condición de riesgo, se aprecia la diferencia entre el piso de alta y media montaña, siendo en este último donde se presentan los niveles de riesgo moderados y bajos, debido a una condición de mayor cobertura vegetal como agentes de estabilización (Fig. 5). Sólo las vertientes del cuerpo intrusivo asemejan su dinámica a las condiciones de dinámicas y de riesgo de las vertientes de la alta montaña, dado la inexistencia de cobertura de formaciones superficiales.

Esta situación local corresponde a lo que se establece como una zona de transición entre los pisos, ya que la dinámica de las vertientes se asemeja al piso superior, pero no así el fondo de valle, con una dinámica y paisaje propios de la media montaña. La presencia del cuerpo intrusivo y la amplitud del valle configuran esta condición particular, en el sector de confluencia de los ríos Cachapoal y Las Leñas. Esta zona se clasifica en consecuencia como un área de alto riesgo para la habilitación del corredor debido al alto aporte detrítico gravitacional y flujos de avalancha desde las vertientes.

Sin embargo, aguas arriba de este sector, se observa una zona donde los taludes son más cóncavos, de menor pendiente y que se encuentran cubiertos por vegetación, producto de las condiciones especiales de clima local imperantes según registros locales de GARREAU, 2002. Este tramo del corredor ha sido definido como de riesgo medio o moderado.

En alta montaña, en el sector de la laguna El Yeso los potentes conos y taludes ha sido clasificado como de alto riesgo, teniendo aguas arriba un sector que presenta nuevamente una estabilidad estacional por la cobertura vegetal. A partir de ahí comienza el dominio del frío y es considerado como de alto riesgo hasta el límite fronterizo, donde termina el área en estudio (Fig. 5).



**Fig. 5.** Niveles de riesgo natural asociados a la naturaleza de las formas de base, su dinámica y nivel de estabilización. Valle del Cachapoal y su afluente Las Leñas.

## **Discusión**

El ambiente de montaña, definido como un sistema altamente dinámico en término de las formas y procesos característicos como también de los diferentes niveles de riesgo asociado, debe ser analizado desde la perspectiva de la definición de unidades espaciales homogéneas que conforman pisos altitudinales y paisajes morfodinámicos diferentes.

La principal diferenciación, se refiere a la delimitación de la alta y media montaña, donde la primera se asocia a un nivel de riesgo mayor, por el gran dinamismo geomorfológico actual, que entrega cantidades significativas de materiales a los fondos de valle. Se reconoce el papel de la litología, la geomorfología, el substrato y el clima, en el desarrollo y la dinámica de las formas de base estudiadas.

La importancia de los factores locales, apoyando la aparición de formas de carácter excepcional, que se salen del modelo morfoclimático normal para esos ámbitos, descrito por PÉREZ-ALBERTI & VALCÁRCEL (2000), fue ratificado especialmente para explicar la existencia de conos y taludes semi estabilizados por vegetación en alta montaña, que pueden explicarse en parte a una condicionante topoclimatológica.

En el cajón de Las Leñas, donde se observó esa situación, GARREAU (2002) explica que existe una menor amplitud del ciclo diario de las temperaturas, asociado al ciclo de calentamiento local, que en el sector de Coya. Así, las temperaturas nocturnas y de madrugada son en general superiores a las de Coya, excepto durante tormentas, debido presumiblemente a factores radiativos y de flujo. El autor señala que el confinamiento y estrechez del valle de Las Leñas, reducen la pérdida radiativa infrarroja durante la noche, de manera que la tendencia de enfriamiento es menos marcada que en un lugar más abierto como Coya. Esta menor oscilación térmica y pérdida de calor, puede ser la causa del mantenimiento de una cubierta vegetal herbácea y arbórea abierta, que le otorga una cierta estabilidad a esta zona, la que es interrumpida sólo estacionalmente por flujos de avalancha.

Otras formas de carácter excepcional son los grandes conos y taludes de alta dinámica actual, que se observan en el sector de media montaña dominado por vertientes del intrusivo granodiorítico, que tienen un nivel de aporte de masa similar al observado en el dominio periglacial. En este caso, puede asumirse lo señalado por PÉREZ-ALBERTI & VALCÁRCEL (2000), referente a que la litología juega un importante papel en el desarrollo de determinadas formas que quedan restringidas en su extensión a formaciones geológicas concretas, especialmente en laderas de bloques de materiales cuarcíticos como en este caso, donde los derrubios se destacan por su tamaño grosero.

Finalmente, la alta detritificación de los sectores de alta montaña y de algunos sectores de media montaña, permite la movilización de grandes cantidades de materiales, que puede ser gatillada además, por la sismicidad del área. Al respecto, COMTE (2002) demostró la existencia de actividad sísmica superficial en la zona (< 15 km),

lo que puede explicar aún más el alto dinamismo de las formas de base del corredor Las Leñas.

## Conclusiones

La dominancia de estructuras plegadas expuestas implica una alta potencialidad a la detritificación y difusión de materia desde las vertientes. Esta relación no opera en ambiente de baja montaña en que las formaciones superficiales enmascaran la estructura.

Las diferencias en términos de los tipos de depósitos basales, gravitacionales puros, móviles e inconsolidados de la parte media, con los coluviales estabilizados por vegetación en la alta montaña, se asocian al tectonismo, litología, estilo, exposición y grado de plegamiento de los estratos a escala local.

Los flujos de detritos torrenciales de marcada estacionalidad, retrabajan y activan depósitos basales de todos los sistemas de vertientes.

El patrón reconocido en cuanto a la acción de los flujos de avalanchas en los depósitos, es el aumento sistemático de la densidad y profundidad de las cárcavas y surcos de excavación en función al ascenso en el piso altitudinal periglacial de altura.

Los depósitos de base de vertiente y la acción estacional de los flujos de avalancha constituyen las formas más representativas de la geodinámica externa actual en el valle de alta montaña del río Cachapoal, en los Andes de Chile Central.

Las condiciones de geodinámica moderna son diferentes en el piso de alta y media montaña, cuya delimitación a través de los criterios empleados ha sido funcional a los objetivos de este trabajo. La definición de criterios y la jerarquía de los mismos para la delimitación de pisos altitudinales como unidades territoriales dinámicas de análisis de la Cordillera de los Andes, es una tarea aún por realizar.

## Bibliografía

- ARAYA-VERGARA, J. F. 1985; *Análisis de la carta geomorfológica de la cuenca del Mapocho*. Revista Informaciones Geográficas, 32, Universidad de Chile. Santiago, p. 31-44.
- ARAYA-VERGARA, J. F. 1988; *Toward a classification of slope systems*. 26<sup>th</sup> Congress Inter. Geogr. Union. Abstract. Sydney, Vol. 1. 1: 19 A2.
- ARAYA-VERGARA, J. F. 1996; *Primeras experiencias con una clasificación dinámica de vertientes de montaña*. I Taller Internacional de Geología de Montaña y Desarrollo Sustentable de los Andes del Sur. Universidad de Chile-Unicef-The United Nations University. Santiago, p. 389-399.
- ARNAEZ, J. & GARCÍA RUIZ, J. M. 2000; El periglaciario en el Sistema Ibérico Noroccidental. J. L. Peña, M. Sánchez-Fabre & M. V. Lozano (Eds.) *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*. Instituto de Estudios Turolenses, 113-126. Teruel.
- BARSCHE, D. & CAINE, N. 1984; *The nature of mountain geomorphology*. Mountain Research and Development, 4: 287-298.

- CASTRO, C. P., M. V SOTO, G. IGOR & E. DELGADO. 2002; *Análisis comparativo de los riesgos geomorfológicos de alta montaña*. Valle del río Limari y del río Cachapual. Actas del XXIII Congreso Nacional y VIII Internacional de Geografía. Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas. En prensa.
- CHARRIER, R. 1983; *Carta Geológica de Chile. Hoja El Teniente*. Servicio Nacional de Geología y Minas. Inédito.
- CHARRIER, R., J. FLYNN, A. WYSS, F. ZAPATTA & C. SWISHER. 1997; *Antecedentes bio y cronoestratigráficos de la Formación Coya- Machalí-Abanico, entre los ríos Maipo y Teno (33° 55' y 35° 10' L. S.) Cordillera Principal, Chile Central*. Actas VIII Congreso Geológico Chileno. Vol. 1. Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, p. 165-169.
- COMTE, D. 2003; *Informe final proyecto DI TNAC 11-02/01 Determinación de niveles de riesgo natural en el corredor de comercio Las Leñas, en la VI Región*. Universidad de Chile. Inédito.
- CORVALÁN, J. 1959; *El Titoniano del Río Las Leñas, Provincia de O'Higgins*. Boletín N° 3. Instituto de Investigaciones Geológicas.
- DE MARCOS, F. J. 2000; *Procesos actuales en el Alto Gredos: Garganta del Pinar*. J. L. Peña, M. Sánchez-Fabre & M. V Lozano (Eds.) *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*. Instituto de Estudios Turolenses, 213-232. Teruel.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. 1990; *La montaña: una perspectiva geoecológica. Geoecología de las áreas de montaña*. J. M. García-Ruiz, Edr. Geoforma Ediciones, 15-31. Logroño.
- GARCÍA-RUIZ, J. M., MARTINEZ, R. y GOMEZ, A. 1990; *La exportación de sedimentos por la red fluvial en áreas de montaña*. J. M. García-Ruiz, *Geoecología de las áreas de montaña*, Edr. Geoforma Ediciones, 59-93. Logroño.
- GARREAU R. 2003; *Informe final proyecto DI TNAC 11-02/01 Determinación de niveles de riesgo natural en el corredor de comercio Las Leñas, en la VI Región*. Universidad de Chile. Inédito.
- KLOHN, C. 1960; *Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. Provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó*. Boletín N° 8. Instituto de Investigaciones Geológicas.
- MORALES, B. 1988; *Análisis morfoestructural y morfodinámico de las vertientes y de los talwegs afluentes del Bío-Bío, su distribución espacial y sus eventuales alteraciones por la implementación de la Central Hidroeléctrica Pangué*. Informe Final de Práctica Profesional para Optar al Título de Geógrafo. Universidad de Chile.
- MESINA, A., M. V. SOTO & C. P. CASTRO. 2001; *Clasificación de Niveles de Riesgo Natural a Partir de la Carta Geomorfológica en el Corredor de Comercio Doña Rosa, Región de Coquimbo*. Resúmenes y Cd 8° Encuentro de Geógrafos de América. Santiago.
- MESINA, A. 2003; *Análisis del sistema físico natural en la detección de peligros naturales: definición de áreas de riesgo natural*. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- PEREZ ALBERTI, A. & VALCARCEL, M. 2000; *Depósitos de ladera de estructura estratificada en la Galicia Oriental (Noroeste Ibérico)*. J. L. Peña, M. Sánchez-Fabre & M. V Lozano (Eds.) *Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea*. Instituto de Estudios Turolenses, 25- 44. Teruel.
- SOTO, M. V. & C. P. CASTRO. 2003; *Dinámica de los sistemas de vertientes de alta montaña, cuenca del río Cachapual*, Chile. 10° Congreso Geológico Chileno.
- VARELA, J. (1986); *Estudio geológico-geomorfológico de los depósitos del relleno cuaternario del valle del río Las Leñas en el sector de Laguna del Yeso-Borbollones, VI Región*. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Informe Inédito.
- VICENTE, J. C., R. CHARRIER, J. DAVIDSON, A. MPODOZIS & S. RIVANO. 1973; *La orogénesis subhercínica: fase mayor de la evolución paleogeográfica y estructural de Los Andes argentino-chileno centrales*. Actas del Quinto Congreso Geológico Argentino.