

Revista de Geografía Norte Grande

ISSN: 0379-8682

hidalgo@geo.puc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile

Chile

Soto, María Victoria; Castro, Carmen Paz; Rodolfi, Giuliano; Maerker, Michael; Padilla, Rodrigo
Procesos geodinámicos actuales en ambiente de media y baja montaña. Borde meridional de la
cuenca del río Maipo, Región Metropolitana de Santiago

Revista de Geografía Norte Grande, núm. 35, julio, 2006, pp. 77-95
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30003506>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Procesos geodinámicos actuales en ambiente de media y baja montaña. Borde meridional de la cuenca del río Maipo, Región Metropolitana de Santiago¹

MARÍA VICTORIA SOTO², CARMEN PAZ CASTRO², GIULIANO RODOLFI³,
MICHAEL MAERKER³, RODRIGO PADILLA⁴

RESUMEN

Se analiza el bloque montañoso del borde sur de la cuenca del río Maipo correspondiente a una estribación de la cordillera de la Costa, separado del bloque andino por el estrecho valle del río Angostura. Corresponde a un sector de media y baja montaña de rocas intrusivas y de formaciones plegadas, de edad cretácica. Si bien el efecto nival estacional solo se hace sentir en las cumbres del orden de los 2.000 m.s.n.m., predomina el ambiente de montaña con formaciones superficiales y vegetación. La geodinámica de las vertientes se considera desde un punto de vista de su estructura. Se establecieron dos sistemas, el de *Aculeo* y el de la *baja montaña de Poca Pena*, que además ha sido clasificado como una superficie de erosión residual. La geodinámica moderna se analizó de acuerdo a los depósitos correlativos de cono y glacis, su estado y funcionamiento actual. El proceso dinámico más relevante corresponde a flujos de detritos de carácter estacional.

ABSTRACT

The mountainous block of the south edge of the river basin of the Maipo river is analyzed that is part of the coastal range, separated of the andean block by the narrow valley of the Angostura river. It corresponds to a sector of media and low mountain of igneous and folded cretacic rocks. Although the seasonal nival effect is made feel in summits of the order of the 2,000 m.s.n.m., predominates the mountain environment with soils and vegetation. It was considered to analyze the slopes geodynamics in the consideration of his structural character. Two systems are analyzed, the one of Aculeo and the Poca Pena mountain, that has been classified like a residual erosion surface. The modern geodynamics has been analyzed according to the deposits of cone and glacis, its state and present operation. The more dynamic process corresponds to seasonal debris flows.

Palabras clave: Cono aluvial, glacis, sistemas de vertiente.

Key word: Aluvial fan, glacis, slopes systems.

¹ Proyecto FONDECYT 1050726. Artículo recibido el 11 de abril de 2006 y aceptado el 18 de mayo de 2006.

² Departamento de Geografía, Universidad de Chile. E-mail: mvsoto@uchile.cl, cpcastro@abello.dic.uchile.cl

³ Universidad de Florencia (Italia). E-mail: giuliano.rodolfi@unifi.it, michael.maerker@unifi.it

⁴ Escuela de Geografía, Universidad de Chile. E-mail: rpadilla@icono.dic.uchile.cl

Los ambientes de montañas son sistemas geográficos relevantes, toda vez que estas áreas representan el 36% de la superficie del planeta (Fairbridge, 1968 en García, 1990) y vive el 10% de población mundial (Messerli, 1983 en García, 1990), incidiendo en la vida de millones de personas (Ives y Messerli, 1999 en Owen y Slaymaker, 2004).

En relación a los ambientes de montaña, Soto y Castro (2003) reseñan el tratamiento de formas y procesos característicos del piso de alta montaña, realizados por autores clásicos como Embleton y King (1975), French (1976) y Young (1977). Kotarba (1984, 1992), por su parte, estudió la zonación altitudinal y los niveles energéticos de los mecanismos del modelado reciente en los montes Cárpatos.

La geodinámica de los ambientes de montaña en Chile central ha sido analizada con énfasis en los pisos superiores, en el ambiente periglacial de alta montaña por Araya (1985, 1996), Ferrando (1994), Castro *et al.* (2002), Soto y Castro (2003a, 2003b), Castro *et al.* (2003) y Soto *et al.* (2004).

En ambientes de montaña, los aspectos genético-dinámicos fundamentales se sustentan en la relación vertiente-*talweg*, siendo las vertientes los sistemas aportadores de masa y, los *talwegs*, los exportadores de esta hacia otros sistemas, principalmente a la red de drenaje. El aporte de masa desde las laderas genera a su vez formas de deposición correlativas de base de vertiente (Araya, 1985; García *et al.*, 1990; Arnáez, 1990; Martínez y García, 1990; Castro *et al.*, 2002; Soto y Castro, 2003a, 2003b; Castro *et al.*, 2003; Soto *et al.*, 2004; Owen y Slaymaker, 2004; Lana *et al.*, 2004).

En un contexto de análisis sistémico de los ambientes de montaña en Chile, destaca la taxonomía de Araya (1985), que considera las vertientes como sistemas asociados a las formas depositacionales basales correlativas, permitiendo una concepción de la geodinámica externa actual del paisaje. Son estas formas de base de vertientes las indicativas de la dinámica de aporte de masa, actual y subactual.

Esta relación genético evolutiva ha sido muy claramente documentada para los ambientes de montaña, en que los potentes y amplios depósitos de gravedad dan cuenta de esta relación especialmente en los Andes de Chile central, donde se caracterizan por su gran altura, fuerte pendiente y escasa o nula cubierta vegetacional, en un ambiente marcado por la tectónica y la estructura, donde los relieves de tipo estructural y plegado favorecen tales relaciones.

A este respecto, Castro *et al.* (2003) y Soto *et al.* (2004), al analizar la geodinámica externa del valle del Cachapoal (VI Región, 34° 22' latitud Sur / 70° 00' longitud Oeste), en ambiente de alta y media montaña, concluyeron que la presencia de sistemas de vertientes esculpidas en estructuras plegadas expuestas, implica una alta potencialidad de aporte de masa hacia los sistemas depositacionales basales, relación que no opera en ambiente de baja montaña, debido a la protección ejercida por las formaciones superficiales y la vegetación que enmascaran las estructuras. Se concluye también que la naturaleza, estado y nivel de disección actual de los depósitos basales varían según el piso altitudinal.

En relación con el aporte de masa en ambientes de montaña, García *et al.* (1990) sostienen que este se realiza a través de la dinámica de los flujos de detritos, desde las cuencas y sus conos aluviales asociados. Son procesos que se desarrollan en vertientes con substratos rocosos estratificados de diferente resistencia que aportan sedimentos heterométricos hacia los cauces, principalmente durante eventos de precipitaciones concentradas (Martínez y García, 1990). Lana *et al.* (2004), en una cuenca del Pirineo central español, demostraron el marcado incremento de la concentración de sedimentos en suspensión, a medida que aumenta la intensidad de las precipitaciones.

Benda *et al.* (2005) realizaron una clasificación de los flujos de detritos de acuerdo a las características espaciales y temporales, de tal manera que aquellos

flujos generados en pendientes superiores al 20% son de carácter erosional, en tanto aquellos con pendiente inferior al 10%, son depositacionales, con una trayectoria temporal superior a los cien años, en que los coluvios alcanzan la coalescencia formando una cobertura continua sobre la roca subyacente.

En este contexto, los conos se comportan como almacenadores de materia (Soto *et al.*, 2004; Benda *et al.*, 2005), siendo disectados y aterrazados en su sección distal por acción de la evacuación lateral de los sistemas hidrológicos, que en el caso de este estudio corresponde fundamentalmente al sistema del río Maipo. De lo anterior, se desprende la necesidad de distinguir entre taludes actuales y relictos, o la interacción entre ambos, tal como fue descrito en el semiárido de Chile por Weischet (1968), experiencia aquella, destacada a nivel mundial por Young (1977).

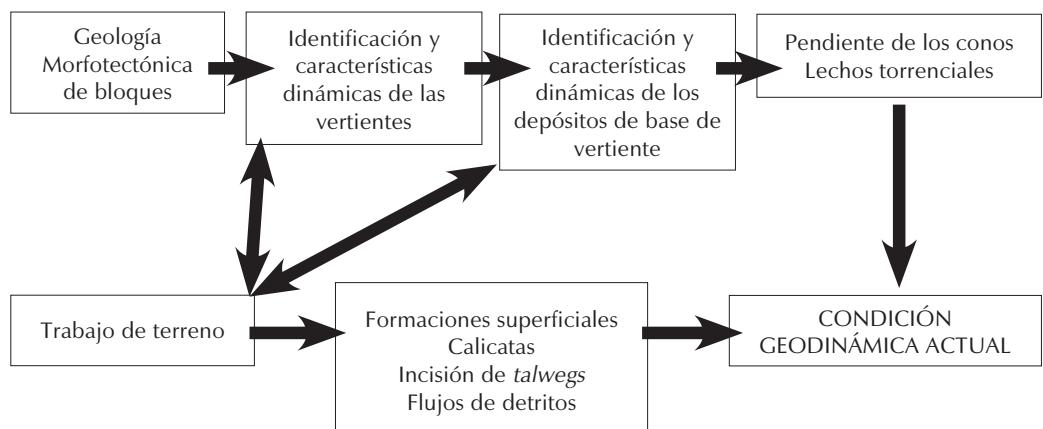
Por otro lado, en relación con la delimitación de los pisos altitudinales, este concepto ha sido tratado por Kotarba *et al.* (1987) en García *et al.* (1990), distinguiendo el nivel asociado a la impronta nival y glacial, el nivel subnival alpino y el nivel subalpino, en que su límite superior coincide con el *tree line*. Bajo este se

localiza el nivel montano o forestal, que alcanza su límite superior en el *timberline*. Estos conceptos deben ser aplicados para Chile central, teniendo en consideración la altura general del bloque andino y costero y la condición ambiental de clima templado mediterráneo con prolongada estación seca estival.

En este contexto surge el propósito de esta investigación, que corresponde a analizar las condiciones geodinámicas actuales de un bloque cordillerano costero. Este presenta la particularidad de estar conformado por un bloque estratificado, plegado y tectonizado, similar a lo encontrado en la alta montaña, pero en este caso, en ambiente de fondo de depresión, con presencia de suelos y una cobertura vegetacional predominantemente nativa esclerófila. El área tiene escaso poblamiento e infraestructura de comunicaciones; sin embargo, en los últimos años se ha desarrollado y aumentado la incorporación de sistemas de vertientes y conos para el uso agrícola-frutícola.

Materiales y Métodos

Para el estudio del bloque montañoso del flanco del valle sur del río Maipo, se siguió el siguiente esquema metodológico:



Morfotectónica de bloques: Esta variable es un aspecto fundamental en la consideración del aporte potencial de masa desde las vertientes, toda vez que en el área de estudio coexisten formaciones plegadas correspondientes a secuencias sedimentarias y volcánicas, como también intrusivos granitoides. Se analizaron las características de fallamiento, estratificación, estilo de plegamiento y naturaleza de las formaciones según los antecedentes de Wall *et al.* (1996) y Selles y Gana (2001).

Análisis de las vertientes: Las vertientes han sido analizadas desde el punto de vista de unidades homogéneas o sistemas de vertientes, las que cumplen un rol importante como aportadoras de materia, considerando que en el área de estudio se presentan estructuras geológicas que exponen estratos rocosos a los agentes subaéreos.

Para la identificación sistemática y análisis de las condiciones dinámicas de las laderas, se utilizó la taxonomía de Araya (1985) y su aplicación para otras áreas de montaña (Araya, 1988 y 1996). De acuerdo a la taxonomía citada, las áreas de baja y media montaña deberían ser tratadas de acuerdo a la acción de los agentes exógenos, es decir, según la tendencia erosiva aun cuando existan formas estructurales, pero no siendo estos agentes los elementos de clasificación más representativos de la condición geodinámica.

Sin embargo, basado en lo observado en ambiente de media y baja montaña del valle del río Cachapoal por Soto y Castro (2003a, 2003b), Castro *et al.* (2003), Soto *et al.* (2004) y Chávez (2005), en que la influencia de las formaciones superficiales y la vegetación es importante en la condición de aporte de masa, se ha considerado relevante explicitar la estructura, toda vez que hay presencia de caras libres asociadas a una condición de relieve monocinal.

Formas depositacionales de base de vertientes: Son consideradas como las formas indicativas de los procesos geodinámicos actuales de los sistemas de vertientes y

fueron analizadas de acuerdo a la génesis y estado actual, según clasificación de Araya (1985). Los procesos dinámicos de las formas depositacionales se analizaron de acuerdo a las evidencias y potencialidad de ocurrencia de corredores de derrubios y flujos de detritos, según conceptos dinámicos de Hauser (1993), Benn y Evans (1998), Blikra y Nemec (1998), Bertran y Jomelli (2000), Imaizumi *et al.* (2005) y Benda *et al.* (2005). En este contexto, y dada la posición intermontana del área de estudio, los *talwegs* y su condición como exportadores de masa han sido también elementos de discriminación para establecer la condición dinámica actual de estos relieves de pisos montañosos medio y bajo.

Desde el punto de vista metodológico la investigación estuvo fuertemente centrada en la observación de terreno, en donde se prestó atención a la naturaleza fisiográfica y dinámica de las vertientes y conos asociados, como también a las formaciones superficiales y los suelos. Se realizaron calicatas y se constató la acción de flujos de detritos antiguos y actuales.

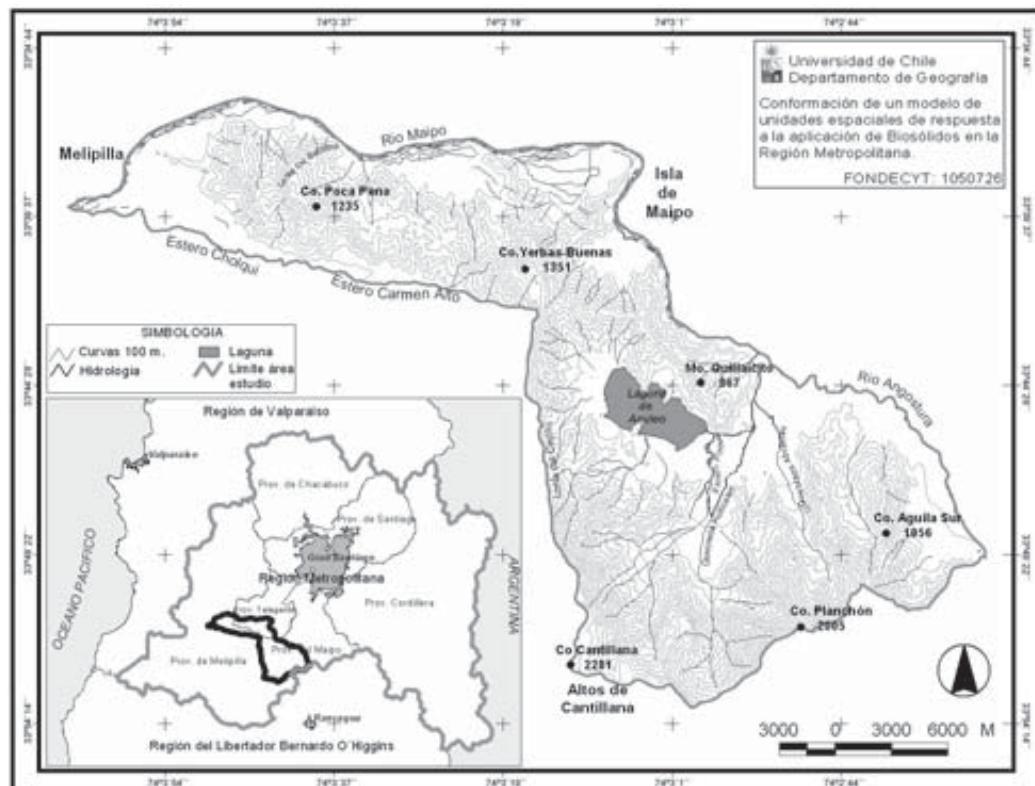
Área de estudio

El área de estudio corresponde al bloque de montaña del borde sur de la cuenca del río Maipo, que comprende desde Altos de Cantillana hasta Chocalán en Melipilla, perteneciente a una estribación más elevada de la cordillera de la Costa, con dirección O/E, pero que desciende notoriamente en altitud en dirección al Oeste (Figura N° 1).

Dominio morfotectónico y estructural

Corresponde al dominio estructural de cobertura (Wall *et al.*, 1996), un relieve montañoso abrupto con alturas máximas de 2.000 m.s.n.m., disectado por valles encajonados de dirección predominante Noroeste, constituido por intrusivos jurásicos y cretácicos y por rocas volcánicas y sedimentarias mesozoicas (Formación Horqueta, Formación Lo Prado, Formación Veta Negra) que conforman una secuencia

FIGURA N° 1
ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia.

monoclinal de rumbo Norte-Sur a Noroeste y una inclinación promedio de 25°-35° hacia el Este (Figura N° 2).

Según Wall *et al.* (1996), las estructuras principales corresponden a lineamientos y fallas que en general coinciden con el lineamiento de los valles encajados (estero Cholqui), como también a estructuras menores, lineamientos y fallas inferidas que se orientan con rumbo Nor-Noreste y Nor-Noroeste. Selles y Gana (2001) coinciden en la orientación de estas fallas, las cuales han afectado al conjunto de rocas volcánicas de la cordillera de la Costa y a los intrusivos del Cretácico Superior que las atraviesan. También reconocen numerosos lineamientos y fallas de dirección Noroeste-Sureste, de gran extensión y coincidentes con los bordes de la depresión de la laguna de Aculeo. Estas estructuras se

interpretan como pertenecientes al conjunto de fallas que se extienden hasta la costa y de la cual forma parte la falla Melipilla. Los autores mencionados ponen especial interés en la Formación Las Chilcas, en la cual reconocen importantes regímenes intensivo-compresivos de deformación, que habrían tenido lugar al comienzo del Cretácico Superior, probablemente relacionados con el alzamiento de la cordillera de la Costa.

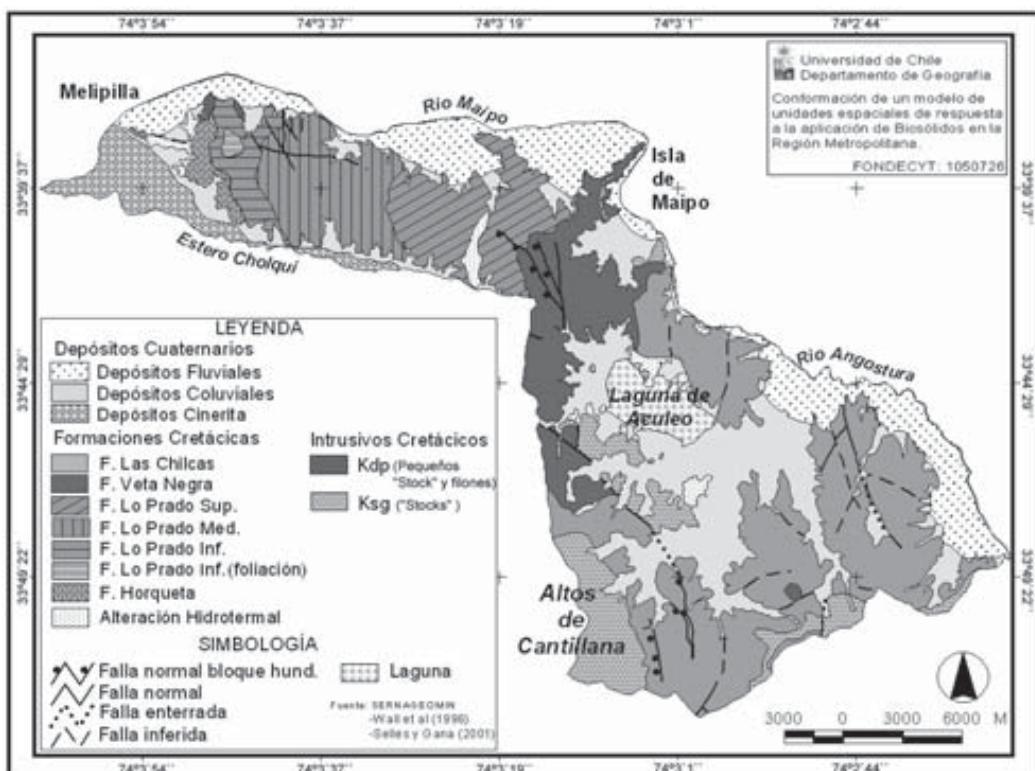
Resultados

Relación vertiente-depósito correlativo: sistema laguna de Aculeo

1. Sistemas de vertientes macizas

El sistema laguna de Aculeo se caracteriza por representar las mayores alturas relativas

FIGURA N° 2
CARTA GEOLÓGICA Y ESTRUCTURAL DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia

en el área de estudio, Altos de Cantillana y cerro Planchón (2.281 m.s.n.m. y 2.005 m.s.n.m., respectivamente), localizados en el borde Sureste. Estos relieves conforman sistemas de vertientes modeladas en rocas intrusivas graníticas cretácicas, y presentan una condición geodinámica actual activa, debido a los niveles de meteorización del stock monzodiorítico-granodiorítico (Selles y Gana, 2001) y a su condición nival estacional, principalmente Altos de Cantillana (ver Figura N° 3).

La condición geodinámica actual se ve reflejada a través de la regolitización de la superficie culminante y al aporte de detritos en dirección a las vertientes y *talwegs*, conformando corredores de derrubios de media vertiente. La regolitización ha sido observada en terreno y se correlaciona con los niveles topográficos hallados al sur de este

sector, en Cerros de Alhué, que Araya (2000) denomina como *superficie de aplanamiento residual* y que mofogenéticamente pertenecería al mismo sistema de Altos de Cantillana.

En este contexto, los sistemas de vertientes del conjunto intrusivo deben ser considerados como activos detritificadores, en los que han operado procesos de regolitización intensa durante períodos con condiciones climáticas diferentes de las actuales, que haciendo analogía con Cerros de Alhué y la superficie de Coipué en la VII Región del Maule, serían procesos de denudación ocurridos en edad miocena (Araya, 2000).

En este sector opera también el factor de exposición, de tal manera que en umbría, la presencia de vegetación nativa esclerófila y robledales en las partes más altas,

implican un importante control reductor a la exportación y transporte de detritos. El sistema de *talweds* es incidido y torrencial, con actividad estacional durante los episodios de precipitaciones concentradas.

2. Sistemas de vertientes monoclinales

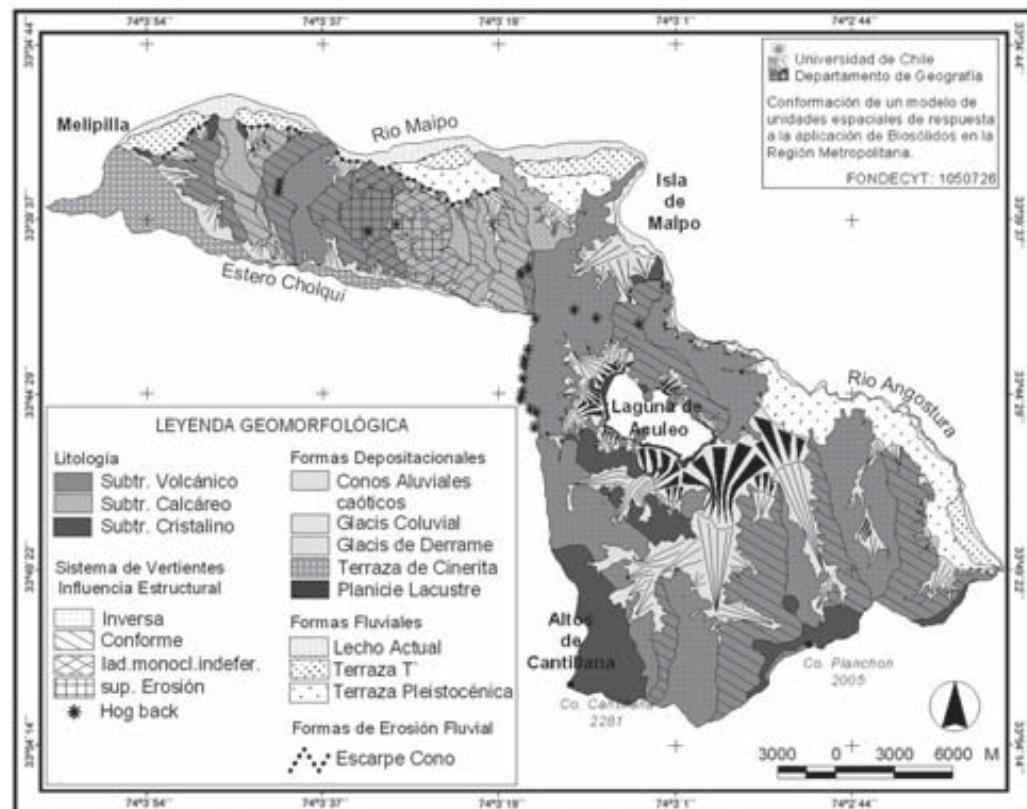
Coexistiendo a los sistemas de vertientes anteriores, están las vertientes esculpidas en rocas estratificadas de la Formación Las Chilcas, constituidas por secuencias volcánicas y sedimentarias, y de la Formación Veta Negra, volcánica, ambas de edad cretácica, intruidas por rocas de igual edad. Estas formaciones estratificadas presentan un estilo estructural monocinal, en el cual se han desarrollado sistemas de vertientes que obedecen a la dirección de buzamiento de los estratos, conformando conjuntos

de vertientes inversas (subsecuentes o anaclinales) y conformes (consecuentes o cataclinales), tal como observado en la Figura N° 3.

Los sistemas de vertientes inversos de Las Chilcas presentan una mayor condición de exposición de los estratos, sobre todo aquellos en posición culminante, lo cual debe estar asociado a la altura relativa y al ángulo de buzamiento del orden de los 25° E (Selles y Gana, 2001), presentando en las divisorias principales del sistema notorios arreglos en estilo *hog back*.

Por otro lado, las vertientes modeladas en las rocas de la Formación Veta Negra, presentan similares características en cuanto a la relación inversa-conforme, pero diferenciándose de aquellas en función de la

FIGURA N° 3
CARTA GEOMORFOLÓGICA



Fuente: Elaboración propia.

exposición de los estratos rocosos, cobertura vegetacional y, consecuentemente, de los depósitos correlativos. En este sentido, tales sistemas de vertientes exponen con menor expresión sus caras libres rocosas volcánicas, las que aparecen solo en las partes culminantes a la manera de *hog back*, y constituyen un conjunto estructural en general de menor altura, del orden de los 1.000 m.s.n.m., con una cobertura vegetacional nativa esclerófila más bien densa.

3. Formas depositacionales correlativas: conos y *glacis*

Los sistemas depositacionales de la cuenca de la laguna de Aculeo son muy amplios, expresivos y complejos desde el punto de vista de las formas y procesos asociados. En este contexto, destacan en las partes apicales de los sistemas de vertientes, los grandes conos aluviales caóticos coalescentes, siendo estos mucho más expresivos en la sección sur, donde predominan las vertientes en macizos y monoclinales de la Formación Las Chilcas (Figuras Nº 3 y Nº 4), que en aquellos asociados a los sistemas de vertientes más bajas y con mayor cobertura vegetacional, como los localizados en la ribera oeste de la laguna.

En el primer caso se han desarrollado sistemas de conos aluviales coalescentes, muy combados y convexos, rasgos que son percibidos también, a través del análisis de fotos aéreas, por la superposición topográfica de las formas, y en terreno, principalmente por la pendiente y la textura del suelo. En la Figura Nº 4, el área inferior izquierda de la foto corresponde al sector de superficie residual de Altos de Cantillana (A), y la parte superior de la imagen, a terrazas lacustres y al cuerpo de agua de la laguna (B). Destaca la coalescencia y superposición de conos aluviales caóticos muy incididos y disectados por *talwegs* torrenciales.

Los sistemas de conos en sus partes distales han desarrollado formas asociadas de *glacis* de derrame. Estos planos inclinados de

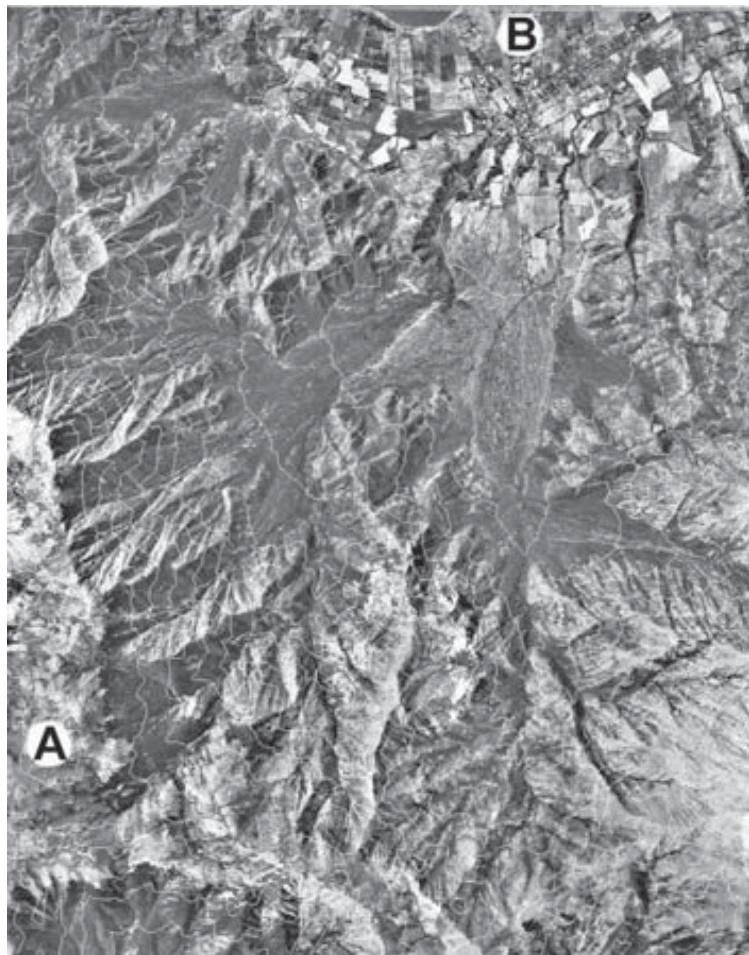
baja pendiente, gradados del lavado de los materiales más finos de los conos aluviales, se extienden hasta coalescer a las terrazas lacustres.

Tales sistemas depositacionales presentan una compleja evolución morfológica, ya que en las cabeceras de las subcuenca del sistema Aculeo se ha modelado una importante cantidad de conos aluviales de extensión muy variada, desde aquellos pequeños conos laterales, hasta los pertenecientes a las subcuenca de mayor importancia, conformando todos ellos un patrón de coalescencia y yuxtaposición, que genera un paisaje ondulado, asociado a los conos y a las depresiones interconos (Figuras Nº 4 y Nº 5).

De esta coalescencia, y principalmente vinculada a la dinámica de los conos aluviales mayores, se produce la evolución a formas de *glacis*, es decir, superficies de topografía planiforme, consecuentes a la dirección del eje longitudinal de los conos, de muy baja pendiente y con una notable diferencia de textura del suelo, gradando desde una textura arenosa con fuerte pedregosidad en los conos, a una predominancia de sedimentos finos en los *glacis*. Las diferentes superficies de conos de la Figura Nº 5 corresponden, en primer plano, a las formas de transición cono-*glacis* de derrame (A). En el segundo plano se aprecian las formas depositacionales provenientes de los sistemas de vertientes laterales, conformando las depresiones interconos en las zonas de coalescencia y yuxtaposición (B). Los conos torrenciales asociados a los relieves monoclinales y sus estratos rocosos aflorantes, se observan en el último plano (C), presentando una clara geometría y pendiente ligada a procesos torrenciales.

La gradación entre las formas de conos y *glacis* corresponde a un espacio de gran variabilidad en los suelos asociados, directamente relacionados con la distancia a la zona proximal del sistema y a la pendiente, diferenciándose subsistemas que presentan diferentes comportamientos dinámicos, tal

FIGURA N° 4
CUENCA DE LA LAGUNA DE ACULEO



A: Superficie residual de Altos de Cantillana
B: Terrazas lacustres de Aculeo

Fuente: Elaboración propia.

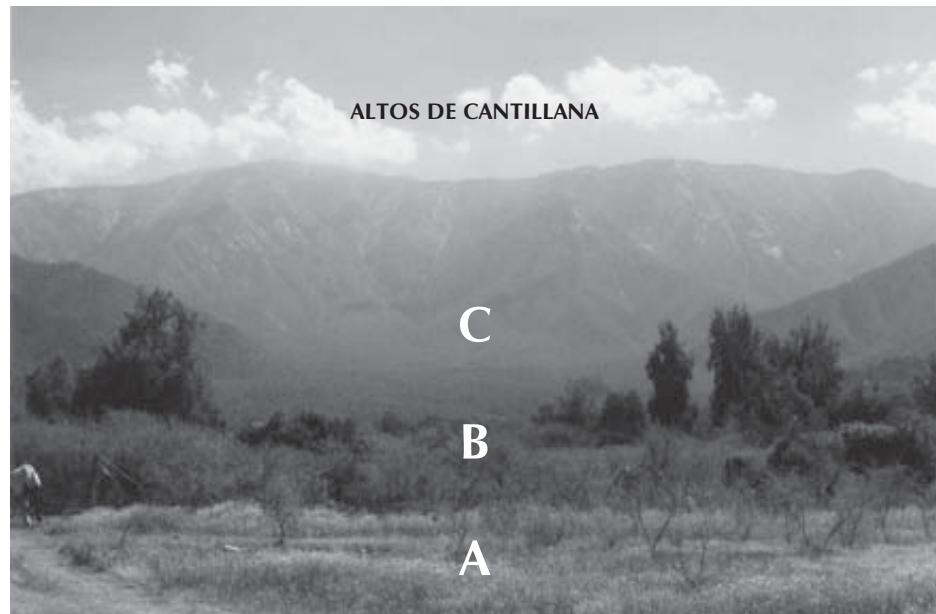
como Castro (1997) demostró para el sistema de conos y glacis de El Noviciado (Comuna de Pudahuel, Región Metropolitana de Santiago).

La superficie de transición entre el cono aluvial distal y el glacis de derrame proximal corresponde a un sector caracterizado por la abundante pedregosidad superficial (Figura N° 6), con detritos subangulares y subredondeados, recubiertos por una pátina que da cuenta del tiempo de exposición a

los agentes subaéreos y deduciéndose, en consecuencia, procesos depositacionales no actuales.

Las diferencias morfológicas y texturales están asociadas a los procesos ligados a la morfogénesis de cada sistema así, mientras los procesos de formación responsables de los conos aluviales son los flujos de detritos, en los glacis es el lavado superficial o la arroyada difusa. La calicata que se observa en la Figura N° 7 da cuenta del

FIGURA N° 5
SISTEMA DE CONOS ALUVIALES TORRENCIALES COALESCENTES Y GLACIS DE DERRAME



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 6
SUPERFICIE DISTAL DE CONO ALUVIAL CAÓTICO



Fuente: Autores.

sistema depositacional que corresponde a flujos de detritos según las características texturales y morfométricas, corroborando las observaciones de estos flujos torrenciales realizadas por Martínez y García (1990) en el Pirineo Central y por Bertrán y Jomelli (2000), en los Alpes franceses.

Las características del substrato de los conos de Aculeo demuestran la formación de los depósitos de conos aluviales coalescentes a través de procesos de flujos de detritos, los que se caracterizan por tener una matriz arenosa, mala clasificación y una forma del depósito más bien lobulada.

Estos procesos, si bien no son de morfogénesis actual, son funcionales en eventos climáticos intensos, siendo los flujos

de detritos los procesos dinamizadores del paisaje, aunque circunscritos a las líneas de drenaje (Figura N° 8). La observación en terreno da cuenta de ello, en la medida que los sedimentos frescos solo se encuentran en los cursos de agua, los que presentan un importante nivel de disección, materiales en curso, perfil convexo y que consecuentemente pueden ser clasificados como lechos torrenciales de carácter episódico.

Esta condición dinámica estacional se verifica toda vez que durante el estío los lechos están totalmente secos y durante los meses de invierno llevan una caudal importante, tal como lo registró Sepúlveda (2002) en el *talweg* de la quebrada Las Cabras, localizada en las cercanías del *talweg* de la quebrada Ramadillas (Figura

FIGURA N° 7
CALICATA EN EL SECTOR DE CONOS ALUVIALES DISTALES CON UNA PROFUNDIDAD RELATIVA DE 160 CENTÍMETROS (cm)



Referencia de escala: bastón de *trekking*, 130 cm. Material sedimentario de flujo de detritos.
Fuente: Autores.

FIGURA N° 8
TALWEG DE LA QUEBRADA RAMADILLAS DE CARÁCTER TORRENCIAL ESTACIONAL



Fuente: Autores.

Nº 8). Los rodados frescos dan cuenta de un funcionamiento durante el período invernal de la misma manera que la disección lateral del lecho. La condición de torrencialidad es demostrada por la mala clasificación de los rodados y bloques subredondeados y la tendencia a formas más bien combadas y convexas del lecho.

4. Relación vertiente-depósito correlativo: baja montaña y superficie de erosión de Poca Pena

El sector denominado como baja montaña y superficie de Poca Pena obedece su nombre al topónimo más representativo del paisaje aludido. Corresponde a un área considerablemente más baja, con alturas excepcionales del orden de los 1.000 m.s.n.m. en los cerros Yerbas Buenas y Poca Pena. Son sistemas de vertientes modeladas en rocas estratificadas de edad cretácica, que presentan en conjunto, un sistema con

menor presencia de fallas que el área de Aculeo.

5. Sistemas de vertientes monoclinales

Corresponden a sistemas de vertientes esculpidas en rocas estratificadas de variada naturaleza, volcánica, sedimentaria y calcárea marina fosilífera, presentando un característico conjunto de vertientes inversas-conformes, que siguen el buzamiento de los estratos y presentan, un ángulo promedio de 25°- 35°. Los sistemas monoclinales de la Formación Lo Prado son homogéneos en cuanto a la orientación de sus estratos, y varían solo en la composición de ellos.

Destaca en este sentido el sector este, Yerbas Buenas, debido a que las vertientes han sido modeladas en calizas fosilíferas marinas, areniscas y conglomerados con intercalaciones de rocas volcánicas, que

presentan un marcado patrón de secuencias conforme-inversa, que expone los estratos hacia el este.

Patrón similar se observa en las vertientes monoclinales modeladas en rocas volcánicas (miembro medio de la Formación Lo Prado) y en los estratos sedimentarios de areniscas calcáreas fosilíferas marinas (miembro inferior).

El aspecto general de estos sistemas de vertientes monoclinales de baja montaña, es geodinámicamente pasivo, con baja actividad aportante de detritos, pues constituyen vertientes bajas, de divisorias muy redondeadas y solo se percibe aporte de masa desde los estratos culminantes, los cuales son canalizados a través de los *talweds*. Dada la condición de baja altura, estos sistemas no están sujetos a la acción nival y el aspecto general del sistema es de biostasia. En relación con los *talweds*, estos mantienen la condición de

torrenciales, pues se denotan muy incididos y con disponibilidad de material en curso, alimentados por los derrubios generados en los estratos aflorantes.

En el sector de Chocalán, Melipilla, las vertientes monoclinales han sido modeladas en estratos jurásicos de la Formación Horqueta, que es una secuencia volcánica subaérea con intercalaciones sedimentarias continentales (Wall *et al.*, 1996). Las secuencias de vertientes inversas-conformes son muy poco evidenciadas, pues los estratos prácticamente no afloran, existiendo un importante desarrollo de formaciones superficiales que las enmascaran.

El aspecto de estos sistemas es más bien de resistencia, toda vez que existe una reducción de la densidad de la vegetación leñosa esclerófila, concentrada más bien en los *talweds*. Este sector puede ser clasificado como pasivo, desde el punto de vista de

FIGURA N° 9
SISTEMAS DE VERTIENTES CON UNA CONDICIÓN GEODINÁMICA PASIVA, MELIPILLA. EN PRIMER PLANO, FAENAS DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS EN LAS TERRAZAS ALUVIALES DEL RÍO MAIPO



Fuente: Autores.

la condición geodinámica actual de las vertientes, con una actividad estacional limitada a los *talweds*, ya que las cuencas de recepción son pequeñas y de baja altura (Figura N° 9). Su condición geodinámica ha sido establecida sin considerar que en algunos sectores las laderas están siendo intensamente incorporadas para cultivos de frutales, lo cual conlleva la eliminación de la cobertura vegetacional y un manejo topográfico para la preparación de los camellones de cultivo.

Al observar la carta geomorfológica (Figura N° 3) se aprecian dos unidades diferentes que han sido clasificadas como superficie de erosión y vertientes monoclinales indiferenciadas. Este subsistema merece un tratamiento distinto, en la medida que ha sido considerado como una superficie residual, modelada en rocas estratificadas calcáreas y volcánicas.

La presencia de concordancia de nivel de cimas, incluyendo al miembro superior y medio de la Formación Lo Prado, permite aseverar que se trata de una unidad culminante a la cual se asocia un conjunto de vertientes e interfluvios de carácter estructural, de difícil clasificación entre inversa y conforme, dado su carácter geodinámico actual pasivo, es decir, no hay evidencias de disección relevante, pues los interfluvios son muy redondeados y las estructuras están

cubiertas por formaciones superficiales y cobertura vegetal (Figura N° 10).

Esta superficie residual de erosión corta estratos inclinados de diferente litología y constituye un nivel más bajo, probablemente asociado al bloque hundido relacionado a las fallas del sector cerro Yerbas Buenas (Figura N° 2). El borde de la superficie residual de erosión de formas redondeadas y sin presencia de escarpes, coincide parcialmente en el flanco norte con una línea de falla. La red de drenaje asociada, presenta un patrón dendrítico, bastante frecuente en el sector y caracterizado por el considerable número de segmentos de pequeña longitud y muy divagantes.

6. Formas depositacionales correlativas: conos aluviales

Las formas depositacionales correlativas, corresponden exclusivamente a conos aluviales caóticos, conformando un conjunto coalescente de mayor representatividad areal solo en el sector de laderas frente a Isla de Maipo (Figura N° 3), mientras que los otros depósitos de esta naturaleza son más bien de carácter individual, aislados y de pequeño tamaño y altura, debido a que las cuencas de sustentación asociadas son de jerarquía menor. Los conos aluviales de baja montaña en general están muy estabilizados por vegetación, y son solo incididos por *talweds*

FIGURA N° 10
CONO ALUVIAL DE BAJA MONTAÑA, ESTABILIZADO POR VEGETACIÓN NATIVA. LAS VERTIENTES SON GEODINÁMICAMENTE PASIVAS



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 11
CONO ALUVIAL DE BAJA MONTAÑA ASOCIADO A VERTIENTES ESTRUCTURALES EN POSICIÓN INVERSA O SUBSECUENTE. PRESENCIA DE BLOQUES ERRÁTICOS EN LAS LADERAS Y TALWEGS



Fuente: Autores.

torrenciales menores, tal como se observa en el cono de Poca Pena (Figura N° 10), en que al cono principal tributan pequeños sistemas aluvionales, todos muy estabilizados por una abundante y densa vegetación.

En la figura N° 11 se muestra una situación diferente, en donde se exponen importantes estratos de areniscas fosilíferas calcáreas marinas pertenecientes al miembro inferior de la Formación Lo Prado. Si bien, el cono principal está bastante estabilizado, tanto en las vertientes como en los *talweds* hay aporte de masa, toda vez que son visibles bloques erráticos, asociados a procesos de caída de rocas.

Otro aspecto importante de señalar, en cuanto a la posición de los conos de baja montaña, es que estos han drenado directamente hacia las terrazas polifásicas del río Maipo, ya sea al lecho episódico T', o en coalescencia y yuxtaposición con una terraza pleistocénica. En este

contexto destaca el hecho que las partes distales de los conos aluvionales están aterrazados, truncados por la acción lateral de excavación del río Maipo, a partir de lo cual se deduce que estos depósitos no son de morfogénesis actual, sino que heredados del Cuaternario, pues fueron socavados cuando el río depositó el *aluvium* de las terrazas pleistocénicas.

Discusión

Del análisis de las características morfoestructurales y geodinámicas del borde meridional de la cuenca del río Maipo, se establece que el sector obedece a una morfogénesis heredada muy activa, a la cual se asocian los procesos de regolitización que han derivado en el consecuente aporte de masa hacia los *talweds*. La expresión de tal condición dinámica corresponde a los complejos sistemas de conos aluviales coalescentes y su gradación a glaciares de derrame. Estas son formas heredadas y no

están en morfogénesis actual, pero son dinámicas a través de flujos de detritos de carácter estacional y limitados espacialmente a los *talwegs*.

El sector está conformado por vertientes modeladas en estructuras monoclinales, condición no menos importante al considerar el aporte de detritos desde los estratos rocosos aflorantes. Al aplicar la clasificación de Benda *et al.* (2005), los conos aluviales se definen como de carácter erosional, en tanto que los glacis se clasifican como depositacionales, ello según un factor de pendiente y escala temporal de los procesos.

El otro sistema, corresponde también a un sector de montaña modelado en estructuras monoclinales, pero que se encuentra en una posición altimétrica baja, conformando así el piso de baja montaña. Este, morfológica y fisiográficamente es similar al paisaje de la cordillera de la Costa de la región, en tanto que el sector de Aculeo se asemeja al paisaje de media montaña andina.

El sector de baja montaña presenta una condición geodinámica pasiva dado que las vertientes en general aportan escaso material sedimentario, y tal proceso solo está circunscrito a los *talwegs* de las microcuencas. La presencia de conos aluviales de menor tamaño, individuales y bastante consolidados, dan cuenta de esta condición. No obstante, al considerar la clasificación de flujos de detritos de Benda *et al.* (2005), las partes apicales de los conos estabilizados de baja montaña se consideran de carácter erosional.

Con respecto a la asunción de una superficie de erosión denominada Poca Pena, los aportes de Araya (2000) para la definición de estas superficies en la cordillera de la Costa de la Región del Maule, han permitido llegar a establecer las correlaciones de formas, procesos y de tiempos de desarrollo, que permiten concluir que parte del piso de baja montaña corresponde a una superficie de erosión residual.

En relación con el análisis de las condiciones geodinámicas de ambientes de media y baja montaña en dominio de cordillera plegada, es importante destacar que este aspecto siempre ha sido fundamental en los estudios de los pisos de alta montaña, no siendo el rasgo más relevante para la caracterización dinámica de los pisos bajos. En este estudio se ha evidenciado que tal condición estructural incide en la dinamización de los procesos en la baja montaña.

Es importante la incidencia de la vegetación y de las condiciones templado-mediterráneas de la zona, en presencia de un prolongado período de sequía e invierno lluvioso, cuando se desarrolla una dinámica estacional y episódica asociada a eventos pluviométricos importantes, activándose los *talwegs* preexistentes y transportando los materiales en curso.

No obstante lo anterior, la presencia de depósitos correlativos de vertiente está asociada a frentes estructurales, variando en tamaño y complejidad de acuerdo al espesor, altura, posición y naturaleza de los estratos expuestos, tanto en media como en baja montaña. Las condiciones de baja altura implican, en general, que las formas son bastante menos expresivas que aquellas asociadas a ambientes de media montaña. Solo en el caso de laguna de Aculeo, la condición de cimas de mayor altura y condición nival estacional implica depósitos correlativos mucho más grandes y complejos que aquellos observados en el sector de baja montaña.

Conclusiones

Se establece la presencia de dos sistemas morfológicos y dinámicos diferentes, tal es el caso de la cuenca de la laguna de Aculeo y la superficie de Poca Pena. El primero corresponde a un paisaje propio del piso de media montaña, debido tanto a un factor altitudinal como al efecto de la acción nival estacional característica del sector Altos de Cantillana, siendo este el factor fundamental.

En este contexto es importante rescatar los aportes de Weischet (1968) respecto a la condición actual y relictua de los taludes, concluyéndose que tanto los sistemas de cono-glacis de Aculeo como los conos aluviales del sector de baja montaña son relictos.

Del análisis realizado se puede concluir que la consideración del estilo estructural y la naturaleza de las rocas son elementos fundamentales en el establecimiento de la condición geodinámica actual, la cual, sin embargo, no es tan explícita y evidente como en el ambiente de alta montaña en general y media montaña en particular.

Existen, en consecuencia, procesos geodinámicos relictos y actuales que han modelado diferencialmente los sistemas de vertientes-talwegs-conos. En el caso del piso de media montaña, la relación sistemática es vertiente-talweg-cono-glacis, conformando un *continuum* morfológico. En el piso más bajo, tal relación no es observada toda vez que los conos aislados o las coalescencias menores han sido truncadas por la acción dinámica del río Maipo que actúa como agente de erosión, lo que impidió la mantención del *continuum* antes descrito.

Del análisis de las condiciones geodinámicas actuales del bloque cordillerano costero del borde sur de la cuenca del río Maipo, se puede concluir que sus características de plegamiento, condición geotectónica y aporte de detritos no difieren de aquellas propias del ambiente de montaña andina de Chile central, no obstante presentan génesis diferentes.

Bibliografía

ARAYA, J. Análisis de la carta geomorfológica de la cuenca del Mapocho. *Informaciones Geográficas*, 1985, Nº 32, p. 31-44.

ARAYA, J. Toward a classification of slope systems. In: *26 Congress International Geographic Union*. Sydney, 1988, Vol. 1 A2, p. 1:19.

ARAYA, J. Primeras experiencias con una clasificación dinámica de vertientes de montaña. En: *I Taller Internacional de Geoecología de Montaña y Desarrollo Sustentable de los Andes del Sur*. Santiago: Universidad de Chile-Unicef-The United Nations University, 1996, p. 389-399.

ARAYA, J. Desarrollo de superficies de aplanamiento disectadas sobre coast range en la Región del Maule, Chile central. *Investigaciones Geográficas*, 2000, Nº 34, p.77-104.

ARNÁEZ, J. Dinámica y organización espacial de los procesos de evolución de vertientes en montaña. En: GARCÍA, J. (Ed.). *Geoecología de las áreas de montaña*. Logroño: Geoforma ediciones, 1990, p. 33-57

BENDA, L.; HASSAN, M.; CHURCH, M. & MAY, C. Geomorphology of steepland headwaters: the transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association*, 2005, Nº 41, p. 835-851.

BENN, D. & EVANS, D. *Glaciers and Glaciation*. New York: Oxford University Press, 1998.

BERTRAN, P. & JOMELLI, V. Post-glacial colluvium in westwrn Norway: depositional processes, facies and paleoclimatic record. *Sedimentology*, 2000, Nº 47, p. 1053-1068.

BLIKRA, L. y NEMEC, W. Postglacial colluvium in Western Norway: depositional processes, facies and paleoclimatic record. *Sedimentology*, 1998, Nº 45, p. 909-959.

CASTRO, C. P. Caracterización del suelo de conos de deyección y glacis en el borde occidental de la cuenca de Santiago. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 1997, p. 345-356.

CASTRO, C.P.; SOTO, M.V.; IGOR, G. y DELGADO, E. Análisis comparativo de los riesgos geomorfológicos de alta montaña. *Valle del río Limarí y del río*

Cachapoal. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 2002, p. 3-12.

CASTRO, C.P.; SOTO, M.V. y CHÁVEZ, C. Aporte moderno de masa y su implicancia en la definición de niveles de riesgo natural. *Tiempo y Espacio*, 2003, Nº 13, p. 185-199.

CHÁVEZ, C. *Amenazas naturales en media y baja montaña asociados al corredor de comercio Las Leñas, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins*. Santiago: Memoria para optar al título de Geógrafo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, 2005.

EMBLETON, C. & KING, C. *Periglacial Geomorphology*. Great Britain: Edward Arnold, 1975.

FERRANDO, F. *La cuenca Andina del río Mapocho: Determinación de su estado de equilibrio morfodinámico*. Santiago: Informe final Fondecyt 1000-91, Inédito, 1994.

FRENCH, H. *The periglacial environment*. London: Longman, 1976.

GARCÍA, J.; MARTÍNEZ, R. y GÓMEZ, A. La exportación de sedimentos por la red fluvial en área de montaña. En: GARCÍA, J. (Ed). *Geoecología de las áreas de montaña*. Logroño: Geoforma ediciones, 1990, p. 59-93.

HAUSER, A. *Remociones en masa en Chile*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín Nº 45, 1993.

IMAIZUMI, F.; TSUCHIYA, S. y OHSAKA, O. Behaviour of debris flows located in a mountainous torrent on the Ohya landslide, Japan. *Canadian Geotechnical Journal*, 2005, Nº 42, p. 919-931.

KOTARBA, A. Elevational differentiation of slope geomorphic processes in the Polish Tatra Mountains. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 1984, Vol. XVIII, p. 117- 133.

KOTARBA, A. High-energy geomorphic events in the Polish Tatra Mountains.

Geografiska Annaler, 1992, Nº 74 A (2-3), p. 123-131.

LANA, N.; BEGUERÍA, S.; REGÜES, D.; MARTÍ, C.; ARNÁEZ, J. y GARCÍA, J. Transporte de sedimento en suspensión en una cuenca de montaña media, Pirineo central. En: BENITO, G. y DÍEZ, A. (Eds.). *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología*. VIII Reunión Nacional de Geomorfología. Toledo: Sociedad Española de Geomorfología, 2004, Vol. II, p. 171-178.

MARTÍNEZ, R. y GARCÍA, J. Coladas de piedras (debris flows) y dinámica fluvial en río torrentes del Pirineo central: el caso del río Ijuez. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 1990, Nº 16, p. 55-72.

OWEN, P. & SLAYMAKER, O. An introduction to mountain geomorphology. In: OWEN, P. & SLAYMAKER, O. (Ed.). *Mountain Geomorphology*. London: Edward Arnold, 2004, p. 3-29.

SELLAS, D. y GANA, P. *Geología del área Talagante-San Francisco de Mostazal*. Escala 1:100.000. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, Serie Geología Básica, Nº 74, 2001.

SEPÚLVEDA, R. *Líneas estratégicas de un plan de protección para Altos de Cantillana y las cuencas altas de Aculeo*. Santiago: Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal, Escuela de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, 2002.

SOTO, M.V. y CASTRO, C.P. Dinámica de los sistemas de vertientes de alta montaña, cuenca del río Cachapoal, Chile. En: *X Congreso Geológico Chileno*. Concepción: Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra, 2003 a.

SOTO, M.V. y CASTRO, C.P. Geodinámica moderna de vertientes periglaciares de altura, alta montaña de la cuenca del río Cachapoal, Chile. *Investigaciones Geográficas*, 2003b, Nº 37, p.1-19.

SOTO, M.V.; CASTRO, C.P. y CHÁVEZ, C. Caracterización geomorfológica del corredor de comercio Las Leñas, Valle del río Cachapoal, Andes de Chile Central. *Revista Geográfica Norte Grande*, 2004, N° 31, p. 85-98.

WALL, R.; GANA, P. y GUTIÉRREZ, A. *Mapa Geológico del área de San Antonio-Melipilla*. Escala 1:100.000. Santiago:

Servicio Nacional de Geología y Minería, Serie Geología Básica N° 2, 1996.

WEISCHET, W. Zur Geomorphologie de Glatthang-Reliefs in der ariden Subtropenzone des Kleinen Nordens von Chile. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1968, vol. 13, N° 1, p. 1-21.

YOUNG, A. *Slopes*. London: Longman. 1977.