

Cuadernos I. Geográfica	18-19	pp. 47-56	Logroño	1992-93
-------------------------	-------	-----------	---------	---------

## CARTOGRAFIA DE AREAS DE DESASTRES EN CUENCAS ANDINAS DE CHILE CENTRAL. DETERMINACION DE SECTORES DE RIESGO

V. QUINTANILLA PEREZ\*

*RESUMEN.* Se estudian los procesos naturales en la cuenca superior del río Maipo en Chile central, en las vertientes comprendidas entre los 870 y 3.000 m.s.n.m. Mediante el análisis de fotos aéreas pancromáticas, de imágenes Landsat falso color, observaciones sobre el terreno, entrevistas y encuestas a pobladores y visitantes de los lugares cordilleranos se localizan las áreas más recurrentes en procesos de dinámica de montaña.

Los procesos más constantes en la cordillera del alto Maipo hacia los Andes de la ciudad de Santiago son avalanchas, desprendimientos de bloques, derrumbes, flujos de barro, además de la presencia de numerosos conos de gravedad (pedregales) que llegan a menudo hasta el nivel de las primeras terrazas del río.

En general a lo largo de todas las quebradas y laderas de los ríos Maipo, El Yeso y El Volcán predominan las avalanchas, preferentemente en los meses de primavera y comienzos de verano. Los flujos de barro son escasos y existentes particularmente en laderas septentrionales del río El Yeso, estando también presentes en la ladera sur del curso superior del río El Volcán, en el sector denominado de las Amarillas, próximo a Baños Morales. Los desprendimientos de bloques, en cambio, se localizan en casi todas las cuencas y subcuencas del sistema del Maipo y, sobre todo, en la cuenca de los ríos El Yeso y El Volcán superior.

*ABSTRACT.* The geomorphic processes of the upper basin of the Maipo river (Central Chile) are studied in the hillslopes located between 870 and 3.000 m.a.s.l., using Landsat images, terrain analysis and interviews to local peoples. The most frequent processes are snow avalanches, rockfalls, slides, mudflows, as well as the presence of many talus screes. In all of the hillslopes of the Maipo, El Yeso and El Volcán rivers snow avalanches prevail, preferably in spring and early summer. Mudflows are only present in the northern hillslopes of the El Yeso river. Rockfalls appear in almost all of the basins, above all in El Yeso and upper El Volcán basins.

**Palabras clave:** Procesos geomórficos, aludes de nieve, coladas de barro, desprendimientos, canchales, Chile Central.

**Key words:** Geomorphic processes, snow avalanches, mudflows, rockfalls, slides, screes, Central Chile.

---

\* Facultad de Ingeniería. Universidad de Santiago de Chile. Avda. Ecuador, 3469. Santiago

## 1. Introducción

Los desastres en montaña son bastante recurrentes en los Andes de Chile Central, aunque, felizmente, hasta ahora se han cobrado pocas víctimas debido al escaso poblamiento de estos medios. La identificación de los desastres y de los sectores más vulnerables al dinamismo andino es una necesidad urgente y permanente en países como Chile, donde las cadenas montañosas poseen una fuerte actividad e influencia. Por ello, se está llevando a cabo, a través de una sencilla metodología, la identificación de procesos naturales para determinar y cartografiar sectores de riesgos en montaña.

Una de las áreas de investigación se localiza aproximadamente entre los 33°30' Lat. sur y 70°15' Long. oeste, es decir, en la región Metropolitana de Santiago de Chile (Figura. 1).

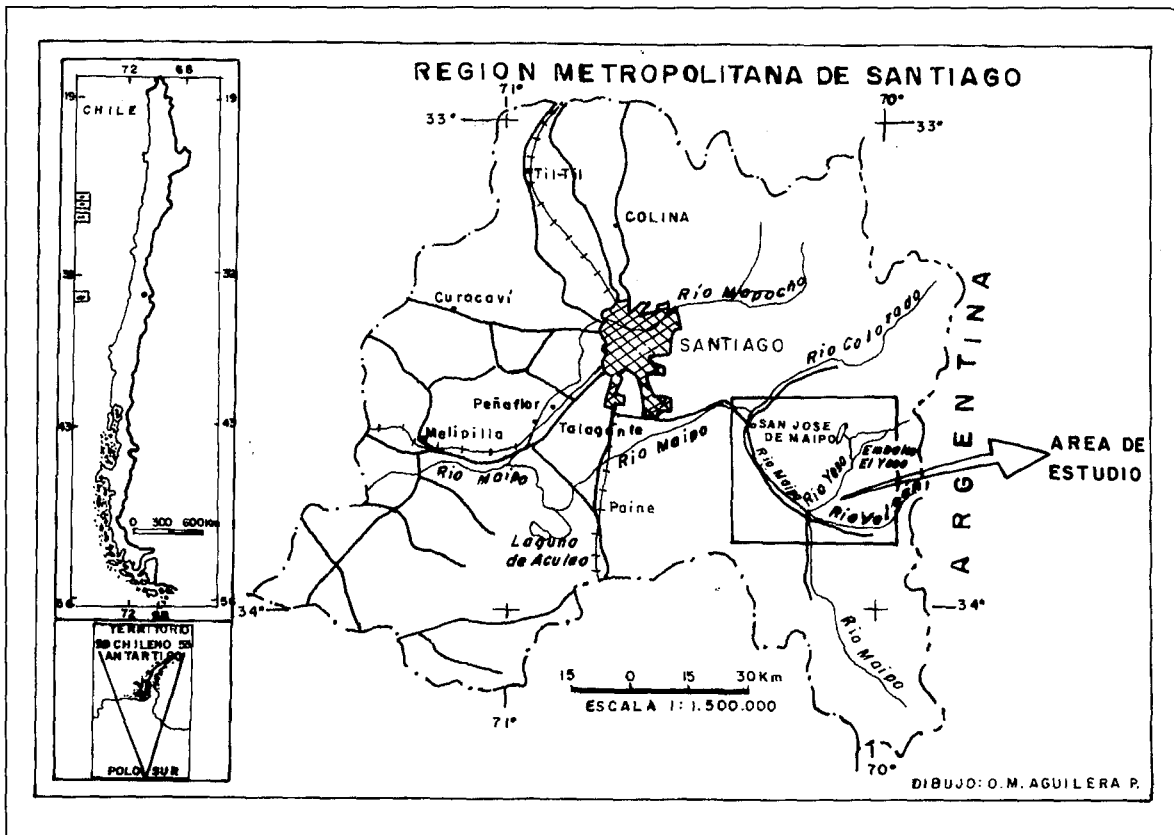


Fig. 1. Localización área de estudio.

El objetivo principal del proyecto es elaborar una cartografía de localización probable de procesos de movimientos en masa que pueda servir de base para una posterior carta de áreas expuestas a riesgos naturales. Esto es de gran importancia en países como Chile que presentan un gran porcentaje de relieves montañosos (alrededor del 70%) y que, además, incrementan su población -permanente o en tránsito- día a día, como consecuencia de la activación de la explotación de recursos o del fomento del turismo en montaña. El presente estudio se enmarca dentro del Proyecto FONDECYT 482-91 y

DICYT 8018912 de la Universidad de Santiago (Departamento de Ingeniería Geográfica).

## **2. Metodología**

La metodología utilizada se basa, especialmente, en el análisis de entrevistas y encuestas realizadas en el terreno a los residentes de áreas potencialmente vulnerables; también en trabajos de campo y en la interpretación de los sectores de estudio a través de sensores remotos y apoyo de algunas imágenes de satélite. Las entrevistas y encuestas son de vital importancia ya que posibilitan obtener información acerca de la ocurrencia histórica y frecuencia de los distintos fenómenos naturales, en tanto que la fotointerpretación hace posible identificar sectores con presencia o alta posibilidad de procesos. Esta última permite en muchos casos comparar la información obtenida a través de las entrevistas.

Las observaciones de campo son vitales y necesarias para tipificar los ecosistemas de montaña. Además ayudan a localizar y conocer el área de la acción mecánica de los distintos procesos, así como a valorar el efecto espacial de sus impactos. La periodicidad de observaciones sobre el terreno en las estaciones de invierno, primavera y comienzo del verano ha permitido seguir en gran parte la evolución y frecuencia a lo largo del año de estos procesos. De esta manera nos ha sido posible identificar y localizar los fenómenos más frecuentes del área de estudio en la cordillera andina como son, entre otros, las avalanchas, rodados, desprendimientos de bloques, derrumbes y flujos de barro, cuya actividad se ve favorecida por las características orográficas y fitogeográficas del sector estudiado.

## **3. Discusión y resultados**

El eje fluvial que da nombre a la cuenca hidrográfica es el Maipo, en cuya hoya se localiza la ciudad de Santiago. Este río nace en el sector del nevado Arhuelles a 3.600 m.s.n.m., en donde confluyen los ríos Alvarado y San Lorenzo. Desde aquí y hasta su desembocadura, en el sector norte de Rocas de Santo Domingo, tiene un recorrido aproximado de 300 kms., irrigando una cuenca hidrográfica de 5.070 km<sup>2</sup>, con un caudal medio de 5.2 m<sup>3</sup>/s.

Dentro del área de estudio el Maipo recibe como afluentes a las subcuencas de los ríos Volcán, Yeso y Colorado. El río Volcán nace en la falda occidental del volcán San José y tiene un recorrido de 35 kms., siendo sus principales afluentes los esteros Morales, Moralito y Amarillo.

El río Yeso se forma al pie del portillo de los Piuquenes y se caracteriza por disponer en su valle de algunos lagos como el Embalse El Yeso (cubeta artificial que provee gran parte del agua potable a la ciudad de Santiago), Laguna Negra y Laguna Lo Encanada.

El río Colorado se origina en la base del cerro Tupungato y tiene un desarrollo considerable de 65 km. de longitud. El afluente más importante de este río es el Olivares que se inscribe en un típico valle tectónico.

Tanto el Maipo como sus tributarios presentan dos crecidas al año relacionadas con las lluvias de invierno y los deshielos de primavera y verano, rasgo típico del clima de carácter mediterráneo de Chile central (Figura 2).

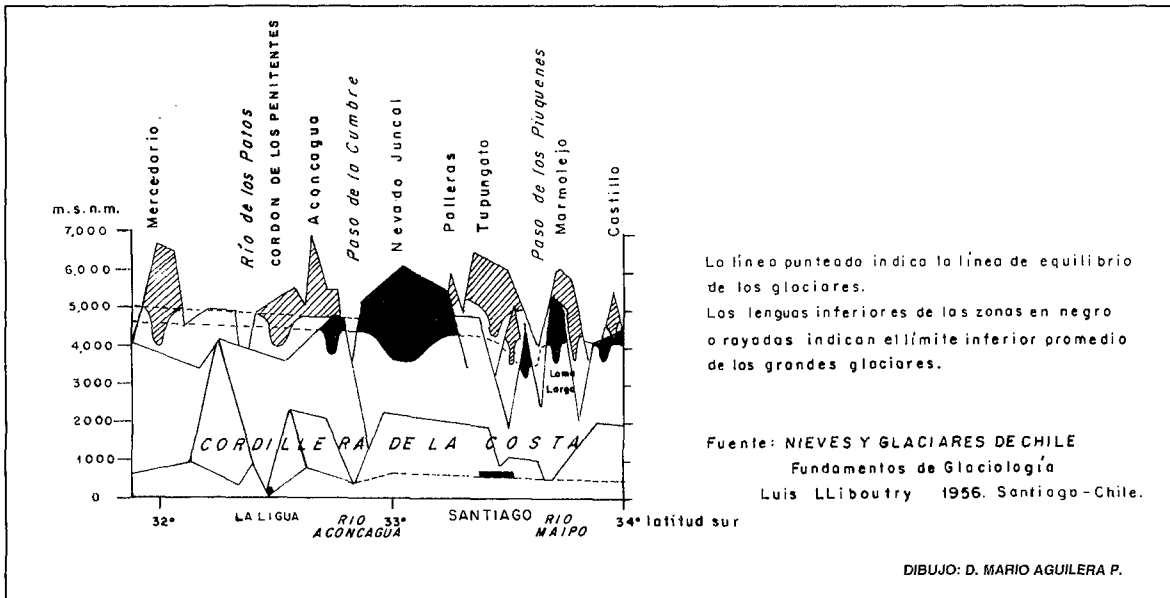


Fig. 2. Perfil esquemático zona central de los Andes chileno-argentinos.

Los procesos naturales más habituales en el área de estudio se ven favorecidos por las características geofísicas del lugar y por la influencia del hombre. Así, por ejemplo, desde el punto de vista geológico las formaciones litoestratigráficas están constituidas en su mayoría por rocas de bajo grado de dureza (calizas, lutitas, yesos, etc.), lo que permite una rápida y fácil meteorización física. Generalmente la roca que ha sido desintegrada con facilidad actúa como sustrato inestable para la acumulación de nieve, lo que permite su deslizamiento y la generación de avalanchas.

Desde el punto de vista morfológico el área de estudio presenta una serie de condiciones favorables a los riesgos naturales. En concreto, los circos y embudos torrenciales constituyen formas cóncavas que se comportan como áreas de acumulación de nieve (condición indispensable para el inicio de avalanchas). A su vez, las quebradas conforman verdaderas sendas por donde se canalizan tanto las avalanchas de nieve como los rodados.

El fuerte desnivel que existe entre las cumbres de los cerros y los fondos de valle (superior a los 2.000 m., en algunos casos, con pendientes de más de 35°) influye tanto en la velocidad que pueden adquirir las avalanchas, los rodados y los bloques que se desprenden de las laderas, como sobre el efecto mecánico de los mismos.

En cuanto a las pendientes predominan en el área las de 20°-30° y 30°-50°. Las primeras se localizan preferentemente en las laderas de solana y las otras

CARTOGRAFIA DE AREAS DE DESASTRES EN CUENCAS ANDINAS DE CHILE CENTRAL

en las de umbría. Según Golubev (1969), pendientes de más de 30° son las más favorables para activar avalanchas. Además este mismo autor identificó en los Andes de Santiago una alta frecuencia anual de avalanchas y corrientes de barro (Figura 3).

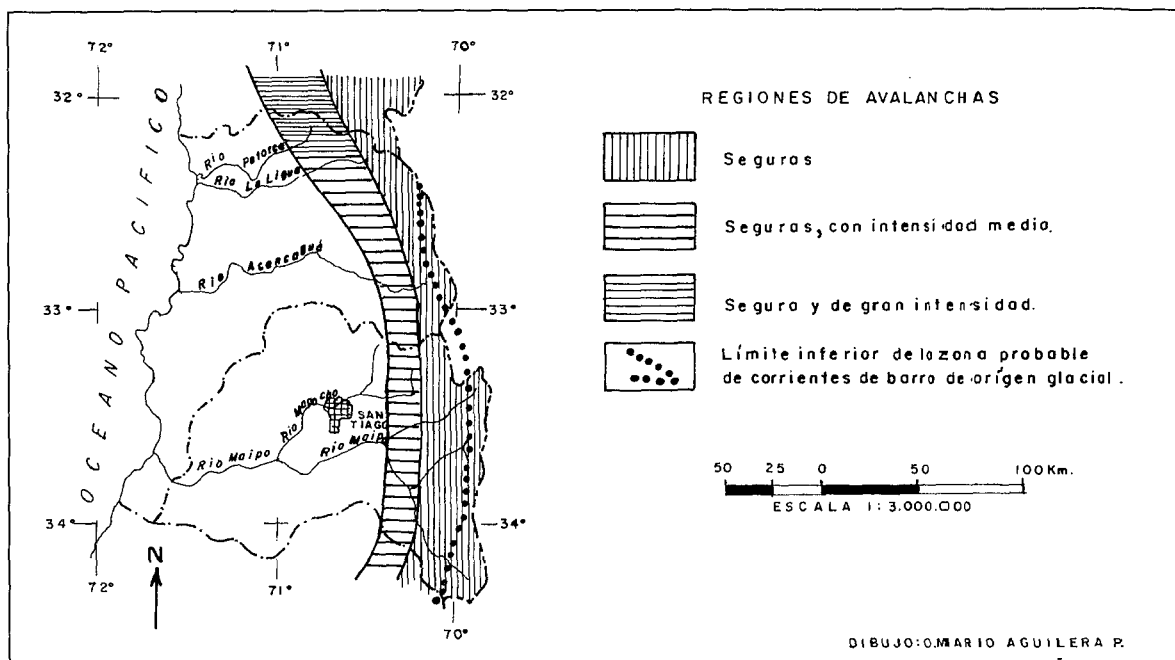


Fig. 3. Avalanchas y corrientes de barro en Chile central. (G. Golubev, 1969).

La cubierta vegetal actualmente existente desempeña un papel mínimo de contención y freno de los procesos. En las partes altas, por encima de los 2.000 m., normalmente de muy abruptas vertientes, las plantas son de carácter arbustivo, espinoso, acojinado y disperso. Frecuentemente, están fuertemente afectadas por los impactos de los materiales de los rodados y aludes. En las medias laderas, la vegetación subarbórea o arbórea también es escasa y dispersa, excepto en algunos fondos de quebradas. Ello es debido al mismo fenómeno antes señalado y a la explotación selectiva que hace el lugareño de las especies leñosas para construcción y combustible. No quedan hoy día (principalmente en el curso superior) cortinas de árboles ni bosques autóctonos compactos que desempeñen una función de freno o de amortiguamiento a avalanchas y rodados.

Los factores climáticos también tienen una gran incidencia en la generación de los fenómenos naturales. El área de estudio presenta ciertos rasgos de un clima mediterráneo con un verano seco y caluroso y un invierno lluvioso bien definido. Pero en particular el clima adquiere características locales como consecuencia directa del modelado del relieve, de la circulación atmosférica, de las exposiciones a la insolación y de la posible llegada de las influencias alóctonas. Las precipitaciones suelen ser intensas y prolongadas a menudo nivosas pudiendo sobrepasar, en algunas ocasiones, los 100 mm. diarios. Con frecuencia en verano hay tempestades eléctricas en la alta cordillera. Tales lluvias pueden originar avalanchas y activar los rodados duran-

te varios días seguidos, como ocurrió en Julio de 1957 cuando una avalancha destruyó completamente el refugio del Colegio Verbo Divino y el rodado Amarillo se activó durante varios días (localidad de Lo Valdes, curso superior del río Volcán).

En cuanto a las temperaturas hay que destacar que la amplitud térmica diurna es considerable (13°C o más), contribuyendo eficazmente a la meteorización física. Además las altas temperaturas de los meses primaverales producen un gran deshielo (después de un nivoso invierno), provocando las llamadas avalanchas de primavera que son muy frecuentes en el área (datos meteorológicos obtenidos de estaciones en la cuenca superior del sistema: El Yeso, El Maiten, Los Queltehues).

Por otra parte, el factor sísmico juega un papel importante en la dinámica de los procesos. Con frecuencia los sismos generan derrumbes o, incluso, desprendimientos de glaciares que provocan aludes. También la actividad volcánica, como es sabido, provoca el desencadenamiento de procesos de montaña y en la cadena andina hay trágicos ejemplos al respecto (BORDE, 1960).

Es importante destacar las características fitogeográficas del lugar ya que, al no existir una cubierta vegetal continua, los procesos de movimientos en masa pueden actuar rápidamente, sin encontrar obstáculos que aminoren su fuerza de desplazamiento.

Las formas vegetales de la cuenca superior del río Maipo se adaptan fundamentalmente a la morfología del relieve y a las características del clima, lo cual es claramente observable en algunas fotos pancromáticas a gran escala cuando las comunidades están dispersas.

Las vertientes y laderas en torno a los 1.800 m. están actualmente cubiertas de un matorral esclerófilo, de fisonomía abierta o dispersa, adaptado nítidamente a la fuerte variación estacional y altitudinal del clima. Por consiguiente las laderas de exposición norte pierden mucha humedad y las recubre preferentemente un matorral arbustivo xerófito con diferentes plantas espinosas y cactáceas. Con frecuencia estos conjuntos vegetales están interrumpidos por derrubios, grandes bloques y rocas, detectables a través del proceso Thematic mapper del Landsat II (1984). Sólo en el contacto entre las laderas y las terrazas se desarrolla una vegetación algo continua, sobresaliendo árboles esclerófilos como el Quillay (*Quillaia saponaria*), el Litre (*Lithrea caustica*), el Boldo (*Peumus boldus*), algunos Guayacanes (*Porliera chilensis*) y Frangeles (*Kageneckia angustifolia*).

Después de la confluencia del río Yeso con el río El Volcán (más o menos a los 1.250 m.s.n.m), la vegetación montañosa va adquiriendo frecuentemente un carácter arbustivo, siendo cada vez más raros los árboles nativos. Más o menos a la altura de los 2.000 m. las laderas montañosas de las cuencas de los ríos Yeso y Volcán muestran un típico carácter fitoandino, con predominio de una estepa arbustiva. Antes de los 3.000 m. esta formación es reemplazada por la estepa de arbustos acojinados de hierbas y gramíneas duras como el Coirón. En estas alturas las pequeñas depresiones y terrazas cobijan comunidades tipo vegas utilizadas para pastoreo estacional (QUINTANILLA, 1981 y 1983).

En los altos valles de los ríos Maipo, Volcán y Yeso la vegetación nativa ha sido muy afectada por la acción antrópica siendo la minería, la actividad agro-

pastoril y el turismo los principales responsables de la degradación de las comunidades de plantas. El deterioro, no obstante, es menos en el Maipo superior, donde la actividad minera es reducida. Este conjunto de actividades están activando la formación de senderos de erosión en diversos sectores.

Según lo descrito, las condiciones físicas no son las únicas que favorecen la dinámica geomórfica del área de estudio. La acción del hombre, desde la época de la conquista española, ha influido sobre todo a partir de la destrucción de la vegetación (apertura de espacios para caminos y asentamientos, leña para combustible y construcción). La explotación minera, que data de hace más de medio siglo y se centra principalmente en la pequeña minería, ha producido cambios profundos en el medio ambiente al remover miles de toneladas de materiales. Además el uso de explosivos produce verdaderos temblores que hacen rodar por las pendientes todo tipo de materiales. Actualmente, trabajan compañías explotando yacimientos de cal y yeso en la cuenca superior (río El Volcán y El Yeso, por ejemplo).

La introducción del ganado también ha generado modificaciones en el paisaje (cuando decenios atrás estos sectores eran todavía áreas trashumantes). Hay que destacar la acción de los caprinos que tienen un gran efecto destructivo en las plantas y suelo, al igual que el pastoreo libre de los animales en terrenos muy pendientes. Las vegas son las más afectadas por el sobretalaje de verano y parte del otoño.

Igualmente la acción antrópica se manifiesta a través de las actividades recreacionales como la acampada, los paseos a caballo y mula o la acción directa del excursionista. El uso de senderos en laderas más o menos abruptas suelta el material del suelo. La apertura reciente de pasos para vehículos hacia el glaciar El Morado, por ejemplo, puede también influir en el deterioro del medio.

Las imágenes Landsat 1975-79 y 1984 en la comparación de falso color, a pesar de su tamaño mediano de escala, permiten observar los cambios en el paisaje debido a las causas citadas (Figura 4).

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

Los fenómenos naturales más habituales en el sector de estudio son las avalanchas, rodados, desprendimientos de bloques y flujos de barro. Las primeras son muy peligrosas pues poseen un gran efecto destructivo, activándose principalmente durante el invierno y primavera en casi toda la zona de estudio, especialmente en las subcuencas de los ríos Yeso y Volcán, donde las características geomorfológicas y meteorológicas favorecen su movilidad. En la cartografía hemos dado mayor tratamiento a las avalanchas –aunque se superpongan a otros procesos en el mismo espacio– ya que son las que más daño ocasionan a las comunidades humanas como históricamente ha sido comprobado.

Los rodados y flujos de barro también son frecuentes aunque menos comunes que las avalanchas. Ocurren generalmente en otoño e invierno, en conexión con precipitaciones anormalmente intensas. También ocasionalmente se activan en verano.





Los desprendimientos de bloques son muy habituales, frecuentes y temidos en toda el área de estudio durante todo el año y a cualquier hora del día, especialmente cuando hay viento. Suelen bloquear con frecuencia el acceso a los caminos.

Para concluir hay que destacar que todos los fenómenos estudiados tienen como denominador común el deslizamiento de materiales en una pendiente de una ladera de montaña. En la medida que esta ladera tenga un ángulo o un desnivel significativo se producirán aumento de velocidad, convirtiendo el leve movimiento inicial en una masa destructiva.

Según lo dicho, es evidente la importancia de una cartografía como expresión gráfica y visual que permitirá conocer la localización de las áreas con una tradición de fenómenos naturales, lo cual, a su vez, permitirá definir los sectores vulnerables y con riesgos y recomendar medidas de prevención y control, especialmente a aquellos organismos con responsabilidad en el control de los ecosistemas andinos.

Finalmente, hay que señalar que la metodología utilizada es aplicada regularmente en algunos países europeos, como Francia y Suiza, países con una gran frecuencia de riesgos naturales de montaña.

Esperamos contar para una etapa posterior de investigación, con el apoyo de otros sensores remotos más precisos para afinar la cartografía de estos procesos. Particularmente esperamos tener acceso a escenas en Thematic Mapper y a las imágenes de satélite Spot de alta resolución.

Los resultados preliminares de la aplicación de esta técnica se dibujaron en las cartas topográficas El Volcán (33°45' LS - 70°00' LW); embalse El Yeso (33°30' LS - 70°00' LW) y San José de Maipo (33°30' LS - 70°15' LW): escala 1:50.000, fondos del Instituto Geográfico Militar de Chile, que cubren gran parte de la cuenca superior de la hoya del río Maipo (la Figura 4 muestra una síntesis a pequeña escala del área de estudio).

La posterior jerarquización del área de riesgos puede efectuarse tomando en cuenta distintas consideraciones o variables: áreas pobladas o no, los caminos, la infraestructura, la actividad ganadera, el uso público de la montaña, la captación de aguas para canales de riego, etc.

### Referencias bibliográficas

- ABELE, G. (1984): Derrumbes de montaña y morrenas en los Andes chilenos. *In. Revista de Geografía Norte Grande. Santiago*
- BORDE, J. (1960): Las incidencias cataclísmicas en la morfología de los Andes de Santiago. *In. Revista Informaciones Geográficas, 7. Universidad de Chile.*
- BORGEL, R. (1966): Geomorfología de la cuenca de Santiago. *Estudios Geográficos. Universidad de Chile*
- CEMAGREF (Centre Technique du Maquinisme agricole de Genie Rural des Eaux et Forest). (1981): *Plan de las zonas expuestas a las avalanchas.* Ministerio de Agricultura. Grenoble.
- CEMAGREF (1983): *La Carte de localisation probable des avalanches.* Ministère d'Agriculture. Division de Nivologie. Grenoble.

- GOLUBEV, G. (1969): Avalanchas y corrientes de barro en Chile. *Rev. Inf. Geog.*, 17: 31-74, Universidad de Chile. Santiago.
- HAUSER, A. (1985): Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. In. *Revista Geológica de Chile*, 24.
- LEON GALLARDO, R. (1984): Las cartas de pendiente como complemento de los Atlas de avalanchas. *Jornadas de Hidrología de nieve y hielos en América del Sur*. MOD/DGA. Santiago
- LLIBOUTRY, L. (1956): *Nieves y glaciares de Chile*. Editorial Universitaria. 250 pp. Santiago.
- QUINTANILLA, V. (1981): Fitogeografía de la cuenca superior del río Maipo, Chile central. *Rev. Terra Australis*, 25: 57-73, Santiago de Chile.
- QUINTANILLA, M. ( 1989): *Determinación de riesgos naturales en la cuenca superior del río Maipo: sector San Gabriel-Lo Valdes*. Memoria para obtener el grado académico de magister en Ciencia Aplicada. Universidad de Santiago de Chile.
- ROCH, A. (1987): El mecanismo de desprendimiento de avalanchas. *Seminario Internacional sobre manejo de nieve y control de avalanchas*. Escuela C. Civil. Universidad Católica de Chile. Cía. Minera Disputada de Las Condes. Santiago.