CADINCUA
COMINCUA

Revista Cuaternario y Ciencias Ambientales. Publicación Especial Nº 4

Zonificación de peligrosidad de procesos de remoción en masa en la cuenca del río Salado. Mendoza, Argentina

Lydia Elena Espizua [1] y Jorge Daniel Bengochea [2]

Hazard zones of mass-wasting process in the rio Salado Basin. Mendoza, Argentina

The study is based on air-photograph interpretation, Landsat satellite imagen and field checking. The work presents two types of maps at regional scale of the Río Salado basin in the Central Andes of Mendoza. One is a base map that shows the distribution and classification of historic and pre-historic mass-wasting processes (rockfall, slides, flows and complex); the other is a map of the hazard zones prone to instability classified into three degrees of hazard, in orden to provide a rational land-use planning. A relationship between severe rainfalls and the occurrence of rockfalls and flows was found. In addition, a correlation between the lithology and certain types of landslide events was detected.

Palabras clave: Mapa de zonas de peligrosidad. Procesos de Remoción en masa. Riesgo geológico. Desastres naturales.

Key words: Map of the hazard zones. Mass-wasting process. Geologic hazard. Natural disasters.

Introducción

El término "remoción en masa" denota el movimiento hacia abajo y afuera, de los materiales formadores de una ladera, compuesta por rocas, detritos, suelos o combinaciones de esos materiales. El proceso, puede proceder por uno de los tres tipos principales de movimiento: caída, deslizamiento y flujo o por sus combinaciones (Varnes 1958). El proceso de remoción en masa, es un fenómeno que involucra una gran cantidad de combinaciones entre materiales y agentes disturbantes, de las que resulta un fenómeno transicional, en el cual existen todas las gradaciones. Esta clasificación está basada en el tipo de movimiento y el tipo de material involucrado. Se siguió la clasificación de Varnes (1958) simplificada (Tabla 1). No se tuvo en cuenta los procesos de soliflucción y avalanchas de nieve y hielo.

Los flujos, deslizamientos y caída de rocas son los eventos geológicos más comunes en los Andes de Argentina. Por lo tanto, se hace evidente que son necesarios estudios regionales y en detalle para lograr una mejor predicción y determinación de aquellas áreas con pendientes proclives a la desestabilización.

El área de estudio está situada a los 35°10' de lat. S y 70°00' long. W (Fig. 3), abarcando 800 km². La cuenca del río Salado está sujeta a un incremento de los medios de recreación en los últimos años, debido al desarrollo de centros de sky y a la construción de hoteles, rutas de acceso etc.

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación regional de los procesos de remoción en masa y sus formas asociadas, la distribución areal y clasificación de los eventos históricos y pre-históricos, y realizar una zonificación del grado de peligrosidad en términos de probabilidad de ocurrencia de un evento, a efectos de brindar una información útil para la planificación del uso de la tierra.

Metodología

El trabajo se basó en fotointerpretación empleando fotografías aéreas a escala 1:50.000 correspondientes a marzo-abril de 1963, una imagen satelitaria Landsat Thematic Mapper (TM) de febrero de 1986 y observaciones en el terreno. Debido a la deficiencia de cartografía existente, se realizó un plano base a partir de la imagen satelitaria y sobre el mismo se ubicaron los eventos de remoción en masa y la áreas de peligrosidad. Se recopiló información sobre los sismos ocurridos en la región, ubicación de

[1] Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Casilla de Correo 330 (5500). Mendoza, Argentina
e-mail: lespizua@lab.cricyt.edu.ar
[2] Geólogo Consultor. e-mail: bengochea@lanet.com.ar

TIPO DE MOVIMIENTO		TIPO DE MATERIAL			
A	CAIDA (Fall)	Roca		Suelo	
		CAIDA DE ROCAS (Rockfall)			
B	DESLIZAMIENTO (Slide)	Pocas unidades		Muchas unidades	
		ROTACIONAL ASENTAMIENTO (Slump)		PLANAR DESLIZAMIENTO DE ROCAS (Rockslide)	
C	FLUJO (Flow)		MATERIAL INCONSOLIDADO		
			Bloques	Detritos	> 50% de arena, limo y arcilla
		Seco ↓ Húmedo	FLUJO DE ESCOMBROS (Rock fragment flow)	FLUJO DE DETRITOS (Debris flow)	FLUJO DE BARRO (Mudflow)
D	DESLIZAMIENTO COMPLEJO (Complex landslide)	Combinación de materiales y tipos de movimiento			

Tabla 1. Clasificación de procesos de remoción en masa (Varnes 1958, modificada).

epicentros y magnitudes, como así también los registros de precipitaciones y temperaturas de distintas estaciones meteorológicas de la zona.

Geología regional

Las rocas más antiguas en este sector de los Andes de acuerdo con Yrigoyen (1979) son las correspondientes al Grupo Choiyoi, potente conjunto eruptivo de edad permotriásica que aflora a lo largo de unos 40 km en una franja elongada N-S. En discordancia se apoyan sedimentos marinos y continentales que corresponden al Mesozoico. Discordantemente sobre los terrenos jurásicos-cretácicos se presenta una potente secuencia volcánica terciaria cuyo afloramiento más importante se halla en la zona al sur de Valle Hermoso. En toda la región aparecen numerosos cuerpos intrusivos terciarios de escaso desarrollo areal y que composicionalmente varían desde términos ácidos a mesosilícicos. Estructuralmente la zona de estudio se caracteriza por una predominancia de plegamientos con fracturación subordinada, tendencia que aumenta a medida que se avanza hacia el sur. En la zona más oriental se presenta una estructuración más compleja constituyendo la Faja Plegada y Corrida de Malargüe.

De edad cuaternaria se distinguen coladas de basaltos, depósitos morénicos y terrazas glacifluviales correspondientes a distintos avances glaciarios.

Sísmica

Se recopiló información sísmica de la región entre los 69°-73° long. W y 34°-37° lat. S, obteniendo un listado de 1020 sismos de variadas magnitudes producidos desde el año 1928 hasta octubre de 1998, de acuerdo a información suministrada por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), y el Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Se consideraron aquellos de magnitud superior a 3 y se realizó un mapa de ubicación de epicentros en el área de estudio y zonas circundantes, observándose un aumento en cantidad de sismos y magnitudes hacia el W (Fig. 1). Los movimientos sísmicos se reconocen como uno de los factores predominantes en la iniciación de deslizamientos. Debido a la escasa información histórica existente en el área sobre la ocurrencia de deslizamientos, no se pudo establecer la relación de éstos con los sismos.

Registros meteorológicos

La relación entre la magnitud de las precipitaciones y la frecuencia de los deslizamientos y de los flujos ha sido estudiada por muchos autores y esto ha sido comprobado en el estudio realizado sobre procesos de remoción en masa en el valle del río Mendoza (Espizua y otros 1991, 1993) y en el valle del río Grande (Espizua y otros, inédito). Los movimientos de material en pendientes generalmente ocurren en dos períodos del año: en primavera después de la fusión de la nieve y en verano después de lluvias torrenciales. En el área de trabajo se pudo comprobar claramente esta relación durante la verificaciones en el terreno, en donde la ocurrencia de caída de rocas y flujos, están asociados a lluvias torrenciales.

En la zona hay cuatro estaciones meteorológicas: Valle Hermoso, a 2294 m.s.n.m.; Bardas Blancas, a 1450 m.s.n.m.; Malargüe, a 1423 m; El Sosneado, a 1450 m.s.n.m.

La figura 2 muestra las medias mensuales de la precipitación y de la temperatura en estas cuatro estaciones. Se

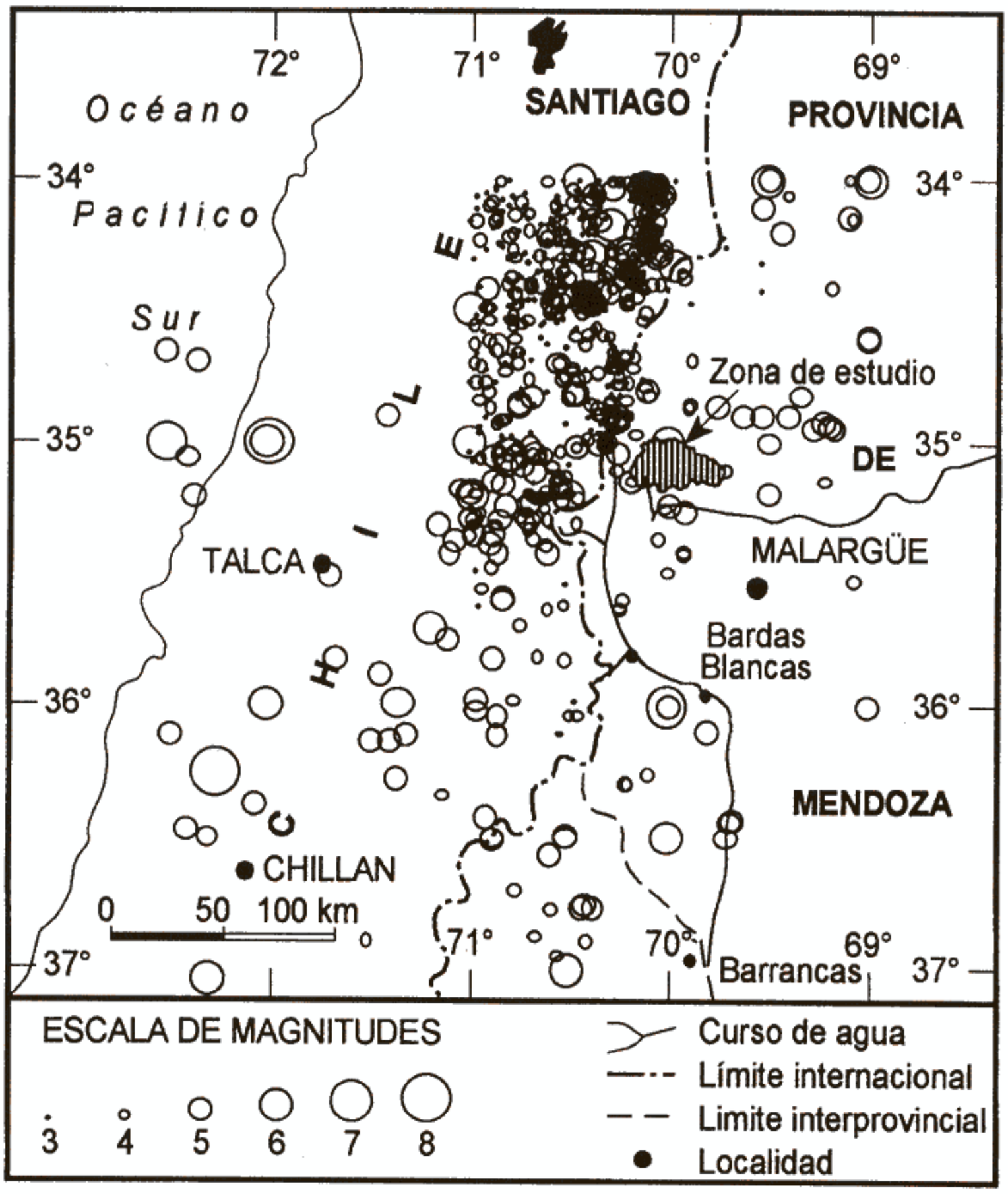

Figura 1. Ubicación de sismos (epicentros y magnitudes).

puede observar que aparecen dos períodos bien definidos, uno invernal y otro estival. Para la estación de Valle Hermoso, las temperaturas medias mensuales muestran un descenso de 7°. Los meses de junio-julio-agosto presentan medias por debajo de 0°C. En general en las estaciones de Valle Hermoso, Malargüe y Bardas Blancas, las precipitaciones máximas medias mensuales coinciden con las temperaturas medias mensuales mínimas, por lo que la mayor precipitación mensual ocurre en invierno en forma de nieve, principalmente en Valle Hermoso, mientras que hacia el E puede ser nieve y lluvia. Esa correspondencia no se observa tan claramente en la estación meteorológica El Sosneado.

Si consideramos la precipitación media anual, ésta se incrementa de E a W desde 220 mm en Malargüe, 231 mm en El Sosneado, a 401 mm en Bardas Blancas y llega 940 mm en Valle Hermoso.

Eventos de remoción en masa

Se han mapeado 47 eventos históricos y prehistóricos, o sea los que tuvieron lugar recientemente y aquellos ocurridos antes de los registros escritos por el hombre, aunque en la mayoría de los casos no se ha podido realizar una diferenciación entre ellos porque es difícil precisar la edad de los eventos debido a la escasez de datos históricos. Se puede estimar, con un alto grado de seguridad, que este tipo de fenómenos ocurrieron en el cuaternario hasta el presente.

Los fenómenos de mayores dimensiones son los flujos, siendo éstos últimos los más frecuentes. Las caídas de rocas están asociadas a rocas masivas ígneas, fracturadas y diaclasadas, y como consecuencia de fuertes lluvias y/o vientos. Si bien este fenómeno no es tan espectacular como los otros, cuando se produce en lugares poblados o rutas, su peligrosidad hace que puedan llegar a requerir medidas de prevención para evitar accidentes.

El valle del río Salado tiene en general una orientación W-E (Fig. 3). Al analizar la información obtenida se puede observar que los flujos están orientados preferentemente hacia el E, SE, S y SW y los deslizamientos hacia el N y S. La predominancia de los flujos orientados hacia el S y hacia el E se debe, en parte, a que esas laderas son más

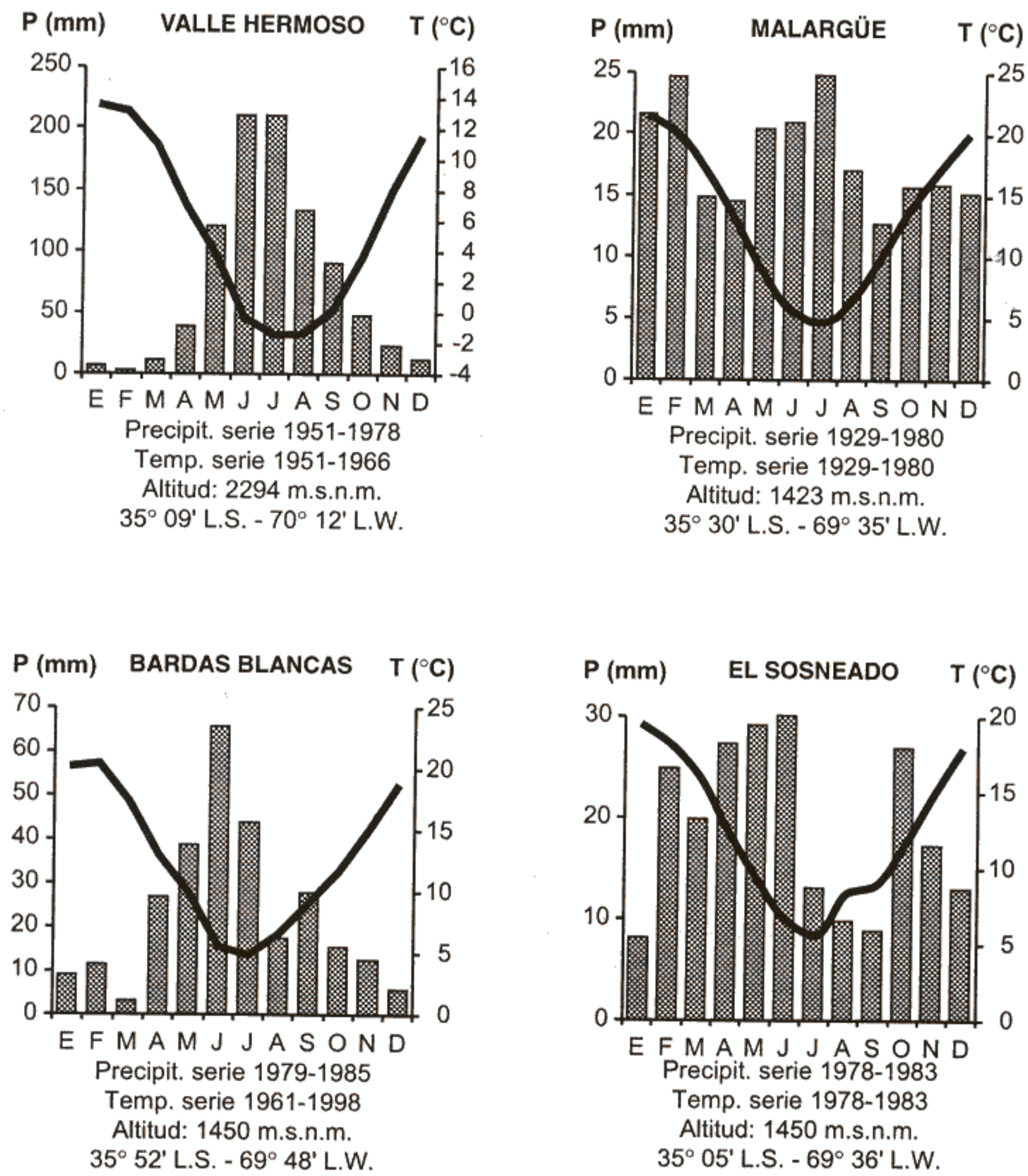

Figura 2. Registros de precipitaciones (P) y temperaturas (T) medias mensuales.

frías, acumulan más nieve y ésta permanece por más tiempo, por lo tanto, en la estación de ablación hay una mayor cantidad de agua de fusión. La permanencia de nieve en las laderas frías produce una meteorización física y química más intensa de la roca. En la caída de rocas tiene importancia las fuertes precipitaciones en el verano y los fuertes vientos.

En la cuenca del río Mendoza, se encontró que hay una alta correlación entre determinados tipos de eventos de remoción en masa y la litología. Los deslizamientos y caídas de rocas están asociados a lugares donde afloran formaciones de rocas masivas, compactas, muy resistentes. En cambio, los flujos tienen una relación muy directa con formaciones friables, donde las rocas son poco resistentes y producen gran cantidad de detrito fino, indispensable para que ocurran estos eventos (Espizua y otros 1991, 1993); esto mismo fue observado en la cuenca del río Salado. En la cuenca del río Grande, también hay una tendencia similar (Espizua y otros, inédito).

Se han elaborado dos mapas a escala regional en la cuenca del Río Salado. Uno muestra los procesos de remoción en masa y sus formas asociadas, la distribución areal y clasificación de los eventos ocurridos recientemente y en el pasado (Fig. 3). En otro, se han delimitado las zonas de peligrosidad donde se estima que podrían ocurrir futuros eventos de remoción en masa, los cuales constituyen en cierta forma un mayor o menor peligro u obstáculo para la actividad humana e infraestructuras (Fig. 4).

Se realizó la descripción de cada evento estableciéndose la ubicación geográfica, coordenadas geográficas, cota máxima y mínima, longitud, orientación, geología, infraestructura cercana y la actividad del proceso, el cual según Brunsden y Prior (1984) puede ser activo, inactivo o potencial.

Discusión

El mapa de zonificación fue elaborado considerando el grado de peligrosidad por la ocurrencia potencial de pro-

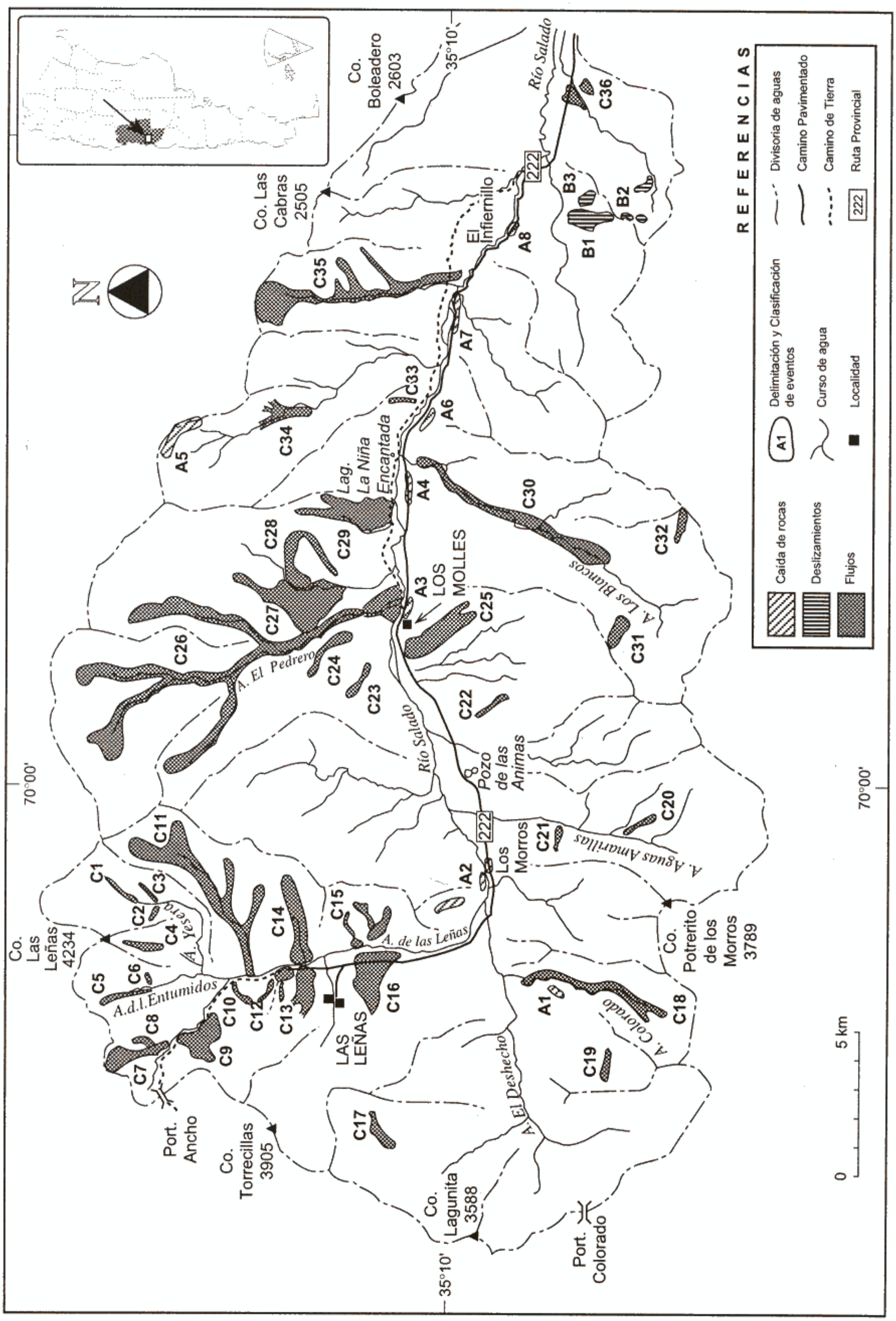

Figura 3. Mapa de procesos de remoción en masa en el valle del río Salado.

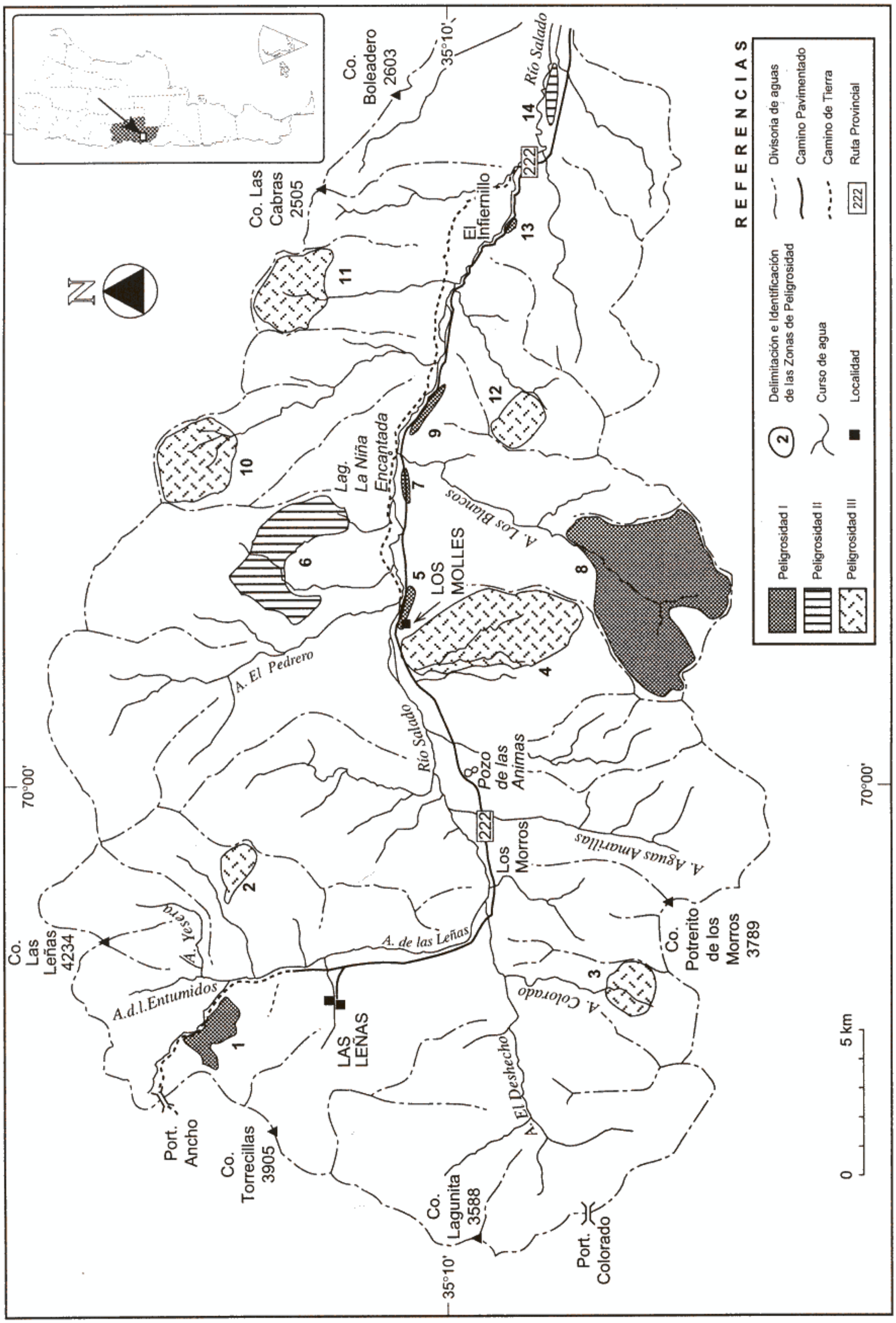

Figura 4. Mapa de zonificación de peligrosidad de procesos de remoción en masa.

cesos de remoción en masa. Una consideración importante es que el rango de una categoría de peligrosidad, es una medida cualitativa más que cuantitativa y que la asignación de áreas en una u otra categoría permanecerá constante mientras no se produzcan modificaciones en el terreno.

Tres factores han sido tenidos en cuenta para establecer los distintos grados de peligrosidad: condiciones necesarias para que se produzca el evento, magnitud del impacto y la infraestructura propensa a ser dañada. Entre las condiciones necesarias, se analizaron las características topográficas, estructurales, litológicas, climáticas y la presencia de eventos anteriores en el área. En lo que se refiere a la magnitud del impacto, se ha tenido en consideración el tipo de fenómeno que podría producirse y las dimensiones que podría alcanzar. En una tercera instancia se ha analizado la infraestructura que podría verse involucrada. De esta manera se han establecido tres categorías de peligrosidad (desde I a III), en las cuales el grado I es el de mayor peligro y disminuye paulatinamente.

Una de las características de los eventos de remoción en masa, es que es muy difícil pronosticar cuando se van a producir. En algún tipo de eventos es más factible poder estimarlo, como sucede en el caso de los flujos de detritos y de barro, ya que son eventos recurrentes, o como en el caso de caída de rocas, donde el intervalo de recurrencia suele ser de muy corto plazo. Para los deslizamientos, el pronóstico es prácticamente imposible ya que en un alto porcentaje, el movimiento puede ser iniciado por un sismo y estos son impredecibles hasta la fecha.

Se diferenciaron los siguientes grados de peligrosidad por procesos de remoción en masa:

PELIGROSIDAD I: Dentro de esta categoría, que es la de mayor peligrosidad, se prevé que podrían ocurrir caída de rocas y flujos que afectarían la ruta Provincial 222, caminos, e infraestructura de lugareños. Las áreas en las cuales se producen caídas de rocas están sujetas a eventos de menor magnitud pero de mayor frecuencia, por lo tanto, las infraestructuras edilicias deben ser evitadas, y en las rutas o caminos se debe disminuir el peligro en esas áreas. Las áreas de peligrosidad I en la figura 4 (N° 5, 7, 9, 13) presentan una topografía abrupta, afloramientos de rocas ígneas del Terciario, altamente meteorizadas, diaclasadas, las que originan gran cantidad de bloques, que en épocas de fuertes lluvias y/o vientos producen caída de rocas sobre la ruta Provincial 222. El área de peligrosidad I (N°13) se ubica en el Cerro Blanco, inmediatamente al sur del Infiernillo, en la margen sur del río Salado. En el sector denominado Cerro Blanco, la traza de la ruta Provincial 222 ha sido construída atravezando una morena constituída mayoritariamente por bloques con bajo grado de consolidación, produciéndose una continua caída de rocas directamente sobre la ruta. En el área de peligrosidad I (N°1) el proceso que podría ocurrir es el de flujos de detritos. En la ladera se presentan una serie de flujos de detritos paralelos que afectan la traza de la ruta Provincial 222, que comunica la localidad de las Leñas con Valle Hermoso, llegando en algunos casos a producir el corte de la misma. La litología presente (rocas friables del Grupo Choiyoi), la topografía abrupta y la presencia de agua de fusión, o fuertes precipitaciones durante el verano, son factores proclives para la formación de estos flujos. En el área de peligrosidad I (N°8) en el arroyo Los Blancos, afloran rocas sedimentarias de grano fino, meteorizadas. En general desde las nacientes de la cuenca y a lo largo de 6,5 km por 7 km de ancho, el área es muy inestable con abundante material detrítico fino, con evidencias de movimiento de taludes. Por ejemplo, en el mes de marzo de 1992, se observó la ocurrencia de un flujo de barro que destruyó un puente construído sobre el arroyo Los Blancos y cortó la ruta Provincial 222. Esta cuenca presenta sectores con todos los factores necesarios para producir flujos, como son: topografía abrupta, presencia de material detrítico fino inconsolidado y evidencia de movimiento de taludes, por lo tanto, ante la presencia de agua proveniente de fuertes lluvias o deshielos rápidos, se producirá este tipo de eventos de remoción en masa. La infraestructura que podría verse involucrada sería la ruta Provincial 222.

PELIGROSIDAD II: En esta categoría se consideran aquellas áreas vulnerables a la ocurrencia de eventos de remoción en masa, pero el peligro de que las infraestructuras en el área sean afectadas es menor por estar las zonas de peligro más alejadas de las mismas.

La zona de peligrosidad II (N° 6) a unos 3 km al NE de Los Molles, presenta un área de peligrosidad en donde se podrían producir flujos en épocas de fuertes precipitaciones estivales, pues es un zona con predominio de materiales finos, sedimentitas mesozoicas, en pendientes con inclinación media. En el mes de marzo de 1992, se produjo un flujo de barro después de una fuerte lluvia. La infraestructura cercana es la antigua ruta 222 y construcciones aisladas.

PELIGROSIDAD III: Si bien la posibilidad de ocurrencia es algo más remota, de producirse un evento este no dañaría ningún tipo de estructura. En las áreas consideradas como de peligrosidad III se podrían producir flujos. En general afloran sedimentitas del mesozoico con abundante material detrítico, en pendientes medianas a fuertes, que en épocas de lluvias pueden dar lugar a la formación de flujos.

Conclusiones

- Se mapearon 47 eventos de remoción en masa (caída de rocas, deslizamientos y flujos), predominando los flujos los cuales están orientados preferentemente hacia el E, SE, S, SW.
- Se encontró que hay cierta relación entre la litología y la ocurrencia de procesos de remoción en masa. En las zonas compuestas en gran proporción por rocas friables, se encuentran distribuidos los flujos o se prevé que ellos ocurran. Los deslizamientos en general se han producido como consecuencia de una serie de asentamientos por inestabilidad de la base. Las caídas de rocas se producen en zonas donde afloran rocas resistentes y masivas, meteorizadas y diaclasadas.

– Se comprobó que los flujos y caídas de rocas generalmente ocurren después de la fusión de la nieve y de lluvias torrenciales.
– El plano de zonación fue elaborado considerando el grado de peligrosidad potencial de procesos de remoción en masa. Se diferenciaron tres categorías de zonas de peligrosidad (I - III). Se han tenido en cuenta tres factores para establecer los distintos grados de peligrosidad potencial: condiciones necesarias para que se produzca el evento, magnitud del impacto y la infraestructura propensa a ser dañada.

Agradecimientos

Se agradece especialmente la colaboración en el terreno del Lic. C. J. Aguado y del técnico Sr. R. Bottero. Asimismo al técnico Sr. R. Bottero quien realizó las figuras y contribuyó con los trabajos de gabinete. A Vialidad Provincial y al Centro de ski Las Leñas por facilitar sus refugios. Se agradece especialmente al Ministerio de Medio Ambiente, Urbanismo y Vivienda de la Provincia de Mendoza que apoyó esta investigación con dos subsidios otorgados mediante los Decretos 1765/91 y 1513/93.

Bibliografía

Brunsden, D. y D. B. Prior, (Eds), 1984. Slope Instability. John Wiley and Sons Ltd. 620 p. England.

Espizua, L.E.; J.D. Bengochea y C. Aguado, 1993. Mapa de riesgo de remoción en masa en el valle del Río Mendoza. XII Congreso Geológico Argentino. II Congreso de Hidrocarburos. VI: 323-332. Buenos Aires.

Espizua, L.E.; J.D. Bengochea; C.J. Aguado and R. Bottero, 1991. Landslide Hazards in the Mendoza Valley. Resúmen. INQUA. International Union for Quaternary Research. XIII International Congress, Beijing. China.

Espizua, L.E.; J.D. Bengochea; C.J. Aguado y R. Bottero, 1995. Predicción de zonas de riesgo de remoción en masa en los valles de los ríos Grande, Salado y Malargüe. Proyecto 69. Ministerio de Medio Ambiente Urbanismo y Vivienda de la Provincia de Mendoza. (Inédito).

Espizua, L.E.; J.D. Bengochea; C.J. Aguado y R. Bottero. Landslide hazard zones in the Río Grande basin, Central Andes of Mendoza, Argentina. (Enviado a Mountain Research and Development).

Varnes, D.J., 1958. Landslides types and processes. In landslide and Engineering Practice Highway Research Board. Special report. 29: 20-47. Washington DC. USA.

Yrigoyen, M. R., 1979. Cordillera Principal. II Simposio de Geología Regional Argentina. I: 651-694. Córdoba.