

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO PROBABILÍSTICO DE LAS VARIABLES QUE CONDICIONAN LA INESTABILIDAD DE LAS LADERAS EN LOS VALLES DE LOS RÍOS LAS CUEVAS Y MENDOZA

Stella Maris MOREIRAS

CONICET. Unidad de Geomorfología. IANIGLA (CCT).  
Av Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. Mendoza (5500).  
Email: moreiras@mendoza-conicet.gov.ar.

## RESUMEN

Se analizaron las variables que condicionan la inestabilidad de las laderas en los valles de los ríos Las Cuevas y Mendoza mediante la aplicación de un modelo probabilístico. Para ello, se superpusieron en el entorno de un SIG el mapa inventario de los procesos de remoción en masa y diferentes mapas temáticos de las principales variables condicionantes de la inestabilidad. De esta manera se calculó el valor de favorabilidad y el factor de incertidumbre de cada clase de las variables. Las variables que mejor predicen el comportamiento de las laderas a escala regional son la litología, la pendiente y la altura. Un mayor número de variables no incrementa significativamente la calidad predictiva del modelo aplicado. Más aún, la incorporación de ciertas variables disminuye su calidad. La identificación de las variables con mayor capacidad predictiva de la inestabilidad permite un fácil reconocimiento de los sectores más vulnerables a colapsar en este sector de los Andes Centrales.

Palabras clave: *Susceptibilidad, Peligrosidad, Remoción en masa, Factores condicionantes.*

**ABSTRACT:** *Probabilistic analysis of the variables that impose conditions to the slope instability in the Las Cuevas and Mendoza river valleys.* Using a probabilistic model, parameters conditioning the slope instability were analysed along the valleys of Las Cuevas and Mendoza rivers. For that, the landslide inventory map and thematic maps of several parameters were crossed in a GIS allowing to calculate the favourability value and the certainty factor for classes of each variable considered in the model. Better variables predicting slope instability are the lithology, the slope range, and the elevation. Incorporation of more variables does not increase significantly prediction of the applied model. Moreover, certain variables reduce the quality of the model. The identification of those variables with greater predictive capacity lets to approach the behaviour of the slope in this portion of Central Andes.

Keywords: *Susceptibility, Hazard, Landslides, Conditioning factors.*

## INTRODUCCIÓN

El principio del actualismo-uniformitarismo permite enunciar que conociendo el comportamiento que han tenido las laderas en el pasado podemos predecir como actuarán en el futuro. De esta manera es posible establecer los sectores más susceptibles a ser afectados por procesos de remoción en masa y dicha predicción permitirá limitar el impacto económico y la pérdida de vidas asociados a estos procesos naturales repentinos.

Numerosos autores han definido la susceptibilidad de las laderas o unidades de terreno en función a la distribución de los procesos de remoción en masa en el pasado, el grado de pendiente y la naturaleza de la roca (Brabb *et al.* 1972, Drennon y Schleining 1975, Lucini 1969, 1973). El desarrollo de

sistemas de información geográfica (SIG) y la aplicación de herramientas específicas en distintos programas facilitó la incorporación de variables derivadas del modelo digital de elevaciones (altitud, orientaciones de las laderas, rugosidad, insolación, etc.) en la evaluación de la inestabilidad de las laderas (Montgomery y Dietrich 1994, Atkinson y Massari 1998, Brenning 2005). Sin embargo, no todas las variables tienen un carácter predictivo significativo para establecer la inestabilidad de las laderas. Es por ello, que es imprescindible analizar el rol de cada uno de estos parámetros para decidir si deben ser incorporados en la valoración de la susceptibilidad de una determinada región.

La estimación de la peligrosidad mejora, justamente, cuando se consideran los factores que reflejan más adecuadamente el

comportamiento de las laderas.

En el presente estudio se analizan las principales variables condicionantes de los procesos de remoción en masa a partir de información pre-existente. Esto permitió conocer cuales son los parámetros más influyentes en la inestabilidad de laderas de este sector de los Andes Centrales, de tal modo de poder identificar rápidamente los sectores más inestables a lo largo del valle de los ríos de Las Cuevas y Mendoza.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende el valle correspondiente a los ríos de Las Cuevas y Mendoza, desde el límite con Chile hasta alcanzar el valle de Uspallata (Fig. 1). El río Mendoza nace a partir de los ríos Cuevas, las Vacas y Tupungato y su cuenca abar-

ca la de todos estos tributarios. Geológicamente el área se encuentra emplazada en las provincias geológicas de Cordillera Principal y Cordillera Frontal. La región se caracteriza por presentar un basamento pre-jurásico, depósitos mesozoicos y una cobertura cenozoica en donde se encuentran rocas intrusivas subvolcánicas y plutónicas. Mientras en Cordillera Frontal predominan las volcanitas permo-triásicas del Grupo Choiyoi, la Cordillera Principal está principalmente representada por las sedimentitas marinas, depósitos epiclásticos y volcanitas todas estas litologías de edad jurásica-cretácica. Estructuralmente, la región pertenece a la faja plegada y corrida del Aconcagua con una serie de imbricaciones vergentes al oriente (Ramos 1996). La región abarca alturas comprendidas entre los 1.500 a 7.000 m s.n.m. donde el Cerro Aconcagua (6.929 m s.n.m.) es el principal exponente. Esto condiciona el clima de la región que según la clasificación de Koeppen (1931) corresponde a clima seco en cotas inferiores a los 2.700 m s.n.m., clima de tundra entre los 2.700 a 4.100 m s.n.m. y clima polar de hielos eternos a cotas superiores donde la temperatura media no supera los 0°C. Un importante descenso de la temperatura e incremento de las precipitaciones existe altitudinalmente. Las temperaturas oscilan entre los 20°C a los -30°C. La precipitación media anual es de 200 mm en Uspallata alcanzando los 500 mm en los sectores más altos. Las precipitaciones invernales son en forma sólida con procedencia de las masas húmedas del océano Pacífico, por ello la región es sensible a los períodos cálidos y fríos del ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*). En tanto las precipitaciones estivales en forma de lluvia provienen del anticiclón del Atlántico (Compagnucci *et al.* 2002). Los vientos son fuertes y violentos superando velocidades de 200 km/h en las mayores altitudes.

## METODOLOGÍA

La manera más fácil de establecer el grado de incidencia que tiene un factor o variable en la inestabilidad de las laderas es mediante la superposición del mapa inven-

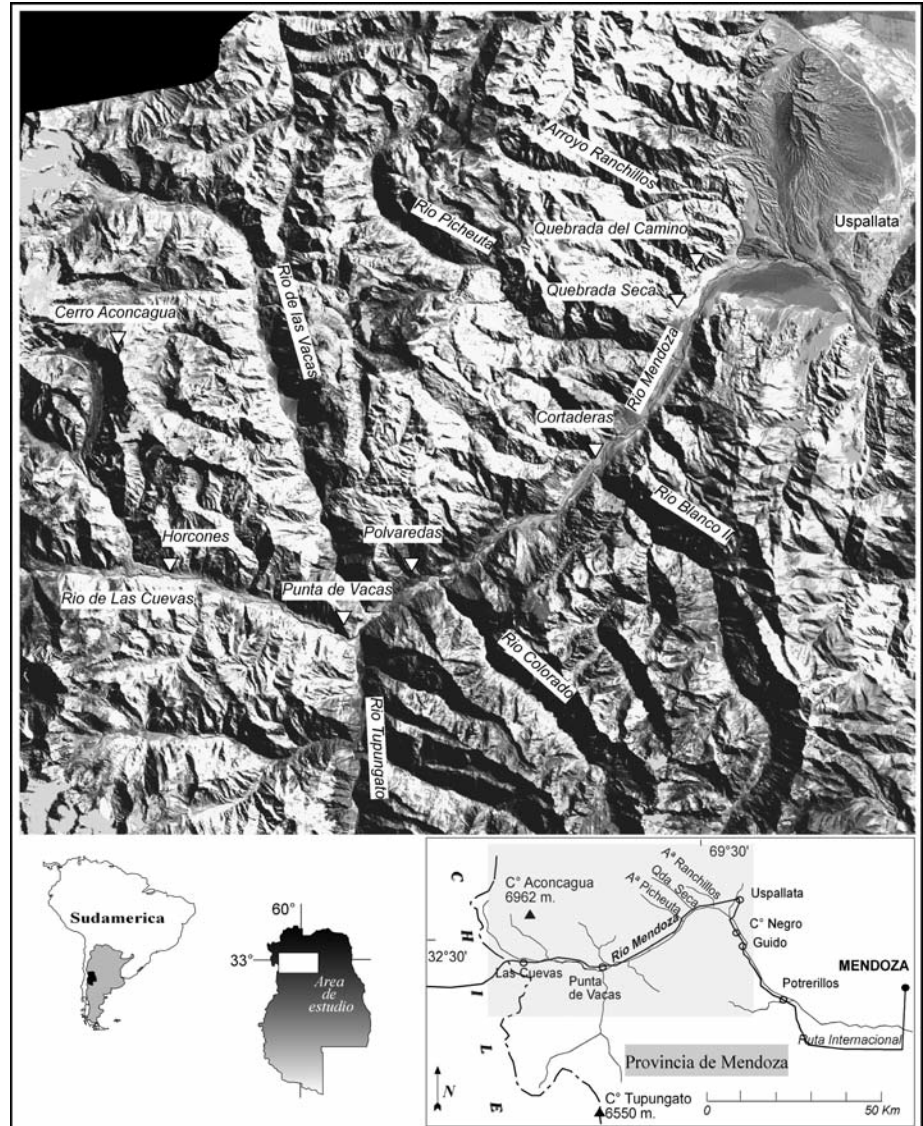


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

tario de los procesos con mapas temáticos de los factores que condicionarían las laderas. Así la relación entre los factores condicionantes y los eventos queda establecida por el número de eventos que se registra en cada tipo de factor o bien por el área que ocupan los procesos de remoción en masa con respecto al área de cada factor o variable.

En este estudio, la importancia relativa de cada variable con respecto a la distribución de los procesos de remoción en masa (PRM) fue analizada mediante la relación entre las áreas afectadas por los procesos gravi-

tacionales para cada clase (*A. desl*) y el área total que ocupa dicha clase (*A. clase*). El área de la clase de la variable se obtuvo a partir de la sumatoria de las celdas (píxel) ocupadas por dicha categoría; mientras que el área de cada categoría afectada por procesos de remoción en masa se obtiene a partir de la superposición del mapa temático correspondiente y el inventario de los procesos de remoción en masa.

La superposición del mapa inventario con cada mapa temático se realizó en el entorno de un sistema de información geográfica (ILWIS 3.3). Para lo cual fue neces-

ria la utilización de mapas rasterizados a fin de crear unidades de condición única. El tamaño de cada unidad de análisis depende del tamaño del píxel. En nuestro caso el tamaño de la celda es 15x15 m ya que todos los mapas fueron volcados en una imagen ASTER georeferenciada del año 2007.

El mapa inventario de los procesos de remoción en masa se obtuvo mediante la fotointerpretación de fotogramas aéreos (escala 1:50.000) correspondientes a vuelos realizados en el plan Cordillerano de 1963, el análisis de imágenes satelitales Landsat TM de diferentes años y observaciones de campo (Moreiras 2004, 2005 a,b, Moreiras et al. 2006). En este inventario se consideraron tres categorías de eventos en función del tamaño de los depósitos por razones de escala: a) aquellos eventos cuyo largo total ( $L_t$ ) fuese igual o mayor a 1.000 metros; b) flujos menores ( $L_t < 1000$  m.) y c) zona de flujos de detritos correspondientes a flujos menores pero cuya concentración en determinados sectores es importante de destacar en este estudio. Los procesos con un  $L_t \leq 1.000$  m. fueron clasificados de acuerdo al glosario internacional del *Working Party on the World Landslide Inventory* (WP/WLI 1993). Esta clasificación contempla principalmente el tipo de movimiento y el tipo de material involucrado en el movimiento en función a lo establecido inicialmente por Varnes (1978). En la superposición se consideraron dos inventarios de procesos de remoción en masa: las áreas en su conjunto (zona de arranque y la zona de acumulación) y sólo las zonas de arranques o cicatrices.

Los mapas temáticos elaborados contemplaron 8 variables: litología, pendiente, altura, orientaciones o aspectos de las laderas, buzamientos de los distintos depósitos, distancia a los fallamientos regionales y las áreas de cada una de las cuencas tributarias con la finalidad de evaluar la relación N° de proceso versus dimensión de la cuenca de aporte. Se analizó también la distribución de los procesos de remoción en masa en ambas provincias geológicas. El mapa litológico fue desarrollado a partir de la Hoja Geológica de la Región

del Aconcagua (escala 1:100.000) (Ramos et al. 1996) y la Hoja Geológica 3369-I Cerro Aconcagua (escala 1:250.000) (Ramos et al. 2000) del SEGEMAR. Se generó un modelo digital de elevaciones (MDE) a partir de las hojas topográficas del IGM (escala 1:50.000) con una equidistancia de 50 metros. A partir de este modelo digital de elevaciones se calcularon las pendientes y el aspecto de las laderas.

Los mapas temáticos con variables continuas fueron categorizados en clases de rangos. Las pendientes fueron clasificadas en 8 intervalos cada  $10^\circ$ , mientras que en las elevaciones el rango es cada 500 metros (9 clases). Las orientaciones de las laderas fueron discriminadas en 7 clases (Norte, noroeste, noreste, sur, suroeste, sureste y plano). El modelo probabilístico de susceptibilidad utilizado para evaluar la importancia relativa de las variables, se generó a partir de las funciones de favorabilidad en el marco de la teoría de la probabilidad. La función de favorabilidad constituye una técnica para el análisis de datos en un marco matemático, en donde diferentes funciones matemáticas permiten transformar la información de carácter espacial en valores de favorabilidad permitiendo conocer la distribución de ciertas variables con respecto a otras (análisis bivariable).

Las funciones de favorabilidad pueden ser aplicadas en diferentes teorías matemáticas (teoría de probabilidades, teorema de Bayes y conjuntos difusos); siendo el resultado expresado cuantitativamente por diferentes índices: índice de Bayes, factor de incertidumbre y peso evidencia. El empleo del factor de incertidumbre resulta ser óptimo generalmente (Remondo et al. 2003). El modelo calcula la probabilidad a priori ( $Pp$ ) de ocurrencia de un deslizamiento en el área de estudio mediante la expresión 1. La probabilidad condicionada ( $Cp$ ) por las "n" variables incluidas en el modelo será reflejada por los valores de favorabilidad ( $VF$ ) de las diferentes clases (expresión 2).

$$Pp = \text{Área deslizada} / \text{Área total}^{(1)}$$

$$VF = 1 - (1 - 1 / \text{Área de la clase}) \cdot \text{Área de la clase afectada por PRM}^{(2)}$$

La relación entre la probabilidad a priori

( $Pp$ ) y los valores de favorabilidad ( $VF$ ) o probabilidad condicionada ( $Cp$ ) de las distintas variables existentes en cada celda permite calcular el factor de incertidumbre ( $CF$ ) según las expresiones de Chung y Fabbri (1993):

$$\text{Si } Cp \geq Pp \text{ entonces } CF = Cp - Pp / Cp (1 - Pp)^{(3)}$$

$$\text{Si } Cp \leq Pp \text{ entonces } CF = Cp - Pp / Pp (1 - Cp)^{(4)}$$

Se obtienen n factores de incertidumbre de acuerdo a las n variables presentes en el píxel. Estos valores deberán ser integrados en un factor de incertidumbre final ( $CFf$ ) mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Si } CF L1 < 0 \text{ y } CF L2 < 0 \Rightarrow CFf = CF L1 + CF L2 + (CF L1 \times CF L2)^{(5)}$$

$$\text{Si } CF L1 = 0 \text{ y } CF L2 = 0 \Rightarrow CFf = CF L1 + CF L2 - (CF L1 \times CF L2)^{(6)}$$

$$\text{Si } CF L1 \text{ y } CF L2 \text{ son de signos diferentes} \Rightarrow CFf = CF L1 + CF L2 / 1 - \min(\text{abs } CF L1, \text{abs } CF L2)^{(7)}$$

Siendo,  $CFf$ : factor de incertidumbre final;  $CF L1$ : factor de incertidumbre de la variable 1,  $CF L2$ : factor de incertidumbre de la variable 2,  $\min$ : mínimo valor,  $\text{abs}$ : valor absoluto.

El factor de incertidumbre incrementará a medida que la probabilidad condicionada se aleja de la probabilidad *a priori*, sus valores oscilan entre -1 (certidumbre absoluta de que no ocurrirá un proceso de remoción en masa) y 1 (certidumbre absoluta de que sí ocurrirá). De esta manera, el modelo matemático probabilístico expresará el grado de susceptibilidad-peligrosidad mediante el factor de incertidumbre final. Se obtuvieron diferentes modelos predictivos en función de las variables incluidas, los cuales fueron validados espacialmente y temporalmente. La validación espacial comparó los resultados del modelo con un grupo control conformado por los flujos categorizados como flujos menores y la validación temporal se logró con los eventos históricos recopilados posteriores a 1963. Finalmente, analizando el grado de precisión de los distintos modelos validados mediante las curvas de validación se establecieron las variables con mayor carácter predictivo.

## RESULTADOS

### Antecedentes históricos de eventos

A pesar de la escasa información histórica de estas áreas montañosas remotas, se recopilieron 361 eventos históricos a partir de periódicos locales, reportes del ferrocarril transandino, informes de la Dirección Nacional de Vialidad y diarios de antiguos viajeros. Corresponden a caídas de bloques o detritos y flujos de detritos que han causado daños a la ruta internacional a Chile y al ferrocarril transandino. Uno de los sectores más afectados corresponde a Cortaderas (133 eventos) (Fig. 2). Miers (1826) en su viaje desde Mendoza a Santiago en 1819, encontró una gran roca en este sector con una inscripción alusiva diciendo que en 1790 había matado al baquiano Santiago Molina. Posteriormente Brandt (1828) describió la caída de un rodado el 27 de febrero de 1828.

Otros puntos críticos se encuentran en las inmediaciones de Punta de Vacas (22 eventos), Las Cuevas (21 eventos) y Polvaredas (18 eventos). El evento más antiguo registrado en Las Cuevas data de 1819. Miers (1826) reportó numerosas caídas de rocas en La Jaula (desembocadura del Río Blanco II) que siguen activas en la actualidad.

Uspallata es la segunda localidad en incidencia según los datos históricos, con 63 eventos (17,5%). Esta villa está asentada sobre el abanico aluvial de la quebrada Santa Elena, y si bien ningún flujo ha afectado directamente al poblado, los flujos encauzados en esta quebrada han originado daños en las defensas, el colector de Uspallata y la ruta provincial 52.

Violentos flujos de detritos han sido registrados también en las quebradas Seca y del Camino. En 1974 un flujo de detrito proveniente de la quebrada Seca rompió una contención e irrumpió en la ruta, arrasando un auto hasta el río Mendoza, fortuitamente sin cobrar ninguna vida. En 1976 un nuevo flujo de barro y detrito cortó el tránsito. Eventos similares y con iguales consecuencias se reiteraron en los años 1980, 1999, 2000 y 2007. Un automóvil fue arrastrado por un flujo en la quebrada del Camino durante el aluvión de

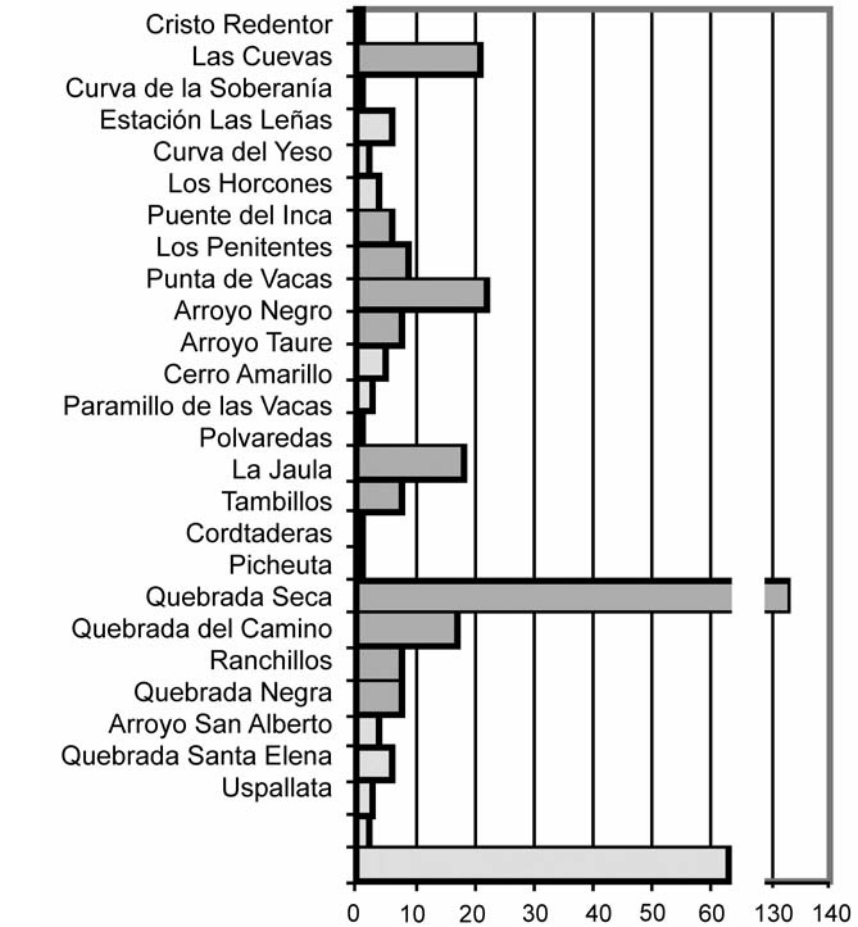


Figura 2: Eventos históricos por localidad.

enero de 1968, y en 1976 un nuevo flujo de detritos impidió el tránsito de la ruta. Las lluvias intensas, generalmente durante períodos estivales han sido las generadoras del 60% de los eventos recopilados y el 25% de ellos fueron asociados a sismos de magnitud mayor a 3.9. Estos eventos registrados han causado daños principalmente a la ruta internacional a Chile. Sólo el 33,2% de los registros dañaron al ferrocarril trasandino cuya actividad cesó en 1993.

### Mapa inventario

Espacialmente se reconocieron mediante fotointerpretación y visitas a terreno, 869 eventos de procesos de remoción en masa categorizados en caídas de rocas, flujos de detritos, deslizamientos, eventos complejos y zonas de flujos. Estos eventos en su conjunto cubren una superficie de 527,23 km<sup>2</sup>, o sea un 14% del área de estudio (3.669

km<sup>2</sup>) (Fig. 3).

Los flujos de detritos son los fenómenos de mayor importancia en la región, corresponden al 79% de los eventos identificados en el mapa inventario abarcando 196 zonas de flujos y 491 flujos de detritos. Pero existen además, 1.399 flujos menores, de longitud inferior a 1.000 m, que fueron excluidos del mapa de inventario por razones de visualización. Los sectores con un importante número de flujos de detritos a lo largo del valle de los ríos Las Cuevas y Mendoza son la quebrada del Camino, quebrada Seca, cercanías del río Picheuta, arroyo Cortaderas, arroyo de los Tambillos, sectores cercanos a la localidad de La Jaula, arroyo Taure, arroyo Negro, las localidades de Polvaredas, Punta de Vacas y Penitentes y la quebrada de Las Leñas. Las caídas de detritos o bloques rocosos son también eventos muy comunes a lo lar-

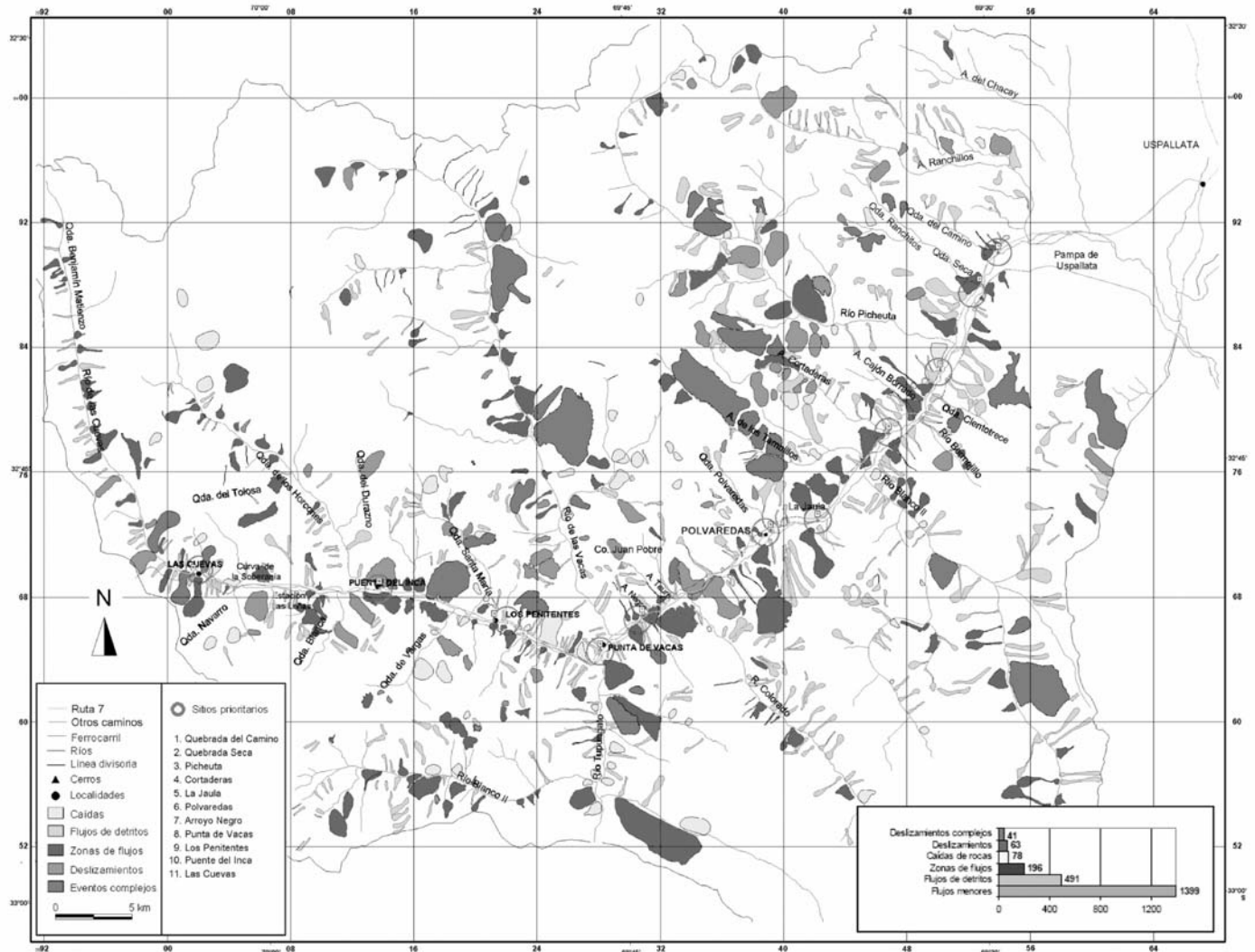


Figura 3: Mapa inventario de los procesos de remoción en masa.

go del valle del río de las Cuevas y Mendoza. Afectan la antigua traza del ferrocarril Transandino y la ruta nacional N° 7 donde se han producido varios cortes en el tránsito internacional a lo largo de la historia de este paso. Los sectores más afectados por caídas son el río Picheuta, Cortaderas, La Jaula, Polvaredas, Punta de Vacas, Puente del Inca, la denominada curva del Yeso en Los Horcones, la curva de la Soberanía y villa de Las Cuevas. Generalmente, estos procesos están asociados a rocas masivas con un alto grado de fracturamiento y a depósitos morénicos cuyos bloques comienzan a desprenderse cuando el material más fino se erosiona o cuando el depósito se satura con agua de lluvias o de fusión de nieve. Estos

procesos abarcan el 9% de los eventos identificados.

Los deslizamientos planares o rotacionales corresponden al 7% de los eventos del mapa inventario destacándose los ubicados en la desembocadura del río Colorado denominados Negro y Amarillo (Espizúa 2005, Fauqué *et al.* 2005) y el deslizamiento sobre el cual está construido el camino al Cristo Redentor (Pereyra 1995).

Los procesos complejos implican más de un tipo de movimiento, generalmente comienzan a partir de una caída o deslizamiento y luego se movilizan comúnmente como violentos flujos de detritos en su parte distal. Si bien son más raros, involucran extensas áreas, y la complejidad en sus movimientos implica una peligrosidad

extrema. Como se observa en el mapa inventario, los eventos complejos se localizan generalmente en las nacientes o a lo largo de cursos tributarios del río Mendoza, tal como en los ríos Picheuta, Tambillos y Las Vacas, la quebrada Seca y el río Blanco II. Eventos complejos se han identificado también a lo largo de la ruta internacional en la ladera sudoeste del cerro Juan Pobre, en Los Penitentes, en Puente del Inca y en Las Cuevas tanto en la ladera sur del cerro Tolosa (margen derecha del valle) como en la margen opuesta (Espizúa *et al.* 1993, Fauqué *et al.* 2008 a,b,c,d, Rosas *et al.* 2008, Wilson *et al.* 2008). En total los eventos complejos identificados, que pueden desencadenar en un desastre natural en el valle del río Mendoza aunque su localización

sea remota, suman 41 (1,8 % del total).

### Análisis de las variables

La relación (*A. desl / A. clase*) refleja el porcentaje de área afectada por procesos de remoción en masa en cada clase de una variable. Esto permite inferir que clase es la más susceptible a ser afectada por estos procesos, por ende implica una mayor peligrosidad.

**Litología:** Es referida como una de las variables más importantes para ser tenidas en cuenta en el comportamiento de las laderas. Las propiedades físicas y la resistencia de cada material determinan su comportamiento tenso-deformacional y, por lo tanto, su estabilidad. En los macizos rocosos las caídas o deslizamientos suelen generarse por la existencia de capas o estratos de diferente competencia.

En el área de estudio las rocas aflorantes del basamento pre-jurásico están constituidas por depósitos altamente deformados y parcialmente metamorfizados de la Formación Alto Tupungato (Cat) de edad carbonífera media a pérmica inferior, intruidos por granitoides pérmicos (Pg) denominados Granito Cruz de Caña (278 Ma), Granito Vacas y Granito Plonge. Estas litologías aparecen en discordancia bajo una potente secuencia volcánica de edad permotriásica correspondiente al Grupo Choiyoi (Trch), la cual es a su vez intruida por granitoides triásicos.

Las secuencias mesozoicas se caracterizan por rocas volcánicas iniciales, entre las cuales se reconoce la riolita de Paramillos de Vacas (Jrp). Sobre estas litologías se encuentran secuencias marinas de edad jurásica inferior a media representadas por las calizas de la Formación La Manga (Jlm) y los depósitos evaporíticos de la Formación Auquilco (Yeso Principal-Ja). Este último, junto a los depósitos continentales de la Formación Tordillo (Jt), marca la culminación del ciclo jurásico. Continúan los depósitos cretácicos del Grupo Mendoza conformado por las formaciones Vaca Muerta (JKvm), Mulichinco (Km) y Agrio (Ka), constituidas principalmente por lutitas, areniscas y una alternancia de calizas y lutitas, respectivamente. Los gabros y dioritas de Plaza

Francia (Tv), de posible edad cretácica inferior, intruyen los depósitos de la Formación Auquilco. Por encima, adquieren un gran desarrollo las secuencias cretácicas medias de las Formaciones Diamante (Kd), Cristo Redentor (Kcr) y Juncal (Kj). Estas unidades continentales corresponden a facies epiclásticas, volcánicas y volcánico-piroclásticas respectivamente.

La cobertura cenozoica está representada básicamente por las volcanitas del complejo Volcánico Aconcagua (Ta) que marcan la existencia de un arco magmático en el Mioceno medio. Estas secuencias volcánicas son coetáneas y engranan parcialmente con los depósitos sinorogénicos de los Conglomerados Santa María (Tsm). Los depósitos cuaternarios de la región, si bien localmente de gran potencia, tienen una extensión limitada, dado el predominio actual de la erosión de la región cordillerana. Se han identificado numerosos depósitos glaciarios, coluviales, lagunares, fluviales, fluvio-glaciarios y de remoción en masa.

Los afloramientos de rocas sedimentarias de las formaciones jurásicas La Manga, Auquilco y Vaca Muerta, compuestas respectivamente por calizas, yeso y lutitas, presentan la mayor relación (*A.desl/A.clase*), o sea, han sido más afectadas por procesos de remoción en masa en el pasado y tienden por ende a ser más inestables. Los granitos pérmicos y la formación carbonífera Alto Tupungato, fuertemente alterada por la intrusión de los cuerpos pérmicos, también tienen una alta susceptibilidad. Asimismo, numerosos procesos de remoción en masa se han generado a partir de los Conglomerados de Santa María (Terciario) compuestos principalmente por conglomerados y tobas, y a partir del Granito Matienzo de edad terciaria (cuadro 1).

**Pendientes:** Esta variable es señalada como una de los factores condicionantes más importantes en la inestabilidad de las laderas. Cuanto mayor es el grado de pendiente mayor la posibilidad de inestabilidad de las mismas. Sin embargo, en el área de estudio, las pendientes que superan los 70° no presentan generalmente cicatrices ni son afectadas por procesos de remoción en ma-

sa. Posiblemente esto se deba a la escasa distribución de estas pendientes en la región (Cuadro 2).

Las pendientes más afectadas son las comprendidas entre un rango de 20-30°; lo cual es esperable ya que a mayoría de los procesos identificados en el área de estudio corresponden a flujos de detritos cuya zona de arranque pueden generarse en pendientes más suaves. Además este tipo de proceso, una vez generado, puede recorrer grandes extensiones abarcando zonas de baja pendiente por ello la relación (*A.desl/A.clase*) aumenta sustancialmente cuando se considera el proceso de remoción en masa en su conjunto (A) en lugar de sólo la cicatriz del desprendimiento (B).

**Elevaciones:** Las precipitaciones varían con la altura por lo cual la influencia de las precipitaciones en la iniciación del proceso de remoción depende de la topografía del terreno. En el área de estudio, las precipitaciones aumentan sensiblemente con la altura, por ende las mayores elevaciones deberían mostrar mayor susceptibilidad a la inestabilidad principalmente si la causa generadora son lluvias intensas, sobrecarga por la caída de nieve copiosa o saturación del sustrato durante períodos cálidos de fusión.

En el cuadro 3 puede observarse que los procesos de remoción en masa ocurridos en el pasado se produjeron principalmente entre los 3.000 a 4.000 m s.n.m. coincidente con el dominio de los procesos periglaciales, disminuyendo en elevaciones superiores donde predominan los procesos glaciales.

**Orientación de las laderas:** Es un factor incidente en la inestabilidad de las pendientes porque está relacionada a mayor o menor insolación o radiación solar tal que condiciona la preservación de la nieve o favorece su descongelamiento saturando de esta manera los materiales de las laderas. Según el cuadro 4, los resultados varían en función si se considera todo el proceso de remoción en masa (A) o sólo las cicatrices (B) en el mapa inventario.

En el primer caso, se refleja el área ocupada por estos depósitos en determinadas orientaciones de laderas, o sea los desliza-

**CUADRO 1:** Relación  $A.desl/A.clase$  para (A) inventario de PRM y (B) inventario de cicatrices (áreas en m<sup>2</sup>).

| Clase de litología |                       |          | A          |           |               |         |               |
|--------------------|-----------------------|----------|------------|-----------|---------------|---------|---------------|
| Cod.               | Formación             | Edad     | Área       | A desl    | Adesl/A clase | A desl  | Adesl/A clase |
| cat                | Alto Tupungato        | Cb       | 260959050  | 57085200  | 0,22          | 1082925 | 0,0041        |
| pg                 | Granitos pérmicos     | P        | 41492700   | 10746225  | 0,26          | 176850  | 0,0043        |
| trch               | Choiyoi               | Tr       | 1920227400 | 284490450 | 0,15          | 5573700 | 0,0029        |
| jrj                | Riolitas P. Vacas     | J        | 111271275  | 12241125  | 0,11          | 244350  | 0,0022        |
| jlm                | La Manga              | J        | 13131900   | 3134250   | 0,24          | 62550   | 0,0048        |
| ja                 | Auquillo              | J        | 50520600   | 7735950   | 0,15          | 198000  | 0,0039        |
| jv                 | Vulcanitas Vargas     | J        | 15643125   | 1993275   | 0,13          | 26775   | 0,0017        |
| jt                 | Tordillo              | J        | 71572050   | 10422450  | 0,15          | 173250  | 0,0024        |
| jkvm               | Vacas Muertas         | J        | 57841650   | 9896175   | 0,17          | 256950  | 0,0044        |
| kmv                | Vulcanitas Lag Seca   | K        | 11184525   | 2531700   | 0,23          | 43875   | 0,0039        |
| ka                 | Agrio                 | K        | 81955575   | 7047675   | 0,09          | 175275  | 0,0021        |
| kj                 | Juncal                | K        | 120584700  | 6019650   | 0,05          | 162675  | 0,0013        |
| kd                 | Diamante              | K        | 97678800   | 8743500   | 0,09          | 188550  | 0,0019        |
| kcr                | Cristo redentor       | K        | 45222075   | 6928425   | 0,15          | 134100  | 0,0030        |
| tsm                | Santa Maria           | Tc       | 117553275  | 20785275  | 0,18          | 553725  | 0,0047        |
| ta                 | Comp. volc. Aconc.    | Tc       | 206356950  | 6404850   | 0,03          | 79200   | 0,0004        |
| tSaltitos          | Tc                    | 21816675 | 2007225    | 0,09      | 33750         | 0,0015  |               |
| tv                 | Traquita Pte. D. Inca | Tc       | 6664275    | 759825    | 0,11          | 12150   | 0,0018        |
| tg                 | Granito Matienzo      | Tc       | 1310850    | 72900     | 0,06          | 6975    | 0,0053        |
| td                 | Intrusivos dacíticos  | Tc       | 253350     | 96750     | 0,38          | -       | -             |
| qt                 | Cuaternario           | Qt       | 388518750  | 66932325  | 0,17          | 318375  | 0,0008        |

**CUADRO 2:** Relación  $A.desl/A.clase$  para (A) inventario de PRM y (B) inventario de cicatrices (áreas en m<sup>2</sup>)

| Clase de pendiente | Área       | A         |               | B       |               |
|--------------------|------------|-----------|---------------|---------|---------------|
|                    |            | A desl    | Adesl/A clase | A desl  | Adesl/A clase |
| 0-10°              | 613343025  | 62973450  | 0,10          | 1295325 | 0,0021        |
| 10-20°             | 979425450  | 140716575 | 0,14          | 2580750 | 0,0026        |
| 20-30°             | 1009039275 | 159185700 | 0,16          | 2887875 | 0,0029        |
| 30-40°             | 692074575  | 107435700 | 0,16          | 1837800 | 0,0027        |
| 40-50°             | 271865025  | 41709150  | 0,15          | 687825  | 0,0025        |
| 50-60°             | 93047625   | 13934700  | 0,15          | 255825  | 0,0027        |
| 60-70°             | 10155150   | 1376325   | 0,14          | 28125   | 0,0028        |
| 70-80°             | 217575     | 27225     | 0,13          | 0       | 0,0000        |
| 80-90°             | 900        | 0         | 0             | 0       | 0,0000        |

**CUADRO 3:** Relación  $A.desl/A.clase$  para (A) inventario de PRM y (B) inventario de cicatrices (áreas en m<sup>2</sup>)

| Clase de altura (m) | Área       | A         |               | B       |               |
|---------------------|------------|-----------|---------------|---------|---------------|
|                     |            | A desl    | Adesl/A clase | A desl  | Adesl/A clase |
| 1500-2000           | 86685075   | 3452625   | 0,04          | 21600   | 0,0002        |
| 2000-2500           | 140262525  | 35770725  | 0,26          | 109800  | 0,0008        |
| 2500-3000           | 305491500  | 66236625  | 0,22          | 663750  | 0,0022        |
| 3000-3500           | 538917525  | 140094450 | 0,26          | 1708650 | 0,0032        |
| 3500-4000           | 940478400  | 169406550 | 0,18          | 3208950 | 0,0034        |
| 4000-4500           | 1054790100 | 90803700  | 0,09          | 3001275 | 0,0028        |
| 4500-5000           | 541233000  | 18906750  | 0,03          | 839475  | 0,0016        |
| 5000-5500           | 57433050   | 2023425   | 0,04          | 20025   | 0,0003        |
| 5500-6000           | 3877650    | 663975    | 0,17          | 0       | 0,0000        |

mientos con mayor superficie atribuyen una susceptibilidad mayor a determinada orientación, sin reflejar necesariamente una mayor susceptibilidad de dicha clase de orientación de la ladera. Por ello consideramos que los valores obtenidos a partir del inventario de cicatrices arrojan mejores resultados. Entonces, considerando las cicatrices o zona de arranque de los procesos de remoción en masa, podemos ver que las orientaciones de las laderas más favorables en el pasado para la generación de estos procesos han sido aquellas que miran hacia el sur. Justamente, estas laderas son más frías y sombrías existiendo una mayor acumulación de nieve; por ende una mayor carga portante, mayor actividad de crioclastismo y el incremento de saturación de agua sobre las laderas favorecería la inestabilidad de las mismas.

*Áreas de las cuencas:* La dimensión de un determinado área o cuenca tributaria suele ser directamente proporcional a la cantidad de material detrítico que aporta. Las áreas de cuencas mayores tienen mayor posibilidad de generar material detrítico en situaciones geográficas similares. De allí, la predisposición de generar un mayor número de procesos de remoción en masa, principalmente caídas de rocas y flujos de detritos.

Las áreas más afectadas por estos procesos, por lo tanto las más susceptibles a ser afectadas por ellos en el futuro, son las cuencas del arroyo Cruz de Caña, arroyo Cortaderas, quebrada Seca, quebrada del Camino y quebrada Blanca (cuadro 5).

Este resultado puede correlacionarse con datos históricos, excepto la quebrada Blanca que no afecta la traza de la ruta internacional por lo cual eventos en este sector no han sido documentados.

*Buzamiento de los afloramientos:* El grado de buzamiento de los estratos de las secuencias sedimentarias, es asociado generalmente a caídas y deslizamientos planares. En el área de estudio, los estratos con alto grado de buzamiento (>45°) son los que han sido afectados por un mayor número de eventos gravitacionales (cuadro 6).

*Distancia a fallamientos:* En el caso de la variable distancia a los fallamientos regio-

nales, la susceptibilidad de los procesos de remoción en masa es grande en las áreas cercanas a las fallas regionales considerando un kilómetro de distancia alrededor de la traza de la falla (cuadro 7). Sin embargo, valores de la relación entre el área deslizada y el área de cada clase similares, e incluso mayores, se observan para sectores lejanos a las fallas regionales, por lo cual la calidad de predicción de esta variable es dudosa.

*Provincia geológica:* Si bien el área deslizada en la provincia geológica de Cordillera Principal duplica prácticamente el material removilizado en Cordillera Frontal de acuerdo al cuadro 8, este valor es idéntico si se consideran las áreas de arranque (B). Por lo ende esta variable no mejorará la calidad de predicción si se utilizan sólo las zonas de arranque en el modelo de peligrosidad. La significativa relación  $A_{desl}/A_{clase}$  (A) establecida para Cordillera Principal evidencia que los procesos complejos y deslizamientos más extensos han ocurrido esta provincia geológica.

#### Carácter predictivo de las variables

El análisis previo permite conocer las clases de cada variable más susceptible a ser afectada por procesos de remoción en masa en función de los valores de favorabilidad de cada clase. Sin embargo, no determina la importancia relativa de cada variable en la valoración de la susceptibilidad, desconociendo de esta manera el carácter predictivo de cada variable. Esta carencia impide identificar aquellas variables que necesariamente deben ser tenidas en cuenta, en el modelo, al momento de evaluar la susceptibilidad de las laderas a colapsar o valorar su peligrosidad.

A partir de la relación entre la probabilidad *a priori* y la probabilidad condicionada se establecieron los factores de incertidumbre para cada variable generando modelos probabilísticos basados en los factores de incertidumbres finales calculados para cada celda o píxel según las expresiones 5, 6 y 7. De esta manera, se pudo cotejar los resultados de los diferentes modelos (Modelo 1: litología, pendiente y altura; Modelo 2: litología, pendiente, al-

**CUADRO 4:** Relación  $A_{desl}/A_{clase}$  para (A) inventario de PRM y (B) inventario de cicatrices (áreas en m<sup>2</sup>)

| Clase de orientación | Área m <sup>2</sup> | A                     |               | B                     |               |
|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|
|                      |                     | A desl m <sup>2</sup> | Adesl/A clase | A desl m <sup>2</sup> | Adesl/A clase |
| N                    | 283972725           | 46221975              | 0,16          | 666675                | 0,0023        |
| NE                   | 569325600           | 76900950              | 0,14          | 1430100               | 0,0025        |
| E                    | 468447975           | 51981525              | 0,11          | 1349100               | 0,0029        |
| SE                   | 498218625           | 56262375              | 0,11          | 1639125               | 0,0033        |
| S                    | 429008850           | 63284400              | 0,15          | 1217925               | 0,0028        |
| SW                   | 434493450           | 77618250              | 0,18          | 993375                | 0,0023        |
| W                    | 344560950           | 55845450              | 0,16          | 718425                | 0,0021        |
| NW                   | 410269950           | 66758400              | 0,16          | 1013400               | 0,0025        |
| N2                   | 185102325           | 31048425              | 0,17          | 438525                | 0,0024        |
| plano                | 45768375            | 1437075               | 0,03          | 106875                | 0,0023        |

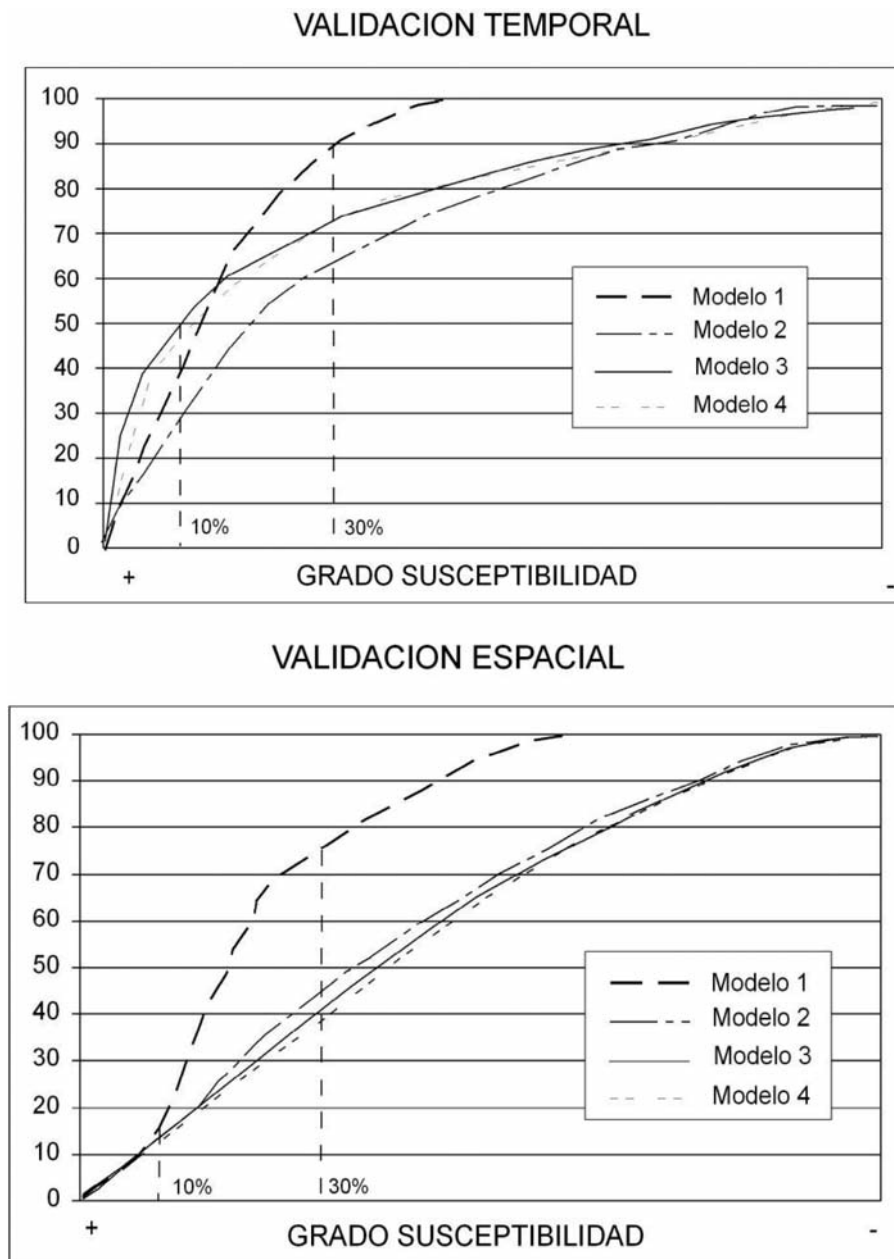
**CUADRO 5:** Relación  $A_{desl}/A_{clase}$  para (A) inventario de PRM y (B) inventario de cicatrices (áreas en m<sup>2</sup>)

| Clases de áreas |                  | Área      | A         |               | B       |               |
|-----------------|------------------|-----------|-----------|---------------|---------|---------------|
| Cod.            | Área             |           | A desl    | Adesl/A clase | A desl  | Adesl/A clase |
| A1              | Qda Negra        | 160417350 | 20962575  | 0,13          | 273375  | 0,0017        |
| A2              | Rio Bermejito    | 58005450  | 5733000   | 0,10          | 162450  | 0,0028        |
| A3              | Rio Blanco       | 454354875 | 48266550  | 0,11          | 914625  | 0,0020        |
| A4              | Rio Colorado     | 174462300 | 13295700  | 0,08          | 432225  | 0,0025        |
| A5              | Rio Tupungato    | 423848025 | 52492500  | 0,12          | 979425  | 0,0023        |
| A6              | Qda Vargas       | 92481075  | 10442250  | 0,11          | 296550  | 0,0032        |
| A7              | Qda Blanca       | 32343975  | 5188500   | 0,16          | 143100  | 0,0044        |
| A8              | Qda Navarro      | 30084750  | 1772325   | 0,06          | 49050   | 0,0016        |
| A9              | Rio Cuevas- Mza  | 334661625 | 115632450 | 0,35          | 1428750 | 0,0043        |
| A10             | A Chacal         | 49523400  | 769725    | 0,02          | 45450   | 0,0009        |
| A11             | A Ranchillos     | 130733775 | 18887625  | 0,14          | 498375  | 0,0038        |
| A12             | Qda Camino       | 9788175   | 1453500   | 0,15          | 46125   | 0,0047        |
| A13             | Qda Seca         | 60101550  | 9786825   | 0,16          | 253800  | 0,0042        |
| A14             | A Picheuta       | 311394375 | 48530250  | 0,16          | 881100  | 0,0028        |
| A15             | Cajon Borrado    | 11603925  | 284400    | 0,02          | 33750   | 0,0029        |
| A16             | A Cortaderas     | 39824550  | 12025350  | 0,30          | 303300  | 0,0076        |
| A17             | A Tambillos      | 89782875  | 24855300  | 0,28          | 335475  | 0,0037        |
| A18             | A Polvaredas-Neg | 38876850  | 5507325   | 0,14          | 185175  | 0,0048        |
| A19             | A Sargento       | 17902125  | 1529100   | 0,09          | 54000   | 0,0030        |
| A20             | Rio Vacas        | 629895825 | 73714725  | 0,12          | 1048950 | 0,0017        |
| A21             | Qda Cruz de Caña | 10367550  | 3643875   | 0,35          | 88650   | 0,0086        |
| A22             | Qda Santa Maria  | 56209500  | 12448800  | 0,22          | 344925  | 0,0061        |
| A23             | Qda Horcones     | 261191250 | 22187025  | 0,08          | 346950  | 0,0013        |
| A24             | Qda Matienzo     | 188255250 | 17907750  | 0,10          | 385650  | 0,0020        |

**CUADRO 6:** Relación  $A_{desl}/A_{clase}$  para (A) inventario de PRM y (B) inventario de cicatrices. Nótese que las rocas ígneas se contemplaron en la clase de buzamientos de cero grado (áreas en m<sup>2</sup>).

| Clase de buzamiento | Área       | A         |               | B       |               |
|---------------------|------------|-----------|---------------|---------|---------------|
|                     |            | A desl    | Adesl/A clase | A desl  | Adesl/A clase |
| 0°                  | 396786600  | 33844050  | 0,09          | 698625  | 0,0018        |
| 0-10°               | 452011725  | 84777750  | 0,19          | 477900  | 0,0011        |
| 10-45°              | 2193211350 | 282639150 | 0,13          | 5773500 | 0,0026        |
| >45°                | 615661875  | 125717400 | 0,20          | 2593125 | 0,0042        |





**Figura 4:** Curvas de validación del modelo aplicado según litología, pendiente & altura; Modelo 2: litología, pendiente, altura y orientación de laderas; Modelo 3: litología, pendiente, altura, orientación y áreas de cuencas; y Modelo 4: litología, pendiente, altura, orientación, áreas de cuencas y buzamientos). las variables incorporadas en el mismo. Modelo 1: Las curvas de mayor pendiente indican mayor grado de acierto en la predicción.

tura y orientación de laderas; Modelo 3: litología, pendiente, altura, orientación y áreas de cuencas; y Modelo 4: litología, pendiente, altura, orientación, áreas de cuencas y buzamientos) y conocer cual es el que mejor se ajusta al comportamiento de las laderas. La figura 4 muestra las distintas curvas de validación obtenidas para los diferentes modelos. Estas curvas se confeccionan super-

poniendo el modelo obtenido con  $n$  variables a los grupos de control. Representan los procesos de remoción en masa del grupo control que coinciden con los distintos rangos susceptibilidades establecidas por el modelo en la ordenada, en función las áreas clasificadas como susceptibles, ordenadas de mayor a menor peligrosidad en la abscisa. La línea diagonal en dichos diagra-

mas correspondería a una predicción aleatoria sin considerar las variables que condicionan a cada pixel. A mayor pendiente de la curva, mayor será la capacidad predictiva del modelo.

El modelo óptimo resulta cuando se consideran las variables: litología, pendiente y altura. En este modelo el 30% de las áreas identificadas como más susceptibles a colapsar predijeron el 75% de los eventos del grupo de control de la validación espacial y el 90% de los eventos históricos ocurridos luego de 1963 (validación temporal). Cuando se incrementa el número de variables no necesariamente mejora la calidad de predicción. De hecho, la variable distancia a los fallamientos fue descartada en el análisis previo, la inclusión de esta variable en el modelo arriba a un mapa de susceptibilidad de menor calidad predictiva.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

La probabilidad *a priori* de que se produzca un proceso de remoción en masa en el área de estudio es 0,0026 si se consideran sólo la cicatriz o zona de arranque de estos procesos. Esta probabilidad aumenta a 0,1437 al considerarse los procesos en su conjunto. O sea, el 14% del área de estudio aproximadamente está afectada por este tipo de proceso. La probabilidad *a priori* es igual para cada una de las celdas del área de estudio, pero la probabilidad condicionada dependerá de la importancia relativa de cada variable presente en dicha celda, por ello es fundamental analizar el rol de cada variable en la inestabilidad de las laderas.

La generación de modelos probabilísticos basados en las funciones de favorabilidad permitió analizar la calidad de predicción de las distintas variables para valorar la susceptibilidad del terreno a colapsar.

El modelo que utilizó básicamente la litología, la pendiente y la elevación topográfica se ajustó satisfactoriamente a los grupos de control utilizados tanto en la validación temporal, como en la espacial (Fig. 4). La inclusión de las variables orientación de las laderas, áreas de aporte y buzamiento

**CUADRO 7:** Relación  $A_{desl}/A_{clase}$  para (A) inventario de PRM y (B) inventario de cicatrices (áreas en m<sup>2</sup>).

| Clase de distancia a fallas | Área       | A         |               | B       |               |
|-----------------------------|------------|-----------|---------------|---------|---------------|
|                             |            | A desl    | Adesl/A clase | A desl  | Adesl/A clase |
| 0-1000                      | 13900050   | 3503925   | 0,25          | 52650   | 0,0038        |
| 1000-2000                   | 173491200  | 24351075  | 0,14          | 400050  | 0,0023        |
| 2000-3000                   | 13050      | 0         | 0,00          | 0       | 0,0000        |
| 3000-4000                   | 83080125   | 14085225  | 0,17          | 318375  | 0,0038        |
| 4000-5000                   | 156147075  | 27690075  | 0,18          | 461475  | 0,0030        |
| 5000-6000                   | 66108375   | 11245050  | 0,17          | 261450  | 0,0040        |
| 7000-8000                   | 65125800   | 14224725  | 0,22          | 194400  | 0,0030        |
| 8000-9000                   | 66876750   | 11162025  | 0,17          | 197100  | 0,0029        |
| >10000                      | 3044426400 | 421096725 | 0,14          | 7688025 | 0,0025        |

to de los estratos no mostraron mejoras significativas en el grado de predicción del modelo (Moreiras *et al.* 2007). Asimismo las variables: distancia a fallamientos regionales y provincia geológica no resultaron diagnósticas para el modelo. Remondo (2001) asevera que los principales parámetros para el análisis de susceptibilidad-peligrosidad de los procesos de remoción en masa a escala regional son la geología superficial, altura, pendiente y movimientos previos. Existe, sin embargo, diferencias en la calidad de predicción dependiendo del tipo de validación que se aplique al modelo. La validación temporal muestra que la calidad del modelo mejora levemente si se incorporan casi todas las variables; mientras que la validación espacial no refleja lo mismo. El modelo incluyendo las principales variables muestra que las áreas con mayor grado de susceptibilidad se encuentran mayormente a lo largo del valle del río Las Cuevas y río Mendoza, principalmente en los parajes de La Jaula, Cortaderas, arroyo Polvaredas, arroyo Negro, arroyo Taure, Punta de Vacas, Puente del Inca, Penitentes, arroyo Cañas y Las Cuevas. Coincidentemente estos sectores han sido los más afectados por procesos de remoción en masa en el pasado.

Si bien, la evaluación objetiva a partir del análisis estadístico permite predecir la ocurrencia de los procesos geomorfológicos dinámicos, la peligrosidad de estos procesos naturales resulta en cierto grado incierta. Los resultados más óptimos obtenidos hasta el momento muestran que sólo el 80% de las unidades de terreno

pueden ser clasificadas apropiadamente según su grado de inestabilidad (Baeza y Corominas 2001). Esto posiblemente se deba a la falta de comprensión de los mecanismos naturales y a la falta de información, generalmente afectada por índoles económicas, considerándose sólo los datos con costos razonables para el mapeo de peligrosidad a escala regional.

Por otra parte, debe destacarse que los sectores que potencialmente podrían ser afectados por flujos de detritos suelen ser suabestimados por el modelo ya que corresponden a pendientes suaves y depósitos cuaternarios donde rara vez se asocian a zonas de arranques. Sin embargo, la peligrosidad de estos procesos originados principalmente en las cabeceras de las cuencas tributarias del río Mendoza debe ser tenida en cuenta. Estos eventos suelen fluir pendiente abajo y converger en canales colectores, donde se encauzan aumentando su volumen y poder de destrucción. Es por ello que las áreas de mayor peligro, a pesar de tener suaves pendientes, se encuentran en las desembocaduras de gargantas, quebradas secas, abanicos aluviales e incluso ríos, ya que suelen encauzarse también en estos generar crecientes y aluviones aguas abajo. Las precipitaciones intensas de verano han generado violentos flujos de detritos en los Andes Centrales (Sepúlveda *et al.* 2006), cuyo intervalo medio de recurrencia en los últimos 100 años, no supera los 5 años en el sector argentino (32° LS) (Moreiras 2004, 2006). Sin embargo, se observó que la frecuencia de estos eventos también está relacionada a la variabilidad

climática, un mayor número de deslizamientos se ha registrado en Cordillera Frontal durante la fase cálida del ENSO, mientras los períodos húmedos condicionados por el anticiclón del Atlántico se han correlacionado con mayor actividad en Precordillera (Moreiras 2005 a, b).

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Atkinson, P.M. y Massari, R. 1998. Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy. *Computers & Geosciences* 24(4): 373-385.
- Baeza, C. y Corominas, J. 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, Balkema 26: 1251-1263. DOI: 10.1002/esp.263, Rotterdam.
- Brabb, E.E., Pampeyan, E.H. y Bonilla, M.G., 1972. Landslide susceptibility in San Mateo County, California. U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-360, scale 1:62,500.
- Brandt, C.H. 1828. *Journal of a voyage to Perú: a passage across the Cordillera of the Andes, in the winter of 1827, performed on the foot in the snow; and a journey across the Pampas.* 355 p., London.
- Brenning, A. 2005. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5(6): 853-862.
- Compagnucci, R.H., Agosta, E.A. y Vargas, W.M. 2002. Climatic change and quasi-oscillations in central-west Argentina summer precipitation: main features and coherent behaviour with southern African region. *Climate Dynamics* 18: 421-435.
- Chung, C.F. y Fabbri, A. 1993. The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources* 2(2): 122-139.
- Drennon, C.B. y Schleinig, W.G., 1975. Landslide Hazard mapping on a shoestring. P.A.S.C.E., J. Sur. and Mapping Div., SU1, 107 - 114, **LOCALIDAD**.
- Espizúa, L.E. 2005. Megadeslizamientos Pleistocénicos en el valle del Río Mendoza, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 477-482, La Plata
- Espizúa, L.E., Bengochea, J.D. y Aguado, C. 1993. Mapa de riesgo de remoción en masa en el va-

- lle del Río Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 6: 323-332, Mendoza.
- Fauqué, L., Hermanns, R., Wilson, C., Cegarra, M., Rosas, M. y Baumann, V. 2005. Paleorepresa-meintos del Río Mendoza entre Polvaredas y Punta de Vacas, Mendoza, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas: 274, La Plata.
- Fauqué, L., Baumann, V., Di Tommaso, I., Rosas, M., Hermanns, R., González, M., Coppolecchia, M. y Wilson, C. 2005. Evidencias de paleoendicamientos en la cuenca del río Mendoza. Provincia de Mendoza, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 507-514, La Plata.
- Fauqué, L., Hermanns, H., Wilson, C., Cegarra, M., Rosas, M. y Baumann, V. 2008a. Paleorepresamientos del Río Mendoza entre Polvaredas y Punta de Vacas, Mendoza, Argentina. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 274-275, Jujuy.
- Fauqué, L., Rosas, M., Hermanns, R., Baumann, V., Lagorio, S., Wilson, C. y Hewitt, K. 2008b. Origen y edad del depósito asignado al drift Penitentes. Mendoza, Argentina. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 278-279, Jujuy.
- Fauqué, L., Hermanns, R., Hewitt, K., Rosas, M., Wilson, C., Baumann, V., Lagorio, S. y Di Tommaso, I. 2008c. Mega-deslizamientos de la pared sur del Cerro Aconcagua y su relación con la génesis del depósitos de Horcones. Mendoza, Argentina. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 276-277, Jujuy.
- Fauqué, L., Cortes, J.M., Folguera, A., Etcheverría, M., Hermanns, R., Cegarra, M., Rosas, M. y Baumann, V. 2008d. Edades de las avalanchas de rocas ubicadas en el valle del Río Mendoza aguas debajo de Uspallata. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 282-283, Jujuy.
- Koepfen, W. 1931. Grundriss der Klimakunde, Walter de Gruyter Co. 12. 388 p., Berlin.
- Lucini, P. 1969. Un metodo grafico per valutazione della franosita. Memorie e Note dell' Instituto di Geologia Ppplcata, II, 14p., Napoli
- Lucini, P. 1973. The potencial landslides forecasting of the "Argille Varicolori Scagliose" complex in IGM 174 IV SE Map, Savignano di Puglia (Compania). Geologia Applicata e Hidrogeologia, 8: 311-316.
- Miers, J. 1826. Travels in Chile and La Plata. Ed. Baldwin, Cradock, and Joy, Wrappers. 2 vol., 533p., London.
- Montgomery, D.R. y Dietrich, W.E. 1994. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding; Water Resources Research 30(4): 1153-1171.
- Moreiras, S.M. 2004. ¿Qué características tienen los procesos de remoción en masa en Cordillera Frontal y Precordillera Mendocina?. En M. González y N.J. Bejerman (eds.) Peligrosidad geológica en Argentina, Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Publicación Especial N° 4: 423-428.
- Moreiras, S.M. 2005a. Climatic effect of ENSO associated with landslide occurrence in the Central Andes, Mendoza province, Argentina. Landslides 2(1): 53-59.
- Moreiras, S.M. 2005b. Landslide Susceptibility Zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina. Geomorphology 66(1-4): 345-357.
- Moreiras, S.M. 2006. Frequency of debris flows and rockfall along the Mendoza river valley (Central Andes), Argentina. Special Issue Holocene Environmental Catastrophes in South America. Quaternary International 158: 110-121.
- Moreiras, S.M., Olmedo V.E. y Diaz, A.F. 2006. Informe 1: Identificación preliminar de Sitios Prioritarios de Rodados. Línea Rodados. Sistema de Control y Manejo Vialidad Invernal de la ruta Nacional 7. Proyecto BID - DNV, 15p.
- Moreiras, S.M., Olmedo, V.E. y Díaz, A.F. 2007. Informe 2: Zonificación de peligrosidad. Línea Rodados. Sistema de Control y Manejo Vialidad Invernal de la ruta Nacional 7. Proyecto BID - DNV, 23p.
- Pereyra, F.X. 1995. Esquema geomorfológico del sector norte del valle del río Las Cuevas, entre Puente del Inca y Las Cuevas, Prov. Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 50(1-4): 103-110.
- Ramos, V.A. 1996. Evolución tectónica de la alta cordillera de San Juan y Mendoza. Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Anales 24(12): 447-460, Buenos Aires.
- Ramos V.A., Caminos, R. y Cortes, J.M. 2000. Hoja Geológica 3369-I Cerro Aconcagua (1:250.000). Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico.
- Ramos, V.A., Aguirre Urreta, M.B., Alvarez, P.P., Cegarra M.I., Cristalini, E.O., Kay, S.M., Lo Forte, G.L., Pereyra, F.X. y Perez, D.J., 1996. Geología de la Región del Aconcagua. Provincias de San Juan y Mendoza. Subsecretaría de Minería de la Nación. Dirección Nacional de Servicio Geológico, Anales 24: 1-510, Buenos Aires.
- Remondo, J. 2001. Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis espacial. Tesis doctoral. Departamento de Geología Universidad de Oviedo (ínedito). 278p., Oviedo.
- Remondo, J., González, A., Díaz Terán, J.R., Cendrero, A., Fabbri, A. y Cheng, Ch.J. 2003. Validation of Landslide Susceptibility Maps, Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain. Natural Hazards 30: 437-449.
- Rosas, M., Wilson, C., Hermanns, H., Fauqué, L. y Baumann, V. 2008. Avalanchas de rocas de las Cuevas una evidencia de la desestabilización de las laderas como consecuencia del cambio climático del Pleistoceno superior. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 313-314, Jujuy.
- Sepúlveda, S., Rebolledo, A.S. y Vargas, G. 2006. Recent catastrophic debris flows in Chile: Geological hazard, climatic relationships and human response. Quaternary International 158: 83-95.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes. En R.L. Schuster y R.J. Krizek (eds.) Landslides: Analysis and Control. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., Special Report 176: 11-33.
- Wilson, C., Hermanns, H., Fauqué, L., Rosas, M., Baumann, V. y Hewitt, K. 2008. La deglaciación del Pleistoceno superior como condicionante de procesos geológicos catastróficos en la cuenca del río Las Cuevas. Mendoza, Argentina. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 326-327, Jujuy.
- WP/WLI, 1993. Multilingual Landslide Glossary. Bi-Tech Publishers, Richmond, British Columbia Canada, 59 pp.

Recibido: 10 de junio, 2009

Aceptado: 27 de octubre, 2009