

FLUJOS DE DETRITOS RECIENTES EN LA CORDILLERA FRONTAL DE MENDOZA: UN EJEMPLO DE RIESGO NATURAL EN LA RUTA 7

Emmanuel WICK¹, Valérie BAUMANN², Guillaume FAVRE-BULLE¹, Michel JABOYEDOFF¹, Alexandre LOYE¹, Hugo MARENGO³, y Mario ROSAS³

¹ Instituto de Geomática y de Análisis de Riesgo (IGAR), Universidad de Lausanne, Suiza.

² SEGEMAR, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires. Email vbauma@mecon.gov.ar

³ SEGEMAR, Servicio Geológico Minero Argentino, Delegación Mendoza, Mendoza.

RESUMEN

Se expone un estudio sobre los flujos de detritos ocurridos en enero de 2005, en el km 1.118,5 de la ruta nacional 7 en la provincia de Mendoza. La zona se ubica en la Cordillera Frontal, próxima al límite con la Precordillera. Se realizó un mapa geomorfológico detallado, sobre la base de una imagen Quickbird del año 2006. Además, se hicieron cálculos de volúmenes, velocidades y caudales, con mediciones en el campo y con ayuda de un sistema de información geográfico (SIG). El estudio de la geomorfología permitió proponer tres escenarios para el caso de un nuevo evento, a partir de los cuáles se creó un mapa de susceptibilidad a los flujos de detritos para el tramo de ruta analizado. Finalmente, se proponen medidas de protección y de mitigación ante la posibilidad de recurrencia de estos eventos en el sector.

Palabras clave: *Flujos de detritos, ruta 7, Mendoza, mapa de susceptibilidad, medidas de mitigación*

ABSTRACT: *Recent debris flows in the Frontal Cordillera of Mendoza: an example of natural risk on the Road 7.* In this paper is presented a study dealing with the debris flows that reached the national road 7 in January 2005, in the km 1,118.5, Mendoza province. The area is located in the Frontal Cordillera near the limit of the Precordillera. A detailed geomorphologic map has been realized for this study using a Quickbird satellite imagery of the year 2006. Various calculations of volumes, velocities and peak discharges have been performed with the field data and using a geographic information system (GIS). The geomorphologic survey has permitted to propose three propagation scenarios in case of a new event. These allowed creating a map of debris flows susceptibility for the stretch of the road that has been studied. Finally, it has been proposed protection and mitigation measures, based on the results of the study, to protect the road from a new event.

Keywords: *Debris flows, road 7, Mendoza, map of susceptibility, mitigation measures*

INTRODUCCIÓN

La ruta nacional 7 cruza de este a oeste Argentina y conecta Buenos Aires con la frontera chilena. Al atravesar la cordillera de los Andes se expone a numerosos peligros naturales como avalanchas, caídas de bloques y flujos de detritos. Según los datos provistos por Gendarmería Nacional del año 2009, alrededor de 2.750 vehículos transitan cada día, esto representa casi dos vehículos por minuto. El presente estudio sobre los flujos de detritos ocurridos en enero de 2005 (Fig. 1), al norte de la curva de Guido (km 1.118,5), es parte del trabajo del master en ingeniería geológica realizado en la Universidad de Lausanne, Suiza, por uno de los autores (E. Wick).

Un flujo es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento posee un comportamiento semejante al de un fluido, puede ser rápido o lento, saturado o seco (GEMMA 2007). En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes 1978). El flujo de detritos es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, de comportamiento no plástico, en un canal de gran pendiente (índice de plasticidad < 5% en arena y fracciones más finas) (Hungry *et al.* 2001).

El 11 de enero de 2005, en las inmediaciones de la curva de Guido, se produjeron flujos de detritos como consecuencia de intensas lluvias ocurridas en el ce-

rrero Médanos (3.098 m s.n.m.) en la Cordillera Frontal de Mendoza. Dichos flujos tuvieron su zona de arranque en la vertiente noreste del cerro mencionado y se encauzaron en tres brazos principales (A, B y C) con un desnivel máximo de 1.550 m hasta la ruta. Los tres flujos se unieron a pocos metros de la ruta para formar un único brazo y cruzar la misma, para luego desembocar en el río Mendoza. El flujo al cruzar la ruta arrastró un auto hasta el río y los dos pasajeros resultaron heridos.

Clima y vegetación

La región posee clima semiárido, propio de los valles montañosos del sector de Uspallata, correspondiente a una zona de

transición entre el clima templado frío y el clima desértico. Los inviernos son relativamente suaves (Fernández García y Polimeni 2003), con precipitaciones anuales que varían generalmente entre 200 y 300 mm, con un aumento significativo durante los últimos años (Fig. 2), y régimen claramente estival (datos estación Guido 1957-2007, cedidos por EVARSA, Evaluación de Recursos S.A.). En el verano se producen importantes precipitaciones en forma de tormentas, por causa de la formación de bajas térmicas, favorecidas por las altas temperaturas y la continentalidad de la región (Fernández García y Polimeni 2003). La vegetación es poco densa y está principalmente constituida de matorrales espinosos, gramíneas y cactus, entre los cuales el más abundante y característico es *Denmoza rhodacantha*.

GEOLOGÍA Y ESTRUCTURA

La zona de estudio se ubica en la Cordillera Frontal, cerca del límite con la Precordillera. En la cuenca afloran tres litologías, además de una capa de depósitos del Cuaternario, ubicados en la parte inferior de la cuenca. El Grupo Choiyoi está representado por las rocas plutónicas del stock del cerro Médanos (Folguera *et al.* 2004), compuesto por granitos rosados poco a muy alterados. La alteración química es intensa y afecta la cohesión de la roca, produciendo grandes cantidades de detritos de tamaños arena a grava; la meteorización mecánica produce fragmentación de la roca en bloques de varios tamaños, a través de fracturas y diaclasas. La segunda litología está representada, en la parte superior de la cuenca, por la Formación Portezuelo del Cenizo, compuesta por lavas andesíticas oscuras, intruídas por el stock del cerro Médanos. Por último, la Formación El Plata, de escasa distribución en la zona de estudio, está compuesta por pelitas, metamorizadas por la intrusión del stock del cerro Médanos (Camino 1965). Los depósitos cuaternarios están constituidos por aluvios y

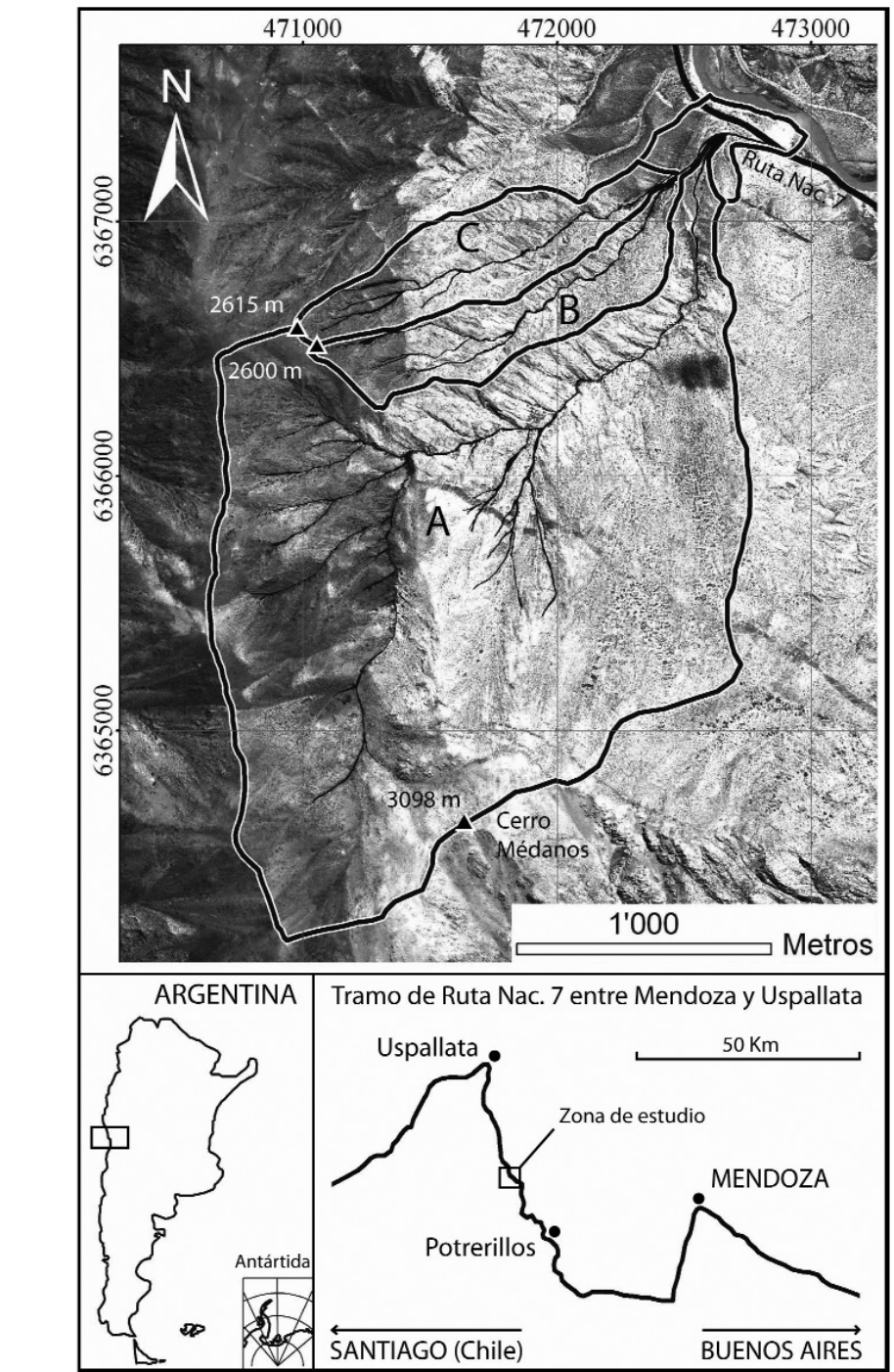


Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio. La cuenca está al norte de la curva de Guido, entre Potrerillos y Uspallata, provincia de Mendoza, y está compuesta por tres cauces principales (A, B y C) que se juntan algunos metros antes de la ruta nacional 7.

coluvios, compuestos de gravas, arenas, limos y bloques en menor proporción (Folguera *et al.* 2004), en su mayor parte provenientes de la erosión del granito. La fracturación de las rocas, principalmente del granito, se debe a las dos fa-

ses de deformación gondwánica y andina (Ramos 1999). Las grandes estructuras presentes en la zona son la falla del cerro Médanos al oeste, y un sistema complejo de fallas inversas de quebrada del Medio al este.

METODOLOGÍA

Con el objetivo de caracterizar algunos aspectos geológicos, tectónicos y geomorfológicos de la región, fueron consultados varios trabajos inéditos del SEGEMAR y las publicaciones de Moreira (2004, 2005, 2006) concernientes a deslizamientos, flujos de detritos y caídas de bloques a lo largo de la ruta 7. Se utilizó también la Hoja Geológica 3369-15 “Potrerillos” escala 1:100.000 (Folguera *et al.* 2004) para la descripción de las unidades geológicas. El análisis y la cartografía geomorfológica se hicieron a partir de la imagen satelital Quickbird (resolución 0,6 m, 29 de enero 2006) y fotos aéreas a escala 1: 50.000 del año 1966.

En el campo se recorrió la parte inferior de la cuenca y se hicieron observaciones y mediciones para calcular volúmenes, velocidades y caudales. Se realizaron perfiles transversales a lo largo de los cauces en los lugares de cambios de morfologías, tomando medidas cada 100 m aproximadamente. A partir de los perfiles transversales se pudieron determinar dos tipos de volúmenes: el volumen almacenado después del último evento y que puede ser removilizado en un próximo evento y el volumen movilizado durante el último evento. En la figura 3 se observa el perfil transversal teórico de un cauce, el espacio dejado por el material movilizado en el último evento (S_M) y el material potencialmente disponible para eventos futuros ($S_{Ad} + S_{Ai}$). El área del material depositado ($S_{Ad} + S_{Ai}$) y el área del material movilizado (S_M) se multiplicaron por la longitud de un tramo admitido como constante, y se sumaron todos los tramos para obtener el volumen total.

El volumen mínimo que llegó a la ruta se midió entre la ruta y el río Mendoza, debido a que el depósito es el cono de deyección que llega hasta el río mencionado. El volumen total disponible se estimó en el campo y con ayuda de un sistema de información geográfico (SIG). Se tuvieron en cuenta los aportes puntuales (conos de deyección), los aportes de arena (presentes en algunas laderas) y los depó-

sitos a lo largo de los cauces. Se asignaron distintas clases a los espesores, en función de las observaciones de campo, y se estimó una pendiente media para cada tipo de aporte. Las velocidades fueron calculadas con el método de alzamiento de las curvas (Rickenmann 1995):

$$V = \sqrt{g \cdot R_c \cdot \tan \beta}$$

Donde V es la velocidad buscada [m/s], g la aceleración de la gravedad [m/s²], R_c el radio de curvatura medio [m] y Δ el ángulo de la superficie libre inclinada [grados (°)].

En el campo se midieron secciones transversales del canal, diferencias de alturas, anchos del depósito y radios de curvatura en los tramos donde el cauce posee curvas cerradas, en las cuales el material del flujo se sobrelevó sobre la margen externa.

Otro cálculo se realizó en los sectores del cauce donde el material del flujo sobrepasó alguna elevación del terreno. En estos, la velocidad se calculó a partir de la ecuación de Chow (1959):

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta b}$$

Donde V es la velocidad buscada [m/s], g la aceleración de la gravedad [m/s²] y Δb la diferencia de altura entre el cauce y la orilla [m].

Los caudales ($Q = V \cdot S$) se calcularon midiendo algunas secciones ($S =$ perímetro mojado) en los cauces principales del último evento, y la velocidad (V) calculada por los métodos explicados anteriormente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Geomorfología

La cuenca está compuesta por tres subcuencas cuyos cauces principales de regímenes efímeros, fueron denominados A, B y C (Fig. 1). La cuenca tiene su punto más alto en el cerro Médanos a los 3.098 m s.n.m. y desciende al nivel de la ruta nacional hasta los 1.560 m s.n.m. antes de desembocar en el colector principal, río Mendoza. El cauce principal A es el más largo y recorre 2,8 km hasta su desemboca-

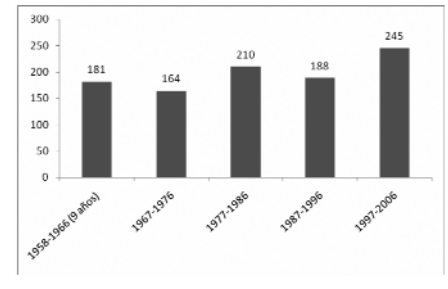


Figura 2: Precipitaciones anuales medias en la estación Guido, por períodos de 10 años. Datos de la estación Guido, 1958-2006.

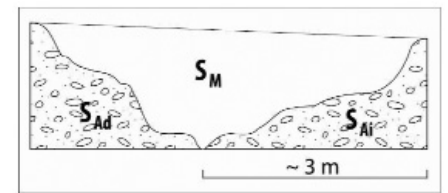


Figura 3: Perfil de un cauce desde agua abajo. S_M es la superficie de material movilizado en el último evento y S_A (d para la orilla derecha, i para la orilla izquierda) es la superficie de material almacenado para el próximo evento.

dura, el B tiene 1,4 km y el C 1,3 km de extensión. En su trayecto, los cauces presentan numerosos saltos controlados por una litología de granitos y volcanitas.

En la parte superior de la cuenca hay grandes pendientes cubiertas por detritos de la meteorización del granito y de las vulcanitas, de tamaño arena y grava. Los cauces están alimentados por sedimentos de tamaños arena hasta bloques, a partir de caídas de rocas desde los afloramientos, o a través de los conos de talud. Asimismo todo este material que rellena los cauces está disponible para ser removilizado por el agua.

Cuando los materiales se saturan en agua y empiezan a moverse a través de los cauces, el flujo incorpora material del sustrato blando y deposita los sedimentos más gruesos en las márgenes de los cauces, formando albardones. En la parte inferior de la cuenca los cauces actuales están disecando el abanico pleistoceno, pudiéndose observar, a lo largo de los mismos albardones y desbordes de los flujos del último evento, así como al menos dos generaciones de albar-

nes más antiguos.

Los tres cauces (A, B y C) se juntan pocos metros antes de llegar a la ruta y en su desembocadura se forma el abanico actual, sobre la planicie aluvial del río Mendoza. Todo este sector cercano a la ruta ha sido modificado intensamente durante los trabajos de construcción y limpieza de la misma. Las observaciones de campo sugieren que el trazado de los cauces fue desviado hacia un sitio más propicio para la construcción de una alcantarilla (Fig. 5). Esto fue confirmado por fotos aéreas de 1966 (Fig. 6) donde se ve la situación anterior a la construcción de la alcantarilla, en las cuales el cauce cruzaba la ruta en forma perpendicular, sin ser desviado hacia el sur. Además, sobre el antiguo trazado del cauce se observaron depósitos recientes de flujos de detritos, que confirman que los mismos podrían tomar un camino más directo para llegar a la ruta.

Volúmenes, velocidades y caudales

Se calculó el volumen almacenado que puede ser movilizado en un evento próximo, comparable al de 2005; el volumen movilizado corresponde al volumen total transportado durante el evento de 2005; el volumen total disponible es todo el material presente en la cuenca que puede ser movilizado a mediano plazo en los próximos eventos (Cuadro 1).

El volumen mínimo que alcanzó la ruta es de 6.000 m³ (volumen depositado entre la ruta y el río Mendoza). Las velocidades calculadas varían entre 5 y 7 m/s y los caudales correspondientes se sitúan entre 50 y 150 m³/s (Cuadro 2).

El volumen movilizado durante el último evento se sobrestima, porque supone que los cauces fueron labrados en su totalidad por el flujo del 2005 y no por eventos anteriores, lo que se contradice con las imágenes anteriores al evento. Además no fue posible una estimación exacta del volumen que alcanzó la ruta porque parte del material desembocó en el Río Mendoza y fue arrastrado por el mismo.

Existe un volumen considerable de material disponible para ser movilizado y dar

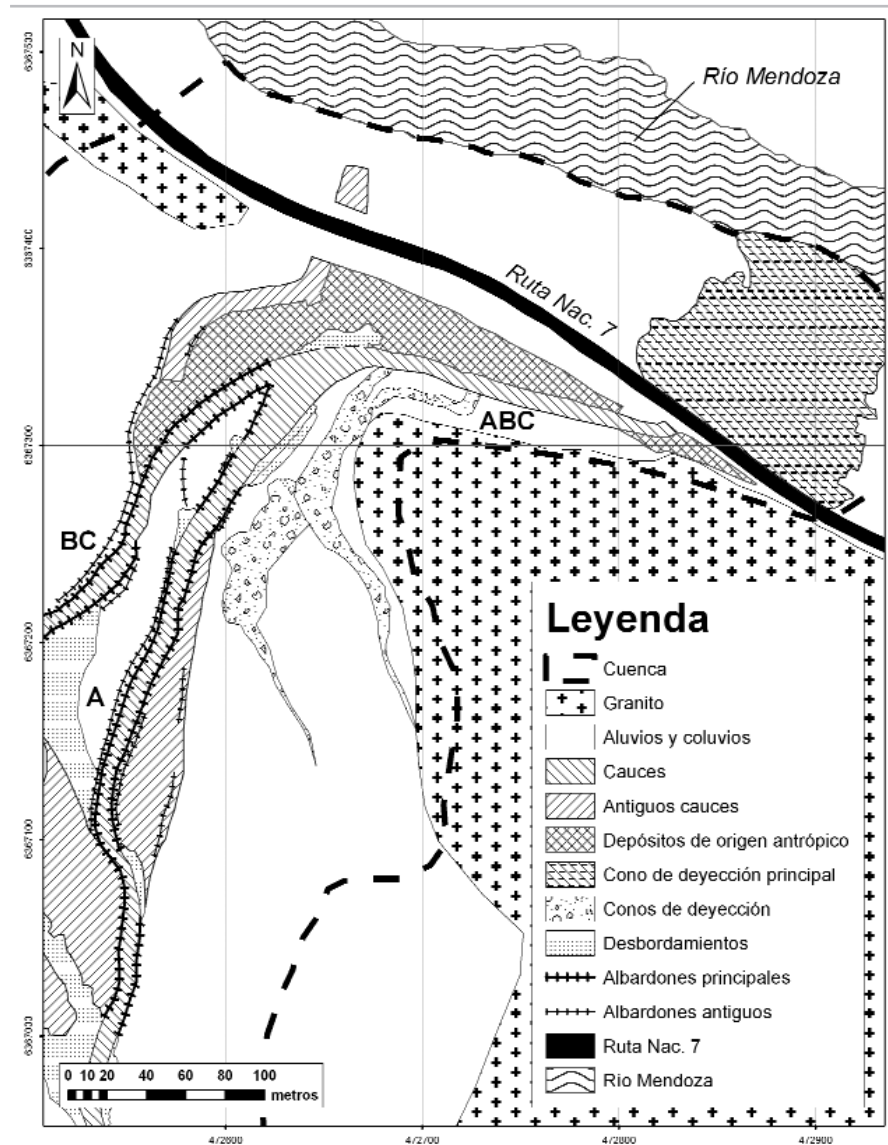


Figura 4: Detalle del mapa geomorfológico, en el cual se observa la parte baja de la cuenca donde se juntan los cauces A y BC antes de llegar a la ruta nacional 7.

origen a nuevos flujos de detritos, lo que implicaría otros posibles cortes de ruta en este sector para los próximos años.

Escenarios y mapa de susceptibilidad

El análisis de las zonas de propagación se hizo en base a la observación de la intersección del cauce con la ruta, la geometría de los cauces, la altura de los albardones, los cauces inactivos, los antiguos depósitos y las modificaciones antrópicas.

El análisis realizado permitió proponer tres escenarios con probabilidades muy alta, alta y media para la ocurrencia de un

nuevo evento. El escenario 1 es de probabilidad muy alta y supone un flujo o evento menor o igual al del 2005 con un aporte que proviene principalmente del cauce A. Se tiene en cuenta un evento mayor al del 2005 para el escenario 2, con una probabilidad alta y un aporte principal del cauce A, como en el caso anterior, que desborda y afecta a la ruta en un tramo anterior (dirección noroeste). El escenario 3, de probabilidad media, supone un importante flujo en los torrentes B y/o C que desborda y reactiva un antiguo cauce, alcanzando la ruta en un tramo situado aún más al noroeste. Los escena-

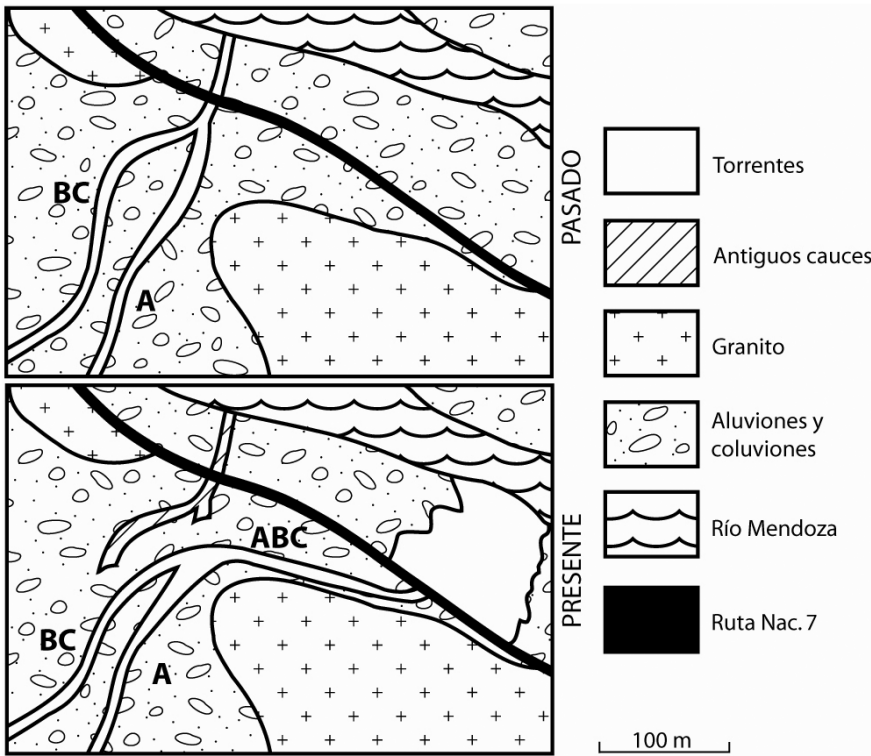


Figura 5: Confluencia de los cauces antes y después de la construcción de la alcantarilla con tres tubos.

rios, la velocidad y altura de los flujos de detritos del evento del 2005, permitieron elaborar un mapa de susceptibilidad a los flujos de detritos para el tramo de ruta estudiado (Fig. 7).

Al no disponer de un modelo numérico del terreno, se utilizaron los escenarios para determinar las zonas de propagación. El mapa de susceptibilidad demuestra que aunque 120 metros de la ruta fueron afectados por el evento de 2005, hay 330 metros que son susceptibles de ser alcanzados para el caso de un flujo de detritos de mayor magnitud.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN

El estado actual en el sector donde se encuentra la intersección del cauce con la ruta, no reúne las condiciones apropiadas para protegerla en el caso de la ocurrencia de otro flujo.

La obra actual no se dimensionó adecuadamente, debido a que según los cálculos

de velocidades y caudales, se estimó que el diámetro actual de los tubos (2,2 m) tendría que ser de por lo menos 3,6 m en el caso de que ocurriera un flujo de detritos comparable al del año 2005.

De acuerdo a los escenarios 2 y 3 planteados precedentemente, debería construirse un muro de contención en la última curva antes de llegar a la ruta en la confluencia de los tres arroyos, usando bloques de un volumen superior a los que pueden movilizar los flujos de detritos. Esto evitaría que los tres arroyos desborden hacia los laterales, sin encauzarse a través de las alcantarillas. Otra posibilidad a tener en cuenta sería la de retomar el antiguo cauce del año 1966 y construir un puente donde éste atraviesa la ruta.

Se sugiere remover parte de los depósitos cercanos a la ruta, generados por el evento del 2005, de manera tal que el material proveniente del cauce desemboque en la alcantarilla.

Sin dudas, una medida de prevención sumamente necesaria es la señalización. Para ello podrán utilizarse semáforos, carteles, etc.

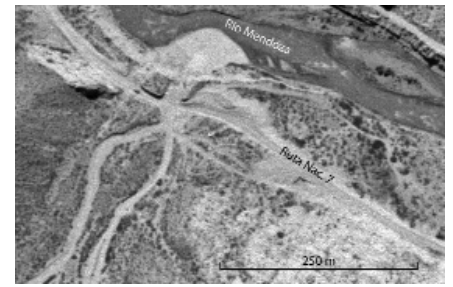


Figura 6: Foto aérea de 1966 de la confluencia de los cauces.

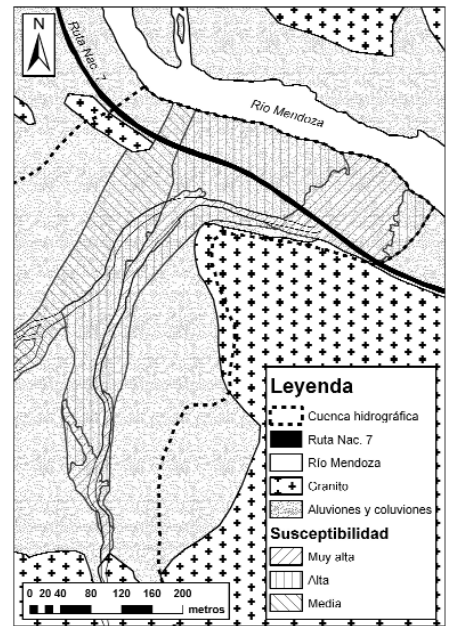


Figura 7: Mapa de susceptibilidad a los flujos de detritos. A partir de los tres escenarios de propagación se obtuvieron tres niveles de susceptibilidad. Los afloramientos de granito limitan parcialmente las zonas de propagación.

Se recomienda la creación de un inventario que contenga datos precisos sobre cada evento acontecido, facilitando la tarea de investigación, especialmente en lo que se refiere a la confección de mapas de riesgo. En principio, dicho inventario podría comprender los siguientes puntos: a) fecha y hora del evento; b) localización precisa del evento, con descripción y en un mapa; c) descripción breve de las condiciones meteorológicas; d) tipo de material despejado (bloques, gravas, lodo, etc.) y estimación del espesor; e) estimación de la longitud del tramo de ruta afectado; f) fotos del sitio y del material; g) estimación de los daños; h) comentarios.

CUADRO 1: Volumen almacenado (disponible en el próximo evento), volumen movilizado (evento de 2005) y volumen total disponible (para los próximos eventos, a mediano plazo)

Volumen almacenado [m ³]	Volumen movilizado [m ³]	Volumen total disponible [m ³]
65.000	70.000	690.000

CUADRO 2: Resumen de las velocidades y caudales calculados a partir de mediciones de campo

Estación	Método	Velocidad [m/s]	Área de la sección [m ²]	Caudal Q [m ³ /s]
A29	alzamiento	4,9	16,7	81
A12	alzamiento	6,5	8,1	52
B15	alzamiento	7,3	8,6	63
ABC5	Chow	6,5	23,4	151

CONCLUSIONES

El estudio de la cuenca mostró que hay gran cantidad de material disponible para ser movilizado en caso de un próximo evento extraordinario de lluvias.

Las mediciones en el campo permitieron calcular datos de volumen, velocidades y caudales de los flujos, que son indispensables para el diseño de medidas de protección para la ruta.

La elaboración de mapas de susceptibilidad y peligrosidad geológica permite tomar en cuenta los sitios que necesitan una particular atención y donde las medidas de protección pueden ser indispensables para evitar las consecuencias económicas que implica el cierre temporal de la ruta como así también para proteger a los usuarios. La elaboración de estos mapas implica un mejor conocimiento de los eventos ocurridos en el pasado y la toma de datos de cada nuevo evento. En el estudio se propone remover parte de los depósitos cercanos a la ruta, redimensionar la alcantarilla y construir un muro de contención, como medidas sencillas para proteger la ruta contra un nuevo evento de flujo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el Instituto de Geomática y de Análisis del Riesgo (IGAR) de la Universidad de Lausanne, Suiza, y los directores del SEGEMAR que permitieron la realización de este trabajo. A la empresa EVARSA (Evaluación

de Recursos S.A) por los datos de precipitaciones de la estación Guido. A Vialidad Provincial por el alojamiento. A Manuela Teresa Fernández por sus revisiones del trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Caminos, R. 1965. Geología de la vertiente oriental del Cordón del Plata, Cordillera Frontal de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20(3): 351-392.
- Chow, V.T. 1959. *Open channel hydraulics*, McGraw Hill, 680 p., New York.
- Fernández García, F. y Polimeni, M. 2003. Características climáticas de los valles del Río Aconcagua (Chile) y del Río Mendoza (Argentina). En *Evaluación Global del Medio Geográfico como base de un ordenamiento racional en el principal corredor Bioceánico del Plan Mercosur: Valles del Río Mendoza (Argentina) y Aconcagua (Chile)*. Universidad Nacional de Cuyo-Universidad Autónoma de Madrid, 88-92, Mendoza.
- Folguera, A., Etcheverría, M., Pazos, P., Giabagi, L., Cortés, J., Fauqué, L., Rodríguez, M.F., e Irigoyen, V. 2004. Hoja Geológica 3369-15, Potrerillos, 1:100.000. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 301, 142 p., Buenos Aires.
- GEMMA (Grupo de estándares para movimientos en masa) 2007. *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional 4, 404 p., Vancouver.
- Hungry, O., Evans, S.G., Bovis, M. y Hutchison, J.N. 2001. Review of the classification of landslides

of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience* 4: 231-228.

Moreiras, S.M. 2004. Landslide incidence zonation in the Rio Mendoza valley, Mendoza province, Argentina. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 255-266.

Moreiras, S.M. 2005. Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina. *Geomorphology* 66: 345-357.

Moreiras, S.M. 2006. Frequency of debris flows and rockfall along the Mendoza river valley (Central Andes), Argentina: Associated risk and future scenario. *Quaternary International* 158: 110-121.

Ramos, V.A. 1999. Rasgos estructurales del Territorio Argentino. *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, *Anales* 29(24): 715-784, Buenos Aires.

Rickenmann, D. 1995. Beurteilung von Murgänge. *Schweizer Ingenieur und Architekt* 48: 1104-1108.

Varnes, D.J. 1978. Slope movements types and processes. En Schuster, R.L. y Krizek, R.E.J. (eds) *Landslides analysis and control*, Transportation Research Board - National Research Council, National Academy Press, Special Report 176: 1-13, New York.

Recibido: 1 de Diciembre, 2009
Aceptado: 25 de Marzo, 2010