

FLUJOS DE DETRITOS Y ALUVIONES HISTÓRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO BLANCO (32°55'-33°10' Y 69°10'-69°25'), MENDOZA

María Solange PÁEZ¹, Stella Maris MOREIRAS¹, Alexander BRENNING² y Laura GIAMBIAGI¹

¹ IANIGLA-CONICET, CCT Mendoza. E-mail: mspaez@mendoza-conicet.gov.ar; moreiras@mendoza-conicet.gov.ar; lgiambia@mendoza-conicet.gov.ar

² Department of Geography and Environmental Management, University of Waterloo, Ontario, Canadá. E-mail: brenning@uwaterloo.ca

RESUMEN

La cuenca del río Blanco está sometida a un clima árido con precipitaciones medias anuales de 400 mm. Las lluvias intensas y de corta duración están concentradas en los tres meses de verano actuando frecuentemente como disparadoras de flujos de detritos y aluviones en el Cordón del Plata y generando variaciones en el caudal del río Blanco por aporte extraordinario de estos eventos. Información sobre la ocurrencia de flujos de detritos y aluviones reportados entre 1942 y 2001 en la cuenca del río Blanco fue recopilada y analizada a partir de crónicas periodísticas, datos aportados por los pobladores, registros pluviométricos de la zona y años de anomalías climáticas, tratando de establecer la precipitación mínima requerida para desestabilizar estas pendientes. Durante el período mencionado se registraron 18 flujos de detritos y aluviones, de los cuales los más importantes ocurrieron en 1960, 1967, 1970 y 1982; y produciéndose dos eventos en los años 1954, 1967, 1982 y 1993, sin embargo la intensidad de los eventos de flujos de detritos y aluviones parece incrementarse durante los años de anomalías climáticas correspondientes a la fase cálida del fenómeno ENOS "El Niño".

Palabras clave: *Cordón del Plata, precipitaciones, ENOS, factores disparadores*

ABSTRACT

Historical debris flows and debris floods in the Río Blanco Basin (32°55'-33°10' y 69°10'-69°25'), Mendoza.

The Blanco River basin has an arid climate characterized by a mean annual precipitation of 400 mm. High-intensity, short-duration rainfall events, which are concentrated during the summer months, often act as triggering mechanism for mud and debris flows in the Cordón del Plata, and cause stream flow variations of the Blanco River due to an extraordinary sediment contribution. Information on the occurrence of debris flows and floods reported between 1942 and 2001 in the Blanco River basin was compiled and analyzed based on newspaper reports and data provided by residents, rainfall measurements from the area and years with climatic anomalies, attempting to establish the minimum rainfall required to destabilize these slopes. Between 1942 and 1982, 18 debris floods were reported being the most important episodes those occurred in 1960, 1967, 1970, and 1982. The years associated with two events were 1954, 1967, 1982, and 1993, but more hazardous debris flows occurred during the warm phase of the ENSO, "El Niño".

Keywords: *Cordón del Plata, rainfall, ENSO, triggering factors*

INTRODUCCIÓN

En el Cordón del Plata los movimientos de ladera constituyen importantes procesos de transporte de sedimentos no sólo por los volúmenes que movilizan sino por la cantidad de eventos que afectan el área. Si bien estos procesos varían en cuanto a la tipología y magnitud, los más predominantes son los flujos de detritos y aluviones muchas veces originados o asociados a deslizamientos menores en cabezales de las sub-cuencas. Muchos de estos eventos ocurren duran-

te o inmediatamente después de un período de lluvia excepcional, respecto de los valores de precipitaciones esperados para tormentas en la zona, por lo que ésta constituye uno de los principales factores que afectan la inestabilidad de las laderas. La existencia de una capa de materiales muy meteorizados y saturados de agua, provoca una reducción de la cohesión de la masa, pérdida de cementación entre las partículas del suelo, incremento entre las presiones de los poros, haciendo que las fuerzas desestabilizadoras desequilibren el sistema y una porción de suelo se des-

lice por la pendiente que, según distintos investigadores, deben presentar ángulos de entre 28° y 45° (Costa 1984, Gutiérrez Elorza 2010).

Tormentas de alta intensidad, corta duración, rápidos deshielos e incluso precipitaciones pluviales sobre mantos de nieve, que puedan originar una rápida escorrentía y que al mezclarse con sedimentos de variada granulometría y abundantes partículas arcillosas, dan lugar a flujos de detritos (Johnson y Rodine 1984).

Los flujos detríticos y aluviones históricos ocurridos en la cuenca del río Blan-

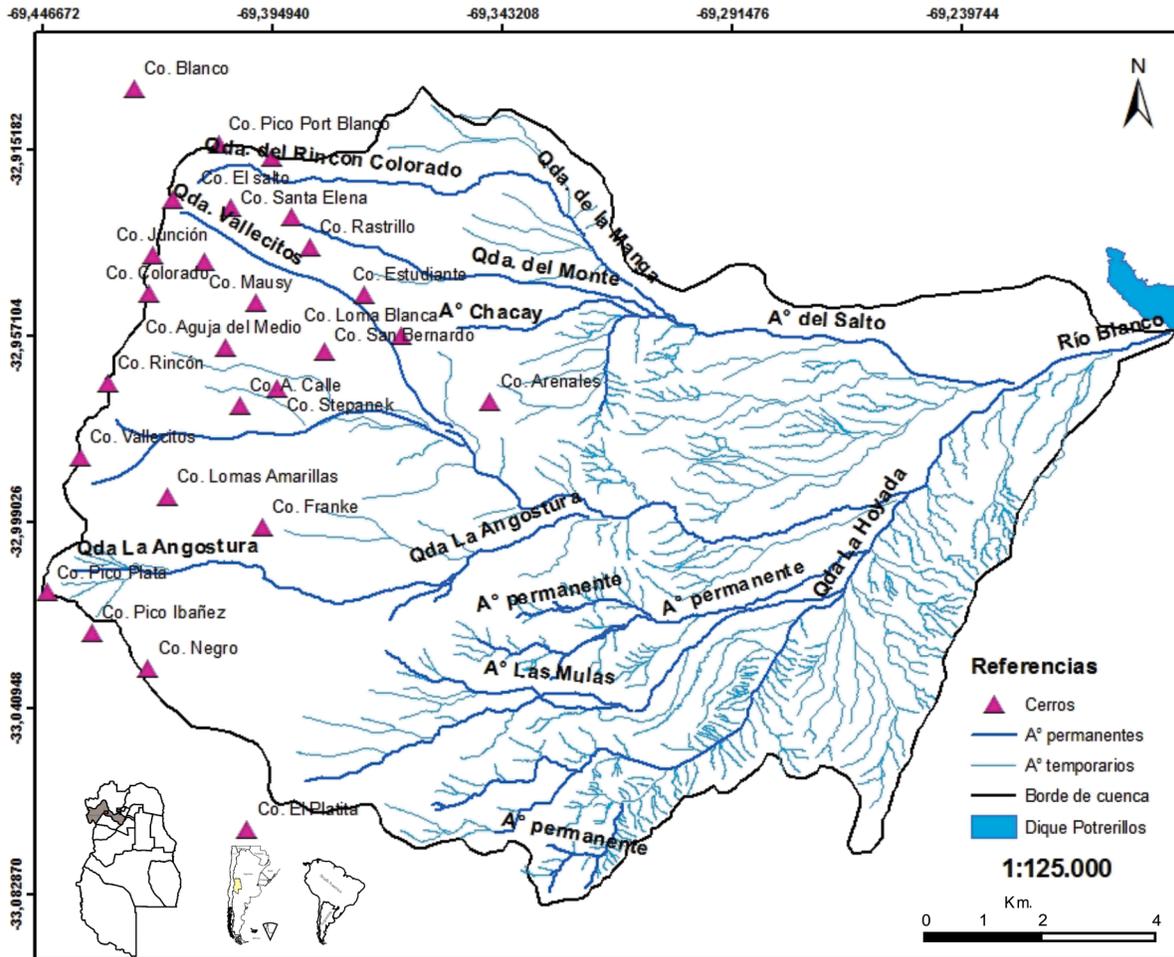


Figura 1: Mapa de localización de la cuenca del río Blanco, Mendoza.

co (provincia de Mendoza) son el objeto de estudio de este trabajo, cuya finalidad es determinar el rol de las precipitaciones como factor disparador, y en particular los umbrales de precipitación asociados a la ocurrencia de flujos detríticos. Este análisis se realiza en base a la recopilación de eventos históricos, y la situación climática y meteorológica antecedente.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Blanco nace en la vertiente oriental del Cordón del Plata (6100 m snm) y desemboca hacia el este en el actual dique-embalse Potrerillos, en el río Mendoza. Se extiende entre los 32° 55' – 33° 05' S y los 69° 25' - 69° 10' O, comprendiendo un área aproximada de 554 km². El río Blanco como afluente del río

Mendoza constituye la principal fuente de agua para consumo humano e irrigación del oasis norte de Mendoza (Fig. 1) Geológicamente, el área se emplaza en la provincia geológica de Cordillera Frontal, asociada a un relieve abrupto cuyas mayores elevaciones son los cerros El Plata (6100 m s.n.m.), Blanco (5490 m s.n.m.), de las Vertientes (5354 m s.n.m.), Rincón (5142 m s.n.m.) y Castaño (2877 m s.n.m.). Las unidades geológicas más antiguas que afloran en la cuenca corresponden a las metasedimentitas de edad devónica descritas por Heredia *et al.* (2012) y las formaciones de ambiente marino Loma de los Morteritos y El Plata que se extienden por la línea de las cumbres. La secuencia estratigráfica continúa con el Conglomerado Río Blanco y Conglomerado Pircas, de edad Carbonífero Superior-Pérmico

Inferior. Aflora también el Grupo Choiyoi constituido por volcanitas piroclásticas, lávicas y sedimentitas del Pérmico Inferior-Triásico Medio, se encuentra compuesto por las Formaciones Mal País, Tambillos y rocas subvolcánicas y plutónicas. El Triásico Medio-Jurásico Inferior está representado en la zona por el Grupo Uspallata, conformado a su vez por las Formaciones Río Mendoza, Potrerillos, Cacheuta y Río Blanco, de ambiente fluvial principalmente (Folguera *et al.* 2004). El Terciario está representado por los conglomerados y areniscas de las Formaciones Papagayos, Mariño y Formación Mogotes. Los depósitos cuaternarios están representados por depósitos de aluviales (fanglomerados) descritos por Polanski (1963) y niveles de pedimentación (Cortés 2000) testigos de intensos

procesos fluviales y flujos detríticos ocurridos durante el Holoceno (Folguera *et al.* 2004).

Aspectos climáticos de la región

La cuenca del río Blanco se encuentra sometida a condiciones climáticas áridas a semiáridas (Norte 1995). Dos centros anticiclónicos (Atlántico y Pacífico) y la depresión del Noroeste (DNO) juegan un papel fundamental en las precipitaciones interanuales del territorio mendocino. Las precipitaciones pluviales se concentran principalmente en período entre diciembre y marzo (verano), cuando están asociadas a tormentas convectivas, mientras las precipitaciones níveas se producen en invierno en los sectores de mayor altura (Prohaska 1976) (Fig. 2).

De acuerdo a Capitanelli (1967), el anticiclón subtropical permanente del Atlántico (ASA) se acerca levemente a Mendoza en el verano en su desplazamiento hacia el sur. Esta masa de aire subtropical, cálida y húmeda, alcanza a llegar a la cordillera mendocina y, aunque habiendo perdido gran parte de la humedad en su largo recorrido, constituye la mayor fuente de precipitaciones en los sectores llanos de la provincia. Esta masa húmeda se debilita en invierno, cuando el anticiclón se desplaza hacia el norte y se establece un puente de altas presiones que eleva el aporte del sistema del sur.

En el estío o verano austral, el desplazamiento del anticiclón al sur trae aparejado la desaparición del puente de altas presiones y la aproximación a Mendoza de la depresión del Noroeste (DNO) que favorece la expansión de la masa de aire tropical. Las precipitaciones que causa este centro anticiclónico del Atlántico, decrecen de este a oeste, aumentando por excitación orográfica en el borde oriental de Precordillera. La DNO tiene gran importancia en el clima mendocino en el desencadenamiento de precipitaciones estivales. Cuando la masa de aire penetra en la provincia la gran distancia existente a la fuente ecuatorial hace que esta llegue prácticamente seca, por lo que el límite máximo de predominio de la masa del noroeste es el área de precipitaciones inferiores a los

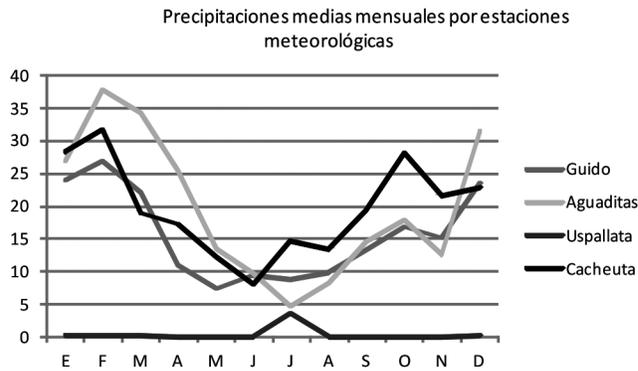


Figura 2: Precipitaciones medias mensuales registradas en estaciones meteorológicas próximas a la cuenca del río Blanco, período 1957-2001.

200 mm. Sin embargo, cuando la masa de aire se ubica en el norte de la provincia, aspira rápidamente aire del sur que la sustituye provocando repentinos cambios de tiempo acompañado de alta nubosidad y algunas precipitaciones (Capitanelli 1967).

Por otra parte, la influencia del anticiclón subtropical permanente del Pacífico (ASP) llega a Mendoza desde el oeste. Al cruzar Los Andes pierde en gran parte de su humedad precipitando nieve en los sectores más altos. En la región la fase cálida del fenómeno climático El Niño – Oscilación del Pacífico Sur (ENOS), vinculado al anticiclón del Pacífico, ha sido vinculado a mayores precipitaciones níveas (Vargas y Compagnucci 1985), y mayores caudales en los ríos andinos (Compagnucci y Araneo 2007, Masiokas *et al.* 2006). Esta fase cálida, conocida como El Niño, se caracteriza por un debilitamiento de los vientos alisios y un aumento en la temperatura superficial del mar, lo que se traduce en veranos más húmedos. Caracterizada por anomalías opuestas, la fase fría del fenómeno ENOS, es denominada La Niña, prevaleciendo en ella los vientos alisios intensos y la temperatura superficial del mar baja, dando lugar a veranos secos (Aceituno y Garreaud 1995).

En congruencia con lo antes explicado, las precipitaciones níveas en el Cordón del Plata están relacionadas al anticiclón del Pacífico, mientras en el estival caracterizado por lluvias intensas tendrán influencia las sudestadas con vientos regulares del sudeste y temperaturas relativamente bajas. Este meteoro se genera por efecto combinado del anticiclón subtropical per-

manente del Atlántico y un sistema de baja presión ubicado en el centro y sur de la Mesopotamia caracterizado por el aporte de aire cálido y húmedo. La sudestada se produce cuando se profundiza la baja presión e intensifica la circulación del viento del sudeste (Compagnucci y Araneo 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los principales tipos de datos utilizados en este estudio son las ocurrencias en el tiempo y espacio de los flujos de detritos y aluviones, y los registros meteorológicos observados en la zona de estudio. Se digitalizaron además sus trayectorias de tal manera de tener una percepción del alcance que tienen y tuvieron en el pasado estos procesos.

Clasificación e identificación de flujos de detritos

Los procesos de remoción en masa fueron clasificados de acuerdo a la terminología propuesta por el GEMMA (2007), en donde los flujos de detritos se engloban en este término. Sin embargo, la nomenclatura de los flujos de detritos es ambigua en la literatura internacional (Sharpe 1939, Varnes 1958, Polanski 1966, Johnson y Rodine 1984, WP/WLI 1990, 1991, 1993, Zaruba y Mencl 1982, Corominas *et al.* 1996, Hungr 2005, Vargas *et al.* 2000). Según lo propuesto por Varnes (1978), constituyen una forma de movimiento en masa en el cual fragmentos de roca, suelo suelto y material orgánico se mezclan con el aire atrapado en los poros y el agua, y escurren pendiente abajo. Estos even-

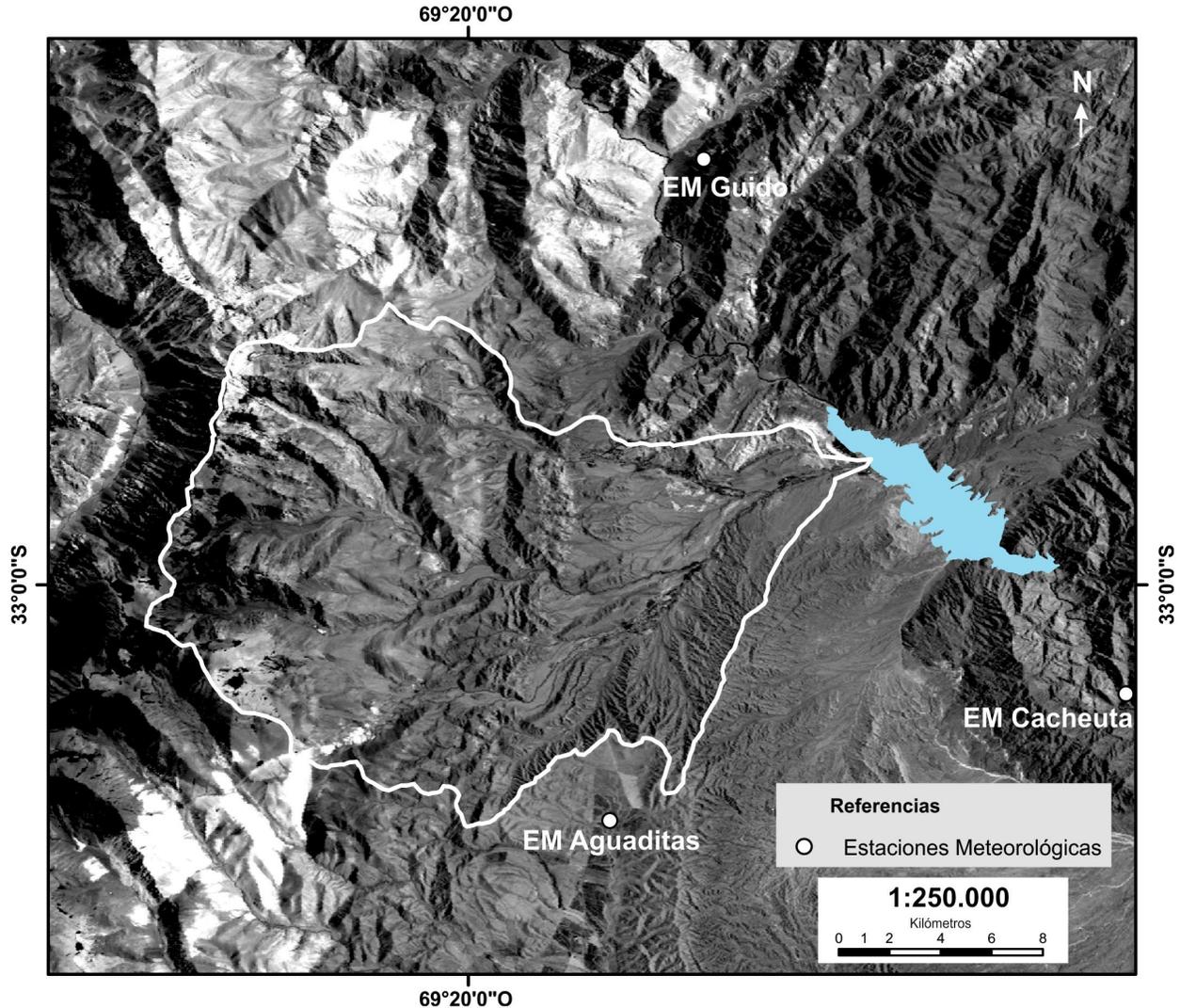


Figura 3: Estaciones meteorológicas próximas a la cuenca del río Blanco.

tos suelen estar encauzadas en quebradas o surcos de fuertes pendientes, mientras que sus zonas de depositación suelen ser más planas y de mayor extensión lateral. Pero existen diferentes tipos de flujos de detritos en función de la concentración sedimento-agua. Se diferencian los flujos hiperconcentrados con 20% a 60% de sedimentos en el volumen total y flujo de detritos - barro con más del 60% de sedimentos en el volumen total (Beverange y Culbertson 1964, Pierson y Costa 1987, Costa 1988). En tanto Hutchinson (1988), diferencia ambos términos en función del porcentaje del peso de los sedimentos. Los flujos de detritos o de barro presentan más del 80% en peso de sedimentos, en cambio los flujos hiperconcentrados entre 40% a 80%.

CUADRO 1: Información de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

Estación	Altura s.n.m	Latitud S	Longitud O	Período de los registros de precipitaciones
Guido	1550 m	32°51'	69°16'	1957 - 2001
Aguaditas	2225 m	33°05'	69°17'	1972 - 1998
Uspallata	1891 m	32°35'	69°21'	1949 - 1984
Cacheuta	1237 m	33°01'	69°06'	1949 - 1955 1983 - 2000

(*): distancia en km entre el lugar donde se produce el flujo de detritos o aluvión y la estación meteorológica señalada; (Pp) precipitaciones.

Por otra parte, si bien los flujos de detritos y barro son flujos gravitacionales de sedimento y agua, complejos y altamente concentrados (Pierson y Costa 1987, Wan y Wang 1994) se diferencian en el tamaño de sus partículas. En los flujos de detritos más del 50% de las partículas son de tamaños mayores a la arena (Varnes 1978); mientras que los flujos de barro los sedi-

mentos están compuestos predominantemente por limo y algunas partículas de arcilla y arena fina. La complejidad del término flujos de detrito se incrementa en el idioma español que utiliza el término híbrido de aluvión tanto para procesos fluviales como flujos de detritos propiamente dichos. No existe una traducción directa en inglés para este

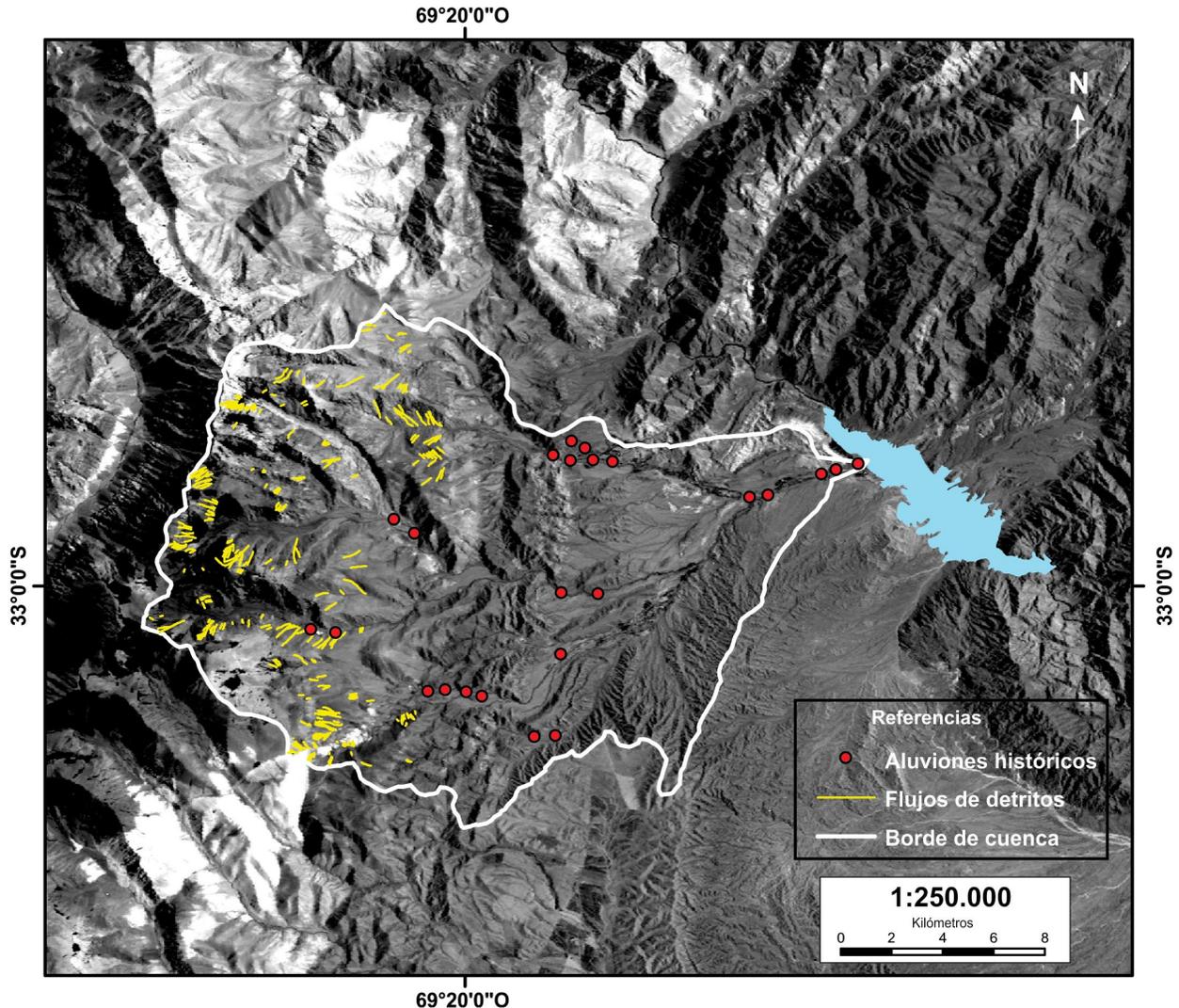


Figura 4: Inventario de flujos de detritos y aluviones en la cuenca del río Blanco.

término por lo cual su definición contempla diferentes términos en la lengua inglesa. Un aluvión puede ser interpretado como un flujo repentino (*flash flood*), que se define como un flujo o torrente de volumen relativamente grande y de corta duración, que desborda los cauces de ríos en valles secos, en zonas semiáridas, transportando una enorme carga de barro y fragmentos rocosos, generalmente vinculados a lluvias muy esporádicas, de corta duración y gran intensidad (AGI 1950). Implica una avenida de agua que arrastra grava, lodo, y otros materiales (Sánchez Martínez y Vellozo Figueroa 2007). PMA-GCA (2007) define a las crecidas de detritos (*debris flood*) como crecidas repentinas, oleadas de agua muy rápidas que transportan una gran carga de detritos a través de un canal

inclinado, originan capas anchas y delgadas de material, y no forman diques a lo largo de las márgenes del canal ni frentes gruesos. El proceso puede originarse por colapsos de diques naturales o artificiales, crecidas repentinas en ríos o arroyos por lluvias intensas en las nacientes o bien por el desprendimiento de materiales de una ladera de volumen considerable ya sea por lluvias o cualquier otra causa (Hung et al. 2001). En nuestra opinión este término es el que mejor define y explica el ancestral concepto de aluvión.

Ahora bien, estas clasificaciones intentan encasillar a los eventos según sus múltiples aspectos pero no invalidan el hecho que en la naturaleza estos procesos pueden combinarse de tal manera que comienzan como un tipo de evento y fi-

nalizan en otro. En estos términos finales del flujo de detrito o aluvión no puede diferenciarse exactamente cuánto fue el aporte de los procesos de remoción en masa propiamente dichos y la crecida de ríos por las lluvias intensas. Esta problemática es señalada previamente por Polanski (1966), justamente en la cuenca del río Blanco donde describe los flujos rápidos de escombros incluyendo rañas y torrentes de barros, y el término de crecidas abarcando las avalanchas limnoglaciarias y las generadas por evacuación súbita de lagos.

Recopilación temporal de crecidas de detritos históricos

Periódicos locales y los conocimientos de lugareños son una fuente de información



Figura 5: Daños ocasionados por el flujo de detritos/aluvión en Potrerillos en 1954 proveniente del arroyo El Salto. a-c-f) Daños en viviendas e infraestructuras. b-d-e) Material arrastrado por el flujo de detritos/aluvión. Fuente: Diario Los Andes.

CUADRO 2: Flujos de detritos y aluviones históricos y precipitaciones diarias registrados en las estaciones meteorológicas locales más próximas a la cuenca del río Blanco, Mendoza.

Fecha	Lugar	Pp Guido	Pp Aguaditas	Pp Cacheuta	Pp Uspallata
12 ene 1960	El Salto	3,10 mm (12 km)			
7 feb 1967	Vallecitos	0 mm (17 Km)			
25 dic 1967	La Hoyada	0 mm (23 km)			6,8 mm (51 km)
13 feb 1970	Vallecitos	22,4 mm (17 km)			0 mm (44 km)
9 dic 1976	Las Mulas, Las Vacas, El Salto	0 mm (22 km)			
28 feb 1981	Angostura	8 mm (19 km)			
27 dic 1982	El Salto, Las Mulas, Rio Blanco	19,9 mm (22 km)			
1 feb 1993	Rio Blanco		0,4 mm (10 km)	0 mm (17 km)	
4 y 7 may 1993	Angostura		54,4 mm (12 km)	12,7 mm (16 km)	66 mm (43 km)
8 feb 2002	Potrerillos	0 mm (13 km)			

valiosa para estudios de peligros naturales (Lugo Hubp y Moshe Imbar 2002), tales como en el estudio de crecidas de detritos históricos en Antofagasta (Vargas *et al.* 2000) o inundaciones por crecientes estivales en Calingasta, San Juan (Pittaluga y Suvires 2010).

La información histórica recopilada de los flujos de detritos y aluviones se hizo a partir del periódico local Los Andes (período 1942-2000), testimonios de pobladores de la zona, la Dirección Nacional de Vialidad (1999-2001) y Departamento Provincial de Vialidad (1954-2002). Los flujos de detritos y aluviones reportados y mencionados en este trabajo fueron registrados previos a la construcción de la presa embalse Potrerillos inaugurada en 2001. Por

otra parte, cabe aclarar que la estación meteorológica Guido comenzó a funcionar a partir de 1957, por ende los eventos reportados con anterioridad a esa fecha (6 eventos entre 8 de febrero de 1942 y 15 de febrero de 1954) no han podido ser correlacionados con datos pluviométricos.

Un criterio útil para estimar el grado de riesgo es la medida de la frecuencia y magnitud de un proceso natural. La frecuencia es generalmente expresada en términos de tiempo de recurrencia y es importante para establecer las condiciones de estabilidad de las pendientes.

Distribución espacial de flujos de detritos históricos

Las zonas de arranque y las morfologías

alargadas de los depósitos de los flujos de detritos de la cuenca del río Blanco fueron inicialmente reconocidos a través de la fotointerpretación de fotografías aéreas del año 1963 pertenecientes al Plan Cordillerano, a escala 1:50.000. También se realizaron observaciones en imágenes satelitales de diferentes resoluciones de *Google Earth* y visitas a terreno a zonas accesibles seleccionadas a fin de corroborar los datos obtenidos en gabinete.

Registros meteorológicos

Los registros de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio: Uspallata, Guido, Cacheuta y Aguaditas (Fig. 3) fueron recopilados para correlacionar la ocurrencia de flujos de detritos y aluviones con las precipitaciones diarias y establecer el rango mínimo de precipitaciones necesarias para la iniciación de estos procesos (Cuadro 1).

Análisis de posibles causas climáticas

A pesar de que el registro histórico de los flujos de detritos y aluviones está poco documentado, especialmente en zona de montaña, y el registro de los datos meteorológicos es discontinuo, fue posible relacionar en algunos casos las precipitaciones y la ocurrencia de eventos originados por fuertes lluvias teniendo en cuenta un registro histórico de casi 100 años. Se intentó además relacionar la información histórica con los datos espaciales de per-

cepción remota, en base a la descripción de zonas de origen de los eventos.

Se analizó el efecto de las precipitaciones registradas en las estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca (Cuadro 2) y la relación entre la ocurrencia de los flujos de detritos y aluviones y la fase cálida del ENOS conocida como El Niño según el listado de NOAA CDC (2011), que considera la clasificación realizada según el MEI basado en observaciones recogidas y publicadas por el ICODAS de seis variables sobre el Pacífico Tropical. a) Presión a nivel del mar (P), componentes del viento en la superficie zonal (U) y meridiana (V), temperatura superficial del mar (S), temperatura del aire en superficie (A) y fracción de nubosidad total del cielo (C).

RESULTADOS

Inventario de flujos de detritos y aluviones

A partir del análisis de imágenes de percepción remota se identificaron las cicatrices o sectores de arranque a partir de los cuales se generan los flujos de detritos que suelen corresponder principalmente a sectores de deslizamientos superficiales y caídas. Una vez generados, estos flujos suelen canalizarse en quebradas, abanicos aluviales, arroyos o en los ríos principales siendo sus trayectorias preferenciales hacia el noreste, este y sudeste. Esto puede responder al rumbo norte-sur de los cordones y las orientaciones noeste-sudeste de las quebradas o los valles secundarios de la cuenca del río Blanco (Fig. 4).

Registro histórico

Dado que la zona de estudio comprende un sector montañoso con baja densidad poblacional, se conoce el impacto que los flujos de detritos y aluviones han tenido en el pasado en zonas pobladas. La información recopilada permitió precisar la fecha de ocurrencia de los eventos que tuvieron lugar en la cuenca del río Blanco entre 1942 y 2001 y establecer la relación entre tormentas intensas y la ocurrencia de estos procesos (Cuadro 3).

A continuación se presenta un detalle de aquellos flujos de detritos y aluviones con-

CUADRO 3: Registro histórico de los flujos de detritos y aluviones en la cuenca del río Blanco entre 1942-2002.

Fecha	Lugar	Posible causa	Impacto
08/01/1942		Intensas precipitaciones	Desborde del río Blanco
11/02/1945	Arroyos El Salto, La Hoyada, Las Mulas		Daños en infraestructuras Mueren dos personas
01/01/1946	Chacritas		Daños en infraestructuras
01/01/1947	Potreriillos		Daños en infraestructuras
11/02/1954	El Salto		Daños en infraestructuras
12/01/1960	El Salto	Intensas precipitaciones	Daños en infraestructuras
07/02/1967	Vallecitos		Daños en infraestructuras Corte de caminos
25/12/1967	La Hoyada, Las Mulas, Vallecitos	Intensas precipitaciones	
13/02/1970	Vallecitos, Las Mulas, Las Vacas, La Hoyada	Intensas precipitaciones	
09/12/1976	Las Mulas, Las Vacas, El Salto	Intensas precipitaciones	
28/02/1981	Angostura	Intensas precipitaciones	
01/01/1982	El Chanco		
27/12/1982	El Salto, Las Mulas, río Blanco		
01/02/1993	río Blanco		
04-07/05/1993	Angostura		
08/02/2002	Potreriillos		

siderados más significativos, teniendo en cuenta el daño ocasionado por los mismos.

Flujos de detritos y/o aluviones se generaron en los arroyos El Salto, La Hoyada y Las Mulas el 11 de febrero de 1945 debido a intensas precipitaciones. El flujo encauzado en el arroyo El Salto provocó daños en casas y caminos en la confluencia con el río Blanco y el puente carretero de El Salto fue destruido totalmente. El evento encauzado en el arroyo Las Mulas colmató las piletas de purificación de Obras Sanitarias Mendoza (OSM) de limos y arcilla. Aguas abajo, saliendo del dominio montañoso, arrasaron el encofrado del túnel de la usina de Álvarez Condarco provocando la muerte de dos personas e inundando de detritos la ruta provincial 82.

El 11 de febrero de 1954 se registró un evento proveniente del arroyo El Salto. La masa de agua y detrito fluyó desde este arroyo y llegó al río Blanco aumentando su caudal, lo que provocó la destrucción del puente del río Blanco, arrastró un ómnibus con pasajeros y provocó daños en el Centro Cívico de Potrerillos y hoteles circundantes. El río Blanco creció e inun-

dó las viviendas particulares alcanzando el agua en sus interiores una altura de 2 m. La crecida tuvo su pico máximo a las 18:00 hs (Fig. 5).

El 12 de enero de 1960 a las 15:20 hs, después de fuertes lluvias un flujo de detritos/aluvi6n proveniente del arroyo El Salto arrasó 6rboles y autos, un puente sobre el río Blanco, derribó construcciones precarias y arrastró enormes bloques, aumentando continuamente su caudal y volcando finalmente su masa al río Blanco, el cual también estaba más crecido. El evento en su máxima intensidad duró 40 minutos y a las 16 hs las aguas comenzaron a descender. El caudal del río Mendoza alcanzó los 250 m³/s en Cacheuta.

El 13 de febrero de 1970 debido a fuertes precipitaciones en el área de Vallecitos, se produjo un flujo de detritos/aluvi6n en el río Blanco. En la zona de Potrerillos arrastró autos, destruyó viviendas y el destacamento policial. El relato de un lugareño residente de la Hostería Alberto da cuenta de que a la hora 13:00 hs el encargado de Obras Sanitarias avisó que venía una crecida por el río Blanco, y que a las 14:00 hs se produjo otro pulso de agua y

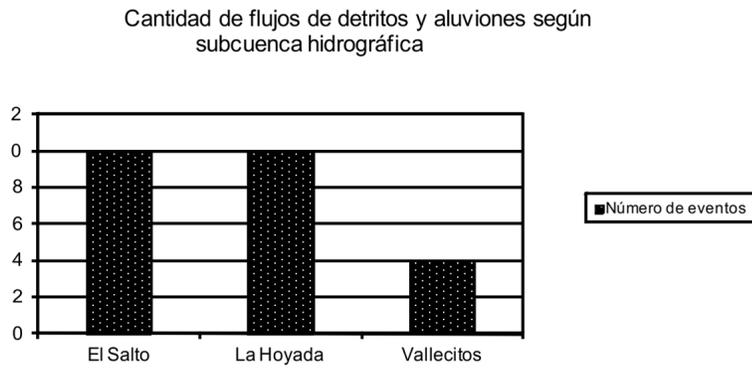


Figura 6: Cantidad de flujos de detritos y aluviones según subcuenca hidrográfica.

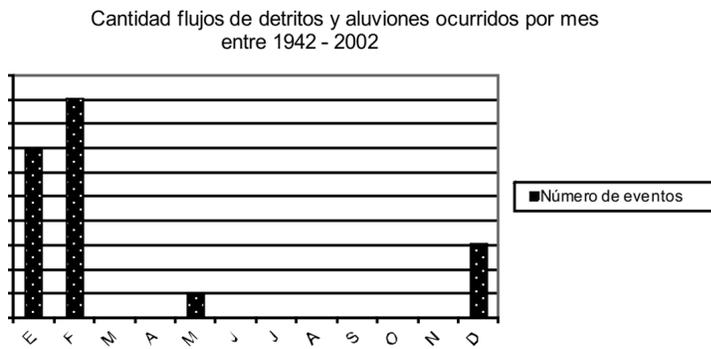


Figura 7: Cantidad de flujos de detritos y aluviones ocurridos por mes entre 1942 y 2002.

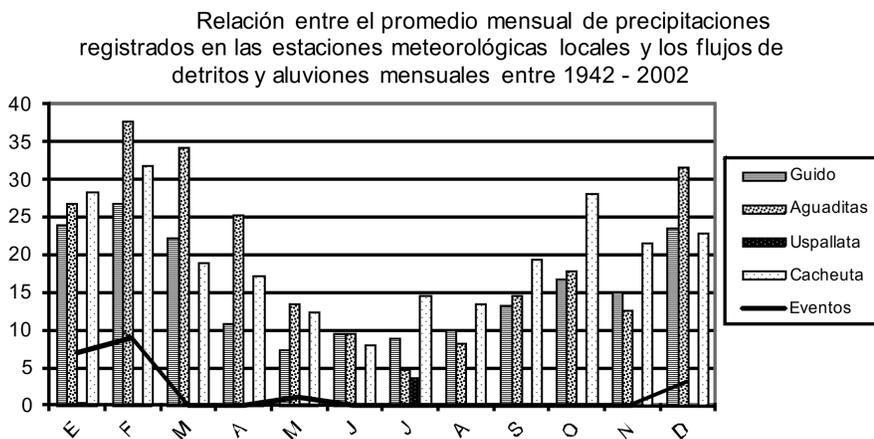


Figura 8: Relación entre el promedio mensual de precipitaciones registrados en las estaciones meteorológicas locales y los flujos de detritos y aluviones mensuales entre 1942 y 2002.

detritos, mientras que la crecida más intensa fue entre las 15:00 y las 16.00 hs. Simultáneamente ocurrieron flujos de detritos y aluviones en los arroyos de las Mulas, y de Las Vacas por la intensa lluvia caída en la zona de La Hoyada.

Distribución espacial

En las subcuencas El Salto y La Hoyada fueron reportados la mayor cantidad de flujos de detritos y aluviones entre 1942 y 2001. La primera se nutre de arroyos permanentes como los que bajan de las

quebradas de Los Manantiales, Rincón del Colorado, Arroyo Chacay, de La Manga, del Monte y de una decena de arroyos temporarios.

La quebrada de La Hoyada presenta una hoya hidrográfica mucho menos ramificada, nutriéndose del aporte de los cauces permanentes como Las Mulas, Las Vacas, quebrada Alumbre. Todos estos flujos de detritos y aluviones tuvieron su origen en precipitaciones violentas en las altas cuencas de las quebradas mencionadas, y desaguan finalmente en el colector principal, el río Blanco. Por ello, si bien sólo fueron reportados 6 flujos de detritos y aluviones en río Blanco seguramente el número de eventos es mayor (Fig. 6). La villa Potrerillos al estar ubicada en la confluencia de los ríos Blanco y Mendoza sufrió los embates de los flujos de detritos y aluviones registrados en ambos cursos de agua.

Relación precipitaciones y flujos de detritos y aluviones

En la cuenca del río Blanco han quedado registrados en documentos o crónicas periodísticas al menos 17 eventos de flujos de detritos y aluviones de los cuales 16 tuvieron lugar entre los meses de diciembre (3 eventos), enero (4) y febrero (9), reportándose un solo hecho en el mes de mayo (Fig. 7). De tal manera que existe una relación directa entre el régimen estival de precipitaciones y los eventos históricos ocurridos en la cuenca (Fig. 8).

En 6 de los 10 casos con información disponible se registró precipitación en el día del evento en la estación meteorológica más próxima. Si bien es poco probable que una lluvia de 3 mm genere un flujo de detritos/aluvión, este dato es válido para establecer y confirmar la presencia de inestabilidad atmosférica en la zona. Casos más representativos son los de los flujos de detritos y aluviones de 1970 en Vallecitos donde, a 17 km de distancia se registraron 22,4 mm precipitados en 24 hs. Lo mismo para los eventos de diciembre de 1982 donde a pocos km se registraron casi 20 mm en 24 hs. En el caso de las crecidas de detritos de 1993 en Potrerillos, la estación meteorológica de Agua-

ditas y Uspallata registraron 54,4 mm (en 24 hs precipitó el 93 % de las lluvias de ese mes) y 66 mm respectivamente.

Debido a la escasez de observaciones meteorológicas y la alta variabilidad espacial de las precipitaciones se debe constatar que los datos disponibles hasta la fecha no permiten establecer un valor umbral de la cantidad de precipitación necesaria para causar flujos de detritos o aluviones en la zona de estudio.

Relación con el fenómeno climático ENOS

Entre los años 1942 y 2001 (Cuadro 4) sucedieron 22 años El Niño, dentro de los cuáles fueron reportados 8 eventos de flujos de detritos y aluviones, con una frecuencia de un evento en cada 2,8 años El Niño. Los patrones climáticos se mantuvieron normales a lo largo de 22 años (no consecutivos) dentro de los cuales fueron reportados 9 eventos (un evento cada 2,4 años normales), mientras que ningún evento tuvo lugar en el transcurso de 16 años en los que se manifestó el fenómeno La Niña. La relación entre las fases ENOS (El Niño, La Niña, y fase neutra) y el número de flujos de detritos y aluviones registrados no es significativa al nivel de 5 %, pero cercano a ser significativo (prueba Kruskal-Wallis, valor $p = 0.0505$).

La mayor cantidad de eventos de flujos de detritos se sucedieron en la década de 1940, con una frecuencia de un evento por cada 2,5 años. Durante las décadas siguientes desde 1950 hasta 1999 se sucedieron de forma alternada 2 eventos y 3 eventos, esto se traduce en una frecuencia de un evento cada 3 a 5 años (Fig. 9).

CONCLUSIONES

En la cuenca del río Blanco, Cordón del Plata, fueron reportados al menos 17 flujos de detritos en el período comprendido entre los años 1942 y 2001 con consecuencias e intensidades variables. Para este período la frecuencia de este tipo de eventos en la región resulta de un evento en cada 3,5 años. Según el relato de lugareños, informes históricos y las relaciones establecidas en este trabajo las avenidas de agua

CUADRO 4: Relación entre el fenómeno climático ENOS y la ocurrencia de flujos de detritos y aluviones.

Años	N° de eventos	NO	NA	NE	Años	N° de eventos	NO	NA	NE
1942	1	X			1972			X	
1943				X	1973			X	
1944				X	1974			X	
1945	1			X	1975			X	
1946	1			X	1976	1	X		
1947	1			X	1977		X		
1948				X	1978				X
1949				X	1979				X
1950			X		1980				X
1951			X		1981	1			X
1952		X			1982	2	X		
1953		X			1983		X		
1954	2	X			1984				X
1955			X		1985				X
1956			X		1986		X		
1957	1	X			1987		X		
1958		X			1988			X	
1959				X	1989			X	
1960	1			X	1990				X
1961				X	1991		X		
1962				X	1992		X		
1963				X	1993	2			X
1964			X		1994		X		
1965			X		1995		X		
1966		X			1996			X	
1967	2			X	1997		X		
1968				X	1998		X		
1969		X			1999		X		
1970	1	X			2000			X	
1971			X		2001			X	

(NO) El Niño; (NA) La Niña; (NE); Fase Neutra.



Figura 9: Cantidad de flujos de detritos y aluviones por décadas.

y barro conocidas como crecidas de detritos son disparadas por intensas precipitaciones, que por sí mismas o antecedidas inmediatamente por otras, desencadenan movimientos superficiales de forma rápida en aquellas zonas de pendientes abruptas. De los 17 casos registrados, 16 se produjeron en los meses de verano, cuando

las lluvias tienen carácter de violentos aguaceros de corta duración, que en consonancia con pendientes abruptas y escasamente vegetadas, dieron lugar a estas crecientes cortas que provocaron daños sustanciales en calles, viviendas e infraestructura vial de la zona de estudio. No existe relación aparente entre la ocu-

rrencia de flujos de detritos y la fase cálida del ENOS como ha sido comprobado para otros sectores de los Andes Centrales (Moreiras 2005, Sepúlveda *et al.* 2006). Al parecer la zona estudiada está más influenciada por el comportamiento de la DNA y el ASA. Estos centros son los principales responsables de las lluvias intensas de verano; mientras el ASP se relaciona principalmente a las precipitaciones nivas en las zonas de mayores alturas topográficas.

Sin embargo, se observa que la violencia de los flujos de detritos históricos y sus consecuentes pérdidas parece incrementarse en los años con influencia del fenómeno climático de El Niño. Estas observaciones pueden sugerir un efecto secundario de las precipitaciones nivas de invierno ocasionando posiblemente una mayor saturación de agua de los terrenos causados por la fusión de mayor cantidad de nieve precipitada en la fase cálida. Pero existen otras variables como las temperaturas que no han sido analizadas en este trabajo.

Cabe aclarar los fenómenos naturales analizados en este trabajo, dadas sus características inherentes, no sólo afectan al área próxima a su origen sino que sus efectos se manifiestan en puntos más distales aguas abajo, ocasionando daños de diferente magnitud. Es por ello que es fundamental incorporar este tipo de estudios en el ordenamiento territorial de la provincia. A lo largo de los valles es frecuente la instalación de infraestructuras principalmente destinadas al turismo y esparcimiento en las márgenes de los ríos, primeros sectores inundables en caso de crecidas de detritos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración de Pablo Blanc, Phillip Mamot, Henrick Klar y Markus Hulber durante las campañas a campo. El Proyecto de Investigación PIP 112 – 200801 – 00638 – Deformación del sector norte del cordón del Plata y su vinculación con procesos geomorfológicos de CONICET, contribuyó con los medios materiales para concretar el estudio. Asimismo se agradece a

Emerging Leaders in the Americas Program del Department of Foreign Affairs and International Trade por la beca concedida para una estada de investigación de la tesista en la Universidad de Waterloo, Canadá.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceituno, P. y Garreaud, R. 1995. Impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en regímenes fluviométricos andinos. *Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica* 10: 33-43.
- American Geological Institute (A.G.I.) 1950. *Dictionary of Geological Terms*. Anchor Books, 472 p., Nueva York.
- Beverage, J.P y Culbertson, J.K. 1964. Hyperconcentrations of suspended sediment. *Journal of the Hydraulic Division, A.S.C.E.*, 90:117-128.
- Capitanelli, R.G. 1967. Climatología de Mendoza. *Boletín de Estudios Geográficos* 14 (54-57). Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, 441 p, Mendoza.
- Compagnucci, R.H y Araneo, D.C. 2007. Alcances de El Niño como predictor del caudal de los ríos andinos argentinos. *Ingeniería hidráulica en México* 3: 23-35
- Corominas, J., Remondo, J., Farías, P., Estevao, M., Zézere, J., Díaz de Terán, J., Dikau, R., Schrott, L., Moya, J. y González, A. 1996. Debris Flows. En Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, R. e Ibsen, M. L. (eds.) *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*, John Wiley & Sons Ltd, 161-180, Chichester.
- Cortés, J.M. 2000. Fallas cuaternarias oblicuas al frente montañoso en la Cordillera Frontal de Mendoza (34°-34°30' S). *Revista Cuaternario y Ciencias Ambientales, Publicación Especial* 4: 57-62.
- Costa, J.E. 1984. Physical geomorphology of debris flows. En Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, R. e Ibsen, M.L. (eds.) *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*, John Wiley & Sons Ltd, 161-180, Chichester.
- Costa, J.E. 1988. Rheologic, morphologic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. En Baker, VE., Kochel, C.R. y Patton, P.C. (eds.) *Flood Geomorphology*, John Wiley &

Sons, 113-122, New York.

- Folguera, A, Etcheverría, M., Pazos, P., Giambiagi, L., Fauqué, L., Cortés, J., Rodríguez, F., Irigoyen, V. y Fusari, C. 2004. Hoja Geológica 3369-15, Potrerillos, provincia de Mendoza. *Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín s/n*, 252 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.
- Gutierrez Elorza, M. 2008. *Geomorfología*. Prentice Hall. 247 p., Madrid.
- Hungr, O. 2005. Classification and Terminology. En GEMMA 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.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J y Hutchinson, J. N. 2001. A Review of the Classification of Landslides of the Flow Type. *Environmental and Engineering Geoscience* 7: 221-238.
- Hutchinson, J.N. 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. 5 *International Congress On Landslides, Abstracts* 1: 3-35, Lausanne.
- Johnson, A.M. y Rodine, J.R. 1984. Debris flow. En Brunsten, D. y Prior, D.B. (eds.) *Slope Instability*, John Wiley & Sons Ltd., 257-361, New York.
- Lugo Hubp, J. y Moshe Imbar, M. 2002. *Desastres naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica, 501 p., Ciudad de Mexico.
- Masiokas, M.H., Villalba, R. Luckman, B.H., Le Quesne, C. y Aravena, J.C. 2006. Snowpack variations in the central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. *Journal of Climate*, 19: 6334-6352.
- Moreiras, S.M. 2005. Climatic effect of ENSO associated with landslide occurrence in the Central Andes, Mendoza province, Argentina. *Landslides* 2: 53-59.
- NOAA CDC. (2011). U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research La-

- boratory, Physical Sciences Division. Colorado, Estados Unidos. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/index.html>
- Norte, F. 1995. Condiciones meteorológicas favorables a la contaminación atmosférica en Mendoza. Mendoza Ambiental-IADIZA-CRICYT-CONICET. 197-206.
- Pierson, T.C. y Costa, J.E. 1987. A rheologic classification of subaerial sediment-water Flows. En Costa, J.E. y Wiezorek, G.F. (eds) Debris flows/avalanches. Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology 7: 1-12.
- Pittaluga, M.A. y Suvires, G.M. 2010. Susceptibilidad a las inundaciones por crecientes estivales y por desbordes en las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral, Cuenca del Río Castaño, Calingasta, San Juan. Revista Asociación Geológica Argentina 66: 520-528.
- Polanski, J. 1963. Estratigrafía, neotectónica y geomorfología del Pleistoceno pedemontano, entre los ríos Diamante y Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina 17: 127-349.
- Polanski, J. 1966. Flujos rápidos de escombros rocosos en zonas áridas y volcánicas. Manual de la Editorial Universitaria de Buenos Aires, 67 p., Buenos Aires.
- Prohaska, F. 1976. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En Schwerdtfeger, W. (ed.) Climates of Central and South America, World Survey of Climatology 22, p. 13-112, Landsberg, Balkema, 290 p., Rotterdam.
- WP/WLI 1990. A Suggested Method for Reporting a Landslide. Bulletin of International Association of Engineering Geology 41: 5-12.
- WP/WLI 1991. A Suggested Method for a Landslide Summary. Bulletin of International Association of Engineering Geology 43: 101-110.
- WP/WLI 1993. A Suggested Method for Describing the Activity of a Landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 47: 53-57.
- Zaruba, Q. y Mencl, V. 1982. Landslides and Their Control, Elsevier, 324 p., Amsterdam.
- Sánchez Martínez, M. y Velozo Figueroa, L. 2007. Vocabulario de Geomorfología y términos afines. Serie GEOlibros N° 7. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de historia, Geografía y Ciencias Políticas. Instituto de Geografía, 325 p, Santiago de Chile.
- Sepúlveda, S., Rebollo, A.S. y Vargas, G. 2006. Recent catastrophic debris flows in Chile: Geological hazard, climatic relationships and human response. Quaternary International 158: 83-95.
- Sharpe, C.F.S. 1939. Landslides and Related Phenomena. Columbia University Press, 138 p., New York.
- Vargas, W. y Compagnucci, R. 1985. Relaciones del régimen de precipitación entre Santiago de Chile y las series de la región Cordillerana. Geoacta 13(1): 81-93.
- Vargas, G.; Ortlieb, L. y Rutllant, J. 2000. Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur. Revista Geológica de Chile 27 (2): 157-176.
- Varnes, D.J. 1958. Landslide types and processes. En Eckel, E.B. (ed.) Landslides and Engineering Practice. Highway Research Board Special Report 29, NAS-NCR Publication 544, 20-47, Washington D.C.
- 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.
- Wan, Z. y Wang, Z. 1994. Hyperconcentrated flow,

Recibido: 6 de junio, 2012
Aceptado: 2 de mayo, 2013