

FLUJO DE BARRO DEL A° DEL COMEDERO, JUJUY, ARGENTINA.

Gonzalez, M. A. ¹, Solis, N. G. ², Fracchia, D. y Barber, E. ¹

¹ SEGEMAR, Servicio Geológico Minero Argentino. marigo@minplan.gov.ar

² IGYMJ – Instituto de Geología y Minería de Jujuy. UNJu. nsolis@idgym.unju.edu.ar

RESUMEN

El flujo de barro ocurrido el 12 de Enero de 2010 en el arroyo del Comedero afectó un predio de esparcimiento con aguas termales produciendo grandes daños materiales y 87 heridos.

En esta contribución se exponen los resultados de los análisis realizados sobre el flujo, con el objetivo de clasificar el tipo de movimiento, y la cuantificación y calificación de la magnitud del evento. También se analizaron los factores condicionantes y desencadenantes del mismo.

La velocidad del movimiento se calculó usando un método empírico, coincidiendo su resultado con otros obtenidos en eventos cercanos. El volumen fue medido directamente en el campo y, calculado a través de ecuaciones enunciadas para flujos similares. Según los registros históricos de los depósitos de diferentes eventos ocurridos en la quebrada del A° del Comedero, esta se ubica en un rango de probabilidad muy alta de que se produzcan flujos. Con respecto a la magnitud del flujo de barro sobre el río Reyes, este pertenece a la clase con consecuencias potenciales de destrucción parcial de poblados, infraestructura de rutas y puentes, y bloqueo de quebradas.

Los datos de velocidad, volumen y frecuencia calculados en este trabajo, que forman parte de la Carta de Peligrosidad Geológica Salta del SEGEMAR, son necesarios para el mapeo de peligrosidad, la programación de obras de infraestructura y la planificación territorial.

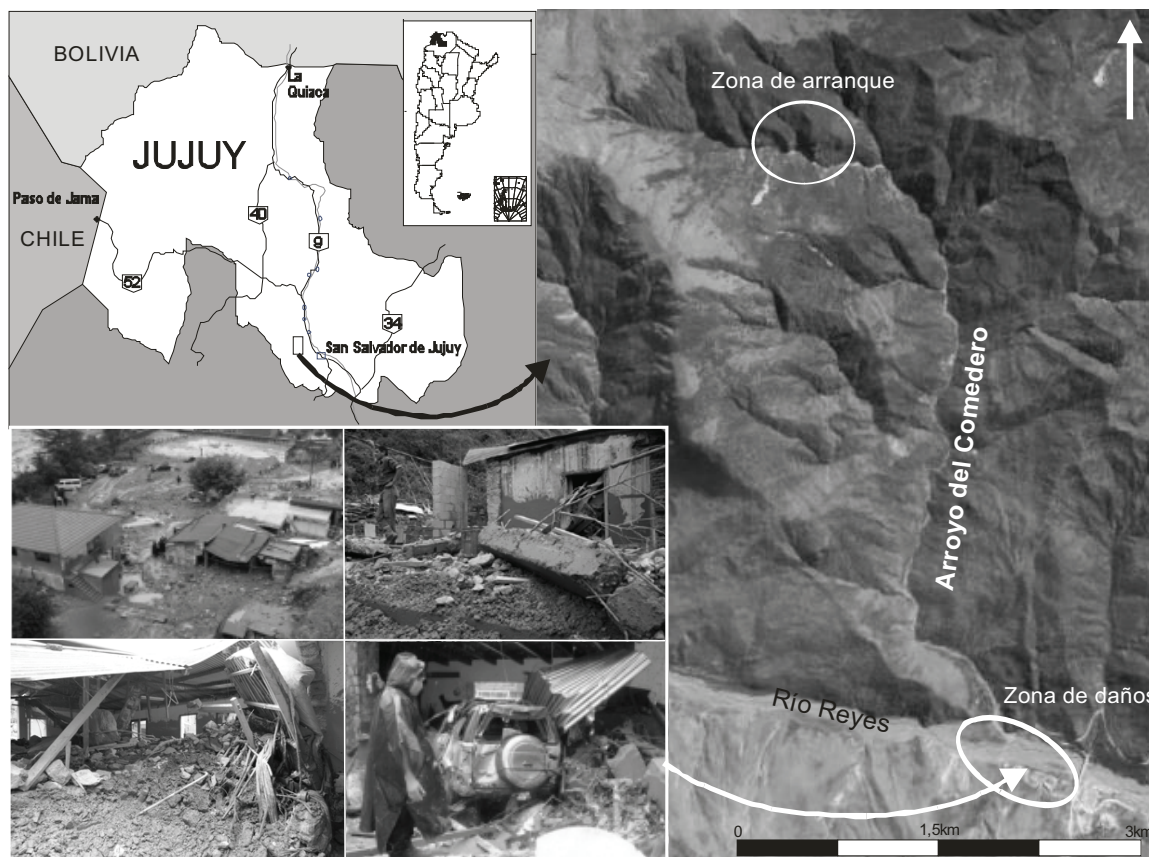


Figura 1. Ubicación geográfica e ilustración de los daños producidos por el flujo de barro analizado.

INTRODUCCIÓN

El arroyo del Comedero es afluente de la margen izquierda del río Reyes que constituye la cuenca del río Grande en la Cordillera Oriental, de la provincia de Jujuy.

El arranque del movimiento en masa se generó en la cuenca alta del arroyo del Comedero (Fig. 1) como un deslizamiento que luego se encauzó en la quebrada. En el recorrido aumentó su volumen sólido, transportando material producto de la erosión y de deslizamientos laterales.

El flujo desembocó en el río Reyes avanzando hacia su margen sur contra la terraza fluvial. La fuerza centrífuga del movimiento generó un desplazamiento de la masa hacia afuera, produciendo un aumento del volumen hacia el sur expresado en un aumento de espesor del depósito. Este hecho facilitó que el material sobrepasara en forma de ola a la terraza fluvial y a la defensa de hormigón, invadiendo el predio turístico El Hacha.

El material constituido por una mezcla de barro y bloques medianos, transportaba por sobre su superficie bloques de mayor tamaño. Estos últimos también sobrepasaron hacia el área afectada.

Sobre la arista externa de la defensa a lo largo de 49 metros, se observan pequeñas roturas producto del desborde del flujo hacia el paraje. Una vez superada la defensa, la ola colisionó en principio con algunos árboles, y luego una vez alcanzado el sector de construcciones, el flujo se dividió en dos al chocar con el vértice de una de las casas. Finalmente el material invadió el predio colmatando dos piscinas de agua termal, destruyendo viviendas, arrastrando personas y automóviles, hasta llegar a cubrir una cancha de fútbol.

El resto del material que desembocó en el río Reyes siguió fluyendo por la planicie dirigiéndose hacia el Este buscando la menor pendiente. Así, el lóbulo del flujo modificó el cauce principal del río Reyes (que había aumentado su caudal por las lluvias y corría por el centro de su planicie en dirección E - W) que se encauzó contra su margen meridional erosionando su propia terraza fluvial.

FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

Los flujos densos son los procesos geológicos de mayor magnitud en el área de estudio (Chayle y Agüero 1987; Solis et al. 2004; Gonzalez et al. 2008). Los factores condicionantes preponderantes son el relieve, la litología y el clima, y el factor desencadenante dominante es la lluvia torrencial.

El relieve, producto principalmente de la compresión tectónica andina, presenta en esta quebrada elevaciones cercanas a los 3000 m s.n.m., con desniveles de 1200 metros en pocos kilómetros.

La litología presente es muy susceptible a ser erodada y transportada fundamentalmente por el agua de lluvia. Los macizos rocosos con matriz rocosa más resistente, como las cuarcitas cámbricas u ordovícicas, presentan discontinuidades tectónicas y sedimentarias separadas a moderadamente juntas (ISRM 1978), que dividen bloques heterométricos. Las unidades superficiales son poco consolidadas y están constituidas, principalmente, por niveles de clastos angulosos heterométricos con o sin matriz arenosa o arena limosa, intercalados con niveles arenosos. En su conjunto son deleznable y permeables favoreciendo el aumento de la presión de poros que es generalmente la causa del arranque del material que se moviliza como flujo.

El clima de la región es subtropical serrano. Las precipitaciones son del tipo orográficas y, en menor escala, convectivas y por avances de frentes fríos. Esta área presenta entre los meses de enero a marzo exceso de agua en el terreno (suelo o roca) por el aumento de las lluvias, que oscilan entre 1200 y 1500 mm anuales (Bianchi y Yañez 1992).

CARACTERÍSTICAS DEL DEPÓSITO

El estudio de los perfiles sedimentarios del material mostró que los espesores hacia la parte distal disminuían, correspondiéndose perfectamente con los perfiles longitudinales de los flujos. La medición de los espesores en los perfiles transversales a los depósitos del lóbulo arrojó un aumento considerable en el lateral sur. Estos espesores, además de la configuración en planta del depósito, ayudaron a construir la teoría de que al cambiar de dirección de movimiento el material se desplazó por fuerza centrífuga, generando un perfil transversal asimétrico.

El perfil sedimentario mostró espesores variables de una masa de detritos medianos a pequeños inmersos en una matriz de material fino y húmedo. Por encima de este depósito se encuentra un tapiz de bloques

medianos a grandes sin matriz. Esta es otra evidencia característica de los flujos que en su mecanismo de movimiento selecciona el material y parte de él se transporta flotando por sobre la masa más densa. Se tomaron tres muestras que fueron analizadas en el laboratorio de la Dirección Provincial de Vialidad de Jujuy que arrojaron valores de índice de plasticidad mayores a 10 (IP entre 10,4 y 12,8) y de 6,9 a 9,7% de Humedad.

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

La velocidad es una de las variables necesarias para caracterizar el flujo y calcular esfuerzos de impactos. Para estimarla se utilizaron ecuaciones que relacionan magnitudes medibles en el campo, que responden a estimaciones empíricas. Estos cálculos se realizaron en determinados puntos del cauce de la quebrada del arroyo del Comedero, y se utilizaron para la representación general.

La velocidad fue calculada en cuatro estaciones diferentes sobre la quebrada del arroyo a partir de la ecuación de Hungr et al. (1984) siendo $v = ((\Delta h \cdot r \cdot g \cdot j) / b)^{0.5}$. Donde v = velocidad del flujo; Δh = diferencia de altura del depósito entre dentro y fuera del canal; g = aceleración de la gravedad; r = radio del círculo de curvatura aproximada a la curva del canal; b = ancho del flujo de detritos a través de la superelevación (derrame) y j = constante que se asumió como 1. Estos parámetros se midieron cuando en el trayecto del flujo había curvas lo suficientemente cerradas como para producir sobre-elevación del flujo en la parte externa de la curva en relación a la parte interna. La velocidad promedio del flujo se acerca a 6,2 m/s. Regionalmente se la puede comparar con la velocidad medida por Monteverde y Kittl (1949) de 7,5 – 6,1 m/s para el flujo de Volcán en 1945, en la quebrada de Humahuaca; y la calculada en Coquena, en el flujo del 2007, con la misma ecuación entre 7,7 y 8,5 m/s (Gonzalez et al 2008).

CÁLCULO DEL VOLUMEN

El volumen de material considerado está conformado por los depósitos que el flujo dejó a lo largo de la quebrada, el material que constituyó el lóbulo distal sobre la planicie del río Reyes, y el depositado en el paraje El Hacha.

Para la estimación se realizaron mediciones directas y estimaciones del volumen máximo probable. Estas últimas se obtuvieron por medio de la relación entre la descarga total (V) y el caudal pico (Q_p) y la relación de producción de material por unidad de área de cuenca. El Q_p es aquel que atraviesa el área máxima de la sección transversal del canal (m^2) con la velocidad máxima.

Las mediciones directas de campo arrojaron un volumen de $6,8 \times 10^4 m^3$, que lleva a una estimación de producción de detritos por área de $1,8 \times 10^4 m^3/km^2$. Este cálculo se comparó con el volumen máximo probable obtenido a partir de las ecuaciones de Mizujama et al. (1992) y de Bovis y Jakob (1999) que se basan en la relación entre el volumen o la descarga total (V) y el caudal pico (Q_p) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de las estimaciones de los volúmenes obtenidos con las ecuaciones de Bovis and Jakob (1999) y Mizujama et al. (1992) utilizando el Q_p . En la última columna se comparan con los valores medidos en el campo.

Q_p (m^3/s) Entre todas las estaciones medidas	V (m^3) $V=338Q_p^{0.99}$ (Bovis y Jakob 1999)	V (m^3) $V=795Q_p^{0.85}$ (Mizujama et al. 1992)	Cálculo por mediciones directas de campo
Promedio=165,9	$5,3 \times 10^4$	$6,1 \times 10^4$	6,8x10 ⁴ m ³
Máx=326,5	$1,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	
Min=139,2	$4,4 \times 10^4$	$5,3 \times 10^4$	

CRONOLOGÍA DE LOS FLUJOS

Como ya se expresó anteriormente los flujos son procesos frecuentes en la Cordillera Oriental, desencadenados mayoritariamente por las precipitaciones.

El recorrido a través de la quebrada del arroyo del Comedero mostró una gran sucesión de depósitos de flujos anteriores que demuestran la recurrencia de los mismos.

La cronología de los flujos más antiguos se basa, en este caso, fundamentalmente en la estratigrafía. En algunos sectores del cauce se encuentran secuencias de distintos depósitos de flujos. Algunos de ellos presentan la particularidad de preservar restos de la vegetación que creció sobre su superficie cuando estaban

expuestos. Esto nos da idea del lapso de tiempo que transcurrió entre uno y otro evento (que generalmente son de gran magnitud para quedar preservados).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La génesis, el mecanismo de movimiento y las características del depósito, con una matriz que presenta un $IP > 5$, permitió clasificar el movimiento de acuerdo a Hungr et al. (2001) como flujo de barro.

La velocidad promedio obtenida de 6,2 m/s es característica de estos tipos de flujos, y se lo clasifica como movimiento rápido a extremadamente rápido (Varnes 1978; Schuster y Fleming 1982; y WP/WLI 1995).

Para cualificar la magnitud, se analizó la recurrencia de los eventos. Según la escala de probabilidades semicuantitativa de Hungr (1997), los registros dan un rango de probabilidad de producirse y de lo que ello significa. Regionalmente en la Cordillera la probabilidad es Alta ya que ocurren entre 1/20 y 1/100 (1 evento cada 20 años y 1 evento cada 100 años). Particularmente, en muchos lugares (como podría ser este) el rango anual es $> 1/20$ por lo que la probabilidad de ocurrencia es muy alta.

Jacob (2005) sugiere una clasificación de la magnitud del flujo en relación al volumen. En el caso de estudio con magnitudes de 10^4 m^3 , el flujo es de clase 4 y esto determina la potencialidad de destrucción parcial de poblados, infraestructura de rutas y puentes y bloqueo quebradas.

REFERENCIAS

- Bianchi, D. y Yanez, A., 1992. Las precipitaciones en el noroeste argentino. Segunda Edición. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Salta. 72pp
- Bovis, M. J. and Jakob, M., 1999. The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. *Earth Surface Processes and Landforms*, British Society for Geomorphology, 24:1039-1054.
- Chayle, W. y Agüero, P. N., 1987. Características de remoción en masa en la cuenca del río Grande. *Revista del Instituto de Geología y Minería de Jujuy*, 7:107-121.
- Gonzalez, M. A., Baumann, V. y Jackson Jr, L. E., 2008. Estudio de los flujos ocurridos en el 2007 en Chalala y Coquena, Purmamarca, Provincia de Jujuy. XVII Congreso Geológico Argentino. En: Zappettini, E., Crosta, S., Gonzalez, M. A. y Segal, S. (Eds.). Acta de Resúmenes. Tomo I:288-289.
- Hungr, O., Morgan, G. C. and Kellerhals, R., 1984. Quantative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. *Canadian Geotechnical Journal*, volume 21, p. 663-677. Canada
- Hungr, O., 1997. Some methods of landslide hazard intensity mapping. En: Fell, R. y Cruden, D.M. (Eds.) *Landslide Risk Assessment – International Workshop on landslide risk assessment (Honolulu)*, A.A. Balkema, Proceedings: 215-226, Rotterdam.
- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. and Hutchison, J. N., 2001. Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and engineering geoscience*, Geological Society of America and the Association of Engineering Geologists, Volumen 7(3):231-228.
- Jacob, M., 2005. Debris-flow hazard and analysis. En: *Debris flow hazards and related phenomena*. M. Jakob, M. and Hungr, O. (Eds.). Springer-Praxis books in geophysical sciences, p. 411-443, Chichester, **United Kingdom**.
- ISRM (International Society Rock Mechanics), 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science* 15:319-368.
- Mizuyama, T., Kobashi, S. and Ou G., 1992. Prediction of debris flow peak discharge, *Symp. Interpraevent 1992*, Volumen 4:99-108. Bern, Switzerland.
- Monteverde, A. y Kittl, E., 1946. Torrente “El Volcán”. Sus características geológicas, efectos destructivos y las posibilidades de construcción de vías de comunicación por la Quebrada de Humahuaca. 1º Congreso Vial Regional del Norte Argentino. Trabajo 46. 37pp.
- Schuster, R. L. y Fleming, R. W., 1982. Geologic aspects of landslide control using walls. ASCE National Convention, Las Vegas. En: IGME y EPTISA, 1987. *Manual de Taludes*. p. 38. Madrid. España.
- Solis, N., Chayle, W. y Ramirez A., 2004. ¿Qué características tiene la remoción en masa en el noroeste argentino?. Capítulo 6. En: Gonzalez, M. A. y Bejerman, N. J. (Eds.) *Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodologías de análisis y mapeo. Estudio de casos. Publicación Especial Nº 4*. Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería. Edición en CD.
- Varnes, D. J., 1978. Slope movements. Types and processes. En: Schuster, R. L. y Krizker, R. J. (Eds.), *Landslides: analysis and control*. National Academy of Sciences Press, Transportation Research Board. Special Report 176:9-33. Washington D. C.
- WP/WLI (Working Party on Landslide Inventory), 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* Nº 52:75-78.