

Estudio de la amenaza por lahares secundarios debido a la intervención antrópica en la cuenca de Barranco del Volcán Galeras, Colombia.

Alejandra Guerrero¹, Gustavo Córdoba¹, Diana Rodríguez¹, Pablo Gallardo¹ y Aquiles Gutierrez²

¹ Grupo de Investigación en Riesgos, Amenazas y Medio Ambiente, Universidad de Nariño, Colombia
ale.guerrero21@gmail.com

² Equipo de investigación Biología de Páramos y Ecosistemas Andinos, Universidad de Nariño, Colombia.

Palabras clave: lahares secundarios, TITAN2F, Galeras.

El creciente asentamiento de las poblaciones sobre las zonas de influencia volcánica alrededor del mundo se ha convertido en un asunto de suma importancia para los organismos encargados del ordenamiento territorial y la gestión del riesgo. Se calcula que alrededor de 500 millones de personas viven en zonas aledañas a volcanes (Organización Panamericana de la Salud, 2002). Los efectos de las erupciones volcánicas comprenden productos directos, como la caída de ceniza y los flujos piroclásticos y posteriores como flujos de lodo de origen secundario.

Los flujos de lodo o lahares de origen secundario consisten en una mezcla sedimentos, rocas y agua que viajan por las laderas de los volcanes a gran velocidad (Smith y Fritz, 1989) y usualmente son provocados por la removilización de depósitos de flujos piroclásticos y ceniza a causa de la precipitación.

Debido a que las actividades agropecuarias en una zona influyen ampliamente en los procesos de infiltración y evaporación del agua precipitada en el suelo, la configuración ambiental del área de estudio es uno de los componentes determinantes al momento de evaluar la amenaza por lahares ya que de esta depende la estabilidad del terreno (IDEAM y U.D.C.A, 2015). La baja tasa de infiltración de los depósitos ocasionados por los altos niveles de tefra junto a la insuficiente o nula capacidad de evapotranspiración de la cuenca causada por la limitada flora que cubre los depósitos volcánicos puede provocar cambios en la respuesta hidrológica del sector frente a factores como la pendiente y la precipitación (Pierson y Janda, 1992).

El objetivo del presente estudio es realizar el análisis de amenaza por lahares secundarios de la microcuenca del Barranco ubicada en la parte alta del volcán Galeras y la cual debido a sus características geológicas y ambientales representa una amenaza para la población del municipio de La Florida, Colombia. El estudio de la amenaza se realizó aplicando métodos estadísticos para la generación de escenarios de modelamiento en base a las condiciones geológicas de la zona. Una vez definidas las

condiciones iniciales de los lahares, se procedió con la simulación de éstos por medio del software TITAN2F que permite modelar el comportamiento de flujos bifásicos sobre un modelo de elevación digital. Finalmente toda la información generada de las simulaciones fue compilada y procesada para ser visualizada por medio de sistemas de información geográfica.

La microcuenca del río Barranco

El volcán Galeras se encuentra ubicado en el departamento de Nariño al suroccidente de la Republica Colombiana en las coordenadas 1°13'43.8" de latitud norte y 77°21'33" de longitud este (SGC, 2008).

La microcuenca del río Barranco se localiza sobre el flanco norte del volcán Galeras y ocupa gran parte del municipio de La Florida. Hacia la parte media y baja de la cuenca se encuentran situados: la cabecera urbana (con más de 1500 habitantes) y una porción del sector industrial, agrícola y ganadero del municipio que se dedican principalmente a la producción y venta de productos lácteos. La zona alta de la microcuenca de Barranco se halla sobre la cima del volcán Galeras y constituye una de las principales zonas de vida del territorio al encontrarse en la categoría de páramo sub andino según la tipificación de Holdridge (1967). Esta formación presenta una temperatura media de 3 a 6°C, con promedio anual de lluvias entre los 500 a 1.000 mm y pertenece a la provincia de humedad superhúmedo. Las oscilaciones de temperatura son amplias entre el día y la noche donde los valores inferiores a cero son frecuentes. En el municipio de La Florida se ubica por encima de los 3.200, y representa el 2,43% de éste con 331,77 hectáreas (Gutiérrez et al, 2017).

Actualmente una fracción de la parte alta de la microcuenca de Barranco se encuentra ubicada dentro del Santuario de Flora y Fauna del Volcán Galeras (SFFG), delimitado mediante el acuerdo 013 de 1985 y declarado Santuario mediante la Resolución 052 del mismo año. En total 468 hectáreas del municipio

pertenecen al Santuario de Flora y Fauna del Volcán Galeras (Parques Nacionales Naturales, 2015), ubicándose en el sector sur del municipio en la parte alta de las microcuencas de Barranco y Pachindo con 201 y 206 hectáreas respectivamente. Uno de los principales fines de la declaratoria de Santuario es el de salvaguardar el patrimonio ambiental y el equilibrio ecosistémico del sector. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de las autoridades por preservar el estado del Santuario, se ha registrado la práctica ilegal de actividades como la ganadería, deforestación, ampliación de la frontera agrícola e incorporación de especies foráneas en el sector de la parte alta de la microcuenca de Barranco, destacándose la ganadería como uno de los principales inconvenientes, debido a que ésta se realiza sobre un área con grandes pendientes (véase Fig. 1) lo que ha favorecido a la formación de terracetas (patas de vaca) provocando una variabilidad en la estabilidad natural de las pendientes generando movimientos en forma de “creep” que pueden desembocar en fenómenos mayores.

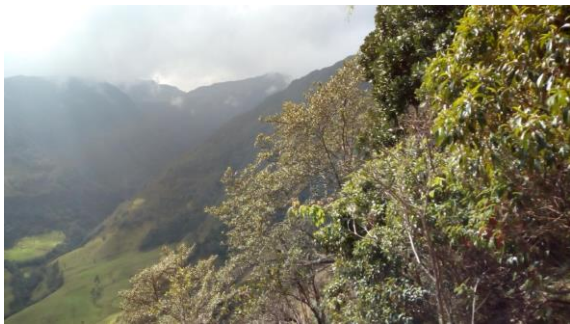


Fig. 1 – Cuenca de Barranco al fondo la cima del volcán Galeras. Vista hacia la parte alta de la cuenca donde se evidencia la alta pendiente del terreno. Fuente: este estudio.

Con la ayuda de Google Earth y por medio de sistemas información geográfica se ha establecido seis áreas influenciadas por el fenómeno de remoción. Tomando en cuenta una profundidad de suelo afectado de 0,50 m se estableció un volumen de 96.967 metros cúbicos que pudieran ser removilizados en la parte alta de Barranco.

Modelamiento de la amenaza por lahares secundarios.

TITAN2F ó TITAN DOS FASES es un software desarrollado en la Universidad de Buffalo, Estados Unidos para la simulación numérica del comportamiento de flujos bifásicos sobre un modelo de terreno digital. El software TITAN2F fue desarrollado sobre la base del sistema del programa TITAN2D que realiza el modelamiento de flujos granulares secos (Patra y otros, 2005). TITAN2F sin embargo, toma en cuenta la dinámica del material

sólido a través del modelo Mohr- Coulomb y la combina con modelos hidráulicos por medio de las ecuaciones de Navier-Stokes (Córdoba y otros, 2015).

TITAN2F permite la simulación de un flujo de lodo sobre un modelo de elevación digital en base a las condiciones iniciales ingresadas por el usuario. Sin embargo, para la evaluación de la amenaza es importante resaltar que se desconocen los valores exactos de las condiciones iniciales con las que se puede desencadenar un flujo. Es por ello que se recurre a métodos estadísticos de muestreo para la generación de un número dado de escenarios esperados teniendo en cuenta la configuración del área de estudio.

En el caso de Barranco se definieron tres condiciones iniciales variables: el volumen total, la velocidad inicial y la concentración de sólidos del flujo. En cada uno de los casos es necesario encontrar los valores mínimos y máximos que pudieran tomar los parámetros para de esta manera proceder con la técnica de muestreo.

La concentración de sólidos del flujo se define entre el 30 y el 60 por ciento del total de flujo de acuerdo a las concentraciones de sedimentos en flujos hiperconcentrados (Lavigne et al, 2007) y en concordancia con las condiciones físico-matemáticas de TITAN2F.

Para el cálculo del volumen máximo y mínimo se deben tener en cuenta tres factores, el máximo volumen esperado de sólidos, el máximo volumen de líquidos y la concentración de sólidos (véase Tabla 1). Para el cálculo del volumen máximo de los flujos y teniendo en cuenta los parámetros morfométricos de la parte alta de la cuenca tales como pendiente, tiempo de concentración y caudal se estimó que la microcuenca es capaz de almacenar un volumen de agua máximo de 777.190 m³ el cual suponiendo un flujo altamente concentrado transportaría hasta 1'443.783 m³ de material granular, dando como resultado un volumen total del flujo de 2'220.973 m³. El cálculo del volumen mínimo del flujo se realiza a través del estimativo del volumen de material sedimentado que posee una alta susceptibilidad a ser integrados en un flujo, el cual se realizó a través de la delimitación de seis áreas sobre la parte alta de Barranco y que arrojó como resultado un volumen de 96.967 m³ de sólidos. Teniendo en cuenta este volumen y que se tiene un flujo altamente concentrado, sería necesario 64.644 m³ de líquido para movilizar el lahar, obteniéndose así un volumen mínimo del flujo de 161.611 m³.

Volumen máximo esperado de los lahares		
Fase	Volumen máximo (m ³)	Porcentaje de concentración
Líquida	777.190	40 %
Sólida	1'443.783	60 %
Total Flujo	2'220.973	100%
Volumen mínimo esperado de los lahares		
Fase	Volumen máximo (m ³)	Porcentaje de concentración
Líquida	64.644	40 %
Sólida	96.967	60 %
Total Flujo	161.611	100%

Tabla. 1 – Cálculo de volumen mínimo y máximo esperado de los lahares para la parte alta de la microcuenca de Barranco.

Debido a que en Barranco, al tratarse de una cuenca hidrográfica, todos los productos que pudieran formarse en ella poseen la tendencia a converger en un mismo punto, denominado punto de salida, se toma este lugar como el punto de inicio de los flujos, donde la diferencia entre un flujo que se origine en la parte más alta de la cuenca con uno que inicie cerca del punto de salida será la velocidad con la que pasa por el lugar en cuestión. Teniendo en cuenta la pendiente del canal principal y la fórmula de la gravedad reducida de Iverson (1978) se tiene que:

$$Vel = \cos\beta \sqrt{\frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_f} * g * h}$$

Dónde,

Vel: velocidad del flujo en un punto dado, en m/s

β : ángulo opuesto a la pendiente del canal principal.

ρ_f : densidad del flujo

ρ_w : densidad del agua

g : gravedad en m/s²

h : diferencia de alturas entre el punto más alto de la cuenca y el punto de salida.

De lo anterior se obtuvo que el rango de velocidades para los lahares en la parte alta de Barranco oscila entre los 0 y 11.43 m/s.

Una vez determinados los rangos de las condiciones iniciales se procede con la técnica de muestreo de las variables. El objetivo de este proceso es el de crear un conjunto de escenarios de lahares que contengan variedad en combinación de las condiciones iniciales según los parámetros establecidos y que sea estadísticamente válidos. Las técnicas de muestreo son variadas y pueden ir desde una simple generación aleatoria de números hasta modelos más complejos como Montecarlo o el muestreo hipercúbico latino (LHS por sus siglas en inglés). El muestreo ortogonal hipercúbico latino aplica la base de LHS para la

generación estratificada de números aleatorios, con la gran ventaja de que el primero requiere un número inferior de muestras para que la población obtenida tenga representatividad estadística. A través del muestreo Ortogonal basado en LHS se obtuvo un total de 128 escenarios de lahares con diferentes condiciones de acuerdo a los rangos de volúmenes, velocidades y concentraciones calculados anteriormente.

Posteriormente, el modelado de los escenarios propuestos se realizó a través de la herramienta computacional TITAN2F sobre un modelo de elevación digital con resolución de tres metros procesado y ajustado mediante el sistema de información geográfico GRASS. TITAN2F modela la evolución de los diferentes parámetros del flujo a lo largo de su recorrido como la altura de inundación, la velocidad, la concentración de sólidos y la presión dinámica.

Debido a que en la trayectoria de los posibles lahares se encuentran ubicados el Hospital municipal y el Colegio San Bartolomé además de gran parte de la población urbana del municipio, se hace énfasis en el análisis de los niveles de inundación y la presión dinámica del flujo para un posterior estudio de vulnerabilidad frente a enterramiento y destrucción - parcial o total- de las edificaciones. De acuerdo con los resultados obtenidos tanto la zona correspondiente al barrio Zaragoza donde se ubica el hospital como la zona industrial láctea poseen un alto nivel de amenaza.

El cómputo de los niveles de la amenaza se realizó en base a dos factores. El primero se refiere al registro histórico de los niveles máximos de inundación y presión dinámica alcanzados por el flujo en su recorrido. La figura 2 muestra el historial de inundación de un flujo con un volumen de alrededor de 200.000 metros cúbicos con una concentración de sólidos del 50 por ciento, el lahar fue modelado mediante TITAN2F y sobre un modelo de elevación digital con resolución de 3 metros. En la imagen se observa que un lahar de un volumen pequeño sería capaz de afectar muchas viviendas en el barrio Zaragoza y una de las edificaciones más importantes del sector urbano como lo es el hospital.

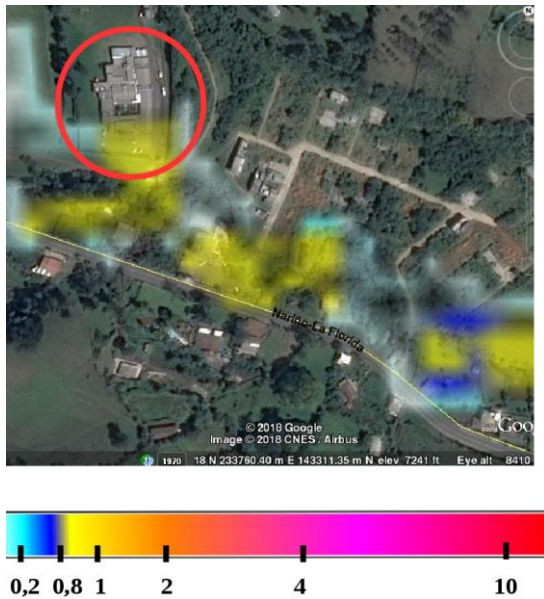


Fig. 2 – Registro de niveles máximos de inundación alcanzados por un flujo con un volumen de aproximadamente 200.000 m³. Hacia la esquina inferior izquierda se encuentra resaltado el hospital municipal, el cual para el caso en particular presentaría una inundación de hasta 1 metro.

El segundo factor a tener en cuenta en el cálculo de la amenaza es el número de veces que llega el flujo a una zona con una condición determinada de inundación o presión dinámica. De acuerdo con el estudio de Rodríguez et al. (2016) se definen cuatro condiciones: flujos con presión dinámica mayor a 10, 15, 30 y 35 kilopascales, mientras que para los niveles de inundación del flujo se toman en cuenta alturas de uno y dos metros.

Finalmente, el presente estudio dio como resultado seis mapas de distribución de probabilidades de amenaza de los flujos en base a las condiciones mencionadas anteriormente, lo cual constituye en una herramienta muy importante para el ordenamiento territorial del municipio de La Florida.

Agradecimientos

A la Alcaldía Municipal de La Florida y a la Universidad de Nariño por todo el apoyo que le han brindado a esta investigación.

Referencias

- Córdoba, G., Sheridan, M. F., y Pitman, E. B. 2015. "TITAN2F: a pseudo-3-D model of 2-phase debris flows". Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., submitted
- IDEAM, U.D.C.A 2015. Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia - 2015. IDEAM - MADS. Bogotá D.C., Colombia., pg. 62.
- Iverson, R. M. 1978. Gravity-driven mass flows. Sedimentology. Springer Berlin Heidelberg. 558-570.
- Gutiérrez, A., Ramirez, C., Suarez, M., Narvaez, J., Gomez, M., Santander, F., Guevara, O. y Recalde, L. 2017. Documento preliminar de diagnóstico integral general (zonas de vida, flora, fauna y patrimonio ambiental estructural ecológica principal) del municipio de La Florida, Nariño. Reporte Interno.
- Holdridge, L. R., 1967. Life zone ecology. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center.
- Lavigne, F., Thouret, J-C., Hadmoko, D. y Sukatja, C. Lahars in java: initiations, dynamics, hazard assessment and deposition processes. Forum Geografi. 21. 1, 17 – 32.
- Organización Panamericana de la Salud. 2002. Los volcanes y la protección de la salud, Ed. 1, ISBN 970-628-734-5.
- Parques Nacionales Naturales. 2015. Plan de Manejo Santuario de Flora y Fauna Galeras. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.
- Patra, A. K., Bauer, A. C., Nichita, C. C., Pitman, E. B., Sheridan, M. F., Bursik, M., and Renschler, C. S. 2005. Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural terrain. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 139(1), 1-21.
- Pierson, T. C. y Janda R.J. 1992. Immediate and long term hazards from lahars and excess sedimentation in rivers draining Mt. Pinatubo, Philippines. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Water-Resources Investigations Report 92-4039
- Rodríguez, D. Córdoba, G. Delgado, H. 2016. Evaluación de la amenaza por lahares en el flanco noreste del volcán Popocatepetl. Boletín de la sociedad geológica Mexicana.
- SGC. 2008. Volcán Galeras. Generalidades. Servicio Geológico Colombiano.
- Smith G. A y Fritz W. J. 1989. Volcanic influences in terrestrial sedimentation. Geology. 17 (4): 375-376.