

POSIBLES ESCENARIOS ERUPTIVOS DEL COTOPAXI Y DELIMITACIÓN DE POTENCIALES ZONAS INUNDADAS POR LAHARES EN EL DRENAJE SUR

Jorge Ordóñez O.; *Instituto Geofísico - EPN, Quito, Ecuador*

Pablo Samaniego E.; *Institute de Recherche pour le Développement, Francia*

Patricia Mothes; *Instituto Geofísico - EPN, Quito, Ecuador*

Steve Schilling; *US Geological Survey, Cascades Volcano Observatory, Vancouver, WA*

Introducción

El Cotopaxi es uno de los volcanes más peligrosos del mundo debido a la frecuencia de sus erupciones, el estilo eruptivo, el relieve y su cobertura glaciar. Actualmente más de 100000 personas viven cerca del volcán o cerca a los drenajes importantes que nacen en sus flancos. Las erupciones históricas del Cotopaxi y las erupciones de otros volcanes en el mundo (p. ej. Mt. Saint Helens en 1980, USA; Nevado de Ruiz en 1985, Colombia; Pinatubo en 1991, Indonesia) han demostrado que grandes lahares pueden destruir y enterrar pueblos o ciudades enteras bajo millones de toneladas de escombros volcánicos.

Dentro del marco del proyecto “Sistema de Alertas Tempranas y Gestión del Riesgo Natural” que el Instituto Geofísico se encuentra ejecutando con financiamiento del BID, estaba previsto realizar la modelización de los flujos de lodo y escombros (lahares) en el drenaje sur del Cotopaxi, asociados a una potencial erupción de este volcán. Por tal motivo fue necesario establecer los posibles escenarios eruptivos tomando en cuenta la información geológica conocida, especialmente de las erupciones históricas, y la nueva información disponible acerca del tamaño actual del casquete glaciar. Con estos datos se estimaron los volúmenes potenciales de lahares para cada escenario. Adicionalmente se contrató a la empresa Stereocarto para que elabore un nuevo modelo digital de elevación (DEM) de la zona de interés con una resolución de 4 m. Los volúmenes lahéricos propuestos según cada escenario y el nuevo DEM fueron utilizados para las modelizaciones con el software LAHARZ que fue desarrollado por funcionarios del US Geological Survey.

Patrón de la actividad eruptiva

Durante tiempos históricos han ocurrido cinco períodos eruptivos importantes en el Cotopaxi (1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877-1880) con erupciones muy violentas, frecuentemente con un VEI entre 3 y 4, y ocasionalmente con un VEI > 4 (Hall y Mothes, 2007). Estas erupciones se caracterizaron por presentar un patrón similar de actividad, que incluye la ocurrencia de columnas eruptivas plinianas, con extensas dispersiones de tefra, la ocurrencia de flujos piroclásticos en la parte proximal del cono, y ocasionalmente con la generación de flujos de lava. Adicionalmente, todas las erupciones estuvieron acompañadas por lahares en las tres redes principales de drenajes del volcán: Norte, Sur y Oriente (Mothes et al., 2004; Hall y Mothes, 2007). En base a esta información se plantea que el escenario más probable será una erupción con un VEI ~ 4, similar a la que ocurrió en 1877. Sin embargo, hay que señalar que erupciones menos explosivas (estromboliana o vulcaniana) son más frecuentes que las erupciones plinianas, pero no dejan un registro geológico importante en el terreno.

Evaluación del tamaño del casquete glaciar

Varias investigaciones han tenido como objetivo cuantificar el tamaño del casquete glaciar del Cotopaxi en las últimas décadas y para ello han utilizado diferentes técnicas directas e indirectas. Estos trabajos, incluidos algunos recientes (Jordan, 1983; Jordan et al., 2005; Cáceres, 2010), permitieron estimar un porcentaje de reducción del glaciar en los períodos 1976-1997 y 1997-2006, obteniendo una tasa de reducción anual de cada glaciar. Asumiendo que esta relación se ha mantenido constante desde 1997, se puede proyectar el tamaño actual del glaciar para el 2011 (Tabla 1). Por otro lado, glaciólogos del INAMHI y del

IRD lideraron campañas de campo en la última década con el fin de medir directamente los espesores de los glaciares Norte y Sur del Cotopaxi y estimar su volumen (Cáceres et al., 2004; Cadier et al., 2007). Como resultado de estos trabajos se concluyó que los espesores varían entre 17 y 35 m para el drenaje Sur. Con estos valores se cuantificó los volúmenes mínimo y máximo del glaciar en el drenaje Sur del Cotopaxi: V_{\min} : 78 millones de m^3 y V_{\max} : 160 millones de m^3 (Tabla 1).

Drenaje	Área en 2011 (mill. m^2)	Espesor mínimo (m)	Espesor máximo (m)	Volumen mínimo (mill. m^3)	Volumen máximo (mill. m^3)
Norte	3.6	20	40	73	145
Oriental	2.2	30	60	66	132
Sur	4.6	17	35	78	160
Total	10.4	30	50	260	520

Tabla 1. Estimación de los volúmenes mínimo y máximo para cada drenaje del casquete glaciar del Cotopaxi.

Escenarios eruptivos y volúmenes laháricos

Cuatro posibles escenarios eruptivos y volúmenes de eventos laháricos asociados fueron definidos en base de los siguientes criterios: 1) dinamismo eruptivo, 2) magnitud de las erupciones, 3) analogías con otros volcanes andesíticos ecuatorianos, 4) grado de interacción entre los productos volcánicos y el glaciar, y 5) tamaño del glaciar y su grado de fusión. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Escenario	VEI	Tipo de Actividad	Fenómenos Eruptivos	Reducción espesor glaciar (m)	Volumen del glaciar derretido (mill. m^3)	Volumen de los lahares (mill. m^3)
1 Pequeño	1 – 2	Fuente de lava Estromboliana	Caídas de tefra y balísticos	0.2 – 0.3	Norte – Sur 1	Norte – Sur 2 – 3
2 Moderado	2 – 3	Estromboliana Vulcaniana	Caídas de tefra Flujos piroclásticos Flujos de lava	1 – 2	Norte: 3 – 6 Sur: 4 – 8	Norte: 10 – 20 Sur: 14 – 30
3 Grande	3 – 4	Vulcaniana Sub – Pliniana	Caídas de tefra Flujos piroclásticos	3 – 4	Norte: 10 – 15 Sur: 15 – 20	Norte: 40 – 45 Sur: 50 – 60
4 Muy grande	>4	Pliniana	Caídas de tefra Flujos piroclásticos	6 – 8	Norte: 24 – 26 Sur: 30 – 35	Norte: 85 Sur: 110

Tabla 2. Síntesis de las características de cada uno de los escenarios definidos.

Aplicación de LaharZ para delimitar potenciales zonas de inundación por lahares

LAHARZ es un programa que permite delimitar de manera “rápida, reproducible y objetiva” las zonas de inundación por lahares que se originan en un volcán (Iverson et al., 1998; Schilling, 1998). El programa está basado en una correlación empírica entre el volumen de un evento lahárico y las áreas inundadas en secciones planimétrica y transversal.

El programa LAHARZ fue diseñado para ejecutarse dentro de un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS) que emplea las ecuaciones anteriores, un modelo digital de elevación (DEM) y los volúmenes de los lahares, previamente definidos por el usuario, para delimitar zonas potenciales de inundación, de manera automatizada y rápida. El usuario puede definir el inicio y el final de los cálculos de las zonas inundadas en el DEM. De esta manera es posible elaborar mapas de probabilidad de inundación por lahares para los drenajes de interés, considerando que los lahares pequeños son más frecuentes que los lahares grandes.

Tres drenajes principales del flanco Sur-Suroccidental fueron seleccionados para las modelizaciones: río Cutuchi, río Saquimala y río Alaques o Barrancas; y en base a los escenarios planteados, se definieron cinco volúmenes para las modelizaciones de LaharZ: 3 millones m^3 , 10 millones m^3 , 20 millones m^3 , 30 millones m^3 y 60 millones m^3 (Figura 1).

Según los resultados conseguidos con LaharZ (Figura 1) se pudo determinar lo siguiente:

- Los lahares de tamaño pequeño (~3 millones m³, VEI 1-2), se canalizan en los valles principales y no alcanzan distancias importantes.
- Los lahares de tamaño moderado (10-30 millones m³, VEI 2-3) forman zonas de inundación importantes en el segmento comprendido entre San Agustín de Callo, Mulaló y Guaytacama.
- Los lahares generados en el flanco sur se canalizan en el valle del río Alaques, y llegan hasta la ciudad de Latacunga.
- Los lahares grandes (> 30 millones m³, VEI > 3) pueden alcanzar la ciudad de Latacunga e inundar extensas zonas del Valle Interandino.

Conclusiones

El volcán Cotopaxi ha experimentado al menos 18 ciclos eruptivos importantes en los últimos 2000 años, incluyendo cerca de 32 erupciones con VEI \geq 3. Por lo tanto es muy factible que el próximo evento eruptivo tenga un VEI ~ 4 y sería similar a la erupción de 1877 AD. La actividad sería del tipo estromboliana a vulcaniana de larga duración (escenarios 1 y 2) que puede evolucionar a una erupción altamente explosiva (escenario 3 y/o escenario 4). Investigaciones recientes permitieron calcular y estimar los espesores, las superficies y los volúmenes de los glaciares del Cotopaxi desde 1976 hasta 2006, y con esta información se proyectó unos valores estimados para el año 2011.

El hecho de contar con un DEM de buena calidad y resolución, y con una buena estimación de los posibles dinamismos eruptivos y de la cantidad de agua de origen glaciar disponible actualmente, permitió elaborar mapas de probabilidad de inundación por lahares para el drenaje sur del Cotopaxi con la ayuda del programa LaharZ.

Referencias

- Cáceres B., Ramírez J., Francou B., Eissen J.P., Taupin J.D., Jordan E., Ungerechts L., Maisincho L., Barba D., Cadier E., Bucher R., Peñafiel A., Samaniego P., Mothes P.; (2004). Determinación del volumen del casquete de hielo del volcán Cotopaxi. Informe INAMHI, IRD, IG-EPN, INGEOMINAS; 54 pp.
- Cáceres B., 2010. Actualización del Inventario de Tres Casquetes Glaciares del Ecuador. Tesis de Máster 2 SGT PREFALC; 78 pp.
- Cadier E., Maisincho L., Ulloa D., Mella R., Mothes P., Schaeffer M., Francou B., Rivero D., Jordan E., Ungerechts L., Barba D., David E., Samaniego P.; (2007). Segunda Campaña de Mediciones de los Glaciares del Volcán Cotopaxi. 19-27 de Enero de 2007. Informe Provisional. INAMHI, IRD-LGGE, IG-EPN, CECS; 38 pp.
- Hall M.L., Mothes P., (2007), The rhyolitic-andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador. Bulletin of Volcanology; 28 pp.
- Iverson R., Schilling S., Vallance J., (1998). Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. Geological Society of America Bulletin, v. 110, N°8; 972-984.
- Jordan E. (1983). Die Vergletscherung des Cotopaxi-Ecuador. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie 19; 73-102.
- Jordan E., Ungerechts L., Cáceres B., Peñafiel A., Francou B., 2005. Estimation by photogrammetry of the glacier recession on the Cotopaxi Volcano (Ecuador) between 1956 and 1997. Reporte Interno.
- Mothes, P., Hall, M., Andrade, D. Samaniego, P., Pierson, T. Ruiz, G., Yepes, H., 2004. Character, Stratigraphy and Magnitude of Historical Lahars of Cotopaxi Volcano, Ecuador. Acta Vulcanologica, Vol. 16, 85-108.
- Schilling S. (1998). LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. US Geological Survey Open-File Report 98-638; 79 pp.

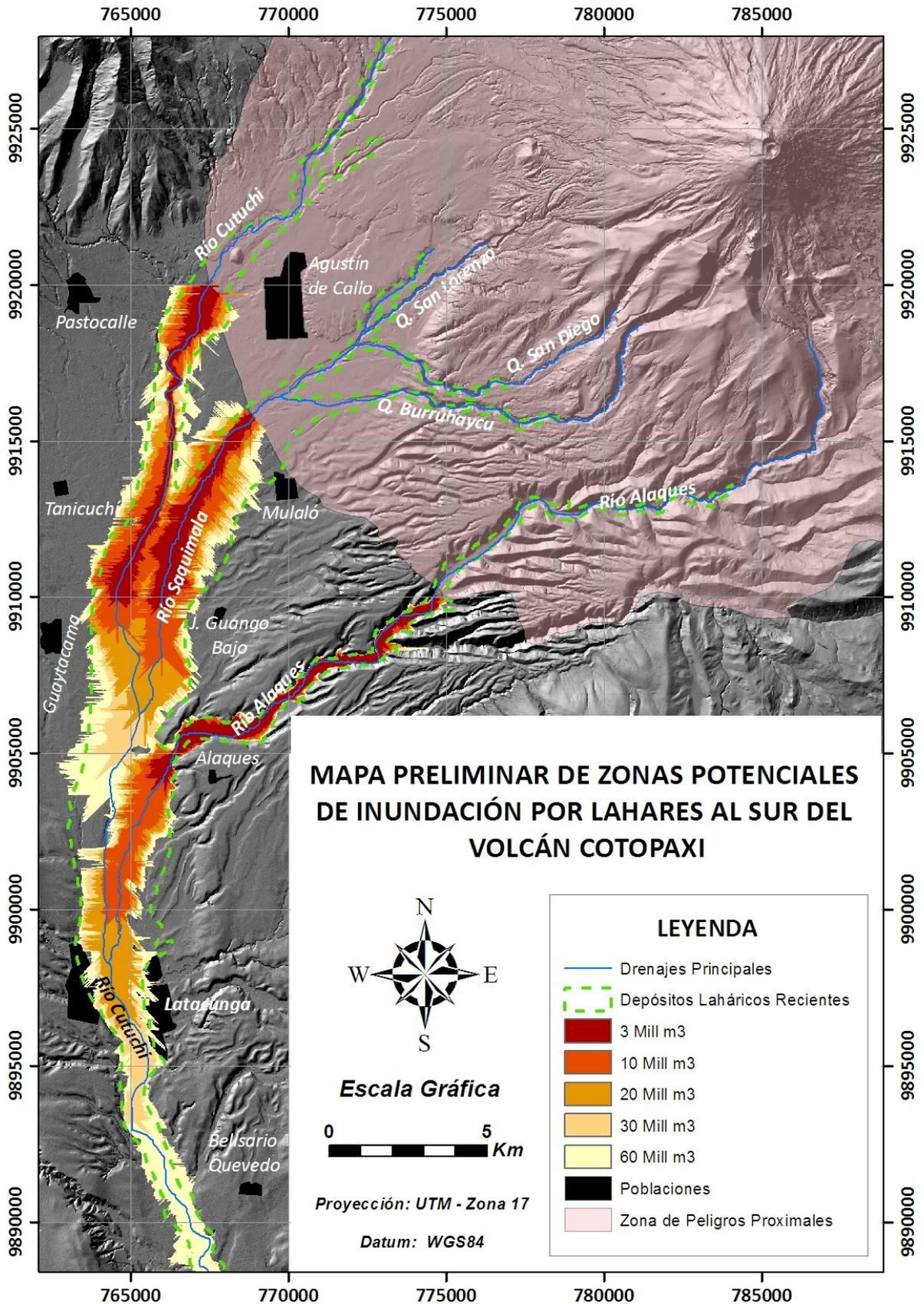


Figura 1. Mapa de las potenciales zonas inundadas por lahares al sur del volcán Cotopaxi. Cada superficie de diferente color representa la zona de inundación para un volumen diferente (3, 10, 20, 30, 60 millones de m³, respectivamente). La línea verde entrecortada representa la envolvente de los depósitos laháricos históricos.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
INSTITUTO GEOFÍSICO



7 mas **Jornadas**
en **Ciencias**
de la Tierra
y I **Encuentro**
sobre Riesgos y
Desastres

23 - 25 de Noviembre de 2011, Quito



PETROAMAZONAS EP



INIGEMM

Instituto Nacional de Investigación
Geológica Minero Metalúrgica
República del Ecuador



OCP ECUADOR S.A.



EP PETROECUADOR

Memorias de las 7 mas Jornadas en Ciencias de la Tierra
Editado por: Dr. Daniel Andrade Varela
Publicado por: Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
Diagramación: Equator Meetings S.A., www.equatormeetings.com
Año: 2011
ISBN: 978- 9978-383-17-9