VOLCÁN SANGAY

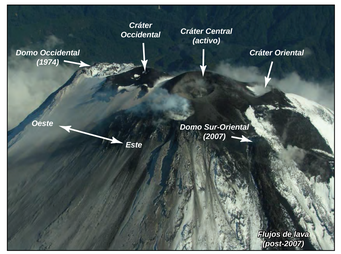
PELIGROS VOLCÁNICOS POTENCIALES

Instituto Geofísico EPN — Escuela Politécnica Nacional — IRD Institut de recherche pour le développement

Mensaje para el lector: El presente documento fue elaborado mediante la aplicación de técnicas computacionales de modelización de los fenómenos volcánicos, con datos de erupciones de volcanes andesíticos análogos, y con la información geológica disponible hasta el momento. Es importante mencionar que los límites de las zonas de peligros representan la transición entre regiones con diferente grado de amenaza y, por lo tanto, dichos límites son aproximados y de ninguna manera constituyen bordes absolutos. Esto se debe a que las erupciones volcánicas pueden variar enormemente en su magnitud, volumen y alcance, y por lo tanto en su extensión.

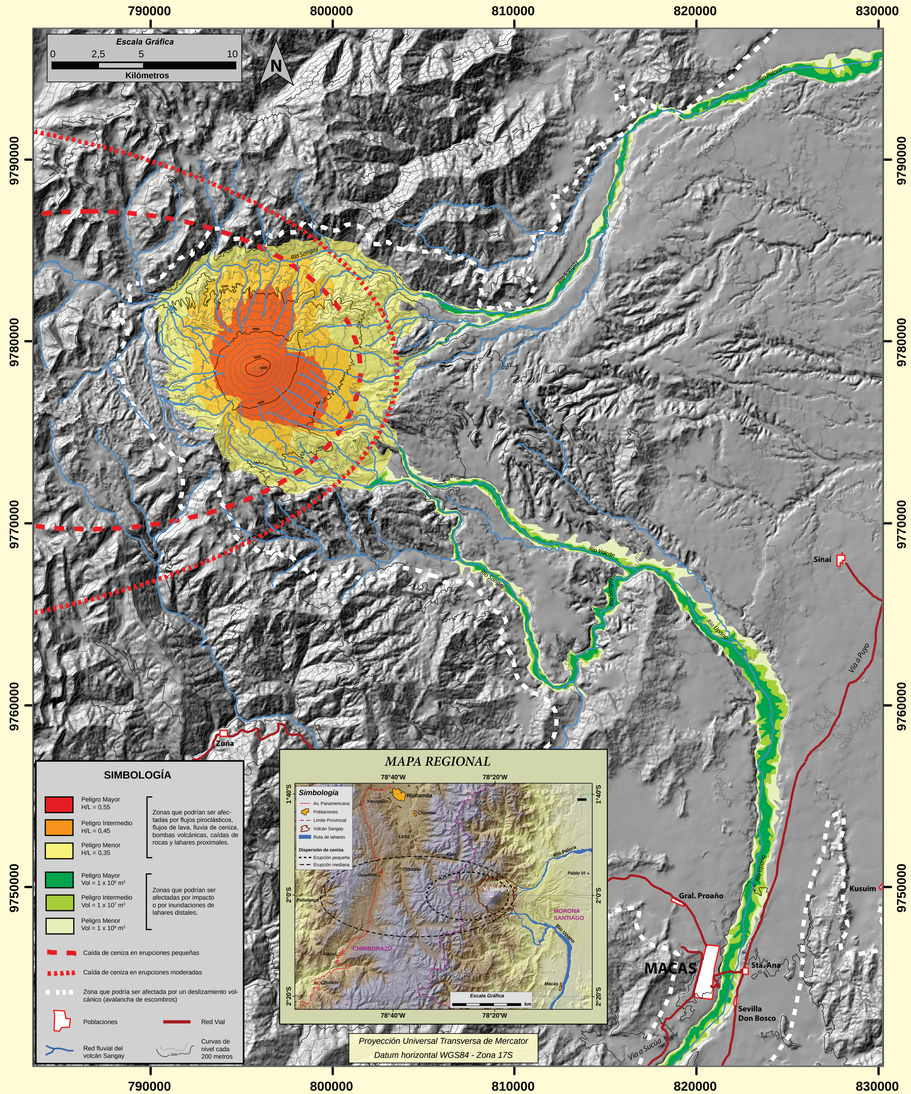
Instituto Geofísico:
Escuela Politécnica Nacional, calle Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía; Edificio de Ingeniería Civil, 6to Piso.
Telf. (593-2) 2225655, 2227031 Sitio Web: www.igepn.edu.ec

Fotografía aérea oblicua del volcán Sangay vista desde el Oeste-Noroeste. Se aprecia la forma cónica del volcán y una cobertura de nieve importante. (Foto: S. Vallejo, IG-EPN)



Fotografía aérea oblicua del volcán Sangay vista desde el Este-Sureste. Se observan los rasgos morfológicos de la cumbre (cráteres y domos) alineados en sentido Oeste-Este. (Foto: S. Vallejo, IG-EPN)

LOS PELIGROS VOLCÁNICOS POTENCIALES EN EL SANGAY



NOTA: *La información geográfica que se presenta en este mapa (topografía, hidrografía, red vial, poblaciones, límites provinciales) es de autoría y de propiedad del Instituto Geográfico Militar (IGM).*

INFORMACIÓN GENERAL DEL VOLCÁN SANGAY

El Sangay (5230 msnm) está ubicado en el extremo sur del arco volcánico ecuatoriano y es considerado el más activo de los volcanes en nuestro país. Este volcán está localizado a una latitud de 2° 00' S y una longitud de 78° 20' W, sobre la Cordillera Real (Oriental), y se encuentra a una distancia aproximada de 45 km al Sureste de Riobamba y a 40 km al Noroeste de Macas. Su edificio forma un cono simétrico (estratovolcán) con pendientes de 35° y tiene un diámetro basal casi circular (9 x 10 km). Su cumbre es compleja debido a que está formada por tres cráteres y dos domos de lava que están alineados en sentido Oeste-Este, lo cual da lugar a una cuchilla de aproximadamente 700 m de largo.

Breve historia geológica

Según Monzier et al. (1999), el Sangay es un complejo volcánico andesítico que está formado por tres edificios sucesivos (Sangay I, II y III), cuyos tamaños y volúmenes son decrecientes en el tiempo. El Sangay I se desarrolló en un rango de edad entre 500 – 250 ka AP, el Sangay II entre 100 – 50 ka AP y el Sangay III (cono actual) empezó a formarse hace 14 ka AP. Los edificios Sangay I y Sangay II fueron parcialmente destruidos como consecuencia de enormes deslizamientos de sus flancos orientales, provocando grandes avalanchas de escombros que fluyeron hacia la planicie amazónica y que generaron depresiones en forma de herradura en sus edificios conocidas como anfiteatros (similar al volcán Reventador).
El volcán Sangay ha manifestado actividad eruptiva histórica al menos desde el año 1628 DC (Hall, 1977), pero es a partir del siglo XVIII cuando se tienen descripciones más detalladas de su actividad. Algunas erupciones importantes ocurrieron en 1728, 1738-1744, 1842-1843, 1849, 1854-1859, 1867-1874, 1872, 1903, 1934-1937, 1941-1942, 1975-1976 y 1995-Presente. Estas erupciones se caracterizaron por ser de tipo Estromboliano, con fuentes de lava, explosiones, emisiones y caídas de ceniza, frecuentes flujos de lava, crecimiento de domos, flujos piroclásticos y lahares.

LOS PELIGROS O AMENAZAS VOLCÁNICAS ASOCIADAS AL VOLCÁN SANGAY

Los Flujos Piroclásticos

Son mezclas calientes (T > 100 °C) de gases, fragmentos de lava sólida, ceniza y aire que se desplazan por las pendientes de un volcán a grandes velocidades (> 30 km/h). La parte densa del flujo (rocas y ceniza) se mueve por el fondo de los valles, mientras que la parte menos densa (gases, aire y ceniza) forma nubes turbulentas que pueden sobrepasar barreras topográficas y desplazarse sobre los límites de los valles. Un flujo piroclástico puede formarse por el colapso gravitacional de una columna eruptiva, por el rápido desborde de magma desde el cráter, por el colapso estructural de un domo de lava o del frente de un flujo de lava, o por una explosión dirigida lateralmente.

Flujo piroclástico que ocurrió el 14 de julio de 2006 en el flanco noroccidental del volcán Tungurahua.

Flujos de lava recientes (en color oscuro) que descienden por el flanco oriental del volcán Sangay.

Los Flujos de Lava

Los flujos o coladas de lava son derrames de roca fundida, que han perdido gran parte de los gases inicialmente disueltos en el magma. Estos flujos se originan desde el cráter o desde fisuras en los flancos del volcán. Las coladas de lava tienen temperaturas altas (T > 700 °C) y, según su composición química y su viscosidad, pueden descender por las pendientes del volcán a diferentes velocidades: bajas (pocos m/h) o altas (algunos km/h). Si la viscosidad de la lava es muy alta, ésta no fluye tan lejos y se apila alrededor del vento por donde es extruida, formando montículos denominados Domos de Lava.

Las Emisiones y Caídas de Piroclastos

Durante una erupción explosiva, gases y piroclastos (partículas volcánicas sólidas) son arrojados a la atmósfera, formando una columna eruptiva que puede alcanzar alturas desde pocas centenas de metros hasta varios kilómetros sobre el cráter. Los piroclastos más grandes (bloques o bombas, > 64 mm) se acumulan cerca del cráter, mientras que las partículas más finas (ceniza, < 2 mm) son transportadas por los vientos dominantes hasta regiones más alejadas y, al caer a la superficie, forman mantos de ceniza. En general, el tamaño de los piroclastos y el espesor del depósito disminuyen a medida que la distancia con el volcán aumenta.

Columna eruptiva y caída de ceniza en la región occidental del volcán Tungurahua durante Marzo de 2007.

Lahar en el río Bazcún, en el flanco norte del volcán Tungurahua, que ocurrió en Febrero de 2005. A la izquierda se observa el complejo turístico "El Salado".

Flujos de Escombros y Lodo (Lahares)

Los lahares consisten de una mezcla de agua, materiales volcánicos (rocas, arena, ceniza) y cualquier objeto incorporado en el flujo, que se movilizan por los drenajes de un volcán debido a la acción de la gravedad. Los fragmentos volcánicos pueden provenir de una erupción en curso o pueden ser incorporados durante el trayecto. El agua puede ser originada directamente de la fusión parcial de un glaciar durante la erupción o de lluvias intensas que ocurran sobre el volcán. La magnitud y el potencial destructivo de estos flujos dependen de su volumen, del tamaño de los fragmentos sólidos, del grado de encajonamiento y de la pendiente de los drenajes por donde transiten los lahares.

Deslizamientos y Avalanchas de Escombros

Las avalanchas de escombros son fenómenos de remoción en masa que se originan por deslizamientos a gran escala en los flancos de un volcán y se movilizan principalmente por acción de la gravedad. Una avalancha de escombros puede viajar grandes distancias, con velocidades altas (> 100 km/h), y puede sobrepasar fácilmente barreras topográficas. El edificio volcánico generalmente queda truncado y con una depresión o anfiteatro abierto en la misma dirección del deslizamiento. Si la alimentación magmática continúa activa después del deslizamiento, un nuevo cono puede formarse al interior ocultando las evidencias del deslizamiento.

Anfiteatro del antiguo volcán El Reventador, producido por un gran deslizamiento de su flanco oriental. En su interior está creciendo el actual cono activo.

Emisiones fumarólicas de vapor de agua al sur del cráter central del volcán Sangay.

Gases volcánicos

Los volcanes expulsan a la atmósfera cantidades variables de distintos gases (especialmente durante períodos eruptivos), los cuales consisten principalmente de vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ácido sulfhídrico (H_2S), ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF) y radón (Rn). Algunos de estos gases son inodoros y más pesados que el aire, y pueden concentrarse en depresiones topográficas lo cual podría ocasionar asfixia a seres vivos. Otros gases pueden mezclarse en la atmósfera y formar lluvias ácidas con un alto poder corrosivo.

Fotografías: Instituto Geofísico - EPN
Foto del lahar en el río Bazcún: M. López (ex- Defensa Civil de Baños)

Referencias Bibliográficas:

Bonadonna, C, Connor CB, Houghton BF, Byrne M, Laing A, Hincks T. (2005). Probabilistic modeling of tephra dispersal: Hazard assessment of a multi-phase eruption at Tarawera, New Zealand; J. Geophys. Res., 110, B03203.

Bignami C, Bosi V, Costantini L., Cristiani C., Lavigne F, Thierry P. (2012). Handbook for volcanic risk management: prevention, crisis management and resilience. MIAVITA Team, Orleans-France. 198pp.

Crandell D, Booth B, Kusumadinata K, Shimozuru D, Walker G, Wetercamp D. (1984). Source-book for volcanic-hazards zonation. UNESCO. France. 97pp.

Eychenne J, Le Pennec JL, Troncoso L, Gouhier M, Nedelec J. (2012). Causes and consequences of bimodal grainsize distribution of tephra fall deposited during the August 2006 Tungurahua eruption (Ecuador). Bull. Volcanol. 74, 187-205.

Hall M. (1977). El Volcanismo en Ecuador. Publicación del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Sección nacional del Ecuador, Quito. 120pp.

Hall M, Robin C, Beate B, Mothes P, Monzier M. (1999). Tungurahua volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards. J. Volcanol. Geothermal Res., 91 (1), 1-21.

Instituto Geográfico Militar (2013). Base escala 1:50.000

Iverson R, Schilling S, Vallance J. (1998). Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. Geological Society of America Bulletin, 110 (8); 972-984.

Kelfoun K, Druitt T. (2005). Numerical modeling of the emplacement of Socompa rock avalanche. Chile. J. Geophys. Res. 110.B12202.

Mastin, L, Schwaiger H, Denlinger R. (2012). User's Guide to Ash3d: A 3-D Eulerian Atmospheric Tephra Transportation and Dispersion Model, U.S. Geological Survey Open-File Report.

Monzier M, Robin C, Samaniego P, Hall M, Cotten J, Mothes P, Arnaud N. (1999). J. Volcanol. Geotherm. Res. 90, 49-79.

Samaniego P, Le-Pennec JL, Robin C, Hidalgo S. (2011). Petrological analysis of the pre-eruptive magmatic process prior to the 2006 explosive eruptions at Tungurahua volcano (Ecuador). J. Volcanol. Geotherm. Res., 199, 69-84.

Schilling S. (1998). LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. US Geological Survey Open-File Report 98-638; 79 pp.

Sheridan, M. (1979). Emplacement of pyroclastioflows: a review. In: Chapin, C.E., Elston, W.E. (Eds.), Ash-Flow Tuffs: Geol. Soc. Am. Spec. Paper, 180, 125–136.

MODELIZACIONES COMPUTACIONALES DE LOS FENÓMENOS VOLCÁNICOS

Flujos piroclásticos, flujos de lava y lahares proximales

Para definir los límites de las zonas que podrían ser potencialmente afectadas por estos flujos se utilizaron dos metodologías. La primera consiste en aplicar el concepto de "línea de energía" (Sheridan, 1979) y la segunda en utilizar el simulador digital Volcflow (Kelfoun and Druitt, 2005).

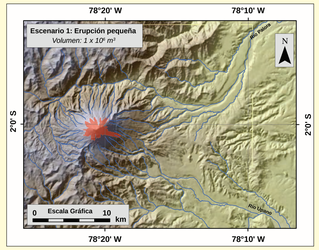
Una línea de energía relaciona la altura vertical (H) y la distancia horizontal (L) que puede alcanzar un flujo, desde su inicio hasta que se detiene. La razón H/L equivale al coeficiente de fricción aparente durante el deslizamiento y corresponde a la tangente del ángulo entre la línea de energía y un plano horizontal. Si se considera que desde la cumbre del volcán se generan múltiples líneas de energía, con la misma relación H/L, entonces su intersección con la topografía define la superficie que podría ser potencialmente afectada por estos flujos, denominada "cono de energía". Con la ayuda del programa LAHARZ (Iverson et al., 1998; Schilling, 1998) se determinaron tres conos de energía para diferentes escenarios.

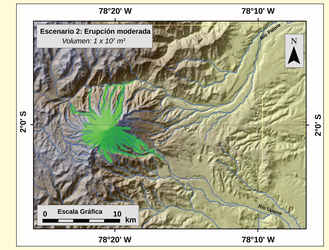
Peligro Mayor: indicaría un escenario eruptivo pequeño a moderado, con frecuentes explosiones del tipo estromboliano, emisiones de ceniza cuya dispersión no sería muy extensa, flujos piroclásticos y flujos de lava de poco alcance, lahares relativamente pequeños y caídas de rocas desde los flancos altos del volcán. Esta zona ha sido afectada comúnmente por tales fenómenos durante las últimas décadas, de manera similar al comportamiento eruptivo típico del volcán Tungurahua. Para delimitar esta superficie se utilizó la relación H/L = 0,55.

Peligro Intermedio: estaría asociada a un escenario eruptivo más explosivo, con erupciones del tipo estromboliano a vulcaniano, en el cual ocurrirían los mismos fenómenos volcánicos que en el escenario anterior (flujos piroclásticos, flujos de lava, lahares, dispersión de ceniza y caídas de rocas), pero su extensión en el terreno y el grado de afectación serían mayores. Erupciones como las que ocurrieron en el volcán Tungurahua el 14 de Julio de 2006, 6 de Febrero de 2008, 28 de Mayo de 2010, ó 14 de Julio de 2013 podrían ocurrir dentro de este escenario. Esta zona fue delimitada utilizando la relación H/L = 0,45.

Peligro Menor: abarcaría una superficie más amplia debido a que estaría asociada a una erupción más violenta y con mayor volumen de magma, similar a aquellas de los volcanes Tungurahua del 16 de Agosto de 2006 o del Reventador del 3 de Noviembre de 2002. En este escenario también se contempla la posibilidad de que alguno de los domos de lava que actualmente forman parte de la cumbre, tanto al Occidente como al Suroriente, se desestabilicen y colapsen, formando flujos piroclásticos de mayor volumen y alcance. Los límites de la zona de peligros fueron definidos con la razón H/L = 0,35.

El modelo numérico VolcFlow (Kelfoun and Druitt, 2005) toma en cuenta las propiedades reológicas del flujo (cohesión, viscosidad), pero también su volumen, el punto de origen y la duración del evento. Adicionalmente, es importante contar con un modelo digital del terreno (MDT) de buena calidad y resolución. Para el caso del volcán Sangay se utilizó un MDT de 30 m de resolución y se asumió que la reología de los flujos piroclásticos es análoga a la observada en el volcán Tungurahua. Esto es consistente debido a que la composición química y el estilo eruptivo de ambos volcanes son similares. Con esta información y con datos de los volúmenes y de los tiempos de duración de erupciones conocidas del volcán Tungurahua, se definieron tres posibles escenarios: erupción pequeña, erupción moderada y erupción grande. Los resultados de las simulaciones se presentan en los siguientes mapas.

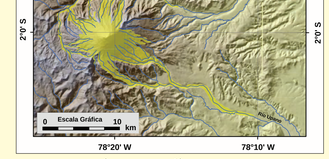




Erupción	*Volumen (m³)*	*Duración (seg)*
Pequeña	1 x 10^6	120
Moderada	1 x 10^7	1800
Grande	1 x 10^8	3600

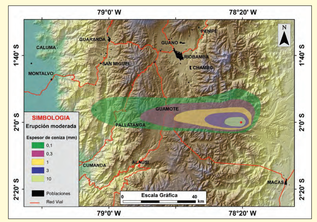
Resultados de las simulaciones de flujos piroclásticos, mediante la implementación del modelo numérico VolcFlow (Kelfoun and Druitt, 2005), para tres potenciales escenarios eruptivos: pequeño, moderado y grande.

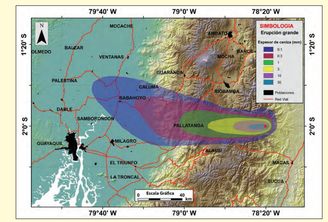
En la tabla se presentan los parámetros que fueron utilizados en las simulaciones de cada uno de los escenarios eruptivos propuestos.



Las dispersiones y caídas de piroclastos

Para definir las zonas que podrían ser afectadas por caídas de piroclastos del volcán Sangay se utilizaron dos modelos numéricos: 1) Ash3d (Mastin et al., 2012), y 2) Tephra 2 (Bonadonna et al., 2005). Los datos de entrada para las simulaciones fueron inferidos de las descripciones de Monzier et al. (1999) y de las erupciones recientes del volcán Tungurahua. Se tomaron en cuenta parámetros como la altura de la columna eruptiva entre10 y 15 km sobre el nivel del mar, y volúmenes de magma DRE (Equivalente en Roca Densa) entre 0,001 y 0,005 km³. Otro parámetro importante es la distribución estadística de los perfiles de vientos que fue proveída por el Sistema Global de Pronóstico de la NOAA (*www.emc.ncep.noaa.gov/index.php?branch=GFS*). Con esta información se plantearon dos posibles escenarios eruptivos para la dispersión y caída de piroclastos.





Resultados de las simulaciones de la dispersión y caída de ceniza del volcán Sangay para erupciones moderadas y grandes, según los modelos Ash3D (Mastin et al., 2012) y Tephra2 (Bonadonna et al., 2005).

Los lahares distales

El modelo LAHARZ (Iverson et al., 1998; Schilling, 1998) permite delimitar las zonas que podrían ser afectadas por lahares alrededor de un volcán. Para ésto asocia el volumen de un flujo lahárico con las superficies inundadas (planimétricas y transversales) que se generan alrededor de un drenaje específico durante su tránsito. Para el caso del volcán Sangay, se aplicó LAHARZ a lo largo de los principales tributarios de los ríos Palora y Upano, los cuales nacen en los flancos del volcán. Para tal efecto se utilizó un MDT de 30 metros de resolución y se definieron tres posibles volúmenes laháricos.

Peligro Mayor (1 millón de m³): refleja el escenario más frecuente para lahares en el volcán Sangay, y podría ocurrir cuando lluvias intensas precipiten sobre sus flancos superiores. La escorrentía superficial arrastraría el material volcánico suelto disponible y formaría lahares relativamente pequeños que transitarían por las quebradas del volcán.

Peligro Intermedio (10 millones de m³): este escenario estaría asociado a un evento eruptivo que genere flujos piroclásticos que puedan llegar hasta el glaciar remanente, ubicado en el flanco nororiental del volcán, y que además sean eficientes para derretirlo, parcial o totalmente. El agua resultante podría originar lahares de tamaños relativamente mayores que en el caso anterior.

Peligro Menor (100 millones de m³): para este caso se consideró un potencial deslizamiento que podría afectar al volcán en alguno de sus flancos, tanto al nororiente, oriente o suroriente del cono, como ya ocurrió en al menos dos ocasiones (Monzier et al., 1999). Debido a que no se conoce el grado de inestabilidad de los flancos del volcán, y por tanto tampoco el potencial volumen de material removido durante el deslizamiento, se asumió que al menos 100 millones de m³ (0,1 km³) de este material podría formar un flujo lahárico al mezclarse con agua proveniente del sistema hidrotermal, de la fusión del glaciar remanente o del sistema fluvial circundante.

La impresión de este documento fue financiada por la "Direction de l´information et de la culture scientifiques pour le Sud (DIC)" del IRD-Francia.

Autores: Ordóñez J.[1], Vallejo S.[1], Bustillos J.[1], Hall M.[1], Andrade D.[1], Hidalgo S.[1] y Samaniego P.[2]

[1] Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador
[2] Institut de Recherche pour le Développment (IRD), Francia

Agradecimientos:

Los autores desean expresar su agradecimiento a las siguientes instituciones por proveer los Modelos Numéricos (VolcFlow, Ash3D, Tephra2 y LaharZ) al Instituto Geofísico (IG-EPN) para efectuar las simulaciones de los fenómenos volcánicos en el volcán Sangay.

Al *Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal* (Clermont-Ferrand, Francia)
Al *Centre d´Etude des Risques Géologiques, Université de Genève* (Ginebra, Suiza)
Al *US Geological Survey (USGS),* (USA)