MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS POTENCIALES DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA

3RA. EDICIÓN - 2019, Quito - Ecuador

Como citar el mapa:
IG-EPN, IGM, IRD (2019), Mapa de Peligros Volcánicos Potenciales del Volcán Guagua Pichincha 3ra. Edición, Quito - Ecuador.
Prohibida la reproducción y reimpresión de este mapa sin permiso escrito de IG-EPN/IGM

ELABORACIÓN:

Instituto Geofísico

ESTUDIO VULCANOLÓGICO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL: Patricia Mothes, Edwin Telenchana, Marco Córdova, Pedro Espín, Benjamin Bernard, Silvia Vallejo, Antonio Proaño

Jorge Ordóñez (Municipio de Quito)

Institut de Recherche pour le Développement FRANCE: Pablo Samaniego

BASE CARTOGRÁFICA, DISEÑO E IMPRESIÓN

Instituto Geográfico Militar: Rosa Cuesta, Xavier Vivas, Paúl Aguiar, Fernando Pavón

CON EL AVAL DE:

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias

ECU 911

Gobierno de Pichincha

Quito Alcaldía

Introducción

Un mapa de peligros volcánicos constituye un documento que muestra las zonas de posible afectación por los fenómenos volcánicos asociados a la actividad de un volcán específico. Los fenómenos volcánicos más comunes generados por los volcanes de la Sierra ecuatoriana son: caídas de cenizas y proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, flujos de lava, flujos de lodo o lahares, avalancha de escombros, emisión de gases y actividad sísmica. Para elaborar un mapa de peligros se requiere trabajo de campo para comprobar y mapear la presencia de depósitos de los fenómenos en el terreno y determinar el alcance de los mismos. Por tal razón se estudian los vestigios de los fenómenos para conocer su magnitud en determinados sitios y se estima la frecuencia de las erupciones por medio de información obtenida en registros históricos y/o dataciones radiométricas. Finalmente, se emplearon programas computacionales para modelar los fenómenos en un modelo digital de terreno (MDT) que muestra el volcán y sus zonas de influencia.

El Volcán Guagua Pichincha en breve

El Volcán Guagua Pichincha (4784 msnm) es el centro eruptivo más joven y activo del Complejo Volcánico Pichincha; cuyo edificio erosionado, viejo y extinto, se extiende desde el occidente de Quito hasta las cabeceras del Río Cinto, y los poblados de Nono al norte y Lloa al sur (ver MDT 3D). La actividad eruptiva más reciente del Volcán Guagua Pichincha ocurrió entre 1999 y 2001 en el domo denominado "Cristal" que está ubicado en el centro de una gran cicatriz producida por el colapso lateral y explosiones de su anterior edificio.

Este centro eruptivo se encuentra ubicado aproximadamente a 12 km del centro de Quito y dado a que su profunda cicatriz está abierta hacia el occidente, la mayoría de los flujos piroclásticos relacionados con las erupciones del domo Cristal han sido dirigidos al occidente, hacia una zona boscosa y con escasa población (Figura 1).

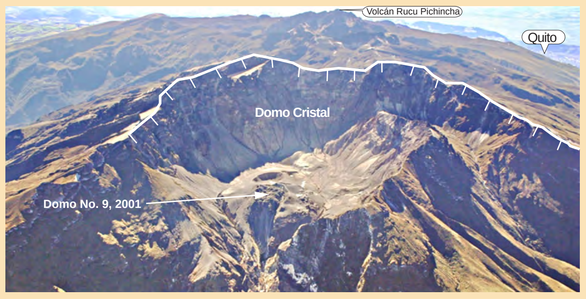


Figura 1. Foto del interior de la cicatriz de deslizamiento del Guagua Pichincha, vista desde el S-SO al N-NE, con el domo Cristal en el centro y las cabeceras del Río Cristal. La ciudad de Quito y la loma de Puengasí se encuentran en la esquina superior derecha de la foto. (Foto: 5 de julio de 2007 P. Ramón / IG-EPN)

La distancia máxima de tránsito de los flujos piroclásticos en los últimos mil años ha sido aproximadamente 24 km aguas abajo del domo Cristal. También es una zona de depositación de lahares secundarios, que se formaron por fuertes lluvias y la removilización de material depositado en los cauces de los ríos.

Historia Eruptiva del Volcán Guagua Pichincha

Los magmas asociados al Volcán Guagua Pichincha son de composición dacítica, es decir, su contenido de sílice (SiO_2) es relativamente alto (62-65 wt.% SiO_2). Este factor influye en su nivel de explosividad, el cual se cataloga entre moderado y alto. Se han identificado varias erupciones del domo Cristal ocurridas en los últimos 4000 años. Las erupciones de hace 10000 y 1000 años antes del presente (a AP) fueron las más importantes del periodo reciente del Guagua Pichincha, las cuales tuvieron un Índice de Explosividad Volcánica (VEI) > 5. La erupción histórica de 1660 (VEI 4) fue registrada en el entonces pequeño casco urbano de Quito, aunque tuvo un alcance inferior a los eventos anteriormente mencionados. La frecuencia de las erupciones grandes del Volcán Guagua Pichincha es aproximadamente cada 500 a 1000 años. Sin embargo, estudios demuestran que las grandes erupciones están precedidas por pequeñas erupciones precursoras que ocurrieron varias décadas antes del evento principal. Este fue el caso de las erupciones en el año 1575, que anticiparon la erupción principal del Volcán Guagua Pichincha en octubre de 1660.

Figura 2. Erupción del 7 de octubre de 1999, la columna de ceniza alcanzó 15 km (Fuente: Current Volcanic Ash Advisories-VAAC) sobre el nivel del mar a las 7 a.m. vista desde Tumbaco. (Foto: P. Zway)

De igual forma, las erupciones de 1999-2001 fueron anticipadas por actividad freática precursora en el periodo comprendido entre 1980 y 1998. Las erupciones entre 1999 y 2001 fueron de un VEI 1-2 y estuvieron acompañadas por el colapso y crecimiento sucesivo de 9 domos de lava, el último se preserva hasta ahora (Figura 1). Lo más destacable fue la erupción del 7 de octubre de 1999, cuando una columna de ceniza alcanzó 15 km de altura (Figuras 2 y 3).

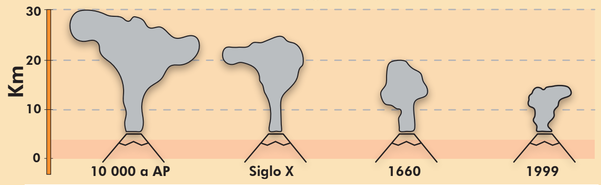


Figura 3. Esquema comparativo de los tamaños de las erupciones del Volcán Guagua Pichincha.

Vestigios de las erupciones del Volcán Guagua Pichincha en Quito

En base a investigaciones realizadas en la cuenca de Quito y sus alrededores se ha encontrado amplia evidencia de depósitos de caídas de cenizas y lahares secundarios relacionadas con erupciones del Volcán Guagua Pichincha. El depósito de caída asociada a la erupción grande del Siglo X tiene una acumulación de 12 cm en el sector de la Universidad Central. En el casco colonial la caída de pómez que pertenece a la erupción histórica de 1660 tiene un espesor de 4 cm y sus fragmentos de pómez miden hasta 2 cm de diámetro.

En un corte en el Parque Arqueológico Rumipamba (PAR) (sector Avenida Occidental) se observan tres niveles importantes de lahares que se formaron por la incorporación de agua de lluvia con rocas y cenizas depositadas en la parte alta de la quebrada Rumipamba. En el PAR los depósitos laháricos contienen abundante cerámica y fueron depositados sobre edificaciones construidas por los habitantes prehispánicos (Figura 4). En excavaciones profundas realizadas en la parte central de la cuenca de Quito se encontraron muchas evidencias de lahares secundarios que transitaron por las quebradas Rumipamba y Rumiurcu, y que fueron depositados a lo largo de los abanicos formados al pie de estas dos grandes quebradas, donde dominaba un ambiente lagunar en la zona de la Carolina.

Figura 4. Capas de depósitos laháricos sobreyaciendo muros prehispánicos en el Parque Arqueológico Rumipamba, Quito. (Foto: 2012 P. Mothes / IG-EPN)

Las Erupciones entre 1999-2001

Las erupciones ocurridas en el periodo comprendido entre octubre 1999 y marzo 2001 produjeron columnas de gases y ceniza que dejaron capas milimétricas en las zonas habitadas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), las mismas que causaron el cierre del antiguo Aeropuerto Internacional de Quito por 10 días y además generó problemas de visibilidad y respiración debido a las altas concentraciones de polvo volcánico que cubrieron las calles (Figura 5). En dichos eventos los flujos piroclásticos fueron restringidos a los cauces de los Ríos Cinto-Cristal desde el pie del domo Cristal, recorriendo una distancia de 11 km (Figura 6). El calor de estos flujos quemó la vegetación hasta 30 m de altura en las quebradas y sepultó los bosques y terrenos ubicados en el fondo del cauce del Río Cinto, que tiene un ancho de 300 m.

Figura 5. Depósito de ceniza en el antiguo aeropuerto sector norte de Quito, posterior a la erupción del Volcán Guagua Pichincha el 25 de noviembre de 1999. (Foto: 26 de noviembre de 1999 H. Yepes / IG-EPN)

Figura 6. Depósito "muy caliente" de un flujo piroclástico a lo largo del Río Cristal, a 10 km al oeste del cráter. Producto de la explosión y destrucción del Domo 4 el 25 de noviembre de 1999. (Foto: 30 de noviembre de 1999 P. Mothes / IG-EPN)

Fenómenos Volcánicos Potenciales Asociados al Volcán Guagua Pichincha

Un volcán puede generar diversos fenómenos volcánicos dependiendo del grado de actividad en el que se encuentre. Cada fenómeno tiene sus mecanismos de transporte y alcance diferentes dependiendo del relieve y morfología del terreno, de las propiedades físicas y químicas del magma y de los volúmenes de magma involucrados. Estas breves descripciones dan una idea de cuáles son los fenómenos y como pueden impactar en los alrededores del Volcán Guagua Pichincha. Para una mayor descripción e información de los fenómenos volcánicos favor dirigirse a la versión web de este mapa (https://www.igepn.edu.ec/ggp-mapa-de-peligros).

Gases Volcánicos

Antes, durante y después de una erupción, los volcanes emiten cantidades importantes de gases, siendo en su mayoría vapor de agua, al cual se pueden sumar ciertas concentraciones de CO_2 (dióxido de carbono), SO_2 (dióxido de azufre) y H_2S (ácido sulfhídrico) entre otros. El contacto directo con altas concentraciones de gases volcánicos puede provocar irritación en los ojos y el sistema respiratorio de personas y animales e incluso la destrucción de la vegetación. Ciertos gases volcánicos pueden reaccionar con el agua de la atmósfera y formar compuestos ácidos que pueden llegar a la formación de lluvias ácidas altamente corrosivas (Figura 7).

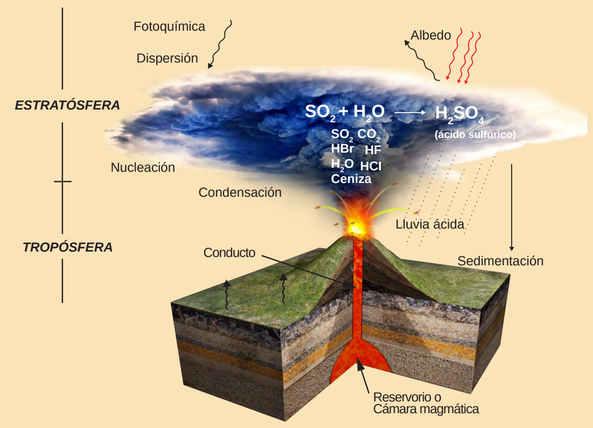


Figura 7. Esquema de la emisión de gases volcánicos.

Caídas de Piroclastos (ceniza, lapilli y bloques)

Durante las erupciones volcánicas los gases y materiales piroclásticos (tefra, fragmentos de roca, piedra pómez, cascajo) son expulsados desde el cráter y forman parte de la columna eruptiva que puede alcanzar varios kilómetros de altura y sostenerse por minutos u horas. Los fragmentos más grandes siguen trayectorias balísticas y caen cerca del cráter. En cambio, las partículas pequeñas suben a mayor altura y son llevadas por el viento. La caída de ceniza puede alcanzar lugares lejanos, cubriendo áreas muy extensas y dejando una capa de varios milímetros o centímetros de espesor. Este fenómeno tiene impacto directo sobre la agricultura, ganadería y reservorios de agua. También puede generar problemas respiratorios en las personas y animales, y en caso de acumularse en gruesos espesores puede provocar el colapso de techos de viviendas con mala calidad de construcción. Alrededor del Volcán Guagua Pichincha se encuentran depósitos piroclásticos de caída, varios de ellos relacionados a la actividad volcánica histórica. Por ello, no se descarta la presencia de dicho fenómeno en caso de una nueva reactivación del volcán (Figura 8).

Figura 8. Esquema de la generación de caída de piroclastos / cenizas.

Flujos y Domos de Lava

Los flujos de lava son derrames de roca fundida o parcialmente fundida de alta temperatura (750 - 1100 °C), originados en un cráter o en fracturas en los flancos del volcán y que han perdido la mayor parte de los gases disueltos del magma. Los flujos descienden por los flancos y las quebradas del cono a velocidades relativamente bajas generalmente controladas por la pendiente. Dada la composición química de los magmas recientes del Volcán Guagua Pichincha, es muy poco probable que en una próxima erupción de este volcán se generen flujos de lava. Los domos son acumulaciones de lava viscosa, mayormente desgasificada, que pueden formarse en el cráter, en fisuras ubicadas en la cumbre o en los flancos superiores del volcán. En el cráter del Volcán Guagua Pichincha se puede apreciar el último domo de lava (No. 9) formado en el año 2001 (Figura 1), cuya morfología es aproximadamente circular en vista aérea. Los domos anteriores colapsaron y generaron flujos piroclásticos que descendieron por el Río Cristal (Figura 9).

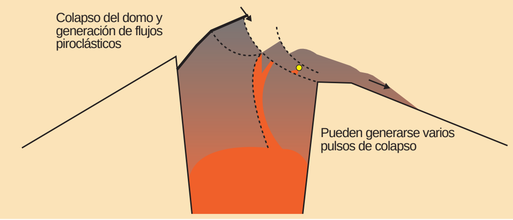


Figura 9. Esquema de colapso del domo.

Flujos Piroclásticos (Nubes Ardientes)

Son mezclas muy calientes (>500 °C) de gases, ceniza y fragmentos de roca que descienden por los flancos del volcán a velocidades entre 50-150 km/h. Suelen ocurrir en erupciones altamente explosivas, arrasando y quemando todo a su paso. Estos flujos constan de una parte inferior, muy rica en materiales sólidos que se desplaza por el fondo de los valles, y un parte superior mucho más diluida y pobre en materiales sólidos (Figura 10). Se encuentran depósitos de flujos piroclásticos principalmente en los sectores occidentales del Guagua Pichincha. Los asentamientos cercanosa los Ríos Cristal-Cinto, y la poblaciones de Urauco, San José del Cinto, Hda. La Palmira y en el peor de los casos, Lloa y el valle del Río Mindo; son las más cercanas al cráter y por lo tanto están potencialmente expuestas a este fenómeno. Los depósitos de los flujos se encuentran hasta 24 km desde el cráter y en las orillas del Río Cinto (Figuras 6 y 10).

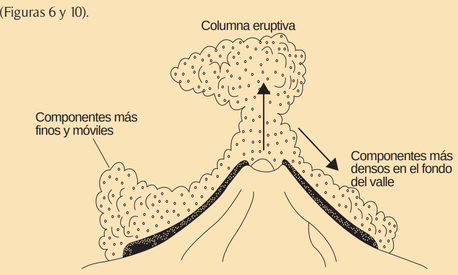


Figura 10. Esquema de generación de flujos piroclásticos (nubes ardientes) por colapso de columna eruptiva.

Flujos de Lodo y Escombros (Lahares)

Los lahares son mezclas de materiales volcánicos sueltos (rocas, piedra pómez, cascajo, ceniza) con agua proveniente de un río, fuertes lluvias, fusión de un casquete glacial o por la ruptura de un lago ubicado en el cráter. Los lahares fluyen ladera abajo por la fuerza de la gravedad siguiendo los drenajes naturales a velocidades de 10-70 km/h. La gran cantidad de material suelto dejado por erupciones pasadas es fácilmente removible por lluvias intensas y/o sismos y han provocado la ocurrencia de lahares secundarios en el Volcán Guagua Pichincha. Los lahares pueden generarse en los drenajes principales como los Ríos Cristal-Cinto, Pichán, Mindo y Nambillo; además en las quebradas principales, Rumiurcu y Rumipamba que desembocan en la cuenca de Quito; estas dos tienen sus cabeceras en la zona alta donde pueden acumularse caídas de ceniza que podrían removilizarse por fuertes lluvias (Figura 11).

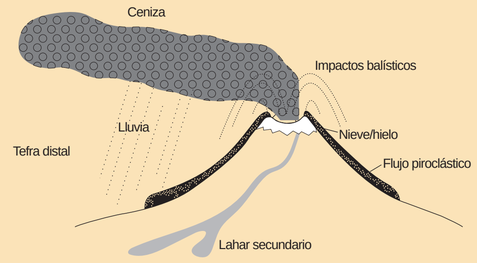
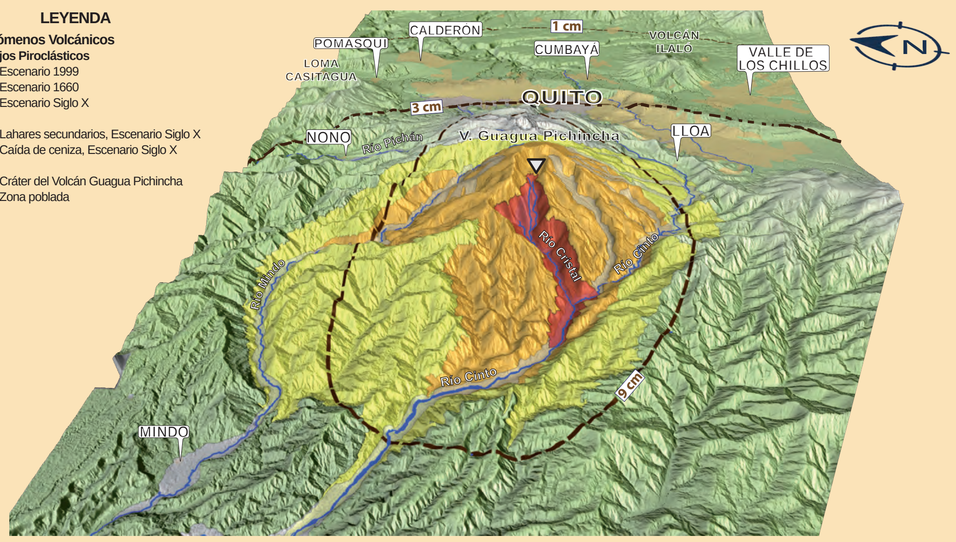
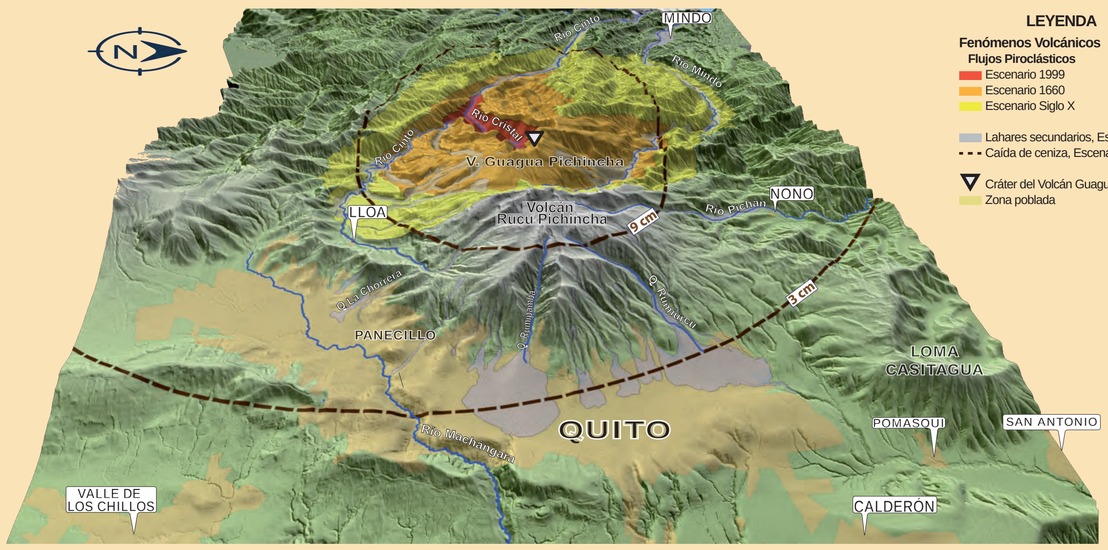


Figura 11. Esquema de la generación de lahares secundarios.

PERSPECTIVAS TRIDIMENCIONALES DE LAS ZONAS DE PELIGROS POTENCIALES DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA





FUENTE: Modelo Digital del Terreno (Proyecto SIG-TIERRAS MAGAP), Modelo 3D generado en Qgis2theejs (QGIS)

Impresión: Instituto Geográfico Militar, 2019.

REFERENCIAS:

- Bertin, D. (2017). 3D ballistic transport of ellipsoidal volcanic projectiles considering horizontal wind field and variable shape dependent drag coefficients, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, 1126–1151, doi: 10.1002/2016JB013320.
- Canuti P., Casagli N., Catani F., Falorni G. (2002) - Modeling of the Guagua Pichincha volcano lahars, Physics and Chemistry of the Earth, PII: S1474-7065 (02)00180- 8.
- Iverson R, Schilling S, Vallance (1998). Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. Geological Society of America Bulletin, 110 (8); 972-984.
- Guaman S. (2000), Análisis del tiempo de disparo del flujo de lodo en pendientes naturales, estudio experimental para laderas del Pichincha, Tesis de Grado, Ingeniera Civil.
- Kelfoun, K., & Druitt, T. H. (2005). Numerical modeling of the emplacement of Socompa rock avalanche, Chile. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 110(B12).
- Mastin, L. G., M. Randall, J., H. Schwaiger and R. Denlinger (2013), User's Guide and Reference to Ash3d: A Three-Dimensional Model for Atmospheric Tephra Transport and Deposition, U.S. Geological Survey Open-File Report 2013-1122, 48 pp.
- Ordoñez J., Vallejo S., Bustillos J., Hall M., Andrade D., Hidalgo S., Samaniego P. (2013), Mapa de Peligros Volcánicos Potenciales Volcán Sangay,. 2013
- Robin C., Samaniego P., Le Pennec J., Mothes P., Van der Plicht J. (2008), Late Holocene phases of dome growth and Plinian activity at Guagua Pichincha volcano (Ecuador), Journal of Volcanology and Geothermal Research 176, doi:10.1016/jjvolgeores.2007.10.008.
- Robin, C., Samaniego, P., Le Pennec, J., Fornari, M., Mothes, P., Van Der Plicht, J. (2010). New radiometric and petrological constraints on the evolution of the Pichincha volcanic complex (Ecuador). Bulletin of volcanology, 72(9), 1109-1129.
- Samaniego P., Robin C., Monzier M., Mothes P., Beate B., García A. (2006), Guagua Pichincha Volcano, Field trip-guide A4, IG-EPN.
- Schilling S. (1998). LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. US Geological Survey Open-File Report 98-638; 79 pp.
- Woodhouse M.J., Bates P.B., Hogg A.J., Phillips JC. & Rougier JC. (2016), Topographic uncertainty in models of geological hazards: a general statistical framework and application to a lahar hazard model using SRTM elevation data. Cities on Volcanoes 9. Puerto Varas Chile.
- Woodhouse M.J., Johnson CG., Hogg A.J., Phillips JC., Espín Bedón P.A., Almeida S., Andrade D. (2016), LaharFlow: a web based lahar hazard model. Cities on Volcanoes 9. Puerto Varas Chile.

NOTA PARA EL LECTOR:

Aquí se presenta la tercera versión del Mapa de Peligros del Volcán Guagua Pichincha. Los dos mapas de peligros anteriores de este volcán fueron publicados en 1988 (Hall y von Hillebrandt) y en 1999 por el IG-EPN, el Departamento de Hidráulica de la EPN y el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. La presentación actual está basada en observaciones detalladas en el campo, modelamiento computacional exhaustivo de los fenómenos eruptivos y nuevas dataciones. Este documento debe considerarse como una síntesis del conocimiento que tenemos del Volcán Guagua Pichincha y además es una herramienta guía para la planificación territorial de las zonas potencialmente afectadas por actividad de este volcán, ubicado cerca de la ciudad de Quito y de sus barrios periurbanos y zonas de producción agrícola y con fines turísticos.

AGRADECIMIENTOS:

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional expresa sus agradecimientos a los guardianes del Refugio el Volcán Guagua Pichincha por su presencia leal en el volcán a lo largo de los años y a las siguientes instituciones por proveer los códigos numéricos para las simulaciones de los fenómenos volcánicos.

- Laboratoire Magmas et Volcans, Université Clermont Auvergne-CNRS-IRD (Clermont-Ferrand, Francia).
- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).
- Universidad de Bristol, School of Mathematics, School of Earth Sciences (United Kingdom).
- Proyecto STREVA, (Strengthening Resilience in Volcanic Areas).

MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS POTENCIALES DEL VOLCÁN GUAGUA PICHINCHA

3RA. EDICIÓN - 2019, Quito - Ecuador

Como citar el mapa:
IG-EPN, IGM, IRD (2019), Mapa de Peligros Volcánicos Potenciales del Volcán Guagua Pichincha 3ra. Edición, Quito - Ecuador.
Prohibida la reproducción y reimpresión de este mapa sin permiso escrito de IG-EPN/IGM

ELABORACIÓN:

Instituto Geofísico

ESTUDIO VULCANOLÓGICO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Patricia Mothes
Edwin Telenchana
Marco Córdova
Pedro Espín

Benjamin Bernard
Silvia Vallejo
Antonio Proaño

Jorge Ordóñez (Municipio de Quito)

Institut de Recherche pour le Développement FRANCE

Pablo Samaniego

BASE CARTOGRÁFICA, DISEÑO E IMPRESIÓN

Instituto Geográfico Militar

Rosa Cuesta
Xavier Vivas
Paúl Aguiar
Fernando Pavón

CON EL AVAL DE:

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias

ECU 911

Gobierno de Pichincha — Eficiencia y Solidaridad

Quito Alcaldía

Escenarios Eruptivos

Para el Volcán Guagua Pichincha se presentan tres escenarios eruptivos ante una posible actividad eruptiva. Los datos utilizados en la elaboración de los escenarios están basados en los tipos de erupciones que podrían originarse en el volcán (dinamismos eruptivos), la magnitud de sus erupciones y distribución de los productos volcánicos en el pasado, de los estudios de campo y de los resultados del modelamiento computarizado que permiten simular los fenómenos más representativos. Para la definición de los escenarios eruptivos más probables se escogieron tres erupciones representativas de los diferentes tipos de actividad eruptiva que este volcán ha experimentado: 1) la erupción pre-histórica del Siglo X, 2) la erupción histórica del año 1660 y 3) la erupción más reciente del año 1999-2001.

Escenario eruptivo	*VEI	Altura de la columna eruptiva (km s.n.m.)	Tipo de actividad	Distancia recorrida por los piroclásticos (km)	Probabilidad de ocurrencia
Tipo 1999	2 - 3	15 -16	Vulcaniana	11 < 15	Mayor
Tipo 1660	3 - 4	23	Subpliniana / Pliniana	16 < 20	Media
Tipo Siglo X	4 - 5	26	Pliniana	24 < 25	Menor

***VEI o Índice de Explosividad Volcánica** (Acrónimo de Volcanic Explosivity Index), es una escala que permite estimar cuán grande es la actividad explosiva de una erupción volcánica considerando varios parámetros vulcanológicos dentro de la misma.

Escenarios Eruptivos Probables del Volcán Guagua Pichincha

Erupción de 1999-2001: Generó flujos piroclásticos restringidos al flanco occidental (Río Cristal) los mismos que no fueron percibidos por la población quiteña. Al contrario de las caídas de ceniza que a pesar de ser mínimas (1mm de espesor) afectaron a la población e infraestructura.

Erupción de 1660: La cobertura de flujos piroclásticos fue restringida a los flancos occidental (Río Cristal-Cinto) y norte (Río Mindo). Las caídas de ceniza (4 cm de espesor) afectaron fuertemente el Quito de esa época y lo dejó en la oscuridad por aproximadamente 40 horas.

Erupción del Siglo X: Depósitos de flujos piroclásticos han sido mapeados hasta 24 km aguas abajo del cráter en el Río Cristal-Cinto y también en el flanco norte por el Río Pichán, y por el Río Mindo hasta dejar depósitos a 6 km aguas arriba de Mindo (color amarillo en el mapa). Depósitos de lahares secundarios se encuentran en la cuenca de Quito en los abanicos de las Quebradas Rumipamba, Rumiurcu, Pichán del sector de Nono, y los ríos principales del flanco Noroccidental. Se calcula que el colapso de la columna eruptiva fue desde una altura de ~1000 m sobre el domo. Las caídas de pómez y líticos tuvieron un alcance muy amplio hacia al noroccidente y occidente. En el centro de Quito su espesor llega hasta 12 cm, en San Rafael 6 cm y en Pomasqui varía entre 6 y 8 cm. En las cercanías de El Refugio del Volcán Guagua Pichincha los espesores sobrepasan 40 cm y el diámetro de las pómez supera 10 cm.

Figura 12. Representación hipotética del escenario eruptivo Siglo X (hace 1.000 años), VEI 5, con los fenómenos presentados. Vista desde el SE de Quito hacia el NW. (Foto : P. Ramón)

Modelamiento y Delimitación de los Fenómenos Volcánicos

Modelamiento de Flujos Piroclásticos

Para definir los límites de las zonas que podrían ser potencialmente afectadas por este tipo de flujos, se realizaron los controles de campo respectivos y se utilizaron dos metodologías, empleadas en otros volcanes del mundo para elaborar mapas de peligros volcánicos. La primera metodología consiste en aplicar el concepto de "cono de energía" del programa LAHARZ (Iverson et al., 1998; Schilling, 1998) y la segunda en utilizar el simulador digital VolcFlow (Kelfoun y Druitt, 2005). El método del "cono de energía", considera que el alcance horizontal (L) de un flujo piroclástico es función de la diferencia de alturas (H) entre el punto de origen y el punto donde se detuvo el flujo. Así la relación H/L corresponde a una medida de la movilidad del flujo. La intersección entre el cono de energía y la topografía define la superficie que podría ser potencialmente afectada por flujos incandescentes. Para el caso del Volcán Guagua Pichincha se determinaron conos de energía para cada escenario descrito anteriormente. El H/L utilizado para el modelamiento fue de 0,2021.

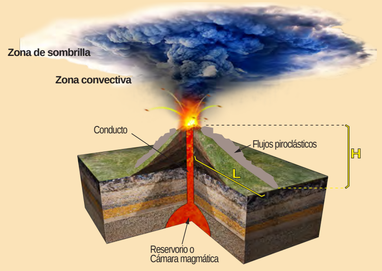


Figura 13. Esquema de representación del "cono de energía"

El modelo numérico VolcFlow toma en cuenta las propiedades reológicas del flujo (cohesión, densidad, viscosidad), así como su volumen, el punto de origen y el tiempo en el cual ocurre dicho flujo. Para el caso del Volcán Guagua Pichincha se utilizó un modelo digital del terreno (MDT) de 3 m de resolución y se asumió que los parámetros reológicos son similares a otros volcanes de la Sierra como el Tungurahua. Con esta información se procedió a realizar las simulaciones para cada uno de los escenarios previamente definidos. En el mapa principal se presentan las zonas potencialmente afectadas por flujos piroclásticos para los tres escenarios considerados.

Modelamiento de la Dispersión y Caída de Piroclastos (ceniza)

Para definir las zonas que podrían ser afectadas por posibles caídas de piroclastos del Volcán Guagua Pichincha se utilizó el modelo numérico: "Ash3d" Modelo Atmosférico Euleriano de Transporte, Dispersión y Depositación de Tefra (Mastin et al., 2012). Las simulaciones están basadas principalmente en algunos parámetros propios de una erupción (altura de la columna eruptiva, volumen de magma, duración de la erupción) y en la distribución estadística de los perfiles de vientos. Posteriormente estos resultados se trataron con un algoritmo que permite definir áreas probabilisticas de afectación (Pavón et al., 2019).

Los datos de entrada para las simulaciones fueron inferidos de las descripciones de Robin et al. (2008) y a partir de los datos obtenidos durante la erupción de 1999, (de manera similar a las simulaciones de los flujos piroclásticos), mientras que los perfiles de vientos fueron tomados del Sistema Global de Pronóstico de la NOAA.

Tres escenarios eruptivos fueron considerados en base de la actividad histórica recurrente del volcán Guagua Pichincha, en los cuales se pudieron definir rangos de alturas de la columna eruptiva entre 16 y 26 km sobre el nivel del mar y de volúmenes de magma (Dense Rock Equivalent) entre 0,005 y 0,375 km^3. A continuación se presenta graficamente la dispersión y caída de ceniza de los tres escenarios eruptivos del Volcán Guagua Pichincha.

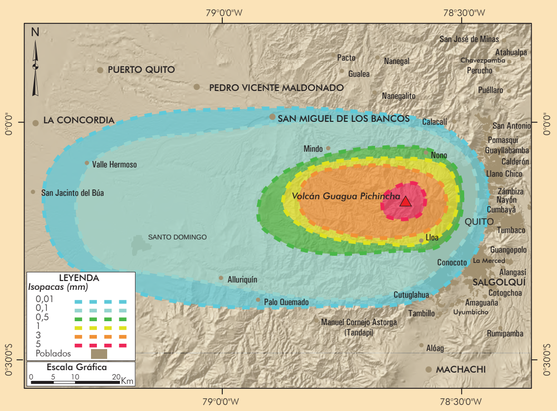


Figura 14. Mapa de peligro por caída piroclástica en el Guagua Pichincha (escenario 1999-VEI2, 50% de probabilidad).

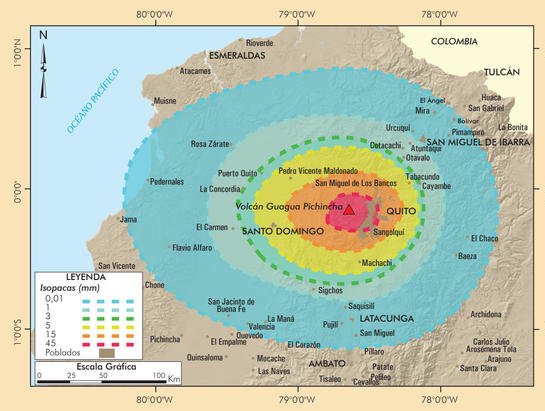


Figura 15. Mapa de peligro por caída piroclástica en el Guagua Pichincha (escenario 1660-VEI4, 50% de probabilidad).

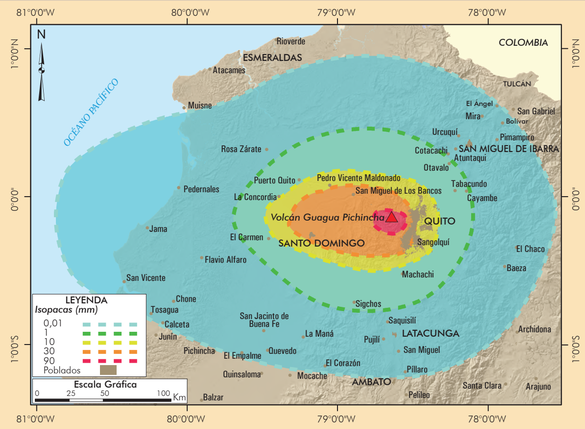


Figura 16. Mapa de peligro por caída piroclástica en el Guagua Pichincha (escenario Siglo X-VEI5, 50% de probabilidad).

Modelamiento de Lahares Secundarios

Para desarrollar simulaciones de lahares secundarios se utilizó el modelo numérico LaharFlow (Woodhouse et al., 2015), una herramienta para modelar el tránsito y depositación de los lahares. El modelo numérico se basa en la mecánica y dinámica de los fluidos, así como los procesos a lo largo de su transporte (erosión y depositación). LaharFlow utiliza un modelo digital del terreno (MDT o DEM) de buena calidad y resolución. Para el caso del Volcán Guagua Pichincha se utilizó un MDT de 3 m de resolución y se asumió que los parámetros reológicos son análogos a los de los volcanes Tungurahua, Cayambe y Nevado del Ruiz. Con esta información se definieron los escenarios para del Siglo X. Los lahares en 1999 - 2000 bajaron solo por el flanco occidental. En el mapa principal (arriba), están presentadas las zonas potencialmente afectadas por lahares en color gris, que representan los lahares secundarios que bajaron en el Siglo X.

Modelamiento de Balísticos

Para definir la zona de afectación por balísticos se utilizó el modelo numérico 3D Ballistics (Bertin D. 2017), el cual permite modelar la dinámica de los proyectiles balísticos expulsados durante una erupción. El modelamiento sugiere que la velocidad y ángulo de lanzamiento, la densidad del bloque y el radio menor constituyen los parámetros de primer orden que influyen en las trayectorias balísticas. Por otra parte, los campos de viento influyen en las trayectorias a través de la fuerza de arrastre. Para usar esta aplicación se empleó un modelo digital del terreno (MDT) de buena calidad y resolución (3 m).

Los parámetros requeridos se obtuvieron de los datos observados en campo (radio de los clastos entre 12,5 y 55 cm), mientras los datos de vientos son los predominantes (hacia el occidente) para la zona del Volcán Guagua Pichincha. El resultado es un área de afectación por balísticos que se presenta a continuación.

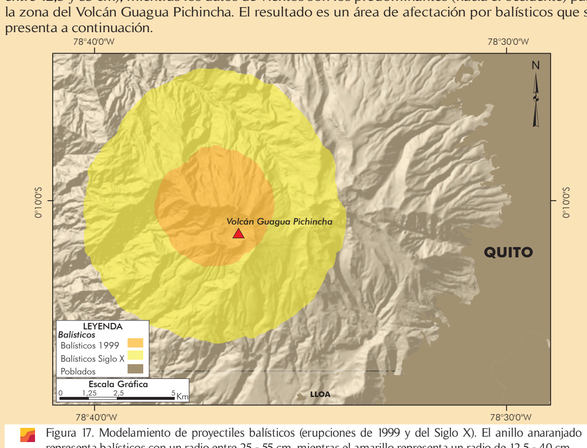
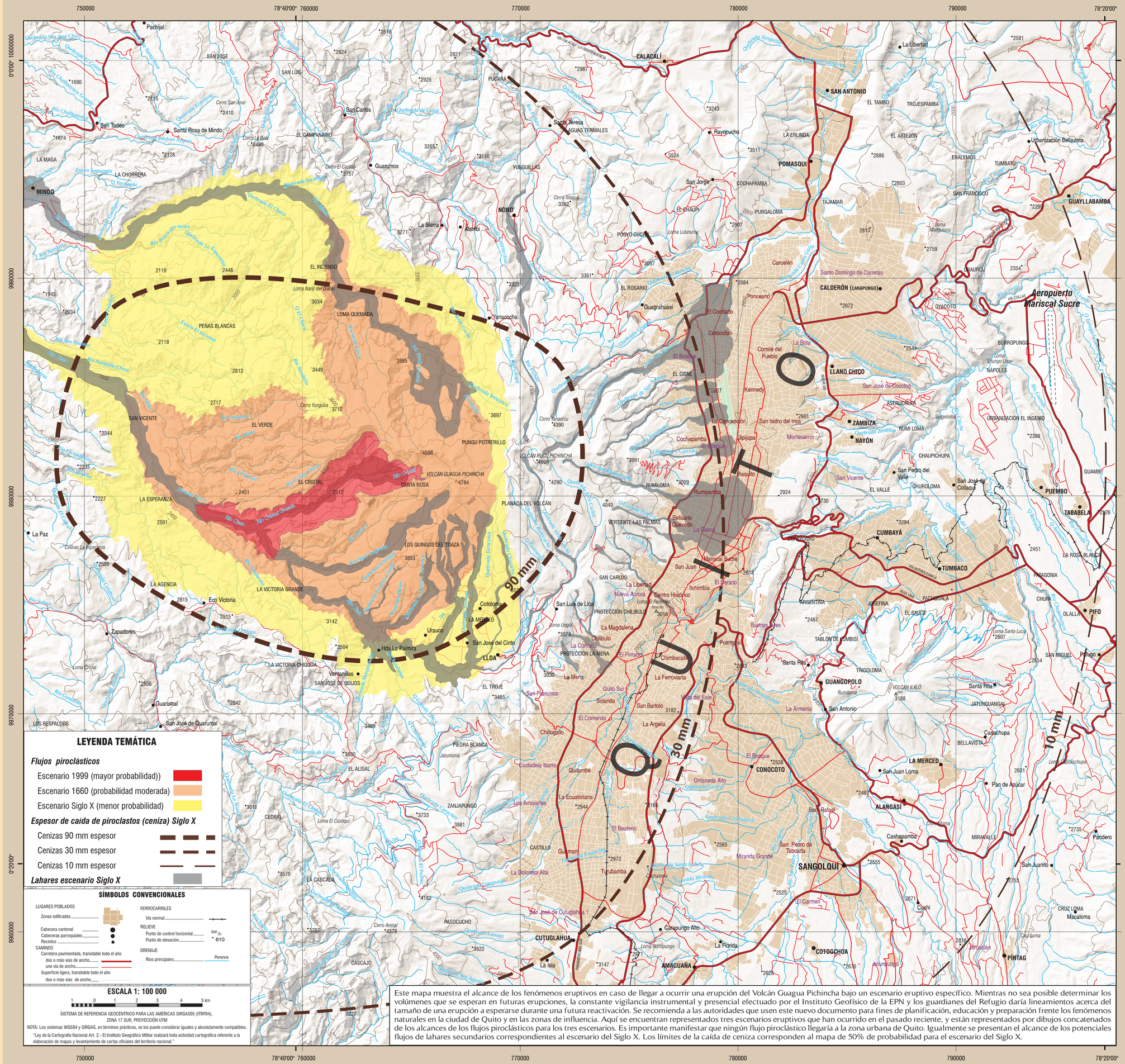


Figura 17. Modelamiento de proyectiles balísticos (erupciones de 1999 y del Siglo X). El anillo anaranjado representa balísticos con un radio entre 25 - 55 cm, mientras el amarillo representa un radio de 12,5 - 40 cm.



Este mapa muestra el alcance de los fenómenos eruptivos en caso de llegar a ocurrir una erupción del Volcán Guagua Pichincha bajo un escenario eruptivo específico. Mientras no sea posible determinar los volúmenes que se esperan en futuras erupciones, la constante vigilancia instrumental y presencial efectuado por el Instituto Geofísico de la EPN y los guardianes del Refugio daría lineamientos acerca del tamaño de una erupción a esperarse durante una futura reactivación. Se recomienda a las autoridades que usen este nuevo documento para fines de planificación, educación y preparación frente los fenómenos naturales en la ciudad de Quito y en las zonas de influencia. Aquí se encuentran representados tres escenarios eruptivos que han ocurrido en el pasado reciente, y están representados por dibujos concatenados de los alcances de los flujos piroclásticos para los tres escenarios. Es importante manifestar que ningún flujo piroclástico llegaría a la zona urbana de Quito. Igualmente se presentan el alcance de los potenciales flujos de lahares secundarios correspondientes al escenario del Siglo X. Los límites de la caída de ceniza corresponden al mapa de 50% de probabilidad para el escenario del Siglo X.