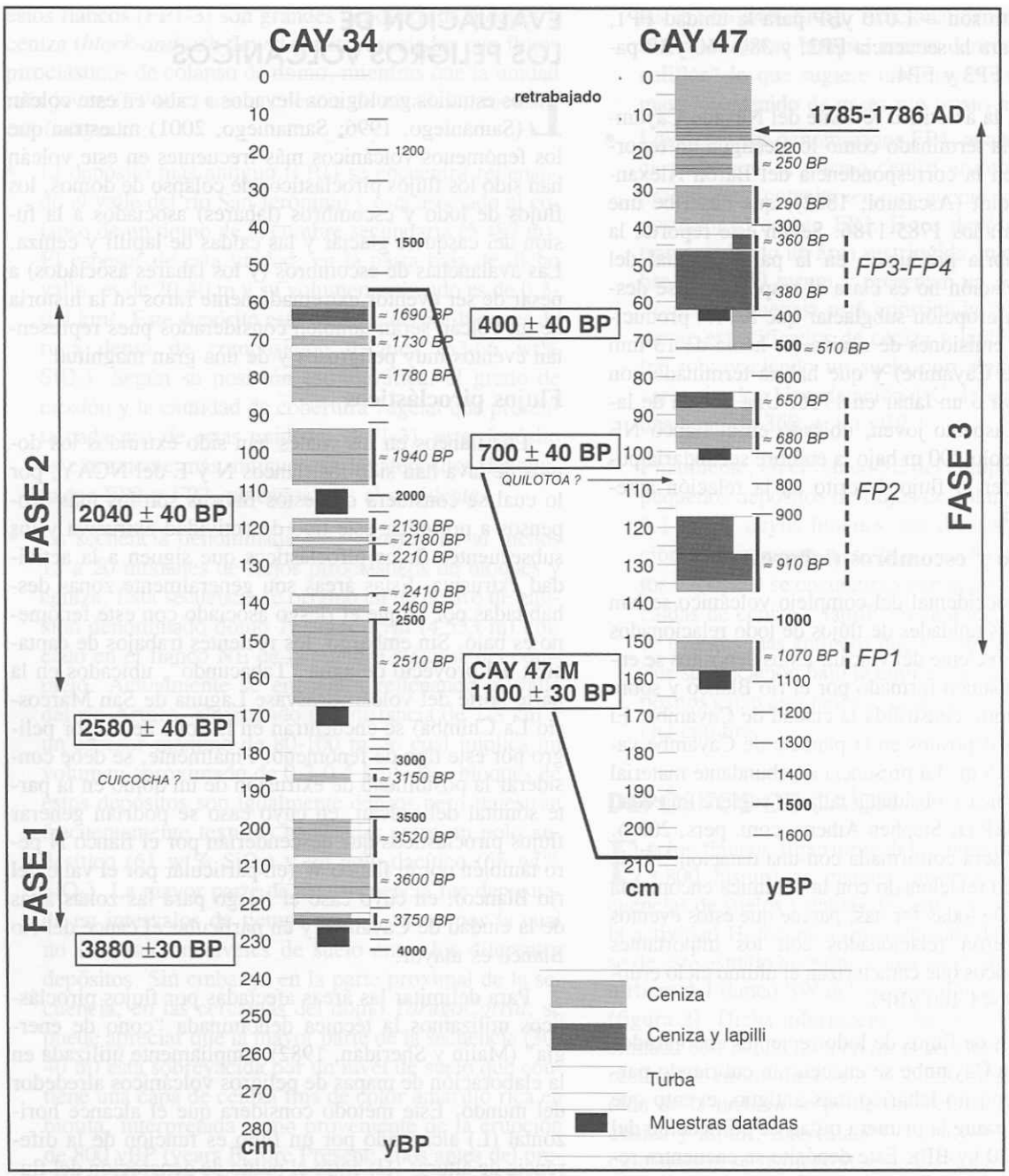


Figura 2. Sección estratigráfica concerniente a la actividad del Nevado Cayambe en los últimos 4000 años.

Con estos parámetros definimos la zona roja de la figura 3 que corresponde a la zona de máximo peligro por flujos piroclásticos. Una subdivisión de esta área (zona amarilla, figura 3) corresponde al área en la cual se han encontrado depósitos recientes de flujos piroclásticos y por lo cual la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno se considera mayor. Dado que un evento de este tipo a ocurrido en promedio una vez cada dos siglos (cfr. figura 2), se debe considerar que la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de este tipo es alta. Finalmente, la zona en color rosa (figura 3) corresponde a un evento más explosivo, en conducto abierto con la generación de una columna sostenida y el colapso de la misma para producir flujos piroclásticos de pómez y ceniza. Para esto se consideró que el colapso de la columna eruptiva ocurra a 500 m sobre la cumbre (con un ángulo del cono de energía de igualmente 12°). Si suponemos que no ha ocurrido una erupción de este tipo durante el Holoceno, la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de este tipo es muy baja.

Flujos de lodo y escombros (lahares)

Dado el inmenso casquete de hielo y nieve que cubre el volcán (área de alrededor de 22 km^2 y un espesor máximo en la cumbre de 30-50 m), la extrusión de material incandescente (flujos o domos de lava, flujos piroclásticos) produciría la fusión de dicha cobertura glaciar y la generación de importantes flujos de lodo y escombros. La distribución de dichos lahares estará controlada por la ubicación del vento activo, sin embargo se estima que los drenajes más afectados por este tipo de fenómeno serían aquellos ubicados en los flancos N y E, tributarios del río Azuela y en menor medida los drenajes del flanco SE, tributarios del río Huataringo. Estos dos ríos, cuya confluencia se encuentra en el extremo oriental del complejo, forman en la parte distal el sistema de drenaje de los ríos Salado-Quijos-Coca. En esta zona se deberían esperar, en caso de una erupción del Nevado Cayambe, crecidas de varios metros sobre el nivel normal del río. Se debe notar que el Oleoducto Trans-Ecuatoriano (SOTE), así como el nuevo Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) siguen dichos drenajes por lo que podrían ser afectados por lahares provenientes del Nevado Cayambe.

En lo que se refiere a los drenajes de la mitad occidental del complejo, se debe considerar como potencialmente peligrosos a aquellos drenajes que nacen directamente del casquete glaciar, pues una erupción en la cumbre podría generar lahares que se dirigirían hacia estos sectores. En particular, se debe considerar el río Blanco que desciende directamente de la cumbre del volcán, y que atraviesa la ciudad de Cayambe; y en menor medida los ríos Monjas y Guachalá en la parte SW y La Chimba en la parte NW del complejo.

En la figura 3 se ha representado en gris oscuro las zonas potencialmente afectadas por flujos de lodo similares a los ocurridos en la historia reciente del volcán. Para la planicie de Cayambe, dicho límite corresponde al último evento lahárico encontrado en esta zona. El color gris claro corresponde a un evento de mucho mayor volumen, como el ocurrido durante la primera etapa mitad de edificación del NCAY-MS (>20 ky BP).

Caídas de piroclastos

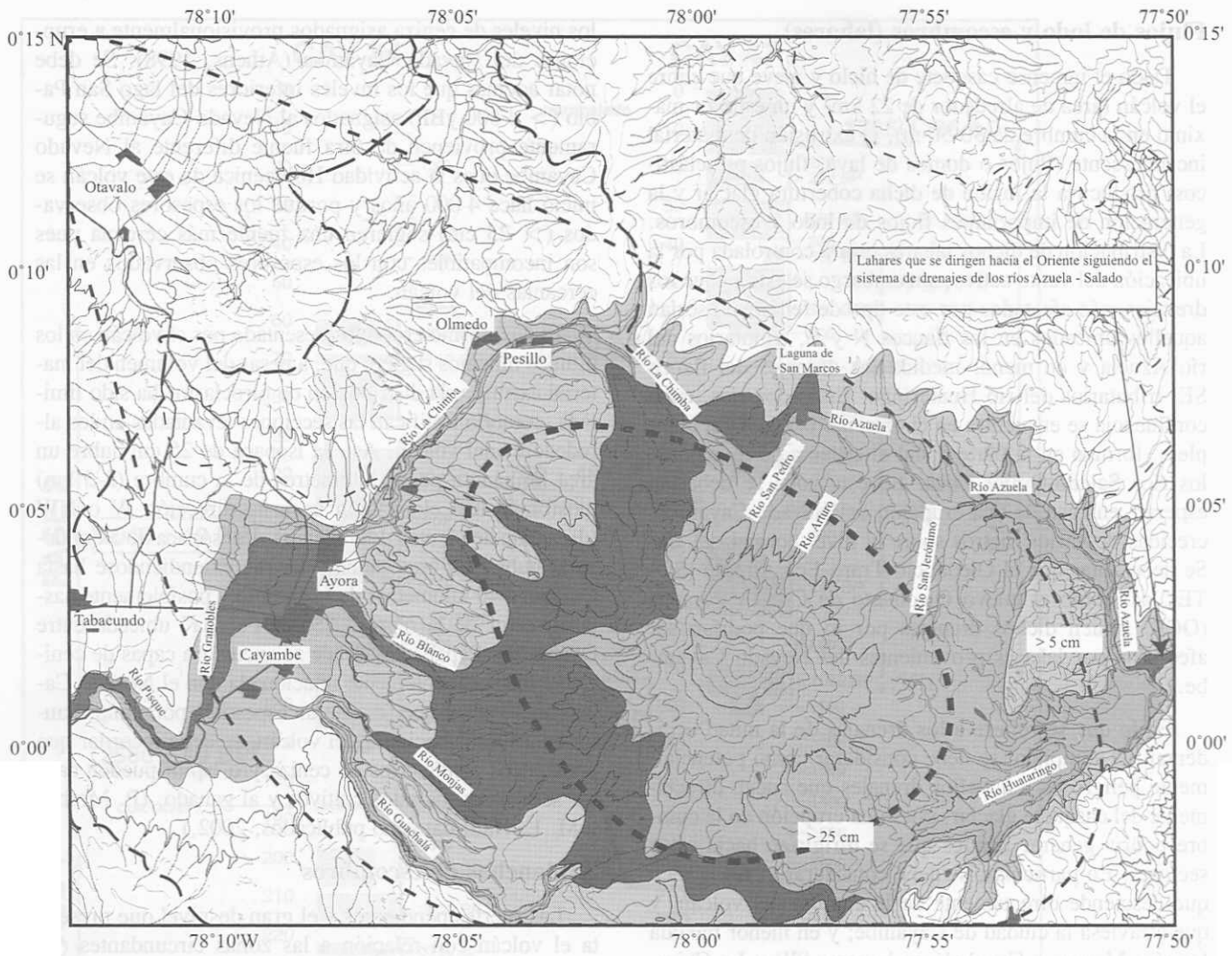
Dado el dinamismo eruptivo que ha caracterizado al NCAY durante el Holoceno (actividad peleana con la extrusión y el subsiguiente colapso de domos de lava), la distribución de cenizas ha sido limitada a la parte superior del volcán (hasta los 3 800 msnm), en donde se pueden esperar espesores de hasta 25 cm de ceniza y lapilli. Considerando que los vientos en la Cordillera Real tienen un rumbo general E-W, lo que implica que la dispersión de cenizas será principalmente hacia el W y NW del volcán. Es de notar que una perforación en los sedimentos de la Laguna Negra (volcán Mojanda) y en el lago San Pablo se observan espesores inferiores a 5 cm para los niveles de ceniza asignados provisionalmente a erupciones del Nevado Cayambe (Athens, 1998). Se debe notar además que los niveles inferiores del lago San Pablo (> 4 600 yBP) asignados al Nevado Cayambe seguramente provienen de otra fuente diferente al Nevado Cayambe pues la actividad Holocénica de este volcán se inició hace 4 000 años y porque los espesores observados (> 25 cm) sugieren una fuente más cercana pues son incompatibles con los espesores observados en las cercanías del volcán.

El dinamismo eruptivo presentado por el volcán en los últimos milenios sugiere que, a pesar del volumen del material extruido, la distribución de piroclastos ha sido limitada, como lo testifican las secciones levantadas en los alrededores del volcán. Así, la isópaca de 25 cm cubre un área limitada a pocos kilómetros de la cumbre (2-5 km) mostrando una elongación hacia la dirección W o NW (dirección de vientos dominantes). La isópaca de 5 cm debería cubrir un área mucho mayor, extendiéndose hasta Otavalo a 40 kilómetros de la cumbre y posiblemente hasta el sector de la represa "Salve Faccha" ubicada entre Oyacachi y Papallacta, donde se encuentra capas de ceniza dacítica probablemente relacionada con el Nevado Cayambe. A pesar que se esperan espesores poco importantes en las inmediaciones del volcán, se debe recordar que unos pocos centímetros de ceniza y/o lapilli pueden causar severos daños a los cultivos y al ganado. (P. Mothes y M. L. Hall, datos no publicados, 2002.)

Avalanchas de escombros

Las fuertes pendientes y el gran desnivel que presenta el volcán con relación a las zonas circundantes (en particular con respecto a la planicie de Cayambe) hacen que un colapso sectorial del edificio volcánico sea una posibilidad a ser tomada en cuenta. Durante la historia geológica del complejo, eventos de este tipo han ocurrido al menos dos veces en la historia del NCAY-MS, afectando los flancos N y W del edificio. De particular importancia es el colapso que afectó el flanco occidental del NCAY-MS, vestigio del cual es la cicatriz en forma de herradura existente en la cabecera del río Blanco y los depósitos laháricos y/o de avalancha de escombros que se encuentran cubriendo la planicie de Cayambe, actual asentamiento de la ciudad del mismo nombre.

Para delimitar el área afectada por un colapso sectorial, hemos considerado un evento que afecté al flanco N y un evento que afecte al flanco W. La relación H/L utilizada (0.11) constituye el promedio de eventos de este tipo (Siebert *et al.*, 1987). En la figura 3, los límites para este tipo de fenómeno (y para los "blast" generalmente asociados con las avalanchas de escombros) aparecen como una línea gruesa entrecortada. Se debe recordar sin embargo que la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de este tipo es muy baja (2 veces cada 0.1-0.2 Ma).



FLUJOS PIROCLÁSTICOS

Zona de mayor peligro: Esta zona podría ser afectada por flujos piroclásticos y/o lahares en caso de que ocurra una erupción moderada a grande (VEI = 1-3). La zona amarilla fue afectada por flujos piroclásticos durante el Holoceno. La zona roja corresponde a la zona que potencialmente puede ser afectada por un flujo piroclástico en el futuro. La probabilidad de ocurrencia de una erupción de este tipo se mide en cientos de años (1 erupción cada siglo).

Zona de menor peligro: Esta zona podría ser afectada por flujos piroclásticos y/o lahares en caso de que ocurra una erupción de mucho mayor tamaño (VEI >= 4). La probabilidad de ocurrencia de una erupción de este tipo tipo se mide en miles de años (menos de una erupción cada 10000 años).

FLUJOS DE LODO Y ESCOMBROS (LAHARES)

Zona de mayor peligro: Esta zona tiene una alta probabilidad de ser afectada por flujos de lodo y escrombros, en caso de que ocurra una erupción moderada a grande (VEI = 1-3).

Zona de menor peligro: Esta zona presenta una probabilidad baja de ser afectada por flujos de lodo y escrombros, pues sería afectada solamente en caso de una erupción de gran tamaño (VEI >= 4).

CAÍDA DE PIROCLASTOS

El área encerrada por esta curva podría ser afectada por un espesor igual o superior a 25 cm.

El área encerrada por esta curva podría ser afectada por un espesor igual o superior a 5 cm.

AVALANCHAS DE ESCOMBROS

Límite del área afectada por una avalancha de escombros que afecte el flanco Occidental. La probabilidad de ocurrencia de un evento de este tipo es muy baja.

Límite del área afectada por una avalancha de escombros que afecte el flanco Norte. La probabilidad de ocurrencia de un evento de este tipo es muy baja.

Figura 3. Mapa de peligros volcánicos asociados con el Nevado Cayambe. NdE. Este mapa lo puede revisar a color en las páginas finales de este boletín.

CONCLUSIONES

El nevado Cayambe ha presentado una importante actividad en los últimos 4 000 años. Esta actividad ha estado caracterizada por la extrusión de domos o flujos de lava, su colapso y la formación de flujos piroclásticos, la generación de lahares asociados a la fusión del casquete glaciar y una limitada distribución de piroclastos. Dado que el tiempo promedio entre las erupciones del último período eruptivo es de 200 años y que la última erupción del volcán ocurrió en 1785-1786 AD, se debe considerar que la probabilidad de que ocurra una erupción de este volcán en las próximas décadas es alta. Como lo muestra claramente el Mapa de Peligros, los flancos N y E constituyen las zonas de mayor peligro (afectadas por flujos piroclásticos y flujos de lodo). En cuanto al flanco W y en particular a la planicie de Cayambe podrían ser alcanzada por flujos piroclásticos y/o flujos de lodo si ocurriese una erupción grande en la cumbre. Dado el carácter activo de este volcán y la peligrosidad asociada con una futura erupción, el Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional mantiene desde 1987 un monitoreo permanente de este edificio, que permitirá determinar una posible reactivación del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Tom Pierson (USGS) y a todos los participantes del Taller sobre Peligros volcánicos asociados con el agua: Avalanchas de escombros, Lahares y Crecientes" por las estimulantes discusiones sobre los depósitos laháricos de la planicie de Cayambe. Este trabajo fue financiado parcialmente por el IRD (Institut de recherche pour le Développement) y por FUNDACYT (Fundación para la ciencia y la tecnología).

REFERENCIAS

Ascásubi J.J., 1802. Letter to Baron Alexander von Humboldt. Alexander von Humboldt. Biefe aus Amerika, 1799-1804. Herausgegeben von Ulrike Moheit. Berlin, Akademic Verlag. 174-176.

Athens J.S., 1998. Volcanic ash and archaelogy in the Northern highlands of Ecuador, en Actividad volcánica y pueblos Precolombinos, ed. P. Mothes, Quito, Abya-Yala, 1998. pp. 157-189.

Barberi F., Coltelli M., Ferrara G., Innocenti F., Navarro J.M. y Santacroce R., 1988. Plio-Quaternary volcanism in Ecuador. Geological Magazine 125 (1): 1-14.

Crandell D.R., Booth B., Kusumadinata K., Shimozuru D., Walker G.P.L. y Westercamp D., 1984. Sourcebook for volcanic-hazard zonation, UNESCO.

Guiller B., Samaniego P., Ruiz M., Chatelain J.L., Monzier M., Yepes H., Robin C. y Bondoux F., 1999. Steady long-period activity at Cayambe volcano, Ecuador. Location, spectral analysis and consequences. Fourth International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG), Gottingen, ORSTOM, 303-306.

Hall M.L. y Mothes P., 1994. Tefroestratigrafía Holocénica de los volcanes principales del Valle Interandino, Ecuador, en El contexto geológico del espacio físico Ecuatoriano, ed. .R. Marocco, Corporación Editora Nacional & Colegio de Geógrafos del Ecuador, pp. 47-67.

Hall M.L. y Mothes P.. 1997. El Origen y Edad de la Cangahua Superior, Valle de Tumbaco, Ecuador. Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simposio Internacional, Quito. Orstom, 19-28.

Malin M.C. y Sheridan M.F., 1982. Computed-assisted maping of pyroclastic surges, Science, 217, 637-640.

Mothes P.A. y Hall M.L., 1998. Quilotoa's 800 yBP ash: a valuable stratigraphic marker for the Integration period, in Actividad volcánica y pueblos Precolombinos, ed. P. Mothes, Quito, Abya-Yala. pp. 111-138.

Samaniego P., 1996. Estudio vulcanológico y petrológico de las fases recientes del volcán Cayambe (Ecuador). Tesis de Ingeniero. Quito, Escuela Politécnica Nacional. 143 p.

Samaniego P., Monzier M., Robin C. y Hall M.L., 1998. Late Holocene eruptive activity at Nevado Cayambe Volcano, Ecuador. Bulletin of Volcanology 59 (7) 451-459.

Samaniego P., 2001. Transition entre magmatismes calco-alcalin et adakitique dans le cas d'une ubduction impliquant une ride oceanique: le volcan Cayambe (Equateur), Doc. These. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France; p. 259.

Siebert L., Glicken H. y Ui T., 1987. Volcanic hazards from Bezymianny- and Bandai-type eruption Bulletin of Volcanology, 49, 435-459.