Pablo Samaniego
Jean-Philippe Eissen
Jean-Luc Le Pennec
Minard L. Hall
Michel Monzier
Patricia Mothes
Patricio Ramón
Claude Robin
José Egred
Indira Molina
Hugo Yepes

Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua



IG
INSTITUTO GEOFÍSICO DE
LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

IRD
INSTITUT DE RECHERCHE
POUR LE DÉVELOPPEMENT

CORPORACIÓN
EDITORA NACIONAL

Serie
Los peligros
volcánicos en Ecuador

1

Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua

Pablo Samaniego, Jean-Philippe Eissen, Minard L. Hall, Michel Monzier, Patricia Mothes, Patricio Ramón, Claude Robin, Indira Molina y Hugo Yepes

DOI: 10.4000/books.irdeditions.18041
Editor: IRD Éditions
Año de edición: 2003
Publicación en OpenEdition Books: 20 noviembre 2018
Colección: D'Amérique latine
ISBN electrónico: 9782709925846



http://books.openedition.org

Edición impresa
ISBN: 9789978844021
Número de páginas: 108

Este documento es traído a usted por Institut de recherche pour le développement (IRD)



Referencia electrónica
SAMANIEGO, Pablo ; et al. *Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua.* Nueva edición [en línea]. Marseille: IRD Éditions, 2003 (generado el 08 octubre 2019). Disponible en Internet: <http://books.openedition.org/irdeditions/18041>. ISBN: 9782709925846. DOI: 10.4000/books.irdeditions.18041.

Este documento fue generado automáticamente el 8 octubre 2019. Está derivado de una digitalización por un reconocimiento óptico de caracteres.

© IRD Éditions, 2003
Condiciones de uso:
http://www.openedition.org/6540

¿Cómo es el voleán Tungurahua? ¿Cuál ha sido su comportamiento histórico? ¿Qué tipo de fenómenos volcánicos se producen en él? ¿Cómo es vigilado por los técnicos? ¿Qué sucede en el actual proceso eruptivo? ¿Cuáles son los peligros ante los que la ciudadanía debe estar preparada?
Este libro responde a estas inquietudes que actualmente son parte de la vida cotidiana de grandes sectores de población.

PABLO SAMANIEGO

Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara s/n, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

JEAN-PHILIPPE EISSEN

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UR 031, Whymper 442 y Coruña, Ap. 17-12-857, Quito, Ecuador. Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UR 031, Laboratoire “Magmas et Volcans”, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand, Francia.

MINARD L. HALL

Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara s/n, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

MICHEL MONZIER

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UR 031, Laboratoire “Magmas et Volcans”, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand, Francia.

PATRICIA MOTHES

Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara s/n, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

PATRICIO RAMÓN

Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara s/n, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

CLAUDE ROBIN

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UR 031, Laboratoire “Magmas et Volcans”, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand, Francia.

INDIRA MOLINA

Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara s/n, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

HUGO YEPES

Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara s/n, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

ÍNDICE

Agradecimientos

Dedicatoria

Los volcanes en el Ecuador

1. Introducción

2. Historia geológica del volcán Tungurahua
EL PERÍODO PREHISTÓRICO
EL PERÍODO HISTÓRICO
LA FASE ERUPTIVA ACTUAL

3. Tipos de fenómenos volcánicos observados en el volcán Tungurahua
CAÍDA DE PIROCLASTOS
FLUJOS DE LODO Y ESCOMBROS (lahares)
FLUJOS PIROCLÁSTICOS (nubes ardientes)
FLUJOS DE LAVA
DOMOS DE LAVA
AVALANCHAS DE ESCOMBROS
GASES VOLCÁNICOS
SISMOS VOLCÁNICOS

4. Monitoreo volcánico
VIGILANCIA POR OBSERVACIÓN
VIGILANCIA INSTRUMENTAL
EL MONITOREO VOLCÁNICO REALIZADO POR EL IG-EPN

5. La continuación del proceso eruptivo del volcán Tungurahua

Referencias

Glosario

Anexos

Anexo 1. Las caídas de ceniza relacionadas con las erupciones volcánicas (modificado de Neall, *et al.,* 1999; y Nairn, 1991)

Anexo 2. Tamaño de las erupciones volcánicas estimado en base al Índice de Explosividad Volcánica

Anexo 3. Testimonio histórico. Erupción del 5 de abril de 1918
Nicolás Martines

Anexo 4. Resumen de la actividad histórica del volcán Tungurahua

Láminas

Agradecimientos

1 Los autores expresan su agradecimiento a:

- La DIC *(Délégation á l'Information et á la Communicati)* del IRD *(Institut de Recherche pour le Développement-Instituto* Francés de Investigación para el Desarrollo) por el apoyo financiero que hizo posible esta publicación.
- La Escuela Politécnica Nacional y al IRD por su constante apoyo al Instituto Geofísico, en el monitoreo científico del volcán Tungurahua.
- Los miembros del Comité de Operaciones de Emergencia, cantonal de Baños, y a los integrantes de la red de vigías que constituyen los "ojos y oídos" del Observatorio.
- Los dueños de las casas donde ha funcionado el Observatorio del Volcán Tungurahua, en especial a la familia Chávez, quienes desinteresadamente han prestado sus propiedades para que funcione el Observatorio.
- La radio la Voz del Santuario, por el espacio brindado a los científicos del OVT, que cada semana presentan el estado del volcán a la población.
- Hidro-Agoyán, que apoya al funcionamiento del OVT.
- El programa de Asistencia para Crisis volcánicas (VDAP) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), financiado por OFDA/USAID, por su constante y desinteresado apoyo en la parte instrumental y en la interpretación científica de los datos.
- La Bundesanstalt Für Geowissenschaften und Rohstofte, BGR, de Alemania por el préstamo de equipos de última tecnología (Broad band y cámara térmica) para poder ver con "otros ojos" al volcán.
- A todos los científicos y estudiantes que han visitado el OVT y que han compartido con nosotros sus experiencias y temores.
- Finalmente, pero no por eso menos importantes, a todos los miembros del Instituto Geofísico, por su absoluta dedicación en el mantenimiento de las redes de monitoreo del OVT. Las personas que bajo la dirección del Ing. Hugo Yepes permiten un monitoreo permanente del volcán son:
  - Los miembros del área técnica, encargada de funcionamiento de las redes de monitoreo: Ing. Wilson Enríquez López, Msc (jefe de área), Ing. Mayra Vaca, Ing. Cristina Ramos, Ing. Daniel Cárdenas, físico Ornar Marrillo, Tlgo. Vinicio Cáceres, Tlgo. Cristian Cisneros, físico Jorge Aguilar, Tlgo. Eddy Pinatoja, Ing. Richard Jaramillo, Msc.*
  - Los sismólogos, encargados de la vigilancia instrumental desde la base del IG en Quito: Ing. Alexandra Alvarado, Msc (jefa de área); Geol. Indira Molina, Geol. Alexander García

Aristizabal, Sra. Liliana Troncoso, Ing. Mario Ruiz*, Ing. Darwin Villagómez**, Ing. Alcinoe Calahorrano, Msc**, Sr. Diego Viracucha(+).

- Los vulcanólogos y asistentes encargados de la vigilancia en el OVT: Dr. Minard L. Hall, PhD (Jefe de área), Dr. Pablo Samaniego, Ing. Patricia Mothes, Msc, Ing. Patricio Ramón, Dr.Jean Philippe Eissen (IRD), Dr. Jean-Luc Le Pennec (IRD), Dr. Michel Monzier (IRD), Ing. Silvana Hidalgo, Msc, Sr. Gorki Ruiz, Sr. Daniel Andrade*, Sr. Diego Barba, Sr. Diego Jaya, Sr. Daniel Basualto, Sr. Patricio Zamora, Srta. Mercedes Taipe.
- El personal de secretaría y servicios del IG: Sra. Marcela de Robalino, Srta. Sandra Jiménez, Lic. Flor María Proaño, Sr. Carlos Ayol, Sr. Servilio Riofrío.
- *Last but no least,* los estudiantes (algunos de los cuales ya son profesionales) que han asegurado una vigilancia las 24 horas del día, los 365 días al año: Pablo Cobacango, Guillermo Viracucha, Sandro Vaca, Nayda Terán, Roberto Vásconez, Roberto Villalba, Juan Carlos Santana, Marco Loaiza, David Rivero, Wilmer Vaca, Dayanara Hinojosa, Gabriela Taipe, Mario Guzmán, Vicente Velasteguí***, Cristian Correa***, Pedro Reyes***, Teresa Muñoz***, Manuel García***, Geovani Heredia***, Catalina Delgado***, César Witt***, Alfonso Salguero***, Osman Poma***, Alvaro Guachamín***, Juan Carlos Lahuate***, Danilo Iza***.

2 * Personal del IG que se encuentra realizando estudios de posgrado en el extranjero.

3 ** Personal que trabajó activamente en el Instituto y que actualmente se encuentra realizando estudios de posgrado en el extranjero.

4 *** Estudiantes que colaboraron en el monitoreo permanente del volcán Tungurahua, algunos de los cuales ya son profesionales.

Dedicatoria

Los autores dedican esta obra a la memoria de nuestro inolvidable amigo y compañero Diego Viracucha, quien perdió la vida en un nefasto accidente, cuando se encontraba realizando observaciones en el volcán Guagua Pichincha. Diego fue el primero en notar la sismicidad anómala que precedió a la reactivación del Tungurahua, a inicios de 1999.

1. Cerro Negro de Mayasquer
2. Chiles
3. Peña Blanca (Chiltazón)
4. Potrerillos
5. Caldera de Chalpatán
6. Chulamuez
7. Horqueta
8. Soche
9. Iguán
10. Chaquilulo (Azufral)
11. Mangus
12. Pilavo (Negropuno)
13. Yanaurcu
14. Huanguillaro (Huagrabola)
15. Cotacachi
16. Cuicocha
17. Imbabura
18. Cubilche
19. Cushnirumi
20. Mojanda-Fuya Fuya
21. Cusín
22. Viejo Cayambe

23. Nevado Cayambe
24. El Reventador
25. Pululagua (Pululahua)
26. Casitagua
27. Pamba Marca
28. Izambi
29. Puntas
30. Guagua Pichincha
31. Rucu Pichincha
32. IIaló
33. Caldera de Chacana
    - Antisanilla (1760)
    - Porterillo/Papallacta (1773)
34. Pan de Azúcar
35. Niñahuilca
36. Atacazo
37. Pasochoa
38. Sincholagua
39. Antisana
40. Sumaco
41. Corazón
42. Rumiñahui
43. Almas Santas
44. IIIiniza
45. Santa Cruz
46. Cotopaxi
47. Caldera de Chalupas
48. Quilindaña
49. Quilotoa
50. Santapungo (Chinibano)
51. Sagoatoa (Saguatoa)
52. Larcapungo
53. Huicutambo
54. Carihuairazo
55. Puñalica
56. Huisla
57. Tungurahua
58. Chimborazo

59. Igualata
60. Altar / Capac Urco
61. Sangay

Los volcanes en el Ecuador

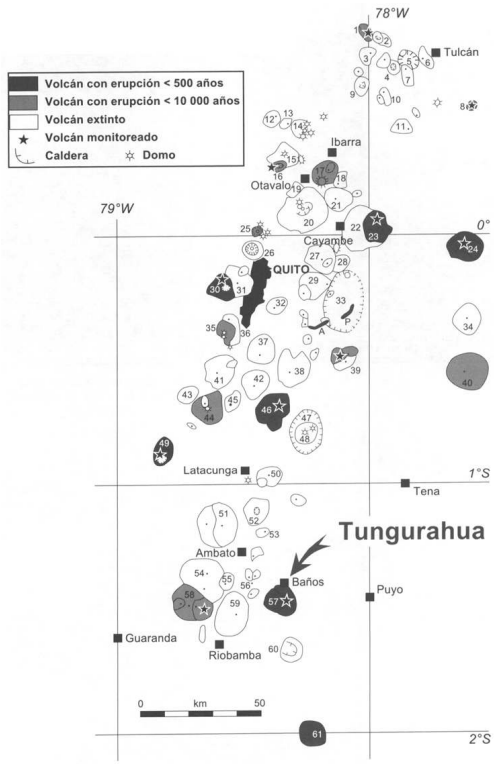


Figura 1. *Los volcanes del Ecuador.* La cadena montañosa de los Andes en el Ecuador está constituida por más de 50 volcanes, entre los cuales tenemos ocho volcanes considerados como activos (con, al menos, una erupción durante los tiempos históricos-posterior a la conquista española-); y 10 volcanes considerados como potencialmente activos (con, al menos, una erupción en los últimos miles de años).

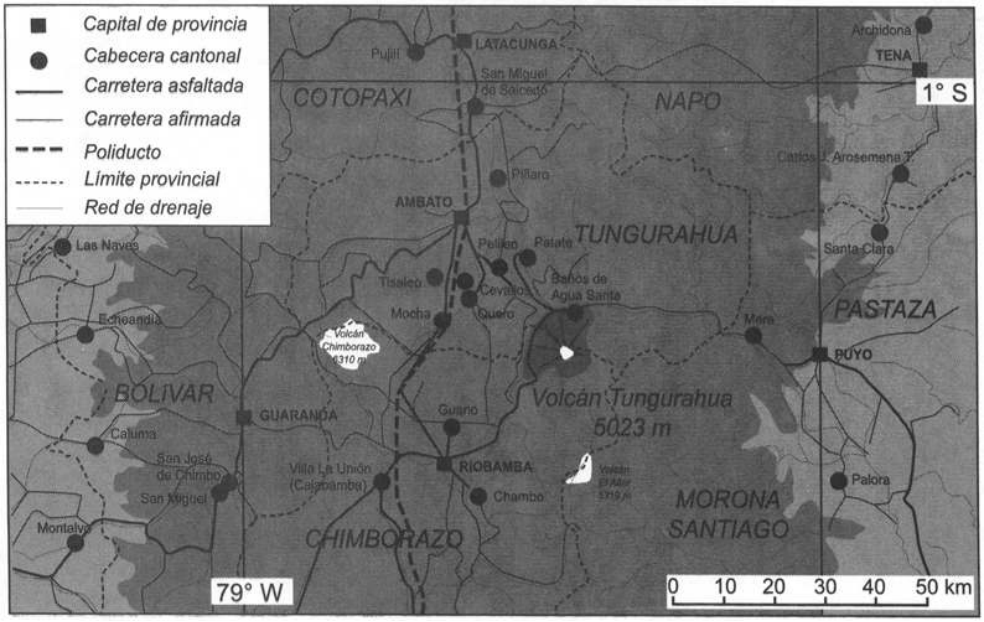


Figura 2. Mapa de ubicación del volcán Tungurahua y de su área de influencia (Fuente: IGM, 2002).

1. Introducción

1 El volcán Tungurahua (Latitud 01° 28'Sur; Longitud 78° 27'Oeste) está ubicado en la Cordillera Real de los Andes ecuatorianos, a 33 km al sudeste de Ambato. La ciudad de Baños (población aproximada de 12 000 habitantes) se encuentra asentada al pie del flanco norte del volcán, a tan solo 8 km de la cumbre y a 3 100 m bajo la cima del volcán (figs. 1 y 2). El Tungurahua es un *volcán*[1] activo de 5 023 m de elevación sobre el nivel del mar, caracterizado por su forma cónica, el gran relieve existente entre su base y la cima (3 300 m) y las acentuadas pendientes de sus flancos (30-35°). En la parte oriental de su cima persiste un glaciar residual (menor a 0,01 km^3 de hielo). El Tungurahua, junto con otros volcanes activos como el Cotopaxi, Sangay, Antisana y Cayambe, definen la segunda fila volcánica del arco ecuatoriano, ubicada aproximadamente a 35 km detrás del frente volcánico, constituido por los volcanes de la Cordillera Occidental (fig. 1).

2 El cono volcánico del Tungurahua, cuyo diámetro basal es de 14 km, se encuentra drenado por numerosas quebradas que desembocan en los ríos Puela al sur y sureste, Chambo al occidente y Pastaza al norte y noreste (fig. 3). Los profundos valles de los ríos Vazcún (fig. 4) y Ulba descienden directamente de la cumbre del volcán y cortan el flanco norte y nororiental del mismo, hasta desembocar en el río Pastaza. El volcán cuenta con un *cráter* de aproximadamente 300 m de diámetro y unos 100 m de profundidad. Una densa vegetación subtropical cubre todos los flancos del cono, especialmente entre los 2 000 y 3 800 metros de elevación, lo cual dificulta enormemente el acceso a la cumbre, excepto por unos pocos senderos establecidos.

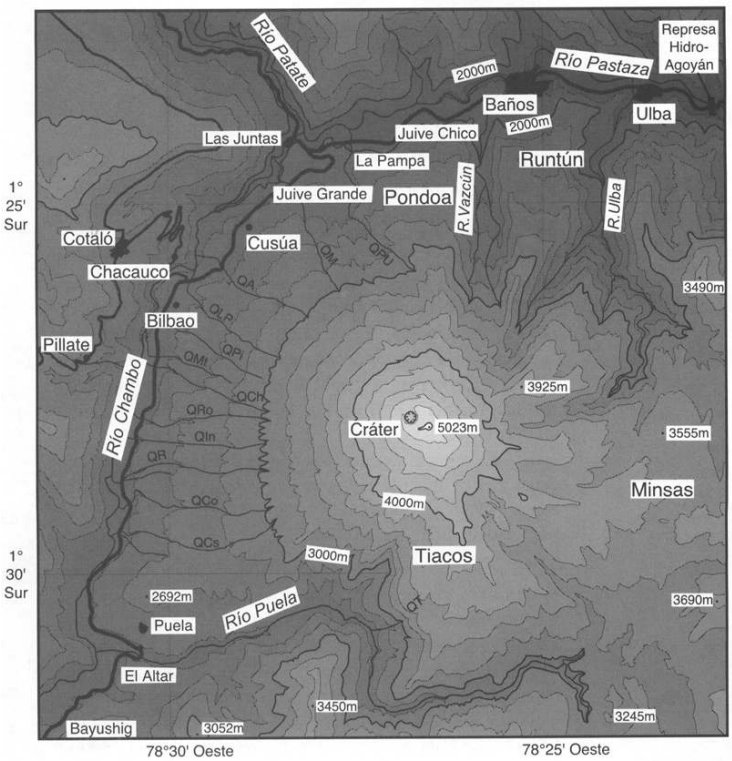


Figura 3. Mapa topográfico y toponímico del volcán. Curvas de nivel cada 200 metros. Todas las localidades mencionadas en el texto están incluidas en es ta figura.
QA = quebrada Achupashal; QCh = quebrada Chontapamba; QCo = quebrada Confesionario; QCs = quebrada Choglontus; QIn = quebrada Ingapirca; QLP =quebrada La Pirámide; QM = quebrada Mandur; QMt = quebrada Motilones; QPi = quebrada Pingullo; QPU = quebrada Palma Urcu (de Juive); QR = quebrada Rea; QRo = quebrada de Romero; QT = quebrada Terremoto. Líneas negras gruesas = carreteras. Modificado de Hall, *et al.* (1999).

3 Las erupciones pasadas de este volcán se han caracterizado por la formación de *flujos de lava* que a veces represaron el cauce de los ríos; *flujos piroclásticos* que cubrieron los flancos del cono; *flujos de lodo y escombros (lahares)* que viajaron por los ríos al Oriente; así como *avalanchas de escombros.* (Hall, *et al.,* 1999; Hall, *et al.,* 2002). Las *caídas de lapilli y ceniza* han acompañado a casi todas las erupciones pasadas y han cubierto especialmente la parte occidental del volcán hasta varias decenas de kilómetros de distancia.

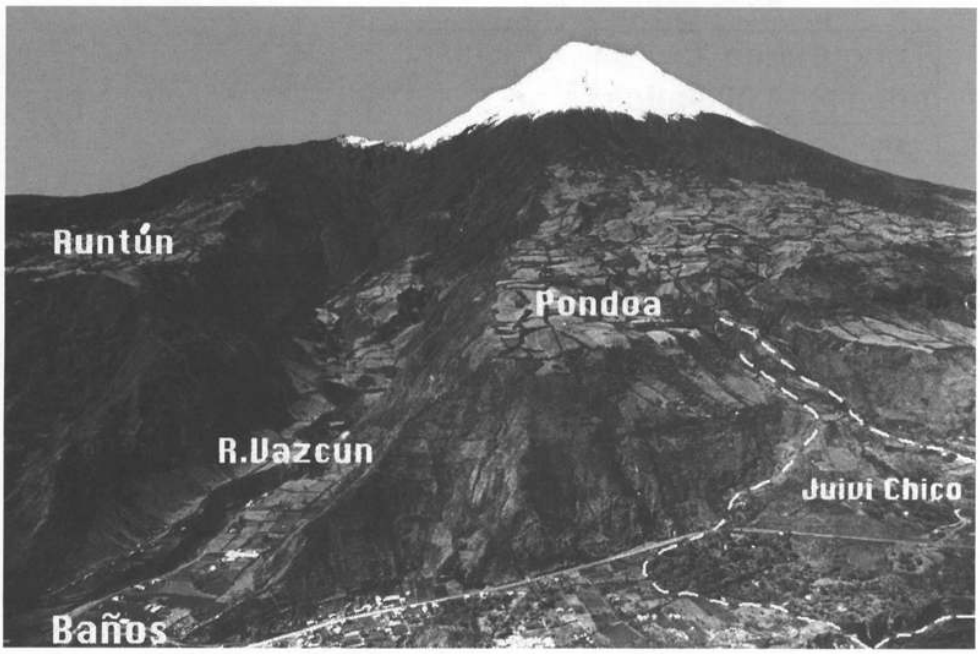


Figura 4. Foto del flanco norte del volcán y de la ciudad de Baños. Se aprecian las superficies de Runtún y Pondoa, separadas por el profundo valle del río Vazcún, que desciende directamente de la cumbre del volcán. En la parte inferior derecha de la fotografía se aprecian los remanentes del flujo de lava de Juive Chico, formado durante la erupción del año 1773 d.C. (Foto: B. Warmington, 1973).

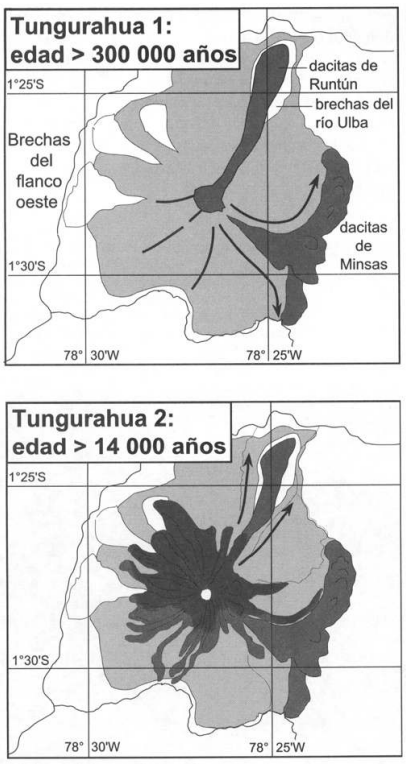


Figura 5. Evolución geológica del volcán Tungurahua. Se muestran los tres edificios sucesivos que forman el complejo volcánico. Modificado de Hall, *et al.* (1999).

NOTAS FINALES

1. Los términos en itálicas están definidos en el Glosario.

2. Historia geológica del volcán Tungurahua

1 La siguiente historia geológica, así como las descripciones que se detallan a continuación, se basan en un estudio científico publicado por Hall, *et al.* (1999), en una de las más importantes revistas científicas en el área de la vulcanología *(Journal of Volcanology and Geothermal Research)* y cuyo título es "El volcán Tungurahua, Ecuador: estructura, historia eruptiva y peligros volcánicos".

EL PERÍODO PREHISTÓRICO

2 El volcán Tungurahua consta de tres edificios sucesivos, de los cuales los dos primeros fueron parcialmente destruidos por grandes deslizamientos *(colapso sectorial),* cuyos vestigios se observan en los flancos norte, oriental y sur del volcán (fig. 5).

El viejo edificio volcánico: Tungurahua I

3 Este edificio fue construido sobre el basamento metamórfico de la Cordillera Real. Actualmente se encuentra representado por las grandes superficies inclinadas del flanco norte (Runtún y Pondoa, figs. 3 y 4), así como por las lavas de los flancos sur y oriental del volcán. Las superficies de Runtún y Pondoa se encuentran cortadas por grandes y profundos valles (Vazcún y Ulba, figs. 3 y 4), presentan un espesor aproximado de 400 m y están constituidas por un apilamiento de flujos de lava de composición *andesítica* a *andesítica básica.* Este volcán sufrió un deslizamiento que destruyó parcialmente el edificio y finalizó su actividad con un importante episodio de volcanismo más *silíceo,* responsable de la emisión de los flujos de lava *dacíticos* de Runtún y Minsas. En base a dos *dataciones radiométricas* (Barberi, *et al,* 1988) se ha podido estimar que este edificio fue construido por la acumulación de los productos volcánicos de erupciones sucesivas ocurridas entre 770 000 y 350 000 años antes del presente *(AP).*

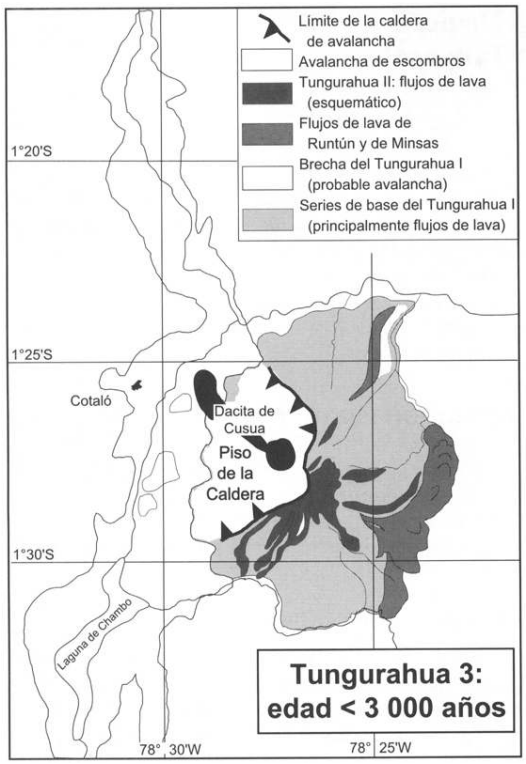


Figura 5B.

El edificio intermedio: Tungurahua II

4 Luego de un período de reposo y de erosión importante, se construyó el cono intermedio, llamado Tungurahua II. En la actualidad únicamente se encuentra representado por una serie de flujos de lava ubicados en la parte superior del flanco sur del complejo (sector de Tiacos, fig. 5). Esta unidad constituye una secuencia de aproximadamente 100 m de espesor de lavas andesíticas que reposan sobre los flujos de lava del Tungurahua I. En base a evidencias geomorfológicas, se infiere que este período de actividad tiene una edad menor a 14 000 años antes del presente *(AP),* pues los flujos de lava del Tungurahua II se encuentran rellenando paleovalles formados durante el último avance glaciar ocurrido entre 33 000 y 14 000 años AP (Clapperton, 1993). Finalmente, hace 3 000 años aproximadamente, este edificio sufrió un gran colapso sectorial, debido probablemente a las fuertes pendientes de este antiguo volcán y a la intrusión de un volumen de *magma dacítico* en el edificio volcánico. Como resultado de este evento se originó una *caldera de avalancha,* fácilmente reconocible hoy en día, especialmente en el flanco sur, así como un importante depósito de escombros que constituyen las planicies de Cotaló y Pillate y que también se extiende aguas arriba por los valles de los ríos Patate y Chambo (fig. 5).

El edificio actual: Tungurahua III

5 Finalmente, el edificio actual, denominado Tungurahua III, consiste en un cono aproximadamente simétrico, con pendientes de 30-35° y que ocupa la tercera parte occidental del complejo volcánico. Este cono joven rellena aproximadamente la caldera de avalancha formada en el flanco occidental por el último gran deslizamiento. La incipiente erosión ha excavado solamente pequeñas quebradas de 10 a 40 m de profundidad en este

cono. El Tungurahua III se caracteriza por una casi continua actividad eruptiva (figs. 5A y 6) desde hace 2 300 años (aproximadamente desde el año 350 a.C), caracterizada por la generación de flujos de lava, flujos piroclásticos y flujos de escombros, así como moderadas cantidades de material piroclástico lanzado al aire por el volcán y depositado principalmente sobre los flancos y sobre la región al occidente, noroccidente y suroccidente del volcán.

EL PERÍODO HISTÓRICO

6 Además de la fase actual de actividad, los documentos históricos reportan cuatro períodos eruptivos posteriores a la conquista española (fig. 6, anexo 4): 1640, 1773,1886 y 1916-1918 d.C. Las descripciones del primero de estos períodos eruptivos son muy escasas, por lo que no mencionaremos detalles de esta erupción. Por el contrario, las otras tres fases eruptivas históricas se caracterizaron por la ocurrencia de uno o más episodios explosivos que generaron productos piroclásticos. Los episodios de 1773 y 1886 terminaron con la emisión de flujos de lava.

Erupción de 1773 d.C.

7 En este año, se reportaron (Martínez, 1886) importantes caídas de ceniza (fig. 7) y material piroclástico de mayor tamaño *Clapilli*), probablemente flujos piroclásticos y flujos de escombros y finalmente fue emitido un gran flujo de lava andesítica que descendió el flanco noroeste del cono hacia las áreas de Juive Grande y La Pampa, represando el río Pastaza por varios días. Adicionalmente, durante esta erupción, la ciudad de Baños fue afectada por un gran flujo de escombros o lahar que descendió por el valle del río Vazcún y se extendió sobre la pequeña ciudad de aquel entonces.

Erupción de 1886 d.C

8 En esta erupción ocurrieron numerosos flujos piroclásticos que siguieron diferentes rutas en el flanco occidental hasta el río Chambo (Martínez, 1886), siendo más frecuentes en el lado noroeste, donde cubrieron parcialmente el flujo de lava de 1773. Este período eruptivo culminó pocos meses después con la emisión de un flujo de lava que descendió por el flanco noroeste hasta la zona de Cusúa y represó el río Chambo. Durante esta erupción, los flujos de escombros más grandes descendieron el flanco suroeste hasta Puela; sin embargo, ocurrieron también otros flujos de escombros que bajaron por los valles de Vazcún y Ulba.

Estratigrafía simplificada del volcán Tungurahua III

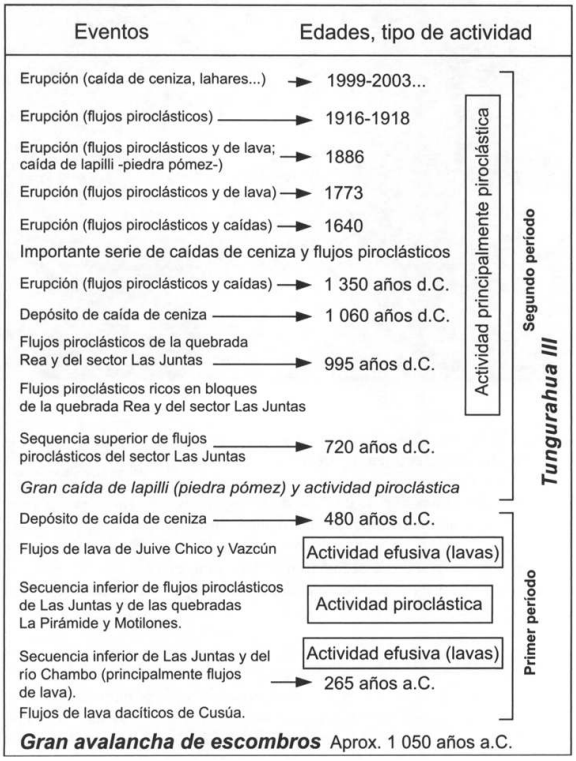


Figura 6. Resumen cronológico de la actividad reciente del volcán Tungurahua. a.C. = Antes de Cristo; d.C. = Después de Cristo. Modificado de Hall, *et al.* (1999).

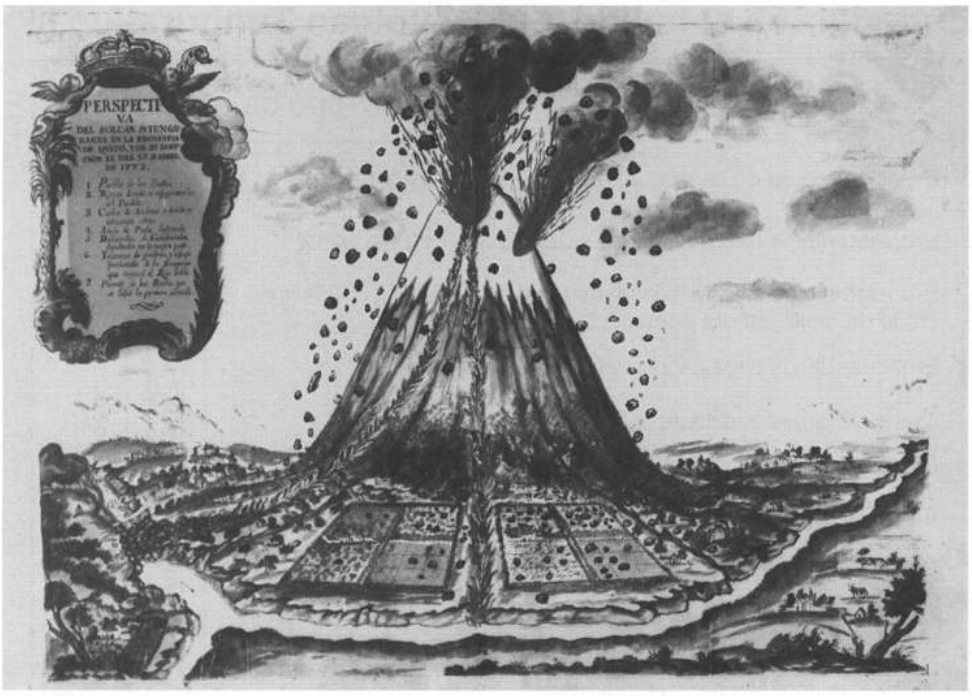


Figura 7. Pintura que representa la erupción del volcán Tungurahua, en 1773. (Fuente: Archivo de Indias de Sevilla, España).

Erupción de 1916-1918 d.C.

9 Esta fase eruptiva fue la más notoria debido a los flujos piroclásticos que descendieron los flancos norte y noroeste hacia el área de Las Juntas y el valle de Vazcún. Al menos uno de estos eventos fue observado por Nicolás Martínez (1932, anexo 3). Al finalizar este período no se derramó un flujo de lava, por lo que se supone que la lava quedó confinada al interior del *cráter.* Adicionalmente se tienen reportes de la generación de flujos de escombros, especialmente por los valles de Vazcún y Ulba. Estudios bibliográficos recientes (J. Egred, datos no publicados) indican que la actividad volcánica del Tungurahua se extendió hasta el año 1925; sin embargo, se estima que se trató de una actividad poco explosiva.

10 Lo importante de este período es que a pesar que la actividad duró por más de 3 años, ésta no fue continua, sino más bien se caracterizó por la alternancia de períodos de calma de semanas a meses de duración, con ciclos de intensa actividad explosiva, los cuales generaron flujos piroclásticos e importantes caídas de ceniza.

LA FASE ERUPTIVA ACTUAL

1999 d.C. hasta mayo 2003

11 La presente cronología se inicia en el año 1993, cuando se detectaron los primeros síntomas de intranquilidad del volcán, pero detalla sobre todo el período correspondiente a la fase eruptiva actual del volcán Tungurahua (figs. 9 y 10), iniciado en octubre de 1999 y que se prolonga hasta la fecha (mayo del 2003).

1993

12 **Enero.** En este mes se comienza a registrar de forma esporádica una vibración interna del volcán denominada *tremor volcánico.*

13 **Mayo.** El día 6 de este mes se reportó una explosión *freática* registrada por los instrumentos del IG-EPN y escuchada en varias poblaciones aledañas al volcán, como Baños, Patate, Ambato y Cevallos.

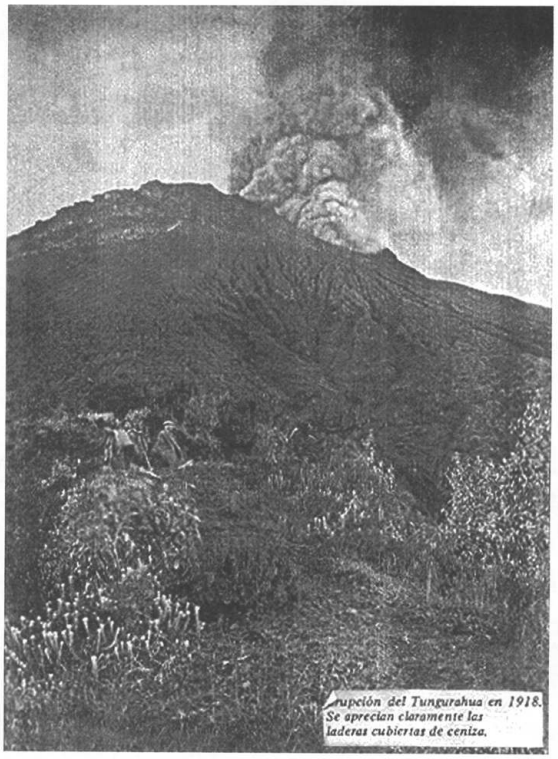


Figura 8. Fotografía de la erupción del Tungurahua del año 1918. Se aprecia una nube eruptiva, así como los flancos superiores del volcán cubiertos de ceniza y material piroclástico (Foto: N. Martínez).

1994

Marzo a septiembre. Se detectó un incremento de la actividad sísmica propia del volcán, con la presencia de largos períodos de tremor volcánico.

Octubre. Se registraron decenas de microsismos de pequeña importancia.

1995-1997

Marzo a septiembre. Durante estos meses, que corresponden con las mayores precipitaciones anuales en la zona del volcán, se repitieron períodos de tremor volcánico.

1998

Septiembre y diciembre. Ocurrencia de un enjambre de *sismos volcano-tectónicos* de origen superficial, tanto en septiembre como en diciembre, probablemente asociados a la ruptura de las rocas del interior del volcán por la presencia de magma en ascenso.

1999

Abril. Incremento de la amplitud del *tremor* de origen *hidrotermal.*

Mayo. Nuevo enjambre de sismos volcano-tectónicos de origen superficial.

Julio. Serie de *sismos de largo período* de carácter profundo. Estos eventos se asocian al ascenso desde grandes profundidades de magma. Al final de este mismo mes se

detectaron las primeras columnas pequeñas de vapor saliendo del cráter y un fuerte olor a azufre.

21 **Agosto.** Se registraron varios eventos volcano-tectónicos y de largo período de carácter profundo. Por otra parte, se registraron los primeros valores altos de SO_2, confirmando el ascenso de magma bajo el volcán. Una *fumarola* semi permanente de más de 100 m de altura fue claramente visible desde Baños y los alrededores.

22 **Septiembre.** La actividad sísmica y las emisiones de gases continuaron incrementándose durante los primeros días de este mes. Por esta razón, el 10 de septiembre el IG-EPN recomendó a la Dirección Nacional de Defensa Civil (DNDC) la declaratoria de ALERTA AMARILLA. Del 14 al 16 de este mes ocurrió un período de alta actividad tremórica, algunas veces de carácter armónico, asociado visualmente a pulsos energéticos de salida de gas. El IG-EPN inicia la emisión de reportes diarios de la actividad del volcán, difundidos por la prensa local y nacional.

23 **Octubre.** Durante la primera quincena de este mes el tremor se vuelve continuo. Adicionalmente, el 5 de octubre ocurrió la primera *explosión freática* que produjo dos heridos. A partir del 9 de octubre, el flujo de SO_2 superó las 10 000 toneladas/día y además se reciben los primeros reportes de incandescencia y la expulsión de bloques en el cráter (11 de octubre). A mediados de este mes se iniciaron las primeras emisiones de ceniza del volcán.

24 Durante la primera quincena de este mes, debido al importante incremento de la actividad volcánica, un gran número de pobladores de Baños y de los alrededores del volcán comenzaron a abandonar voluntariamente sus viviendas. El 15 de octubre, en base a los altos valores en la actividad sísmica, a las medidas altas del flujo de SO_2 y a la observación de incandescencia en el cráter, se recomendó a las autoridades encargadas de la emergencia la declaratoria de la ALERTA NARANJA en la zona de alto peligro del volcán Tungurahua. Como respuesta, las autoridades nacionales y provinciales dieron un plazo de 48 horas (hasta el 17 de octubre) para que se realice la evacuación. El Observatorio del Volcán Tungurahua (OVT), que hasta la fecha había funcionado en el barrio Los Pinos, Baños, también fue evacuado para instalarse en el sector de Guadalupe. Una vez realizada la evacuación, se estima que alrededor de 25 000 pobladores de los distintos flancos del volcán y de la ciudad de Baños se desplazaron a diferentes lugares del país, un número importante de los cuales fueron ubicados en refugios temporales, en Ambato y Riobamba. Esta evacuación duró alrededor de tres meses, hasta el 5 de enero del 2000, cuando los pobladores comenzaron a regresar a la ciudad bajo su propia responsabilidad, rompiendo el cerco militar impuesto por las autoridades.

25 Ocurrieron también los primeros flujos de lodo en las quebradas de la parte occidental del volcán, que afectaron la vía que conecta las poblaciones de Baños, Puela y Penipe.

26 **Noviembre.** La actividad eruptiva continúa en aumento. Se escucharon los primeros "cañonazos" (onda acústica asociada a una explosión), correspondientes al inicio de la actividad explosiva del volcán. Durante este mes se registraron más de 1 400 explosiones o detonaciones, lo que constituye hasta la fecha (marzo del 2003) el más alto número de eventos explosivos en lo que va del actual período eruptivo. Ocurrieron grandes flujos de lodo en el flanco occidental y noroccidental del volcán.

27 **Diciembre.** La actividad eruptiva se mantiene en niveles altos de manera sostenida.

2000

28 **Enero.** La actividad volcánica se mantiene en un nivel alto. La población de la zona de mayor peligro decidió regresar a su tierra, para lo cual se comprometieron a capacitarse y aprender a convivir con un volcán en erupción. A partir de este momento se reorganizó el Comité de Operaciones de Emergencia (COE) del cantón Baños y se estableció una estrecha colaboración con el IG-EPN y en particular con el OVT. Esta cooperación incluye los reportes diarios a los miembros del COE vía un sistema de radio y la comunicación frecuente con los vigías ubicados en los alrededores del volcán.

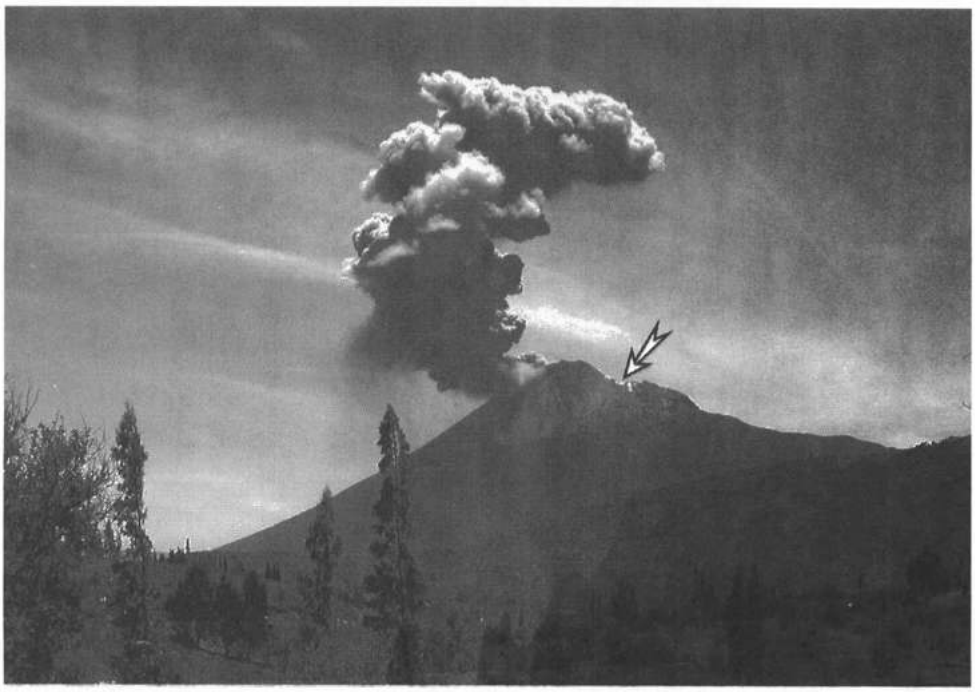


Figura 9. Fotografía de una explosión del volcán Tungurahua, el 23 de septiembre del 2002, tomada desde el sector sur-occidental. Se aprecia una columna de ceniza que alcanza una altura de 3 000 metros sobre el nivel del cráter y que se dirige ligeramente al occidente. Nótese, además, la cicatriz (flecha) de la caldera de avalancha del volcán Tungurahua II (Foto: Jean-Philippe Eissen, IRD/IG-EPN).

29 **Febrero a septiembre.** La actividad eruptiva del volcán continúa, variando en intensidad y disminuyendo drásticamente, sobre todo a partir del mes de septiembre. En marzo se instaló el sistema de detección de lahares (AFM) en los valles de Juive y Vazcún. El 5 de septiembre la DNDC decidió la declaratoria de la ALERTA AMARILLA para la zona de Baños, y se mantuvo la ALERTA NARANJA para los otros sectores del volcán.

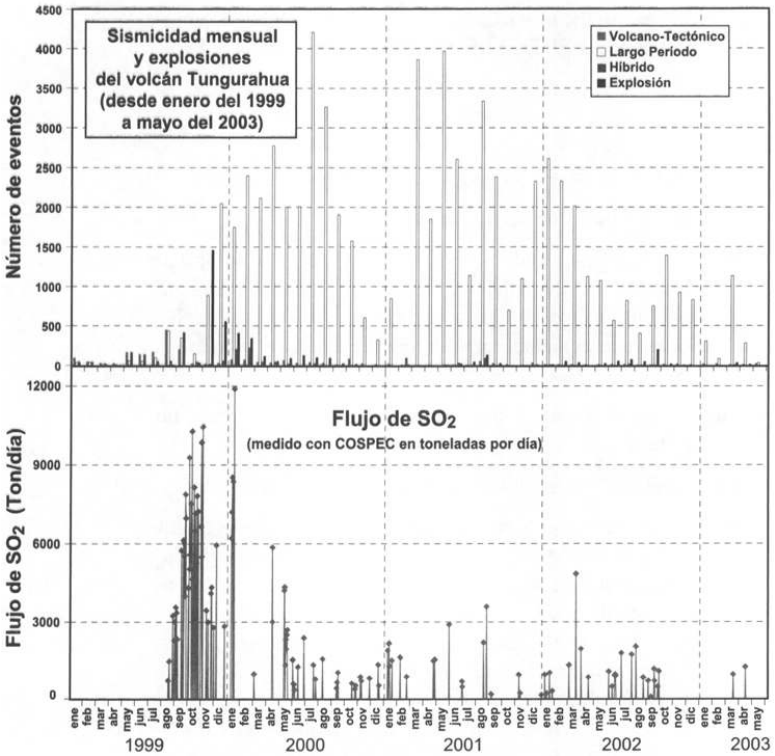


Figura 10. Resumen de los parámetros monitoreados por el 1GEPN desde enero 1999 hasta mayo 2003.
A: El tono de gris de las barras corresponde al tipo de eventos sísmicos y el tamaño de cada barra vertical corresponde al número de eventos.
B: Medidas del flujo del gas SO2 realizadas con el COSPEC.

Octubre a noviembre. Se detecta una disminución de la actividad eruptiva. Ultimas explosiones con cañonazos audibles en la zona. Emisiones menores de ceniza.

Diciembre. Nivel bajo de actividad eruptiva. El 31 de diciembre, en base a la disminución en todos los parámetros de la actividad registrada, el IG-EPN sugiere a la DNDC la declaratoria de la ALERTA AMARILLA en toda la zona del volcán.

2001

Enero a febrero. Nivel muy bajo de la actividad eruptiva.

Marzo. Nuevo pulso de actividad sísmica.

Mayo. Nuevo enjambre de sismos de largo período de origen profundo, que evidencian una nueva inyección de *magma.* Para finales de este mes, se registraron importantes explosiones, que evidenciaron el inicio de un nuevo ciclo eruptivo.

Junio. La actividad explosiva prosiguió con la ocurrencia de fuertes explosiones con cañonazos.

Julio. Actividad volcánica sostenida de nivel moderado a bajo.

Agosto. Aumento notable de la actividad sísmica, que se tradujo en una importante liberación de energía sísmica. Erupciones con columnas cargadas de ceniza que depositan una capa de hasta 3 cm de espesor en las poblaciones inmediatamente al occidente del volcán y de más de 10 cm en los flancos superiores del Tungurahua (figs. 11 y 12). Las nubes de ceniza viajan cientos de kilómetros hacia el occidente, afectando las

comunicaciones aéreas. Gran afectación por las caídas de ceniza en las poblaciones inmediatamente al occidente del volcán.

38 **Septiembre.** Elevado nivel de actividad eruptiva, caracterizado por una importante actividad sísmica y emisiones de ceniza.

39 **Octubre a diciembre.** Disminución paulatina de la actividad eruptiva. A partir de la segunda quincena de diciembre se observó nuevamente un ligero incremento de la actividad sísmica.



Figura 11. Impacto de las caídas de ceniza de agosto del 2001 en el sector occidental del volcán. El espesor acumulado de ceniza fue de 7 cm. (Foto: Jean-Luc Le Pennec, IRD/1G-EPN).

2002

40 **Enero.** Nuevo pulso de actividad sísmica a partir de la segunda mitad de este mes.

41 **Febrero.** Nuevo período de actividad eruptiva asociado con el incremento de la actividad sísmica observada a finales de enero. Actividad *de fuentes de lava* con emisiones limitadas de ceniza.

42 **Marzo a abril.** Continúa la actividad de fuentes de lava y se reportaron caídas de ceniza durante todo el mes de marzo. Para finales de este mes, la actividad tiende a disminuir. Durante el mes de abril se tuvo un nivel bajo de actividad eruptiva.

43 **Mayo a julio.** Incremento notable del nivel de sismicidad y de las emisiones de ceniza, probablemente asociado a pequeños ascensos de *magma,* ocurridos durante estos meses.

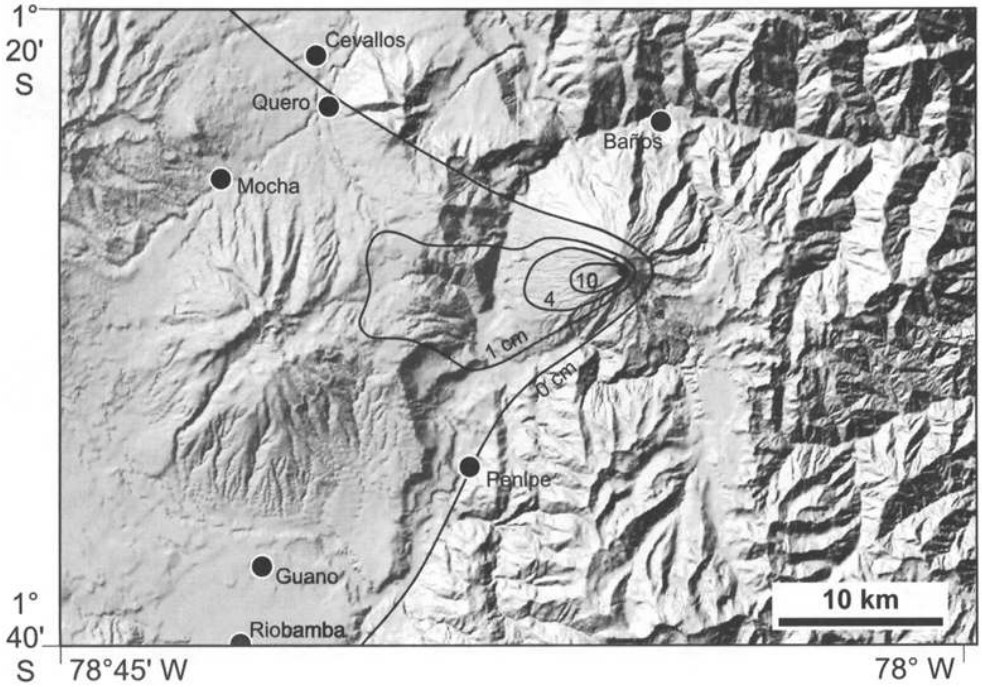


Figura 12. Distribución de la ceniza volcánica durante la erupción de agosto del 2001. Las líneas encierran las áreas al occidente del volcán afectadas por más de 10, 4,1 y 0 cm de ceniza (Fuente: Le Pennec, *et al.,* IRD/IG-EPN).

44 **Agosto.** Nivel importante de actividad eruptiva, caracterizado por actividad de tipo *estromboliana* y emisiones importantes de ceniza.

45 **Septiembre.** Importante liberación de energía sísmica. Ocurrencia de algunos sismos volcano-tectónicos bajo el volcán y posteriormente de tremor. Actividad explosiva importante; algunas de estas explosiones tuvieron un tamaño muy grande, comparable a las más grandes explosiones ocurridas en noviembre de 1999. Emisiones de ceniza continuas, aunque de menor importancia que aquellas de agosto del 2001, que vuelven a afectar a los habitantes que viven al oeste del volcán.

46 **Octubre.** Explosiones de tamaño moderado a grande durante los primeros días del mes. A continuación se registró una disminución progresiva del nivel de actividad general del volcán. Incrementos de la actividad volcano-tectónica precedieron a pequeños eventos explosivos en la segunda y última semanas del mes. Incremento en las emisiones de vapor y ceniza y de la actividad volcano-tectónica en la última semana del mes.

47 **Noviembre.** Actividad moderada a baja, con un tremor de fondo, casi permanente, durante las dos primeras semanas; emisiones leves de gases y vapor de color blanco. Durante las dos primeras semanas se tuvo un promedio de 30-40 sismos diarios y una explosión cada dos días; en cambio, durante las dos últimas semanas la sismicidad decreció progresivamente hasta valores cercanos a cero; eventos sísmicos y una sola explosión durante la última semana del mes.

48 **Diciembre.** Nivel bajo de sismicidad con manifestaciones de superficie de poca energía, pero con una degasificación continua, frecuentemente con brillo visible en la noche dentro del cráter. Una sola explosión notable ocurrió el 30 de diciembre, la cual estuvo acompañada de una leve caída de ceniza.

2003

49 **Enero a febrero.** Nivel muy bajo de actividad, con un promedio de 10 sismos por día durante el mes de enero y de cuatro eventos diarios durante el mes de febrero. Se registró una explosión durante el mes de enero y dos durante febrero.



Figura 13. Camioneta cruzando el puente de madera construido por los habitantes del flanco oeste del volcan Tungurahua, luego de que los lahares destruyeran el puente existente. Nótese las huellas de las avalanchas que se deslizaron por esa quebrada (Foto: Pablo Sarnaniego, IG-EPN).

50 **Marzo.** Incremento progresivo de la actividad sísmica (señales de tremor casi constantes después del 6 de marzo) y del número de explosiones durante la segunda semana del mes. Se pudo observar actividad estromboliana de baja intensidad y una notable actividad explosiva (hasta cinco explosiones diarias) con eyección de bloques incandescentes y bramidos, Toda esta actividad disminuyó considerablemente durante la última semana del mes.

51 **Abril a mayo.** Nivel muy bajo de actividad, caracterizada por un proceso de degasificación pasiva. La sismicidad tuvo un promedio de 10 sismos diarios en abril y tres eventos diarios en mayo. Se registró una sola explosión en cada uno de estos meses.

3. Tipos de fenómenos volcánicos observados en el volcán Tungurahua

1 A continuación se presentan los diferentes tipos de fenómenos volcánicos asociados con la actividad actual o pasada del volcán Tungurahua (presentados por orden de frecuencia):

CAÍDA DE PIROCLASTOS

2 **Descripción:** Durante una erupción volcánica, los gases y el material piroclástico *(ceniza,* fragmentos de roca y *piedra pómez)* son expulsados desde el cráter. Los fragmentos más grandes siguen trayectorias *balísticas* y caen cerca del cráter, generalmente sobre las partes altas del volcán. Las partículas más pequeñas son llevadas por el viento y caen a mayor distancia, cubriendo grandes áreas cercanas al volcán con una capa de varios milímetros o centímetros de material piroclástico. Las erupciones que producen *piroclastos* varían desde explosiones pequeñas, de pocos minutos de duración y que expulsan el material hasta pocos cientos de metros sobre el cráter, hasta grandes explosiones que pueden durar varias decenas de minutos y que inyectan material piroclástico a la atmósfera hasta varias decenas de kilómetros de altura.

3 **Historia:** En las erupciones pasadas del Tungurahua, las caídas de ceniza y piroclastos han tenido una distribución limitada y sus espesores han sido pequeños. Sin embargo, como se evidenció en la erupción de agosto del 2001 (figs. 11, 12 y 14), un volumen relativamente pequeño de ceniza emitida (del orden de 6 millones de metros cúbicos. Le Pennec, *et al.,* 2002) puede provocar daños considerables en los cultivos, así como alterar seriamente la vida de personas y animales.

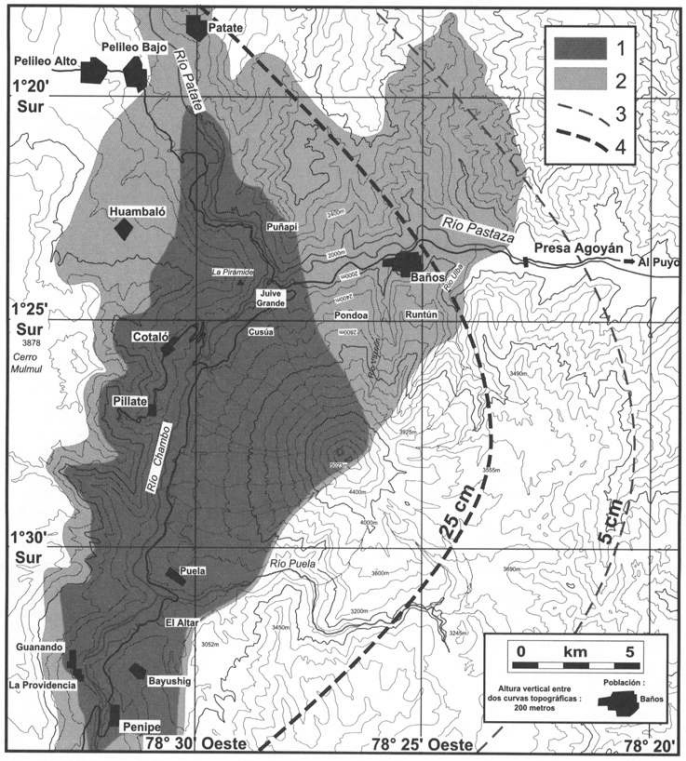


Figura 14. Mapa de peligros volcánicos: caídas de piroclastos y avalanchas de escombros. (1) Área que sería afectada por una pequeña avalancha que caiga por el flanco occidental; (2) área que sería afectada por una avalancha grande que implique los flancos norte y occidental; (3) área que podría ser afectada por un espesor de ceniza mayor a 5 cm; (4) área que podría ser afectada por un espesor de ceniza mayor a 25 cm. Basado en el Mapa de los peligros potenciales del volcán Tungurahua (Hall, *et al.,* 2002). Ver también las láminas a color al final de! libro.

4 **Peligros:** El material piroclástico cubre una superficie generalmente de forma elíptica, que se puede extender hasta cientos de kilómetros en la dirección del viento, y cuyo espesor disminuye progresivamente desde el volcán (fig. 12). Así, la peligrosidad de este fenómeno estará controlada por el volumen de material emitido, la intensidad y duración de la erupción, la dirección y la velocidad del viento y la distancia al punto de emisión.

5 En la figura 14 se presentan las áreas que tienen mayor probabilidad de ser afectadas por las caídas de piroclastos, en caso de que ocurra una erupción explosiva importante del Tungurahua (VEI> 3). La curva interna (marcada 25 cm, fig. 14) encierra el área que podría recibir un espesor superior a 25 cm de ceniza. La curva externa (marcada 5 cm, fig. 14) encierra el área que podría recibir un espesor superior a 5 cm de ceniza. La parte externa a esta curva recibiría un espesor máximo de 5 cm.

6 El impacto de la caída de piroclastos depende principalmente del espesor de material acumulado. La afectación sobre la población empieza a hacerse presente con espesores pequeños, menores a 1 mm de ceniza y se incrementa sustancialmente si la ceniza se mezcla con agua. Los efectos producidos por las caídas de ceniza incluyen problemas de salud (irritación de los ojos y de las vías respiratorias), problemas con el ganado, destrucción de plantas, daños a los motores (vehículos, aviones, maquinarias en general, transformadores, etc.), contaminación de fuentes y reservorios de agua, y en caso de caídas importantes, problemas de visibilidad, riesgos de colapso de los techos, etc. (fig. 11). Todos estos efectos, descritos de manera progresiva desde espesores menores a 1 mm hasta mayores a 30 cm, están resumidos en el anexo 1.

FLUJOS DE LODO Y ESCOMBROS (lahares)

7 **Definición:** Los lahares son mezclas de materiales volcánicos (rocas, pómez, arena), removilizados por el agua proveniente de la fusión del casquete glaciar, de la ruptura de un lago ubicado en un cráter o de fuertes lluvias. Estos flujos se mueven ladera abajo por la fuerza de la gravedad, a grandes velocidades (hasta 100 km/h) y siguiendo los drenajes existentes.

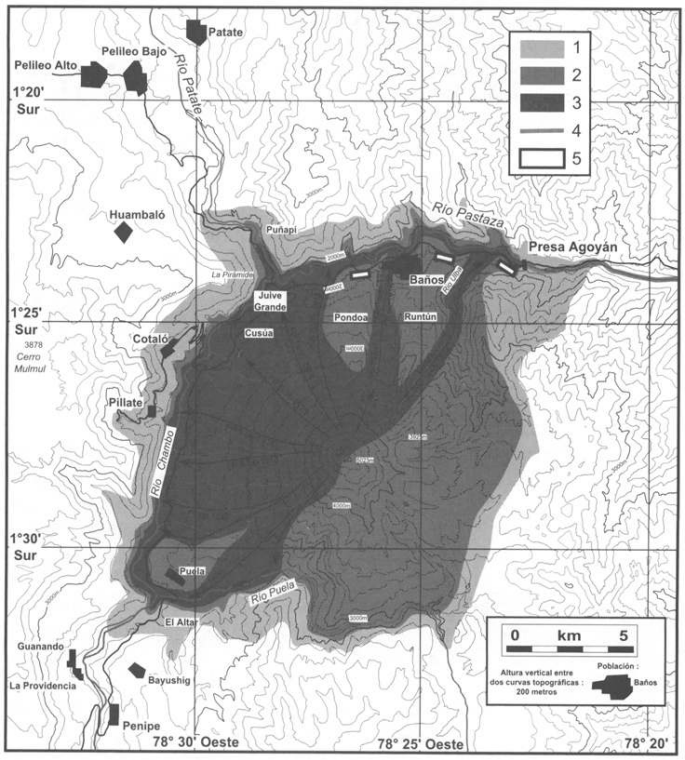


Figura 15. Mapa de peligros volcánicos: flujos de lodo y escombros (lahares), flujos piroclásticos y flujos de lava. (1) Área potencialmente afectada por flujos piroclásticos, flujos de lava y flujos de escombros en caso de una erupción muy grande (VEI≥ 4); (2) área potencialmente afectada por flujos piroclásticos, flujos de lava y flujos de escombros en caso de una erupción moderada a grande (VEI ≤3); (3) área afectada por flujos piroclásticos, flujos de lava y flujos de escombros durante las erupciones históricas del volcán; (4) zona que podría ser afectada por flujos de lodo en el valle del río Pastaza; (5) zonas de albergues temporales. Se debe notar que las zonas no son excluyentes, es decir que el área 2 incluye también al área 3, y que el área 1 incluye a las áreas 2 y 3. Basado en el Mapa de los peligros volcánicos potenciales del volcán Tungurahua (Hall, *et al.,* 2002). Ver también las láminas a color al final del libro.

8 Los lahares se forman cuando masas sueltas de escombros no consolidados, tales como ceniza depositada en los flancos de un volcán, depósitos glaciares, escombros de flujos piroclásticos y de avalanchas de roca, se saturan de agua y comienzan a movilizarse. El tamaño del material movilizado por estos flujos es muy variable, pudiendo ser desde arcilla o arena hasta bloques de varios metros de diámetro. En el caso del Tungurahua, el agua puede provenir de la lluvia o de la fusión de la nieve o hielo del casquete glaciar.

9 **Historia:** Eventos de este tipo han ocurrido en innumerables ocasiones en el pasado reciente del Tungurahua, especialmente en los valles de Ulba y Vazcún, así como en los drenajes del flanco occidental y en el río Puela, al sur y suroccidente del volcán (figs. 13 y 15). Nicolás Martínez (1932) reporta la siguiente descripción de un flujo de escombros que

afectó la ciudad de Baños el 23 de abril de 1773: "Con el aluvión que bajó todo fue destruido y arrasado, y como única área de salvación en medio de este mar de fuego, quedó la pequeña iglesia (ubicada donde actualmente se encuentra la Alcaldía de Baños) y dentro de ella, los pocos habitantes de Baños con su milagrosa imagen". Es claro que se trató de un flujo de escombros *caliente,* producto de la mezcla de material piroclástico con agua.

10 Durante el presente período eruptivo (iniciado en 1999 y que continúa hasta la fecha-mayo del 2003-) se han producido innumerables flujos de lodo en las quebradas del flanco occidental del volcán (figs. 13 y 16), así como en la quebrada de La Pampa del flanco noroccidental (fig. 17). Estos flujos de pequeño tamaño son el resultado de la removilización del material volcánico depositado en los flancos superiores del edificio, por la acción del agua proveniente de las lluvias.



Figura 16. Quebrada del flanco occidental del volcán Tungurahua, afectada por los flujos de lodo del presente período eruptivo. Note la enorme erosión producida por estos flujos. Antes de 1999, la quebrada tenía una profundidad de pocos metros (Foto: J.P. Eissen, IRD/IG-EPN).



Figura 17. Flujo de lodo en la quebrada La Pampa, sector Juive Chico, ocurrido el 26 de febrero del 2000. Note que el flujo cubrió la carretera Baños-Ambato, interrumpiendo la circulación vehicular (Foto: P. Ramón, IG-EPN).

11 **Peligros:** La peligrosidad de estos fenómenos está determinada por el volumen de agua y de los materiales sueltos disponibles, de las pendientes y del encañonamiento de los valles. Las personas alcanzadas por un flujo de escombros tienen muy pocas posibilidades de sobrevivir, por lo cual, durante una crisis volcánica se recomienda a la población que evite el fondo de las quebradas que bajen del volcán. Debido a su alta velocidad y densidad, los lañares pueden mover y aun arrastrar objetos de gran tamaño y peso, tales como puentes, vehículos, grandes árboles, etc. Las edificaciones y la vegetación que se encuentren a su paso serán destruidas o seriamente afectadas. En el caso del volcán Tungurahua, las zonas marcadas como área 1 en el *mapa de peligros* (fig. 15), y en especial el fondo de los valles de esta zona, podrían ser afectados por flujos de lodo y escombros en caso de una erupción importante del volcán o simplemente en caso de fuertes lluvias en la zona. Los sectores de La Pampa y de Vazcún cuentan con un sistema de monitoreo de lañares, que permite dar a las autoridades y a la población una alerta temprana (con algunos minutos de anticipación) con el fin de alejarse de las zonas peligrosas (el fondo de los valles). Estos sistemas han funcionado de forma muy confiable, permitiendo al OVT emitir las alertas tempranas la gran mayoría de las veces que han ocurrido lañares de consideración. A pesar de ello, en algunas ocasiones, por la falta de acatamiento a las indicaciones de las autoridades, conductores de vehículos han ingresado a las zonas de restricción durante la ocurrencia de lañares y han sufrido el respectivo impacto (fig. 17).

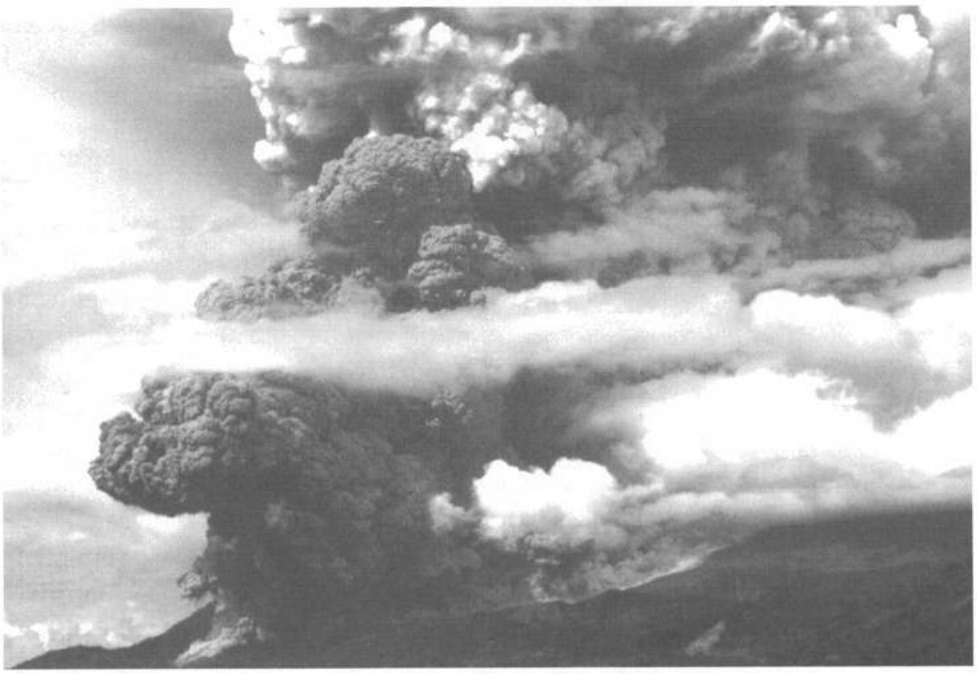


Figura 18. Flujo piroclástico de la erupción del 3 de Noviembre del 2002 del volcán El Reventador (Foto: L. Saca). Se aprecia que la nube de gases y ceniza puede alcanzar varios cientos de metros de altura.



Figura 19.Depósitos de flujos piroclásticos de la erupción de 1916-1918 en el sector de Juive Grande (Foto: P. Samaniego, IGEPN).

FLUJOS PIROCLÁSTICOS (nubes ardientes)

12 **Definición:** Los flujos piroclásticos son mezclas muy calientes (varios cientos de grados centígrados) de gases, ceniza y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán, desplazándose a grandes velocidades y que ocurren generalmente en erupciones grandes y explosivas. Los flujos piroclásticos constan de dos partes: un componente

inferior, muy denso, constituido por fragmentos de roca que se desplazan por el fondo de los valles y quebradas; y un componente lateral y superior mucho menos denso pero más voluminoso, constituido por material de menor tamaño (ceniza) y gases, el cual puede sobrepasar los valles y alcanzar alturas importantes sobre su fondo e inclusive sobrepasar relieves importantes.

13 En la erupción del volcán el Reventador, el 3 de noviembre del 2002, se generaron flujos piroclásticos que viajaron hasta 8 km desde el cráter y cuyas nubes de ceniza alcanzaron más de 500 m sobre el fondo de la caldera de este volcán. Dada la similitud entre El Reventador y el Tungurahua, es de esperar que en caso de una erupción altamente explosiva (VEI> 4) en el

14 Tungurahua, se generen flujos de estas características (fíg. 18).

15 **Historia:** Los *flujos piroclásticos* han sido un fenómeno frecuente en el pasado reciente del volcán, como lo muestra N. Martínez (1932), testigo presencial de las erupciones de 1916-1918 (fíg. 19). Este geólogo y montañista ambateño describe que "en el momento que empezaba a salir del cráter la inmensa columna, se derramó por todo el perímetro del cono visible desde aquí *(Ambabaquí, Pelileo; 5 de abril de 1918),* como de una inmensa caldera en ebullición, una verdadera masa de vapores rojizos y de materiales al parecer sólidos e incandescentes, la cual cubrió por completo y en pocos instantes todo el cono hasta la base, dejándole completamente invisible", Esta narración muestra claramente que durante esta erupción, flujos piroclásticos originados por el desborde de material incandescente desde el filo del cráter *(boiling over)* se generaron en el Tungurahua y cubrieron gran parte de los flancos norte y occidental del volcán.

16 **Peligros:** En el caso del Tungurahua, los flujos piroclásticos se originan por: 1) el colapso de una *columna eruptiva,* 2) explosiones violentas que destruyen un tapón o un *domo* en el *cráter,* o 3) el desborde de material piroclástico sobre el filo del *cráter (boiling over)* (Mothes, *et al.,* 2002). Un cuarto posible mecanismo de generación de flujos piroclásticos constituye el colapso de un frente de un flujo o *domo* de lava formado en el interior el cráter. Los flujos piroclásticos producidos por los tres primeros mecanismos afectarían varios flancos del volcán, mientras que los flujos piroclásticos producidos por el colapso de un flujo o domo de lava impactarían los flancos inmediatamente inferiores a dicho domo o flujo de lava, siendo en general el flanco occidental y noroccidental el más propenso a ser afectado por este fenómeno.

17 Se estima que si el Tungurahua presenta erupciones de gran magnitud (VEI> 3), las zonas más afectadas por estos fenómenos serían los flancos occidental y noroccidental, comprendidos entre Juive Grande al noroccidente y la confluencia de los ríos Puela y Chambo al suroccidente del volcán. Sin embargo los valles de los ríos Vazcún y Ulba, en el flanco norte, constituyen también zonas de alto peligro, debido a que estos ríos descienden directamente de la cumbre del volcán (color gris intenso en la fig. 15, y de color rojo intenso en el *Mapa de peligros,* láminas de color)[1]. Las superficies de Runtún y Pondoa, por encontrarse alejadas del fondo de los valles, presentan ciertamente un peligro menor, pudiendo ser afectadas por estos fenómenos únicamente en caso de erupciones explosivas mayores (VEI> 3), en cuyo caso se generarían flujos piroclásticos muy móviles por el colapso de una columna de erupción (fig. 15). En esta misma categoría (zona de color gris intenso en el mapa de peligros, fig. 15) se encuentran los flancos sur y oriental del volcán. Finalmente, tas zonas en color gris pálido corresponden a las áreas que podrían ser afectadas solo en caso de una erupción anormalmente grande (VEI> 4).

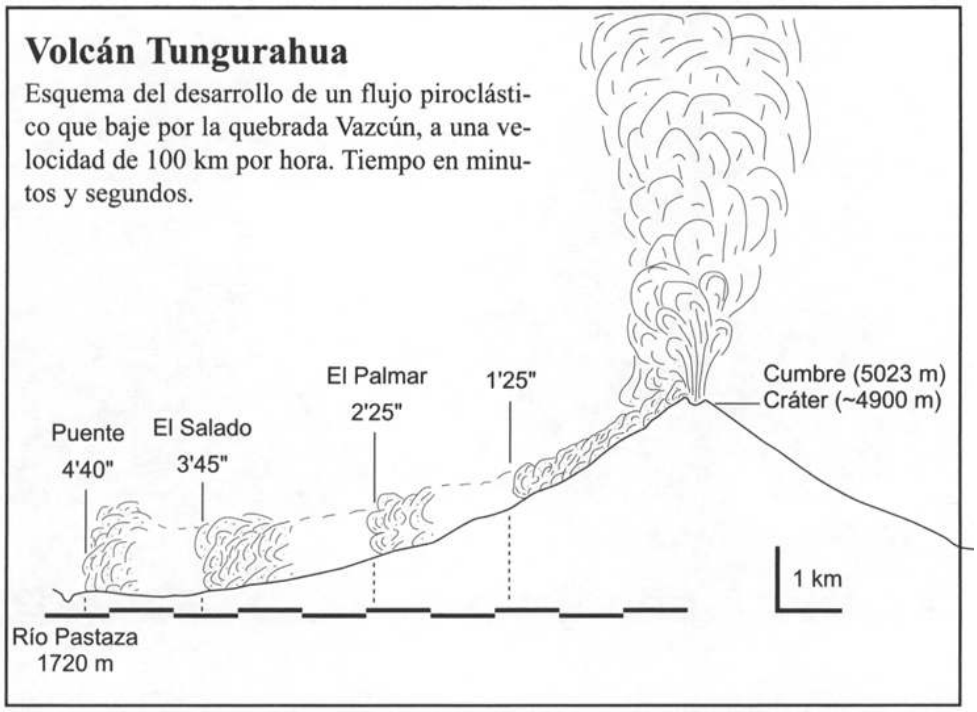


Figura 20. Esquema de generación de un flujo piroclástico viajando a 100 km/hora por el flanco norte del volcán (valle del río Vazcún), mostrando el tiempo aproximado que le tomaría a este flujo llegar al río Pastaza.

18 Los flujos piroclásticos son extremadamente peligrosos debido a su gran movilidad, que les permite viajar distancias que se miden hasta en decenas de kilómetros, a sus altas velocidades (50 a 250 km/h) y a las altas temperaturas (350-1 000°C) en el momento de su emplazamiento. En la figura 20 se presenta un esquema de generación de un flujo piroclástico para el flanco norte del volcán (valle del río Vazcún), mostrando el tiempo aproximado que le tomaría a un flujo de este tipo en llegar al río Pastaza. La gente afectada por estos flujos tiene muy pocas posibilidades de sobrevivir y, en el mejor de los casos, puede ser seriamente herida. En las partes aledañas de un flujo de este tipo, la gente puede sufrir serias quemaduras, e inclusive morir por la inhalación de ceniza y/o gases calientes. Los objetos y estructuras que se hallen en su camino pueden ser destruidos o arrastrados por el impacto de escombros calientes y/o vientos huracanados asociados. La madera y otros materiales combustibles comúnmente se queman cuando entran en contacto con los bloques, bombas, ceniza y/o gases calientes que conforman los flujos piroclásticos. Debido a su capacidad devastadora, los flujos piroclásticos son considerados como el fenómeno volcánico más letal. Por estas razones y por la incapacidad de determinar exactamente el momento de su generación, su extensión y su tamaño, su manejo en términos de evacuación poblacional es extremadamente difícil, pero necesariamente debe considerar la salida temporal, con horas o días de anticipación, de las personas y animales que se encuentren en las zonas potencialmente afectadas, como una medida precautelatoria ante la peligrosidad del fenómeno, pero también ante las grandes incertidumbres científicas existentes para su predicción.

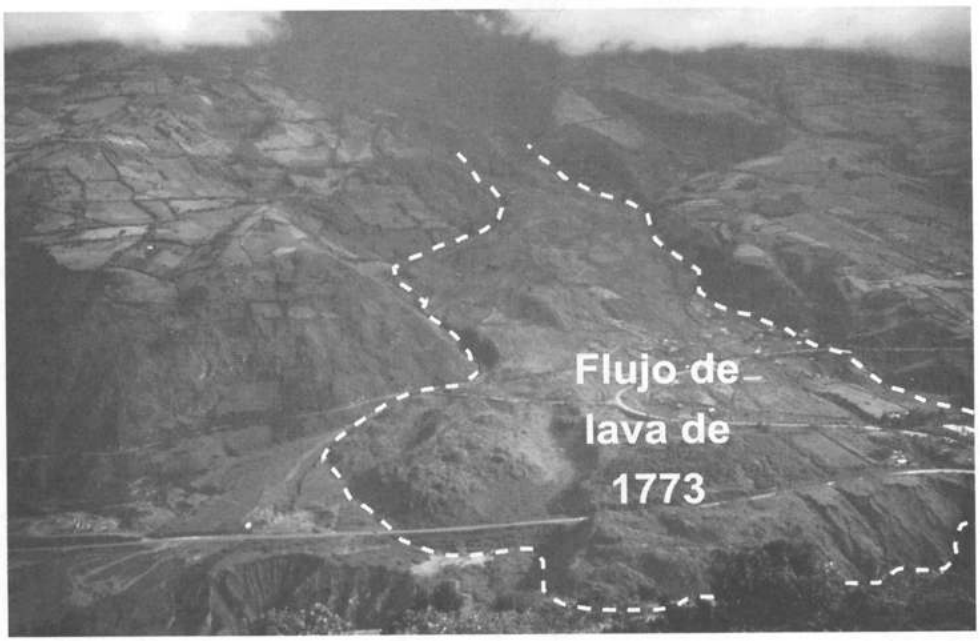


Figura 21. Flujo de lava de la erupción de 1773 en el sector de Juive Chico (Foto: P. Samaniego, IG-EPN).

FLUJOS DE LAVA

19 **Descripción:** Los flujos de lava son derrames de roca fundida, originados en un *cráter* o en fracturas de los flancos del volcán, que descienden por las quebradas que allí se originan. Este fenómeno volcánico ocurre cuando el magma es poco *viscoso* (o, lo que es lo mismo, muy fluido), y por lo tanto la *lava* puede fluir por las pendientes del volcán. Las erupciones volcánicas de este tipo son poco explosivas, debido a que el contenido de gases del *magma* es bajo. Los flujos de lava pueden viajar ladera abajo desde unos pocos hasta varias decenas de kilómetros, desplazándose generalmente a bajas velocidades, del orden de decenas y raramente de centenas de metros por hora.

20 **Historia:** Los flujos de lava han sido un fenómeno frecuente en la historia reciente del Tungurahua. Generalmente se han presentado como el fenómeno final de un proceso eruptivo, como en las erupciones de 1773 (fig. 21) y 1886 (Martínez, 1932). Se generaron grandes flujos de lava durante la primera etapa de construcción del cono actual del Tungurahua (Tungurahua III), los cuales se observan especialmente al pie norte del volcán en el sector de Las Juntas, Juive Grande y la planicie de Baños, ciudad que se encuentra construida sobre una serie de flujos de lava que descendieron de oeste a este por el río Pastaza. Durante dichas erupciones la composición de estos flujos ha sido andesítica, que corresponde a lavas con una viscosidad moderada. A. Martínez (N. Martínez, 1932) describe como testigo presencial de la erupción del 25 de febrero de 1886, el flujo de lava que culminó con el proceso eruptivo: “El volcán entró en un estado de actividad mucho mayor que al principio. La emisión de lava ya no era intermitente, sino que se había establecido una corriente continua, visible de día, por el reguero de vapores, y de noche por su iluminación. Un río de fuego bajaba incesantemente desde el borde del cráter, y, tomando la vía de Cusúa, se localizó el derrame solo a este punto...”.

21 **Peligros:** Dada la morfología actual del cráter (con su parte noroccidental 200 m más baja que los otros bordes), se espera que los futuros flujos de lava se dirijan preferencialmente hacia el flanco noroccidental del volcán (fig. 15), que comprende las áreas entre Juive Grande y Cusúa. A pesar de destruir completamente todo lo que se encuentra a su paso, los flujos de lava raramente representan una amenaza para la vida humana debido a la lentitud de su desplazamiento y a la posibilidad de predecir con bastante aproximación la dirección de su movimiento. Sin embargo, los flujos de lava pueden causar la destrucción total de los edificios, carreteras y otras obras de infraestructura que se encuentren a su paso. La única protección efectiva es la evacuación de las personas y animales, horas o días antes de la llegada del flujo. Hay que anotar, además, que en volcanes con pendientes muy importantes como el Tungurahua, el frente de un flujo de lava puede volverse inestable y colapsar, generando pequeños flujos piroclásticos de bloques y ceniza que descenderían por los flancos pendiente abajo del frente del flujo de lava.

DOMOS DE LAVA

22 **Descripción:** Los domos son acumulaciones de lava, originados en un cráter ubicado en la cumbre o en los flancos superiores del volcán. Se forman cuando el magma es muy viscoso y, por lo tanto, tiene dificultad para fluir.

23 **Historia:** Según los reportes históricos, no se han formado domos de lava durante las últimas erupciones del Tungurahua; sin embargo, no se puede descartar que en una futura erupción se genere este tipo de fenómeno al interior del cráter, en cuyo caso el peligro a la población estaría relacionado con el tamaño que alcance el domo y la probabilidad que colapse pendiente abajo, generando un flujo piroclástico.

24 **Peligros:** En volcanes con pendientes muy importantes como el Tungurahua, un domo de lava puede volverse inestable y colapsar generando flujos piroclásticos de bloques y ceniza que descenderían por los flancos del volcán.

AVALANCHAS DE ESCOMBROS

25 **Definición:** Las avalanchas de escombros son grandes colapsos que pueden ocurrir en un sector de un volcán, producidos por la inestabilidad de los flancos del mismo. Este tipo de fenómeno puede deberse al ascenso de gran cantidad de magma en el edificio volcánico, a un sismo de gran magnitud en las cercanías del volcán, o al debilitamiento de la estructura del volcán inducida, por ejemplo, por la alteración *hidrotermal.* La inestabilidad de un volcán se ve favorecida cuando la altura del edificio volcánico llega a más de 3 000 m sobre su basamento. El colapso del edificio puede estar acompañado y seguido por actividad magmática, dado que este gran deslizamiento puede destapar súbitamente el *conducto volcánico* y generar explosiones de extrema violencia *(blast)* que producen flujos piroclásticos de gran magnitud y alto poder destructivo.

26 El resultado de una *avalancha de escombros* es la formación de un anfiteatro de tamaño variable (caldera de avalancha como la del volcán Guagua Pichincha o de El Reventador). Los depósitos de las avalanchas de escombros son muy móviles, cubren áreas de considerable extensión (10-1 000 $km^{2)}$, con un manto de escombros, y arrasan con todo lo que se encuentre a su paso. La mayoría de estratovolcanes han sufrido, al menos una vez durante su historia geológica, un evento de este tipo; sin embargo, se debe recalcar que

son eventos muy infrecuentes en el tiempo (aproximadamente un evento cada varios miles de años o más).

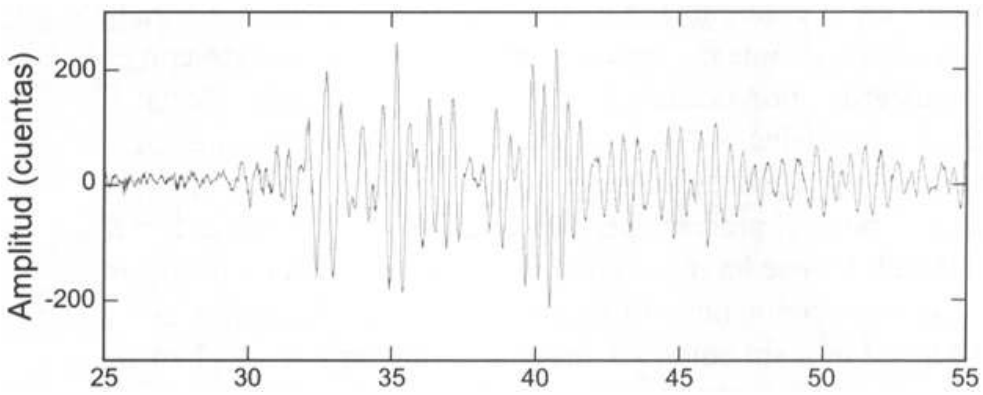
27 **Historia:** Este tipo de fenómeno ha ocurrido al menos en dos ocasiones en el Tungurahua. La última vez, hace 3 000 años AP, un cono anterior al edificio volcánico actual fue en gran parte destruido por una evento de este tipo. Los depósitos de esta avalancha tienen un volumen estimado en 8 km^3 y rellenaron los valles de los ríos Chambo y Patate, alcanzando distancias de hasta 15 a 20 km desde la cumbre del volcán y alturas de hasta 400 metros sobre el nivel actual de los ríos (sector de Cotaló).

28 **Peligros:** Dada la magnitud y violencia de las avalanchas de escombros, todo lo que se encuentre en su camino va a ser destruido y, por lo tanto, las personas no tienen posibilidades de sobrevivir. Por esta razón, se recomienda la evacuación de las zonas potencialmente afectadas, si la información científica señala la posibilidad de ocurrencia de un evento de estas características en el futuro cercano. Se debe recalcar, sin embargo, que se trata de un evento muy poco frecuente. En el Mapa de peligros volcánicos del Tungurahua (fig. 14, zona 1 y de color en el *mapa de peligros,* ver láminas de color) el área de color verde intenso comprende la posible extensión de una avalancha pequeña que afecte exclusivamente el flanco occidental del volcán; mientras que el área de color verde pálido comprende la extensión de una avalancha de mayor tamaño que afecte los flancos norte y occidental.

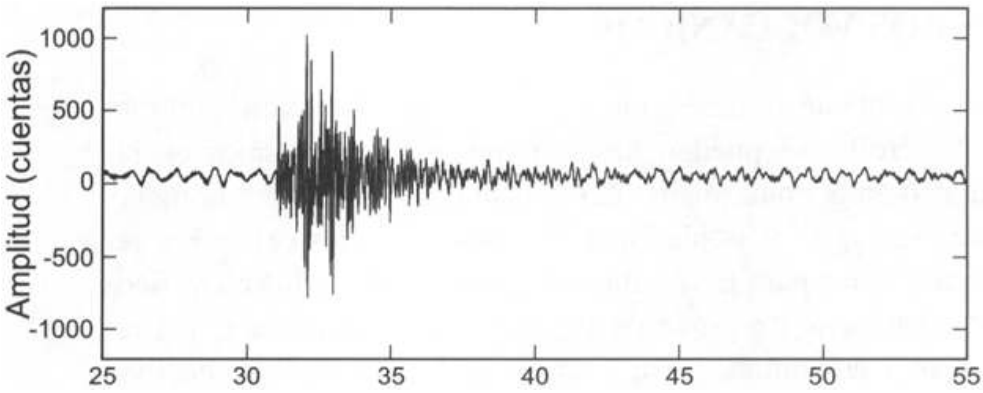
GASES VOLCÁNICOS

29 Antes, durante y después de una erupción volcánica, es común detectar un notable aumento en la cantidad y tipo de gases emitidos por el volcán. Tales gases consisten principalmente de vapor de agua; sin embargo, existen también cantidades variables de otros gases peligrosos para las personas y los animales como SO_2 (dióxido de azufre), H_2S (anhídrido sulfuroso) CO_2 (dióxido de carbono), o CO (monóxido de carbono). En las zonas donde soplan continuamente vientos fuertes, estos gases se dispersan rápidamente; no obstante, en depresiones y partes bajas estos gases se pueden acumular y alcanzar concentraciones letales. Por otro lado, existen gases tóxicos como el flúor y el azufre, que se adhieren a la ceniza y producen la contaminación del suelo y las aguas. Adicionalmente, los gases de una *columna eruptiva* pueden mezclarse con el agua atmosférica, provocando *lluvias ácidas* que podrían afectar a las plantas y animales, así como los techos de zinc y otros materiales metálicos (que pueden sufrir una fuerte corrosión). En algunas ocasiones durante el presente período eruptivo (1999 hasta la fecha-mayo del 2003-) se ha reportado olor a azufre en las partes bajas del volcán (especialmente en los sectores de Juive Grande y en el flanco occidental); sin embargo, las concentraciones de gas han sido siempre muy bajas, por lo cual se puede excluir un efecto negativo sobre los seres vivos.

Sismo LP del 5 feb 1999 11H47 Gmt (prof. 3.8 km) registrado en la estación MSON



Sismo VT (volcano-tectónico) del 6 may 1999 22H57 Gmt (prof. 3.48 km) registrado en la estación MSON



Sismo híbrido del 9 ago 1999 12H28 Gmt (prof. 5.79 km) registrado en la estación MSON

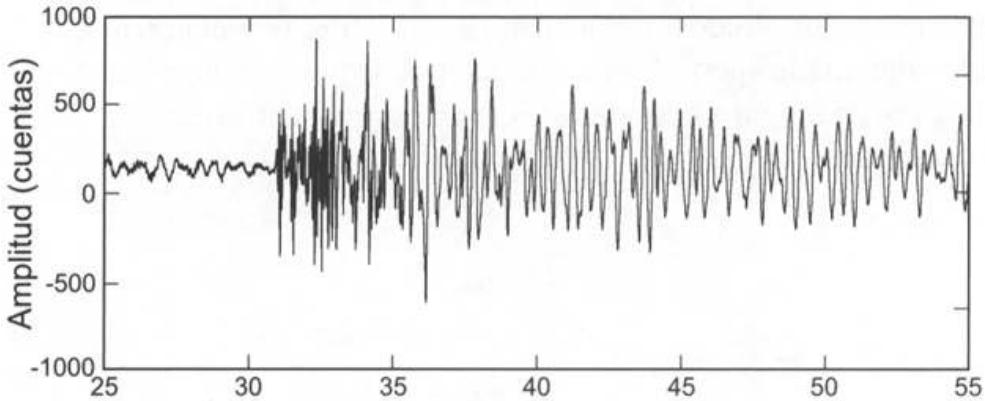


FIGURA 22.

SISMOS VOLCÁNICOS

30 En las semanas o meses que preceden a una erupción, y durante su desarrollo, se pueden detectar muchos microsismos en las cercanías o en el cono mismo del volcán (fig. 22). Este fenómeno, lejos de afectar a los pobladores que habitan en las cercanías, resulta

beneficioso para la comunidad, pues permite a los científicos comprender mejor los procesos magmáticos que ocurren al interior del volcán y adelantarse a su ocurrencia. En general, la reactivación de un volcán no produce sismos de mayor magnitud, capaces de afectar las edificaciones en los alrededores del volcán.

31 En las erupciones pasadas del Tungurahua, ha sido común que las personas de los alrededores sientan estos sismos, especialmente antes o durante los períodos de más intensa actividad volcánica; sin embargo, en ninguna ocasión estos eventos provocaron daños a las edificaciones.

NOTAS FINALES

1. Los *mapas de peligro,* figuras 14 y 15, se encuentran también a color en las láminas al final de este libro. Las referencias del texto pueden ser comparadas en esos mapas.

4. Monitoreo volcánico

1 Los cambios físicos y químicos del sistema magmático bajo el volcán reflejan condiciones de intranquilidad en el sistema volcánico. Algunos de estos cambios pueden ser percibidos directamente por la población que vive en los alrededores del volcán, mientras que otros son únicamente detectados con el uso de instrumentos científicos extremadamente sensibles. La vigilancia o monitoreo volcánico puede hacérsela ya sea por observación visual o instrumental.

VIGILANCIA POR OBSERVACIÓN

2 Este método de monitoreo se basa en la detección de los cambios en la actividad de un volcán, únicamente por los sentidos humanos; por lo tanto, pueden ser descubiertos por la población. El monitoreo por *observación visual* consiste en realizar observaciones de manera sistemática para determinar la formación de fracturas, deslizamientos o hinchamiento de la cima del volcán, del cráter activo o de uno de sus flancos; la detección de cambios en las emisiones fumarólicas, como altura de la columna de gases, color, olor, intensidad, etc., o de cambios en el caudal, color, olor de las fuentes termales; la detección de daños o muerte de la vegetación; la percepción de cambios en el comportamiento de los animales, entre otros. Este método incluye, además, la percepción de ruidos subterráneos y sismos de origen volcánico.

3 Este método puede ser reforzado con el uso de *imágenes satelitales* que permiten monitorear parámetros cuantificables y hacer un seguimiento de las nubes de ceniza producidas por las emisiones volcánicas.

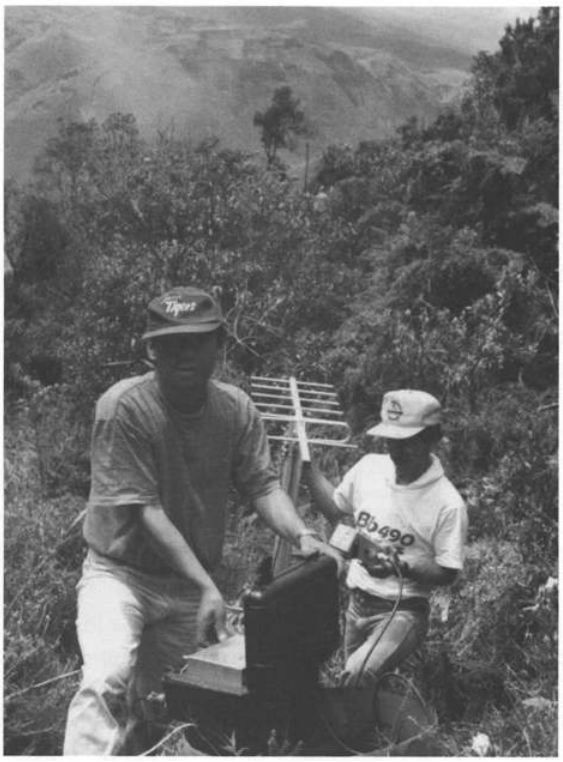


Figura 23. Instalación de una estación sísmica en los flancos del volcán Tungurahua, por parte de los Ings. Richard Jaramillo (Electrónico) y Mario Ruiz (Sismólogo) del IG-EPN.

VIGILANCIA INSTRUMENTAL

4 Consiste en utilizar instrumentos científicos muy sensibles, capaces de detectar cambios en el comportamiento físico-químico del sistema magmático del volcán, cambios que generalmente son imperceptibles para las personas. El monitoreo científico moderno de un volcán utiliza métodos diferentes y complementarios. Los más comunes son la detección de la actividad sísmica, la medición de la *deformación* del suelo, el estudio de los cambios químicos de las emisiones de gases en las *fumarolas* y de las fuentes termales y la observación sistemática de la actividad volcánica.

5 El monitoreo *sísmico* consiste en detectar, por medio de *sismómetros* extremadamente sensibles (figs. 22 y 23), las vibraciones del suelo *(sismos)* producidas por la fracturación de las rocas al interior de un volcán o por el movimiento de magma o de gases magmáticos al interior del edificio volcánico. El ascenso de magma o de otros fluidos magmáticos genera sismos y otras señales sísmicas detectables por los instrumentos, que pueden constituir predecesores de la actividad eruptiva. Las señales sísmicas más frecuentes en el caso del volcán Tungurahua han sido los sismos de tipo VT (Volcano-Tectónicos), que corresponden a la formación o propagación de fracturas o fallas; los sismos de tipo LP (Largo Período), que corresponden al movimiento de fluidos (gases o magma) dentro del edificio volcánico; el tremor volcánico, que corresponde a una vibración de larga duración, puede estar asociada al movimiento o a la salida de gases a altas presiones; y los sismos híbridos, que son una mezcla de varios tipos de señales sísmicas (figs. 10A y 22).

6 El monitoreo de la *deformación del suelo* consiste en detectar cambios en la topografía del edificio volcánico (inflación o deflación) relacionados con el ascenso y con el volumen de

magma introducido en el edificio volcánico. Existen varios métodos para medir la *deformación* de un volcán: la medida de la distancia horizontal entre una base fija y un punto reflector ubicado en el edificio volcánico, para lo cual se utiliza un *distanciómetro electrónico (EDM,* fig. 24) la medida de los cambios en la pendiente del cono volcánico, utilizando *inclinómetros electrónicos (tiltmeters)*; o la medida del desplazamiento del suelo en base a *GPS (Global Positioning System).*

7 El monitoreo *geoquímico* consiste en determinar cambios en la composición química de las *fumarolas* y de las fuentes termales, cambios que pueden estar directamente relacionados con el movimiento o el ascenso de magma bajo un volcán. Adicionalmente, y debido a la dificultad y peligrosidad de realizar muéstreos periódicos de las fumarolas de los volcanes activos, se utiliza el *COSPEC (Espectrómetro de Correlación),* que permite determinar la concentración del gas de origen magmático SO_2 en la columna de emisión (figs. 10b y 25).



Figura 24. Realización de medidas de deformación del volcán con un distanciómetro electrónico (EDM) desde el sector de Cardonpamba, por parte de la Ing. Patricia Mothes. Foto: Minard L. Hall, IG-EPN.

EL MONITOREO VOLCÁNICO REALIZADO POR EL IG-EPN

8 El monitoreo volcánico del Tungurahua consta de las redes de monitoreo sísmico y de deformación, así como de los muestreos, medidas y análisis continuos de los gases y de las aguas termales. Por otro lado, desde septiembre de 1999, el IG-EPN estableció el Observatorio del Volcán Tungurahua (OVT), ubicado en el sector Guadalupe, a 15 km de la cumbre del volcán, como parte de la Red de Observatorios Volcánicos del Ecuador (ROVIG). El objetivo del OVT es doble. Por un lado, realizar un monitoreo visual de la actividad del volcán, con el fin de correlacionar la información instrumental con los datos

provenientes de las observaciones. En segundo lugar, la presencia de un científico de turno, disponible las 24 horas del día y los 365 días del año, en contacto permanente con la base del IG-EPN en Quito y con el COE cantonal de Baños, permite brindar a la población y a las autoridades la información actualizada del estado del volcán, así como de las potenciales alertas tempranas.



Figura 25. Realización de medidas de las emisiones de dióxido de azufre (SO2) en la columna de gases con el espectrómetro de correlación (COSPEC), por parte de la Ing. Silvana Hidalgo. La medición se hace a partir de un sitio lejano al volcán, en este caso desde el sector de la confluencia de los ríos Puela y Chambo, al sur del volcán. Foto: Jean Philippe Eissen, IRD.

9 El monitoreo sísmico del volcán Tungurahua, realizado por el Instituto Geofísico, se inició en 1989 con la instalación de una estación sísmica ubicada en el flanco norte del volcán. Posteriormente, entre 1992 y 2000, el ex INECEL mantuvo un convenio de cooperación con el IG-EPN, el cual permitió la ampliación y funcionamiento de las redes de monitoreo. Su funcionamiento durante varios años permitió la definición de un nivel de base de la actividad del volcán, lo cual a su vez permitió identificar el inicio del proceso de reactivación del Tungurahua a mediados de 1999.

10 Así, previo al inicio del presente período eruptivo, la red contaba con cinco estaciones sísmicas ubicadas en los flancos norte, occidental y sur del volcán. A raíz de la reactivación del Tungurahua, algunas de estas estaciones fueron destruidas, de manera que debieron ser reinstaladas en lugares más seguros. Adicionalmente, se completó dicha red con el fin de monitorear el flanco oriental del volcán y de mejorar la calidad de la información sísmica, para lo cual se instaló una estación de *Banda Ancha* y otra *estación de tres componentes.* En la actualidad, la red (fig. 26) consta de nueve estaciones sísmicas ubicadas en todos los flancos del edificio, a distancias comprendidas entre 2,1 y 6,5 km desde el *cráter.* De estas estaciones, siete están constituidas por un sensor sísmico vertical de período corto, una estación de tres componentes y una estación de banda ancha. Esta información es transmitida vía radio a nuestra base en Quito, así como al OVT.

11 La red de *monitoreo de la deformación* (fig. 27) consta de dos inclinómetros electrónicos ubicados en los flancos norte y noroccidental; y de cinco bases de EDM que permiten medir permanentemente 11 líneas de EDM. Esta red permite monitorear las posibles deformaciones del cono joven del Tungurahua (flancos norte y occidental).

12 El *monitoreo geoquímico* consiste en hacer un muestreo periódico de las aguas y gases de las fuentes termales de La Virgen, El Salado y Santa Ana, en el flanco norte; y de Palitagua en el flanco sur. Adicionalmente, desde el inicio de la reactivación del volcán (a mediados de 1999) se miden periódicamente las emisiones de SO2 en la columna de gases y vapor que frecuentemente sale desde el cráter. Estas medidas se realizan con la ayuda del COSPEC (fig. 25).

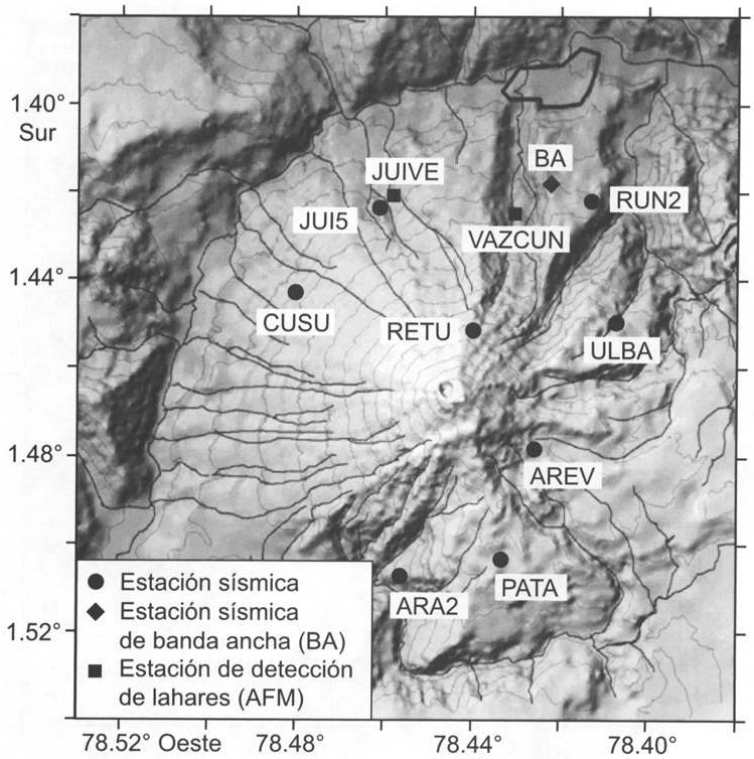


Figura 26. Red de monitoreo sísmico y detectores de lahares (AFM) del volcán Tungurahua, mayo del 2003 (Fuente: IG-EPN).

13 Finalmente, desde enero del 2000 se inició una estrecha cooperación con el COE cantonal de Baños, quienes establecieron una red compuesta por 15 vigías, quienes, por vivir en los alrededores del Tungurahua, pueden brindar un control visual y auditivo de la actividad del volcán. Ellos son parte fundamental del monitoreo volcánico, pues constituyen los "ojos y oídos" del Observatorio. El OVT mantiene un contacto directo y frecuente con los vigías, a través de un sistema de radio provisto por la Defensa Civil, quienes están siempre dispuestos a colaborar en el monitoreo volcánico.

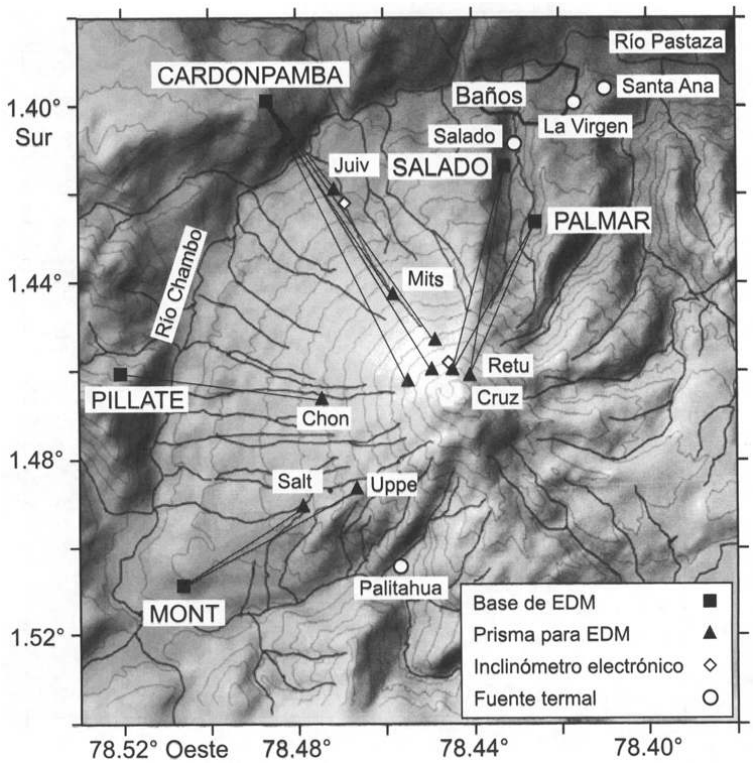


Figura 27. Red de monitoreo de la deformación y ubicación de las fuentes termales, mayo del 2003 (Fuente: IG-EPN).

5. La continuación del proceso eruptivo del volcán Tungurahua

1 En octubre del 2002, la erupción del volcán Tungurahua cumplió 3 años. Durante este lapso el volcán ha presentado períodos de intensa actividad eruptiva, intercalados con períodos de baja actividad. Durante los momentos de alta actividad, el estilo eruptivo del Tungurahua se ha caracterizado por la emisión continua de ceniza, vapor y otros gases y la ocurrencia de fuertes explosiones que forman columnas de gases y ceniza de varios kilómetros de altura, que frecuentemente producen detonaciones audibles en toda la zona *(cañonazos).* Por el contrario, cuando el volcán presenta un nivel bajo de actividad, ésta se caracteriza únicamente por la ocurrencia de emisiones de vapor y gases, con escasa presencia de ceniza.

2 En los instantes de mayor actividad del Tungurahua, los fenómenos volcánicos que han afectado a su zona de influencia han sido, hasta la fecha, el impacto de proyectiles (bloques, bombas, etc.) lanzados durante la actividad explosiva hacia los flancos superiores del volcán; los flujos de lodo y escombros (lahares) que han afectado los cauces de las quebradas de los flancos occidental y noroccidental del edificio volcánico; y las caídas de ceniza tanto en los flancos del volcán como en amplias zonas al occidente (sector comprendido entre Pelileo, Mocha, Guano y Penipe). Sin embargo, a pesar de que la actividad del volcán ha sido casi continua desde el inicio de la erupción, hasta la fecha (mayo 2003) no se han producido flujos piroclásticos o nubes ardientes, fenómenos que, por el contrario, sí han estado presentes en cada una de las erupciones anteriores del Tungurahua ocurridas durante la época posterior a la conquista española (1640, 1773,1886 y 1916-1918). Cabe recordar que los flujos piroclásticos son fenómenos altamente destructores que podrían afectar los flancos occidentales del cono volcánico, desde el sector de Juive Chico hasta Puela; así como los valles de Vazcún y Ulba, en el flanco norte, durante episodios eruptivos más intensos que los que hasta ahora han ocurrido.

3 Existen dos realidades diferentes con respecto a los efectos esperados o ya producidos por la actividad del volcán.

- Los flancos mismos del volcán, en especial los flancos occidental y norte, y el cauce de los ríos Chambo y Pastaza, han sido y pueden seguir siendo afectados por caídas de ceniza y flujos de lodo; pero en caso de una erupción de mayor tamaño, lo serán por flujos

piroelásticos. En este último caso, la única solución es la evacuación de los sitios potencialmente afectados horas o días antes de que ocurra una erupción suficientemente grande como para producir este tipo de fenómenos.

- Por el contrario, la zona al occidente del río Chambo ha sufrido y seguramente será nuevamente afectada por las caídas de ceniza. Esta situación exige que los planes de contingencia al occidente del río Chambo sean diferentes a aquellos que se definan para la zona cercana al volcán; es decir, que se aborden los problemas relacionados con la exposición permanente de la población a la ceniza y sus secuelas de enfermedades respiratorias e intestinales, con la destrucción de los sembríos y la imposiblidad de conseguir créditos para recuperar la tierra, con la seguridad alimentaria y la salud del ganado mayor y menor, con la corrosión de techos metálicos, herramientas, maquinaria y otros.

4 El estudio de la documentación histórica, en especial de aquella correspondiente al período eruptivo iniciado en 1916 (Martínez, 1932), es altamente instructiva, pues se describen de manera detallada los procesos eruptivos. De ella se pueden extraer algunas enseñanzas para llegar a un mejor entendimiento de los fenómenos, sus tamaños y sus tiempos, así como a una cabal preparación que permita una convivencia más segura con el volcán. Entre lo importante se destaca que la erupción más importante de un ciclo eruptivo no viene necesariamente al inicio, como en 1916-1918, cuando la erupción mayor ocurrió cerca de dos años después de iniciado el ciclo; que la actividad eruptiva puede extenderse por algunos años, pues durante aquella ocasión, si bien la actividad disminuyó en importancia a partir de finales de 1918, se prolongó de manera más o menos continua hasta 1925; y que, aunque se tenga la percepción de que el volcán "no hará nada más de lo que ya ha hecho" y que las erupciones moderadas que están ocurriendo se hayan convertido en parte del paisaje normal de la zona, es más seguro estar preparado para lo peor, esperando que nunca ocurra, a no estar preparado y que efectivamente suceda lo peor.

5 En base a las características del presente período eruptivo y a la actividad histórica del volcán, se puede razonablemente esperar que el presente ciclo del volcán Tungurahua se extienda por varios años más y que dentro de éste ocurran una o más erupciones lo suficientemente importantes como para producir flujos piroclásticos, como sucedió en todas las erupciones históricas pasadas (1640, 1773,1886 y 1916-1918). Además, no se puede descartar la posibilidad de que el actual proceso eruptivo termine con la emisión de flujos de lava, como fue el caso en dos erupciones históricas (1773 y 1886).

6 En función del entorno volcánico, geográfico y social que presenta la zona del Tungurahua, es claro que la comunidad que vive en los alrededores del volcán quiere, tiene la necesidad de y está aprendiendo a convivir con su realidad; pero esta convivencia necesita involucrar cada vez más conceptos de prevención del riesgo y de preparación ante la amenaza volcánica. La construcción de un ambiente de seguridad frente a la actividad del volcán es una tarea que debe estar asentada sobre tres pilares fundamentales:

1. Un sistema de vigilancia permanente, que permita a los científicos emitir las alertas tempranas, es decir la información que las autoridades y la población necesitan para actuar de la manera más oportuna y eficiente, teniendo en cuenta siempre su seguridad antes que su comodidad o conveniencia particular. Esto implica el actuar conservadoramente, preventivamente, conociendo y aceptando el hecho que, si bien el monitoreo volcánico realizado por el IG-EPN permite detectar los cambios que ocurren en el volcán, los

fenómenos volcánicos son procesos naturales extremadamente complejos, que involucran grandes incertidumbres sobre las cuales la ciencia moderna no tiene un completo entendimiento todavía. Por esta razón, los pronunciamientos técnico-científicos relacionados con la evolución futura del fenómeno (tamaño o momento exacto de una erupción y sus consecuencias) no pueden tener carácter de certezas, sino que deben ser tomados como el mejor conocimiento valedero, basado en el mejor análisis disponible para que la comunidad adopte responsablemente las medidas más adecuadas en función de su propia seguridad.

2. Una sociedad organizada, preparada, conocedora de los peligros a los que está expuesta y de las medidas tanto preventivas como precautelatorias que debe tomar para evitar o afrontar el fenómeno natural, que conozca el riesgo al que está expuesta, que responsablemente acepte las incertidumbres, las "falsas alarmas" y que esté dispuesta siempre a actuar en seguridad. El conocimiento del riesgo admisible y la aceptación de su responsabilidad por parte de los dirigentes políticos es fundamental para consolidar este pilar.
3. Un sistema efectivo de comunicación, que permita transmitir adecuadamente a la comunidad tanto el riesgo al que está expuesta como las acciones a tomarse de manera inmediata en caso de ser necesario (por ejemplo, una red de alarmas ante la posible presencia de flujos piroclásticos o una red de aviso ante la ocurrencia de lañares). Este sistema necesariamente involucra una serie de componentes tanto instrumentales como organizacionales, que necesitan ser probados y repetidos, de tal manera que pasen a ser parte del quehacer cotidiano de la comunidad. Se debe tomar en cuenta que en situaciones específicas, como es el caso de las zonas amenazadas por flujos piroclásticos, los tiempos de reacción pueden ser muy pequeños (del orden de pocos minutos para las áreas de máximo peligro), por lo que las alertas tempranas deben estar diseñadas para darse de tal manera que la población tenga un tiempo razonable de reacción (del orden de horas o inclusive días), a pesar del riesgo de incurrir en las llamadas "falsas alarmas". Estas en realidad no lo son, sino que representan pronunciamientos razonablemente decididos, que incluyen a todas las incertidumbres del caso, en función del riesgo aceptable por la sociedad. Esto implica que es la sociedad, a través de las autoridades responsables, quien tiene que comunicar a sus científicos cuándo y cómo emitir tales pronunciamientos y que está dispuesta a aceptar llamados preventivos para alejarse temporalmente de las zonas de alto riesgo, a pesar de que los eventos pudieran no ocurrir.

7 Si la cotidianeidad y el desarrollo futuro de la comunidad en riesgo ante la presencia de un volcán en pleno proceso de erupción se logra asentar sobre estos tres pilares fundamentales-vigilancia permanente, conciencia y organización comunitaria, y comunicación adecuada-, podemos estar seguros de que habremos dado un gran paso en la conformación de una sociedad responsable que acepta y sabe cómo convivir con un volcán activo.



Figura 28. El volcán Tungurahua con su manto de nieve antes de su reactivación. 31 de mayo de 1999 (Foto: Michel Monzier, IRD/IG-EPN).

Referencias

Aguilar J,, Hernández R. Carrasco D. & Romero R., 2003, Interferometría Diferencial (InSAR) en Tungurahua y Galápagos, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Andrade D., Hall M.L., Ramón R, Mothes P.A., Ruiz A.G. & Hidalgo S., 2003, Observación instrumental de lahares en el volcán Tungurahua entre abril-2000 y agosto-2001, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Barberi R, Coltelli M., Ferrara G., Innocenti F., Navarro J. M. & Santacroce R., 1988, *Plio-Quaternary volcanism in Ecuador: Geological Magazine,* v. 125, pp. 1-14.

Clapperton C.M., 1993, *Quaternary geology and geomorphology of South America,* Elsevier, 779 pp.

Hall M.L., Robin C., Beate B., Mothes R & Monzier M., 1999, Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards, *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* v. 91, pp. 1-21.

Hall M.L., Robin C., Beate B., Mothes P. & Monzier M., 2002, *Mapa de peligros potenciales del volcán Tunguarahua,* Ed. IGM, Quito.

Jaya D., Le Pennec J.-L., Troncoso L., Samaniego P. & Barba D., 2003, Depósitos y magnitud de un evento explosivo mayor asociado al colapso del volcán Tungurahua en el Holoceno. *V Jornadas de Ciencias de la Tierra,* Escuela Politécnica Nacional, Quito, 8-11 abril 2001, Memorias, pp. 82-84.

Le Pennec J.-L., Mothes P., Hall M.L., Ramón P. & Ruiz G.A., 2002, Maximum and minimum volume estimates of an ash fall layer frm the August 2001 eruption of Mt. Tungurahua (Ecuador). *Fifth International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG),* Toulouse, France, Editions IRD, pp. 371-374.

Le Pennec J.-L., Ruiz A.G., Mothes P.A., Hall M.L. & Ramón P., 2003, Estimaciones del volumen global del depósito de ceniza de la erupción de agosto del 2001 del volcán Tungurahua, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Martínez A., 1886, Reporte en el periódico *La Nación,* 17 de marzo de 1886, Guayaquil.

Martínez N., 1932, *Las grandes erupciones del Tungurahua de los años 1916-1918.* Publicaciones del Observatorio Astronómico de Quito, Sección de Geofísica, Quito.

Molina C.I. & Ruiz M.C., 2003, Cambios temporales del valor de *ir.* posibles correlaciones con el tremor volcánico y los cambios geoquímicos de las fuentes termales del Tungurahua, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Molina C.I. & Ruiz M.C., 2003, Estudio temporal de las frecuencias del tremor volcánico del Tungurahua, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Molina C.I. & Ruiz M.C., 2003, Precursores de la actividad sísmica en el Volcán Tungurahua, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Molina C.I., Acevedo A.P. & Ruiz M.C., 2003, Relocalización de los eventos sísmicos del volcán Tungurahua y su análisis de error, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Mothes P.A., Hall M.L., Hoblitt R.P. & Newhall C., 2002, Caracterización de los flujos piroclásticos producidos por el volcán Tungurahua y evidencia de dichos flujos en la ciudad de Baños, *Boletín de Investigaciones en Geociencias,* Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito (en prensa).

Mothes P.A., Hall M.L., Hoblitt R.P. & Newhall C., 2003, Caracterización de los flujos piroclásticos producidos por el volcán Tungurahua (Ecuador): Evidencias de dichos flujos en la ciudad de Baños, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Nairn I.A., 1991, Volcanic hazards of Okataina Volcanic Centre. New Zealand Ministre of Civil Defense, Volcanic Hazards Information Series No. 2, 29 pp.

Neall V.E., Houghton B.F., Cronin S.J., Donoghue S.L., Hodgson K.A., Johnson D.M., Lecointre J.A. & Mitchell A.R., 1999, Volcanic hazards at Ruapehu volcano. New Zealand Ministre of Civil Defense, Volcanic Hazards Information Series No. 8, 30 pp.

Newhall C.G. & Self S., 1982, The volcanic explosivity index (VEI): an estímate of explosive magnitude for historical eruptions, *Journal of Geophysical Research,* v. 87, pp. 1231-1238.

Ruiz A.G., Barba D.P., Yepes H. & Hall M.L., 2003, Las nubes de ceniza del volcán Tungurahua entre octubre 1999-septiembre 2001, *Boletín del Instituto Geofísico,* Quito (en prensa).

Simkin T. & Siebert L.,1994, Volcanoes of the world, Geosciences Press Inc., Washington D.C., 349 pp.

USGS Cascades Volcano Observatory Webpage (http://volcan.wr.usgs.gov)

Glosario

1 **a.C.:** Se dice de las fechas obtenidas en base a dataciones radiométricas antes del nacimiento de Cristo.

2 **AFM (Acoustic Flow Meter):** Sensor sísmico capaz de detectar las vibraciones del suelo causadas por el paso de un *flujo de lodo y escombros.*

3 **Andesita:** Roca de origen volcánico de color gris, que contiene entre 53 y 63% de *sílice.* El color, la composición química, la *viscosidad y* el carácter eruptivo son intermedios entre un *basalto* y una *dacita.* Es el caso de la mayoría de rocas del volcán Tungurahua.

4 **AP:** Antes del presente. Abreviación utilizada para referirse a una fecha ocurrida en el pasado.

5 **Arco volcánico:** Cadena de volcanes (islas o montañas) ubicada cerca de los límites de las *placas tectónicas,* formados como consecuencia del magmatismo asociado a las zonas de *subducción.*

6 **Avalancha de escombros:** Grandes deslizamientos que pueden ocurrir en un *volcán,* y que desplazan enormes volúmenes de rocas y otros materiales a altas velocidades y a grandes distancias desde el volcán. Estos deslizamientos se producen por la inestabilidad de los flancos del volcán, fenómeno que puede deberse a la intrusión de magma en el edificio volcánico, a un *sismo* de gran magnitud o al debilitamiento de la estructura del volcán inducido, por ejemplo, por la alteración *hidrotermal.*

7 **Basalto:** Roca de origen volcánico de color gris oscuro, que contiene menos de 53% de *sílice.* En estado fundido presenta una baja viscosidad, que implica una erupción generalmente no explosiva que produce *flujos de lava* (ej. *islas Galápagos*).

8 **Balístico (fragmento):** Fragmento de roca expulsado violentamente por una erupción volcánica, que sigue una trayectoria balística, en forma de elipse.

9 **Blast:** Explosión volcánica de gran escala producida por la despresurización violenta de un cuerpo de *magma* cercano a la superficie. Este fenómeno puede deberse a un deslizamiento de una parte de un edificio volcánico. Ver *avalancha de escombros.* Un *blast* es una mezcla caliente de baja densidad de fragmentos de roca, ceniza y gases que se mueve a altas velocidades a través de la superficie terrestre.

10 **Bloques** y **bombas volcánicos:** Fragmentos de lava de tamaños superiores a 64 mm, expulsados por una erupción volcánica. Si son expulsados en estado sólido se denominan

bloques, mientras que si son expulsados en estado semisólido o plástico se denominan bombas.

11 **Caída de ceniza:** Fenómeno por el cual la ceniza (u otros materiales piroclásticos) cae por acción de la gravedad desde una *columna eruptiva.* La distribución de ceniza es función de la dirección de los vientos.

12 **Caldera:** Gran depresión de origen volcánico, generalmente de forma circular o elíptica, de varios kilómetros hasta varias decenas de kilómeros de diámetro, formada por grandes erupciones volcánicas. La depresión (o anfiteatro) formada por el deslizamiento de un flanco de un volcán (colapso sectorial) se denomina *caldera de avalancha.*

13 **Cámara magmática:** Reservorio subterráneo de *magma,* ubicado varios kilómetros bajo un volcán.

14 **Carbono-14:** Método de *dataciones radiométricas,* basado en el decaimiento radiactivo del *Carbono-14* en *Carbono-12.* Utilizado para determinar la edad de las erupciones volcánicas menores a 40 000 años antes del presente (AP).

15 **Ceniza o ceniza volcánica:** Fragmentos de roca de origen volcánico de tamaño menor a 2 mm, expulsados en la atmósfera por una explosión volcánica.

16 **Colapso sectorial:** Proceso de destrucción de una parte del edificio volcánico. Las *avalanchas de escombros* se producen por el colapso sectorial de un volcán.

17 **Columna eruptiva:** El material expulsado por una erupción volcánica puede ascender verticalmente sobre el cráter, formando una nube de erupción o columna eruptiva.

18 **Conducto volcánico:** Pasaje subterráneo por el cual el magma asciende desde una *cámara magmática* hacia la superficie.

19 **COSPEC**: ver *Espectrómetro de correlación.*

20 **Corteza:** Parte más externa y rígida de la Tierra. Generalmente está constituida de rocas de composición basáltica (océanos) o de rocas más silíceas (continentes).

21 **Cuaternario:** Período de la historia geológica iniciado hace 2 millones de años. Está constituido por dos épocas: el *Pleistoceno* (*2* millones-10 000 años antes del presente) y el *Holoceno* (10 000 hasta el presente).

22 **Cráter:** Depresión de forma aproximadamente circular, de menos de 2 kilómetros de diametro, con paredes muy empinadas, generalmente ubicada en la cima de un *volcán,* y formada por la explosión o el colapso asociado/a con una erupción volcánica.

23 **Dacita:** Roca de origen volcánico de color gris claro y enriquecida en *sílice* (entre 63 y 68% SiO_2). En estado fundido presenta generalmente una alta *viscosidad.* Las erupciones de magmas dacíticos son generalmente explosivas (ej. *Guagua Pichincha*) y pueden producir enormes volúmenes de *tefra, flujos piroclásticos* y *domos de lava.*

24 **d.C.:** Se dice de las fechas obtenidas en base a dataciones radiométricas después del nacimiento de Cristo.

25 **Datación radiométrica:** Método que permite determinar la edad de una roca en base al decaimiento radiactivo de diferentes elementos (ej. *Carbono-14*).

26 **Deformación:** Uno de los parámetros que, junto con la sismicidad y el control geoquímico, permite monitorear el estado de un volcán. El control de la deformación consiste en realizar medidas periódicas de la posición de puntos fijos y ver sus posibles variaciones en el tiempo. Estas medidas pueden ser realizadas por medio de *inclinómetros, EDM (Electronic Distance Measure), GPS (Global Positioning System),* entre otros.

27 **Desplazamiento reducido (DR):** Parámetro sísmico utilizado para cuantificar el tamaño de las explosiones volcánicas. Este parámetro es proporcional a la energía liberada por un evento explosivo. El DR se calcula en función de la amplitud del desplazamiento del terreno producido por una onda sísmica y la distancia recorrida por dicha onda.

28 **Distanciómetro electrónico:** Instrumento científico de alta precisión que permite medir con una precisión de milímetros distancias horizontales. Se compone de un espejo (prisma) que se coloca en un sitio fijo y desde otro punto, igualmente fijo, se emite un rayo láser hacia el espejo. Se mide el tiempo de viaje del láser y se determina la distancia. La comparación con medidas anteriores permite reparar en las variaciones existentes.

29 **Domo:** Abultamiento en forma de cúpula formada por la acumulación de lava viscosa, caracterizada por presentar flancos muy pendientes. Generalmente están formados por lavas de composición *andesítica, dacítica* o *riolítica* y pueden alcanzar alturas de cientos de metros.

30 **Escala de Ritcher:** Escala que mide la *magnitud* o energía liberada por un sismo. Los incrementos de energía son de forma logarítmica, lo que quiere decir que un sismo de magnitud 8 libera 10 veces más energía que un sismo de magnitud 7. La magnitud de un sismo se estima en base a los registros de los instrumentos sísmicos.

31 **Escoria:** Fragmentos de lava formados cuando pequeños volúmenes de lava (generalmente *basalto o ande sita*), aún en estado líquido, son expulsados hacia la atmósfera, se enfrían en el aire y caen en forma de fragmentos oscuros de roca volcánica ricos en cavidades.

32 **EDM (Electronic Distance Measure):** ver *Distanciómetro electrónico.*

33 **Espectrómetro de correlación:** Instrumento científico que permite determinar la cantidad de dióxido de azufre (SO_2) en la columna de gases emitida desde el cráter. La medición se hace a partir de un sitio lejano al volcán.

34 **Estratovolcán:** Edificio volcánico de flancos con fuertes pendientes construido por el apilamiento de flujos de lava y niveles de tefra (ej. *Tungurahua, Cotopaxi, Cayambe, Chimborazo, etc.*).

35 **Estromboliana (erupción):** Tipo de erupción volcánica caracterizada por un dinamismo eruptivo un poco más explosivo que en una erupción *hawaiiana.* En este tipo de erupción existe una importante producción de ceniza y escoria, la cual se acumula en los alrededores del cráter para formar un *cono* (cono *de escoria* o *cono estromboliano*). Este término proviene del volcán *Stromboli* (Italia).

36 **Estación sísmica:** Grupo de instrumentos científicos que permite detectar las vibraciones del suelo. Consta de un sensor sísmico *(sismómetro)* y de un equipo electrónico que transmite en tiempo real la señal sísmica desde el terreno hasta el observatorio. Existen varios tipos de estaciones sísmicas. Generalmente, estos equipos registran las vibraciones del suelo en un rango de frecuencias comprendido entre 1 *Hz* y varios cientos de *Hz.* **Estación de un componente,** constituida por un sensor sísmico que detecta únicamente los movimientos verticales del suelo. **Estación de tres componentes,** constituida por un sensor sísmico que permite detectar el movimiento del suelo en las tres dimensiones (vertical y dos horizontales). **Estación de Banda Ancha,** estación sísmica de tres componentes que pueden detectar las vibraciones del suelo dentro de una banda de frecuencias comprendida entre menos de 0.01 *Hz* y varios cientos de *Hz.*

37 **Flujo de lava:** Derrame o corriente de roca fundida originados en un cráter o en fracturas de los flancos del volcán. Los flujos de lava descienden por los flancos del volcán restringidos únicamente a las quebradas y pueden viajar ladera abajo hasta por varias decenas de kilómetros, desplazándose generalmente a bajas velocidades, en el orden de decenas y raramente de centenas de metros por hora, para lavas de tipo andesitas a dacitas.

38 **Flujo piroclástico:** Mezcla caliente (300-800°C) de gases, ceniza y fragmentos de roca, que descienden por los flancos del volcán, desplazándose a grandes velocidades (50-250 km/h). Ocurren generalmente en erupciones grandes y explosivas o por el colapso del frente de un domo o un flujo de lava.

39 **Flujos de lodo** y **escombros (lahares):** Mezclas de materiales volcánicos, removilizados por el agua proveniente de la fusión del casquete glaciar, de un lago cratérico o de fuertes lluvias. Estos flujos se mueven ladera abajo, movidos por la fuerza de la gravedad, a grandes velocidades (hasta 100 km/h), siguiendo los drenajes existentes; sin embargo, pueden sobrepasar pequeñas barreras topográficas con relativa facilidad.

40 **Freática (erupción):** Explosión de vapor, agua y otros materiales, resultado del calentamiento del agua subterránea y de la acumulación de vapor en niveles bajo la superficie. Este tipo de erupción ocurre cuando el agua subterránea entra en contacto con rocas calientes en las cercanías de un cuerpo de magma. En este tipo de erupción el magma no se encuentra involucrado.

41 **Freatomagmática (erupción):** Explosión volcánica que envuelve gases magmáticos y vapor, combinados con lava y otros fragmentos de roca. Este tipo de actividad volcánica es el resultado de la interacción entre el agua subterránea, del mar o de un lago, y el magma.

42 **Fuente de lava:** Emisión explosiva de gases y materiales piroclásticos en estado fundido que ascienden decenas a cientos de metros del cráter. Este tipo de actividad es sostenida por minutos a horas de duración.

43 **Fumarola:** Emanación de gases y vapor de agua, generalmente a altas temperaturas, que salen de fracturas o grietas de la superficie de un volcán o de una zona con actividad volcánica. La mayor parte de los gases emitidos son vapor de agua; sin embargo, se encuentran otros gases como CO_2, CO, SO_2, H_2S, CH_4, HCl, etc.

44 **GPS (Global Positioning System):** *Sistema de Posicionamiento Global* que permite conocer la ubicación (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar) de un punto sobre la superficie terrestre, en base a las señales emitidas por una serie de satélites artificiales.

45 **Hawaiiana (erupción):** Tipo de erupción de magmas basálticos caracterizada por un dinamismo eruptivo poco o nada explosivo. Este tipo de erupción involucra *fuentes de lava,* cantidades restringidas de ceniza y escoria y produce generalmente flujos de lava que salen de una fractura o de un cráter. Este término proviene de las islas Hawaii.

46 **Hidrotermal:** Relacionado con las fuentes termales o con la acción de dichos fluidos. Se denomina *alteración hidrotermal* a las transformaciones que sufren las rocas o minerales por acción de los fluidos (agua y gases) calientes asociados a un cuerpo de magma.

47 **Holoceno:** Época de la historia de la Tierra, que forma parte del período *Cuaternario y* que se extiende desde hace 10 000 años hasta el presente.

48 **Hertz** (**símbolo** *Hz*): Unidad de frecuencia. 1 Hz = 1 vibración por segundo.

49 **Inclinómetro electrónico (tiltmeter):** Instrumento científico que permite detectar las variaciones en la pendiente del terreno.

50 **Intensidad:** Escala subjetiva que mide los efectos de un *sismo* sobre las personas, las edificaciones y la naturaleza. Se utiliza generalmente la escala de Mercalli modificada.

51 **Lahares:** ver *Flujos de lodo y escombros.*

52 **Lapilli:** Fragmento de roca de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm, emitido durante una erupción volcánica.

53 **Lava:** Término utilizado para referirse al *magma* que alcanza la superficie en forma líquida y que ha perdido la mayoría de su contenido en gases. Roca fundida que erupciona de un *cráter* o una fisura eruptiva.

54 **Lluvia ácida:** Ciertos gases magmáticos (SO_2, Cl, entre otros) emitidos por un volcán en erupción, al entrar en contacto con el agua atmosférica forman ácidos fuertemente corrosivos que caen a la superficie en forma de lluvia.

55 **Mapa de peligros:** Mapa utilizado para representar las áreas potencialmente afectadas por los diferentes fenómenos volcánicos.

56 **Magma:** Roca fundida que contiene una fase líquida, gases disueltos, cristales de minerales y eventualmente burbujas de gas. Los magmas se forman a grandes profundidades en el *manto* o en la *corteza terrestre.* Cuando el magma ha perdido sus gases y alcanza la superficie se denomina *lava.* Si el magma se enfría al interior de la corteza terrestre forma las rocas intrusivas.

57 **Magnitud:** Valor que estima la energía liberada por un *sismo.* Se utiliza generalmente la *escala de Ritcher.*

58 **Manto:** Zona del interior del planeta ubicada entre la *corteza* y el *núcleo.*

59 **Nube de ceniza:** Masa de gases y ceniza, generada por una explosión volcánica o derivada de un *flujo piroclástico.*

60 **Nube ardiente:** ver *Flujo piroclástico.*

61 **Núcleo:** Parte más interna de la Tierra.

62 **Peleana (erupción):** Tipo de erupción volcánica caracterizada por el crecimiento de un *domo* de lava viscosa, el cual puede ser destruido por un colapso gravitacional o por explosiones de corta duración, produciendo *flujos piroclásticos* o nubes ardientes. Este término proviene del volcán *Montagne Pelée,* Martinica.

63 **Peligros volcánicos:** Fenómenos potencialmente dañinos que pueden ocurrir durante une erupción volcánica. Los peligros volcánicos representan la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente peligroso.

64 **Piroclastos:** Fragmentos de roca volcánica fracturada emitidos durante una erupción volcánica explosiva. Incluye *piedra pómez, ceniza y* otros fragmentos de roca.

65 **Placas tectónicas:** Grandes fragmentos que constituyen el envolvente externo de la Tierra. Estas placas se encuentran "flotando" sobre una capa más dúctil y plástica del *manto* terrestre y se desplazan lentamente, con una velocidad promedio de varios cm/ año.

66 **Pliniana (erupción):** Tipo de erupción volcánica caracterizada por una extrema violencia y explosividad, en la cual grandes cantidades de ceniza y otros materiales piroclásticos son expulsados de manera continua hacia la atmósfera, formando una *columna de erupción*

de varias decenas de kilómetros de altura (generalmente entre 10 y 40 km). Este término hace honor a *Plinio el Joven,* quién describió con gran realismo la erupción del volcán *Vesubio* (Italia) en el año 79 d.C.

67 **Piedra pómez:** Roca volcánica de color claro, llena de cavidades que la hacen muy poco densa (frecuentemente pueden flotar). Generalmente tiene una composición *dacítica* a *riolítica.* Las cavidades se forman por la expansión de los gases volcánicos durante la salida hacia la superficie.

68 **Punto caliente:** Área de una placa tectónica, donde el magma asciende desde muy pronfundo en el manto y erupciona en la superficie del planeta.

69 **Reservorio magmático:** ver *Cámara magmática.*

70 **Riesgo volcánico:** Representa los efectos dañinos de un peligro volcánico. Constituye la probabilidad de pérdida de vidas humanas, destrucción de la propiedad o pérdida de la productividad en un área afectada por un fenómeno volcánico.

71 **Riolita:** Roca volcánica de color claro, que contiene 69% o más de *sílice.* En estado fundido presenta una muy alta *viscosidad.*

72 **Sílice:** Molécula formada por un átomo de silicio y dos átomos de oxígeno (SiO_2), que constituye la base de la estructura cristalina de la mayor parte de minerales. Es el más importante factor que controla la *viscosidad* de los magmas. Entre más alto sea el contenido de sílice, más alta es la viscosidad.

73 **Sismo:** Sacudón del suelo producido por el movimiento abrupto y violento de una masa de roca a lo largo de una falla o fractura de la *corteza* terrestre. Los volcanes activos presentan una gran variedad de eventos sísmicos (ver figura 22). **Sismos de largo período (LP),** asociados al movimiento de fluidos magmáticos bajo presión en los conductos volcánicos. **Sismos Volcano-Tectónicos (VT),** asociados a la fracturación de rocas bajo un volcán. **Sismos híbridos,** mezcla de varios tipos de señales sísmicas.

74 **Sismógrafo:** Instrumento científico de alta precisión que detecta, amplía y graba las vibraciones (ondas sísmicas) producidas por los sismos.

75 **Subducción:** Proceso por el cual una *placa tectónica* colisiona con otra y se introduce en el manto terrestre bajo la otra placa. Los *arcos volcánicos* se forman paralelos a las zonas de subducción.

76 **Tefra:** Término general que comprende cualquier material sólido emitido explosivamente durante una erupción volcánica (ver también *Ceniza, Lapilli, Bloques y Bombas volcánicos, Pómez, Piroclastos, etc*).

77 **Tremor volcánico:** Señal sísmica continua y rítmica que generalmente precede o acompaña las erupciones volcánicas. El tremor volcánico está asociado al movimiento de magma o de otros fluidos magmáticos al interior del *conducto volcánico.*

78 **VEI:*El índice de Explosividad Volcánica*** (***Volcanic Explosivity Index, VEI:*** ver anexo 2), es una escala ampliamente utilizada para describir el tamaño de las erupciones volcánicas, basada, entre otros factores, en el volumen de material emitido. La escala VEI varía entre 0 y 8. Una erupción con un VEI de 0 denota una erupción no explosiva, sin importar el volumen de productos emitidos. Las erupciones con un VEI de 5 o más son consideradas "muy grandes" y ocurren raramente alrededor del planeta (alrededor de una erupción cada década).

79 **Vidrio volcánico:** Si el magma se enfría rápidamente (como durante una erupción volcánica explosiva en presencia de agua o hielo), éste no podrá cristalizar y formará un material similar al vidrio.

80 **Viscosidad:** Medida de la resistencia de un material a fluir en respuesta a un esfuerzo. Entre más alto sea el contenido de *sílice,* más alta es la *viscosidad.*

81 **Volcán:** Orificio en la superficie de la Tierra a través del cual el *magma* sale a la superficie. Con el mismo nombre se denomina la montaña, resultado de la acumulación de material volcánico.

82 **Volcán escudo:** Tipo de edificio volcánico caracterizado por las suaves pendientes de sus flancos, producidas por la acumulación *de flujos de lava* de baja viscosidad *(basaltos).*

83 **Vulcaniana (erupción):** Tipo de erupción volcánica caracterizada por la ocurrencia de eventos explosivos de corta duración que emiten material en la atmósfera hasta altitudes del orden de 20 km. Generalmente este tipo de actividad está asociado a la interacción entre el agua subterránea y el magma (erupción *freatomagmática*).

84 Modificado de la página Web del "USGS Cascades Volcano Observatory'(http://volcan.wr.usgs.gov)

Anexos

Anexo 1. Las caídas de ceniza relacionadas con las erupciones volcánicas *(modificado de Neall,* et al., *1999; y Nairn, 1991)*

1 El impacto de la caída de ceniza en las personas, animales, plantas, estructuras y maquinarias depende en gran parte del espesor del depósito. Estos efectos pueden verse incrementados en caso de lluvias, pues el peso de la ceniza aumenta con el agua. Otros pueden disminuirse con simples medidas preventivas. Con el fin de simplificar la evaluación de los peligros volcánicos asociados con las caídas de ceniza, se han establecido cinco niveles de afectación, en función del espesor de ceniza. En la siguiente tabla se detallan algunos de los efectos de las caídas de ceniza. En esta tabla, los espesores corresponden a ceniza no compactada.

Efectos sobre las personas y los animales	**Efectos sobre la propiedad y la vegetación**

≤1 mm (≤ 0.1 cm) de espesor de ceniza Pequeño o ninguno. • Irritación ligera de los ojos y las vías respiratorias. • Problemas de visibilidad y presencia de lodo (en caso de lluvias) en las carreteras. **1-5 mm (0.1-0.5 cm) de espesor deceniza** Además de los efectos causados por un espesor menor a 1 mm, se pueden tener: • Problemas en las vías respiratorias. • Inflamación de los ojos. • El ganado puede ser afectado por la falta de alimentación, contaminación de las fuentes de agua o la ingestión de forrajes contaminados con ceniza. • El suministro de agua puede ser limitado o nulo. • Contaminación de las fuentes y reservorios de agua. • Las tareas de limpieza de la ceniza requerirán de grandes cantidades de agua, por lo que la continuidad en el suministro se verá afectada por la gran demanda. • Baja visibilidad. • Los insectos pueden comenzar a morir, así como algunos animales silvestres pequeños.	• Los aeropuertos pueden verse obligados a cerrar por la posible afectación a los aviones. • Posible contaminación de las fuentes y/o reservorios de agua. • Podrían presentarse daños en los vehículos u otras maquinarias, debido al alto poder abrasivo de la ceniza. • Cierre de los aeropuertos y del espacio aéreo sobre el volcán. • Posible afectación a las cosechas. • Daños menores en las casas ocasionados por la entrada de ceniza fina, daños en los acondicionadores de aire, bombas de agua, cisternas, computadoras, etc. • Posibles cortes de la electricidad y cortocircuitos, si la ceniza fina se acumula en los aisladores eléctricos y si ésta se encuentra saturada con agua. • Las rutas necesitarán limpieza permanente para reducir el riesgo de la pérdida de visibilidad. • El sistema de alcantarillado puede ser bloqueado por la ceniza o afectado por los cortes en el suministro de agua y electricidad. • Posibles daños en la maquinaria y otros equipos eléctricos. • El transporte puede ser temporalmente afectado.
5-100 mm (0.5 cm-10 cm) de espesor de ceniza Además de los efectos causados por un espesor menor a 5 mm, se pueden tener: • Serios problemas respiratorios. • El ganado puede necesitar de alimento traído de otras partes. • Los pájaros pueden ser seriamente afectados.	• Aplastamiento de los pastos y otros arbustos. • El follaje de algunos árboles puede ser afectado; sin embargo, la mayoría de árboles puede sobrevivir. • La mayoría de pastizales será destruida si el espesor de ceniza es superior a 50 mm. • Las cosechas serán seriamente afectadas.

	• La mayoría de construcciones puede soportar el peso de la ceniza; sin embargo, las edificaciones con estructuras débiles pueden colapsar con espesores cercanos a 100 mm, sobre todo si la ceniza está húmeda. • El tráfico en las carreteras puede ser seriamente afectado por la acumulación de ceniza. Los vehículos pueden sufrir problemas por la acumulación de ceniza en los filtros de aire. • Cortes de la electricidad y peligro de incendios debidos a problemas eléctricos.
• Pérdida temporal de la visibilidad. **100-300 mm (10-30 cm) de espesor de ceniza** Además de los efectos causados por un espesor menor a 100 mm, se pueden tener: • Heridos, debido al colapso de los techos de las casas.	• Si no se realiza la limpieza permanente de la ceniza acumulada en los techos de las casas, éstos pueden colapsar, especialmente aquellas estructuras con techos grandes y planos, y si la ceniza está húmeda. • Daños severos a los árboles, caída del follaje, ruptura de ramas, etc. • Destrucción de las cosechas. • Daños en las líneas eléctricas por la caída de ramas.
> 300 mm (> 30 cm) de espesor de ceniza Además de los efectos causados por un espesor menor a 300 mm, se pueden tener: • Pérdidas humanas debido al colapso de los techos de las casas. • El ganado puede morir o ser seriamente afectado. • Muerte de la vida acuática en lagos y ríos.	• Colapso frecuente de los techos debido a la acumulación de ceniza. • Serios daños del suministro eléctrico y problemas en las telecomunicaciones. • El suelo será completamente cubierto de ceniza. Pérdida del uso del suelo por mucho tiempo(años). • Las carreteras son inutilizables hasta su limpieza. • Destrucción severa de la vegetación.

Protección contra las caídas de ceniza

- ■ La ceniza debe ser removida (con el mayor cuidado posible para evitar accidentes) de los techos de los edificios y de las casas, con el fin de evitar el colapso de los mismos.
- ■ Previo a realizar la limpieza de los techos, se debe evitar que las cañerías del agua lluvia estén selladas a fin de impedir su taponamiento.
- ■ En lo posible, se debe tratar de limpiar la ceniza sin utilizar agua, para evitar el aumento del peso de la ceniza.
- ■ Las estructuras bajas como casetas de telecomunicaciones, hidrantes contra incendios y otras estructuras ubicadas en el suelo, deben ser protegidas para evitar que sean cubiertas por la ceniza.
- ■ La ceniza se debe acumular, en lo posible, lejos de los sitios de recolección de basura.
- ■ En condiciones de caídas severas de ceniza, las ventanas y puertas de los edificios deben ser selladas para evitar la entrada de ceniza al interior de las edificaciones.

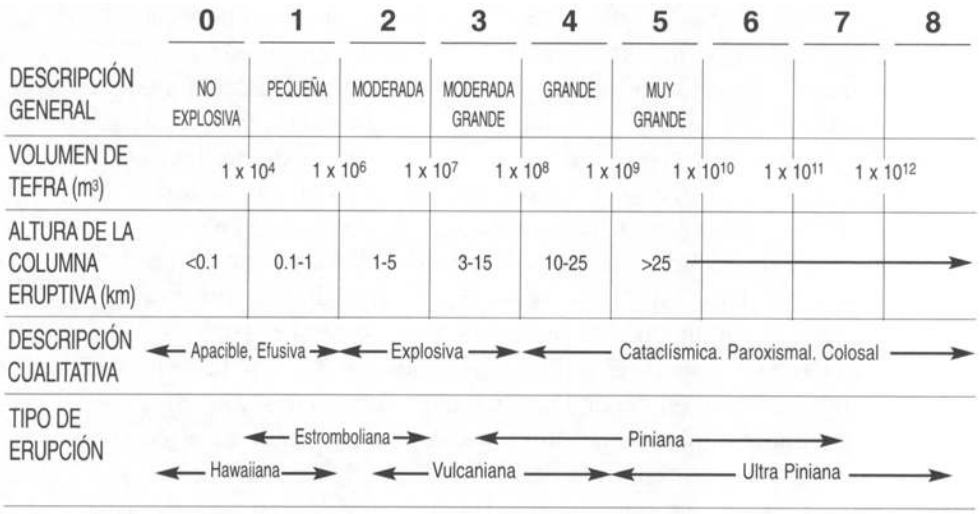
8 ■ Especial cuidado deben tener las personas que ingresen en edificios, para evitar que la ceniza entre en la ropa o en los zapatos.

9 ■ Todos los tipos de motores deben ser protegidos ante las caídas de ceniza, para evitar su afectación.

Anexo 2. Tamaño de las erupciones volcánicas estimado en base al Índice de Explosividad Volcánica

VOLCANIC EXPLOSITY INDEX (VEI)

1 El Índice de Explosividad Volcánica *(Volcanic Explosivity Index: VEI)* es una escala ampliamente utilizada para describir el tamaño de las erupciones volcánicas, basada, entre otros factores, en el volumen de material emitido. La escala VEI varía entre 0 y 8. Una erupción con un VEI de 0 denota una erupción no explosiva, sin importar el volumen de productos emitidos. Las erupciones con un VEI de 5 o más son consideradas "muy grandes" y ocurren raramente alrededor del planeta (alrededor de una erupción cada década).



Fuente: Modificado de Newhall & Self (1982) y Simkin & Siebert (1994).

Anexo 3. Testimonio histórico. Erupción del 5 de abril de 1918

Nicolás Martines

> "Campamento de Ambabaquí (Pelileo), 3 de abril por la noche.-Acabo de presenciar una erupción del Tungurahua, sin duda alguna la más formidable y terrible de este volcán, desde las de 1886. A las 6:30 p.m. hallándose el volcán, completamente despejado y al parecer muy tranquilo, vi repentinamente elevarse del cráter una columna colosal de gases de color casi negro, precedida de millares de bombas incandescentes y cruzada por centenares de relámpagos, y momentos después, llegó hasta este lugar, el trueno de un cañonazo incomparablemente mayor a cuantos he oído de este volcán, y seguido del tan conocido ruido; semejante al que hacen muchos carros al rodar por un pavimento empedrado con cantos rodados. La columna casi instantáneamente alcanzó una altura incalculable, talvez 25.000 metros, y se inclinó hacia el oriente, ya que el viento le arrastró en esa dirección. Pero lo más extraordinario y terrible y que me tiene sumamente preocupado, ya que nunca he visto cosa semejante, es que en el momento que empezaba a salir del cráter la inmensa columna, se derramó por todo el perímetro del cono visible desde aquí, como de una inmensa caldera en ebullición, una verdadera masa de vapores rogizos y de materiales al parecer sólidos e incandescentes, la cual cubrió por completo y en pocos instantes todo el cono hasta la base, dejándole completamente invisible. Ahora mi temor es el de que tanto Baños, como los caseríos de Juivi, Cusúa, Chontapamba, etc. hayan sido invadidos por esa verdadera ola de materiales inflamados, y la cual, no me queda la menor duda que es una de esas formidables "Nubes ardientes", semejante a una pequeña que observé desde Pondoa, en 1916. En cuanto a la columna de gases, permaneció visible, siempre cruzada de la bombas y relámpagos, hasta las 7.40 p.m. hora en la que terminó la erupción, quedando de ella únicamente el manto de vapores rogizos, que envuelve el cono, desde el cráter hasta la base".

1 Ahora veamos los fenómenos que se habían producido y los daños que ocasionó esta erupción; pues, yo me traslade al siguiente día a Baños, sumamente inquieto por la suerte de ese pueblo, y en los cuatro días siguientes me ocupé en recorrer todos los lugares que habían sufrido más o menos, a consecuencias ya sea de los torrentes de lodo, de arena hirviente o con la caída de lapillis y ceniza.

2 Como ya se ha visto en el párrafo de mis apuntes, la inmensa nube volcánica de esta erupción fué arrastrada por los vientos hacia el oriente y por lo tanto, todo el material

sólido que arrastró consigo, como lapillis más o menos gruesos, y ceniza, cayó en esa dirección. Como la fuerza de impulsión fué tan formidable, en los lugares más cercanos al volcán, cayó relativamente poco material sólido, el que fue aumentando a medida que se avanza hacia el Oriente, y parece que el máximum de cantidad le tocó a la región comprendida entre el río Topo y el Abitahua, pues en Cashaurco, situado al pie occidental de este cerro y a 40 kilómetros del volcán cayeron cerca de dos kilogramos de tierra, por metro cuadrado cantidad muy considerable si se tiene en cuenta que la erupción duró muy poco más de una hora. No me fué posible saber hasta donde llegó la nube volcánica hacia el Oriente, y lo único que me comunicaron después fué que en Zarayacu, a orillas del Bombonasa y a 120 kilómetros del Tungurahua, cayó abundancia de ceniza muy fina, y por lo tanto es de suponer que avanzó hasta mucho mayor distancia.

3 Respecto al tamaño de los lapillis según los lugares, he aquí lo que observé: en Baños la mayor parte tenía un diámetro de tres o cuatro centímetros, pero vi algunos que medían hasta diez, de tal modo que bien se puede decir que fué un verdadero bombardeo el que hubo en ese pueblo. En Runtún, cerro que domina al pueblo y que forma uno de los contrafuertes del Tungurahua, los potreros fueron cubiertos por lapillis también de tres a cuatro centímetros, pero los trozos más grandes eran también más numerosos, y al fin en la hacienda de San Antonio, situada en el valle superior del Ulva, y al pie mismo del volcán hacia el nordeste, los campos se cubrieron de lapillis de más de cinco centímetros, pero entre ellos se veían muchos de diez y más de diámetro. Allí, según el testimonio del cuidador de la hacienda, los trozos más gruesos cayeron todavía candentes, tanto que aseguraba que no se les podía coger con la mano, cosa que no la creo difícil por cuanto según el mismo individuo, la caída de lapillis fue casi simultánea con el principio de la erupción, por lo tanto, no tenían tiempo para enfriarse. En Agoyán las partículas de 8 a 10 milímetros, y en Cashaurco, un milímetro en término medio.

4 El fenómeno más grandioso de esta erupción, fue el de las gigantescas “Nubes ardientes”, el cual aun cuando ya lo habíamos observado en las erupciones anteriores, en ninguna de ellas alcanzó la magnitud que tuvo en ésta; pues las “Nubes ardientes” cubrieron el cono y se derramaron por todo el perímetro del cráter, tanto por sus bordes más bajos como por los más altos, ocasionando ya sea aluviones de lodo por las quebradas que nacen en la parte en que existen bancos de hielo, o bien torrentes de arena hirviente, en las que tienen su origen en las regiones desprovistas de nieve.

5 Los torrentes de arena hirviente, que descendieron por las quebradas de los Juivis, Cusúa y Chontapamba, que son los que yo pude ver personalmente, se componían en su mayor parte de arena fina de color blanco grisáseo, mezclada con trozos de lava de diferentes edades y, en mayor proporción, con restos de bombas de todo tamaño. Estos torrentes de material seco y ardiente, habían corrido como si fuera un líquido, por el fondo de todas las quebradas, hasta caer en los ríos Pastaza y Chambo, en forma de cataratas de tierra incandescente. La temperatura de este material lo mismo que la de los gases que le acompañaban, ha debido ser muy alta, pues, quemó toda la vegetación del borde de las quebradas hasta considerables distancias, y también la que crece en las márgenes opuestas de los ríos nombrados, a pesar de hallarse a cosa de 200 metros de distancia. El calor era muy intenso todavía, cuatro días después de la erupción, que fué cuando pude atravesar las quebradas, pues antes no fué posible, y con todo, aun entonces, se podía encender cigarrillos en algunas piedras, y al introducir un trozo de madera en la arena suelta, se lo sacaba, momentos después, completamente carbonizado. Con estos datos se

puede suponer que la temperatura de las “Nubes ardientes” es altísima y que seguramente pasa de los 500 grados.

6 Pero las “Nubes ardientes” más grandes descendieron por el valle del Vadcún, a la entrada de Baños, cosa nada sorprendente desde luego, por cuanto a él convergen muchas quebradas que tienen su origen en el cráter. Yo pude recorrer todo el valle caminando sobre el depósito de las “Nubes ardientes” hasta donde fue posible, cuatro días después de producido el fenómeno y lo que observé fue lo siguiente: Allí, el material depositado, era enteramente semejante al de las quebradas que ya hablé, pero inmensamente mayor, pues en algunos lugares en los que el valle se estrecha, pasó de 30 metros de espesor, según pude comprobarlo después, y niveló todo el fondo, el cual presentaba el aspecto de una carretera. El calor era todavía insoportable en los sitios más estrechos y en algunos puntos, el suelo verdaderamente quemaba, tanto que no se podía estar inmóvil muchos segundos; por otra parte, los manantiales que forman el arroyo, el cual desde luego, se hallaba absolutamente seco, al abrirse paso por medio de esa masa ardiente, levantaban torbellinos de vapor dando lugar a la formación de volcancitos en miniatura que explosionaban lanzando arena y piedras menudas hasta alguna distancia. De tal manera, que se caminaba por una especie de horno, cubierto de vapores calientes y sumamente hediondos. La vegetación, en los lugares escarpados de las márgenes, había sido quemada hasta alturas que pasaban de 100 metros, así como también fueron abrazadas algunas sementeras y pequeñas casas de los campesinos.

7 Felizmente para Baños, la erupción duró poco tiempo, y por lo tanto las “Nubes ardientes” no llegaron hasta la depresión del valle por la que se entra al pueblo, pues se detuvieron a cosa de 100 metros de ese lugar, porque si avanzaban más era seguro que hubieran penetrado a la población, y entonces de Baños no nos habría quedado sino el recuerdo, convirtiéndose en una nueva Pompeya o en un Saint Pierre de La Martinica, ciudades que fueron destruidas por este terrible fenómeno.

8 El valle del Vadcún siguió durante muchos días, envuelto en una nube de vapor de agua, producido por los manantiales que se abrían paso; pero al fin, el agua triunfó de su enemigo el fuego y empezó a correr por su antiguo cauce, pero durante algunos años, arrastró grandes cantidades de arena y de ceniza hasta que al fin pudo dejarlo limpio.

9 El desastre ocasionado por las “Nubes ardientes” en el valle del Ulva fue mucho mayor; pues, al derramarse por los campos de hielo que cubren la cumbre oriental del Tungurahua, los fundió instantáneamente en gran parte, dando lugar a un aluvión formidable de lodo, que cubrió o arrebató casas, animales y sementeras, sin causar, felizmente, ni una víctima humana. Al llegar este aluvión al Pastaza, con el ímpetu que traía, le atravezó, lanzándose sobre el barranco del frente, ocasionándole un gran derrumbe; con el material de éste y con el acarreado por el torrente, se formó una gran represa que contuvo las aguas del río, y dió origen a la formación de un hermoso lago, de más de un kilómetro de longitud, el que subsistió durante algunos meses. Pero el excedente del aluvión al correr hacia el oriente, arrebató el puente de hierro, con grandes bastiones de mampostería, colocado en Agoyán, y después de arrasar muchas playas cultivadas, arrebató también un cable de acero de la tarabita de “La Palmera”, y al fin desapareció en el ancho cause del Pastaza, en la Región Oriental.

10 Al recorrer el valle del Ulva inmediatamente después del aluvión, me sorprendió el modo como había corrido, pues parece que no duró sino pocos instantes, y que el avance lo hizo, se puede decir, a saltos, trepando a los lugares altos, y dejando casi en seco otros muy bajos, como pude comprobar en un potrero de la hacienda Punzán, el cual había sido

totalmente cubierto de lodo, a pesar de hallarse a más de 50 metros sobre el río, mientras que en el margen contrario, no llegó a subir ni 20 metros. Otro fenómeno digno de atención, fue el de una casa situada al pie de un cono de rocas, la cual quedó indemne sin embargo de que el aluvión subió hasta la cumbre del picacho, y sin embargo también de que otra casa construida en un lugar más elevado, fue con todo arrebatada sin dejar la menor señal en el lugar donde estuvo.

11 El torrente de lodo ha debido tener una consistencia muy espesa, por los bancos de tierra que dejó en los lugares algo planos y horizontales, y así en el valle superior del Ulva, pude ver después, depósitos de mas de diez metros de espesor, y ya cerca de la desembocadura en el Pastaza, fué cubierta por el lodo, una piedra muy conocida por mí, que medía más de 4 metros de alto. Me parece inútil decir que desapareció en lo absoluto toda la vegetación que crecía a lo largo del valle, hasta considerable altura.

12 1932[1]

NOTAS FINALES

1. N del E. Se ha respetado la grafía original del texto.
Este texto de Nicolás Martínez es particularmente instructivo sobre los efectos y la magnitud de una erupción grande del Tungurahua (probablemente VEI = 3). Sin embargo, creemos que con los modernos métodos científicos utilizados para el monitoreo volcánico por parte del IG-EPN, y si la población se encuentra debidamente capacitada, se podrían minimizar los efectos de una futura erupción de esta magnitud.

Anexo 4. Resumen de la actividad histórica del volcán Tungurahua

Fecha	Hora	Descripción
		1640 (1641)
¿?		Primera erupción comprobada. Solo se conocen versiones someras sobre daños.
		1773
Febrero		Explosión de poca magnitud. Posible actividad premonitora de la erupción del mes de abril.
23 abril	16-17h00	Se sienten algunos temblores previos a la erupción.
	17h00	Luego de un fuerte bramido, comenzó a emitirse desde el cráter un gran flujo de lava, que descendió hasta el sector de Juive Chico y represó el río Pastaza. Frecuentes temblores.
	Noche	Durante toda la noche se escucharon importantes bramidos.
24 abril	Mañana	Se intensifican los bramidos, generación de un flujo de lodo y de materiales incandescentes. Continúan temblores y ruidos subterráneos.
	Tarde	Se rompe el dique en el río Pastaza. Inundaciones. Importante caída de ceniza en toda la zona, especialmente hacia el Oriente.
		Durante esta erupción es afectado el primer asentamiento en el sector de Baños, denominado Fundación Santo Domingo.
Mayo		Los materiales más finos cubrieron muchas leguas, especialmente hacia el occidente. En lugares cercanos al volcán, la capa de piroclásticos alcanzó *un palmo* (20 cm, aproximadamente).
Junio		La actividad fumarólica, las emisiones y las explosiones duraron más de un mes. El volcán estuvo en actividad hasta 1782, con esporádicas explosiones.

Fecha	Hora	Descripción
		1776
3 enero		Columna de ceniza y gases.
22 octubre		Explosión con formación de una columna de ceniza y gases.
		1777
17 julio		Posible erupción. Algunos autores la catalogan de gran magnitud.
		1782
¿?		Con frecuencia se observa una columna de gases saliendo del cráter del Tungurahua.
		1857
10 nov.	05-06h00	Columna de gases.
		1859
Oct.-nov.		Se observa incandescencia en la cumbre del volcán.
		1873
8 febrero		Intensa actividad fumarólica en el cráter.
		1883
Diciembre		Actividad fumarólica mayor a la de 1873. Emisiones importantes de vapor.
		1885
Enero		Posible actividad premonitora, emisiones de vapor y gases.
16 octubre	12h00	Columna de gases y ceniza, seguida de otra de menor magnitud. Actividad premonitora de la siguiente erupción.
		1886
10 enero	Noche	Desde Riobamba se puede observar incandescencia en el Tungurahua y columnas de gases y ceniza.
11 enero	Madrugada	La actividad va en aumento.
	08h00	Se vio descender por la montaña *una nube espesa, blanca y brillante*. Probablemente se trató de material incandescente que descendió por los flancos del volcán en forma de un flujo piroclástico (nubes ardientes).
	08h10	La columna eruptiva pasó sobre Guanundo, el páramo de Sabañag, Guano, San Andrés, Chuquipogyo y San Juan. Abundante lluvia de ceniza en toda esta zona y en Riobamba. En los lugares de mayor concentración el espesor fue de hasta 15 cm. En Riobamba, la atmósfera era oscura. Represamiento del río Penipe por una *avalancha* en el sector de Yuibug.
	10h00	Bramidos del volcán oídos en Penipe y Pelileo. Desde Pelileo se observa actividad del volcán, sin ninguna manifestación previa. El volcán comienza a emitir una columna de gases y otros materiales incandescentes (¿nubes ardientes?).
	10h30	Intensa caída de ceniza que produce una densa oscuridad en Ambato. Se inicia la emisión de un flujo de lava que se dirige hacia el sector de Cusúa. La emisión del flujo de lava no fue continua, sino en emisiones con intervalos más o menos largos, hasta los días subsiguientes.
	Tarde	La atmósfera en los alrededores del volcán es turbia. Represamiento del río Chambo por *avalancha* en Yuibug.
	21h00	El flujo de lava detuvo las aguas del río Chambo en el sector de Cusúa, frente a Chacauco. Se produjeron flujos de lodo por los ríos Vazcún y Ulba.
	Noche	Represamiento del río Chambo en el sector de Cusúa, frente a Chacauco. Toda la noche se vio actividad con emisión de material incandescente. Fusión del casquete glaciar y generación de importantes flujos de lodo en el río Ulba, en Juive y por el sector de Tocchapaccha, hacia el río Puela. En Riobamba se sienten leves pero frecuentes temblores desde el comienzo de la erupción.
12 enero	09h00	La erupción alcanza su máxima magnitud. Se generan numerosos flujos piroclásticos (*en los textos de la época se habla de lava fragmentaria*). Represamiento del río Chambo.

Fecha	Hora	Descripción
		Junto con los flujos piroclásticos se generaron numerosos flujos de lodo, especialmente por las quebradas de Vazcún y Ulba de los flancos N y NE y por el río Puela del SSW del volcán.
	10h00	Generación de nubes ardientes que descendieron por varios flancos del volcán. Se reportan algunos incendios en los bosques de la base del volcán.
	15h30	Caídas de ceniza importantes en Guano y Puela que producen extrema oscuridad en estos sectores.
	21h00	Caída de ceniza en Ambato y oscuridad casi completa hasta las 07h00 del día siguiente. En Cotaló se reporta cerca de un metro de ceniza y otros materiales más gruesos. Baños incomunicado.
	Noche	Continúa el represamiento del río Chambo.
13 enero	07h00	En Mocha se escuchan ruidos provenientes del volcán y se sienten temblores. Oscuridad completa. Hasta esta hora la capa de ceniza es de aproximadamente 15 cm. Por la quebrada Quillayacu y Juive Grande descienden dos grandes lahares (la crónica habla de *torrentes de lava).*
	Mañana	Caída de ceniza continua en Pelileo. El flujo de lodo por deshielo toma el curso de los ríos Ulba y Vazcún.
14 enero	09h00	Comienza a despejarse la atmósfera, hasta aclararse por completo.
	Día	Caída de lapilli en Baños
15 enero	09h00	Cesan los temblores que se sentían en Riobamba. Cotaló es el pueblo que más ha sufrido por la caída de material piroclástico. Destrucción de casas y sembríos. Se reportan dos muertos en el sector de Puela.
16 enero	Día	Se reporta la destrucción de los puentes de Lligua, Río Verde Chico y Agoyán. Continúa la actividad del volcán. Los sectores de Juivi Grande, Juive Chico y Chontapamba quedaron cubiertos por material incandescente: bombas, arena, ceniza, etc.; con un espesor aproximado de 3 a 4 metros.

Fecha	Hora	Descripción
17 enero	Día	Generación de flujos de lodo.
	Noche	Represamiento del río Chambo en el sector de Cusúa.
18 enero	Día	El volcán sigue con actividad, pero sin explosiones. Se desborda el dique de Cusúa y las aguas alimentan la represa del río Patate.
18 enero	21h00	Explosión importante con emisión de ceniza y material piroclástico.
11 febrero	Día	El lago producido por el represamiento del río Chambo alcanza los 6 km de largo, 300 m de ancho y 30 m de profundidad. Se estima que los daños cubren 25 *leguas* en los alrededores del volcán.
	15h00	Emisiones de vapor de color rojizo.
	16h30	Columna eruptiva de color gris oscuro. Fuertes bramidos. Inicio de la emisión de un flujo de lava.
	18h45	Continúa la emisión del flujo de lava con varios ramales, siendo el más importante el que desciende hacia Chontapamba.
	Noche	El flujo de lava comienza a formar un dique en el sector de Cusúa.
12 febrero	Amanecer	Las emisiones de vapor son permanentes.
	14h00	Emisión importante de material incandescente. Se pierde la visibilidad del volcán.
	16h50	Continúa la emisión del flujo de lava. Las columnas de emisión alcanzan varios kilómetros de altura.
	17h30	Nueva emisión de material piroclástico. Durante la tarde de este día se juntaron los dos principales flujos de lava en la confluencia de la quebrada Cusúa con el río Chambo, formando el dique antes mecionado.
	19h20	Se puede observar claramente la incandescencia producida por el flujo de lava que desciende desde la cumbre hasta las faldas del volcán. Frecuentes explosiones.
13 febrero	Mañana	No se puede observar el cráter del volcán, pero éste permanece muy activo, con continuas emisiones.

Fecha	Hora	Descripción
	17h00	Por momentos se puede observar el borde del cráter. Continúa la emisión del flujo de lava.
	18h00	Se aprecia que la cantidad de material emitido desde el cráter es variable. La emisión del flujo de lava no es continua.
	19h10	Se observan numerosos relámpagos.
14 febrero	05h00	Desde esta hora no cesan los bramidos provenientes del volcán.
	07h00	Se intensifican los ruidos provenientes del volcán. Vibración de los vidrios de las casas.
	09h00	Emisión de lava visto desde La Chonta.
	Tarde	Continúa intensa actividad del volcán.
15 febrero	Día	La intensidad de la erupción comienza a disminuir.
16 febrero	Mañana	El volcán entra en una relativa calma hasta el día 25 de febrero.
17 febrero	Día	El volcán continúa con actividad, pero sin la intensidad de los días anteriores. Esporádicas explosiones y emisión de material incandescente.
25 febrero	Día	El Tungurahua entra en un período de actividad mucho mayor que las anteriores. La emisión del flujo de lava no es intermitente sino más bien de forma continua. El flujo de lava sigue bajando por el sector de Cusúa.
	Noche	Desde la noche del 25 hasta el día 26, intensa caída de ceniza en Riobamba.
26 febrero	Día	Continúa de manera ininterrumpida la emisión del flujo de lava.
27 febrero	Día	Actividad igual al día anterior.
28 febrero	Mañana	La emisión del flujo de lava continúa hasta el 3 de marzo.
	17h00	La actividad del volcán se mantiene en niveles muy importantes; se escuchan fuertes ruidos provenientes del volcán; las emisiones de vapor y ceniza son permanentes.
	21h00	Continúa la actividad del volcán, se observan numerosas

Fecha	Hora	Descripción
		explosiones que lanzan bloques y bombas sobre los flancos del volcán. La emisión del flujo de lava continúa.
	Noche	El flujo de lava fluye sin interrupción. Numerosas explosiones con emision de ceniza y bombas. Columnas de erupción que se elevan varios kilómetros sobre el cráter.
3 marzo	Noche	Continúa fluyendo el flujo de lava, pero a partir de esta fecha comenzó a disminuir la actividad.
Julio		El volcán mantuvo una actividad intermitente hasta este mes.
		1888
Diciembre		Fuertes detonaciones del Tungurahua.
		1900
¿?		La actividad del Tungurahua continuó hasta esta época. Frecuentes explosiones, pero decreciendo paulatinamente en intensidad.
		1903
Septiembre		Emisiones importantes de gases y vapor que llenan el cráter.
		1911
Marzo		Desde el inicio del mes hasta el día 11 se observaron emisiones de ceniza y gases.
		1915
Octubre		El Tungurahua comienza a dar muestras de actividad con emisiones de gases y vapor.
Noviembre		Columna de gases de color blanco visible desde Riobamba. A partir de entonces, día a día la cantidad de material emitido fue en aumento y el casquete de nieve se iba cubriendo de ceniza y bloques.
		1916
Febrero		Se comienzan a escuchar frecuentemente en Baños y en los pueblos cercanos ruidos provenientes del volcán, así como algunos sismos sentidos solo en los alrededores del mismo.

Fecha	Hora	Descripción
1 marzo		Se observa una columna bastante densa de gases que se mantiene estable hasta el anochecer del siguiente día.
2 marzo	04h00	Los pobladores de las faldas del volcán comienzan a emigrar por el incremento de las emisiones de gases.
3 marzo	06h00	Fuertes y prolongados ruidos provenientes del volcán. Incandescencia en el cráter.
	07h30	Importante caída de ceniza en pueblos del occidente del volcán.
	08h00	Cesan los ruidos. Se inicia abundante lluvia de ceniza en Baños.
	Noche	Gran columna de gases y ceniza con dirección al Chimborazo.
4 marzo	Mañana	Se escuchan nuevamente ruidos provenientes del volcán. Explosiones y emisiones de ceniza.
	Tarde	Grandes columnas de gases y ceniza.
	Noche	En toda la provincia se observa la presencia de un "velo azulino" característico de los gases de azufre.
5 marzo	09h00	Caída de ceniza en Penipe.
	Mañana	El sector de Puela se encuentra cubierto de ceniza.
	Noche	Incremento considerable de la erupción. Las explosiones se suceden cada 2 a 3 minutos. Las columnas de emisión son mucho más oscuras y con mayor cantidad de material piroclástico.
	24h00	En Baños, Agoyán y otros pueblos se escuchan ruidos provenientes del volcán y se sienten temblores.
6 marzo	Mañana	Ocurre una fuerte explosión.
	14h00	No se tiene visibilidad del volcán, pero se presume que la actividad se ha incrementado.
	17h30	Comienza a oscurecerse el ambiente en Riobamba.
	Noche	Gran explosión acampañada de un cañonazo muy fuerte. Por los ríos Vazcún y Ulba descendieron flujos de lodo importantes que remobilizaron el material emitido por la
Fecha	**Hora**	**Descripción**
		erupción. La ceniza de esta erupción llegó hasta el mar, (sector de Bahía de Caráquez).
7 marzo	08h00	Desde las primeras horas del día y hasta el siguiente día, se reportó una caída permanente de ceniza en Riobamba.
	Mañana	Se escuchan bramidos provenientes del volcán. No hay visibilidad.
	12h00	La nube de erupción cubre todos los alrededores del volcán.
	15h00	Caída de ceniza en Ambato. A las 16h00 se tenía oscuridad completa en esta ciudad.
	17h00	Comienza a aclararse la atmósfera. Todo el campo se encuentra cubierto por un material muy fino.
8 marzo	Mañana	En el trayecto entre Ambato y Baños se aprecia un "grueso manto" de material. Continúa la caída de ceniza en Pelileo, que alcanzó un espesor de más de 2 cm. Mucha oscuridad hasta la confluencia del Patate y el Chambo. El Tungurahua continúa arrojando grandes columnas de gases y ceniza. Se advierte que ha bajado material por todas las quebradas visibles. Entre Las Juntas y Baños cayó gran cantidad de lapilli de tamaño de 3 a 4 mm. El pueblo de Baños y sus habitantes se encontraban tranquilos.
	Tarde	Represamiento parcial del río Pastaza por los materiales que descendieron por el río Vazcún.
9 marzo	16h00	Pequeñas explosiones.
	Noche	El volcán se muestra muy tranquilo.
10 marzo	02h30	Formidable explosión acompañada de un fuerte cañonazo. Se observa una columna de gases y ceniza, así como incandescencia. La columna se observaba cruzada por relámpagos. Lluvia de lapilli con diámetro promedio de 10 mm.
16h30		Formidable erupción precedida de un cañonazo muy fuerte. Probablemente se generaron nubes ardientes que descendieron por los flancos del volcán.

1 Referencia de este folleto:

2 Pablo Samaniego, Jean-Philippe Eissen, Jean-Luc Le Pennec, Minard L. Hall, Michel Monzier, Patricia Mothes, Patricio Ramón, Claude Robin, José Egred, Indira Molina, Hugo Yepes

3 2003

Serie: Los peligros volcánicos en el Ecuador, No. 1

Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua

Corporación Editora Nacional, IG-EPN, IRD

Este folleto es el primero de una nueva serie que trata sobre los peligros volcánicos asociados con los principales volcanes, activos del Ecuador. Es preparada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Quito y la Unidad de Investigación "Procesos y riesgos volcánicos" del IRD (*Institut de Recherche pour le Développement.* Instituto Francés de Investigación para el Desarollo) dentro de un convenio de cooperación existente entre estas entidades.

Folletos en preparación:

No. 2: Los peligros volcánicos asociados con el volcán Cayambe.

No. 3: Los peligros volcánicos asociados con el volcán Cotopaxi.

Fecha	Hora	Descripción
	19h40	Desde Pelileo se observa que termina la erupción, quedando únicamente el manto de vapores rojizos que envuelve el cono desde el cráter hasta la base.
	23h00	Según observadores de Penipe, la erupción comenzó a disminuir en intensidad a las 20h30 y terminó a las 23h00. Luego ocurrió una nueva explosión con nubes ardientes.
1 mayo		Pequeña erupción. Lluvia de ceniza en Baños.
18 mayo	Noche	Considerable columna de gases cargada de ceniza. Bombas y relámpagos. Notable nube ardiente que desciende por Juive Grande hasta el río Pastaza, el cual se represó por algunas horas. Probablemente pequeño flujo de lava.
6 junio	11h00	Fuerte bramido y columnas de gases y ceniza de color oscuro negro. Caída de ceniza por 5 horas en Riobamba. Nubes ardientes.
14 junio		Explosión de poca importancia.
25 junio	Mañana	Explosión de regular magnitud.
16 noviembre		Considerable columna de gases cargada de cenizas. Nube ardiente de gran tamaño. La nube volcánica llega hasta Quito, donde cae ceniza muy fina.
		1919-1925
		La erupción de noviembre de 1918 fue la última importante del Tungurahua; sin embargo, durante todo este período el volcán siguió dando pequeñas muestras de actividad.
		1944
¿?		Pequeña explosión, probablemente de origen freático.
		1993
6 mayo		Pequeña explosión freática.

Fuente: Extracto de *Historia de la actividad del volcán Tungurahua,* por J. Egred (2003), Informe no publicado, IG-EPN.

Fecha	Hora	Descripción
		1918
5 enero	05h00	Formidable explosión que hace vibrar puertas y ventanas en los alrededores del volcán. En Puñapí se rompen los vidrios. Las explosiones se repiten con intervalos de 5 a 8 minutos. La montaña se encuentra cubierta por la niebla. Posible descenso de nubes ardientes.
	07h00	El volcán se encuentra completamente cubierto de niebla y no es posible observarlo. En un momento que se despeja se puede observar vegetación quemándose, por lo que se supone que han bajado nubes ardientes.
	08h30	Cesan los cañonazos (explosiones). Pequeña erupción sin consecuencias. Colosales nubes de humo negro y regular cantidad de ceniza.
21 enero		Nubes de gases y ceniza, no se escuchan ruidos provenientes del volcán. A partir de este día el volcán no presenta nada anormal.
10 febrero		Pequeña erupción sin consecuencias.
28 febrero		Desde esta fecha el volcán entra en un período de relativa calma.
15 marzo		Pequeña erupción sin consecuencias.
5 abril	16h00	Se escuchan fuertes ruidos subterráneos en Penipe y se observa una columna de gases de color oscuro. Desde Riobamba se observan emisiones de piroclastos, por el lado occidental del volcán. A continuación se elevan columnas de ceniza.
	18h30	Se inicia, según se dice, la mayor erupción desde 1886. Columna de gases y ceniza de color muy oscuro, casi negro. Millares de bombas incandescentes y centenares de relámpagos. Momentos después se escuchó el mayor estruendo que se haya producido, seguido de ruido subterráneo permanente. La columna de gases y ceniza llega aproximadamente a 25 km de altura. Masa de vapores rojizos, de materiales al parecer sólidos, se desliza por todo el contorno de la montaña, cubriendo todo el cono (indudablemente se trata de flujos piroclásticos o nubes ardientes).
	Noche	Continúa la actividad, aunque sin explosiones importantes. Permanente columna de gases y ceniza.
11 marzo	Mañana	En los flancos superiores del volcán (sitio el Mirador) la cantidad de material piroclástico alcanzó 20 cm de espesor.
	08h30	Sin signos premonitores el volcán presentó una columna de gases y ceniza de aproximadamente 15 km de altura. La actividad duró solamente 15 min., pasados los cuales retornó la calma. Importante caída de ceniza en Baños.
	Día	Durante todo el día se tuvo caída de ceniza en Riobamba. Por la noche el Tungurahua se observó sin emisiones ni incandescencia.
16 marzo	09h30	Pequeña caída de lapilli (tamaño promedio 1 mm) en Ambato.
13 abril		Durante el resto del año continuó la actividad moderada, sin explosiones notables.
		1917
Enero-oct.		Durante este año ocurrieron erupciones, en algunas temporadas casi diarias y algunas algo fuertes, pero en general de menor importancia que las de la época anterior. Uno que otro cañonazo. A veces caída de ceniza en poca cantidad, en los lugares cercanos al volcán.
18 noviembre		Considerables columnas de gases.
Noviembre		Aumento notable de la actividad. Cañonazos más frecuentes. Algunas veces los flancos del volcán son cubiertos por bloques incandescentes.
20 diciembre		El volcán estuvo expulsando material piroclástico durante 36 horas consecutivas (hasta el día 22). Colosales explosiones.
21 diciembre		Fuertes explosiones que se sintieron en Baños y otros pueblos de los alrededores. Crecidas en el río Ulba.
30 diciembre	Día	Fuerte explosión. La actividad del volcán se observa desde Riobamba.

Láminas



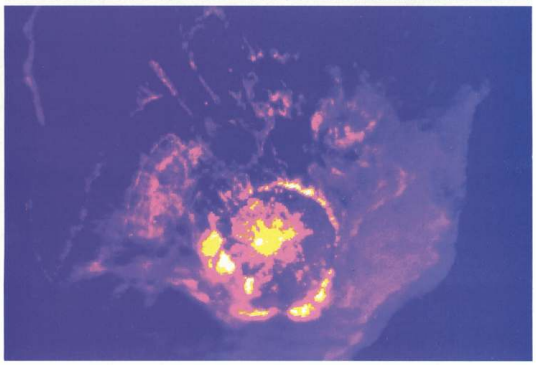
Columna de ceniza subiendo del cráter del volcán Tungurahua. Foto: Patricio Ramón, IG-EPN, 13 de noviembre de 1999.



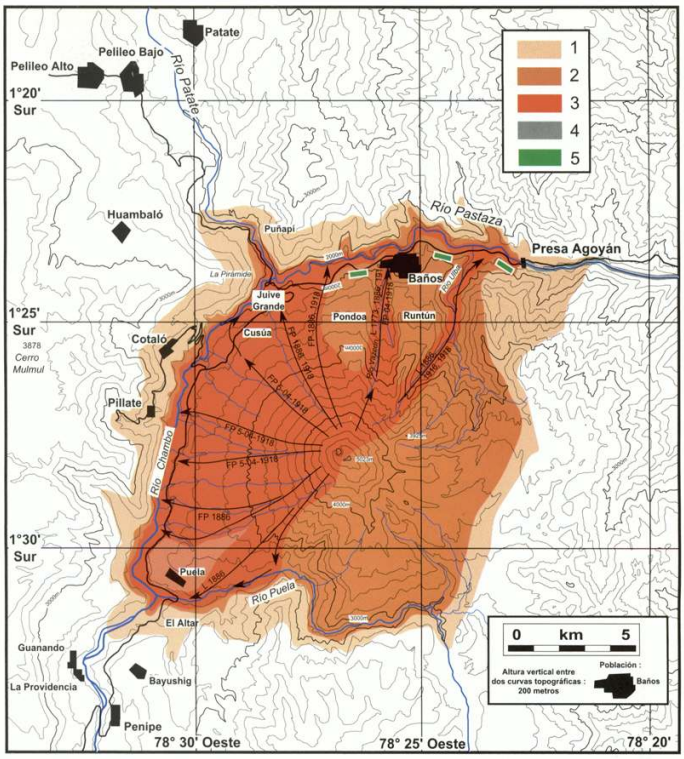


Arriba: El volcán Tungurahua con su manto de nieve antes de su reactivación. 31 de mayo de 1999. Foto: Michel Monzier, IRD/IG-EPN. Abajo: Columna de ceniza subiendo del cráter del volcán Tungurahua. Foto: Patricio Ramón, IG-EPN, 13 de noviembre de 1999.

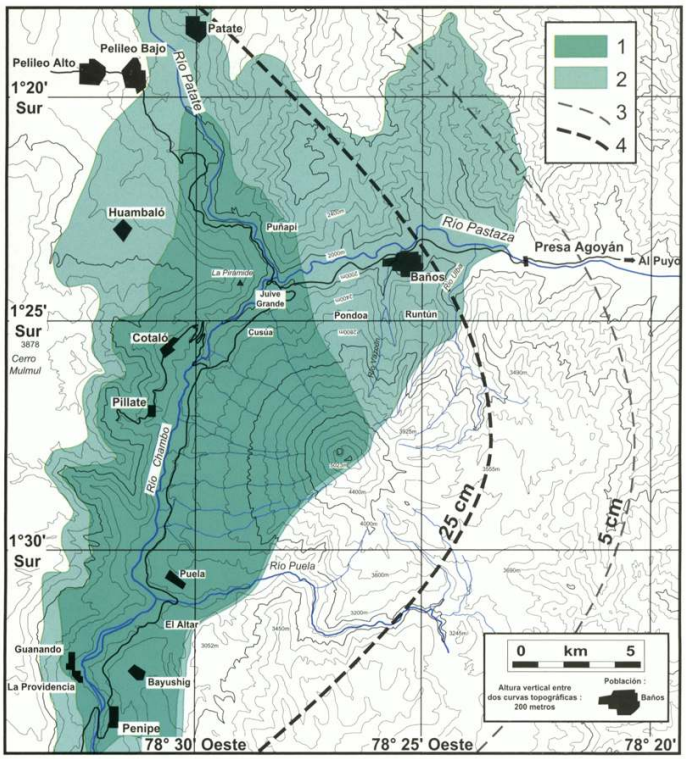




Arriba: El cráter del volcán Tungurahua. Nótese el tapón de lava que cierra el conducto. Fotografía aérea tomada por Patricio Ramón, IG-EPN, 20 de marzo del 2003). Abajo: Foto aérea del cráter del volcán Tungurahua (misma zona que la foto de arriba) tomada con una cámara térmica. Las zonas calientes resaltan con los colores más vivos. Foto: Patricio Ramón, IG-EPN y Franz Boker, BGR, 20 de marzo del 2003).



MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS: FLUJOS DE LODO Y ESCOMBROS (LAHARES), FLUJOS PIROCLÁSTICOS Y FLUJOS DE LAVA. (1) ÁREA POTENCIALMENTE AFECTADA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS, FLUJOS DE LAVA Y FLUJOS DE ESCOMBROS EN CASO DE UNA ERUPCIÓN MUY GRANDE (VEI> 4); (2) ÁREA POTENCIALMENTE AFECTADA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS, FLUJOS DE LAVA Y FLUJOS DE ESCOMBROS EN CASO DE UNA ERUPCIÓN MODERADA A GRANDE (VEI <3); (3) ÁREA AFECTADA POR POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS, FLUJOS DE LAVA Y FLUJOS DE ESCOMBROS DURANTE LAS ERUPCIONES HISTÓRICAS DEL VOLCÁN; (4) ZONA QUE PODRÍA SER AFECTADA POR FLUJOS DE LODO EN EL VALLE DEL RÍO PASTAZA; (5) ZONAS DE ALBERGUES TEMPORALES. SE DEBE NOTAR QUE LAS ZONAS NO SON EXCLUYENTES, ES DECIR QUE EL ÁREA 2 INCLUYE TAMBIÉN AL ÁREA 3, Y QUE EL ÁREA 1 INCLUYE A LAS ÁREAS 2 Y 3. BASADO EN EL MAPA DE LOS PELIGROS VOLCÁNICOS POTENCIALES DEL VOLCÁN TUNGURAHUA (HALL, *ET AL.*, 2002).



MAPA DE PELIGROS VOLCÁNICOS: CAÍDAS DE PIROCLASTOS Y AVALANCHAS DE ESCOMBROS. (1) ÁREA QUE SERÍA AFECTADA POR UNA PEQUEÑA AVALANCHA QUE AFECTE EL FLANCO OCCIDENTAL; (2) ÁREA QUE SERÍA AFECTADA POR UNA AVALANCHA GRANDE QUE IMPLIQUE LOS FLANCOS NORTE Y OCCIDENTAL; (3) ÁREA QUE PODRÍA SER AFECTADA POR UN ESPESOR DE CENIZA MAYOR A 5 CM; (4) ÁREA QUE PODRÍA SER AFECTADA POR UN ESPESOR DE CENIZA MAYOR A 25 CM. BASADO EN EL MAPA DE LOS PELIGROS POTENCIALES DEL VOLCÁN TUNGURAHUA (HALL, *ET AL.*, 2002).



Actividad estromboliana observada de noche. Foto: Patricio Ramón, (IG-EPN), noviembre de 1999.



Explosión del volcán Tungurahua vista desde Ambato, con la formación de una columna que, debido a los vientos, comienza a dirigirse hacia el oeste. Nótese la caída de ceniza bajo la columna eruptiva. Foto: Jean-Luc Le Pennec, IRD/IG-EPN, 23 de septiembre del 2002.



Explosiones estrombolianas por la noche. 10 de noviembre de 1999. Foto: Michel Monzier, IRD.



DEPÓSITOS DE FLUJOS DE LODOS QUE HAN CORTADO LA CARRETERA BAÑOS-PENIPE SOBRE EL FLANCO OESTE DEL VOLCÁN TUNGURAHUA A NIVEL DE LA QUEBRADA REA. FOTO: PATRICIO RAMÓN, IG-EPN, 27 DE FEBRERO DEL 2000.

SECUENCIA DE ALERTAS. Desarrolladas para el volcán Tungurahua antes del Inicio de su proceso eruptivo de 1999

ALERTA	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS	Tiempo probable de ocurrencia de eventos eruptivos	INTERPRETACIÓN	Acciones recomendadas de los organismos técnico-científicos a las autoridades
BLANCA	Aumento pequeño de la sismicidad, de la actividad fumarólica, de la temperatura de las fumarolas o manantiales, cambios de composición o deshielos.	Siglos Años Meses	Volcán en reposo, no hay erupción inminente.	Monitoreo del volcán. Desarrollo de planes de preparación. Mantener la comunicación entre los organismos responsables de la vigilancia, autoridades y Defensa Civil.
AMARILLA	Aumento moderado de la sismicidad y/o de la temperatura y/o explosiones freáticas y/o de gases. Posible deformación de los flancos del volcán.	Meses Semanas	Posible intrusión magmática; eventualmente puede conllevar a una erupción.	Optimización del monitoreo del volcán y del procesamiento de los datos. Consultas diarias entre el comité técnico y las autoridades. Anuncio público de la posible emergencia. Revisar y/o actualizar el plan de contingencia e intensificar la educación al público.
NARANJA	Actividad precursora intensa que incluye tremor armónico y/o incremento de sismos y/o aceleración de la deformación y/o explosiones freáticas y/o actividad eruptiva poco explosiva.	Semanas Días	Magma cercano a la superficie, o en el cráter del volcán, erupción explosiva probable.	Realizar evaluaciones técnico-científicas permanentes del estado del volcán y anunciar una posible erupción. Tomar las acciones inmediatas establecidas en los planes de contingencia.
ROJA	Proceso eruptivo altamente explosivo en curso.	Días Horas En curso	Erupciones explosivas en marcha. Posible ocurrencia de una erupción mayor.	Confirmar la erupción en curso. Responder de acuerdo a los fenómenos eruptivos que se presenten.

Esta secuencia se limita a proponer acciones a tomar por parte de un comité técnico-científico y de las autoridades responsables. No especifica las acciones a tormarse por parte de la población, que es materia de los planes de contingencia específicos. Se debe aclarar, además, que el nivel de alerta para el volcán es uno solo, pues representa el nivel de actividad del mismo.