



¿Cómo es el volcán 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, en su segunda edición, responde a estas inquietudes que actualmente son parte de la vida cotidiana de grandes sectores de población.



Institut de recherche  
pour le développement



Tungurahua

Los peligros volcánicos en Ecuador

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

# Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua



**IG**  
INSTITUTO GEOFÍSICO DE  
LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**IRD**  
INSTITUT DE RECHERCHE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT

**Serie**

Los peligros  
volcánicos en Ecuador



Segunda edición

1

Los  
**PELIGROS  
VOLCÁNICOS**

---

asociados con el

**Tungurahua**

### **Proyecto Tungurahua: mitigando los riesgos de vivir cerca a un volcán activo**

Participan en este proyecto:



ECHO, Departamento de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea, tiene como objetivo salvar y preservar vidas humanas en situaciones de emergencia, actúa en colaboración con ONG's, agencias de NNUU y Cruz Roja.

Uno de sus pilares es el programa Dipecho, el mismo que está enfocado a la preparación ante desastres, canaliza sus esfuerzos en la preparación y a pequeña escala y con carácter demostrativo alguna obra de mitigación.



Cafod, Catholic Agency for Overseas Development, es miembro de Caritas Internacional, sus programas buscan el desarrollo y mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades pobres a través de iniciativas de autogestión, su mandato también implica el apoyo en caso de emergencias, la mediación, la construcción de la paz, entre otros.



CRS, Catholic Relief Services, fundada en 1943 por obispos católicos, tiene como misión ayudar a los pobres y desfavorecidos de los países en vías de desarrollo, promueve la paz y la justicia, ayudando a aquellos que lo necesitan, sin importar su raza, religión o etnia.

## **IRD**

---

L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD, Instituto francés de Investigación para el Desarrollo), es un establecimiento público, de carácter científico y tecnológico, auspiciado por los ministerios de Investigación y cooperación de Francia. Realiza investigaciones conjuntamente con otras instituciones francesas, europeas e internacionales, siempre en cooperación con organismos asociados en la zona intertropical, en África, América Latina, Asia, y en los océanos Índico y Pacífico. El IRD tiene una representación en el Ecuador, desde 1974, y cuenta con una tradición importante de investigación en el Ecuador, en varios campos.

## **Instituto Geofísico**

### **Departamento de Geofísica/ Escuela Politécnica Nacional**

---

El Instituto Geofísico (Departamento de Geofísica) de la Escuela Politécnica Nacional constituye el principal centro de investigación existente en el país, para el diagnóstico y vigilancia de los peligros sísmicos y volcánicos. Múltiples publicaciones, tanto científicas como de divulgación general, a nivel nacional e internacional, dan fe de la capacidad y mística de trabajo de los científicos y técnicos que conforman el Instituto, por lo que se ha hecho acreedor a importantes premios y reconocimientos, a nivel local e internacional, por su trabajo en el diagnóstico y prevención de los desastres naturales.

# Los PELIGROS VOLCÁNICOS

**Serie:**  
Los peligros volcánicos  
en el Ecuador

**1**  
Segunda edición

## asociados con el **Tungurahua**

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



**IG**  
INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA  
ESCUELA POLITÉCNICA  
NACIONAL



Institut de recherche  
pour le développement

**IRD**  
INSTITUT DE RECHERCHE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT



**CORPORACIÓN  
EDITORIA NACIONAL**

Noviembre 2005  
Quito-Ecuador

Serie:  
Los peligros  
volcánicos  
en el Ecuador

1

# Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua

*Segunda edición, 2005*

**Jean-Luc Le Pennec<sup>2</sup>, Pablo Samaniego<sup>1</sup>, Jean-Philippe Eissen<sup>2</sup>, Minard L. Hall<sup>1</sup>, Indira Molina<sup>1</sup>, Claude Robin<sup>2</sup>, Patricia Mothes<sup>1</sup>, Hugo Yepes<sup>1</sup>, Patricio Ramón<sup>1</sup>, Michel Monzier<sup>2</sup>, José Egred<sup>1</sup>**

- 1 Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional  
Ladrón de Guevara s/n, Apdo. Postal 17-01-2759,  
Quito-Ecuador.
- 2 Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UR 163  
Laboratoire «Magma et Volcans», 5 rue Kessler, 63038  
Clermont-Ferrand, Francia

© Corporación Editora Nacional

ISBN: 9978-84-402-3

Derechos de autor: 020272

Depósito legal: 002740

Noviembre de 2005

Supervisión editorial: Jorge Ortega

Diseño gráfico: Duo Diseño. Taller Gráfico

Impresión: Fausto Reinoso,

Av. Rumipamba E1-35 y 10 de Agosto, of. 203.

*Foto de la portada*; nube de ceniza arrojada por el Tungurahua hacia el Norte. Foto: Jean-Luc Le Pennec.

*Foto de la contraportada*: el volcán Tungurahua se recorta en el horizonte, mientras la población de Pelileo espera. Foto: Jean-Luc Le Pennec.

Corporación Editora Nacional

Roca E9-59 y Tamayo, teléfonos 593(2) 256 6340,

fax ext. 12, apartado postal 17-12-886

correo electrónico: cen@accessinter.net

Quito-Ecuador

Para más información, contáctenos:

Instituto Geofísico de la EPN, Quito - Ecuador

télefono : (592 2) 222 5655

fax: (593 2) 256 7847

correo electrónico [geofisico@igepn.edu.ec](mailto:geofisico@igepn.edu.ec)

página web : [www.igepn.edu.ec](http://www.igepn.edu.ec)

# Contenido

<b>Agradecimientos</b>	<b>7</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>9</b>
<b>Preámbulo</b>	<b>13</b>
<b>Introducción</b>	<b>15</b>
<b>Tipos de fenómenos volcánicos observados en el volcán Tungurahua</b>	<b>19</b>
Gases volcánicos	
Caída de piroclastos	
Flujos de lodo y escombros (lahares)	
Flujos piroclásticos (nubes ardientes)	
Flujos y domos de lava	
Avalanchas de escombros	
Sismos volcánicos	
<b>Historia geológica</b>	<b>39</b>
El período antiguo del Tungurahua I y II	
El período prehistórico del Tungurahua III	
El período histórico del Tungurahua III	
<b>Monitoreo volcánico</b>	<b>53</b>
Vigilancia por observación	
Vigilancia instrumental	
El monitoreo volcánico realizado por el IG-EPN	
<b>El proceso eruptivo iniciado en 1999</b>	<b>63</b>
<b>La continuación del proceso eruptivo del volcán Tungurahua</b>	<b>79</b>

<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>85</b>
<b>Glosario</b>	<b>89</b>
<b>Anexos</b>	<b>101</b>
<b>Anexo 1.</b> Algunos problemas asociados con las erupciones volcánicas	<b>101</b>
<b>Anexo 2.</b> Índice de Explosividad Volcánica	<b>106</b>
<b>Anexo 3.</b> Testimonio histórico	<b>107</b>
<b>Anexo 4.</b> Secuencia de Alertas	<b>113</b>
<b>Láminas</b>	<b>115</b>

# Agradecimientos

Los autores desean expresar su sincero agradecimiento:

- A la Oficina de Ayuda Humanitaria de la Unión Europea (ECHO) por el apoyo financiero que ha hecho posible la publicación de este trabajo en el marco del proyecto titulado “Comunidades afectadas por el Tungurahua: mitigando los riesgos de vivir cerca de un volcán activo”.
- A todas las instituciones involucradas en el proyecto anteriormente mencionado (ver el Preámbulo en las siguientes páginas), y a todos los participantes de dichas instituciones.
- A todas las autoridades responsables de la seguridad de las poblaciones amenazadas por el volcán Tungurahua.
- Al *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD, Francia) por el valioso apoyo dado al Instituto Geofísico en el campo de la volcanología.
- A la Escuela Politécnica Nacional, por el constante apoyo y garantía a las labores del Instituto Geofísico.
- Al Instituto Geográfico Militar, por su cooperación en la preparación de los mapas de peligros de los volcanes del Ecuador.
- Al *Volcanic Ash Advisory Center* (VAAC) de Estados Unidos, por mantener los “ojos” de sus satélites sobre los volcanes del Ecuador, incluyendo el Tungurahua, y por siempre compartir esta valiosa información.
- A Franz Böker y al *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe* (BGR) de Alemania, por el apoyo en el monitoreo térmico de los volcanes ecuatorianos, particularmente el Tungurahua, y por los periódicos sobrevuelos que han permitido obtener varias de las imágenes publicadas en este libro.
- Finalmente, a todos los miembros del Instituto Geofísico por su responsable y absoluta dedicación al mantenimiento de las diferentes redes de monitoreo sísmico y volcánico:

## Dirección:

Ing. Hugo Yepes, MSc.

## Área técnica:

Ing. Wilson Enríquez, MSc. (Jefe de Área)

Tlgo. Vinicio Cáceres

Tlgo. Cristian Cisneros

Fis. Jorge Aguilar

Tlgo. Eddy Pinajota

Sr. Santiago Arellano

Sr. Sandro Júa

Srta. Lorena Gomezjurado

Ing. Daniel Cárdenas, MSc (\*)

Ing. Mayra Vaca

Fis. Omar Marcillo (\*)

Ing. Cristina Ramos, MSc.

Ing. Marisol León

Sr. Kléber Terán (\*\*)

Sr. Andrés Cadena

Srta. Miriam Paredes

Ing. Richard Jaramillo, MSc. (\*)

### **Área de Sismología:**

Ing. Alexandra Alvarado, MSc. (Jefe de Área)	Ing. Mónica Segovia
Geol. Indira Molina	Geol. Alexánder García
Ing. Liliana Troncoso	Dra. Alcinoe Calahorrano
Dr. Hiroyuki Kumagai (NED, Japón)	Sr. Guillermo Viracucha
Sr. Sandro Vaca	Srta. Verónica Lema
Sr. Andrés Ojeda	Sr. Javier Santo
Ing. Mario Ruiz, MSc. (*)	

### **Área de Volcanología:**

Dr. Pablo Samaniego (Jefe de Área)	Dr. Minard Hall
Ing. Patricia Mothes, MSc.	Ing. Patricio Ramón
Ing. Gorki Ruiz	Dr. Jean-Philippe Eissen (IRD, Francia)
Dr. Jean-Luc Le Penneç (IRD, Francia)	Dr. Michel Monzier (IRD, Francia) (+)
Ing. Arnaud Vallée (IRD, Francia)	Ing. Silvana Hidalgo, MSc. (*)
Sr. Diego Barba	Sr. David Rivero
Sr. Daniel Basualto (**)	Ing. Daniel Andrade, MSc.

### **Área de Secretaría y Servicios:**

Sra. Marcela de Robalino	Srta. Sandra Jiménez
Sra. Gabriela Jácome	Sr. Servilio Riofrío
Sr. Carlos Ayol	

Además, los autores expresan su reconocimiento especial al grupo de estudiantes que aseguran la vigilancia del Tungurahua, las 24 horas al día, los 365 días al año: Jorge Bustillos, Pablo Cobacango, Cristian Correa, Dayanara Hinojosa, Johanna León, Diana Ramírez, Paúl Silva, Gabriela Taípe, Mercedes Taípe, Silvia Vallejo y Patricio Verdesoto.

\* Personal del Instituto Geofísico que se encuentra realizando estudios de posgrado en el extranjero.

\*\* Personal que trabajó activamente en el Instituto Geofísico.

+ Fallecido

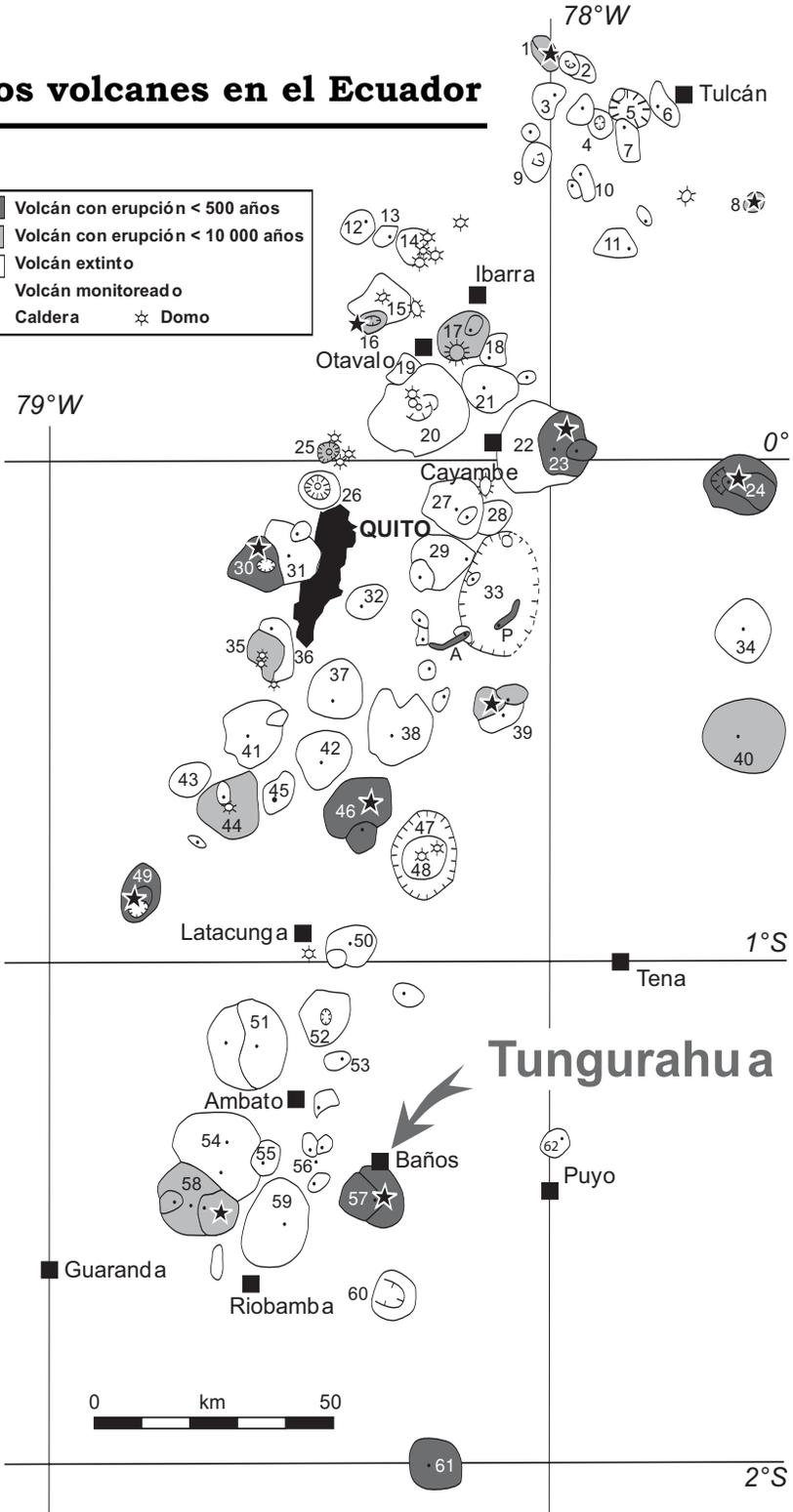
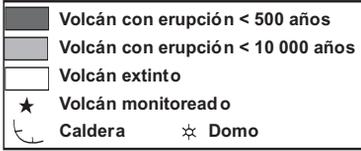
## Dedicatoria

Los autores dedican esta obra a la memoria de nuestros inolvidables amigos y compañeros Diego Viracucha y Michel Monzier.

Diego, técnico en sismología volcánica del Instituto Geofísico, perdió la vida en un nefasto accidente en enero de 2001, cuando se encontraba realizando observaciones en el volcán Guagua Pichincha. Fue el primero en notar la sismicidad anómala que precedió a la reactivación del Tungurahua a inicios de 1999.

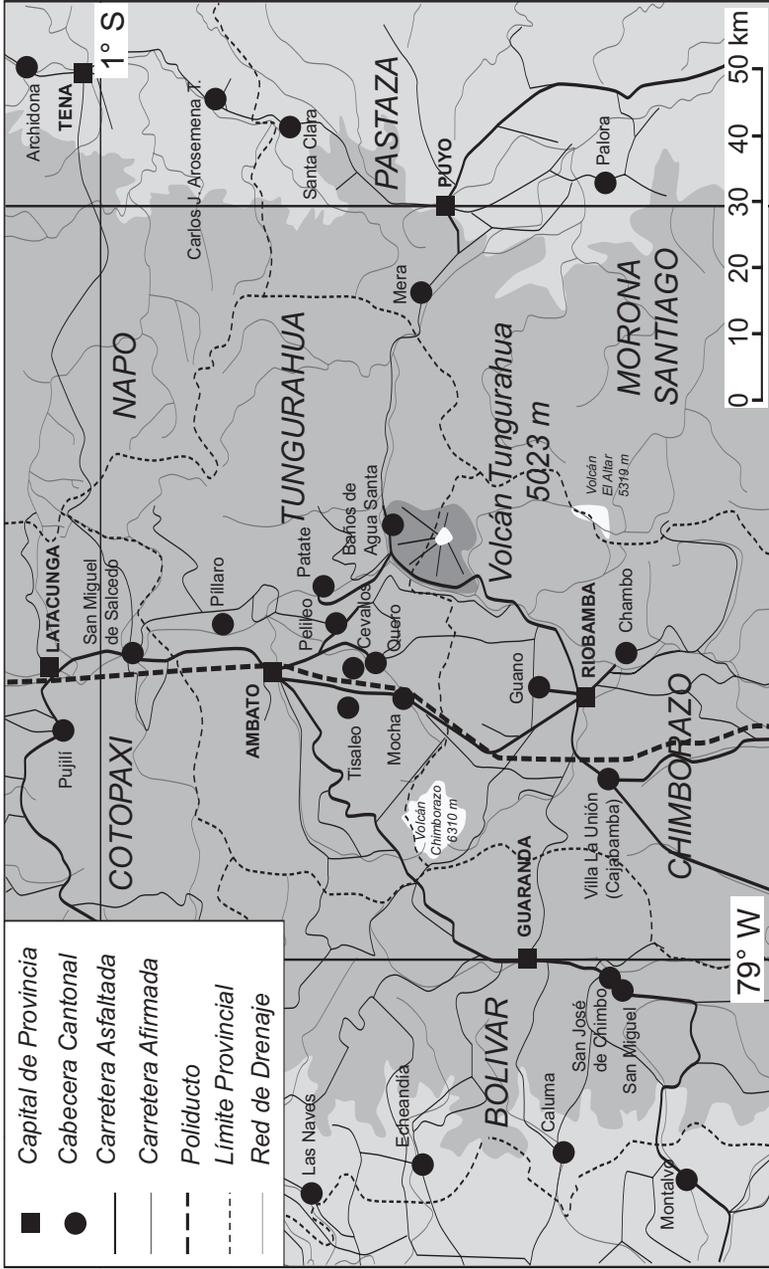
Michel, investigador del IRD, sufrió un derrame cerebral mientras laboraba en el volcán Atacazo en septiembre de 2004, y falleció tres días después en un hospital de Quito. Había trabajado en varios volcanes del país y había seguido la reactivación del Tungurahua en 1999. Fue el autor de varias fotografías incluidas en el presente libro.

# Los volcanes en el Ecuador



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 (Azufra)
11. Mangus
12. Pilavo (Negropuno)
13. Yanaurcu
14. Huanguillar o (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. Ilaló
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. Illiniza
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. Iguata
60. Altar / Capac Urco
61. Sangay
62. Cono del Puyo

**Figura 1.** Mapa de 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 su área de influencia (Fuente: IGM, 2002).

## Preámbulo

---

**E**l Tungurahua es uno de los volcanes más activos del Ecuador continental. Su reactivación en 1999 ocasionó la evacuación de miles de personas, y demostró la necesidad de mejorar el conocimiento de los comportamientos eruptivos pasados, así como desarrollar técnicas adicionales de monitoreo volcánico que permitan una mejor evaluación de la actividad volcánica. Un esfuerzo significativo para lograr estos objetivos ha sido realizado en los últimos años, en el marco de los programas de cooperación que ha desarrollado el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) con el Institut de Recherche pour le Développement (Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo, IRD), entre otras entidades científicas. Un primer libro sobre los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua ha sido publicado en el 2003 (Samaniego, *et al.*, 2003). Sin embargo, nuevos conocimientos han sido adquiridos y nuevas técnicas de monitoreo desarrolladas desde la mencionada publicación, particularmente en el marco de un proyecto titulado “Comunidades afectadas por el Tungurahua: Mitigando los riesgos de vivir cerca de un volcán activo”, financiado por la Oficina de Ayuda Humanitaria de la Comunidad Europea. La realización del proyecto involucró varias contrapartes institucionales y organizaciones no-gubernamentales. El IG-EPN y el IRD han manejado la parte científica del proyecto. Los aspectos humanitarios y sociales, así como la propuesta y el manejo del proyecto fueron cumplidos por “Catholic Agency for Overseas Development” (CAFOD del Reino Unido), “Catholic Relief Services” (CRS de Estados Unidos), el Ministerio de Asuntos

Sociales de la Comisión Episcopal (Caritas) de la Conferencia Episcopal Ecuatoriana (CEPAS), y la Diócesis de Ambato. La finalización de este proyecto nos ofrece una oportunidad para difundir nuevos conocimientos, describir la actividad del volcán después de 2003, y presentar las nuevas técnicas de monitoreo. Cabe resaltar que la publicación de la presente edición ha sido posible gracias al aporte financiero del proyecto anteriormente mencionado.

# 1. Introducción

---

La actividad tectónica que existe en el borde occidental del continente sur-americano es reponsable de la formación de los Andes, así como de los sismos y erupciones volcánicas que se presentan a lo largo de esta cordillera. En este borde, la *placa tectónica\** del Pacífico, que se está moviendo hacia el Este, colisiona contra el continente, y luego se desplaza lentamente (pocos centímetros por año) bajo el mismo, antes de introducirse en el *manto\** hacia el interior del planeta. Este fenómeno, llamado *subducción\**, se desarrolla a lo largo del famoso “cinturón de fuego” que rodea el océano Pacífico. Todos los volcanes *cuaternarios\** de los Andes de Ecuador (fig. 1) resultan de este fenómeno, ya que los *magmas* nacen en sectores donde la *placa tectónica* del Pacífico llega a cierta profundidad en el manto (aproximadamente 100-120 km bajo la superficie).

El *volcán* Tungurahua (Latitud 01° 28' Sur; Longitud 78° 27' Oeste), junto con otros volcanes activos como Cotopaxi, Sangay, Antisana y Cayambe, está ubicado en la Cordillera Real de los Andes Ecuatorianos que constituye la segunda fila del *arco volcánico* ecuatoriano (fig. 1). Dicha fila está localizada aproximadamente a 35 km al oriente de los volcanes de la Cordillera Occidental, los cuales pertenecen al “frente volcánico” (Quilotoa, Atacazo, Pichincha, Pululahua, Cuicocha, entre otros) que es la primera fila del arco ecuatoriano.

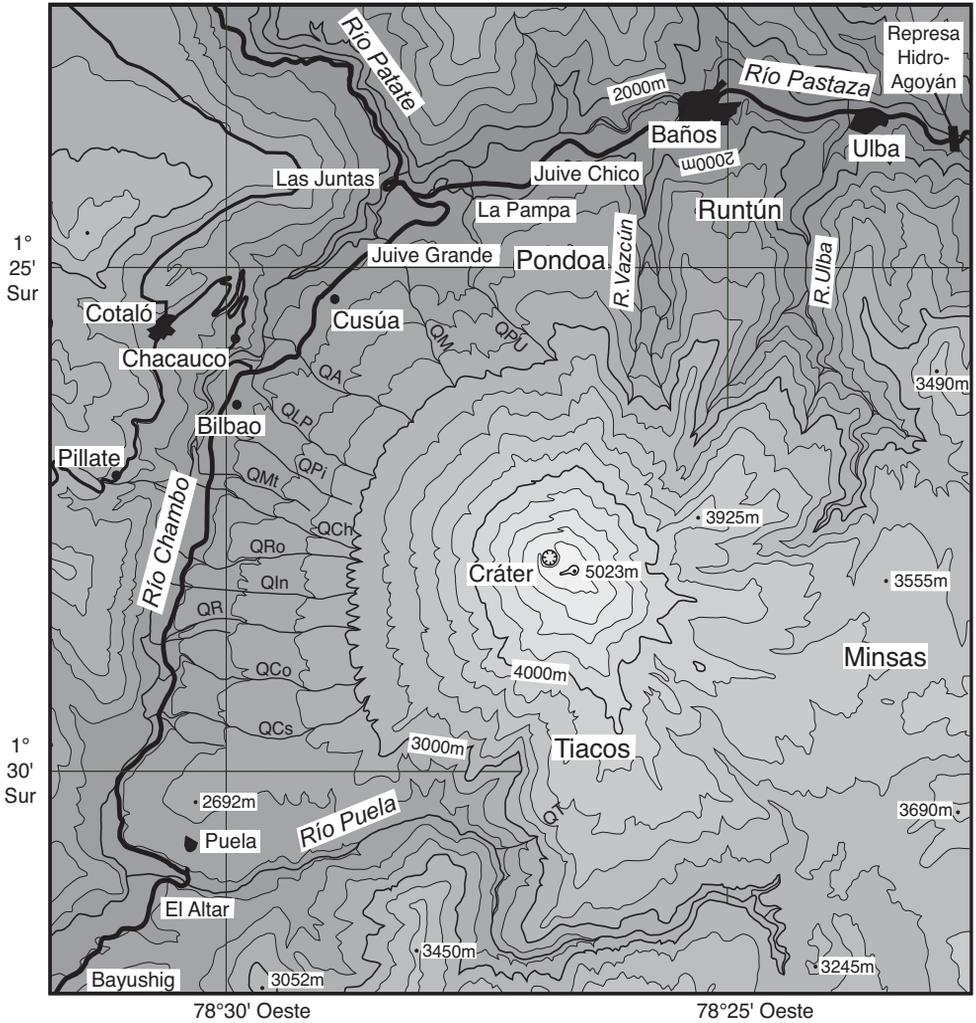
El Tungurahua se encuentra a 33 km al sudeste de Ambato (fig. 2), y la ciudad de Baños (población apro-

\* Todos los términos en *italicas* se encuentran definidos en el Glosario.

ximada 12 000 habitantes) está asentada a tan solo 8 km de la cumbre y a 3 100 m bajo la cima del volcán, al pie del flanco norte del edificio (figs. 3 y 4). Es un volcán 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 cráter (3 200 m) y las asentuadas pendientes de sus flancos (30°-35°). En la parte oriental de su cima persiste aún un glaciar residual (< 0,01 km<sup>3</sup> de hielo).

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 y Ulba descienden directamente de la cumbre del volcán y cortan el flanco norte y nororiental del mismo, hasta desembocar en el río Pastaza (fig. 3). 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.

Las erupciones pasadas de este volcán (estudiadas por Hall *et al.*, 1999; Hall, *et al.*, 2002; Le Pennec, *et al.*, 2004a) 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*. Las *caídas de lapilli y ceniza* han acompañado todas las erupciones pasadas y han cubierto especialmente la parte occidental del volcán, hasta varias decenas de kilómetros de distancia.



**Figura 3.** Mapa topográfico y toponímico del volcán. Modificado de Hall, *et al.* (1999). Curvas de nivel cada 200 m. Todas las localidades mencionadas en el texto están incluidas en esta 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 Motilonas; 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).



**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 Vascún, 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 Juivi Chico, formado durante una erupción que ocurrió entre 2 000 y 3 100 años antes del presente (Foto: B. Warmington, 1973).

## 2. Tipos de fenómenos volcánicos observados en el volcán Tungurahua

---

**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):

### ■ GASES VOLCÁNICOS

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, casi siempre existen también cantidades variables de otros gases peligrosos para las personas y los animales como  $\text{SO}_2$  (dióxido de azufre),  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono), o el 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 pueden 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– 2005) 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

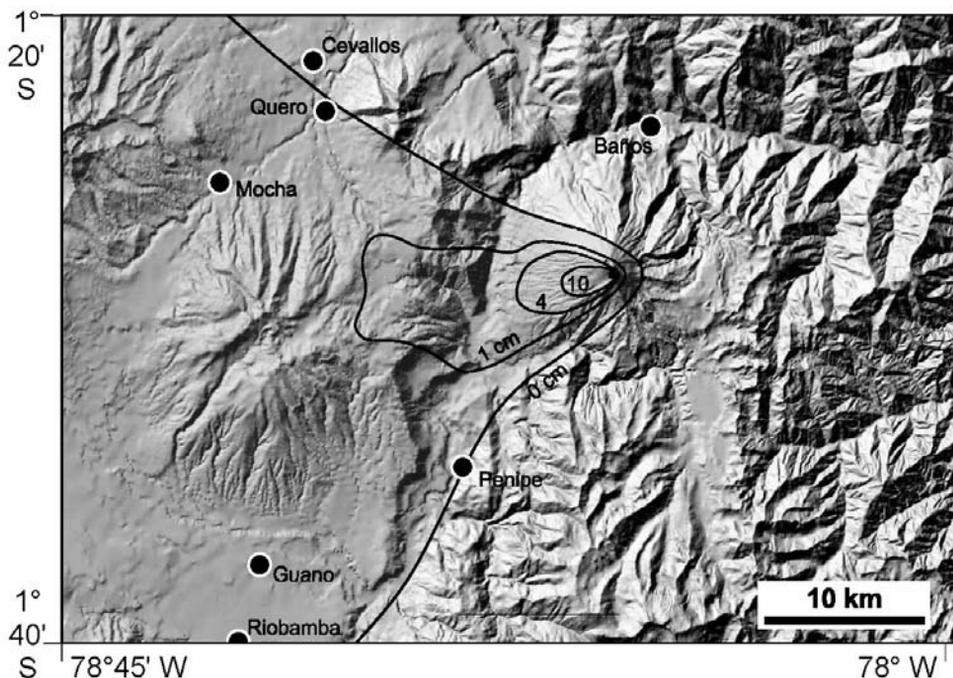
gas son muy bajas, por lo cual se puede excluir un efecto negativo sobre los seres vivos.

## ■ CAÍDA DE PIROCLASTOS

**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. Mientras que las partículas más pequeñas son llevadas por el viento y caen a mayor distancia del mismo, 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.

**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 de 2001, un volumen relativamente pequeño de ceniza emitida (del orden de 5-6 millones de metros cúbicos, Le Pennec, *et al.*, 2004b y 2002), puede provocar daños considerables a los cultivos, así como alterar seriamente la vida de personas y animales y la economía local y regional.

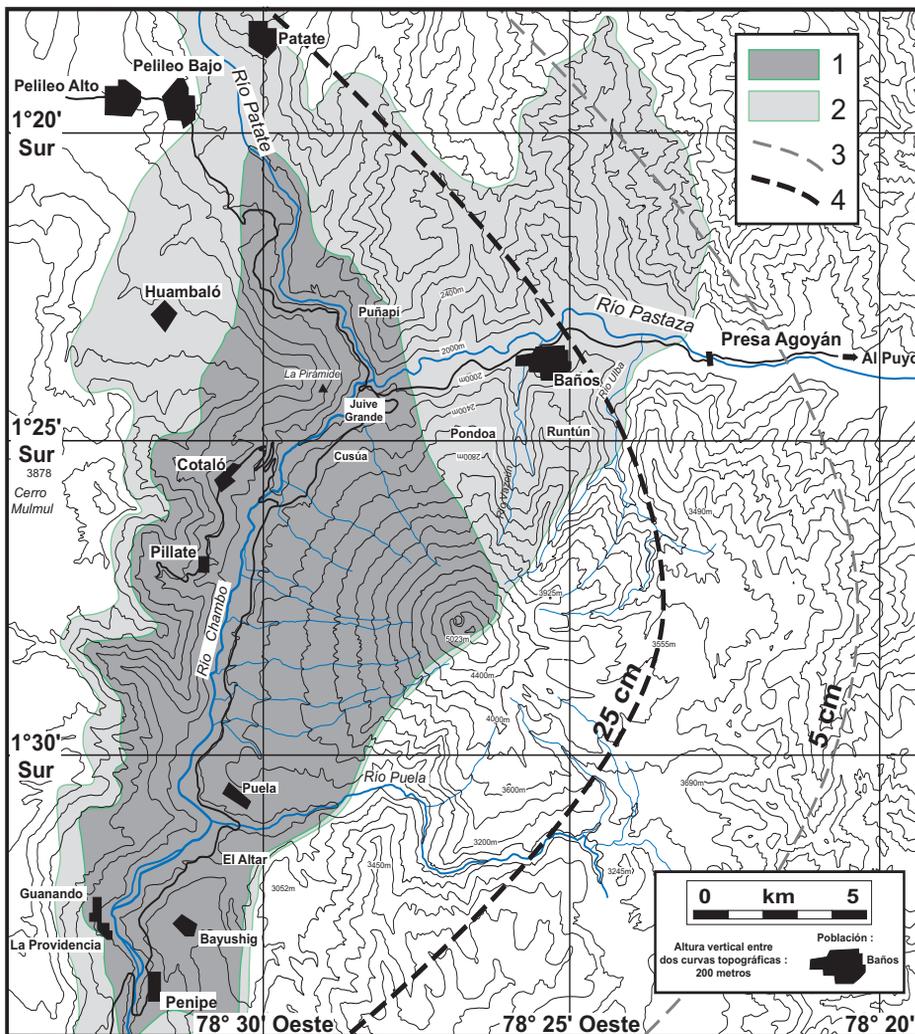
**Peligros:** El material piroclástico cubre una superficie generalmente de forma elíptica, que se puede extender hasta cientos de kilómetros en la dirección del viento, y cuyo espesor disminuye progresivamente



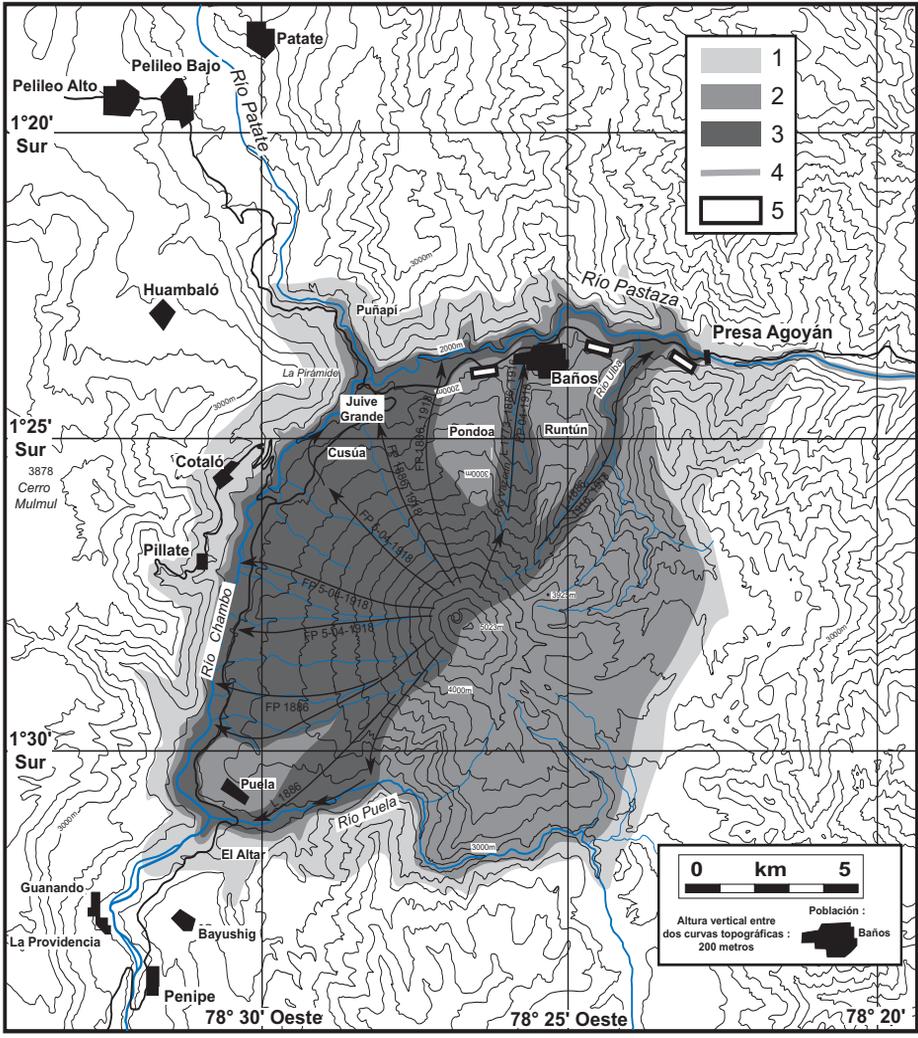
**Figura 5:** Distribución de la ceniza volcánica durante la erupción de agosto de 2001. Las líneas encierran las áreas al occidente del volcán afectadas por más de 10 cm, 4 cm y 1 cm de cenizas. (Fuente: Le Pennec, *et al.*, IRD/IG-EPN)

desde el volcán (fig. 5). Así, la peligrosidad de este fenómeno estará determinada 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.

En la figura 6a 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 ( $VEI \geq 3$ ). La curva interna (marcada 25 cm, fig. 6a) encierra el área que podría recibir un espesor superior a 25 cm de ceniza. La curva externa (marcada 5 cm, fig. 6a) en-



**Figura 6a. 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 puede ser afectada por un espesor de ceniza mayor a 25 cm; (4) área que puede ser afectada por un espesor de ceniza mayor a 5 cm. Basado en el Mapa de los peligros potenciales del volcán Tungurahua (Hall, *et al.*, 2002). Ver también las láminas a color al final del libro.



**Figura 6b. 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 25 cm; (4) área que puede 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 del libro.

cierra el área que puede recibir un espesor superior a 5 cm de ceniza. La parte externa a esta curva puede recibir un espesor máximo de 5 cm.

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 en 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. 7). Todos estos efectos, descritos de manera progresiva desde espesores menores a 1 mm hasta mayores a 30 cm están resumidos en el Anexo 1.

---

**Figura 7.** 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 Penneç, IRD/IG-EPN).



## ■ FLUJOS DE LODO Y ESCOMBROS (LAHARES)

**Definición:** Los lahares son mezclas de materiales volcánicos (rocas, pómez, arena), arrastrados 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. 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.

**Historia:** Eventos de este tipo han ocurrido en innumerables ocasiones en el pasado reciente del Tungurahua, especialmente en los valles de Ulba, Vazcún, así como en los drenajes del flanco occidental y en el río Puela al sur y suroccidente del volcán (figs. 8 y 6b). N. Martínez (1932) reporta la siguiente descripción de un flujo de escombros que afectó al valle de Ulba durante la erupción de 1918.

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 más de 10 metros de espesor, y ya cerca de la desembocadura en el Pastaza, fue 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.

Es claro que se trató de un flujo de escombros que, según las descripciones de Martínez, era el producto de la mezcla de material piroclástico con agua proveniente del río Ulba y de la fusión del glaciar que existía en la cumbre del volcán.

Durante el presente período eruptivo (iniciado en 1999 y que continúa hasta la fecha –septiembre 2005– se han producido innumerables flujos de lodo en las quebradas del flanco occidental del volcán (fig. 9), así como en la quebrada de La Pampa del flanco noroccidental (fig. 10). 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 8.** Quebrada del flanco occidental del volcán Tungurahua, afectada por los flujos de lodo del presente período eruptivo. Nótese 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 9.** Camioneta cruzando el puente de madera construido por los habitantes del flanco oeste del volcán Tungurahua, luego de que los lahares destruyeran el puente existente. Nótese las huellas de las avalanchas que se deslizaron por esa quebrada (Foto: Pablo Samaniego, IG-EPN).

**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 bajan del volcán. Debido a su alta velocidad y densidad, los lahares 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 en rojo intenso en el *mapa de peligros* (fig. 6b), y en especial el fondo de los valles de esta zona, pueden ser afectados por flujos de lodo y escombros en caso de una erupción importante del volcán o sim-

plemente en caso de fuertes lluvias en la zona. Los sectores de La Pampa y de Vazcún, cuentan con un sistema de monitoreo de lahares, 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 lahares 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 lahares y han sufrido el respectivo impacto (fig. 10).

■ **Figura 10.** Flujo de lodo en la quebrada La Pampa, sector Juive Chico, ocurrido el 26 de febrero de 2000. Note que el flujo cubrió la carretera Baños-Ambato, interrumpiendo la circulación vehicular. (Foto: P. Ramón, IG-EPN).



## ■ FLUJOS PIROCLÁSTICOS (NUBES ARDIENTES)

**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 (a veces más de 250 kilómetros por hora) 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 desplaza 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.

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 1 000 m sobre el fondo de la caldera de este volcán (fig. 11). Dada la similitud entre el Reventador y el Tungurahua, es de esperar que en caso de una erupción altamente explosiva ( $VEI \geq 3$ ) en el Tungurahua, se generen flujos de estas características (fig. 12).

**Historia:** Los *flujos piroclásticos* han sido un fenómeno extremadamente frecuente en el pasado reciente del volcán, como lo muestra N. Martínez (1932), testigo presencial de las erupciones de 1916-1918. 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 se generaron en el Tungurahua y cubrieron gran parte de los flancos norte y occidental del volcán.

**Peligros:** En el caso del Tungurahua, los flujos piroclásticos se originan por (Mothes, *et al.*, 2002): 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”). 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 del 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.

Se estima que si el Tungurahua presenta erupciones de gran magnitud ( $VEI \geq 3$ ), 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 cum-

bre del volcán (zona de color en la fig. 6b, y de color rojo intenso en el mapa de peligros, láminas de color)\*. Las superficies de Runtún y Pondoá, 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. 11). En esta misma categoría (zona de color rojo intenso en el mapa de peligros, fig. 6b) se encuentran los flancos sur y oriental del volcán. Finalmente, las zonas en color rojo pálido corresponden a las áreas que pueden ser afectadas solo en caso de una erupción anormalmente grande ( $VEI > 4$ ).

Los flujos piroclásticos son extremadamente peligrosos debido a su gran movilidad, que les permite via-

---

\* Ver láminas a color al final del libro.

**Figura 11.** Flujo piroclástico de la erupción del 3 de noviembre de 2002 del volcán El Reventador (Foto L. Saca). Se aprecia que la nube de gases y ceniza alcanzó varios cientos de metros de altura.





**Figura 12.** Depósitos de flujos piroclásticos de erupciones prehistóricas en el sector de Las Juntas. Foto: P. Samaniego, IG-EPN.

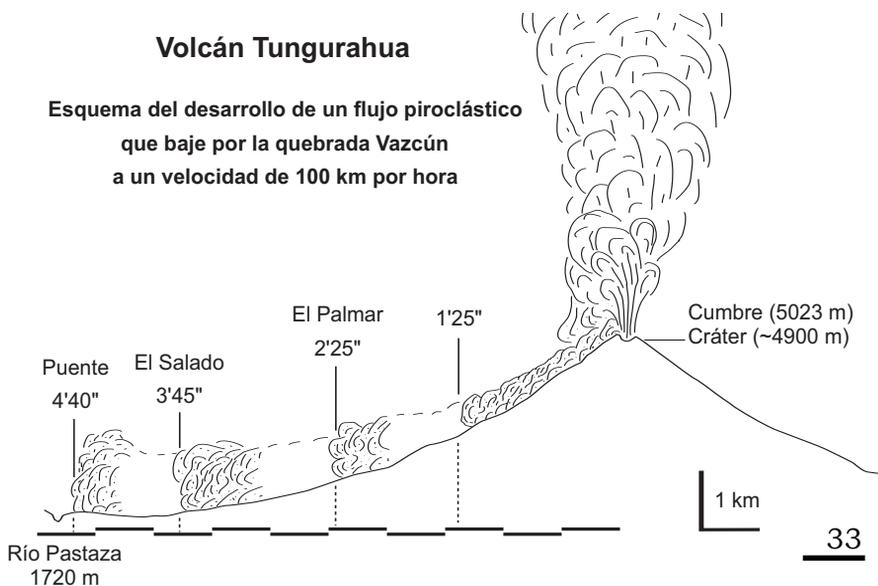
jar distancias que se miden hasta en decenas de kilómetros, a sus altas velocidades (50 a 250 km/h) y a las altas temperaturas (350-1 000°C) en el momento de su emplazamiento. En la figura 13 se presenta un esquema de generación de un flujo piroclástico para el flanco norte del volcán (valle del río 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 quedar 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 son destruidos o arrasados 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 razo-

nes 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 se 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.

## ■ FLUJOS Y DOMOS DE LAVA

**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 pue-

**Figura 13.** Esquema de generación de un flujo piroclástico que viaja a 100 km/hora por el flanco norte del volcán (valle del río Vazcún), mostrando el tiempo aproximado que le tomaría a este flujo para llegar al río Pastaza.



de 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. 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.

**Historia:** Los flujos de lava han sido un fenómeno frecuente en la historia reciente del Tungurahua. Se estima que alrededor de 17 flujos de lava llegaron al pie del edificio en los últimos 3 000 años. Generalmente se han presentado como el fenómeno final de un proceso eruptivo, como en las erupciones de 1773 (fig. 14) 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 desde la planicie de Pondoá y luego de oeste a este por el río Pastaza, hace 2 000 a 3 000 años antes del presente. 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...

**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 occidental y noroccidental del volcán (fig. 6b), que comprenden las áreas entre Juive Grande y Cusúa. A pesar de destruir completamente todo lo que 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 (o un domo) de

**Figura 14.** Flujo de lava solidificado de la erupción de 1773 en el sector de Juive Chico-La Pampa (Foto P. Samaniego, IG-EPN).



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.

## ■ AVALANCHAS DE ESCOMBROS

**Definición:** Las avalanchas de escombros son grandes deslizamientos que pueden ocurrir en un sector de un volcán, producidos por la inestabilidad de los flancos del mismo. Este tipo de fenómenos 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*. Este tipo de inestabilidad se ve favorecida cuando la altura del edificio volcánico llega a más de 3 200 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.

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 cubren áreas de considerable extensión (10-1 000 km<sup>2</sup>) con un manto de escombros y arrasaban con todo lo que encuentren 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). Por otra parte, pequeñas avalanchas han

sido frecuentes durante los últimos milenios hasta inclusive el período histórico. Así, se ha identificado que la destrucción del borde del cráter ocurrió en los siglos sexto y séptimo d.C., así como también en 1640 y 1886 d.C. Estas pequeñas avalanchas producen brechas de bloques que pueden represar los ríos momentáneamente.

**Historia:** Este tipo de fenómeno ha ocurrido, al menos en dos ocasiones en el Tungurahua. La última vez, hace 3 100 años A.P., un cono anterior al edificio volcánico actual fue en gran parte destruido por una evento de este tipo. Los depósitos de esta avalancha rellenaron parcialmente los valles del río Chambo, 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).

**Peligros:** Dada la magnitud y violencia de las avalanchas de escombros, todo lo que encuentren 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 un 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. 6a), 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.

## ■ SISMOS VOLCÁNICOS

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. Este fenómeno, lejos de afectar a los pobladores que habitan en las cercanías del mismo, 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.

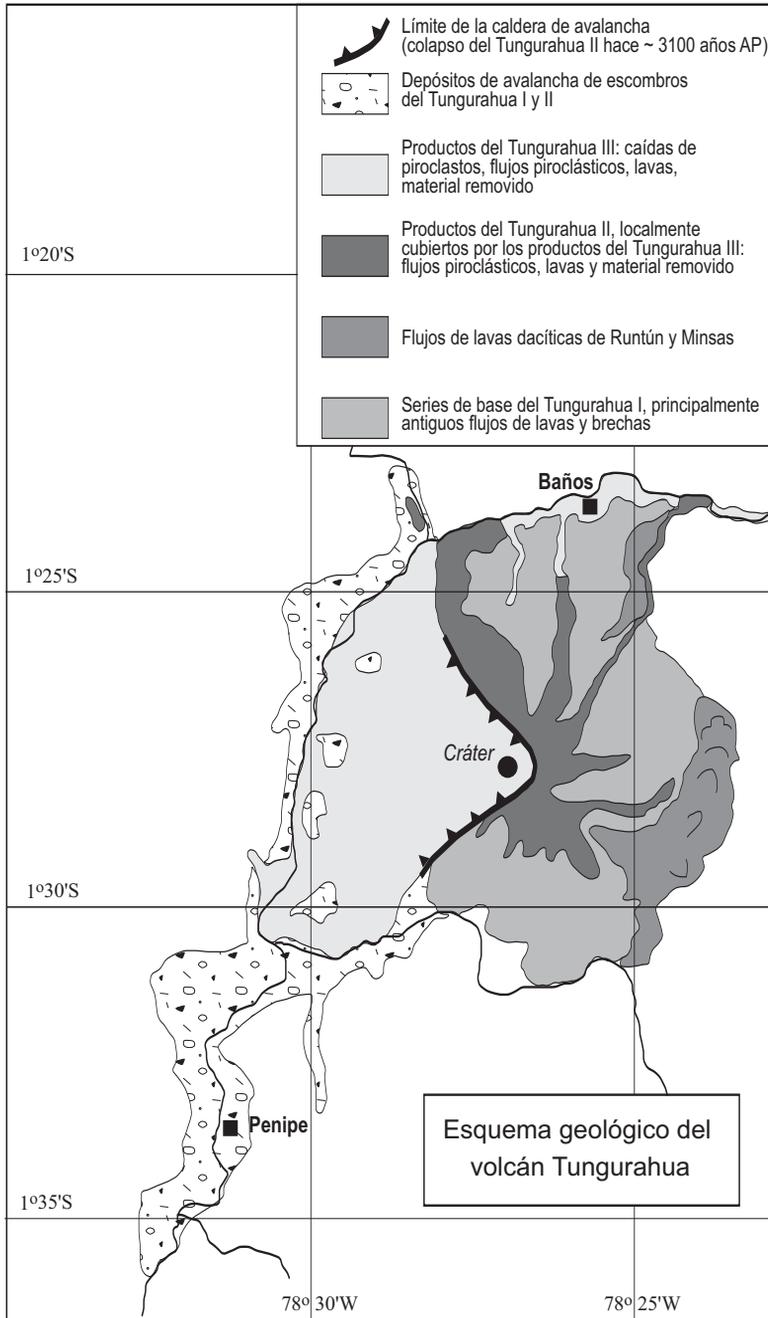
En las erupciones pasadas del Tungurahua, ha sido común que las personas de los alrededores sintieran estos sismos, especialmente antes o durante los períodos de más intensa actividad volcánica; sin embargo, en ninguna ocasión estos eventos provocaron daños a las edificaciones.

### 3. Historia geológica del volcán Tungurahua

---

Un estudio científico publicado por Hall, *et al.* (1999), cuyo título es “Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards”, ha mostrado que el volcán Tungurahua consiste en la edificación de tres volcanes sucesivos (Tungurahua I, II y III, fig. 15), de los cuales los dos primeros fueron parcialmente destruidos por grandes deslizamientos (*colapso sectorial*). Los vestigios de este antiguo período de actividad, que corresponde al Tungurahua I y II, se observan en los flancos norte, oriental y sur del volcán (fig. 15).

El Tungurahua III corresponde al edificio joven actual, que se desarrolló después del colapso del Tungurahua II, hace alrededor de 3 100 años. En los últimos años se han hecho avances considerables en el conocimiento de la historia eruptiva del Tungurahua III. Esto ha sido posible gracias a un importante programa de dataciones de los depósitos antiguos mediante el método del carbono 14. Se ha podido demostrar que durante este período, el Tungurahua III ha producido al menos 16 erupciones con flujos piroclásticos, y que alrededor de 17 flujos de lava llegaron al pie del edificio. Aquí presentamos una historia resumida que resalta los eventos más destacables de la historia eruptiva.



**Figura 15.** Esquema geológico simplificado del volcán Tungurahua. Se aprecia la distribución de los productos de los tres edificios sucesivos que conforman el complejo volcánico.

## ■ EL PERÍODO ANTIGUO DEL TUNGURAHUA I Y II

### **El viejo edificio volcánico: Tungurahua I**

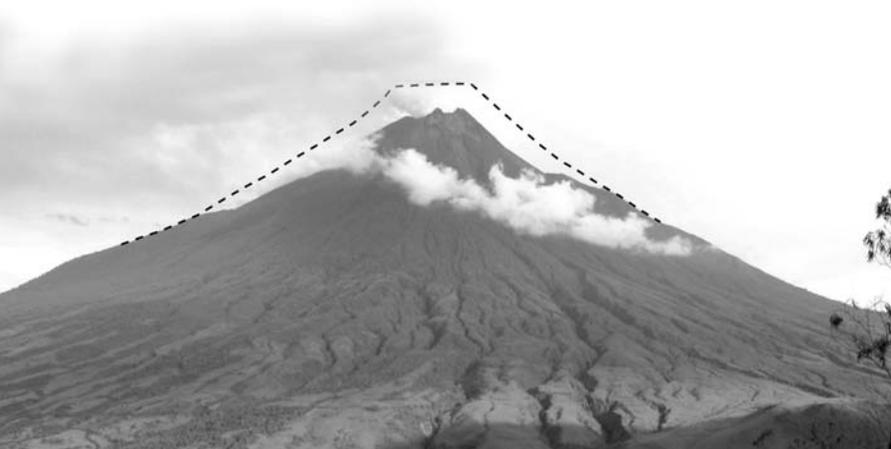
Este edificio fue construido sobre el basamento metamórfico de la Cordillera Real. Actualmente se encuentra representado por las grandes superficies inclinadas del flanco norte (Runtún y Pondoá, figs. 3 y 4), así como por las lavas de los flancos sur y oriental del volcán. A base de dos *dataciones radiométricas* (Barberri, *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. Las superficies de Runtún y Pondoá 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*. La última fase de este edificio estuvo caracterizada por un importante episodio de volcanismo *silíceo*, responsable de la emisión de los flujos de lava *dacíticos* de Runtún y Minzas. Finalmente, el Tungurahua I sufrió un gran deslizamiento acompañado de una explosión que destruyó parcialmente el edificio. La avalancha de escombros rellenó el valle del Chambo formando terrazas donde están hoy en día asentados los pueblos de Penipe, San José de Chazo, La Providencia, Guanando, Pillate y Cotaló. La avalancha represó durante un período de tiempo importante los ríos Chambo y Patate, de tal forma que unos lagos existieron durante siglos o milenios, antes de que los ríos pudieran recuperar sus cauces originales. Resultados recientes sugieren que este evento ocurrió hace un poco más de 30 000 años antes del presente.

## El edificio intermedio: Tungurahua II

Luego de un período de reposo y de erosión importante, se construyó el cono intermedio, llamado Tungurahua II. En la actualidad se encuentra representado por una serie de flujos de lava ubicados en la parte superior del flanco sur del complejo (sector de Tiacos, fig. 3), y por otros flujos de lava en los valles del Patate y Ulba. En Tiacos la unidad constituye una secuencia de aproximadamente 100 m de espesor de lavas andesíticas que reposan sobre los flujos de lava del Tungurahua I. A base de evidencias geomorfológicas y *dataciones radiométricas*, se infiere que este período de actividad se desarrolló entre 30 000 y 3 100 años antes del presente. También una gran erupción explosiva ha sido datada alrededor de 11 200 años antes del presente, cuando las escorias y cenizas cubrieron la zona de Guano y Riobamba. Finalmente, hace 3 100 años aproximadamente, este edificio sufrió un gran colapso en su flanco occidental, 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

---

**Figura 16.** El cono del Tungurahua visto desde el Oeste. La línea entrecortada representa la silueta del volcán justo antes del colapso de hace aproximadamente 3 100 años. (Foto J.-L. Le Pennec, IRD/IG-EPN).



(figs. 15 y 16), especialmente en el flanco sur, así como un importante depósito de escombros que constituye las planicies de Cotaló y Pillate y que también se extiende aguas arriba por los valles de los ríos Patate y Chambo.

## ■ **EL PERÍODO PREHISTÓRICO DEL TUNGURAHUA III**

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 60 m de profundidad en este cono. El Tungurahua III se caracteriza por una actividad eruptiva regular, con una erupción de importancia moderada o fuerte cada dos siglos aproximadamente (fig. 17). La actividad durante los últimos 3 100 años se ha caracterizado 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.

### **Erupción de 3 100 años antes del presente**

Esta erupción marca el fin del Tungurahua II y el inicio del Tungurahua III. Los estudios recientes indican que el ascenso rápido de un volumen importante de magma en el interior del volcán provocó un inchamiento del flanco occidental del mismo, el cual culminó con su respectivo colapso. Así, de manera muy abrupta, el magma liberó su presión interna, escapando del volcán en forma muy

Años 1999 – 2005 d.C.		Erupción con explosiones y largos períodos de emisiones permanentes de ceniza, principalmente hacia el Oeste del volcán. Ver los detalles en el capítulo “el proceso eruptivo iniciado en el 1999”
Años 1916 a 1918 d.C.		Varias explosiones en 1918 producen flujos piroclásticos que viajan hacia Juive, Las Juntas, Cusua, El Manzano, y Vazcún (5 de abril 1918; ver la descripción detallada en el anexo 3).
Año 1886 d.C.		Notable caída de pómez hacia el Occidente. Numerosos flujos piroclásticos bajan por los sectores de La Pampa, río Patate, Yuibug.
Año 1773 d.C.		Nubes ardientes descienden en los sectores de Cusúa-La Pirámide y en el valle de Vazcún. Provocan daños en la ciudad de Baños. Grandes lapilli caen en la región.
Año 1640 d.C.		Nubes ardientes descienden por todos los flancos del volcán (incluyendo el valle de Vazcún) y viajan aguas arriba en los ríos Patate y Chambo hasta 17 km del cráter. Daños importantes en el sector y probables víctimas.
Siglo XIV d.C.		Nubes ardientes bajan en los sectores de Mandur, Chontapamba, Yuibug. Un flujo de lava llega hasta el actual pueblo de Bilbao.
Siglo VIII o IX d.C.		Grande caída de escoria gruesa hacia el Occidente. Las nubes ardientes llenan varias quebradas del sector de Chontapamba, Puela-Yuibug y llegan hasta Cahuaji. Posible flujo de lava en Chontapamba. Probables víctimas.
Octavo siglo d.C.		Erupción mayor con una gran caída de pómez en todo el sector Occidental del volcán y hasta el Chimborazo. Grandes flujos piroclásticos en Vazcún, Las Juntas, Chontapamba, Yuibug etc. Los flujos también viajaron aguas arriba en los valles de los ríos Patate y Chambo hasta 15-16 km del cráter. Víctimas muy probables.
Séptimo siglo d.C.		Abundantes escorias, lapilli y cenizas caen en toda la región del volcán. Grandes flujos piroclásticos se emplazan en los sectores de Vazcún, Las Juntas, y en toda la parte Oeste y Sur-Oeste del edificio.
Entre el Segundo siglo a.C. y el Tercer siglo d.C.		Una caída de pómez cubre el sector Sur-Occidental del volcán, nubes ardientes muy móviles entran en los valles de los ríos Patate y Pastaza.
Siglo III o IV a.C.		Grande caída de escoria hacia el Sur-Occidente del volcán. Voluminosos flujos piroclásticos viajan hasta Penipe y Matus.
Primeros siglos del Primer Milenio a.C.		Potentes flujos de lava son emitidos. Uno llega al pie del volcán en el sector de Cusúa y sigue el río Chambo y Pastaza hasta la Pampa. Otro flujo sale de la planicie de Pondo, se acumula en Juive Chico, y se extiende en el sector de Baños, siguiendo el río Pastaza hasta los sectores de Agoyan y Río Verde.
Primero o segundo siglo del segundo milenio a.C.		Colapso del Tungurahua II como consecuencia de una intrusión de magma dacítico en el flanco Oeste del volcán. Explosión lateralmente dirigida y gran columna de pómez y ceniza. Existen evidencias de que el sector estaba bastante poblado. Víctimas muy probables.

**Figura 17.** Cronología de las erupciones mayores del volcán Tungurahua III, en los tres últimos milenios (a.C. = Antes de Cristo; d.C. = Después de Cristo). Existen otras erupciones de menor importancia que no aparecen en esta tabla. Según trabajos recientes de J.-L. Le Pennec y otros.

explosiva. Una explosión dirigida se desarrolló lateralmente, hacia los alrededores del volcán. Los depósitos de esta explosión dirigida se encuentran en Runtún, Pondoá, Baños, Puñapí, Cotaló, Chacáuco, San José de Chazo, y cubren otros lugares ubicados hasta 15-20 km del cráter. Se sabe que en aquella época vivía gente en los flancos y en la cercanía del volcán, dado que se encuentran fragmentos de cerámica en los depósitos de la explosión. Esto sugiere que la región del Tungurahua era ya bastante poblada 1 100 años antes de Cristo, y es muy probable que muchas personas perdieron la vida al momento de esta erupción.

Otras erupciones importantes ocurrieron durante el primer milenio antes de Cristo. Algunas fueron acompañadas por nubes ardientes. Adicionalmente, parece que el gran flujo de lava, sobre el cual Baños está esentado, fue emplazado durante este período. Dicho flujo no salió del cráter, sino de un lento lateral ubicado en la planicie de Pondoá. Luego, se acumuló en el sitio de Juive Chico, y siguió el cauce del río Pastaza. En este período se emplazó también el importante flujo de lava visible cerca del puente de las Juntas. Dicho flujo llegó al pie del volcán en el sector de Cusúa, serpenteó en el Río Chambo y se detuvo cerca del sector de La Pampa.

### **Erupciones del primer milenio después de Cristo**

Los estudios recientemente realizados sobre la geología de este volcán han identificado alrededor de siete erupciones durante el primer milenio después de Cristo. Una erupción importante ocurrió a fines del siglo séptimo o al inicio del siglo octavo. Durante esta erupción, abundantes flujos piroclásticos bajaron por los sectores de Vazcún, Las Juntas, Chontapamba y Puebla. Dicha erupción fue acompañada por una gran nube

de erupción que dejó un importante depósito de caída de *escoria andesítica* en toda la región.

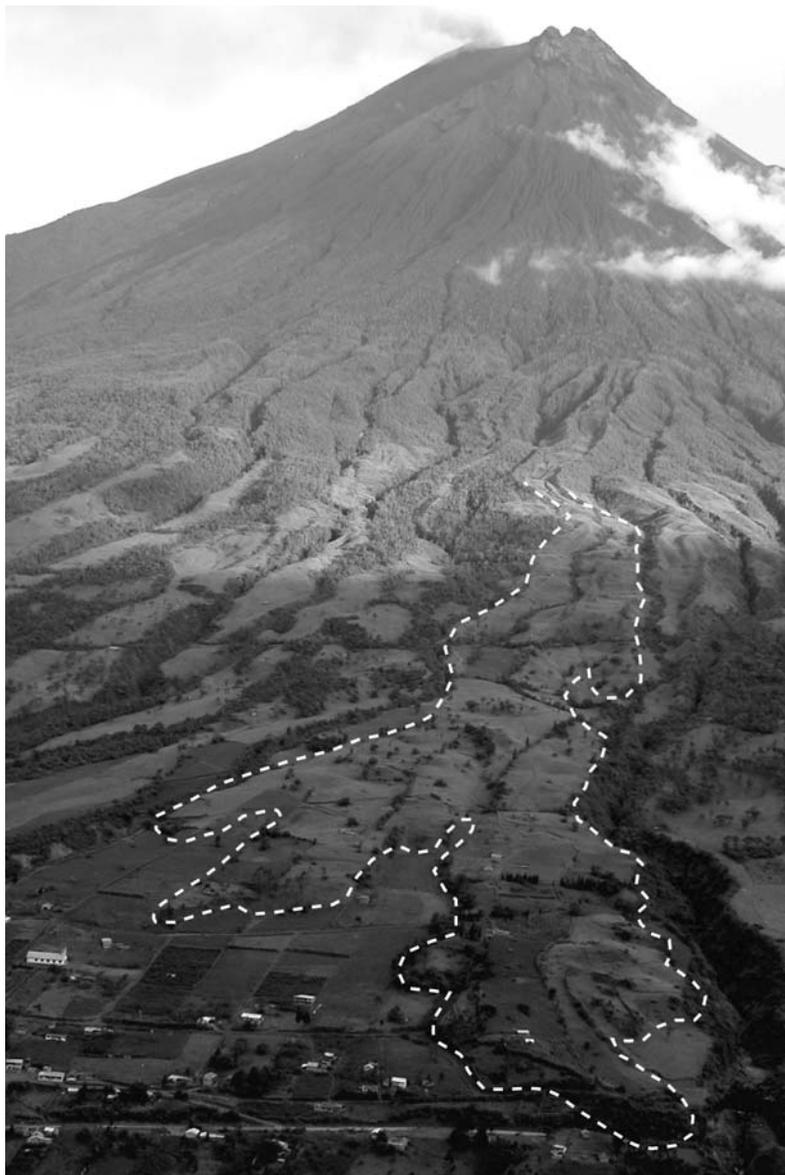
Otra erupción, probablemente la más fuerte del Tungurahua, sucedió durante el siglo octavo después de Cristo. La erupción expulsó una gigantesca nube (25-30 km de altura) compuesta de *piedra pómez* y *ceniza* de composición *dacítica*, que se dirigió hacia el occidente del volcán. El depósito que resultó de la lluvia de pómez y ceniza cubrió con un manto de más de 50 cm todos los alrededores del volcán. Voluminosos flujos piroclásticos bajaron por el valle de Vazcún mientras otros viajaban hasta 15 km del cráter en el valle de Patate, represando los ríos Pastaza y Patate. Otras nubes ardientes cubrieron una gran parte del flanco occidental del volcán (Cusúa, Chontapamba, Puela etc.) y detuvieron el curso del río Chambo. Los productos pumíticos emitidos al inicio de la erupción son de composición *dacítica*, pero el magma evolucionó rápidamente hacia composiciones más *básicas* y *andesíticas*.

Esta erupción paroxismal fue seguida, algunos meses o años después, de otra explosión con nuevos flujos piroclásticos en el valle de Vazcún, en Las Juntas y hacia otros sitios más al Sur. Otra erupción fuerte con flujos piroclásticos ocurrió en el siglo X d.C.

### **Erupción del siglo XIV**

La última erupción que se ha podido identificar en el período prehistórico ocurrió durante el siglo XIV d.C., sin que se pueda tener más precisión sobre la fecha exacta. Durante esta erupción, los flujos piroclásticos de bloques y escoria bajaron por las quebradas Pinguillo y Motilones, entre otras, ubicadas en el flanco occidental. Los estudios recientes indican que este episodio eruptivo culminó con un derrame de lava que bajó por el flanco occidental del volcán. Hoy en día se reconoce

claramente la morfología rugosa de esta lava en el sector del pueblo de Bilbao, el cual está construido cerca del frente, o sobre dicha lava (fig. 18).



**Figura 18.** Vista de la lava que bajó hasta el pueblo de Bilbao, muy probablemente durante el siglo XIV (Foto J.-L. Le Pennec, IRD/IG-EPN).

## ■ EL PERÍODO HISTÓRICO DEL TUNGURAHUA III

Además de la fase actual de actividad, los documentos históricos reportan cuatro períodos eruptivos posteriores a la conquista española (fig. 17): 1640, 1773, 1886 y 1916-1918 d.C.

Se caracterizaron por la ocurrencia de uno o más episodios explosivos que generaron productos piroclásticos (Le Pennec, *et al.*, 2004a). Los eventos de 1773 y 1886 terminaron con la emisión de flujos de lava.

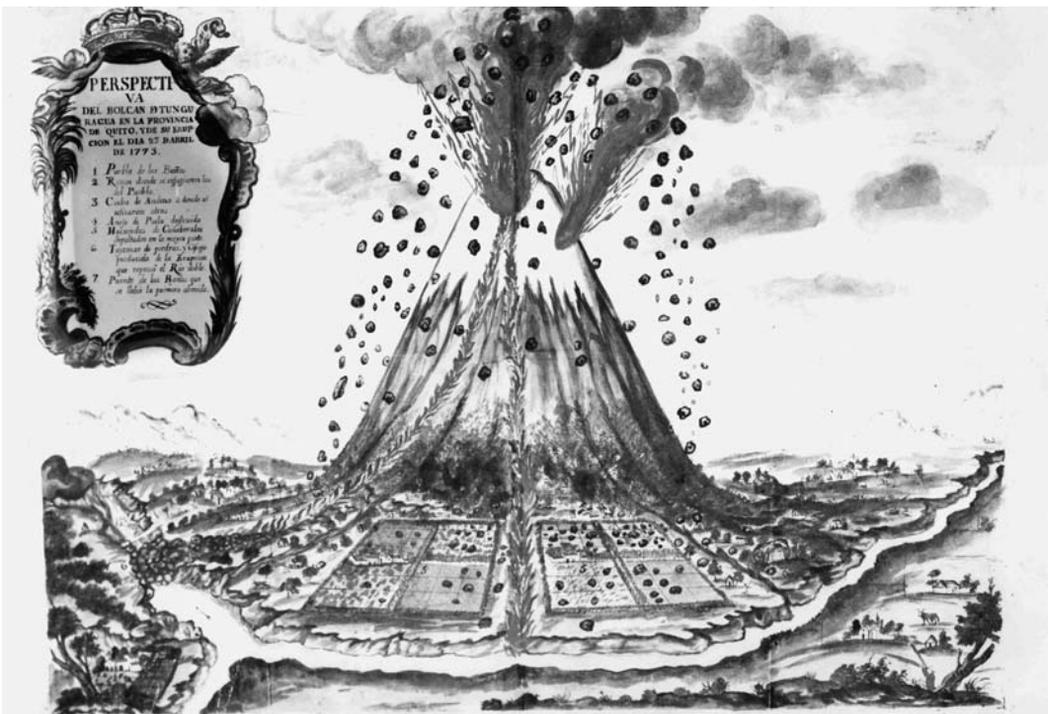
### **Erupción de 1640 d.C.**

Los historiadores reportan que en el año 1534 d.C. una erupción con caída de ceniza sorprendió a los conquistadores cuando atravesaban por primera vez el valle interandino. Algunos historiadores han atribuido esta erupción al Tungurahua mientras que otros la relacionaron al volcán Cotopaxi. Los estudios geológicos recientes realizados en el Tungurahua no han permitido encontrar evidencias de una erupción notable de este volcán en el siglo XVI.

Por otro lado, algunos viajeros e historiadores han reportado otra posible erupción del Tungurahua alrededor del año 1640 d.C. La autenticidad de dicha erupción ha sido discutida, sin embargo nuevos trabajos geológicos demuestran claramente que la erupción de 1640 d.C. fue una realidad. La distribución de los depósitos indica que se trata de una erupción fuerte, y que las nubes piroclásticas viajaron hasta alrededor de 16 km aguas arriba en los valles de los ríos Chambo y Patate. Existen evidencias de que la erupción destruyó asentamientos humanos, ya que se han encontrado fragmentos de cerámica colonial en algunos sitios donde quedan remanentes de los depósitos de la erupción.

## Erupción de 1773 d.C.

En este año, se reportaron (Martínez, 1886) importantes caídas de ceniza y material piroclástico de mayor tamaño (*lapilli*). El 23 de abril de 1773, importantes flujos piroclásticos bajaron por el sector de Cusúa (visible en la pintura de la fig. 19). Adicionalmente, durante esta erupción, la ciudad de Baños fue afectada por un flujo piroclástico que descendió por el valle del río Vazcún y se extendió sobre una parte de la pequeña ciudad de aquel entonces (sector comprendido entre el cementerio y la antigua iglesia). Finalmente, un gran flujo de lava *andesítica* descendió, por el flanco noroeste del cono hacia las áreas de Juive Grande y La Pampa, represando el río Pastaza por varios días.



**Figura 19.** Pintura que representa la erupción del volcán Tungurahua, en 1773. (Fuente: Archivo de Indias de Sevilla, España).

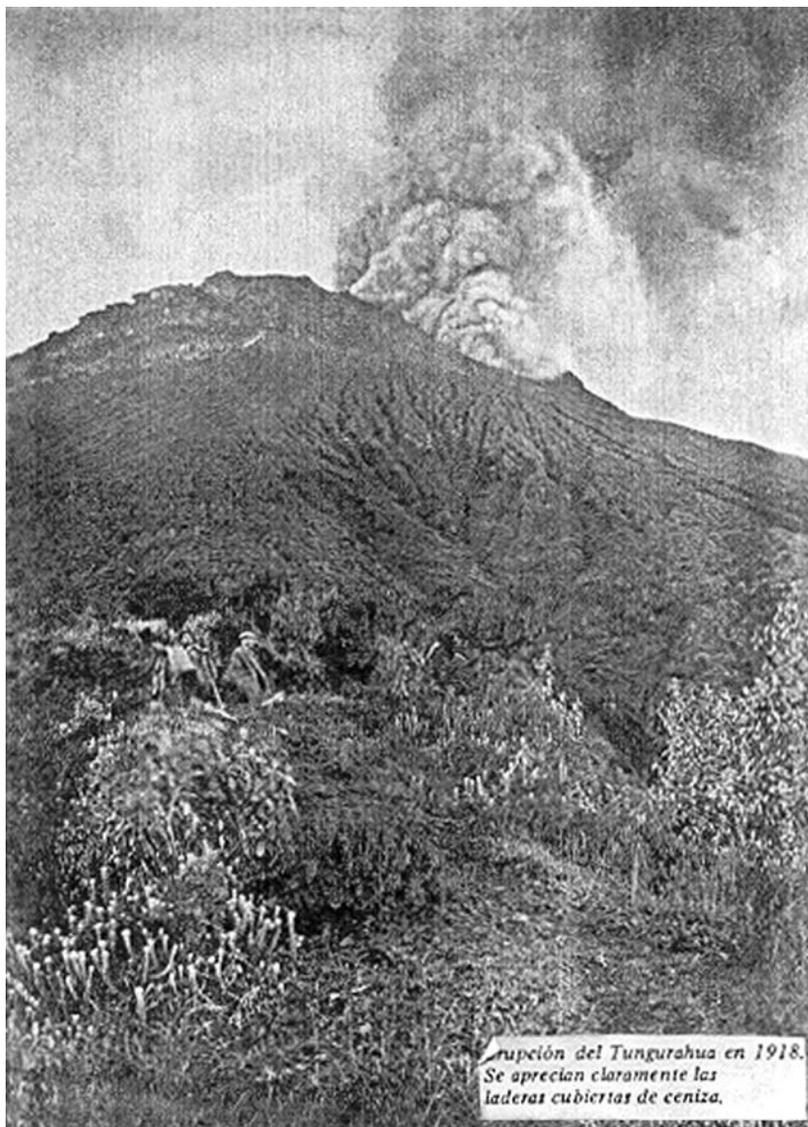
## **Erupción de 1886 d.C.**

Esta erupción empezó el 11 de enero y se caracterizó por la ocurrencia de numerosos flujos piroclásticos que siguieron diferentes rutas en el flanco occidental (Martínez, 1886), principalmente las quebradas de Confesionario, Rea e Ingapirca, y también hacia Cusúa, Las Juntas y Juive, donde cubrieron parcialmente el flujo de lava de 1773. Abundantes flujos piroclásticos entraron por el río Patate hasta el pueblo de Puñapí, dejando brechas y escombros que represaron el río Patate por dos semanas. El pequeño lago formado aguas arriba de esta represa alcanzó cerca de 6 km en su extensión máxima. 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 por poco tiempo el río Chambo. Durante esta erupción, varios flujos de escombros descendieron por el flanco suroeste hasta Puela, sin embargo ocurrieron también otros flujos de escombros que descendieron por los valles Vazcún y Ulba.

## **Erupción de 1916-1918 d.C.**

Esta fase eruptiva fue la más notoria (fig. 20) debido a los flujos piroclásticos que descendieron por 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 N. Martínez (1932, anexo 3). Al finalizar este período hubo un flujo de lava, por lo que se supone que la lava quedó confinada al interior del cráter. Adicionalmente se tiene reportes de la generación de flujos de escombros, especialmente por los valles de Vazcún y Ulba. Estudios bibliográficos recientes (J. Egred, comunicación personal, 2002) 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.

Lo importante de este período es que a pesar de que la actividad duró más de tres años, esta no fue continua, sino más bien se caracterizó por alternar 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. Las principales explosiones ocurrieron el 28 de febrero de 1918, cuando una tenebrosa nube de ceniza obscureció la región durante tres días. El 5 de abril del mismo año se produjo la explosión más fuerte para la cual se tiene una descripción detallada (anexo 3). Las nubes ardientes cubrieron la lava de 1886 antes de separarse en las quebradas Ashupashal y Cusúa. Los flujos piroclásticos también se encauzaron por las quebradas Hacienda, Choglontus, y cubrieron los sectores de Juive y La Pampa. La última explosión fuerte sucedió el 16 de noviembre de 1918, acompañada por otras nubes ardientes que bajaron hacia Juive y Cusúa. Una gran nube volcánica dejó una capa de escoria de 10 a 15 centímetros de espesor en los sectores de Bilbao y Cusúa, y menos en los otros flancos del volcán. La ceniza cayó en abundancia en Ambato y llegó hasta Quito.



**Figura 20.** 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).

## 4. Monitoreo volcánico

---

**A** la luz de los estudios geológicos y de las descripciones resumidas anteriormente, se ha puesto claramente en evidencia que el Tungurahua ha sido frecuentemente activo en el pasado, generando fenómenos volcánicos muy peligrosos para quienes vivan en su cercanía. Por lo tanto, se ha demostrado la necesidad de vigilar cuidadosamente el comportamiento del volcán, para tratar de predecir cualquier evento potencialmente peligroso para la población y/o sus pertenencias. Esta actividad se desarrolla en el marco de lo que se llama el “monitoreo volcánico”. Los cambios físicos y químicos del sistema magmático bajo el volcán reflejan condiciones de intranquilidad en el sistema volcánico, que pueden desembocar en una reactivación. Algunos de estos cambios pueden ser percibidos directamente por la población que vive en los alrededores del volcán, mientras que otros son únicamente detectados por instrumentos científicos extremadamente sensibles. La vigilancia o monitoreo volcánico, cuyo objetivo es detectar esos cambios físico-químicos, puede hacérsela ya sea por observación visual o instrumentalmente.

### ■ VIGILANCIA POR OBSERVACIÓN

Este método de monitoreo se basa en la detección de los cambios en la actividad de un volcán, detectables por los sentidos humanos y por lo tanto pueden ser detectados por la población. El monitoreo por **observa-**

**ción 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 sistemas de origen volcánico.

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.

## ■ VIGILANCIA INSTRUMENTAL

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 es-



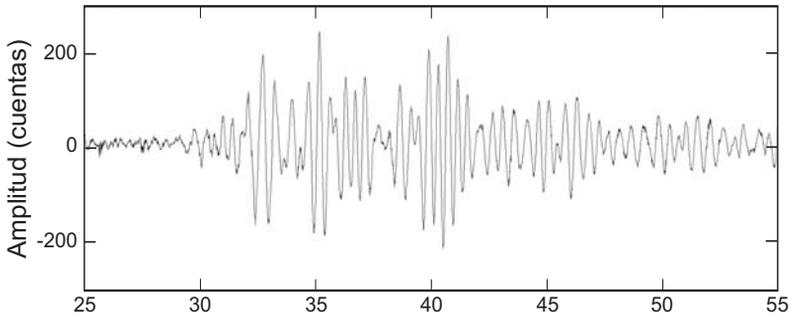
■ **Figura 21.** Instalación de una estación sísmica en los flancos del volcán Tungurahua, por parte de los Ings. Richard Jaramillo (Electrónico) y Mario Ruiz (Sismólogo) del IG-EPN.

tudio 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.

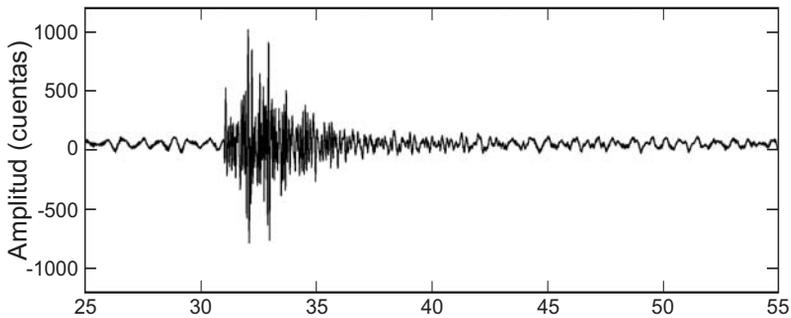
El monitoreo **sísmico** consiste en detectar, por medio de *sismómetros* extremadamente sensibles (fig. 21), las vibraciones del suelo (*sismos*) producidas por la fracturación de las rocas al interior de un volcán o por el movimiento del magma o de gases magmáticos al interior del edificio volcánico. El ascenso del magma o de otros fluidos magmáticos genera sismos y otras señales sísmicas detectables por los instrumentos y que pueden constituir predecesores de la actividad eruptiva. Las señales sísmicas más frecuentes en el caso del volcán Tungurahua (fig. 22) 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 temblor volcánico que corresponde a una vibración de larga duración que 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. Los sismos VT también permiten estudiar la estructura interna del volcán (Molina, *et al.*, 2005).

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 del 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. 23); la medida de los cambios en la pendiente del cono volcánico, utilizando *incli-*

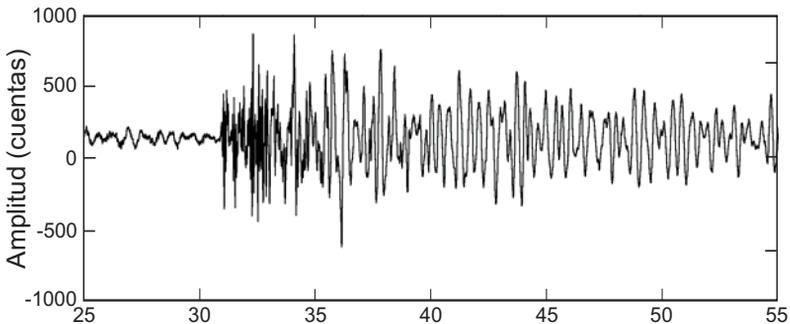
**Sismo LP del 5 feb 1999 11H47 Gmt (prof. 3.8 km)  
registrado en la estación MSON**



**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.** Principales tipos de señales sísmicas registradas por los sísmógrafos instalados sobre el volcán Tungurahua (datos del IG-EPN).



**Figura 23.** 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.

nómetros electrónicos (*tiltmeters*); o, la medida del desplazamiento del suelo a base de *GPS* (*Global Positioning System*).

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 ascenso del magma bajo un volcán. Adicionalmente, y debido a la dificultad y peligrosidad de realizar muestreos periódicos de las *fumarolas* de los volcanes activos, se utiliza el *COSPEC* (*Espectrómetro de co-*

**Figura 24.** Realización de medidas de las emisiones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) 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.



*rrelación*, fig. 24), que permite determinar la concentración del gas de origen magmático  $\text{SO}_2$  en la columna de emisión.

## ■ **El monitoreo volcánico realizado por el IG-EPN**

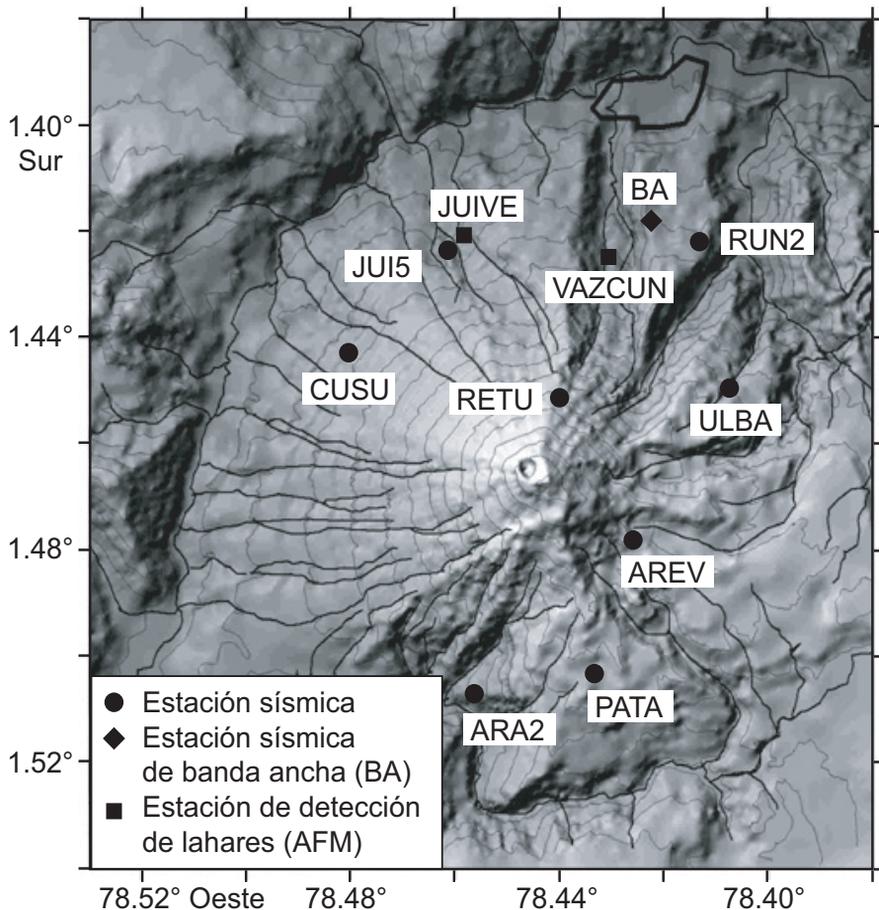
El monitoreo volcánico del Tungurahua consta de las redes de monitoreo de sismicidad y deformación, así como de los muestreos, medidas y análisis continuos de los gases y de las aguas termales. Por otro lado, desde septiembre de 1999, el IG-EPN estableció el Observatorio del Volcán Tungurahua (OVT), 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.

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.

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 volcán, 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. 25) 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.

La red de monitoreo de la *deformación* (fig. 26) consta de dos inclinómetros electrónicos ubicados en los flancos Norte y Noroccidental; y de 5 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).

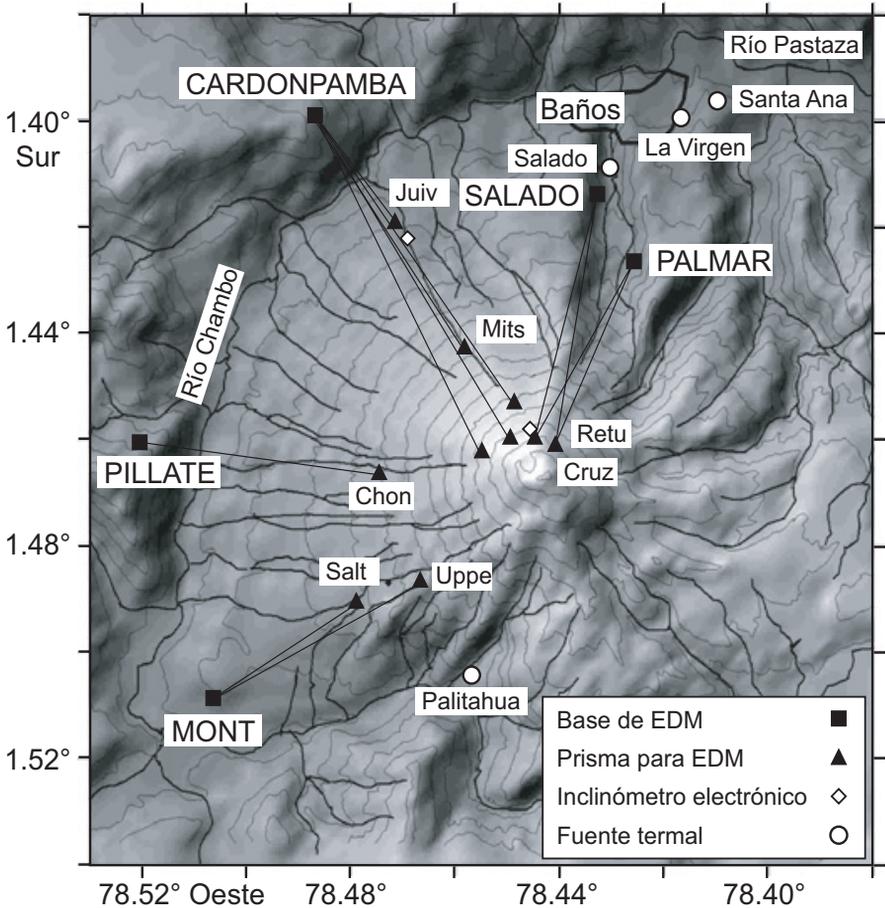
El monitoreo geoquímico consiste en hacer un muestreo periódico de las aguas y gases de las fuentes termales de La Virgen, El Salado y Santa Ana en el flanco Norte; y de Palitagua en el flanco Sur. Adicionalmente, desde el inicio de la reactivación del volcán (a mediados de 1999) se realizan periódicamente medidas de las emisiones de SO<sub>2</sub> en la columna de gases y vapor que frecuentemente sale desde el *cráter*. Estas medidas se realizan con la ayuda del COSPEC. Recientemente, durante el año 2004 se instaló un equipo de



**Figura 25.** Red de monitoreo sísmico y detectores de lahares (AFM) del volcán Tungurahua, mayo de 2003. (Fuente: IG-EPN).

monitoreo de gases volcánicos en tiempo real, denominado *DOAS*, el cual nos permite contar, a diferencia del *COSPEC*, con datos permanentes de las emisiones gaseosas del volcán.

Desde enero de 2000, se inició una estrecha cooperación con el COE cantonal de Baños, quienes establecieron una red compuesta por quince vigías, quienes,



**Figura 26.** Red de monitoreo de la deformación y ubicación de las fuentes termales, Mayo de 2003. (Fuente: IG-EPN).

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 los 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.

Finalmente, cabe destacar que, dentro del marco del proyecto DIPECHO, se ha mejorado el monitoreo volcánico que realiza el IG-EPN con la instalación de una cámara de video, una estación meteorológica y un nuevo equipo de monitoreo de gases volcánicos denominado FTIR. La cámara de video está instalada en el sector de Bayushig, ubicado al SW del volcán, y permite a los científicos del Observatorio tener una vista de este flanco del volcán. Por su parte la estación meteorológica permitirá conocer, entre otros parámetros atmosféricos, la dirección del viento en el sector occidental, para poder alertar de mejor manera a las comunidades que viven en este sector y que han sufrido los impactos de las caídas de ceniza desde el año 1999. El *FTIR* es un instrumento de última tecnología que viene a complementar el equipo ya existente (COSPEC-DOAS) y que permitirá mejorar las mediciones de los gases volcánicos emitidos por el Tungurahua.

## 5. El proceso eruptivo iniciado en el 1999

---

Gracias a los instrumentos instalados por el IG en el año 1988, los científicos han podido seguir la evolución de varias señales geofísicas, que indicaron con anticipación que el Tungurahua entraba a fines de los años 90 en una fase de reactivación eruptiva. A continuación presentamos la cronología de los eventos que se iniciaron en el año 1993, cuando se detectaron los primeros síntomas de intranquilidad del volcán. Sobre todo, detallamos el período correspondiente a la fase eruptiva actual del volcán Tungurahua, iniciado en octubre 1999 y que se prolonga hasta la fecha (octubre 2005).

### 1993

---

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

**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.

### 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 a 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** Tercer enjambre de sismos volcano-tectónicos

■ **Figura 27.** El volcán Tungurahua con su manto de nieve antes de su reactivación. 31 de mayo de 1999 (Foto: Michel Monzier, IRD/IG-EPN).



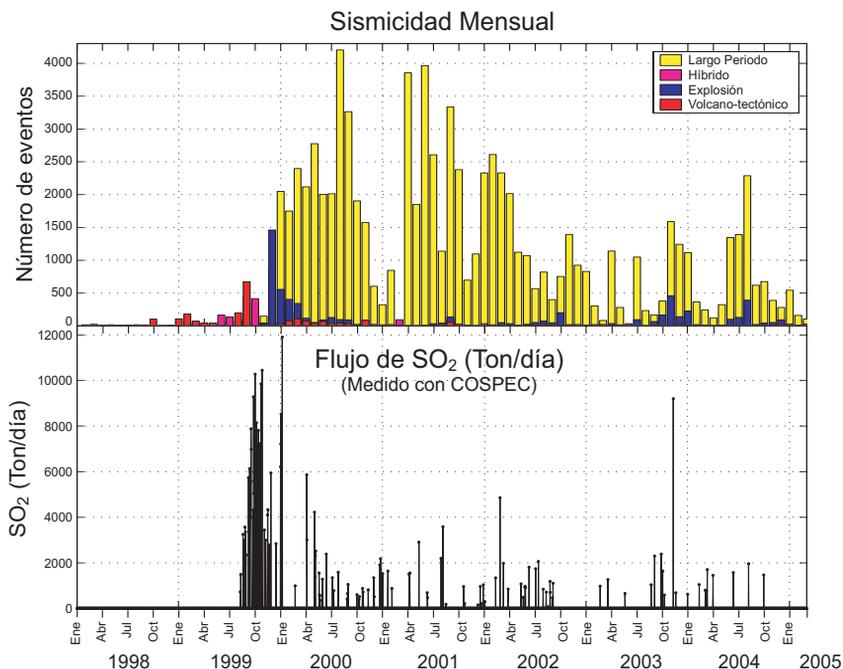
de origen superficial. El cráter del volcán todavía no muestra señales de reactivación (fig. 27).

**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 que salían del cráter y un fuerte olor a azufre.

**Agosto** Se registraron varios eventos volcano-tectónicos, y de largo período, de carácter profundo. Por otra parte se registraron los primeros valo-

**Figura 28.** Resumen de los parámetros monitoreados por el IG desde enero 1999 hasta julio 2005.

- A: El tono 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 SO<sub>2</sub> realizadas con el COSPEC.



res altos de SO<sub>2</sub>, confirmando el ascenso de magma bajo el volcán (fig. 28). Una *fumarola* semi permanente de más de 100 m de altura fue claramente visible desde Baños y los alrededores.

**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, el cual fue 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.

**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<sub>2</sub> superó las 10 000 toneladas por día (fig. 28) 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. Durante la primera quincena de este mes, debido al importante incremento de la actividad del volcán, un gran número de pobladores de Baños y de los alrededores del volcán comenzaron a abandonar voluntariamente sus viviendas. El **15 de octubre**, por los altos valores la actividad sísmica, de las medidas altas del flujo de SO<sub>2</sub> y la observación de incandescencia en el cráter se re-

comendó 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 de Volcán Tungurahua (OVT), que hasta la fecha había funcionado en 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 3 meses, hasta el **5 de enero de 2000**, cuando los pobladores comenzaron a regresar a la ciudad bajo su propia responsabilidad, habiendo roto el cerco militar impuesto por las autoridades. 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.

**Noviembre.** La actividad eruptiva continua 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 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.

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

## 2000

---

**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.

**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 Vascún. 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.

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

**Diciembre.** Nivel bajo de actividad eruptiva. El **31 de diciembre**, por 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 eruptivas cargadas de ceniza que depositan una capa de hasta 3 cm de espesor en las poblaciones inmediatas al occidente del volcán y de más de 10 cm en los flancos superiores del Tungurahua (fig. 7). 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 del occidente del volcán.

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

**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.

## 2002

---

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

**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.

**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.

**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.

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

**Septiembre.** Importante liberación de energía sísmica. Ocurrencia de algunos sismos volcánico-tectónicos bajo el volcán y posteriormente de tremor. Actividad explosiva importante (fig. 29); 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 de 2001, que vuelven a afectar a los habitantes que viven al oeste del volcán.

**Octubre.** Explosiones de tamaño moderado a grande durante los primeros días del mes. A continuación se registró una disminución progresiva del



**Figura 29.** Fotografía de una explosión del volcán Tungurahua, el 23 de septiembre de 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 hacia el suroccidente. Nótese, además, la cicatriz (flecha) de la caldera de avalancha del volcán Tungurahua II (Foto: Jean-Philippe Eissen, IRD/IG-EPN).

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.

**Noviembre.** Actividad de moderada a baja, con un temblor de fondo casi permanente durante las dos primeras semanas y emisiones leves de gases y vapor de color blanco. Durante las dos primeras semanas se tuvo un promedio de 30-40 sis-

mos diarios y una explosión cada dos días; en cambio, durante las dos últimas semanas, la sismicidad decreció progresivamente hasta valores cercanos a 0 eventos sísmicos y una sola explosión durante la última semana del mes.

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

## **2003**

---

**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 el mes de febrero.

**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 5 explosiones diarias) con eyección de bloques incandescentes y bramidos. Toda esta actividad disminuyó considerablemente durante la última semana del mes.

**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.

**Junio a julio.** Se registró un solo evento volcano-tectónico antes de un incremento de sismos de largo período. Luego de dicho enjambre se registraron diferentes tipos de tremor volcánico y eventos de largo periodo muy energéticos (registrados en estaciones lejanas como el Coto-paxi). Asociado con esta actividad se presenciaron fuentes de lava, actividad estromboliana y algunos bloques que descendieron por el flanco nor-occidental formando en conjunto “lenguas” que se apreciaron a simple vista. Las consecuencias más notorias de este ciclo fueron las caídas de ceniza durante un lapso de dos semanas. Dichas caídas fueron tan intensas que los cantones de Pelileo, Quero, Cevallos, Mocha, Guano y Penipe fueron declarados en emergencia por el Presidente de la República del Ecuador. En el mes de julio, la actividad comenzó a decrecer.

**Agosto** Ocurrencia de sismos volcano-tectónicos, sismos tectónicos a 40 km del volcán (en la zona de Pisayambo) y enjambre de eventos de largo período precedieron a un incremento en la actividad del volcán (explosiones, caídas de ceniza y actividad estromboliana). Las zonas ubicadas al S-SO del volcán fueron afectadas por importantes caídas de ceniza (Riobamba, Guaranda, Penipe, Guano y Mocha).

**Septiembre.** El incremento de la actividad eruptiva (explosiones, fuentes de lava, actividad estromboliana, caídas de ceniza en los flancos superiores del volcán y en las zonas ubicadas en la parte O-SO y ocasionalmente N-NO del volcán) se dio con la ocurrencia paulatina de un evento volcano-tectónico, un leve incremento en la

actividad de largo período y la inmediata ocurrencia de un sismo tectónico en la zona de Pisayambo (de magnitud 4,7).

**Octubre.** La actividad volcano-tectónica de carácter superficial y profunda, y algunos enjambres de eventos de largo periodo precedieron a un incremento de la actividad eruptiva (actividad estromboliana, explosiones muy energéticas, leves caídas de ceniza en Ambato, Baños, Patate y Guadalupe). Un evento en la región de Pisayambo también tuvo lugar pero en esta ocasión el inmediato incremento de la actividad del volcán no fue tan directo.

**Noviembre a diciembre.** La actividad volcano-tectónica fue de carácter profundo y hubo un enjambre de eventos de largo periodo con características espectrales diferentes a los que normalmente solían preceder a un incremento en la actividad hasta el momento. Se registró un temblor volcánico cuya ritmicidad temporal le hace denominar “temblor bandeado”. Dicho temblor estuvo relacionado con caídas de ceniza importantes en Runtún, Baños, Pelileo, Patate, Guadalupe, Cusúa, Cotaló, Pillate y Mocha.

## **2004**

---

**Enero a marzo.** La actividad fue baja, presentándose durante la última semana un evento sísmico de la región de Pisayambo (de magnitud 5,1) y los denominados eventos de largo periodo que se registran principalmente en la estación sísmica de Juive.

**Abril** Eventos de tipo volcano-tectónico en la zona del Valle de Patate (a 10 km de distancia del volcán) fueron sentidos por algunos pobladores

alrededor del volcán y precedieron a un incremento de la actividad en el cráter que fue caracterizada por una emisión casi permanente de gases y ceniza, fuentes de lava y muy pocas explosiones.

**Mayo a julio.** Se presentaron enjambres de eventos de largo período y un progresivo incremento de la actividad con apreciables fuentes de lava, actividad estromboliana y explosiones energéticas cuyos cañonazos en una ocasión rompieron los vidrios de algunas casas en la zona de Masón. Igualmente se presentaron leves caídas de ceniza en los flancos superiores del volcán, Penipe, Pillate, El Manzano, Bilbao y sectores aledaños al Chimborazo.

**Agosto** La actividad del volcán descendió y las explosiones se hicieron más escasas.

**Septiembre a octubre.** Parámetros sísmicos y visuales tuvieron un nivel bajo, aunque se observó ocasionalmente actividad estromboliana. Hubo una intensificación en la actividad volcano-tectónica (de carácter profundo y distal), con algunos eventos sísmicos ubicados en el Valle del Patate.

**Noviembre a diciembre.** Continuó intensificándose la actividad volcano-tectónica (de carácter profundo y distal). Se incrementó la actividad de emisiones y explosiones, la misma que estuvo caracterizada por un flujo de gases continuo con ocasionales cantidades de ceniza. Se reportaron caídas de ceniza en Puela, Juive, Pondoá y Baños. Se continuó registrando actividad volcano-tectónica en el valle del Patate.

## 2005

---

**Enero** Se presentó un ligero descenso en la actividad con respecto al mes de diciembre de 2004. La actividad se caracterizó por la presencia casi permanente de emisiones de gases, vapor y ocasionalmente ceniza. Las explosiones ocurrieron únicamente en la primera semana y fueron de tamaños moderados.

**Febrero.** El volcán Tungurahua continuó disminuyendo su actividad con respecto al mes anterior, sin embargo, a mediados de febrero se presentaron dos pequeños enjambres de eventos de largo período y varios eventos volcano-tectónicos que potencialmente estuvieron relacionados con el incremento de la actividad tectónica. A su vez dicha actividad tectónica estuvo relacionada con ligeras caídas de ceniza en Juive, Cusua, Cotaló, Quero (parte alta), Bilbao, Pillate, Motilones, Puela y la parte alta del cono. Durante este mes no ocurrieron explosiones. Por otra parte, las lluvias ocurridas a mediados de febrero generaron dos grandes flujos de lodo que descendieron por las quebradas de Vazcún y Juive, y además causaron inconvenientes en las piscinas de El Salado y en la zona de La Pampa.

**Marzo** El volcán Tungurahua, presentó niveles bajos en su actividad sísmica. La actividad se ha caracterizado por la presencia casi permanente de emisiones de gases, vapor y ocasionalmente poca ceniza. Se presentaron ligeras caídas de ceniza en Puela y Bilbao. No ocurrieron explosiones.

**Abril a julio.** Durante estos meses la actividad fue baja. Las emisiones superficiales fueron constituidas por vapor, con un contenido leve a moderado de ceniza. En algunas ocasiones, durante estos meses, se presentaron leves caídas de ceniza en los sectores al NW y W del volcán. La actividad de explosiones disminuyó drásticamente, registrándose únicamente tres explosiones durante este período. La actividad presente corresponde a un sistema abierto y sin energía en el que las emisiones de gases con poca cantidad de ceniza ocurren de una manera súbita. Desde los últimos meses se observa un decremento en el número de eventos volcano-tectónicos y de largo período indicadores de una disminución de la actividad del volcán (fig. 28).



## 6. La continuación del proceso eruptivo del volcán Tungurahua

---

En octubre de 2005, la erupción del volcán Tungurahua cumplió seis años. Durante este lapso el volcán ha presentado períodos de intensa actividad eruptiva, intercalados entre 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 y 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.

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 y Guano). Sin embargo, a pesar de que la actividad del volcán ha sido casi continua desde el inicio de la erupción, hasta la fecha (octubre 2005) no se han producido flujos piroclásticos o nubes ardientes, fenómenos que, por el contrario, si han estado

presentes en cada una de las tres 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 pueden afectar los flancos occidentales del cono volcánico, desde el sector de Juive Chico hasta Puela, así como los valles de Vascún y Ulba en el flanco norte durante episodios eruptivos más intensos que los que hasta ahora han ocurrido.

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 piroclásticos. En este último caso, la única solución es la evacuación de los sitios potencialmente afectados con 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 imposibilidad 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 y maquinaria y otros.

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 más importante se destaca que la erupción más destacada de un ciclo eruptivo no viene necesariamente al inicio del mismo, 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.

Por las características del presente período eruptivo y la actividad histórica del volcán no se puede excluir que el presente ciclo del volcán Tungurahua se extienda por varios años más y que dentro de este ciclo ocurra una o más erupciones lo suficientemente importantes como para producir flujos piroclásticos, como ocurrió 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 flujo de lava, como fue el caso en dos erupciones históricas (1773 y 1886).

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 tiene la necesidad 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 de 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 los 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 exactas) 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. En este sentido el proyecto DIPECHO “Mitigando los riesgos de vivir cerca de un volcán activo” ha fortalecido el conocimiento de los fenómenos volcánicos por parte de las poblaciones de los alrededores del volcán, pero también ha establecido los puentes necesarios para fortalecer la relación entre los científicos y la comunidad.
- 3.** Un sistema efectivo de comunicación, que permita transmitir adecuadamente a la comunidad tanto el riesgo al que está expuesta, como las acciones que debe tomar 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 lahares). 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 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 no ocurran.

Si la cotidianidad 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.

## 7. Referencias bibliográficas

---

- Andrade, D., M.L. Hall, P. Ramón, P.A. Mothes, A.G. Ruiz, y S. Hidalgo,  
2004 “Observación instrumental de lahares en el volcán Tungurahua entre abril-2000 y agosto-2001”, *Investigaciones en Geociencias*, No. 1, Quito, IRD/IG-EPN/Corporación Editora Nacional, edits., pp. 9-12.
- Barberi, F., M. Coltelli, G. Ferrara, F. Innocenti, J.M. Navarro, y R. Santacroce,  
1988 “Plio-Quaternary volcanism in Ecuador”, *Geological Magazine*, vol. 125, pp. 1-14.
- Clapperton, C.M.,  
1993 *Quaternary geology and geomorphology of South America*, Amsterdam, Elsevier, pp. 779.
- Hall, M.L., C. Robin, B. Beate, P. Mothes, y M. Monzier,  
1999 “Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, No. 91, pp. 1-21.
- Hall, M.L., C. Robin, B. Beate, P. Mothes, y M. Monzier,  
2002 “Mapa de peligros potenciales del volcán Tungurahua”, I.G.M., edit., Quito.
- Jaya, D., J.-L. Le Pennec, L. Troncoso, P. Samaniego, y D. Barba,  
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, Quito, Escuela Politécnica Nacional, 8-11 abril 2001, memorias, p. 82-84.
- Le Pennec, J.-L., P. Mothes, M.L. Hall, P. Ramón, y G.A. Ruiz,  
2002 “Maximum and minimum volume estimates of an ash fall layer from the August 2001 eruption of Mt. Tungurahua (Ecuador)”, Fifth International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG), Toulouse, France, Editions IRD, pp. 371-374.

- Le Penneec, J.-L., D. Jaya, P. Samaniego, J. van der Plicht, H. Yepes, M.L. Hall, P. Ramón, P. Mothes, y P.J. Egred,  
2004a “A reconstruction of the historical eruptions of Tungurahua Volcano, Ecuadorian Andes”, IAVCEI general assembly Pucón, Chile, november 2004, (abstract, s12b-0-12).
- Le Penneec, J.-L., A.G. Ruiz, P.A. Mothes, M.L. Hall, y P. Ramón,  
2004b “Estimaciones del volumen global del depósito de ceniza de la erupción de agosto del 2001 del volcán Tungurahua”, *Investigaciones en Geociencias*, No. 1, IRD/IG-EPN/Corporación Editora Nacional, edits., pp. 13-18.
- Martínez, A.,  
1886 Reporte en el periódico *La Nación*, 17 de marzo 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., y M.C. Ruiz,  
2003 “Precursores de la actividad sísmica en el Volcán Tungurahua”, *Investigaciones en Geociencias*, coedición IRD/IG-EPN/Corporación Editora Nacional, num. 1: p. 128-136.
- 2004 “Cambios temporales del valor de *b*: posibles correlaciones con el tremor volcánico y los cambios geoquímicos de las fuentes termales del Tungurahua”, *Investigaciones en Geociencias*, No. 1, Quito, IRD/IG-EPN/Corporación Editora Nacional, edits., pp. 144-149.
- 2004 “Estudio temporal de las frecuencias del tremor volcánico del Tungurahua”, *Investigaciones en Geociencias*, No. 1, Quito, IRD/IG-EPN/Corporación Editora Nacional, edits., pp. 137-143.
- Molina, C.I., A.P. Acevedo, y M.C. Ruiz,  
2004 “Relocalización de los eventos sísmicos del volcán Tungurahua y su análisis de error”, *Investigaciones en Geociencias*, No. 1, Quito, IRD/IG-EPN/Corporación Editora Nacional, edits., pp. 123-127.

- Molina, C.I., H. Kumagai, J.-L. Le Pennec, y M.L. Hall,  
 2005 “Three-dimensional P-wave velocity structure of Tungurahua volcano, Ecuador”, *Journal of volcanology and Geothermal Research* (en prensa).
- Mothes, P.A., M.L. Hall, R.P. Hoblitt, y C. Newhall,  
 2004 “Caracterización de los flujos piroclásticos producidos por el volcán Tungurahua y evidencia de dichos flujos en la ciudad de Baños”, *Investigaciones en Geociencias*, No. 1, Quito, IRD/IG-EPN/Corporación Editora Nacional, edits., pp. 19-27.
- Nairn, I.A.,  
 1991 “Volcanic hazards of Okataina Volcanic Centre”, *Volcanic Hazards Information Series*, No. 2, New Zealand Ministre of Civil Defense, p. 29.
- Neall, V.E., B.F. Houghton, S.J. Cronin, S.L. Donoghue, K.A. Hodgson, D.M. Johnson, J.A. Lecoître, y A.R. Mitchell,  
 1999 “Volcanic hazards at Ruapehu volcano”, *Volcanic Hazards Information Series*, No. 8, New Zealand Ministre of Civil Defense, p. 30.
- Newhall, C.G., y S. Self,  
 1982 “The volcanic explosivity index (VEI) : an estimate of explosive magnitude for historical eruptions”, *Journal of Geophysical Research*, No. 87, pp. 1231-1238.
- Ruiz, A.G., D.P. Barba, H. Yepes, y M.L. Hall,  
 2003 “Las nubes de ceniza del volcán Tungurahua entre octubre 1999 y septiembre 2001”, *Investigaciones en Geociencias*, No. 1, Quito, IRD/IG-EPN/Corporación Editora Nacional, edits., pp. 28-31.
- Samaniego, P., J.-P. Eissen, J.-L. Le Pennec, M.L. Hall, M. Monzier, P. Mothes, P. Ramón, C. Robin, J. Egred, I. Molina, y H. Yepes,  
 2003 “Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua”, serie *Los peligros volcánicos en el Ecuador*, No. 1, Quito, Corporación Editora Nacional, IG-EPN, IRD.

- Samaniego, P., J.-P. Eissen, M. Monzier, C. Robin, A. Alvarado, y H. Yepes,  
2004 “Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe”, serie *Los peligros volcánicos en el Ecuador*, No. 2, Quito, Corporación Editora Nacional, IG-EPN, IRD.
- Simkin, T., y L. Siebert,  
1994 *Volcanoes of the world*, Washington D.C., Geosciences Press Inc., pp. 349.
- USGS Cascades Volcano Observatory Webpage (<http://volcan.wr.usgs.gov>).

## 8. Glosario

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

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

**Amplitud:** La amplitud de una señal sísmica corresponde a la magnitud del movimiento del suelo en un instante dado producido por la acción de las ondas sísmicas.

**Andesita:** Roca de origen volcánico de color gris medio, 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.

**A.P.:** Antes del presente. Abreviación utilizada para una fecha ocurrida en el pasado.

**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*.

**Átomo:** Unidad elemental de la materia. Elemento químico constituido por un núcleo (for-

mado a su vez por protones y neutrones) alrededor del cual se encuentran los electrones. El número de electrones define las propiedades químicas del átomo y el núcleo sus propiedades físicas.

**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 inducida por ejemplo, por la alteración hidrotermal.

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

**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 (e.g. islas Galápagos).

**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. Un “blast” es una mezcla caliente de baja densidad de fragmentos de roca, ceniza y gases que se mueven a altas velocidades a través de la superficie terrestre.

**Bloques y bombas volcánicas:** Fragmentos de lava de tamaños superior a 64 mm expulsado por una erupción volcánica. Si son expulsados en estado sólido se denominan bloques, mientras que si son expulsados en estado semi-sólido o plástico se denominan bombas.

**Brechas:** Masa rocosa constituida por fragmentos de roca de diferentes formas y tamaños.

**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 está en función de la dirección de los vientos.

**Caldera:** Gran depresión de origen volcánico, generalmente de forma circular o elíptica, de varios kilómetros hasta varias decenas de kilómetros de diámetro, formada por grandes erupciones volcánicas. La depre-

sión (o anfiteatro) formada por el deslizamiento de un flanco de un volcán o colapso sectorial se denomina **caldera de avalancha**.

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

**Carbono-14:** Isótopo radiactivo del átomo de carbono, que por estar presente en la materia orgánica y por su tiempo de vida media de 5 630 años, permite utilizarlo para datar la materia orgánica hasta una edad de alrededor de 50 000 años antes del presente. Método de *dataciones radiométricas*, basado en el decaimiento radiactivo del Carbono-14. En vulcanología es utilizado para determinar la edad de las erupciones volcánicas menores a 40 000 años antes del presente (AP).

**Ceniza o Ceniza volcánica:** Fragmentos de roca de origen volcánico de tamaño menor a 2 milímetros expulsados a la atmósfera por una explosión volcánica.

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

**Columna eruptiva:** El material expulsado por una erupción

volcánica puede ascender verticalmente sobre el cráter, formando una nube de erupción o columna eruptiva.

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

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

**COSPEC:** ver Espectrómetro de correlación. Del inglés CORrelation SPECtrometer.

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

**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).

**Dacita:** Roca de origen volcánico de color gris claro y enriquecida de sílice (entre 63 y 68% SiO<sub>2</sub>). En estado fundido pre-

senta generalmente una alta *viscosidad*. Las erupciones de magmas dacíticos son generalmente explosivas (e.g. Guagua Pichincha) y pueden producir enormes volúmenes de *tefra*, *flujos piroclásticos* y *domos de lava*.

**Datación radiométrica:** Método que permite determinar la edad de una roca a base del decaimiento radiactivo de diferentes elementos (e.g. *Carbono-14*).

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

**Deformación:** Uno de los parámetros, que junto con la sismicidad y el control geoquímico permiten 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.

**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 producida por una onda sísmica y la distancia recorrida por dicha onda.

**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 comparar las variaciones existentes.

**DOAS (Differential Optical Absorption Spectrometry):** Instrumento científico de última generación que permite determinar la cantidad de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la columna de gases emitida desde el cráter. Está basado en la técnica de Espectroscopia Óptica Diferencial por Absorción.

**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.

**EDM (Electronic Distance Measurement):** ver Distanciómetro electrónico.

**Enjambres sísmicos:** Grupos de decenas hasta miles de eventos sísmicos que se observan durante varias horas o decenas de horas.

**Escala de Richter:** 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 a base de los registros de los instrumentos sísmicos. El concepto de magnitud de un evento sísmico fue introducida en 1935 por Charles F. Richter con la finalidad de establecer una escala convencional que permitiera comparar los diferentes sismos de California.

**Escoria:** Fragmentos de lava formados cuando pequeños volúmenes de lava (generalmente basalto o andesita), 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.

**Espectro de frecuencias:** Contenido de frecuencias de una señal sísmica. Permite determi-

nar las frecuencias dominantes de un evento sísmico.

**Espectrómetro de correlación:**

Instrumento científico que permite determinar la cantidad de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la columna de gases emitida desde el cráter. La medición se hace a partir de un sitio lejano al volcán.

**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 comprendida 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 en-

tre menos de 0,01Hz y varios cientos de Hz.

**Estratovolcán:**

Edificio volcánico de flancos con fuertes pendientes construido por el apilamiento de flujos de lava y niveles de tefra (e.g. Tungurahua, Cotopaxi, Cayambe, Chimborazo, etc).

**Estromboliana (erupción):**

Tipo de erupción volcánica caracterizada por un dinamismo eruptivo un poco más explosivo que en una erupción *hawaiana*. 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).

**Flujo de lava:**

Derrame o corriente de roca fundida, originados en un cráter o en fracturas de los flancos del volcán, por erupciones generalmente no explosivas. 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, del orden de decenas y raramente de centenas de metros por hora para lavas de tipo andesitas a dacitas.

**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 85 km/h), siguiendo los drenajes existentes; sin embargo pueden sobrepasar pequeñas barreras topográficas con relativa facilidad.

**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 (75-150 km/h). Ocurren generalmente en erupciones grandes y explosivas o por el colapso del frente de un domo o un flujo de lava.

**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.

**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.

**Frecuencia:** Número de oscilaciones por unidad de tiempo (segundo) de una onda sísmica. Su símbolo es el Hertz (Hz).

**FTIR (Fourier-Transform Infra Red spectrometer):** Instrumento científico que permite de determinar la presencia de diferentes gases volcánicos emitidos desde el cráter. La medición se hace a partir de un sitio lejano al volcán y está basado en el método de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier.

**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.

**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 em-

bargo se encuentran otros gases como CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, HCl, etc.

**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, a base de las señales emitidas por una serie de satélites artificiales.

**Hawaiana (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 Hawái.

**Hertz (símbolo Hz):** Unidad de frecuencia. 1 Hz = 1 vibración u oscilación por segundo. 0,01 Hz = 1 vibración u oscilación por 100 segundos. 100 Hz = 100 vibraciones u oscilaciones por segundo.

**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.

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

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

**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.

**Isótopo:** Átomo de un mismo elemento químico pero con un número diferente de neutrones en el núcleo. Tienen las mismas propiedades químicas, pero propiedades físicas diferentes.

**Isótopo radiactivo:** Isótopo de un átomo que no es estable. Es decir que con el tiempo, y con un *período* propio, se transforma en un átomo de otro elemento.

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

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

**Lava:** Término utilizado para referirse al magma que alcanza la

superficie en forma líquida que ha perdido la mayoría de su contenido en gases. Roca fundida que erupciona de un *cráter* o una fisura eruptiva.

**Lluvia ácida:** Ciertos gases magmáticos ( $\text{SO}_2$ , 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.

**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.

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

**Manto:** Zona del interior del planeta ubicada entre la *Corteza* y el *Núcleo*.

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

**Nube ardiente:** ver Flujo piroclástico.

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

**Núcleo atómico:** Parte central de un átomo, constituido por los protones y los neutrones y que concentra casi toda la masa de un átomo.

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

**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.

**Peligros volcánicos:** Fenómenos potencialmente dañinos que pueden ocurrir durante una erupción volcánica. En términos probabilísticos los peligros volcánicos representan la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente peligroso.

**Período o tiempo de vida medio de un átomo radiactivo:** Es el tiempo necesario para que se desintegre la mitad de número inicial de átomos. Es decir que,

después de un período el número inicial de átomos ( $N$ ) será de la mitad ( $N/2$ ), después de 2 períodos será de la cuarta parte ( $N/4$ ), después de 3 períodos, el número de átomos será de la octava parte ( $N/8$ ), y así sucesivamente. Por ejemplo, el período o tiempo de vida media del Carbono-14 es de 5 630 años, así, después de 15 períodos (84 450 años), casi no subsisten los átomos iniciales. En la práctica, es casi imposible utilizar el Carbono-14 para conocer la edad de la materia orgánica más antigua que 50 000 años.

**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.

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

**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 a una velocidad promedio de varios cm/año.

**Pleistoceno:** Época de la historia de la Tierra, que forma parte del período Cuaternario y que se extiende desde hace 2 millones de años hasta el inicio del Holoceno (hace 10 000).

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

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

**Radiactividad:** Propiedad de algunas átomos inestables de transformarse en otros átomos con la emisión de un núcleo de Helio (dos protones y dos neutrones), denominada emisión o radiactividad Alfa; o la emisión de un electrón, denominada

emisión o radiactividad Beta; o la emisión de radiaciones muy energéticas, denominadas radiactividad Gamma.

**Reservorio magmático:** ver Cámara magmática.

**Riesgo volcánico:** Representa los efectos dañinos de un peligro volcánico. En términos probabilísticos 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.

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

**Sílice:** Molécula formada por un átomo de silicio y dos átomos de oxígeno ( $\text{SiO}_2$ ), 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.

**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. **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.

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

**Sismograma:** Registro en papel (analógico) o en la computadora (digital) de los eventos sísmicos.

**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.

**Subglaciar (erupción):** Erupción volcánica que ocurre bajo un casquete glaciar. El calor proveniente de los materiales incandescentes (lava o piroclastos) produce la fusión de la nieve y el hielo.

**Tefra:** Término general que comprende cualquier material sólido emitido explosivamente durante una erupción volcánica (ver también *ceniza*, *lapilli*, *bloques* y *bombas volcánicas*, *pomez*, *piroclastos*, etc.).

**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.

**VEI:** El Índice de Explosividad Volcánica (Volcanic Explosivity Index: VEI; 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).

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

**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*.

**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.

**Volcán compuesto:** Tipo de edificio volcánico caracterizado por estar constituido por varios edificios volcánicos de edad diferente. Es el caso del Cayambe o del Chimborazo.

**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*).

**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 asociada a la interacción entre el agua subterránea y el magma (erupción *freatomagmática*).

Modificado de Samaniego, *et al.*, 2004 y de la página Web del “USGS Cascades Volcano Observatory”

<http://volcan.wr.usgs.gov>

## ■ ANEXO 1

### **Algunos problemas asociados con las erupciones volcánicas**

*(modificado de Neall, et al., 1999; y Nairn, 1991)*

Si usted vive cerca de un volcán en erupción, la única protección completamente efectiva es la evacuación. Por el contrario, la gente que vive a distancias moderadas a grandes del volcán pueden continuar viviendo en sus casas, siempre y cuando adopten algunas medidas de prevención.

#### **La acumulación de ceniza volcánica (tefra)**

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 ciertas 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 la ceniza. En la siguiente tabla se detallan los efectos de las caídas de ceniza sobre los animales y personas, así como en las estructuras, maquinarias y la vegetación. En esta tabla, los espesores corresponden a ceniza no compactada.

<b>Efectos sobre las personas y los animales</b>	<b>Efectos sobre la propiedad y la vegetación</b>
<b>≤ 1 mm (≤ 0.1 cm) de espesor de ceniza</b>	
Pequeño o ninguno.	Los aeropuertos pueden verse obligados a cerrar por la posible afectación a los aviones.
Irritación ligera de los ojos y las vías respiratorias.	Posible contaminación de las fuentes y/o reservorios de agua.
Problemas de visibilidad y presencia de lodo (en caso de lluvias) en las carreteras.	Pueden presentarse daños en los vehículos u otras maquinarias, debido al alto poder abrasivo de la ceniza.
<b>1-5 mm (0.1-0.5 cm) de espesor de ceniza</b> <i>Además de los efectos causados por un espesor menor a 1 mm, se puede tener:</i>	
Problemas en las vías respiratorias.	Cierre de los aeropuertos y del espacio aéreo sobre el volcán.
Inflamación de los ojos.	Posible afectación a las cosechas.
El ganado puede ser afectado por la falta de alimentación, contaminación de las fuentes de agua o la ingestión de forrajes contaminados con ceniza.	Daños menores en las casas ocasionados por la entrada de ceniza fina, daños en los acondicionadores de aire, bombas de agua, cisternas, computadoras, etc.
Suministro de agua puede ser limitado o nulo.	Posibles cortes de la electricidad y corto-circuitos, si la ceniza fina se acumula en los aisladores eléctricos y si ésta se encuentra saturada con agua.
Contaminación de las fuentes y reservorios de agua.	Las rutas necesitarán limpieza permanente para reducir el riesgo de la pérdida de visibilidad.

<b>Efectos sobre las personas y los animales</b>	<b>Efectos sobre la propiedad y la vegetación</b>
Las tareas de limpieza de la ceniza requerirán de grandes cantidades de agua, por lo que la continuidad en el suministro se ve afectada por la gran demanda.	El sistema de alcantarillado puede ser bloqueado por la ceniza o afectado por los cortes en el suministro de agua y electricidad.
Baja visibilidad.	Posibles daños en la maquinaria y otros equipos eléctricos.
Los insectos pueden comenzar a morir, así como algunos animales silvestres pequeños.	El transporte puede ser temporalmente afectado.
<b>5-100 mm (0.5 cm - 10 cm) de espesor de ceniza</b> <i>Además de los efectos causados por un espesor menor a 5 mm, se puede tener:</i>	
Serios problemas respiratorios.	Aplastamiento de los pastos y otros arbustos.
El ganado puede necesitar de alimento traído de otras partes.	El follaje de algunos árboles puede ser afectado, sin embargo la mayoría de árboles pueden sobrevivir.
Los pájaros pueden ser seriamente afectados.	La mayoría de pastizales serán destruidos si el espesor de la ceniza es superior a 50 mm.
Pérdida temporal de la visibilidad.	Las cosechas serán seriamente afectadas.
	La mayoría de las construcciones pueden 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.

<b>Efectos sobre las personas y los animales</b>	<b>Efectos sobre la propiedad y la vegetación</b>
	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.
<b>100-300 mm (10-30 cm) de espesor de ceniza</b> <i>Además de los efectos causados por un espesor menor a 100 mm, se puede tener:</i>	
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, estos 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.
<b>&gt; 300 mm (&gt; 30 cm) de espesor de ceniza</b> <i>Además de los efectos causados por un espesor menor a 300 mm, se puede tener:</i>	
Pérdidas humanas debido al colapso de los techos de las casas.	Colapso frecuente de los techos debido a la acumulación de ceniza.

<b>Efectos sobre las personas y los animales</b>	<b>Efectos sobre la propiedad y la vegetación</b>
El ganado puede morir o ser seriamente afectado.	Serios daños del suministro eléctrico y problemas en las telecomunicaciones.
Muerte de la vida acuática en lagos y ríos.	El suelo estará 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.

Antes de realizar la limpieza de los techos se debe evitar que las cañerías del agua lluvia estén selladas a fin de evitar 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 acumulación 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.

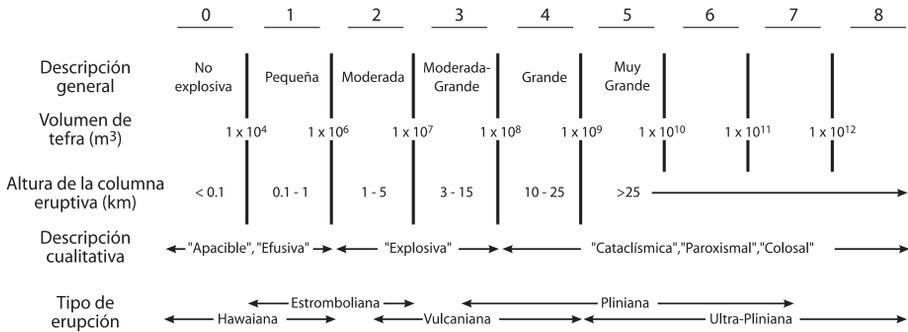
Especial cuidado deben tener las personas que ingresen a los edificios, para evitar que la ceniza ingrese a los edificios en la ropa o en los zapatos.

Todos los tipos de motores deben ser protegidos antes de las caídas de ceniza, para evitar que se dañen.

## ■ ANEXO 2

Tamaño de las erupciones volcánicas estimado a base del Índice de Explosividad Volcánica

### VOLCANIC EXPLOSIVITY INDEX (VEI)



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

## ■ ANEXO 3

### **Testimonio histórico** **ERUPCION DEL 5 DE ABRIL DE 1918**

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 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. 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 Pondoá, en 1916. En cuanto a la columna de gases, permaneció visible, siempre cruzada de bombas y relámpagos, hasta las 7:40 p.m. hora en la que terminó la erupción, quedando de ella única-

mente el manto de vapores rojizos, que envuelve el cono, desde el cráter hasta la base”.

Ahora veamos los fenómenos que se habían producido y los daños que ocasionó esta erupción; pues, yo me trasladé 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 hirviendo o con la caída de lapillis y ceniza.

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.

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 An-

tonio, 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.

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.

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 grisáceo, 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, cua-

tro 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.

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.

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 de-

tuvieron 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.

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.

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 atravesó, 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.

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 hallar-

se 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.

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.

*Nicolás Martínez, 1932*

*(se ha respetado la ortografía original del texto)*

**Nota:** 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 pueden minimizar los efectos de una futura erupción de esta magnitud.

## ■ ANEXO 4

### Secuencia de Alertas

ALERTA	CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS	Tiempo ocurrencia del evento	INTERPRETACIÓN	Acciones recomendadas (comité técnico y autoridades)
<b>BLANCA</b>	Aumento pequeño de la sismicidad, de la actividad fumarólica, de la temperatura de las fumarolas o manantiales, cambios de composición o deshielos.	Meses años siglos	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.
<b>AMARILLA</b>	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.	Semanas meses	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 autoridades Anuncio público de la posible emergencia Revisar y/o actualizar el plan de contingencia e intensificar la educación al público.
<b>NARANJA</b>	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.	Días semanas	Magma cercano a la superficie, o en el cráter del volcán, erupción explosiva probable.	Realizar una evaluación técnica del estado del volcán y anunciar una posible erupción Tomar las acciones inmediatas establecidas en los planes de contingencia.
<b>ROJA</b>	Proceso eruptivo altamente explosivo en curso.	En curso horas	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.

■ Referencia de este libro:

Le Pennec J.-L., Samaniego P., Eissen J.-P., Hall M.L.,  
Molina, C. I., Robin C., Mothes P., Yepes, H., Ramón P.,  
Monzier M. Y J. Egred  
2005

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

**Los peligros volcánicos asociados  
con el volcán Tungurahua**

Segunda edición modificada y aumentada.

Corporación Editora Nacional, IG-EPN, IRD.

Este libro es la continuación de la serie *Los peligros volcánicos en el Ecuador*, 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 Desarrollo) dentro de un convenio de cooperación existente entre estas entidades.

Títulos publicados:

No 1: Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua

No 2: Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe

No 3: Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi

En preparación:

No. 4: Los peligros volcánicos asociados con el Pichincha



Arriba: El volcán Tungurahua visto desde el Observatorio (OVT) en marzo de 2002. Foto J.-L. Le Penneç.  
Abajo: El Tungurahua en noviembre de 2003. Nótese la caída de ceniza en el sector Occidental. Foto: J.-L. Le Penneç.



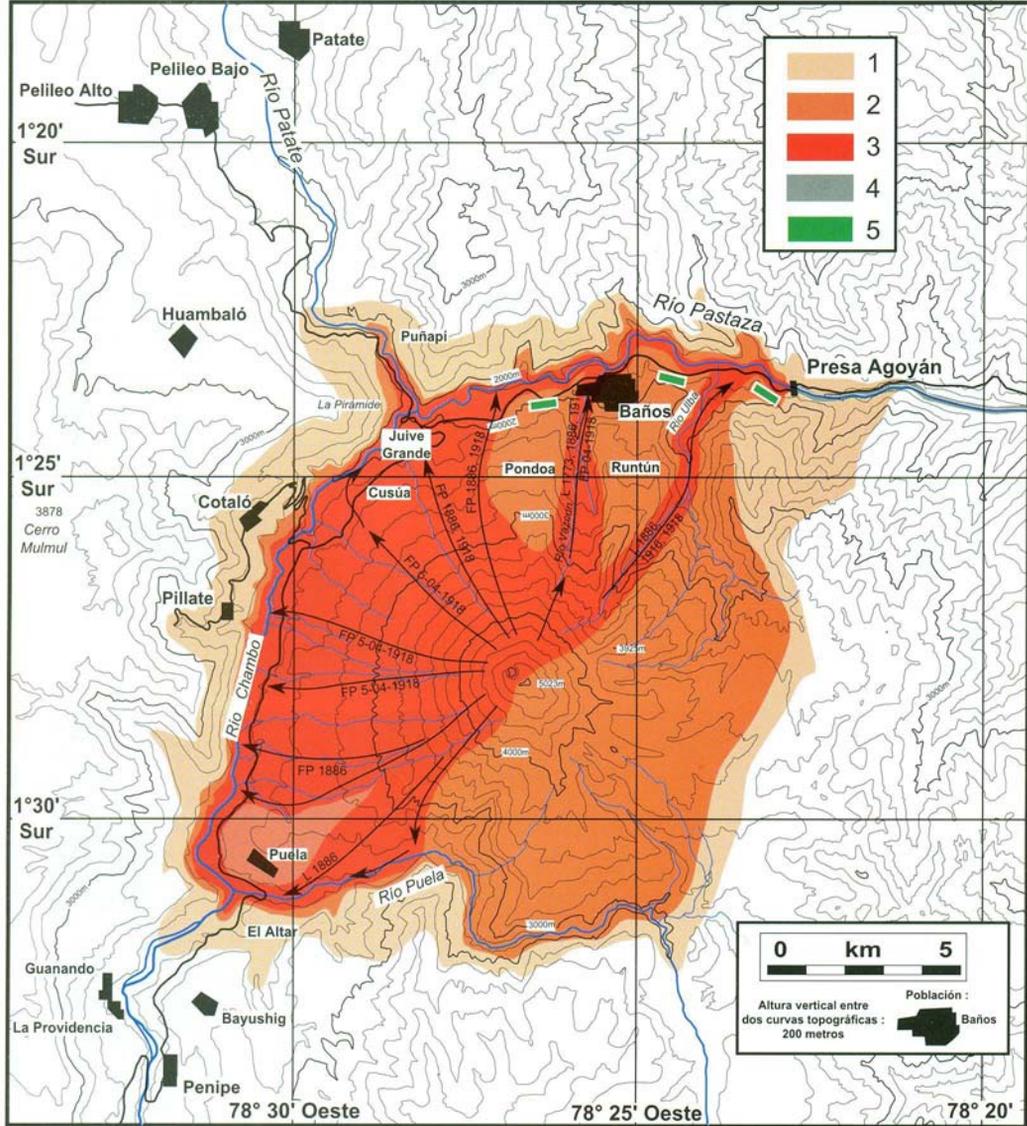


Arriba: El volcán Tungurahua con su manto de nieve antes de su reactivación. 31 de mayo de 1999.  
Foto: Michel Monzier, IRD/IG-EPN. Abajo: Columna de ceniza subiendo del cráter del volcán Tungurahua. Foto: Patricio Ramón, IG-EPN, 13 de noviembre de 1999.

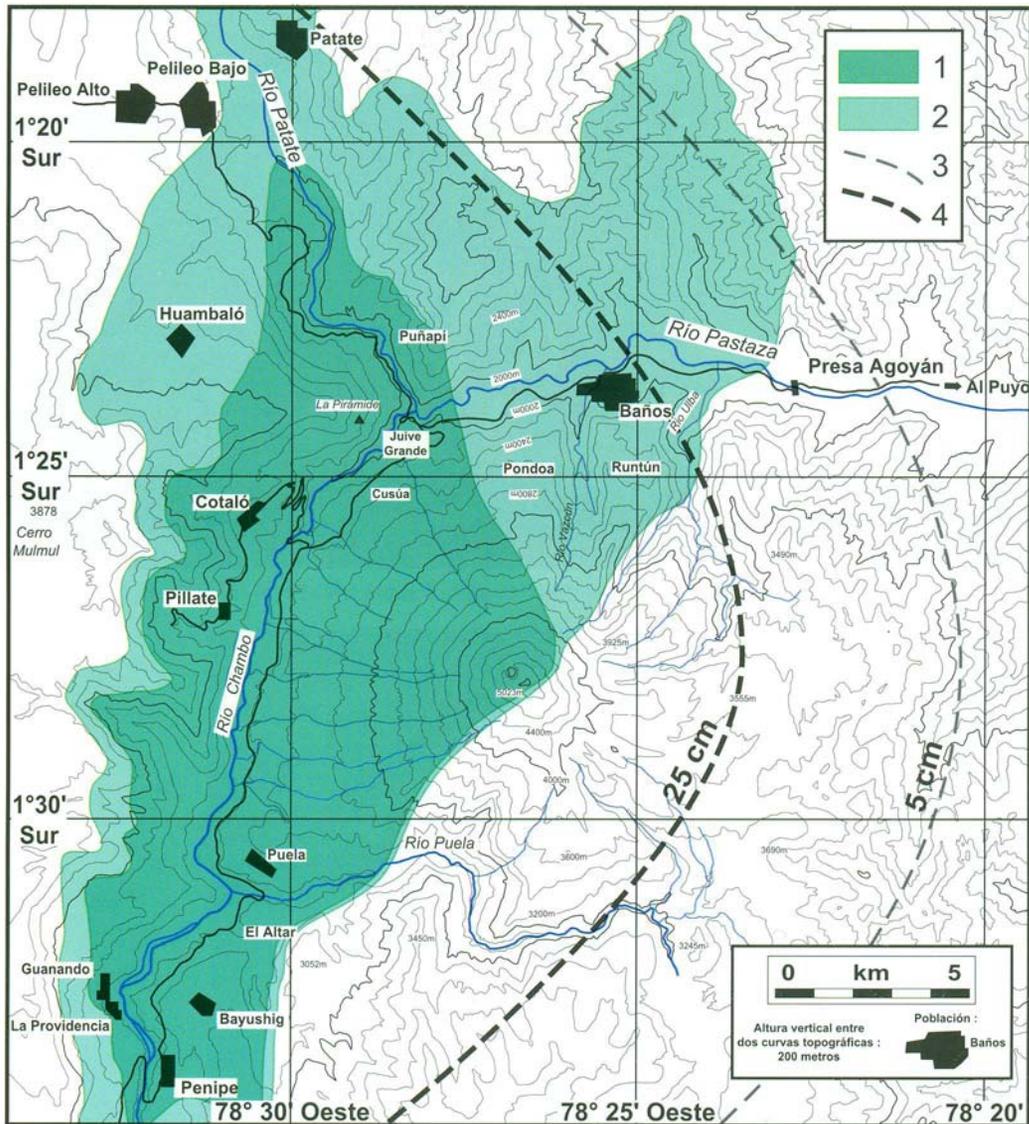




Arriba: El cráter del volcán Tungurahua. Nótese el tapón de lava que cierra el conducto. Fotografía aérea tomada por Patricio Ramón, IG-EPN, 20 de marzo del 2003). Abajo: Foto aérea del cráter del volcán Tungurahua (misma zona que la foto de arriba) tomada con una cámara térmica. Las zonas calientes 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 ( $VEI \geq 4$ ); (2) área potencialmente afectada por flujos piroclásticos, flujos de lava y flujos de escombros en caso de una erupción moderada a grande ( $VEI \leq 3$ ); (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).



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
<b>BLANCA</b>	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.
<b>AMARILLA</b>	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.
<b>NARANJA</b>	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.
<b>ROJA</b>	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 tomarse 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.