

ANEXOS

ANEXO 1

Algunos problemas asociados con las caídas de ceniza volcánica (modificado de Neall *et al.*, 1999; y Nairn, 1991)

Si usted vive cerca a 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.

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 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.

Efectos sobre las personas y los animales	Efectos sobre la propiedad y la vegetación
≤ 1 mm (≤ 0.1 cm) de espesor de ceniza	
<ul style="list-style-type: none">• Pequeño o ninguno.• Irritación ligera de los ojos y las vías respiratorias.• Problemas de visibilidad y presencia de lodo (en caso de lluvias) en las carreteras.	<ul style="list-style-type: none">• Los aeropuertos pueden verse obligados a cerrar por la posible afectación a los aviones.• Posible contaminación de las fuentes y/o reservorios de agua.• Podrían presentarse daños en los vehículos u otras maquinarias, debido al alto poder abrasivo de la ceniza.

**Efectos sobre
las personas y los animales**

**Efectos sobre
la propiedad y la vegetación**

1-5 mm (0.1-0.5 cm) de espesor de ceniza

Además de los efectos causados por un espesor menor a 1 mm, se puede tener:

- Problemas en las vías respiratorias.
- Inflamación de los ojos.
- El ganado puede ser afectado por la falta de alimentación, contaminación de las fuentes de agua o la ingestión de forrajes contaminados con ceniza.
- Suministro de agua puede ser limitado o nulo.
- Contaminación de las fuentes y reservorios de agua.
- Las tareas de limpieza de la ceniza requerirán de grandes cantidades de agua, por lo que la continuidad en el suministro se ve afectada por la gran demanda.
- Baja visibilidad.
- Los insectos pueden comenzar a morir, así como algunos animales silvestres pequeños.

- Cierre de los aeropuertos y del espacio aéreo sobre el volcán.
- Posible afectación a las cosechas.
- Daños menores en las casas ocasionados por la entrada de ceniza fina, daños en los acondicionadores de aire, bombas de agua, cisternas, computadoras, etc.
- Posibles cortes de la electricidad y corto-circuitos, si la ceniza fina se acumula en los aisladores eléctricos y si ésta se encuentra saturada con agua.
- Las rutas necesitarán limpieza permanente para reducir el riesgo de la pérdida de visibilidad.
- El sistema de alcantarillado puede ser bloqueado por la ceniza o afectado por los cortes en el suministro de agua y electricidad.
- Posibles daños en la maquinaria y otros equipos eléctricos.
- El transporte puede ser temporalmente afectado.

5-100 mm (0.5 cm-10 cm) de espesor de ceniza

Además de los efectos causados por un espesor menor a 5 mm, se puede tener:

- Serios problemas respiratorios.
- El ganado puede necesitar de alimento traído de otras partes.
- Los pájaros pueden ser seriamente afectados.
- Pérdida temporal de la visibilidad.

- Aplastamiento de los pastos y otros arbustos.
- El follaje de algunos árboles puede ser afectado, sin embargo la mayoría de árboles pueden sobrevivir.
- La mayoría de pastizales serán destruidos si el espesor de ceniza es superior a 50 mm.

**Efectos sobre
las personas y los animales**

**Efectos sobre
la propiedad y la vegetación**

- Las cosechas serán seriamente afectadas.
- La mayoría de construcciones pueden soportar el peso de la ceniza, sin embargo las edificaciones con estructuras débiles pueden colapsar con espesores cercanos a 100 mm, sobretodo si la ceniza está húmeda.
- El tráfico en las carreteras puede ser seriamente afectado por la acumulación de ceniza. Los vehículos pueden sufrir problemas por la acumulación de ceniza en los filtros de aire.
- Cortes de la electricidad y peligro de incendios debidos a problemas eléctricos.

100-300 mm (10-30 cm) de espesor de ceniza

Además de los efectos causados por un espesor menor a 100 mm, se puede tener:

- Heridos debido al colapso de los techos de las casas.
- Si no se realiza la limpieza permanente de la ceniza acumulada en los techos de las casas, 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.

**Efectos sobre
las personas y los animales**

**Efectos sobre
la propiedad y la vegetación**

>300 mm (>30 cm) de espesor de ceniza

Además de los efectos causados por un espesor menor a 300 mm, se puede tener:

- Perdidas humanas debida al colapso de los techos de las casas.
- El ganado puede morir o ser seriamente afectado.
- Muerte de la vida acuática en lagos y ríos.

- Colapso frecuente de los techos debido a la acumulación de ceniza.
- Serios daños del suministro eléctrico y problemas en las telecomunicaciones.
- El suelo será completamente cubierto de ceniza.
- Perdida del uso del suelo por mucho tiempo (años).
- Las carreteras son inutilizables hasta su limpieza.
- Destrucción severa de la vegetación.

Protección contra las caídas de ceniza

- La ceniza debe ser removida (con el mayor cuidado posible para evitar accidentes) de los techos de los edificios y de las casas, con el fin de evitar el colapso de los mismos.
- Previo a realizar la limpieza de los techos se debe evitar que las cañerías del agua lluvia estén selladas a fin de 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 en 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 ante las caídas de ceniza, para evitar su afectación.

ANEXO 2

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

VOLCANIC EXPLOSIVITY INDEX (VEI)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
DESCRIPCIÓN GENERAL	NO EXPLOSIVA	PEQUEÑA	MODERADA	MODERADA GRANDE	GRANDE	MUY GRANDE			
VOLUMEN DE TEFRA (m ³)	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁶	1 x 10 ⁷	1 x 10 ⁸	1 x 10 ⁹	1 x 10 ¹⁰	1 x 10 ¹¹	1 x 10 ¹²	
ALTURA DE LA COLUMNA ERUPTIVA (km)	<0.1	0.1-1	1-5	3-15	10-25	>25	→		
DESCRIPCIÓN CUALITATIVA	← Apacible, Efusiva →		← Explosiva →		← Cataclísmica, Paroxismal, Colosal →				
TIPO DE ERUPCIÓN	← Hawaiana →		← Estromboliana →		← Vulcaniana →		← Piniana →		
							← Ultra Piniana →		

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

ANEXO 3

Testimonio histórico

El siguiente texto (Ascásubi, 1802) fue encontrado en la obra "Alexander von Humboldt, Briefe aus Amerika, 1799-1804", la cual es una recopilación de la correspondencia de Alexander von Humboldt con diferentes personas de las Américas. El autor de esta carta es el Sr. J.J. Ascásubi, propietario de una hacienda en el sector de Cayambe, quien fue testigo de una erupción de este volcán en los años 1785-1786. Esta referencia fue gentilmente proporcionada por el Dr. Segundo Moreno (PUCE, Quito). Se han incluido en el texto (*en cursivas*) algunas explicaciones que consideramos pertinentes.

Esta montaña, bien conocida a V.S. por su situación, y altura, termina en una copa semejante a la de un Alambique, y la parte nevada, presenta a la vista por todas partes un aspecto quasi igual, a excepcion de la que mira al NND (*NNW*) este lado se ve desde el vértice del Serro, hasta su falda en que acaba la Nieve. una sección, o hendidura como si se ubiese sumergido para su interior, rompiendose las Peñas broncamente, y quedando por esto varias puntas, al modo de las que resultan quando se rompe impetuosamente una masa de materia cristalisada (*el autor se refiere al flanco N-NE del volcán*). A más de esto se ve un arenal estéril lleno de pedrones y Peñascos como rodados (*se trata de los depósitos del último flujo piroclástico del volcán; ver FP1-4, en la figura 7*), y un cauce a continuacion de la hendidura que manifiesta mui bien, que en algún tiempo corrió por él un gran volumen de agua, y últimamente la vaza de donde salía el arranque de la Boveda, o copa del Serro hundida, en términos que si no hubiese havido este estrago, presentaría a la vista un aspecto igual al resto de su circunferencia; señales todas evidentes, al parecer, de una formidable erupcion.

El tiempo en que sucedio no se puede congeturar, por que tan lejos de encontrar alguna tradicion entre los Yndios, y Blancos, se ha perdido tanto, que creían que esta Montaña no era Volcán, y la llamaban Serrõ pacífico o manso. En las Historias de la Conquista, que he leído, tampoco se habla de este suceso, aunque se dice algo de las reventazones, fuegos y humaredas de otros Serros; por lo que es natural, suponer que este acaecimiento fue mucho tiempo antes de la Conquista de estos Dominios.

El 8 de Febrero del año de 1785, tercer dia de Carnestolendas, amanesieron los campos de Cayambe espolvoreados con tierra que havia caido del cielo...la yerva se veia blanquisea... mi primer cuidado fue examinar el grosor (*i.e. el espesor*) ...de la tierra que havia caido. y le encontre como de una linea (*aproximadamente 1 mm*) ...era piedra quemada, y reducida quasi a polvo...Como no se tenia idea de que Cayambur fuese Volcan, se atribuyo esta Tierra ya a Cotopaxi,... ya a Saraurcu, ...y ya a un Volcan baxo sin nieve distante como 30 leguas (*1 legua española equivale aproximadamente a 5 km*) al N.D. que del mismo (*podría tratarse del Cotacachi-Cuicocha, pero la distancia estaría sobre-evaluada, pues la distancia real es 50 Km*); per averiguado que ninguno de los dos primeros havia reventado, quedo la duda si seria el ultimo; quando por el mes de Julio del mismo año empeso Cayambur a hechar humo por dos vocas que tiene, y descubrió sin extrago ni movimiento alguno al S.E. quasi en linea recta, aumentandose algunas veces esta especie de explosion hasta por otra tercera que tiene mas alta en linea curba con las dos primeras, todas en el cuerpo del Serro desde poco mas arriba de la mitad para abajo: el humo era a veces tan denso, y cargado de materias combustibles, que por las noches se veia inflamado (*¿resplandor asociado a flujos piroclásticos o al crecimiento de un domo de lava?*). Ultimamente en Marzo de 1786, hizo por la voca mas baxa una erupcion de una materia mui espesa, y negra (*¿flujo de lava, flujo de lodo?*), que la tube por lodo, y cubrió como dos Leguas de largo, y una de ancho (*aproximadamente 10x5 km, se debe tener cuidado con las estimaciones*) y no se pudo examinar por que no salio de las faldas nevadas, y hay riezgo inminente de la vida en caminar por ensima de la nieve, a causa de que repentinamente se hunde esta; ...Es notable que antes, ni en la explosion misma se hubiese sentido en el Pueblo de Cayambe temblor de Tierra, ni oido bramido, o ruido algu-

no: Esto hace ver que estas vocas estaban aviertas antes de ahora: lo unico que se noto en las alturas de Tupigachi, y Tavecundo,..., que estan al frente del Serro por la parte diametralmente opuesta a la de las vocas (*Tupigachi y Tabacundo están situados al W del volcán, por lo que los centros de emisión estarían entonces en la parte oriental del edificio; sin embargo es confuso si se trata de la parte NE o SE*). esto es al S.D. fue un gran fetor de quando en quando que no podian adivinar ni comprender de que era, ni de donde nacia.

Ahora diez dias (*¿probablemente 1802?*) vino a verme el Mayordomo de dicha mi hazienda, y me dijo que, actualmente estava echando humo citada Montaña por la voca mas baja... Estas son las noticias que puedo dar a V.S. de la Montaña de Cayambur, como Tgo. ocular de todo, a excepcion del ultimo punto en cumplimiento de los preceptos de V.S...

ANEXO 4

Los andinistas y los volcanes ecuatorianos

Las cumbres nevadas de los volcanes Andinos han fascinado, desde siempre a los habitantes o visitantes de estos países. Después de un largo período de respeto religioso hacia estos nevados, los exploradores europeos, entre los cuales conviene citar a Humboldt, La Condamine, Whympfer, Reiss, Stubel Meyer, entre otros, ofrecieron los primeros reportes detallados de la ascensión a las cumbres ecuatorianas.

En la actualidad, el acceso relativamente fácil al pie de los glaciares, la existencia de refugios confortables, el dinamismo de las asociaciones de andinismo locales y la gran cantidad de turistas que visitan el país para intentar alcanzar los principales cumbres de más de 5 000 o 6 000 metros de altitud, hacen que, durante la temporada apropiada numerosos andinistas alcancen sus objetivos. Junto a ascencionistas aficionados, numerosos guías profesionales, que hacen del andinismo su fuente de sustento, renuevan sus esfuerzos varias veces al mes, durante casi todo el año.

Con la sola excepción de El Altar, un volcán apagado de la Cordillera Real de los Andes Ecuatorianos, la gran mayoría de los volcanes ecuatorianos que sobrepasan los 5 000 metros de altura constituyen volcanes potencialmente activos; citemos por ejemplo el Cayambe, Antisana, Cotopaxi, Chimborazo o Sangay. El Tungurahua, en actividad desde 1999, era también una cumbre preciada por los andinistas, sin embargo, su ascensión está por el momento, estrictamente prohibida. Con raras excepciones, un volcán en reposo no entra en actividad sin antes dar señales precursoras de su cambio de actividad. Así, los científicos disponen de diversos métodos de vigilancia que permitan determinar el estado de un volcán (Sección 4). En este sentido, las personas que realizan las ascensiones representan una fuente potencial de informaciones complementarias, muy interesantes, que pueden completar las informaciones científicas. En particular, los guías de alta montaña o los andinistas experimentados que realizan las ascensiones de manera periódica pueden proporcionar información importante relativa a cambios morfológicos en la cumbre o en la ruta de ascenso, cambios en la actividad fumarólica, etc. A continuación se presenta un ejemplo de "ficha de observaciones", a la cual se pueden adjuntar cualquier tipo de información complementaria como fotografías o filmaciones.

Ficha de observación

A ser enviada al
Instituto Geofísico
Escuela Politécnica Nacional
Ap. 17-01-2759
Quito- Ecuador
Fax: (593)-2-2567847
Email: geofisico@igepn.edu.ec

Nombre:

Dirección:

Teléfono:

Email:

Acompañantes:

Volcán:

Fecha de la observación:

Hora:

Lugar preciso de la observación:

Ruta de ascenso:

Altura:

Flanco:

- Tipo de observación:
- Olor a gases sulfurosos
 - Sismo, temblor
 - Avalancha de rocas o hielo
 - Cambios morfológicos importantes
 - Presencia de fumarolas, color, temperatura y caudal
 - Temperatura del suelo

Calidad de la información:

Visibilidad:

Velocidad del viento:

Repetición de la observación
(¿a la subida o al descenso?):

Comparación con una ascensión precedente:

Información complementaria:

Fotografía

Filmación

ANEXO 5

Datación por el método de Carbono-14

La utilización de isótopos radiactivos como medio de datación fue sugerido en 1912 por el físico Ernest Rutherford. Como todos conocemos, los *átomos* están constituidos por un *núcleo* (a su vez constituido por dos partículas diferentes, los protones y los neutrones) alrededor del cual se encuentran los electrones que “circulan” a su alrededor en “orbitas”. Dado que un átomo es eléctricamente neutro, el número de partículas positivas (protones) es igual al número de partículas negativas (electrones). Por otro lado, el número de neutrones en el núcleo puede cambiar de un átomo a otro de un mismo elemento. Así, dos átomos de un mismo elemento químico (es decir con el mismo número de protones en el núcleo), pero con un número diferente de neutrones se denominan *isótopos*. El carbono es un átomo constituido por 6 protones en el núcleo y 6 electrones a su alrededor. En la naturaleza, el carbono se encuentra presente en forma de tres isótopos, dos de los cuales son estables, el Carbono-12 (denominado así porque dispone de 6 protones y 6 neutrones), el Carbono-13 (formado por 6 protones y 7 neutrones) ; y el tercero es un *isótopo radiactivo*, el *Carbono-14* (constituido por 6 protones y 8 neutrones). De este último isótopo, se dice que es de origen radiactivo pues no es estable y con el paso del tiempo este isótopo sufre una transformación radiactiva lenta que afecta su núcleo, transformando el Carbono-14 en Nitrogeno-14 con la emisión de un electrón (a este tipo de *radiactividad* se la denomina emisión Beta).

En la naturaleza el carbono es uno de los constituyentes esenciales de los seres vivos (animales y plantas). Los dos isótopos más abundantes son los isótopos estables; el Carbono-12 que corresponde al 98,86 % del carbono total, y el Carbono-13 que corresponde al 1,1 %. El Carbono-14, representa una cantidad muy limitada, del orden de un átomo por cada 1000 millones de átomos de carbono. A pesar de su escasez, el Carbono-14 está siempre presente en la parte externa de la Tierra y en el CO₂ de la atmósfera, básicamente por dos razones : (1) a pesar de ser un isótopo radiactivo, su «*período o tiempo de vida medio*» es relativamente

largo, del orden de 5630 años ; y, (2) el hecho que en las partes altas de la atmósfera, por acción de los rayos cósmicos, una pequeña cantidad de los átomos de Nitrógeno están siendo constantemente transformados en átomos de Carbono-14.

Así, dado que el Carbono-14 está presente en la atmósfera, es incorporado de igual manera que los otros dos isótopos de Carbono en las moléculas orgánicas que constituyen las células de todos los seres vivos. La relación entre Carbono-14 y Carbono-12 se mantiene constante durante la vida de los animales y plantas. Luego de la muerte de los mismos, dado que no se producen más intercambios entre el ser vivo y la atmósfera, el contenido de Carbono-14 de los restos orgánicos del antiguo ser vivo decrece de manera exponencial con el tiempo, según la ley de desintegración radiactiva. La medida de la radiactividad del Carbono-14 permite determinar la edad de dichos restos orgánicos.

El método de datación por Carbono-14 fue desarrollado por el químico Willard F. Libby en 1946 (Arnold & Libby, 1951), recibiendo por ello el Premio Nobel de Química en el año 1960. En los años subsiguientes, este método fue rápidamente desarrollado, siendo ampliamente utilizado en campos tan diversos como la arqueología, la paleoclimatología y la geología, para datar eventos ocurridos hasta 40000 años antes del presente. En la actualidad, gracias a los adelantos analíticos que permiten determinar cada vez concentraciones más pequeñas de Carbono-14, la escala de datación de este método se ha extendido hasta los 50000 años aproximadamente.

En geología y arqueología, este método ha sido principalmente utilizado para la datación de restos orgánicos como restos vegetales, huesos, niveles de turba, paleosuelos así como restos vegetales carbonizados. Según la riqueza en carbono del material a datar, la antigüedad del mismo y el método de análisis utilizado, es necesario disponer entre 2 miligramos y 2 gramos de material como mínimo, teniendo especial cuidado que el material no haya sido « contaminado » con material orgánico más reciente.

En el caso del volcán Cayambe, la cronología de la actividad reciente del volcán durante los últimos miles de años fue obtenida gracias a la datación de fragmentos vegetales carbonizados en uno de los últimos eventos volcánicos (ver por ejemplo un flujo del flan-

co Norte del volcán, figura 20). Adicionalmente, una serie de dataciones realizadas en dos secciones dentro de una turbera, ubicada en el flanco Sur-Occidental del volcán, cerca al Refugio, permitió determinar una edad aproximada para la mayoría de los eventos volcánicos de los últimos 4000 años (Figura 10). En efecto, la turbera constituyó una trampa ideal que preservó los diferentes niveles de cenizas y piroclastos de las principales erupciones del volcán. Así, al datar por Carbono-14 la turba inferior a cada nivel de ceniza importante se pudo asignar una edad aproximada a cada uno de estos eventos volcánicos.

Referencia de este libro:

Pablo Samaniego, Jean-Philippe Eissen, Michel Monzier, Claude Robin, Alexandra Alvarado, Hugo Yepes

2004

Serie Los peligros volcánicos en el Ecuador, No. 2

Los peligros volcánicos asociados con el Cayambe

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

En preparación:

No. 3: Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi

No. 4: Los peligros volcánicos asociados con el Pichincha