

5. Posibles escenarios eruptivos en caso de una reactivación del volcán Cayambe

Desde Diciembre de 2002, el volcán Cayambe ha mostrado un claro incremento en su actividad sísmica (figura 24), así como un incremento en el olor a gases sulfurosos reportados por los montañistas. Estos hechos son signos claros de que están ocurriendo movimientos de fluidos al interior del volcán. Sin embargo, se debe dejar en claro que hasta la fecha (mayo 2004) no existe la certeza que el volcán vaya a entrar en un proceso de reactivación. A pesar de las incertidumbres existentes se puede decir que:

- La intensa actividad sísmica registrada en los últimos meses podría no presentarse nuevamente, y volver a los niveles de actividad sísmica de base, similares a los del año 2000.
- Sin embargo, en base a la información geológica se ha podido establecer que el Cayambe ha presentado alrededor de un evento eruptivo cada doscientos años. Dado que la última erupción ocurrió, según reportes históricos en 1785-1786, parece razonable decir que, desde un punto de vista estadístico, es probable una reactivación del volcán en los años venideros. Vale la pena recordar que, los primeros signos de actividad anormal del Guagua Pichincha ocurrieron en los años 1982-1983, y que la erupción se inició en 1999, es decir cerca de 16 años después. Se debe decir también que cada volcán “se comporta” de forma diferente, de manera que el Cayambe podría despertarse más rápidamente o más lentamente que el Guagua Pichincha.
- Durante los últimos miles de años, la actividad del Cayambe se ha caracterizado por la formación de domos o flujos de lava viscosa; y con los fenómenos volcánicos asociados con los mismos, esto es explosiones breves con

emisión de ceniza, la cual no ha tenido una distribución regional importante; flujos piroclásticos por colapso de domo; y, flujos de lodo y escombros por fusión del casquete glacial y/o por lluvias durante o después la erupción. El crecimiento de un domo es un proceso lento, que puede durar varios meses o años (como fue el caso de la erupción del Guagua Pichincha entre 1999 y 2001), por lo tanto, se debe considerar que el proceso de reactivación y el crecimiento mismo del domo pueden tomar varios meses o inclusive años.

- El Cayambe es un estratovolcán compuesto, coronado por un complejo de domos en la cima. Así, el conducto volcánico utilizado por los magmas durante las erupciones pasadas no ha sido uno solo. Por esta razón, los domos fueron extruidos en diferentes sitios de los flancos Norte y Oriental del volcán. Existe entonces una incertidumbre en el sentido que no se puede conocer con antelación la ubicación exacta del próximo centro de emisión. Esta incertidumbre es crucial, pues un domo que se forme en el flanco Oriental afectaría únicamente los sectores al Oriente del volcán, completamente deshabitados. Por el contrario, un domo que se forme en la cumbre o peor aún en el flanco occidental presentaría un serio peligro para las zonas densamente pobladas de la parte Occidental. Afortunadamente podemos señalar que en los últimos miles de años, esta última situación no ha ocurrido, habiendo sido afectados únicamente los flancos Norte y Oriental.
- Numerosas evidencias arqueológicas muestran claramente que las poblaciones pre-incáicas asentadas en la llanura de Cayambe fueron afectadas directamente por erupciones del Cayambe, pero también por grandes erupciones cuyo origen fue más lejano. Los fenómenos volcánicos que afectaron la llanura de Cayambe y a sus antiguos habitantes fueron las caídas de ceniza y los flujos de lodo. Como en el pasado, estos fenómenos volcánicos representan las principales amenazas volcánicas para las poblaciones actuales del occidente del volcán.

En base a las consideraciones anteriores, se puede concluir que el escenario más probable en el caso de una futura erupción del Cayambe constituye una erupción caracterizada por la formación de un domo o un flujo de lava viscosa en los flancos Norte u Oriental, cuyos flancos inferiores podrían ser devastados por flujos piroclásticos y flujos de escombros (lahares) por la posible fusión del casquete glaciar. Estos flujos se dirigirían al Oriente por el sistema fluvial de los ríos Salado-Quijos y podrían (dependiendo del tamaño de la erupción) alcanzar el sector de la Cascada de San Rafael, en cuyo caso podrían afectar la principal vía de acceso al sector Nor-Oriental del país, así como el Sistema de Oleoductos Trans-Ecuatoriano (SOTE) y el Oleoducto de Crudos Pesados (OCP). Dado que la dirección dominante de los vientos es de Oriente a Occidente, las zonas densamente pobladas de la parte Occidental podrían ser afectadas por caídas de ceniza y flujos de lodo secundarios asociados con la removilización de la ceniza depositada en los flancos superiores del volcán.

Un caso particular de este escenario, resultaría el crecimiento de un domo en la cumbre o peor aún en el flanco Occidental, en cuyo caso, la afectación a la parte Occidental y particularmente a la ciudad de Cayambe puede ser mucho mayor. Se debe señalar que una erupción de éste tipo no ha ocurrido en el pasado reciente del volcán (es decir durante los últimos 10 000 años).

Finalmente, un segundo escenario, considera una erupción de mucho mayor tamaño, en la cual se produzcan flujos piroclásticos por el colapso de una columna eruptiva (como en la erupción del 3 de Noviembre de 2002 del volcán El Reventador). En este caso, los flujos piroclásticos descenderían por varios flancos del volcán, así como los flujos de escombros; y la distribución de ceniza sería mucho más importante. La experiencia de la erupción del volcán El Reventador y de otros volcanes alrededor del mundo como el Mount Saint Helens (Washington, USA), el Chichón (México) o el Pinatubo (Filipinas) muestra que pueden ocurrir erupciones extremadamente grandes, aunque su probabilidad de ocurrencia haya sido baja.

De la evaluación presentada anteriormente (resultante de un largo trabajo científico) se desprende que la comunidad que vive en los alrededores del volcán necesita definir un plan de acción, en caso que se inicie un proceso eruptivo. El establecimiento de tal plan de acción, que permita disponer de un ambiente de seguridad, es una tarea que debe estar sentada en cuatro pilares fundamentales:

1. Un sistema de vigilancia permanente, que permita a los científicos emitir las alertas tempranas que las autoridades y la población necesitan. Si bien el monitoreo volcánico realizado por el IG, permite detectar los cambios que ocurren en el volcán, se debe recalcar que los fenómenos volcánicos son procesos naturales extremadamente complejos, que la ciencia moderna no entiende completamente. Por esta razón, la comprensión de los procesos naturales involucra grandes incertidumbres, de manera que no es posible predecir con certeza el tamaño ni el momento exacto de la ocurrencia de una erupción;
2. Estas alertas deben estar dirigidas a las autoridades respectivas, las cuales, con toda la seriedad del caso, tomen las decisiones necesarias en el momento adecuado;
3. Un sistema de comunicación, que permita que las decisiones tomadas por las autoridades lleguen a la población de manera oportuna;
4. Una sociedad preparada, conocedora de los peligros a los que está expuesta y de las medidas precautelatorias que debe tomar para afrontar un fenómeno natural. Puesto que la población de los alrededores del volcán no tiene una percepción clara de lo que es una erupción volcánica y peor aún, no considera al Cayambe como un volcán que podría entrar en un proceso de reactivación, es fundamental que se inicie un proceso de capacitación que enseñe a la comunidad los peligros que pueden afectarla, pero también las acciones a tomarse en caso de una erupción.

Si estas cuatro acciones se cumplen a cabalidad, podemos estar seguros que habremos dado un gran paso en la

conformación de una sociedad responsable que acepta y sabe como vivir con un volcán activo. El caso del volcán Cayambe y de la comunidad que vive y trabaja a sus pies es único, en el sentido que permite iniciar con buenas bases este proceso. El tiempo dirá si las personas responsables han sabido asumir sus respectivos roles.

Referencias

- Arnold J.R. & Libby W.F. (1951). Radiocarbon date, *Science*, 113:111-120.
- Ascásubi J.J. (1802). Letter to Baron Alexander von Humboldt. Alexander von Humboldt. *Biefe aus Amerika, 1799-1804*. Berlin, Herausgegeben von Ulrike Moheit, Akademic Verlag. 174-176.
- Crandell D.R., Booth B., Kusumadinata K., Shimozuru D., Walker G.P.L. & Westercamp D. (1984). *Sourcebook for volcanic-hazard zonation*, UNESCO.
- Gondard P. & López F. (1983). *Inventario arqueológico preliminar de los Andes septentrionales del Ecuador*. Quito, Museo Banco Central del Ecuador, 274 pp.
- Guaña P. (2002). *Cayambe: la cosmovisión y su cultura milenaria*. VI encuentro del Consejo de los Ancianos y Guías espirituales indígenas de las Américas, Chimaltemango, Guatemala, 28 abril-3 mayo 2003.
- Guiller B., Samaniego P., Ruiz M., Chatelain J.-L., Monzier M., Yepes H., Robin C. & Bondoux F. (1999). *Steady long-period activity at Cayambe volcano, Ecuador. Location, spectral analysis and consequences. Fourth ISAG, Goettingen (Germany), extended abstracts*, Editions de l'ORSTOM, Paris.
- Iverson R.M., Schilling S.P. & Vallance J.W. (1998). Objective delineation of lahar-hazard zones downstream from volcanoes. *Geological Society of America Bulletin*, 110, 972-984.
- Hall M.L. & Mothes P. (1994). Tefroestratigrafía Holocénica de los volcanes principales del Valle Interandino, Ecuador; en *El contexto geológico del espacio físico Ecuatoriano*, ed. R. Marocco, pp. 47-67, Corporación Editora Nacional & Colegio de Geógrafos del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Malin M.C. & Sheridan M.F. (1982). *Computed-assisted mapping of pyroclastic surges*. *Science*, 217, 637-640.
- Monzier M., Samaniego P. & Robin C. (1996). Le volcan Cayambe (Équateur): son activité au cours des 5000 dernières années et les menaces qui en résultent. *Bulletin de l'Institut Français des Études Andines* 25 (3), 389-397.

- Mothes P. & Hall M.L. (1998). Quilotoa's 800 y BP ash: a valuable stratigraphic marker unit for the integration period; en *Actividad volcánica y pueblos precolombinos en el Ecuador*. P. Mothes (ed.), Quito, Ecuador, ABYA-YALA, 111-138.
- Nairn I.A. (1991). *Volcanic hazards of Okataina Volcanic Centre*. New Zealand Ministre of Civil Defense, *Volcanic Hazards Information Series No. 2*, 29 p.
- Neall V.E., Houghton B.F., Cronin S.J., Donoghue S.L., Hodgson K.A., Johnson D.M., Lecointre J.A. & Mitchell A.R. (1999). Volcanic hazards at Ruapehu volcano. New Zealand Ministre of Civil Defense, *Volcanic Hazards Information Series No. 8*, 30 p.
- Newhall C.G. & Self S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI) : an estimate of explosive magnitude for historical eruptions, *Journal of Geophysical Research*, v. 87, p. 1231-1238.
- Samaniego P. (1996). *Estudio vulcanológico y petrológico de las fases recientes del volcán Cayambe (Ecuador)*. Tesis de Ingeniero. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 143 p.
- Samaniego P., Monzier M., Robin C. & Hall M.L. (1998). Late Holocene eruptive activity at Nevado Cayambe Volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology* 59, 451-459.
- Samaniego P. (2001). *Transition entre magmatismes calco-alcalin et adakitique dans le cas d'une subduction impliquant une ride océanique: le volcan Cayambe (Equateur)*, Tesis Doctoral, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France. p. 259.
- Samaniego P., Monzier M., Robin C., Eissen J.P., Hall M.L., Mothes P. & Yepes H. (2002). *Mapa de los peligros potenciales del volcán Cayambe. (Esc. 1/70.000)*. Edit. IGM-IG/EPN-IRD.
- Samaniego P., Eissen J.-P., Le Pennec J.-L., Hall M.L., Monzier M., Mothes P., Ramón P., Robin C. Egred J., Molina I. & Yepes H. (2003). *Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua. Serie Los peligros volcánicos en Ecuador, No. 1*. Edit. Corporación Editora Nacional, IG-EPN, IRD, p. 108.
- Samaniego P., Robin C., Monzier M., Eissen J.Ph., Mothes P. & Hall M.L. (2004). El Complejo Volcánico Cayambe: Síntesis geológica. actividad holocénica y evaluación de los peligros volcánicos. *Investigaciones en Geociencias*. Instituto Geofísico. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
- Schilling S.P. (1998). LAHARZ: GIS programs for automated delineation of lahar hazard zones. *U.S. Geological Survey Open-file Report*.

- Simkin T. & Siebert L. (1994). *Volcanoes of the world*, Geosciences Press Inc., Washington DC., 349 pp.
- Tilling R.I. (1993). *Los peligros volcánicos*. Organización Mundial de Observatorios Vulcanológicos (WOVO), UNESCO-USAID-USGS. 125 pp.
- Thouret J.C. (1994). *Méthodes de zonage des menaces et des risques volcaniques*. en *Le Volcanisme*, ed. J.L. Bourdier, pp. 267-283, Editions BRGM, Orleans, France.
- USGS Cascades Volcano Observatory Webpage
(<http://volcan.wr.usgs.gov>)
- Villalba F. (1998). Aprovechamiento de campos anegables para la agricultura en la época prehispánica - El caso Cayambe; en *Actividad volcánica y pueblos precolombinos en el Ecuador*. P. Mothes (ed.), Quito, Ecuador, Abya-Yala, 191-205.

GLOSARIO

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

AFM (Acoustic Flow Monitor): 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 de los volcanes Tungurahua, Cotopaxi, Sangay, El Reventador.

AP: Antes del presente. Abreviación utilizada para una fecha ocurrida en el pasado geológico.

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 (formado 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.

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).

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

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 mueve 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.

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

Caldera: Gran depresión de origen volcánico, generalmente de forma circular o elíptica, de varios kilómetros de diámetro, formada por grandes erupciones volcánicas. La depresión con forma de 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 5630 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 (aAP).

Ceniza o Ceniza volcánica: Fragmentos de roca de origen volcánico de tamaño menor a 2 milímetros expulsados en 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 o fractura subterráneo por el cual el magma asciende desde una cámara magmática hacia la superficie.

COSPEC: ver Espectrómetro de correlación.

Corteza: Parte más externa y rígida de la Tierra. Generalmente está constituida de rocas de composición basáltica (corteza oceánica) o de rocas más silíceas (corteza continental).

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 (desde hace 10 000 años hasta el presente).

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 con una erupción volcánica.

Dacita: Roca de origen volcánico de color gris claro y enriquecida en sílice (entre 63 y 68 % SiO_2). En estado fundido presenta generalmente una alta *viscosidad*. Las erupciones de magmas dacíticos son generalmente explosivas (e.g. Guagua Pichincha) y pueden producir enormes volúmenes de tefra, *flujos piroclásticos* y *domos de lava*. La mayoría de las rocas jóvenes del nevado Cayambe tienen composición dacítica.

DC: Se dice de las fechas obtenidas en base a dataciones radiométricas después del nacimiento de Cristo.

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

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 inclinóme-

tros, 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.

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.

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 en base a 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 permita comparar los diferentes sismos de California.

Escoria: Fragmentos de lava formados cuando pequeños volúmenes de lava (generalmente basalto o andesita), aún en estado líquido, es expulsada 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 determinar las frecuencias dominantes de un evento sísmico.

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

Espectrómetro de correlación: Instrumento científico que permite determinar la cantidad de dióxido de azufre (SO₂) en la columna de gases emitida desde el cráter. La medición se hace a partir de un sitio lejano al volcán.

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

Estromboliana (erupción): Tipo de erupción volcánica caracterizada por un dinamismo eruptivo un po-

co 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).

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 puede detectar las vibraciones del suelo dentro de una banda de frecuencias comprendida entre menos de 0.01Hz y varios cientos de Hz.

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 andésitas a dacitas.

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.

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.

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).

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 embargo se encuentran otros gases como CO₂, CO, SO₂, H₂S, CH₄, 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, en base a las señales emitidas por una serie de satélites artificiales.

Hawaiiana (erupción): Tipo de erupción de magmas basálticos caracterizada por un dinamismo eruptivo poco o nada explosivo. Este tipo de erupción involucra fuentes de lava, cantidades restringidas de

ceniza y escoria y produce generalmente flujos de lava que salen de una fractura o de un cráter. Este término proviene de las islas Hawaii.

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.

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.

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

Intensidad: Escala cualitativa 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 paso del tiempo, y con un *periodo* 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 estado líquido que ha perdido la mayoría de su contenido en gases. Roca fundida que es emitida de un *cráter* o una fisura eruptiva.

Lluvia ácida: Ciertos gases magmáticos (SO₂, 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.

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

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*.

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

Nube ardiente: ver Flujo piroclástico.

Núcleo terrestre: Parte más interna de la Tierra.

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

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 Pelee, 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.

Periodo 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 periodo el número inicial de

átomos (N) será de la mitad (N/2), después de 2 periodos será de la cuarta parte (N/4), después de 3 periodos, el número de átomos será de la octava parte (N/8), y así sucesivamente. Por ejemplo, el periodo o tiempo de vida media del Carbono-14 es de 5630 años, así, después de 15 periodos (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 vieja que 50 000 años.

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 de la corteza terrestre. Estas placas se encuentran "flotando" sobre una capa más dúctil y plástica del Manto terrestre y se desplazan lentamente con una velocidad promedio de varios cm/año.

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

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

altura (generalmente entre 10 y 40 km). Este término hace honor a Plinio el Joven, quien describió con un gran realismo la erupción del volcán Vesubio (Italia) en el año 79 DC.

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

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 algunos 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 Gama.

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 estado fundido presenta una muy alta viscosidad.

Sílice: Molécula formada por un átomo de silicio y dos átomos de oxígeno (SiO_2), que constituye la base de la estructura cristalina de la mayor parte de minerales. Es el factor más importante 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, pómez, 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: Material de origen volcánico, producido por el enfriamiento brusco del magma, al entrar en contacto con la atmósfera, con agua o con hielo.

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* de una lava.

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 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*).

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.

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*).