

Referencias

- Aguilar J., Hernández R., Carrasco D. & Romero R., 2003, Interferometría Diferencial (InSAR) en Tungurahua y Galápagos, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa)
- Andrade D., Hall M.L., Ramón P., Mothes P.A., Ruiz A.G. & Hidalgo S., 2003, Observación instrumental de lahares en el volcán Tungurahua entre abril-2000 y agosto-2001, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa).
- Barberi F., Coltelli M., Ferrara G., Innocenti F., Navarro J. M. & Santacroce R., 1988, *Plio-Quaternary volcanism in Ecuador: Geological Magazine*, v. 125, pp. 1-14.
- Clapperton C.M., 1993, *Quaternary geology and geomorphology of South America*, Elsevier, 779 pp.
- Hall M.L., Robin C., Beate B., Mothes P. & Monzier M., 1999, Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 91, pp. 1-21.
- Hall M.L., Robin C., Beate B., Mothes P. & Monzier M., 2002, *Mapa de peligros potenciales del volcán Tungurahua*, Ed. IGM, Quito.
- Jaya D., Le Pennec J.-L., Troncoso L., Samaniego P. & Barba D., 2003, Depósitos y magnitud de un evento explosivo mayor asociado al colapso del volcán Tungurahua en el Holoceno. *V Jornadas de Ciencias de la Tierra*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 8-11 abril 2001, *Memorias*, pp. 82-84.
- Le Pennec J.-L., Mothes P., Hall M.L., Ramón P. & Ruiz G.A., 2002, Maximum and minimum volume estimates of an ash fall layer from the August 2001 eruption of Mt Tungurahua (Ecuador). *Fifth International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG)*, Toulouse, France, Editions IRD, pp. 371-374.
- Le Pennec J.-L., Ruiz A.G., Mothes P.A., Hall M.L. & Ramón P., 2003, Estimaciones del volumen global del depósito de ceniza de la erupción de agosto del 2001 del volcán Tungurahua, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa).
- Martínez A., 1886, Reporte en el periódico *La Nación*, 17 de marzo de 1886, Guayaquil.
- Martínez N., 1932, *Las grandes erupciones del Tungurahua de los años 1916-1918*. Publicaciones del Observatorio Astronómico de Quito, Sección de Geofísica, Quito.

- Molina C.I. & Ruiz M.C., 2003, Cambios temporales del valor de b : posibles correlaciones con el tremor volcánico y los cambios geoquímicos de las fuentes termales del Tungurahua, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa).
- Molina C.I. & Ruiz M.C., 2003, Estudio temporal de las frecuencias del tremor volcánico del Tungurahua, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa).
- Molina C.I. & Ruiz M.C., 2003, Precursores de la actividad sísmica en el Volcán Tungurahua, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa).
- Molina C.I., Acevedo A.P. & Ruiz M.C., 2003, Relocalización de los eventos sísmicos del volcán Tungurahua y su análisis de error, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa).
- Mothes P.A., Hall M.L., Hoblitt R.P. & Newhall C., 2002, Caracterización de los flujos piroclásticos producidos por el volcán Tungurahua y evidencia de dichos flujos en la ciudad de Baños, *Boletín de Investigaciones en Geociencias*, Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito (en prensa).
- Mothes P.A., Hall M.L., Hoblitt R.P. & Newhall C., 2003, Caracterización de los flujos piroclásticos producidos por el volcán Tungurahua (Ecuador): Evidencias de dichos flujos en la ciudad de Baños, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa).
- Nairn I A., 1991, Volcanic hazards of Okataina Volcanic Centre. New Zealand Ministre of Civil Defense, Volcanic Hazards Information Series No. 2. 29 pp.
- Neall V.E., Houghton B.F., Cronin S.J., Donoghue S.L., Hodgson K.A., Johnson D.M., Lecointre J.A. & Mitchell A.R., 1999, Volcanic hazards at Ruapehu volcano. New Zealand Ministre of Civil Defense, Volcanic Hazards Information Series No. 8, 30 pp.
- Newhall C.G. & Self S., 1982, The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical eruptions, *Journal of Geophysical Research*, v. 87, pp. 1231-1238.
- Ruiz A.G., Barba D.P., Yepes H. & Hall M.L., 2003, Las nubes de ceniza del volcán Tungurahua entre octubre 1999-septiembre 2001, *Boletín del Instituto Geofísico*, Quito (en prensa).
- Simkin T. & Siebert L., 1994, Volcanoes of the world, Geosciences Press Inc., Washington D.C., 349 pp.
- USGS Cascades Volcano Observatory Webpage (<http://volcan.wr.usgs.gov>)

GLOSARIO

- a.C.:** Se dice de las fechas obtenidas en base a 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*.
- Andesita:** Roca de origen volcánico de color gris, que contiene entre 53 y 63% de *silice*. 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.
- AP:** Antes del presente. Abreviación utilizada para referirse a 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*.
- Avalancha de escombros:** Grandes deslizamientos que pueden ocurrir en un *volcán*, y que desplazan enormes volúmenes de rocas y otros materiales a altas velocidades y a grandes distancias desde el volcán. Estos deslizamientos se producen por la inestabilidad de los flancos del volcán, fenómeno que puede deberse a la intrusión de magma en el edificio volcánico, a un *sismo* de gran magnitud o al debilitamiento de la estructura del volcán inducido, por ejemplo, por la alteración *hidrotermal*.
- Basalto:** Roca de origen volcánico de color gris oscuro, que contiene menos de 53% de *silice*. En estado fundido presenta una baja viscosidad, que implica una erupción generalmente no explosiva que produce *flujos de lava* (ej. *islas Galápagos*).
- Balístico (fragmento):** Fragmento de roca expulsado violentamente por una erupción volcánica, que sigue una trayectoria balística, en forma de elipse.
- Blast:** Explosión volcánica de gran escala producida por la despresurización violenta de un cuerpo de *magma* cercano a la superficie. Este fenómeno puede deberse a un deslizamiento de una parte de un edificio volcánico. Ver *avalancha de escombros*. Un *blast* es una mezcla caliente de baja densidad de fragmentos de roca, ceniza y gases que se mueve a altas velocidades a través de la superficie terrestre.
- Bloques y bombas volcánicos:** Fragmentos de lava de tamaños superiores a 64 mm, expulsados por una erupción volcánica. Si son expulsados en estado sólido se denominan bloques, mientras que si son expulsados en estado semisólido o plástico se denominan bombas.
- 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 hasta varias decenas de kilómetros de diámetro, formada por grandes erupciones volcánicas. La depresión (o anfiteatro) formada por el deslizamiento de un flanco de un volcán (colapso sectorial) se denomina *caldera de avalancha*.

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

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

Ceniza o ceniza volcánica: Fragmentos de roca de origen volcánico de tamaño menor a 2 mm, 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 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 (océanos) o de rocas más silíceas (continentes).

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).

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 *silíce* (entre 63 y 68% SiO₂). En estado fundido presenta generalmente una alta *viscosidad*. Las erupciones de magmas dacíticos son generalmente explosivas (ej. *Guagua Pichincha*) y pueden producir enormes volúmenes de *tefra*, *flujos piroclásticos* y *domos de lava*.

d.C.: 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 (ej. *Carbono-14*).

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

Desplazamiento reducido (DR): Parámetro sísmico utilizado para cuantificar el tamaño de las explosiones volcánicas. Este parámetro es proporcional a la energía liberada por un evento explosivo. El DR se

calcula en función de la amplitud del desplazamiento del terreno producido por una onda sísmica y la distancia recorrida por dicha onda.

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

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.

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.

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.

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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 con-

tacto con rocas calientes en las cercanías de un cuerpo de magma. En este tipo de erupción el magma no se encuentra involucrado.

Freatomagnética (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.

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

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

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.

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 y 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 (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 potencialmente 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: 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. Los peligros volcánicos representan la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente peligroso.

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

Placas tectónicas: Grandes fragmentos que constituyen el envolvente externo de la Tierra. Estas placas se encuentran "flotan-

do” sobre una capa más dúctil y plástica del *manto* terrestre y se desplazan lentamente, con una velocidad promedio de varios cm/año.

Pliniana (erupción): Tipo de erupción volcánica caracterizada por una extrema violencia y explosividad, en la cual grandes cantidades de ceniza y otros materiales piroclásticos son expulsados de manera continua hacia la atmósfera, formando una *columna de erupción* de varias decenas de kilómetros de altura (generalmente entre 10 y 40 km). Este término hace honor a *Plinio el Joven*, quién describió con gran realismo la erupción del volcán *Vesubio* (Italia) en el año 79 d.C.

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.

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

Reservorio magmático: ver *Cámara magmática*.

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

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

Silíce: Molécula formada por un átomo de silicio y dos átomos de oxígeno (SiO_2), que

constituye la base de la estructura cristalina de la mayor parte de minerales. Es el más importante factor que controla la *viscosidad* de los magmas. Entre más alto sea el contenido de silíce, 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 (ver figura 22). **Sismos de largo período (LP)**, asociados al movimiento de fluidos magmáticos bajo presión en los conductos volcánicos. **Sismos Volcano-Tectónicos (VT)**, asociados a la fracturación de rocas bajo un volcán. **Sismos híbridos**, mezcla de varios tipos de señales sísmicas.

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

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.

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

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

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

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

