

## 4. Monitoreo volcánico

---

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

### ■ VIGILANCIA POR OBSERVACIÓN

La vigilancia volcánica por observación consiste en poner en evidencia cambios en la actividad de un volcán, los cuales pueden ser detectables únicamente por los sentidos humanos y por lo tanto pueden ser percibidos directamente por la población. Este tipo de monitoreo 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. Por otro lado, consiste en detectar cambios en las emisiones fumarólicas, tales como la altura de la columna de gases, su color, su olor, intensidad, etc., o variaciones en el caudal, color, olor de las fuentes termales. Además, puede detectar daños o muerte de la vegetación; la percepción de cambios en el comportamiento de los animales, entre otros. Este método incluye además la percepción de ruidos subterráneos y sismos de origen volcánico.

Para la realización de estas observaciones, los vulcanólogos pueden servirse de equipo audiovisual con el cual pueden tomar fotografías y/o videos que permitan realizar una

observación más detallada, y así constituir un archivo de imágenes que sirva para la identificación de los cambios en el volcán con el transcurso del tiempo. Recientemente, se está utilizando cámaras térmicas que sirven para determinar anomalías térmicas asociadas con la actividad fumarólica, emisiones de lava, etc. Finalmente, la vigilancia por observación puede ser reforzada con el uso de *imágenes satelitales* que hacen posible el monitoreo de parámetros cuantificables, así como un seguimiento de las nubes de ceniza producidas por las emisiones volcánicas.

En el caso de nuestros volcanes, muchos de los cuales son visitados regularmente por montañistas, las observaciones científicas pueden ser complementadas con las observaciones hechas por los andinistas, los cuales generalmente tienen un buen conocimiento del terreno. En la eventualidad de que ocurran cambios notables, los andinistas pueden tomar nota de los mismos y reportarlos al Instituto Geofísico utilizando el formulario del Anexo 4.

## ■ 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 estudio de los cambios químicos de las emisiones de gases en las *fumarolas* y de las fuentes termales y la observación sistemática de la actividad volcánica.

El monitoreo **sísmico** consiste en detectar, por medio de *sismómetros* extremadamente sensibles, las vibraciones del suelo (*sismos*) producidas por la fracturación de las rocas o por el movimiento de magma o de gases magmáticos al interior de un volcán. El ascenso de magma o de otros fluidos magmáticos genera sismos y otras señales sísmicas detectables por los instrumentos y pueden constituir predecesores

de la actividad eruptiva. Durante el proceso de reactivación de un volcán, se observa un aumento del número de eventos sísmicos, que puede pasar de pocos eventos por día a varios cientos o miles de sismos diarios. Pero no solamente se produce un aumento en el número de sismos, generalmente, el tamaño de los sismos (es decir su magnitud) aumenta también hasta a veces ser perceptibles por la población. Aparecen también nuevos tipos de eventos sísmicos, debidos a procesos físicos diferentes. En efecto, el fracturamiento de las rocas bajo un volcán, o el movimiento de fluidos magmáticos al interior de fracturas o grietas son procesos físicamente diferentes que producen eventos sísmicos diferentes.

Entre los principales tipos de señales sísmicas encontradas en volcanes activos se tiene los eventos denominados *volcano-tectónicos* (VT), los eventos de *largo período* (LP), los sismos *híbridos* y el *tremor volcánico*. Los sismos *volcano-tectónicos* son el resultado de la formación o propagación de fracturas o fallas en las rocas que constituyen el volcán. El fracturamiento de las rocas produce una liberación de energía, la cual se transforma en calor y en ondas sísmicas. En el caso de los procesos volcánicos, el fenómeno disparador de este tipo de sismos puede ser la presión que ejercen los fluidos volcánicos (gases, vapor de agua, magma, etc.) sobre las rocas al interior del volcán.

Por el contrario, los sismos de *largo período* se relacionan con el movimiento de fluidos y/o la vibración de grietas o fracturas llenas de fluidos magmáticos (gases o magma) dentro del volcán, mientras que los sismos *híbridos* son el resultado de procesos de fracturamiento de la roca y de movimiento de fluidos al interior de la fracturas recientemente formadas. Se debe señalar que esta clasificación es únicamente referencial, pues los procesos volcánicos son mucho más complejos, razón por la cual pueden existir eventos con características intermediarias entre los anteriormente descritos. Finalmente, el *tremor volcánico* es una señal sísmica muy común en los volcanes activos, como por ejemplo el Cotopaxi, el Tungurahua o el Guagua Pichincha. Esta señal es una vibración de larga duración (del orden de minutos hasta días) que puede estar asociada al movimiento o a la sali-

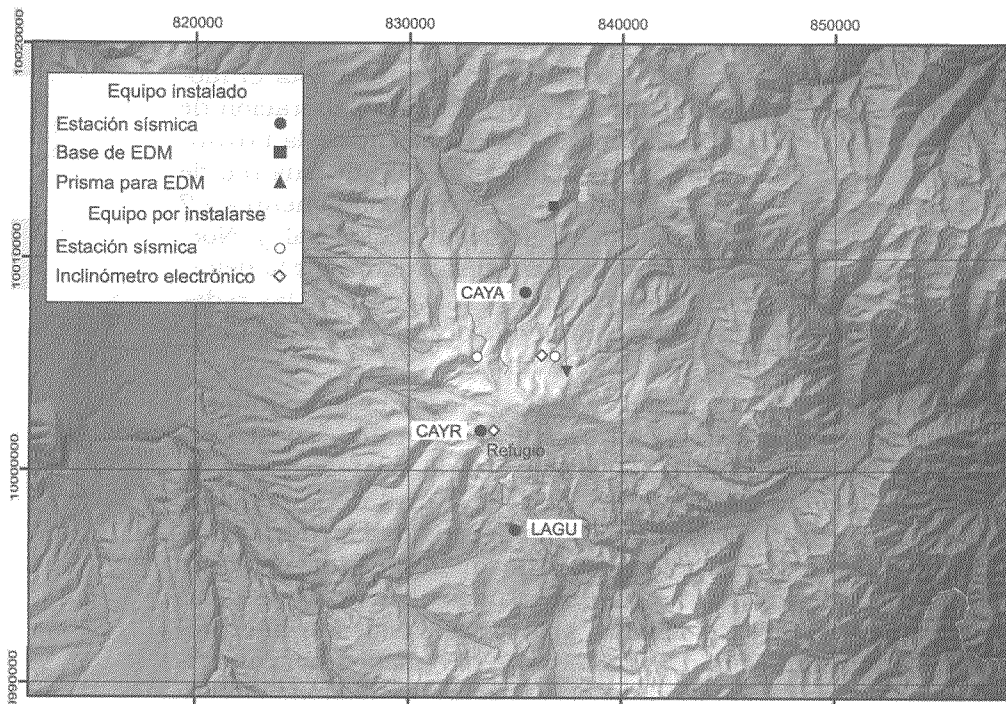
da de gases a altas presiones. Este tipo de señal no se ha hecho presente en el Cayambe hasta la fecha.

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

El monitoreo **geoquímico** consiste en determinar cambios en la composición química de las *fumarolas* y de las fuentes termales, variaciones que pueden estar directamente relacionados con el movimiento o el ascenso de magma bajo un volcán. Adicionalmente, y debido a la dificultad y peligrosidad de realizar muestreos periódicos de las *fumarolas* de los volcanes activos, se utiliza el *COSPEC (Espectrómetro de correlación)*, que permite determinar desde una distancia prudencial la concentración del gas de origen magmático  $\text{SO}_2$  en la columna de emisión.

## ■ EL MONITOREO VOLCÁNICO REALIZADO POR EL IG

El monitoreo sísmico del volcán Cayambe se inició en el año 1987, con la instalación de una estación cerca de la población de Pesillo. Este mismo año con el fin de tener un mejor control de los eventos sísmicos producidos por el volcán, se cambió la ubicación de dicha estación hacia el flanco Nor-Occidental, a una menor distancia de la cumbre y de la zona en donde ocurrió la última erupción del volcán, en el flanco Norte. Esta estación (llamada CAYA; figura 25) se mantiene en funcionamiento hasta la actualidad. Por otro lado, entre noviembre de 1997 y marzo de 1998 con el apoyo del IRD se instaló una red temporal compuesta de 5 estaciones sísmicas.



**Figura 25.** Redes de monitoreo del volcán Cayambe. (Fuente. IG. mayo 2004). Se mencionan las estaciones existentes y las que se planea instalar en el futuro cercano gracias al apoyo del Ilustre Municipio de Cayambe y del Gobierno Provincial de Pichincha.

micas. con el fin de estudiar de manera un poco más detallada la actividad sísmica del volcán (Guiller *et al.*, 1999). En el año 2001, debido a una actividad sísmica anómala en el Cayambe, el IG procedió a instalar una *estación de tres componentes* en las cercanías del refugio (CAYR), en el flanco Sur-Occidental y durante los primeros meses de 2003 se colocó una nueva estación en el flanco Sur (LAGU), para controlar la sismicidad generada durante el mes de diciembre del 2002. Así, la red actual de monitoreo del volcán cuenta con tres estaciones sísmicas y adicionalmente una línea de control de la deformación del flanco Norte, instalada en el año 1998 (figura 25). Además, desde el año 2002 se hacen medidas periódicas de las posibles emisiones de gases de origen magmático (por ejemplo el  $\text{SO}_2$ ) con el COSPEC, sin en-