

# PRECURSORES DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL VOLCÁN TUNGURAHUA

1 Instituto Geofísico/  
Departamento de  
Geofísica. Escuela  
Politécnica Nacional,  
Quito.

## Resumen

Varios precursores se presentaron antes de la actividad magmática: (1) Volcano-tectónicos superficiales durante septiembre y diciembre/98, (2) Incremento de actividad tremórica en abril/99, (3) enjambre-VT de aparente origen superficial en mayo/99, (4) enjambre-LP de carácter profundo en julio/99 (probable presurización del sistema magmático), (5) enjambre-LP de carácter profundo en agosto/99 (posible ascenso de un magma burbujoso), (6) enjambre-LP en septiembre/99 (posible limpieza del conducto), (7) varios tipos de tremor armónico aparecen intermitentes en septiembre/99; (8) en octubre/99 el tremor fue casi continuo, aumentando su amplitud después de la primera explosión freatomagmática, (9) desde mediados de octubre, el tremor se vuelve más continuo, coincidiendo con el inicio de un período intermitente de explosiones magmáticas.

## Abstract

Various precursors were observed before the magmatic activity: 1./ superficial volcano-tectonic earthquakes during September to December, 1998; 2./ increase of tremor activity in April, 1999; 3 / VT swarm apparently of superficial origin in May 1999; 4./ Deep LP swarm in August, 1999 (possibly related to ascent of bubbly magma); 6./ LP swarm in September, 1999 (possible reaming out of conduit); 7./ Various types of intermediate harmonic tremor in September, 1999; 8 / Almost continuous tremor in October, 1999, whose amplitude increased after the first phreatomagmatic explosion on 11 October, 1999; 9./ From mid October, 1999 tremor is continuous and coincides with the initiation of moderate magmatic explosions.

imolina@igepn.edu.ec

## INTRODUCCIÓN

El entendimiento de la posible “interacción” entre un sistema superficial freático y el sistema magmático podría ser crucial para explicar la gran diversidad de señales sísmicas generadas al interior de un volcán. En el caso del Volcán Tungurahua su actividad sísmica desde 1994 ha sido caracterizada por una casi permanente actividad tremórica, ocurrencia de eventos volcano-tectónicos y esporádicos sismos de largo período que generalmente se registraban únicamente en dos estaciones. A partir de septiembre de 1998 se presentaron enjambres de sismos volcano-tectónicos de origen superficial y profundo, y desde julio de 1999 los eventos de largo período ya se registran en más de dos estaciones, algunos de ellos al parecer fueron de carácter profundo. Por otra parte la actividad tremórica presentó cambios importantes en su contenido espectral desde julio de 1997. Basado en el comportamiento del tremor y la ocurrencia de eventos sísmicos aislados fue posible diferenciar varias etapas intercaladas de actividad freática intensa a normal y una posterior etapa magmática.

## TIPOS DE SISMOS Y SU POSIBLE MECANISMO DE GENERACIÓN

La clasificación de eventos sísmicos propuesta para el Volcán Tungurahua es la misma planteada por Power *et al.* (1994). Para ello se tuvo en cuenta la localización, las formas de las envolventes y el contenido espectral de los sismos, encontrándose de esta manera 2 familias de eventos volcano-tectónicos (VT) una con mayor y otra con menor frecuencia dominante (VTH y VTL respectivamente), 4 familias de eventos de largo período (LP) y una familia de eventos híbridos (HB).

Los eventos VTH que presentaron una frecuencia dominante entre 6 y 18 Hz, se localizaron entre 1 y 12 km bajo la cumbre (figura 1a y 1b), mientras que aquellos con frecuencias entre 6 y 10 Hz se ubicaron en la parte SE del cráter entre 1 y 6 km de profundidad. Bajo los 6 km de profundidad los eventos presentaron frecuencias superiores a 10 Hz y al parecer delimitaron una posible cámara magmática. Epicentralmente, estos eventos se alinearon en dirección WNW-ESE al E de la cumbre y NW-SE de la cumbre.

Los eventos VTL con una frecuencia dominante entre 3 y 10 Hz, se localizaron entre 1.5 y 6 km bajo la cumbre (figura 2a y 2b). Existen dos agrupaciones importantes, una entre 1 y 2 km y otra entre 4 y 5 km de profundidad. La primera agrupación se encuentra donde está el límite geológico entre el edificio volcánico y el basamento, la segunda agrupación se encuentra en una zona muy cercana donde sería la intersección entre el conducto y la posible cámara magmática. Epicentralmente, se localizan en la parte sur de la cumbre sin presentar ninguna disposición elongada.

Para explicar la ocurrencia de ciertas frecuencias según su región de ocurrencia existen varias teorías, entre ellas se encuentran la de Fournier (1999), Iguchi (1994) y Lahr *et al.* (1994). Todas estas teorías coinciden en

que los eventos que poseen frecuencias dominantes sobre varios Hz se localizan en regiones más profundas que aquellos que presentan frecuencias más bajas.

Debido a esta distribución preferencial de frecuencias en los eventos VT, para el Tungurahua se propone una estrecha zona que se sella a sí misma (auto-sello), la cual se encuentra rodeando una posible cámara magmática a 6 km bajo la cumbre. Ocasionalmente el movimiento del magma induce una ruptura de la zona de auto-sello y es en dicho momento cuando se generarían las mayores frecuencias para eventos volcano-tectónicos (eventos VTH). Por otra parte los eventos VTL definen un conducto que va desde 1 a 6 km de profundidad. Si los efectos de la fuente son dominantes las frecuencias bajas en los eventos VTL estarían asociadas con ruptura de material "pobremente competente" (tales como piroclásticos o productos volcánicos muy alterados). En otras palabras, de acuerdo con lo que explica Lahr *et al.* (1994) los VT más profundos estarían directamente relacionados con la evacuación del magma, mientras que los más superficiales reflejarían el camino del magma hacia la superficie.

Los eventos de largo período fueron agrupados dentro de 4 familias. Las dos primeras familias (figuras 3a, 3b y 4a, 4b) comparten características similares tanto en

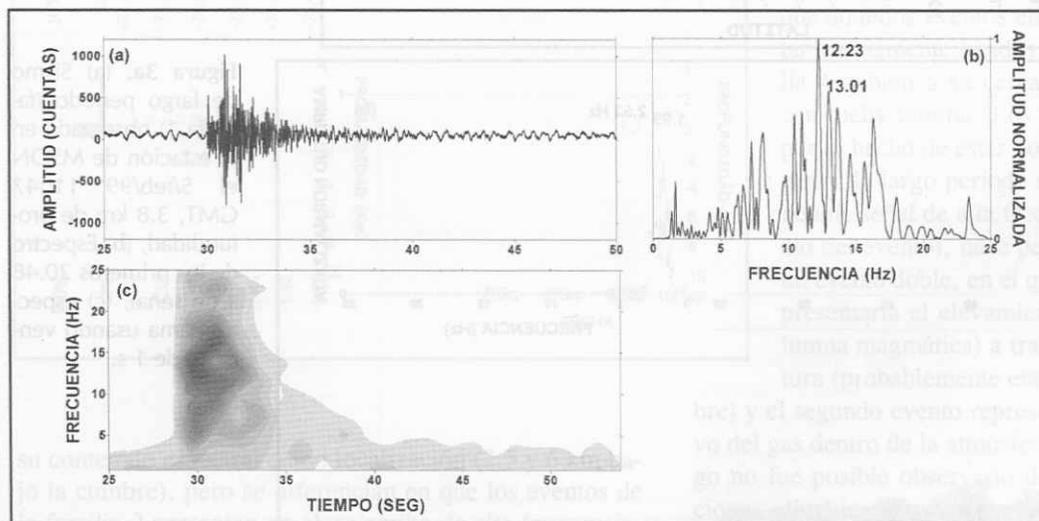


Figura 1a. (a) Sismo volcano-tectónico (VTH) observado en la estación de Mson el 5/jul/99 12h02 GMT, (b) Espectro de los primeros 20.48 s de señal, (c) espectrograma usando ventanas de 1 s.

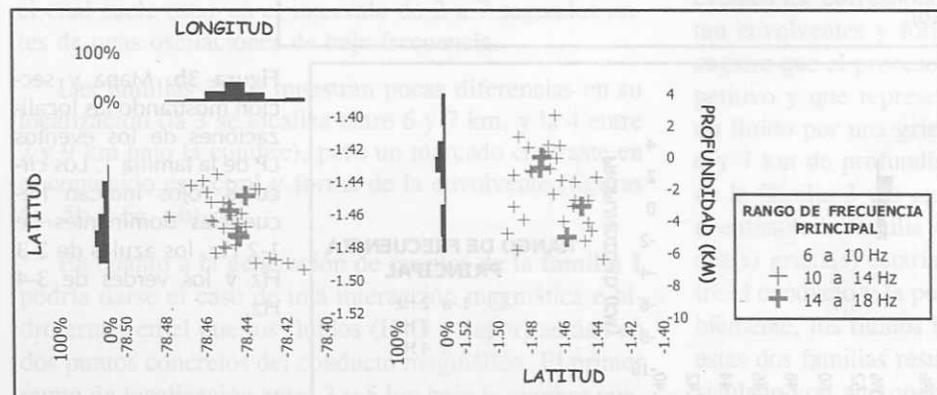


Figura 1b. Mapas y secciones mostrando las localizaciones de los eventos VTH. Las cruces más pequeñas indican frecuencias dominantes de 6-10 Hz, las medianas de 10-14 Hz y las grandes de 14-18 Hz. Obsérvese la tendencia de distribución de frecuencias antes y después de los 6 km de profundidad.

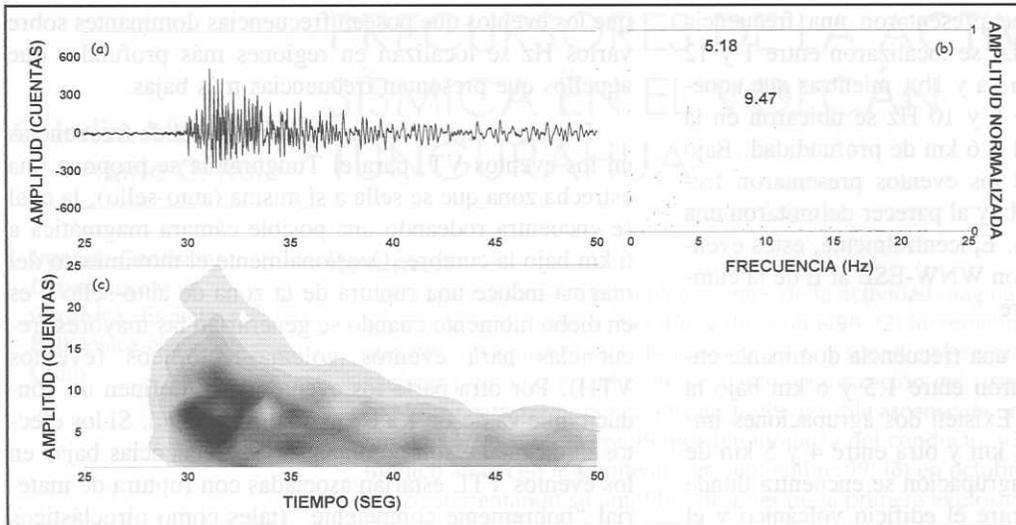


Figura 2a. (a) Sismo volcánico-tectónico (VTL) observado en la estación de Mson el 9/dic/98 7h58 GMT, (b) Espectro de los primeros 20.48 s de señal, (c) Espectrograma usando ventanas de 1 s.

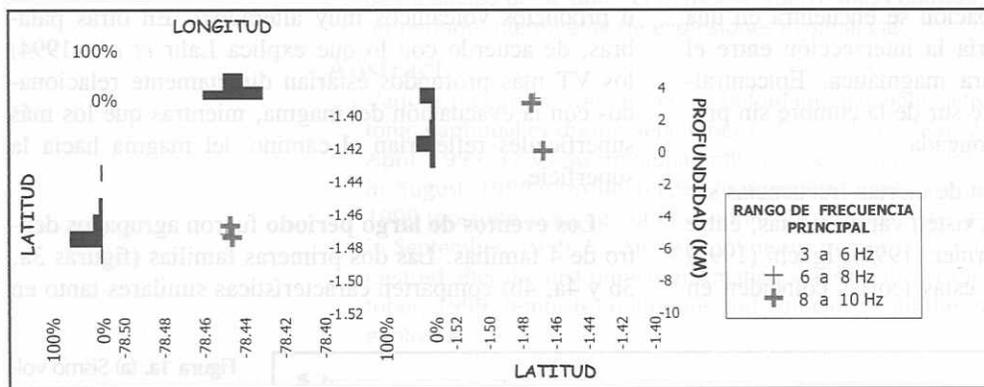


Figura 2b. Mapa y sección mostrando las localizaciones de los eventos VTL. Las cruces pequeñas indican frecuencias dominantes de 3-6 Hz, las medianas de 6-8 Hz y las grandes de 8-10 Hz.

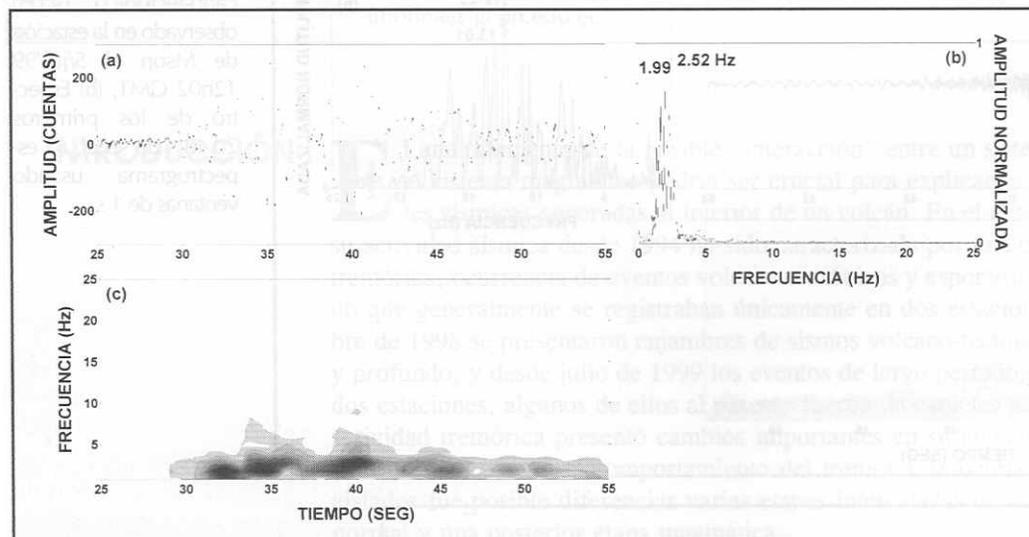


Figura 3a. (a) Sismo de largo período (familia 1) observado en la estación de MSON el 5/feb/99 11h47 GMT, 3.8 km de profundidad, (b) Espectro de los primeros 20.48 s de señal, (c) espectrograma usando ventanas de 1 s.

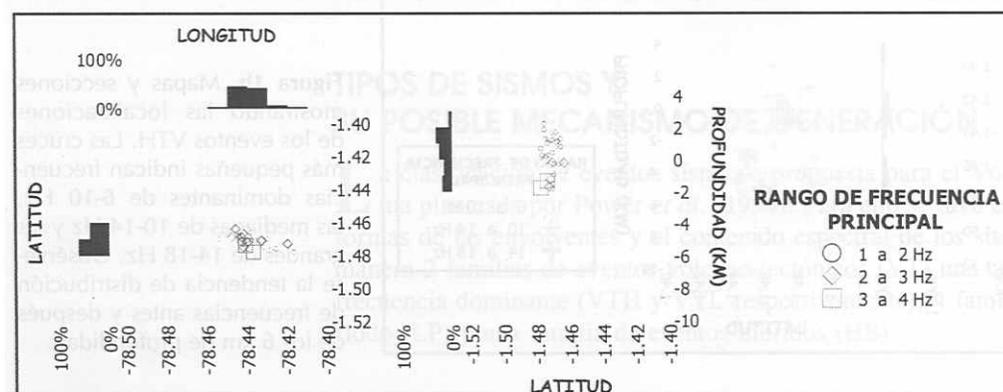


Figura 3b. Mapa y sección mostrando las localizaciones de los eventos LP de la familia 1. Los círculos rojos indican frecuencias dominantes de 1-2 Hz, los azules de 2-3 Hz y los verdes de 3-4 Hz.

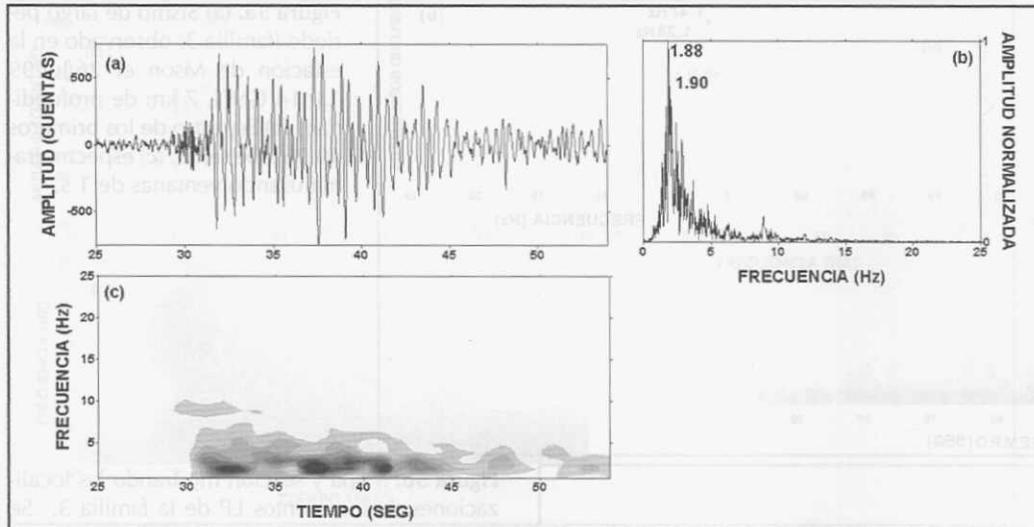


Figura 4a. (a) Sismo de largo período (familia 2) observado en la estación de MSON el 9/sep/99 5h00 GMT, 5 km de profundidad, (b) Espectro de los primeros 10.24 s de señal, (c) espectrograma usando ventanas de 1 s.

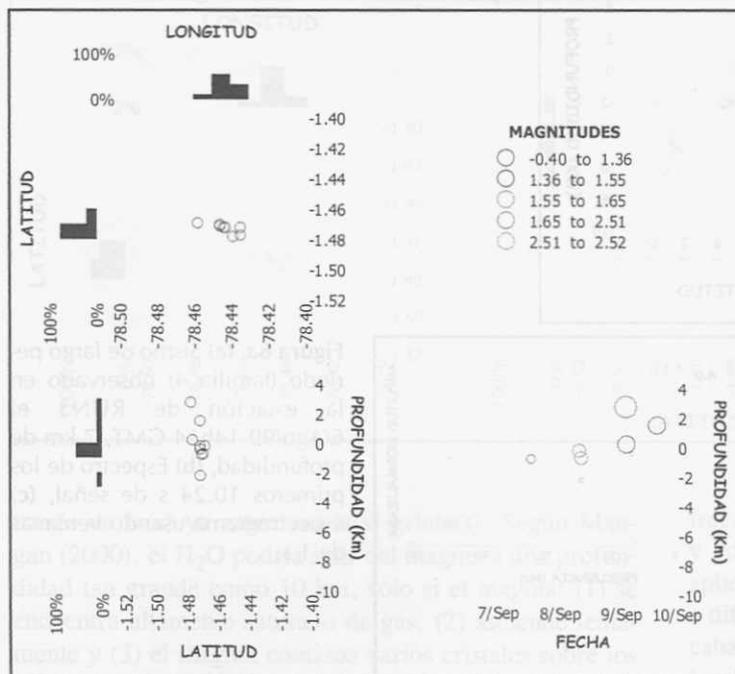


Figura 4b. Mapa y secciones mostrando las localizaciones de los eventos LP de la familia 2 y la variación hipocentral de los eventos y sus magnitudes con respecto al tiempo.

su contenido espectral como localización (2.5 y 6 km bajo la cumbre), pero se diferencian en que los eventos de la familia 2 presentan un claro arribo de alta frecuencia, el cual suele estar en el intervalo de 2 a 7 segundos antes de unas oscilaciones de baja frecuencia.

Las familias 3 y 4 muestran pocas diferencias en su localización (la 3 se localiza entre 6 y 7 km, y la 4 entre 7 y 9 km bajo la cumbre), pero un marcado contraste en el contenido espectral y forma de la envolvente (figuras 5a, 5b y 6a, 6b).

En cuanto a la generación de eventos de la familia 1 podría darse el caso de una interacción magmática e hidrotermal en el que los fluidos (H<sub>2</sub>O y vapor) actúan en dos puntos concretos del conducto magmático. El primer punto de localización entre 3 y 5 km bajo la cumbre pue-

de estar reflejando un punto de interacción termal entre el calor magmático y el acuífero superficial (sistema hidrotermal del volcán), mientras que aquellos eventos entre 6 y 7 km podrían estar íntimamente ligados a los eventos de la familia 4 debido a su cercano rango de frecuencias con dicha familia. Los eventos de la familia 2, por el hecho de estar dominados por una componente de largo período sobre la cual se superpone una señal de alta frecuencia (sobretudo al inicio del evento), hace pensar en la posibilidad de un evento doble, en el que el primero de ellos representaría el elevamiento del gas (desde la columna magmática) a través de una grieta o abertura (probablemente entre 2 y 6 km bajo la cumbre) y el segundo evento representaría el escape explosivo del gas dentro de la atmósfera, esto último sin embargo no fue posible observarlo debido a las malas condiciones climáticas en aquel entonces. Debido a que los eventos LP correspondientes a las familias 3 y 4 presentan envolventes y formas espectrales muy similares, se sugiere que el proceso que las produce a cada una es repetitivo y que representan la manifestación del paso de un fluido por una grieta que posiblemente está entre los 6 y 7 km de profundidad para la generación de eventos de la familia 3 y/o entre 7 y 9 km de profundidad para eventos de la familia 4. Vale la pena mencionar que dicha(s) grieta(s) estaría(n) muy cercana(s) a la unión entre el conducto y la posible cámara magmática. Presumiblemente, los fluidos involucrados para la generación de estas dos familias resultan del ascenso de un magma vesiculado con alto contenido de H<sub>2</sub>O y/o CO<sub>2</sub> pasando a