Daniel Andrade
Minard L. Hall
Patricio Ramón
Patricia Mothes
Andrés Ruiz
Silvana Hidalgo

OBSERVACIÓN INSTRUMENTAL DE LAHARES EN EL VOLCÁN TUNGURAHUA ENTRE ABRIL-2000 Y AGOSTO-2001

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

Resumen

La presencia de lahares ha sido una de las consecuencias de la fase eruptiva del volcán Tungurahua iniciada en octubre de 1999. Dado que estos eventos resultan peligrosos en ciertos lugares del volcán, dos instrumentos de detección de lahares (Acoustic Flow Monitors) fueron instalados para la vigilancia de este tipo de fenómenos volcánicos. Los registros de los equipos instalados, recibidos en tiempo real, permitieron alertar sobre la presencia de lahares, así como pronosticar ciertas características del flujo. Además, mediante correlaciones y observaciones en el terreno, con estos registros se ha podido estimar el volumen de material desalojado por cada lahar en el período abril 2000-agosto 2001.

Abstract

The presence of lahars has been one of the consequences of the eruptive phase of Tungurahua volcano which began in October, 1999. Given that these events are potentially harmful at certain areas around the volcano, two lahar detectors (Acoustic Flow Monitors) were installed for the vigilance of this type of volcanic phenomena. The real-time data records from the installed instruments have permited to alert of lahar transit as well as a prognosis of characteristics of the flow. Also by correlating field observations with the instrumental data it has been possible to estimate the volume of material mobilized by each lahar during the period April 2000 to August 2001.

dandrade@igepn.edu.ec

INTRODUCCIÓN

La actividad estromboliana a vulcaniana del Tungurahua, iniciada a principios de octubre 1999, provocó gran acumulación de bloques y ceniza juveniles sobre la zona alta del volcán, principalmente entre los meses de noviembre-1999 y marzo-2000 (figura 1). Desde mediados de octubre-1999, la presencia de lluvias en la zona ha removilizado este nuevo material, generándose importantes y frecuentes lahares, sobre todo en los flancos W y NW del volcán.

En marzo de 2000, el Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional instaló dos estaciones telemétricas de detección de lahares en dos puntos claves del volcán Tungurahua. Una fue colocada adyacente al curso bajo de la quebrada "Palma Urcu" en el sector de Juive Grande, y la otra en el curso medio a alto del río Vazcún, en las cercanías de la ciudad de Baños.

El criterio de selección de los sitios de instalación fue la necesidad de vigilancia de los fenómenos laháricos que amenacen a la población y a bienes públicos y privados. Mediante el detector de Juive Grande se vigila lahares que amenazan a la carretera Ambato-Baños, en la zona de "La Pampa", entre el puente de "Las Juntas" y Baños. El de Vazcún detecta lahares que ocurren en el río del mismo nombre, por el cual podría verse afectada directamente la ciudad de Baños.

EL EQUIPO DE DETECCIÓN

El equipo, conocido como "Acoustic Flow Monitor" (AFM), es del mismo tipo que se utilizó posteriormente a la erupción del Monte Pinatubo (Filipinas) entre 1991-

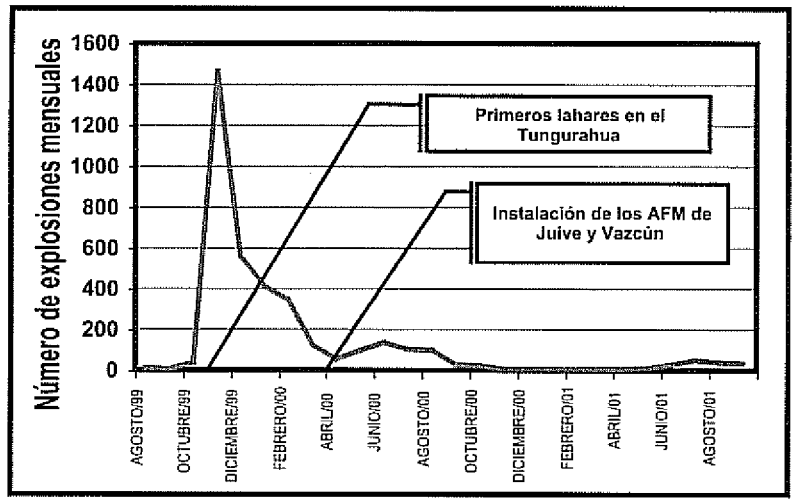
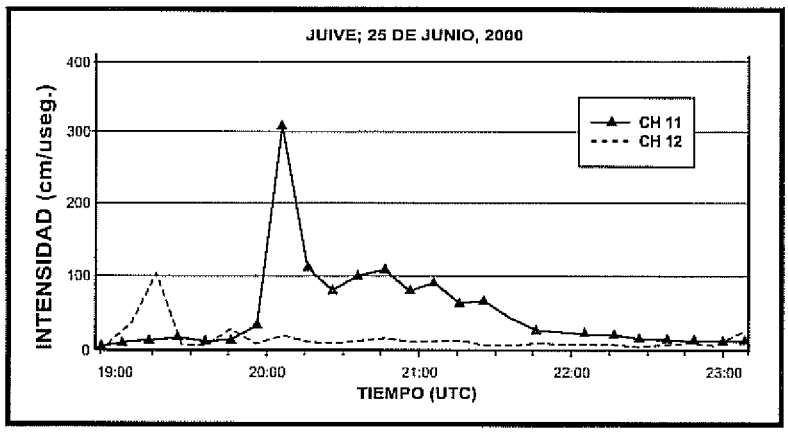
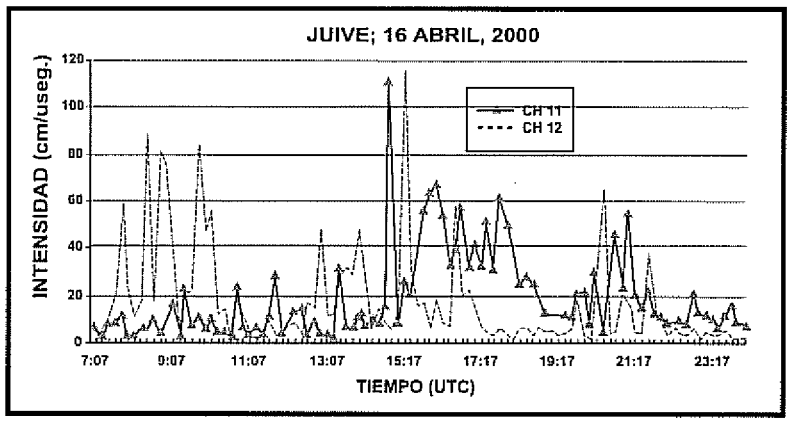


Figura 1. Diagrama del número de explosiones mensuales del volcán Tungurahua. La importante deposición de piroclastos proximales, propio de la actividad estromboliana, sumada a la presencia de lluvias, ha dado lugar a la formación de lahares en los flancos del volcán desde noviembre de 1999.





Figuras 2A y 2B. Registros típicos de lahares en "La Pampa" según el AFM de Juive. A) Un evento simple de 3 horas de duración, y B) un evento complejo de más de 16 horas de duración. En ambos casos se observa que los lahares tuvieron una "alerta previa" a la fase principal dada por una subida en los valores del Canal 12.

1993, y que ya había mostrado su eficiencia durante esa crisis volcánica (Marcial, *et al.*, 1996). El equipo es en esencia, un sensor sísmico con un rango de detección de 10–300 Hz. Los AFM de Juive Grande y Vazcún envían datos de *intensidad instantánea de vibración vertical* (en cm/mseg) en tiempo real, de muestras tomadas cada 10 min, a la central de registro en el "Observatorio Volcán Tungurahua" (13 km al NNW del volcán).

Los datos se reciben en tres canales para cada AFM: el "Canal X0" (banda completa, 10–300 Hz); el "Canal X1" que registra intensidades de vibración de bajas frecuencias (10-100 Hz), y el "Canal X2" que registra intensidades de vibración a altas frecuencias (100-300 Hz). Fue designada X=1 para el AFM de Juive Grande y X=2 para el AFM de Vazcún.

Las observaciones realizadas en el Monte Pinatubo (Marcial, *et al.*, 1996), muestran que la vibración generada por el paso de lahares ricos en bloques estuvo concentrada en las bajas frecuencias (10–100 Hz; Canal X1), mientras que las corrientes y los flujos de lodo con bajo contenido de bloques se caracterizan por energías en frecuencias más altas (Canal X2).

REGISTROS Y OBSERVACIONES

Este trabajo se basa en el análisis de los registros obtenidos por el **AFM de Juive Grande** (La Pampa), debido a que son los más abundantes (29 registros en total) y muestran, además, interesantes patrones de comportamiento de los flujos. Vale la pena mencionar que antes de la instalación del AFM ya se habían presentado lahares en la zona de Juive Grande, (DG-EPN, 2000–2001).

Por otra parte, el AFM de Vazcún fue robado e inutilizado en diciembre de 2000 y se instaló uno nuevo que

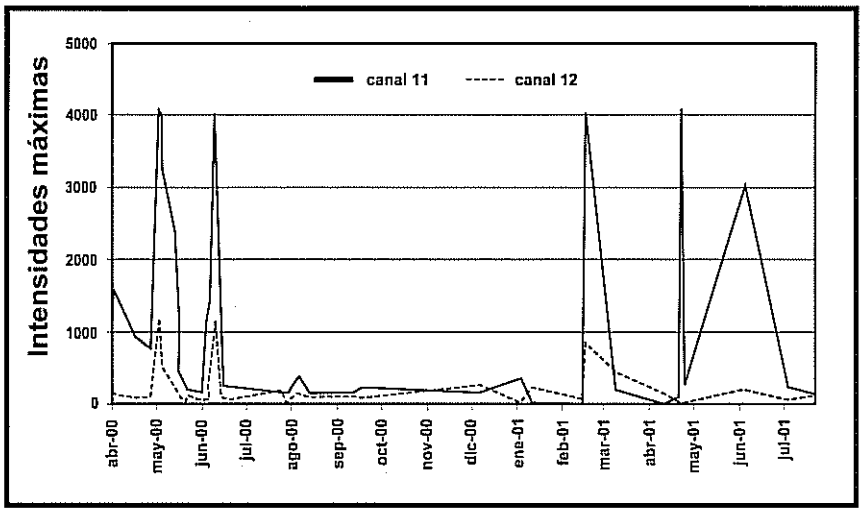


Figura 3. Intensidades o "picos" máximos de los Canales 11 y 12 para cada uno de los lahares observados mediante el AFM de Juive. Se nota que casi siempre la Intensidad máxima en el Canal 11 fue mayor que en el Canal 12, lo que indica una presencia constante de fases viscosas y ricas en bloques en los lahares de "La Pampa".

tiene un menor tiempo de vigilancia. Y dado que aún no se han presentado lahares en esta quebrada, el AFM de Vazcún no ha sido considerado para el análisis.

En la figura 2 se presentan dos ejemplos representativos de registros individuales obtenidos el 25 de junio y el 16 de abril de 2000, en donde se muestra el valor de *Intensidad Instantánea versus Tiempo*.

Típicamente, los registros comienzan con una subida en el Canal 12 (altas frecuencias) hasta alcanzar un pico máximo (figura 2A). Luego los valores del Canal 12 decaen mientras los del Canal 11 (bajas frecuencias) empiezan a subir. Esta secuencia puede presentarse en forma compleja como se observa en la figura 2B.

Las observaciones realizadas en el campo (DG-EPN, 2000 – 2001) muestran una confirmación de los registros obtenidos por el AFM de Juive Grande: en donde primeramente arribó a la zona de "La Pampa", una fase poco viscosa constituida principalmente por agua y ceniza (que generó las intensidades de alta frecuencia, Canal 12), la cual fue seguida minutos más tarde, por un flujo viscoso y rico en bloques (que generó las intensidades de baja frecuencia, Canal 11). Por esto, se considera que el *lahar sensu stricto* es el evento que genera el registro en el Canal 11, mientras que el registro del Canal 12 corresponde a un flujo de lodo pobre en bloques.

Casi siempre la *Intensidad Máxima* registrada en el Canal 11 fue mayor que en el Canal 12 (figura 3) lo que indica una constante e importante presencia de bloques en los lahares.

Para registros individuales, la diferencia de tiempo entre los picos de Intensidad Máxima de los Canales 12 y 11 ha sido muy variable, pudiendo ir desde 0 minutos hasta 4 horas, con un promedio de 68 minutos entre pico y pico. Estas diferencias podrían ser atribuidas al sitio del volcán donde se originó el lahar, a la intensidad de la lluvia que lo originó o a la cantidad de sedimento disponible para la removilización. En algunos de los lahares más grandes registrados por el AFM de Juive (mayo-junio, 2000, y mayo–junio, 2001 ver figura. 3) la diferencia de tiempo entre los picos máximos de los Canales 11 y 12 fue casi nula.

VOLUMEN DESALOJADO POR LOS LAHARES DE "LA PAMPA"

Tuñgol y Regalado (1996) mostraron, para el caso del Pinatubo, que los valores de *Intensidad Instantánea (A)* en el Canal X1 son correlacionables linealmente con el *Caudal Instantáneo (Q)* del flujo; y que por lo tanto, la curva de "Intensidad vs. Tiempo", se puede transformar en una especie de hidrograma. Con este "seudo-hidrograma" es posible realizar la estimación de volúmenes desalojados por los lahares.

En el caso del Tungurahua se ha intentado hacer una estimación del volumen desalojado, a pesar de que se cuenta con un número limitado de datos (DG-EPN, 2000–2001). Así, sobre la base de tres observaciones de caudales máximos, más el supuesto de que a un caudal instantáneo de 0 m^3/seg corresponde un valor de intensidad instantánea de 0 cm/seg (figura. 4), se determina que la relación lineal de A vs. Q es:

$$Q = 0.0089A$$

Se asumió que al Caudal Máximo del lahar corresponde a la Intensidad Instantánea Máxima en los registros del Canal 11. Ahora, si se toma el registro del Canal 11 de los 29 lahares que han ocurrido en "La Pampa" y se reemplaza el valor de A por Q según la relación mostrada arriba, se obtiene hidrogramas de *Caudal vs. Tiempo* para cada lahar. Integrando cada curva se obtiene el *Volumen Desalojado* por cada lahar. La sumatoria de todos esos Volúmenes Desalojados da un valor total aproximado de 1'135 000 m^3 (ó $1.13x10^{-3}$ Km^3).

En el caso del Pinatubo, Tuñgol y Regalado (1996) pudieron comprobar la validez del resultado del cálculo del volumen total desalojado, mediante el uso de fotogra-

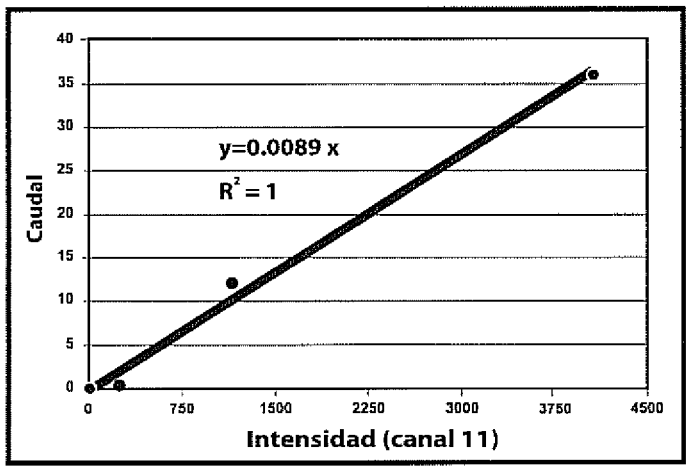


Figura 4. Gráfico que muestra la relación directa entre el Caudal Instantáneo Máximo y la Intensidad Instantánea Máxima generada en el Canal 11, para los lahares del volcán Tungurahua. A pesar de que son necesarias más observaciones para afinar la relación, esta permite transformar los registros del AFM en hidrogramas, lo cual a su vez posibilita estimar volúmenes desalojados por los lahares.

fías aéreas que permitieron mapear los depósitos dejados por cada lahar y también usando las observaciones de campo. En el caso del Tungurahua no se ha podido contar con esa facilidad.

Según nuestro cálculo, los tres lahares más voluminosos ocurrieron el 10 de mayo de 2000, el 17 de junio de 2000 y el 11 de junio de 2001, con volúmenes estimados en: 175000, 164000 y 89400 m^3 respectivamente, y que representarían el 37.1% del total desalojado por La Pampa. Los reportes de "estragos importantes" producidos por estos eventos (DG-EPN, 2000 - 2001) representan, por ahora, la única manera de confirmar los cálculos obtenidos.

Se considera que el Volumen Total Desalojado que se ha calculado aquí representa un valor mínimo por las siguientes razones: 1) la gran mayoría de los lahares presentaron una fase menos viscosa y menos rica en bloques que fue previa al aparecimiento del lahar sensu estricto, la cual fue registrada principalmente en el Canal 12, y que en ocasiones tuvo una magnitud importante; 2) unos pocos eventos de menor magnitud fueron grabados solamente en el Canal 12 debido a que estaban formados principalmente por lodo poco viscoso; 3) hubo lahares en la zona de "La Pampa" previos a la instalación del AFM de Juive Grande.

ALERTAS TEMPRANAS POR LAHARES

Por su ubicación (~2 km quebrada arriba desde la carretera), y dado que los datos generados por el detector se reciben en tiempo real, el AFM de Juive Grande pudo registrar el paso de los lahares con suficiente anticipación como para que se pueda emitir alertas tempranas, con una certidumbre prácticamente absoluta. Esto resultó en un gran beneficio, tanto para la población como para los usuarios de la carretera Baños-Puyo.

El tiempo entre la primera alerta emitida desde el "Observatorio Volcán Tungurahua" y la llegada del lahar a la carretera, ha estado entre 20 y 30 minutos. Esto ha permitido a las autoridades locales (Policía, Bomberos, Defensa Civil) recomendar y asumir medidas y acciones de precaución durante la presencia de estos fenómenos, con gran éxito (que llegan al 10%de casos efectivos), así como el delinear planes a mediano y largo plazo.

NOTA

Durante el mes de agosto de 2001, el volcán Tungurahua tuvo un nuevo e importante período de actividad estromboliana (figura 1) que provocó intensa deposición de ceniza sobre toda la mitad occidental del cono. Hasta octubre de 2001 no se habían presentado nuevos lahares en la zona de Juive Grande-La Pampa, pero tampoco la presencia de lluvias en la zona había sido importante. Sin embargo, el 14 de diciembre de 2001, luego de una fuerte lluvia, un gran lahar fue detectado por el AFM de Juive. El volumen desalojado por el mismo ha sido calculado en 55.300 m3, mediante el método descrito en este artículo. El resultado es que el lahar del 14 de diciembre está entre los diez más grandes registrados. También, durante este evento fue posible confirmar la relación "Caudal instantáneo máximo vs. Intensidad instantánea máxima" para el AFM de Juive.

REFERENCIAS

(DG-EPN) Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional, 2000–2001. Síntesis Semanales del Estado del Volcán Tungurahua ("Observatorio Volcán Tungurahua"–Guadalupe), Informes No. 1–No. 80 (Inéditos).

Marcial S, Melosantos A, Hadley K, LaHusen R, Marso J., 1996. Instrumental Lahar Monitoring at Mount Pinatubo. En *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*, Newhall C. y Punongbayan R., eds.; p. 1015-1022.

Tuñgol N. and Regalado T., 1996. Rainfall, Acoustic Flow Monitor Records, and Observed Lahars of the Sacobia River in 1992. En *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*, Newhall C. y Punongbayan R., eds.; p. 1023-1032.