



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# Implementación de Sistema de Alerta Temprana ante Lahares en el Volcán Ubinas, Mediante SMS.

**Roger Machacca<sup>1</sup>, Javier Calderon<sup>1</sup>, Rafael Miranda<sup>1</sup>, Jersey Mariño<sup>1</sup>, Ivonne Lazarte<sup>1</sup>, Domingo Ramos<sup>1</sup>, Pablo Masias<sup>1</sup>, Beto Ccallata<sup>1</sup>, Rosa Anccasi<sup>1</sup> y Mayra Ortega<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Observatorio Vulcanológico del Ingemmet - OVI, Sede Regional INGEMMET, Arequipa, Perú ([rmachacca@ingemmet.gob.pe](mailto:rmachacca@ingemmet.gob.pe))

### 1. Introducción

Los lahares (flujos de escombros con agua), son uno de los fenómenos volcánicos más devastadores (Pierson et al., 2014; Thouret et al., 2007; Lavigne et al., 2002). Por ello, resulta muy importante la implementación de sistemas de vigilancia y monitoreo que permitan conocer anticipadamente y con cierto nivel de certeza, en que tiempo y espacio ocurrirá este fenómeno, siendo el objetivo de estos sistemas de alerta temprana, reducir o evitar que se produzcan pérdidas de vidas, daños materiales y al ambiente. El volcán Ubinas, considerado el más activo del Perú (Rivera et al., 2014), durante el proceso eruptivo 2013-2016 ha presentado explosiones tipo vulcanianas, dichas explosiones llegaron a depositar capas de ceniza de más de 1 cm de espesor en las laderas del volcán y menos de 1 cm de espesor en el valle de Ubinas. Durante el mes de febrero de 2016, entre el día 11 y 29, se presentaron intensas precipitaciones en la zona del volcán, que han generado hasta 08 lahares en las principales quebradas y ríos que nacen del volcán, afectando así a las localidades de Ubinas, Tonohaya, San Miguel, Huatagua, Huarina, Escacha, Yalagua, Torata, Matalaque, Santa Rosa de Phara, entre otros.

El sistema de alerta temprana ante lahares en el volcán Ubinas mediante AFM (*Acoustic Flow Monitor*), fue implementada por el Observatorio Vulcanológico del Ingemmet (OVI), lo que permitió detectar la ocurrencia temprana de los lahares, y mediante mensajes cortos de texto (SMS), se pudo alertar a las autoridades involucradas en gestión de riesgo del valle de Ubinas, permitiendo así, evacuar a los pobladores que se encontraban en las riberas de los río Volcanmayo y río

Ubinas, evitándose la pérdida de vidas humanas. Dichos SMS se enviaron con una anticipación de 15 a 45 min., este tiempo dependió en principio de la distancia de ubicación del poblado respecto del cráter.

### 2. Adquisición de datos

El volcán Ubinas (16° 22' S, 70° 54' O), localizado a ~65 km al este de la ciudad de Arequipa, cuenta con un Red Sísmica de vigilancia permanente desplegada por el OVI durante el 2014 - 2016.

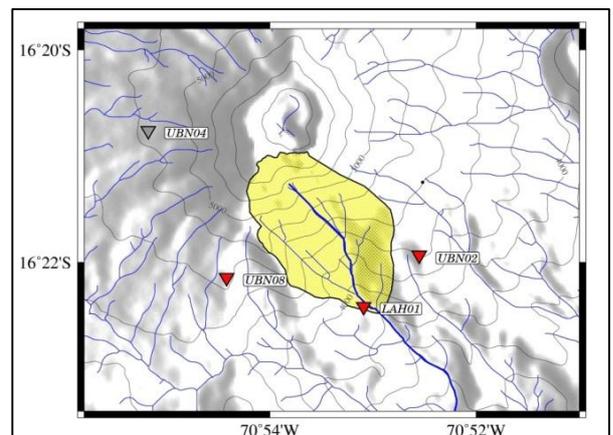


Figura 1. Mapa de ubicación de las estaciones instaladas durante el 2016 para el monitoreo de lahares en el volcán Ubinas, la estación LAH01 cuenta con el sistema AFM. En amarillo se muestra el área de captación con pendiente mayor a 10° del río Volcanmayo

Esta red está conformada por cinco estaciones sísmicas, constituida con sensores sísmicos de velocidad triaxiales

de banda ancha (30s – 100 Hz). Durante el 2016 se instaló una estación sísmica adicional para el registro y alertamiento de lahares en el río Volcanmayo (LAH01), dicha estación fue estratégicamente ubicada en el flanco suroeste del volcán, tal como se ve en la Figura1.

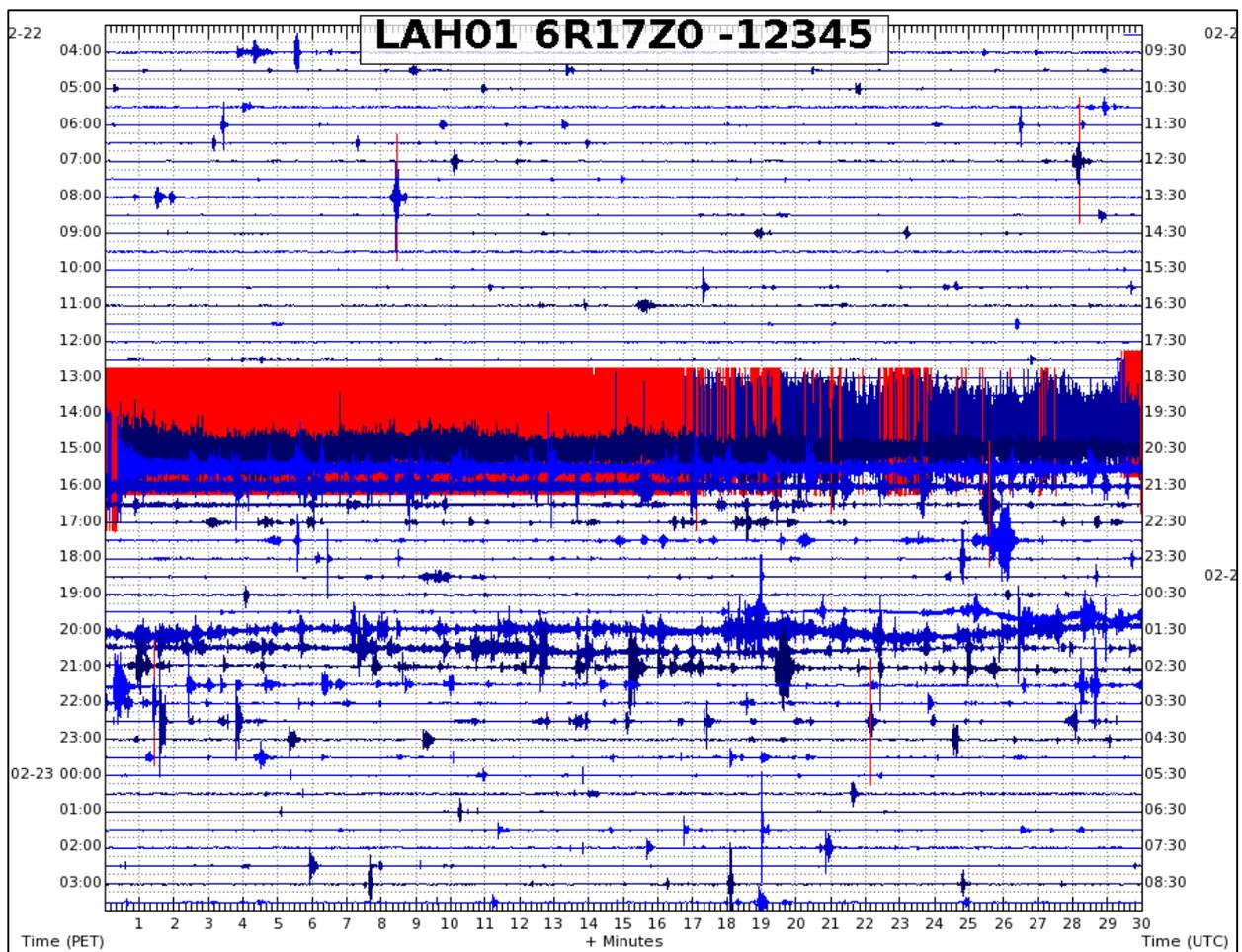
### 3. Generación de lahares en el volcán Ubinas

La formación de lahares en el volcán Ubinas es un fenómeno muy recurrente en las épocas de precipitación, sobre todo después de periodos eruptivos, ya que la acumulación de ceniza contribuye a la formación de estos. La baja permeabilidad de las capas de ceniza, ayuda al agua generada por las precipitaciones a discurrir por la superficie, aumentando así el caudal y energía de los torrentes.

Durante el mes de febrero de 2016, las intensas precipitaciones registradas en la zona del volcán Ubinas,

han generado múltiples lahares en las principales laderas y quebradas que nacen del volcán, así mismo, se generaron lahares en las laderas aledañas al edificio volcánico, debido a la importante cantidad de ceniza depositada durante la erupción 2013-2016, como en el caso de las localidades de Sacohaya, Escacha, Phara, entre otros.

Entre los días 12 y 28 de febrero de 2016, ocurrieron 08 lahares importantes en el río Volcánmayo, los cuales fueron registrados con la estación sísmica LAH01. La Figura 2, muestra un sismograma con la forma de onda de un lahar, dicho evento fue alertado oportunamente, ya que estos flujos de lodo, una vez formados y detectados con la estación LAH01, han recorrido distancias considerables, incluso mayores a los 15 Km, antes de depositarse. Las alertas tempranas emitidas, dieron tiempo de evacuar a las poblaciones ubicadas en las riberas río abajo, que comprende hasta el río tambo.

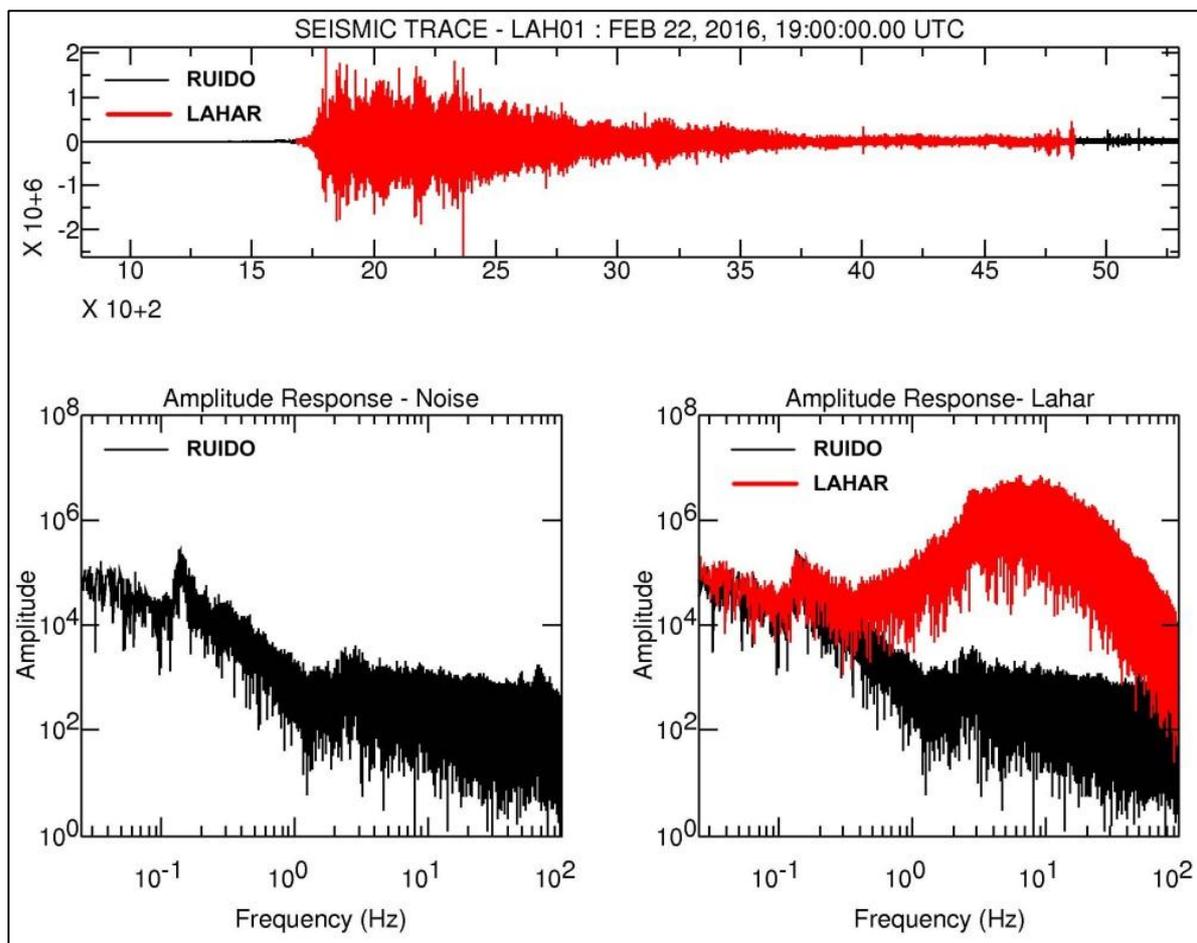


**Figura 2.** Sismograma del día 22 de febrero de 2016, donde se observa la forma de onda del lahar. Las líneas de color rojo corresponden a la detección automática de altas frecuencias > 30Hz, que corresponde al contenido espectral de una lahar.

### 4. Sistema de monitoreo acústico de flujos (AFM)

El sistema de detección temprana de lahares implementada en el volcán Ubinas, está basado en el monitoreo acústico de flujos (AFM por sus siglas en inglés), para este fin, se usó un sismómetro de velocidad con una mayor sensibilidad a altas frecuencias, la estación LAH01 fue configurada para registrar las señales a 250

muestras/segundo, ya que las vibraciones producidos por los lahares o flujos de lodos presentan altas frecuencias, que pueden llegar a superar los 80 Hz, tal como se observa en la Figura 3 parte inferior derecha, donde se puede distinguir claramente el contenido espectral del ruido sísmico de fondo y del lahar. Los lahares en el Ubinas, fueron detectados por su contenido de altas frecuencias (>30 Hz) y gran amplitud.



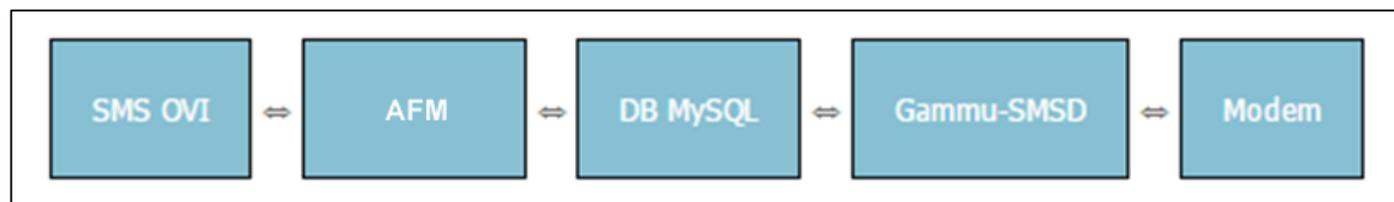
**Figura 3.** Ejemplo del contenido espectral del lahar detectado el 22 de febrero de 2016 19:42:00.00 horas UTC. En color rojo se muestra las altas frecuencias del lahar, en contraste con el ruido de fondo, en color negro.

El sistema de alerta temprana ante lahares para el volcán Ubinas basado en AFM, fue escrito en el lenguaje de programación python y utiliza módulos de Earthworm y SAC. El sistema AFM analiza las señales sísmicas cada 10 segundos en un computador dedicado, el cual activa de forma automática una alarma cuando la amplitud y el rango de frecuencia de las señales sobrepasan los umbrales previamente establecidos para la detección del lahar. Una vez detectado el lahar, el sistema de alerta mediante SMS se activa. El sistema SMS está basado en GAMMU con base de datos en MySQL, que utiliza el

módulo GAMMU-SMSD como puerta de enlace para enviar y recibir mensajes texto a través de un módem USB, ver Figura 4., Un ejemplo de un SMS enviado se muestra a continuación:

*“Alerta de Lahar en el volcán Ubinas hora 14:20 22-02-2016.*

*Tomar precauciones necesarias. Recomendación, alejarse de las riberas de los ríos Volcanmayo, infernillo y aguas abajo (Tonohaya, San Miguel, Huatahua, Huarina, Matalaque, ...) <http://ovi.ingemmet.gob.pe>”.*

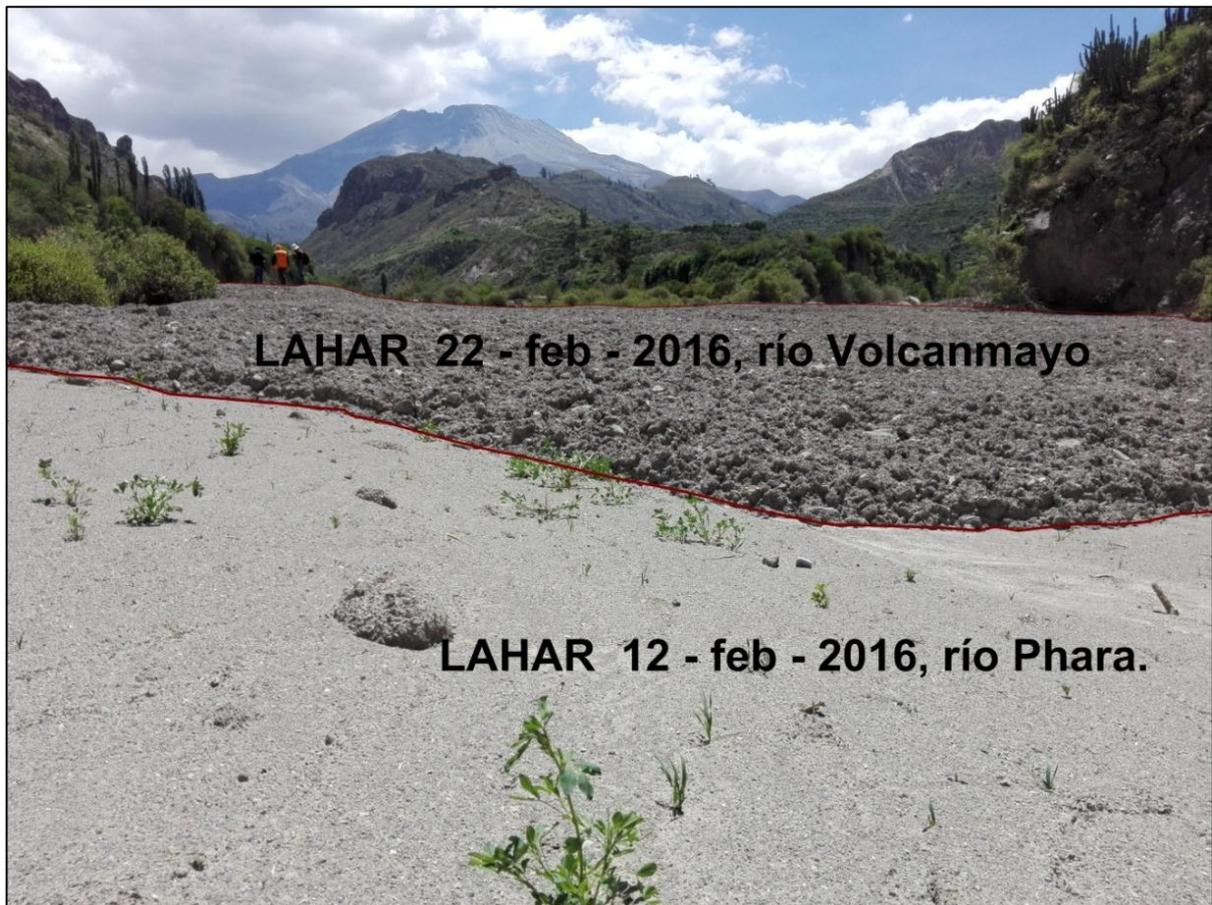


**Figura 4.** Esquema de funcionamiento del sistema de alerta temprana ante lahares mediante SMS implementado en el volcán Ubinas durante el 2016.

### 5. Efecto de los lahares en el valle del Ubinas

Los lahares ocurridos durante el 2016, han generado cuantiosas pérdidas materiales, la estimación de éstas hasta el 22 de febrero de 2016 en el distrito de Ubinas, ha sumado un total de 6'947,850.00 soles, entre daños a áreas de cultivo, carreteras, puentes peatonales

colapsados, canales colapsados, entre otros. Los estragos causados por los lahares, afectaron centros poblados ubicados hasta a más 15 Km río abajo, llegando incluso a afectar las riberas del río tambo, tal como se observa en la Figura 4. Afortunadamente, el sistema de alerta temprana por SMS implementado por el OVI, han evitado la pérdida de vidas humanas en el valle del Ubinas.



**Figura 4.** Foto sobre los daños causados por los lahares en zonas de cultivo, la foto fue tomada en el río Ubinas a 11 km del cráter del volcán en la localidad de San Miguel. Además, se puede observar el contacto entre los lahares ocurridos el 12-02-2016 y el 22-02-2016, donde pueden ser distinguidos por sus texturas.

## 6. Conclusiones

Durante el mes de febrero de 2016, en el valle del Ubinas se registraron intensas precipitaciones, que generaron hasta 8 lahares en el río Volcanmayo, la implementación del sistema AFM para monitorear lahares, permitió detectar y lanzar alertas tempranas mediante SMS a las autoridades involucradas en la gestión del riesgo y a pobladores en mayor riesgo.

La ocurrencia de lahares en el valle del Ubinas no ha reportado la pérdida de vidas humanas durante el 2016. Gracias a la alerta temprana de SMS fue posible la evacuación de personas que se encontraban en las riberas de los principales ríos, con una anticipación entre 15 a 45 min, antes de la llegada del fenómeno.

El sistema AFM y SMS resultan ser una combinación muy eficiente en la reducción del riesgo por lahares en el valle del Ubinas, que permitió detectar y alertar oportunamente la ocurrencia de este fenómeno, evitándose la pérdida de vidas y disminuir el impacto económico.

## Agradecimientos

Deseo agradecer al director de la dirección de geología ambiental y riesgo geológico del INGEMMET, ing. Lionel Fidel por apoyar el proyecto de monitoreo de volcanes activos en el sur del Perú. Asimismo al sr. Melquiades

Alvares, quien nos apoya con la vigilancia de equipos sísmicos en el volcán Ubinas y por su labor de observador de campo.

## Referencias

- Thouret J.-C., Lavigne F., Suwa H., Sukatja B., Surono. 2007. Volcanic hazards at Mount Semeru, East Java (Indonesia), with emphasis on lahars. *Bulletin of Volcanology*, v. 70(2), p. 221-244.
- Lavigne F., Thouret J.-C. 2002. Sediment transportation and deposition by rain-triggered lahars at Merapi Volcano, Central Java, Indonesia. *Geomorphology*, v. 49 (1), p. 45-69.
- Rivera M., Thouret J.-C., Samaniego P. and Le Pennec J.-L. 2014. The 2006–2009 activity of the Ubinas volcano (Peru): Petrology of the 2006 eruptive products and insights into genesis of andesite magmas, magma recharge and plumbing system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 270, p. 122-141.
- Pierson T., Wood N., Driedger C. 2014. Reducing risk from lahar hazards: concepts, case studies, and roles for scientists. *Journal of Applied Volcanology*, v. 10.1186/s13617-014-0016-4, p. 3-16.