

## IMPLEMENTACIÓN DE REDES GEODÉSICAS PARA MONITOREO DE LOS VOLCANES MISTI Y UBINAS

Edu Taipe<sup>1</sup>, Katherine González<sup>1</sup>, Rodolfo Van Der Laat<sup>2</sup>, Hydyn Santiago<sup>3</sup>,  
Jean-Luc Froger<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima-41, edtaipe@ingemmet.gob.pe

<sup>2</sup> Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Apartado Postal: 2346-3000 Heredia, Costa Rica.

<sup>3</sup> Observatorio Vulcanológico, Universidad de Colima, Av. Universidad #333, Col., México.

<sup>4</sup> CNRS, UMR 6524, F-63038 Clermont-Ferrand, Francia

### INTRODUCCION

La geodesia es uno de los métodos más empleados para la detección anticipada de los cambios de estado de un volcán que pudiera evolucionar en una erupción. El objetivo principal de este método es la medición de las deformaciones del suelo en los edificios volcánicos aplicando diversas técnicas geodésicas. En este trabajo describimos la metodología, técnicas y los avances que el INGEMMET ha logrado en la implementación de redes geodésicas en los volcanes Misti y Ubinas.

La región sur del Perú pertenece a la Zona Volcánica de los Andes Centrales (ZVC), donde se han identificado 7 volcanes activos, es decir que tienen grandes probabilidades de iniciar un nuevo proceso eruptivo en cualquier momento, Entre estos volcanes activos destacan el volcán Ubinas con una reciente erupción que se inició en el año 2006 y el volcán Misti, que se encuentra a solo 17 Km de la ciudad de Arequipa (~1 millón de habitantes). Esta ciudad así como todos los pueblos que se encuentran cerca de edificios volcánicos están bajo un riesgo latente de una probable erupción volcánica. La mitigación de este riesgo y su actualización continua puede lograrse con el monitoreo, esto implica la observación persistente de diversos parámetros principalmente sismológicos, geodésicos y geoquímicos, que en el caso de un cambio interno del estado del volcán pueden variar significativamente. Si estas variaciones pueden ser identificadas como precursoras de una erupción y se consigue poner en marcha un mecanismo de respuesta encaminado a la protección de la población se habrían alcanzado los objetivos de vigilancia volcánica y la efectiva reducción de riesgo a través de la disminución de la vulnerabilidad.

Bajo estas consideraciones el INGEMMET está desarrollando un sistema de vigilancia de volcanes activos implementando técnicas geodésicas con la finalidad de monitorear las deformaciones del suelo como producto de los procesos volcánicos, se instalan hitos geodésicos y se miden su posición relativa o absoluta. Para este efecto, se emplean técnicas de geodesia clásica como son la medida electromagnética de distancias y ángulos (EDM), medidas con GPS Diferencial y el análisis continuo de imágenes satelitales (InSAR). Complementariamente se realizará la instalación de inclinómetros electrónicos permanentes con transmisión telemétrica.

### CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Las deformaciones se producen cuando la presión interna ejercida por el magma, flujo de gases y/o la expansión-contracción térmica, levanta y expande la superficie del volcán, con la finalidad de monitorear estas variaciones del suelo, se instalan hitos geodésicos en la superficie volcánica y en ellos se determina la posición relativa o absoluta. La geodesia es la ciencia que se ocupa de determinar la forma, dimensiones y campo gravitatorio de la tierra, y la localización precisa de cualquier punto en su superficie (Dzurisin D., 2007). El campo abarcado por la geodesia es muy amplio, y la aplicación de las técnicas de geodesia en la vulcanología se resume en el estudio del cambio de la forma y tamaño de los volcanes (Dzurisin D., 2007). La actividad volcánica puede generar deformaciones en la superficie del edificio volcánico, las cuales pueden ser provocadas por diferentes motivos, como la intrusión o desplazamiento de magma, la deflación o inflación debido a fenómenos de calentamiento de magma, calentamiento o enfriamiento, desgasificación, expansión, contracción o redistribución de cuerpos de agua o productos geotermales. Esta dinámica de fluidos puede generar el levantamiento o inflación, o bien el hundimiento o deflación del edificio volcánico, que a su vez pueden ser evaluados como cambios en las coordenadas horizontal y vertical sobre la superficie del edificio volcánico (Figura 1). Estos cambios dependen de la localización de la fuente de presión con

respecto a los sitios donde se toman las medidas, así como de la forma, el tamaño y la orientación de esta. También dependen de los cambios que presente la fuente de presión en un periodo determinado de tiempo.

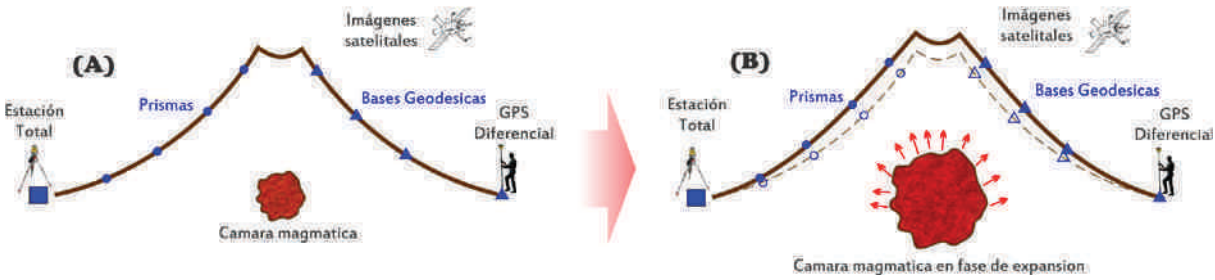


Figura 1- (A) La superficie volcánica al inicio de un incremento de magma, véase la posición inicial de las estaciones geodésicas. (B) El magma asciende y genera inflación y por ende deformación en la superficie del volcán y cambio en la posición de los hitos geodésicos.

## TECNICAS Y EQUIPOS

Para el monitoreo de los volcanes Ubinas y Misti, se ha considerado utilizar en una primera etapa, la medida electrónica de distancias (EDM), azimuts y ángulos. Esto por la facilidad de uso y bajo costo de los equipos. En las medidas de EDM se utilizan ondas de luz monocromáticas que viajan desde la estación base a la estación reflector (prisma) y viceversa. El instrumento compara las fases de la luz emitida y reflejada para calcular la distancia recorrida. Este resultado depende de la velocidad de la luz en el aire y esta a su vez depende de las condiciones atmosféricas como la humedad, la presión y la temperatura. Existen algunos algoritmos para aplicar la corrección respecto a las condiciones atmosféricas, el siguiente es uno utilizado en el volcán Colima y que ha dado buenos resultados (H. Santiago, comunicación personal), y por la similitud con los volcanes peruanos, podría ser aplicado en nuestro medio:

$$\Delta D = 281.5 - \frac{0.29035p}{1 + 0.00366t} + \frac{11.27h}{100(273 + t)} * 10^x \quad x = \frac{7.5t}{237.3 + t} + 0.7857$$

Donde:  $p$  : Presión atmosférica en milibares (Mb)  
 $t$  : Temperatura del medio en grados centígrados (°C)  
 $h$  : Humedad del medio en %

El equipo que se viene utilizando para realizar las medidas de distancia en los volcanes Misti y Ubinas es una Estación Total marca Topcon modelo GPT8002A (Figura 2A) el cual tiene un rango de medidas de distancia de 7 Km con un prisma simple y una precisión de (3mm + 2ppm).

Por otro lado se emplearan también medidas con GPS diferencial, que es un sistema que recibe y procesa información de los satélites y de una fuente terrestre simultáneamente, generando una mayor precisión en la posición calculada. Para tal efecto, nosotros emplearemos un GPS Diferencial de una frecuencia marca ProMark3K (Figura 2B), este instrumento se usa para comparar y ver la fiabilidad de estos equipos de bajo costo en un monitoreo usando técnicas como el PPP (Precise Point Positioning), también contamos con un GPS de doble frecuencia marca Trimble modelo 4000SSE (Figura 2C), el cual usaremos para controlar la posición de las estaciones base.

Por otro lado se está aplicando también la técnica Interferometría Radar (InSAR) que consiste en hacer la diferencia de dos imágenes radar, tomadas sobre una misma zona pero en fechas diferentes. El resultado es una nueva imagen llamada interferograma que es una imagen donde los valores de fase representan las eventuales deformaciones del suelo pero en dirección del satélite. Este trabajo se ha venido desarrollando con imágenes ASAR del satélite ENVISAT, las cuales han sido tomadas en los años 2006, 2007, 2008 y 2009 y se proyecta seguir adquiriendo en los próximos años para realizar el monitoreo respectivo de los volcanes Ubinas y Misti. En las figuras 3A y 3B se muestran ejemplos de interferogramas del volcán Ubinas y Misti respectivamente. El Interferograma del volcán Ubinas cubre un periodo del 04/12/2004 al 13/05/2006, no se observa deformación evidente sobre el cono, sin embargo si se observan pequeñas

deformaciones en la parte alta del valle que podrían estar asociadas a deslizamientos. El Interferograma del Misti (figura 3B) tampoco muestra deformación evidente.

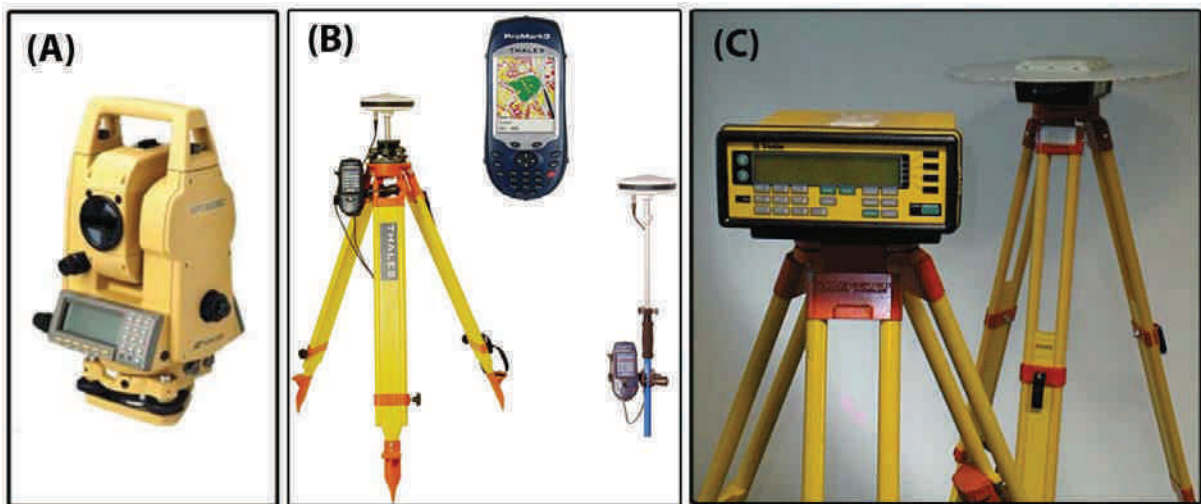


Figura 2. Equipos para monitoreo geodésico con el que cuenta el INGEMMET: (A) Estación Total Topcon, (B) DGPS Promark3K, (C) GPS Trimble.

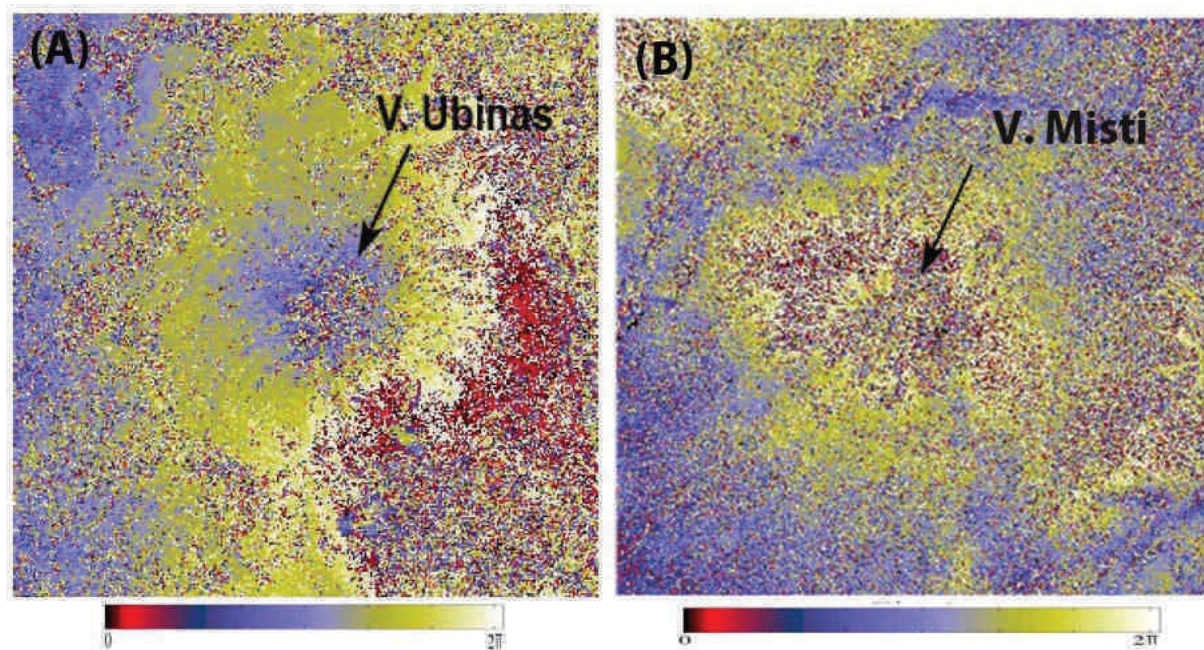


Figura 3. Interferogramas de los volcanes Ubinas (A) y Misti (B).

## LAS REDES GEODESICAS

La red geodésica que se está implementando en el volcán Misti está compuesta de 30 estaciones distribuidas en los flancos Noroeste, Sur y Suroeste. Estos flancos representan las zonas de mayor peligro por fenómenos volcánicos, avalanchas de escombros y deslizamientos. Actualmente se han construido 6 estaciones base y 2 estaciones para prismas, quedando otras 22 estaciones, que en su mayoría son estaciones para prismas, como parte del proyecto en curso (Figura 4A), la cual se tiene previsto se complemente con perfiles de mediciones con GPS.

En el volcán Ubinas se han monumentado dos estaciones base para las medidas de distancias, tres como soporte para prismas, y 7 bases para realizar medidas con GPS (figura 4B). A esta red de monitoreo básico se tienen proyectado mejorar la cobertura acimutal monumentando mas estaciones para lectura de distancias en los flacos Oeste y Norte.

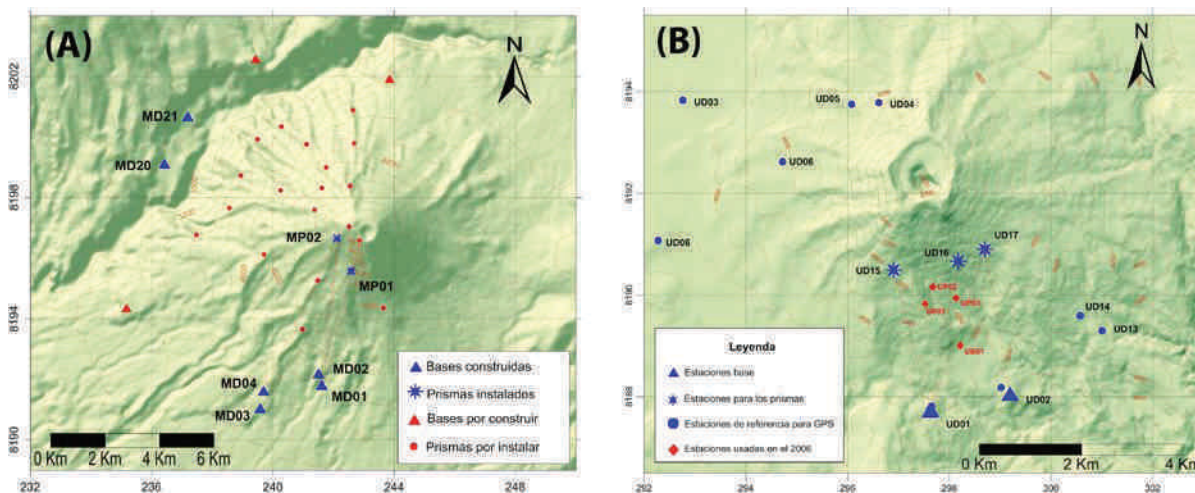


Figura 4. (A) Red de monitoreo de deformación en el volcán Misti. (B) Red de monitoreo de deformación instalada en el volcán Ubinas.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Quedan establecidos entonces, los primeros pasos para implementar las dos redes de monitoreo geodésico en los volcanes Misti y Ubinas, que eventualmente permitirá detectar desplazamientos significativos. A su vez, estas deformaciones permitirán la aplicación de modelos para caracterizar forma, dimensiones y profundidad de la fuente, una probable cámara magmática, así mismo, el seguimiento del flujo interno o migración de magma desde la fuente a la superficie, permitirá conocer mejor el comportamiento pre-eruptivo y eruptivo del edificio volcánico, contribuyendo con criterios que hagan posible la advertencia temprana de actividad eruptiva.

## REFERENCIAS

- De la Cruz-Reyna S., Nolasco H., E. Ramos, Degollado J. L., Castillo F. J., Velásquez C., Medrano A., González H., Romero H. y Castellanos D. A. (1998). La red geodésica del volcán Popocatepetl para el monitoreo de la actividad volcánica. 12 p.
- Dzurisin D. (2007). Volcano Deformation, Geodetic Monitoring Techniques. 441 p.
- Espinoza D. (2008), Vigilancia geodésica de deformación del volcán Ubinas, reconocimiento de campo, Informe interno INGEMMET.
- Espinoza D. (2009), Vigilancia geodesica de deformación del volcán misti, reconocimiento de campo para la implementación de la red de vigilancia. Informe interno INGEMMET.
- Gonzales K. (2009), Monitoreo INSAR de los volcanes Misti, Ubinas Y Ticsani. Informe interno INGEMMET, 8 p.
- Gonzales K. (2006), Detección de deformación del suelo como producto de la actividad volcánica del Ubinas y de la actividad sísmica en la zona del volcán Ticsani (Moquegua). Informe técnico CONIDA, 6 p.
- LaHusen R, Swinford K., Logan M. and Lisowski M. (2008). Instrumentation in Remote and Dangerous Settings; Examples Using Data from GPS “Spider” Deployments During the 2004–2005 Eruption of Mount St. Helens, Washington, 11 p.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY BULLETIN (1992) Monitoring Volcanoes: Techniques and Strategies Used by the Staff of the Cascades Volcano Observatory, 1980-90. 232 p.