

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO DEL PERÚ  
INGEMMET

INFORME:  
**MONITOREO INSAR DE LOS VOLCANES MISTI, UBINAS Y TICSANI  
- 2009**

Elaborado por: Ing. Katherine Gonzales  
Dirección de Laboratorios - Laboratorio de Teledetección

Diciembre 2009

## **CONTENIDO**

1. Objetivos
2. Antecedentes
3. La técnica INSAR
4. Datos Procesados
5. Resultados Obtenidos
6. Consideraciones Finales
7. Problemas encontrados
8. Recomendaciones

### **1. OBJETIVO**

Detectar y monitorear posibles cambios en la posición del suelo (deformaciones) de los volcanes Misti, Ubinas y Ticsani por medio de la técnica de Interferometría Radar (INSAR), que puedan estar asociados a un incremento de su actividad y que permitan establecer alertas tempranas ante la ocurrencia de alguna eventualidad.

### **2. ANTECEDENTES**

La técnica INSAR ha sido y es usada con gran éxito en el seguimiento de la actividad volcánica en diferentes zonas volcánicas del mundo ya que permite detectar con precisión milimétrica los cambios en la posición del suelo que puedan estar relacionados al incremento de la actividad volcánica debido al ascenso de magma en el interior del edificio volcánico. En Perú esta técnica ha sido aplicada anteriormente en los volcanes del sur del Perú, por lo cual ya se cuenta con una base de datos (imágenes desde 1991 hasta el 2007 y los interferogramas correspondientes) que pueden ser usados como referencia.

Debido a que los volcanes peruanos no han mostrado deformación evidente en los últimos 18 años, se ha considerado para el seguimiento de su deformación una frecuencia baja, es decir la adquisición de dos o tres imágenes por año para cada volcán.

### **3. LA TECNICA INSAR**

La técnica INSAR, consiste en la combinación de dos imágenes radar adquiridas sobre una misma zona pero en fechas diferentes. Cada imagen mide la distancia existente entre la posición del satélite y la posición del suelo. Es así que al hacer la diferencia de estas dos imágenes, se obtiene una tercera imagen llamada Interferograma, en el cual los valores de fase que se presenten a manera de franjas pueden traducir cambios en la posición del suelo que hayan podido ocurrir entre las fechas en las cuales fueron tomadas ambas imágenes.

En un Interferograma los valores de fase varían de 0 a  $2\pi$ . Una franja (variación de la paleta de colores, por ejemplo en el caso nuestro: rojo-azul-amarillo) va de 0 a  $2\pi$  (que equivaldría a 0 – 2.8 cm en el caso de las imágenes ASAR-ENVISAT como las usadas para este estudio). Es así que sumando el número de franjas y multiplicando por 2.8 cm se puede obtener el desplazamiento total de un punto en el suelo con respecto a la posición del satélite en cm.

### **4. DATOS PROCESADOS**

Para el año 2009 se ha trabajado con las imágenes adquiridas por el satélite ENVISAT durante el 2009 sobre los volcanes Misti, Ubinas y Ticsani (ver cuadro N° 1). Las imágenes de archivo que han sido tomadas como referencia para el cálculo de los interferogramas son las imágenes provistas por el Dr. Jean-Luc Froger (Laboratorio Magmas y Volcanes de la Universidad de Clermont-Ferrand) pertenecientes a los proyectos ENVISAT-AO #857 y Categoría-1 #2899. La figura N° 1 muestra los volcanes que son cubiertos por cada Swath-Track.

Nº	SENSOR	Swath / Track	Frame	Polarizacion	ORBITA	Paso	Fecha de toma de la imagen	Coordenadas centrales	Zonas de Interés
<b>IMAGENES ASAR ADQUIRIDAS EN EL 2009 (COMPRA INGEMMET)</b>									
1	ASAR	2454	3930	V/V	40588	Descendente	04/12/2009	16°05'S; 71°35'W	Sabancaya - Misti
2	ASAR	4139	3943	V/V	40273	Descendente	12/11/2009	16°22'S; 71°07'W	Misti - Ubinas
3	ASAR	4361	6849	V/V	39994	Ascendente	24/10/2009	16°30'S; 70°46'W	Ubinas - Ticsani
4	ASAR	2411	3946	V/V	40044	Descendente	27/10/2009	16°53'S; 70°20'W	Ticsani - Tutupaca
<b>IMÁGENES DE ARCHIVO (PROYECTOS ENVISAT-AO #857 y Categoría-1 #2899)</b>									
5	ASAR	4139	3943	V/V	25243	Descendente	28/12/2006	16°22'S; 71°07'W	Misti - Ubinas
6	ASAR	4139	3943	V/V	26746	Descendente	12/04/2007	16°22'S; 71°07'W	Misti - Ubinas
7	ASAR	4361	6849	V/V	22459	Ascendente	17/06/2006	16°30'S; 70°46'W	Ubinas - Ticsani
8	ASAR	4361	6849	V/V	33481	Ascendente	26/07/2008	16°30'S; 70°46'W	Ubinas - Ticsani
9	ASAR	2411	3946	V/V	27018	Descendente	27/10/2009	16°53'S; 70°20'W	Ticsani - Tutupaca

Cuadro N° 1. Lista de las imágenes de archivo y las nuevas adquisiciones del 2009, usadas para los cálculos de los interferogramas.

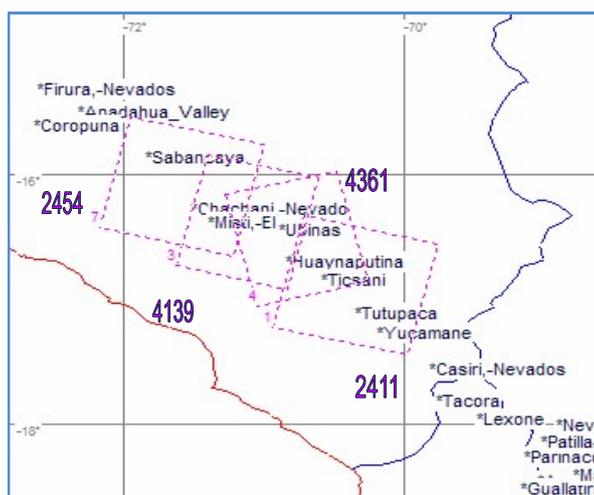


Figura N° 1. Swath-Track que cubren los volcanes monitoreados.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1. VOLCAN MISTI

Combinaciones - Interferogramas (Swath-Track: 4139)		25243 (28/12/06)	26746 (12/04/07)	40273 (12/11/09)
		AA		
25243	PERIODO DE TIEMPO (días)		-48	-57
26746		105		325
40273		1050	945	

Cuadro N° 2. Altitud de ambigüedad y periodo de tiempo en días para las imágenes usadas.

El Interferograma obtenido en el volcán Misti (orbitas: 26746-40273, de fechas 12/04/2007 y 12/11/2009 respectivamente), presenta una componente atmosférica. Es decir que las condiciones atmosféricas del ambiente cuando fueron tomadas las imágenes eran diferentes. Este es un efecto que debe ser removido ya que puede indicar deformaciones falsas. Por ejemplo se muestra una variación de  $2\pi$  en el edificio volcánico del Misti (ver Fig. 1b).

El método que se ha usado para modelar las condiciones atmosféricas y poder remover su efecto, es un método empírico que asume una atmósfera estratificada de la cual se puede extraer una relación de los valores de fase del Interferograma con la altura. A partir de esta relación se crea un modelo de atmosfera que permita remover este efecto del Interferograma, sin embargo la relación fase-altura del Interferograma 26746-40273, no presenta una relación clara entre la fase y la altura (ver Fig. 1d) y por ello la componente atmosférica no ha sido removida completamente (ver Fig. 1c), ya que aun se observa un tercio de franja residual de atmósfera sobre el cono volcánico.

Dado que se esperaría como patrón de deformación franjas concéntricas sobre el cono del Misti, es posible este método de corrección de la atmósfera remueva también señales relacionadas a la deformación producto de algún cambio en el interior del volcán, por ello no se puede afirmar que haya ocurrido algún cambio (deformación) en el edificio volcánico relacionado a un incremento de actividad sísmica como lo señala el informe del Instituto Geofísico del Perú según reunión con el INGEMMET en Octubre del 2009.

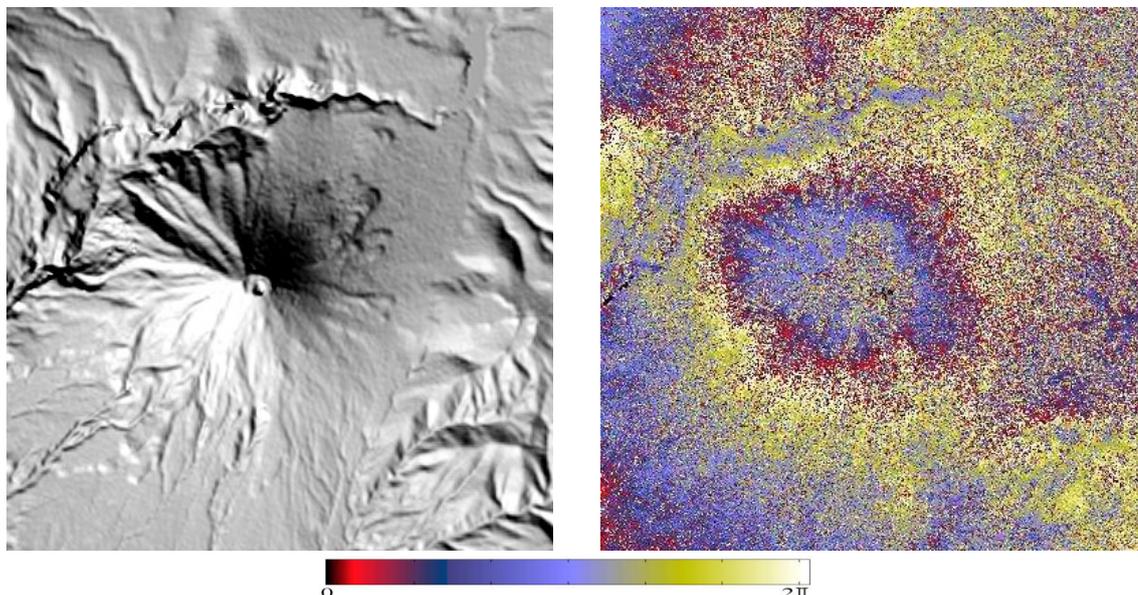


Fig. 1a

Fig. 1b

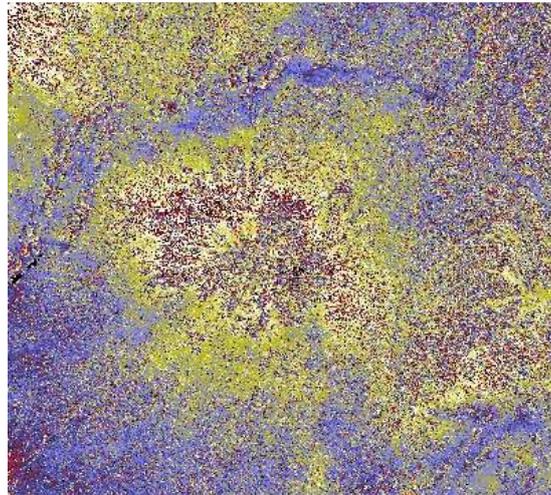


Fig. 1c

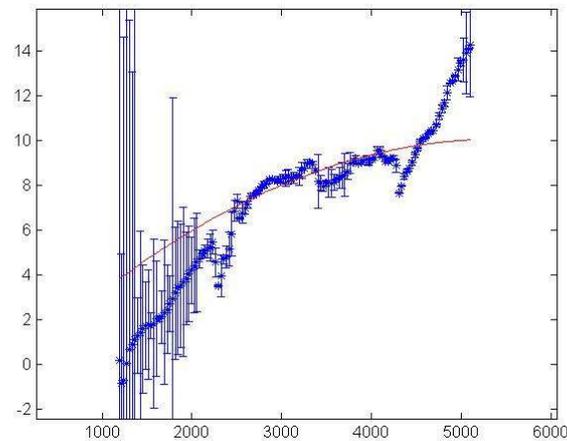


Fig. 1d

## 5.2. VOLCAN UBINAS

El Interferograma obtenido en el volcán Ubinas (orbitas: 33481-39994, de fechas 26/07/2008 y 24/10/2009 respectivamente), se presenta en la figura 2a.

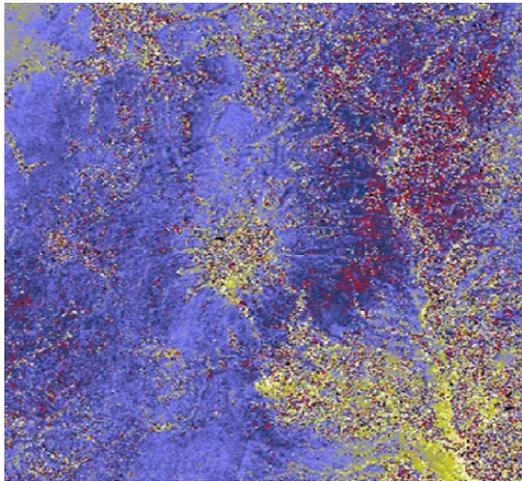
No se observa franjas de deformación sobre el edificio volcánico (ver figuras 2a y 2b). Sin embargo se presentan algunas pequeñas franjas sobre la zona del poblado de Anascapa ( $\sim 16^{\circ}25'43''S$ ;  $70^{\circ}50'53''W$ ) y cerca del Cerro Condorani ( $\sim 16^{\circ}30'6''S$ ;  $70^{\circ}44'14''W$ ), ver figuras 3a y 3b. En ambos casos estas franjas podrían estar relacionadas a pequeños movimientos por deslizamientos y/o subsidencia.

- En el caso de Anascapa estas franjas no habían sido observados anteriormente (según los interferogramas calculados anteriores y durante el 2007), sin embargo se han hecho presentes el año 2009 y son observadas sobre un área de  $2 \times 1.5$  km. No se puede precisar la fecha de inicio de estos probables movimientos, pero las nuevas imágenes cuya toma ha sido programada para el 2010 podrán confirmar si son movimientos activos.

- En el caso del Cerro Condorani, las franjas han sido observadas sobre un área de 2.5 x 2.8 km de extensión. Esta señal ha estado presente en los interferogramas calculados anteriores al año 2008, y se manifiesta también en el Interferograma 33481\_39994 (26/07/2008-24/10/2009 cubriendo un periodo de tiempo de 455 días, cuadro N°3, es decir aproximadamente 15 meses), lo cual puede indicar que es un movimiento activo.

Combinaciones - Interferogramas (Swath-Track: 4361)		22459 (17/06/06)	33481 (26/07/08)	39994 (24/10/09)
		AA		
22459	PERIODO DE TIEMPO (días)		1092	79
33481		770		88
39994		1225	455	

Cuadro N° 3. Altitud de ambigüedad y periodo de tiempo en días para las imágenes usadas.



Interferograma 33481\_39994



Fig. 2a

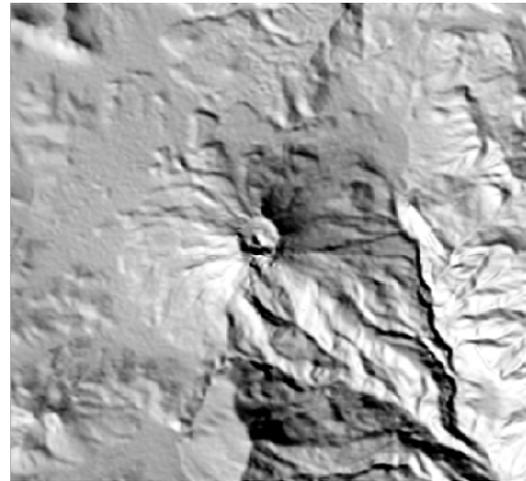
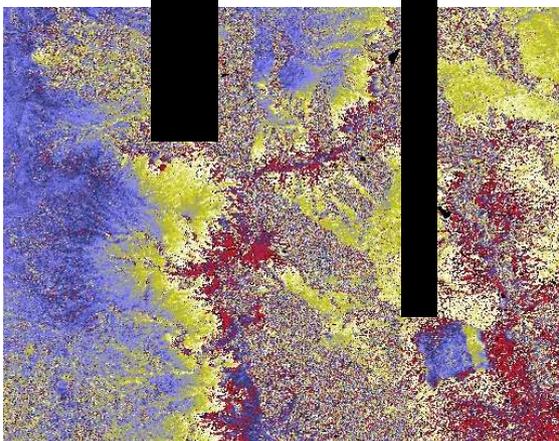


Fig. 2b

ANASCAPA CERRO CONDORANI



Interferograma 33481\_39994

Fig. 3a

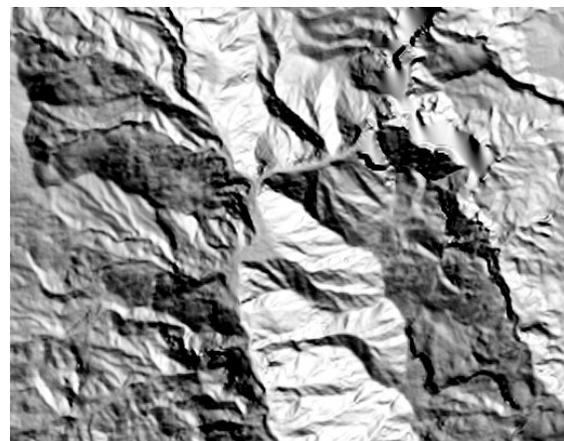


Fig. 3b

### 5.3. VOLCAN TICSANI

El Interferograma calculado con orbitas 33481-39994, de fechas 26/07/2008 y 24/10/2009 cubre también el volcán Ticsani, se presenta una extracción en la figura 4a.

Esta parte del Interferograma presenta una componente orbital (este efecto se produce cuando existen errores en los datos de la trayectoria de satélite que viene con la imagen), como lo evidencian las franjas lineales presentes de sureste hacia el noroeste. Estas franjas orbitales tienen una gran longitud de onda comparada con la de las franjas relacionadas a deformación y por ello es fácil distinguirlas. Aunque las franjas orbitales no han sido completamente removidas, se puede decir que no existe sobre el edificio del volcán Ticsani franjas que puedan estar asociadas a algún cambio en la posición del suelo como producto de un incremento en su actividad volcánica o tectónica.

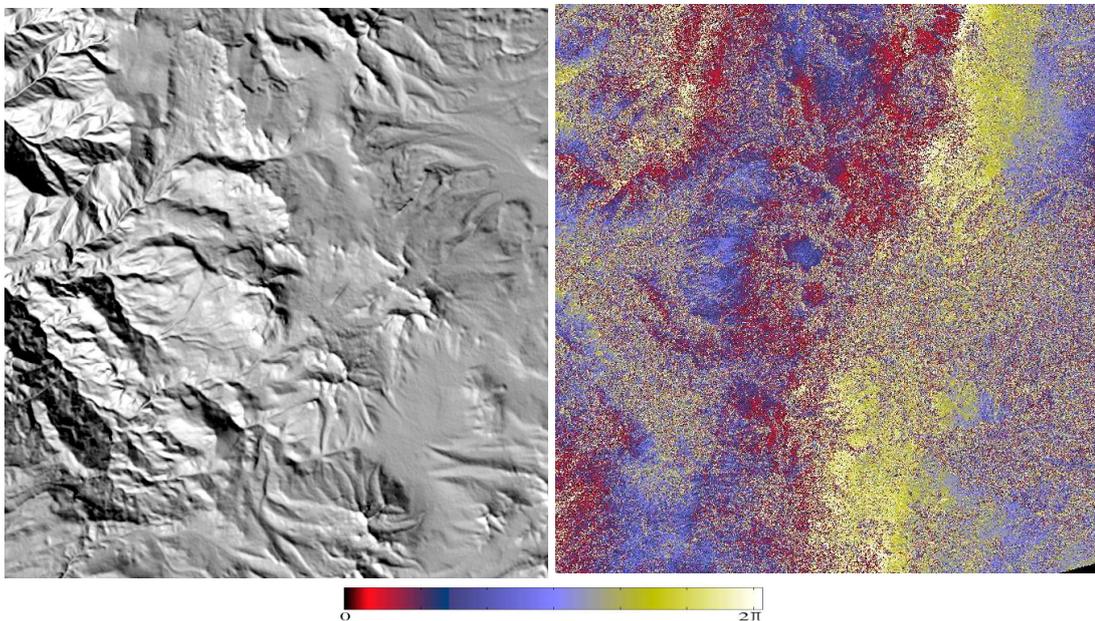


Fig. 4a

Fig. 4b

## 6. CONSIDERACIONES FINALES

- No se ha observado en el interferograma calculado para los volcanes Ubinas y Ticsani, franjas que puedan estar asociadas a un incremento de la actividad de los mismos, para el periodo de observación (Julio 2008 – Octubre 2009).
- En el caso del volcán Misti, la componente atmosférica ha sido un efecto que no ha permitido determinar efectivamente si hay presencia o no de franjas de deformación para el periodo de observación (Abril 2007 – Noviembre 2009), asociadas a un probable incremento de la actividad sísmica como lo señala el Instituto Geofísico del Perú. El seguimiento por medio de la técnica INSAR y de GPS podrá aportar mayores alcances.

- Pequeñas franjas han sido observadas sobre el poblado de Anascapa y en los alrededores del Cerro Condorani, los cuales pueden estar asociados a deslizamientos y/o subsidencia que es necesario verificar en campo.

## 7. PROBLEMAS ENCONTRADOS

- No se cuenta hasta la fecha del presente informe con el software necesario para poder realizar los cálculos y correcciones, como son el DIAPASON para calculo interferométrico y MATLAB para las correcciones orbitales y atmosféricas. El software DIAPASON ha sido obtenido en calidad de préstamo por la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), cuya licencia caduca a fines del mes de Enero de 2010, luego de esta fecha no se podrá llevar a cabo ningún cálculo. Respecto a las correcciones de los interferogramas llevados a cabo con MATLAB, se han llevado a cabo con la licencia de la Dra. Svetlana Byrdina con quien se trabajó en el mes de Noviembre.

## 8. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo mediciones GPS sobre el flanco Oeste del volcán Misti que permitan complementar el monitoreo de deformación con INSAR.
- Realizar medidas GPS en los poblados de Anascapa y visitar la zona del Cerro Condorani para corroborar los resultados obtenidos con INSAR.
- Se recomienda mejorar el método para remover la componente atmosférica de los interferogramas.

---

Katherine Kelly Gonzales Zúñiga  
Laboratorio de Teledetección