



Miércoles 02 de Marzo de 2011, 13:05 UTC. : Volcán despejado, se observa una mínima emisión de vapor de agua azul saliendo del cráter y las fumarolas del borde N y NE del cráter (foto: B. Bernard, OVT-IRD-IGEPN)

Resumen Mensual

Actividad del Volcán Tungurahua, Marzo 2011

1. Síntesis general de la actividad
2. Sismicidad
 - 2.1 Localizaciones
 - 2.2 Índice sísmico
3. Deformación
4. Geoquímica
5. Observaciones Visuales en el Terreno y Lahares
6. Conclusiones

1. Síntesis General de la Actividad

Durante el mes de Marzo, la sismicidad se mantuvo en niveles similares a los registrados en el mes de Febrero, y que fue registrada por las redes de vigilancia. La sismicidad total resultó en 36 eventos sísmicos, principalmente LP y VTs; aunque se nota que el número de VTs, es relativamente similar al número de VTs del mes de Febrero. De esta manera, el volcán se encuentra en un episodio de menor actividad, superficial, aunque como en otras ocasiones los sismos VT han jugado un rol importante en periodos de tiempo previos a un episodio de mayor actividad eruptiva. El IAS paso del Nivel 5 a finales de Diciembre 2010 al Nivel 2 a finales de Marzo 2011. El flujo diario de SO₂ tuvo en promedio un valor de 363 t/d con una desviación estándar de 198 t/d., y el valor estimado de emisión de SO₂ en la atmósfera alcanza un valor de 11258 t de SO₂, valor un poco mayor al registrado en el mes de Febrero, 7251 toneladas.

Por otra parte, la red de inclinómetros indica una tendencia inflacionaria en todas las estaciones. La estación de RETU registró un proceso inflacionario en los dos ejes, comportamiento que ha venido ocurriendo desde finales de Enero de 2011. La estación de PONDOA indica una tendencia inflacionaria muy ligera en los dos ejes, mientras que la

estación BILBAO registró un patrón deflacionario hasta el 20 de Marzo, y un patrón inflacionario a partir de esta fecha. Las tendencias inflacionarias de RETU, PONDOA y BILBAO así como la ocurrencia de sismos VT indicarían un reajuste de las presiones internas de la cámara, que posiblemente esté asociada a una intrusión poco profunda, con un posible dique localizado en la parte superior del edificio volcánico en las cercanías de la estación RETU.

Finalmente, las condiciones climáticas favorecieron tener avistamientos completos del volcán, aunque en muy pocas ocasiones ocurrieron lluvias que generaron crecidas de agua y lahares principalmente en el sector occidental del Tungurahua.

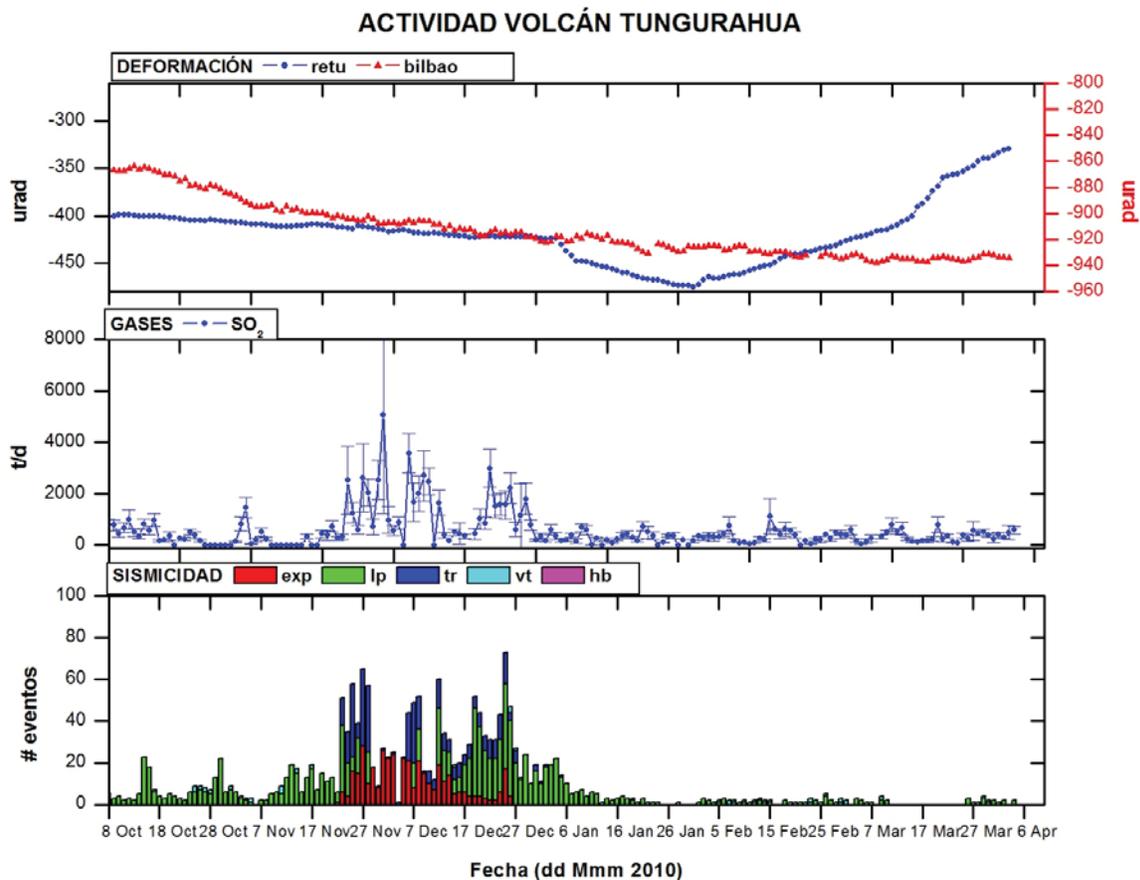


Figura 1. Resumen de la actividad del Volcán Tungurahua desde mediados de Octubre de 2010 a inicios de Abril de 2011, basado en datos de sismicidad, gas-SO₂ y deformación. En general durante este mes se nota un incremento importante en los valores de sismicidad durante el mes y una tendencia deflacionaria con varios pulsos de inflación en los valores de inclinómetro de RETU así como un incremento en los alores del gas SO₂ comparado con el mes anterior.

2. Sismicidad

El monitoreo sísmico del volcán Tungurahua se realizó utilizando la red de estaciones telemétricas de periodo corto, la red de estaciones de banda-ancha de la Cooperación JICA-Instituto Geofísico y la estación de periodo medio de la cooperación Alemana. En general, durante este mes el volcán presentó señales sísmicas propias de volcanes activos, tales como sismos de largo periodo (LP) y sismos volcano-tectónicos (VT), con componente de fractura, explosiones y señales de tembor asociadas a emisiones. Durante el mes de Marzo, la sismicidad se mantuvo en niveles similares a los registrados en el mes de Febrero, y que



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

fue registrado por las redes de vigilancia. La sismicidad total resultó en 36 eventos sísmicos y un promedio de 1.16 eventos por día. El número total semanal varió entre 2 a 21 eventos, principalmente LP y Vts, en este sentido el número de VTs, 15 registrados es relativamente similar al número de Vts del mes de Febrero. De esta manera, el volcán se encuentra en un episodio de menor actividad, superficial, aunque como en otras ocasiones los sismos VT han jugado un rol importante en periodos de tiempo previos a un episodio de mayor actividad eruptiva. La sismicidad se resume en la Tabla 1.

Período	Sismicidad total	LP	VT	HB (Híbridos)	Emisiones	Explosiones
01-07 Mar.2011	9	2	7	0	0	0
08-14 Mar.2011	4	2	2	0	0	0
15-21 Mar.2011	2	1	1	0	0	0
22-31 Mar. 2011	21	16	5	0	0	0
Total Mar./2011	36	21	15	0	0	0
Total Feb./2011	29	9	20	0	0	0
Total Ene./2011	152	145	7	0	4	0
Total Dic./2010	592	576	16	0	373	543
Total Nov./2010	306	294	12	0	188	361
Total Oct./2010	212	196	16	0	0	0
Total Sept./2010	166	154	12	0	2	0
Total Ago./2010	188	183	5	0	1	2
Total Julio/2010	1000	975	25	0	272	89
Total Junio/2010	970	966	4	0	599	2
Total Mayo/2010	537	523	14	0	105	2
Total Abr./2010	144	133	11	0	0	2
Total Mar./2010	222	213	9	0	26	5
Promedio Diario Mar./2011	1.16	0.68	0.48	0	0	0
Promedio Diario Feb./2011	1.03	0.32	0.71	0	0	0
Promedio Diario Ene./2011	4.9	4.68	0.23	0	0.13	0
Promedio Diario Dic./2010	19.1	18.58	0.52	0	12.03	17.52
Promedio Diario Nov./2010	10.2	9.8	0.4	0	6.3	12.03
Promedio Diario Oct./2010	6.84	6.32	0.52	0	0	0
Promedio Diario Sept./2010	5.53	5.13	0.4	0	0.07	0
Promedio Diario Ago./2010	6.06	5.90	0.16	0	0.03	0.06
Promedio Diario Julio./2010	32.23	31.45	0.87	0	8.77	2.87
Promedio Diario Junio./2010	32.33	32.2	0.13	0	19.97	0.07
Promedio Diario Mayo./2010	17.32	16.87	0.45	0	3.39	0.07
Promedio Diario Abri./2010	4.80	4.43	0.37	0	0	0.07
Promedio Diario Mar./2010	7.16	6.87	0.29	0	0.84	0.16

Tabla 1. Resumen de las estadísticas de actividad sísmica semanal del mes de Marzo de 2010 y la registrada en los últimos doce meses.

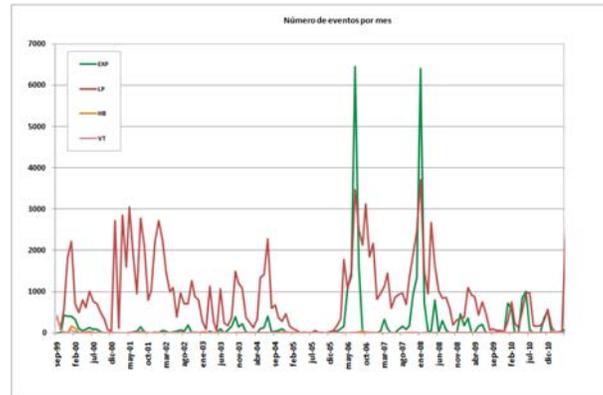


Figura 2. Número de sismos mensuales registrados en el Volcán Tungurahua desde Septiembre de 1999 hasta Marzo de 2011.

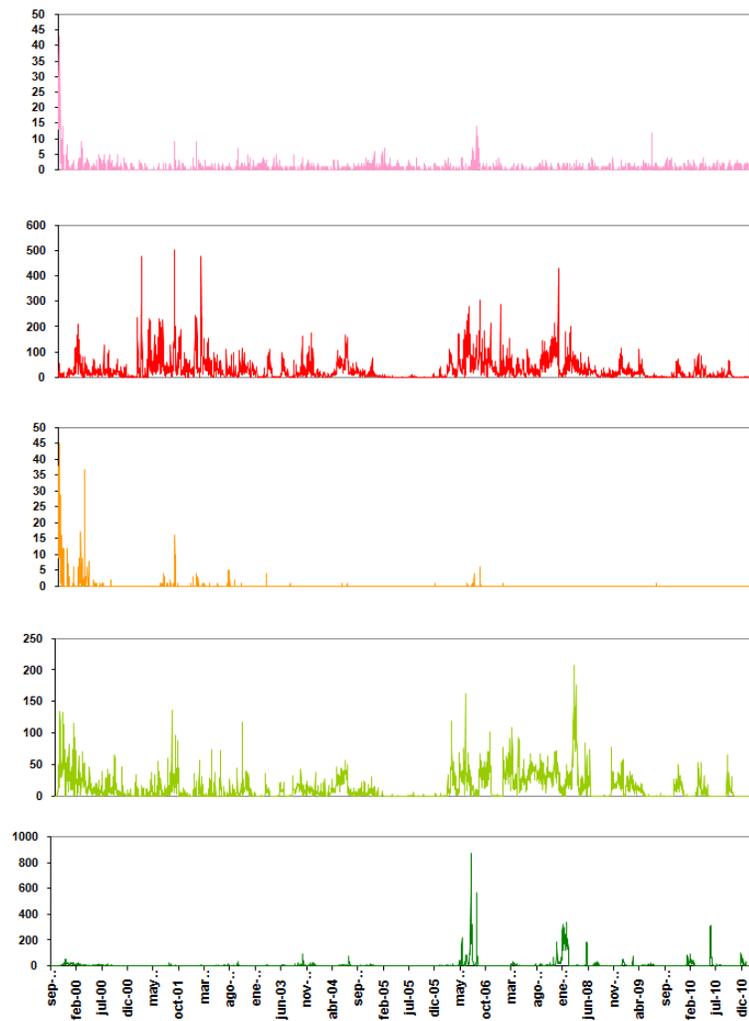


Figura 3. Número diario eventos volcano-tectónicos (VT), largo período (LP), híbridos (HB), emisiones y explosiones en el Volcán Tungurahua desde Septiembre de 1999 hasta Marzo de 2011 (en el orden indicado).

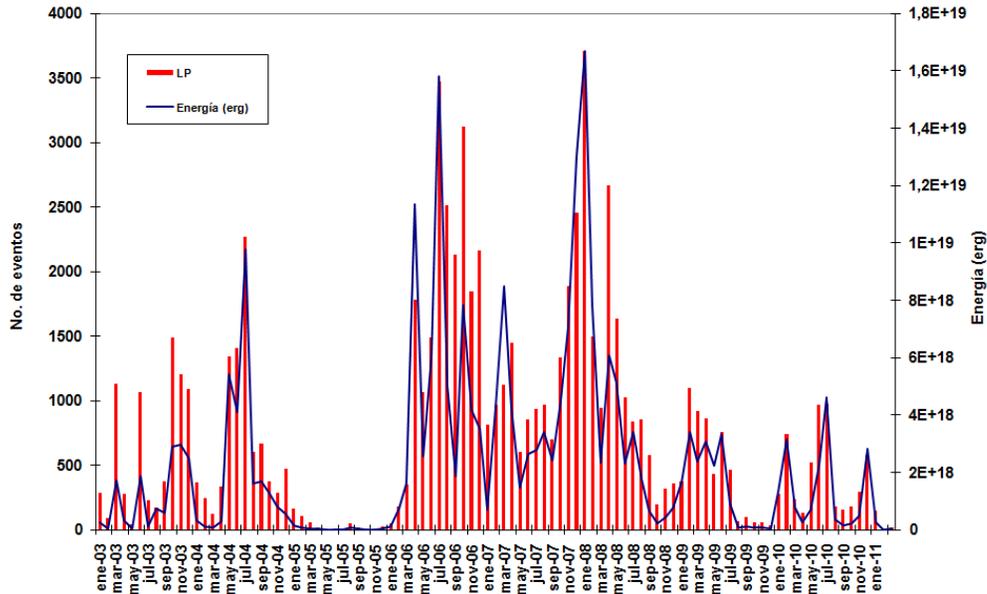


Figura 4. Número mensual de eventos de largo período y su energía asociada en el Volcán Tungurahua desde Enero 2003 hasta Marzo de 2011.

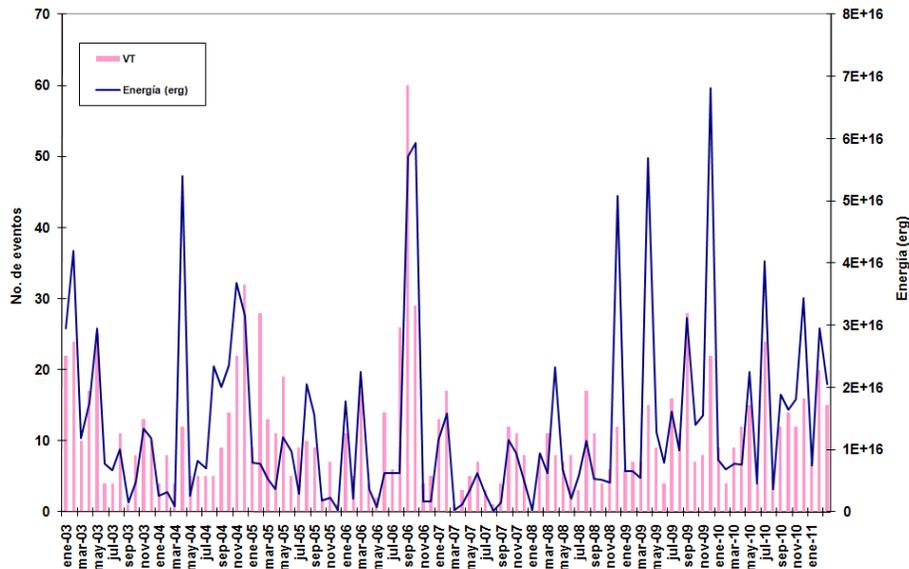


Figura 5. Número mensual de eventos volcano-tectónicos y su energía asociada en el Volcán Tungurahua desde Enero 2003 hasta Marzo de 2011.

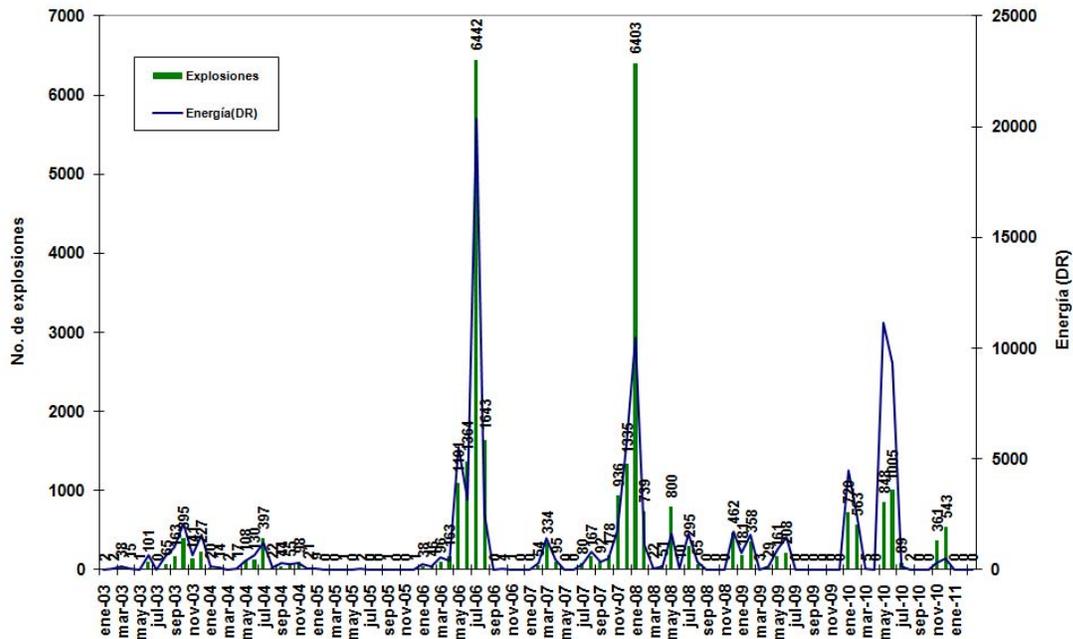


Figura 6. Número mensual de explosiones y su energía asociada (DR–desplazamiento reducido-) en el Volcán Tungurahua desde Enero 2003 hasta Marzo de 2011.

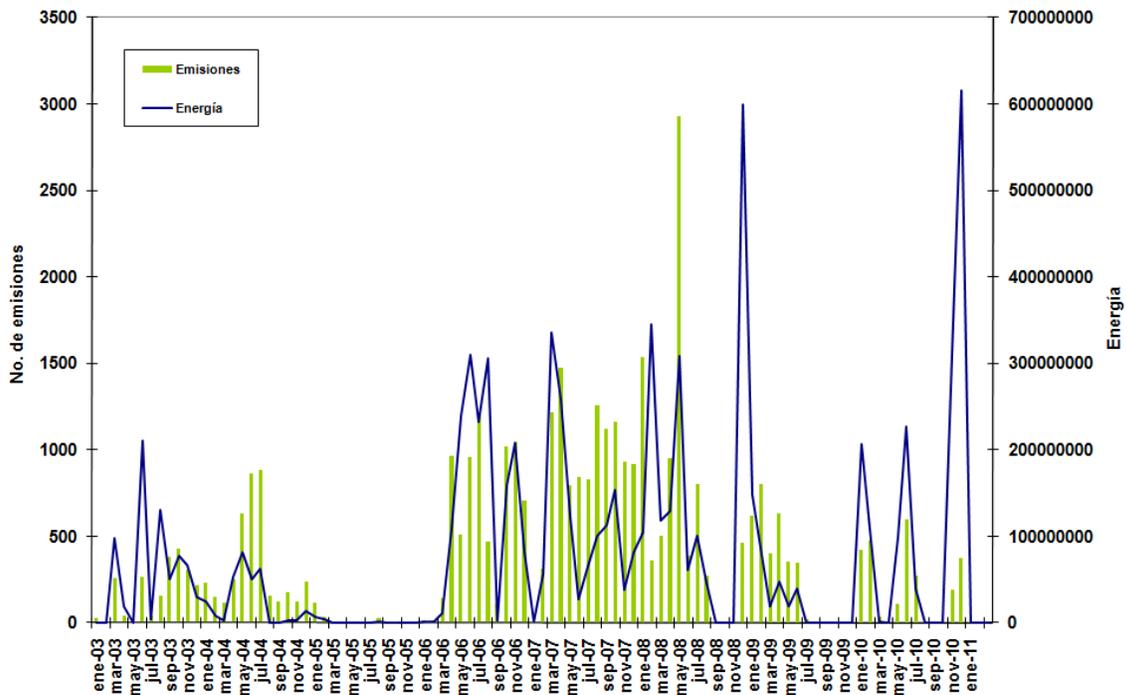


Figura 7. Número mensual de emisiones y su energía asociada (función de la intensidad del movimiento basada en la amplitud y duración) en el Volcán Tungurahua desde Enero 2003 hasta Marzo de 2011.

2.1 Localizaciones

Durante el mes de Marzo de 2011, se localizaron 9 VT's de las 15 señales registradas, mientras que para los sismos LP, no fue posible realizar la localización hipocentral. Se observa una mayor concentración de eventos hacia el norte del volcán, y las profundidades variaron entre 3 a 15 km bajo la cumbre del volcán (Fig. 8).

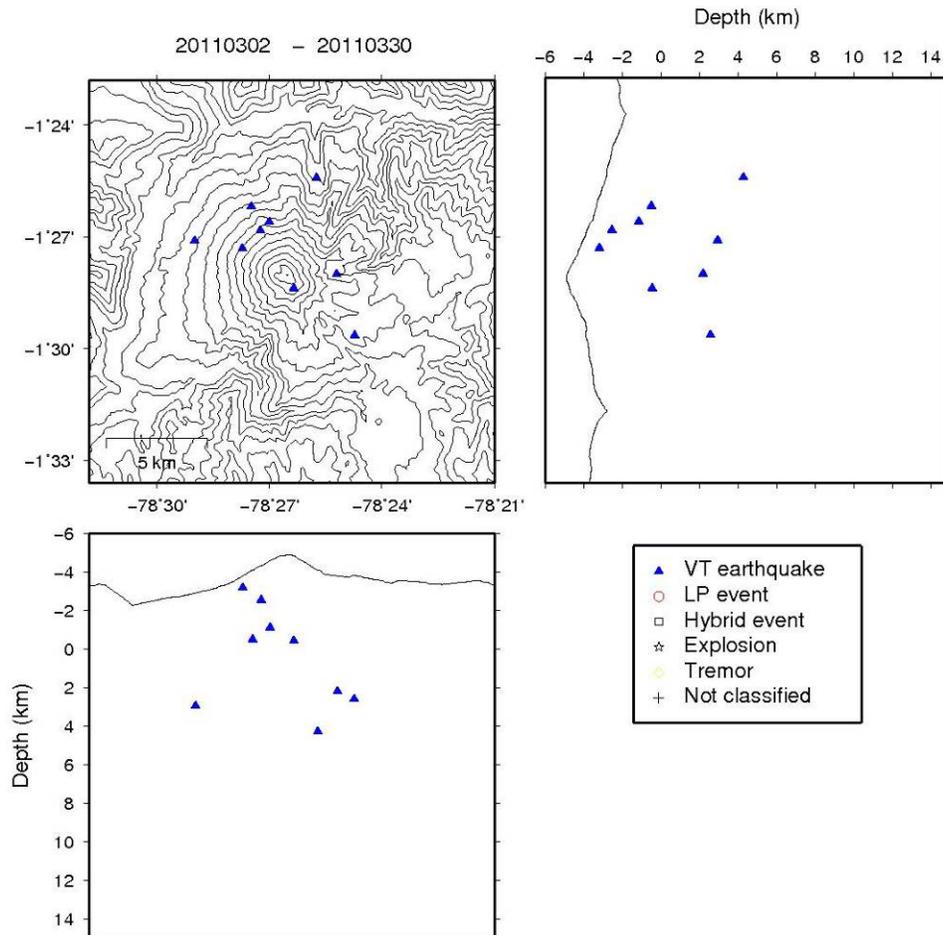


Figura 8. Localizaciones de eventos sísmicos durante el mes de Marzo, 2011.

Actividad sísmica del Tungurahua Marzo 01-30 2011

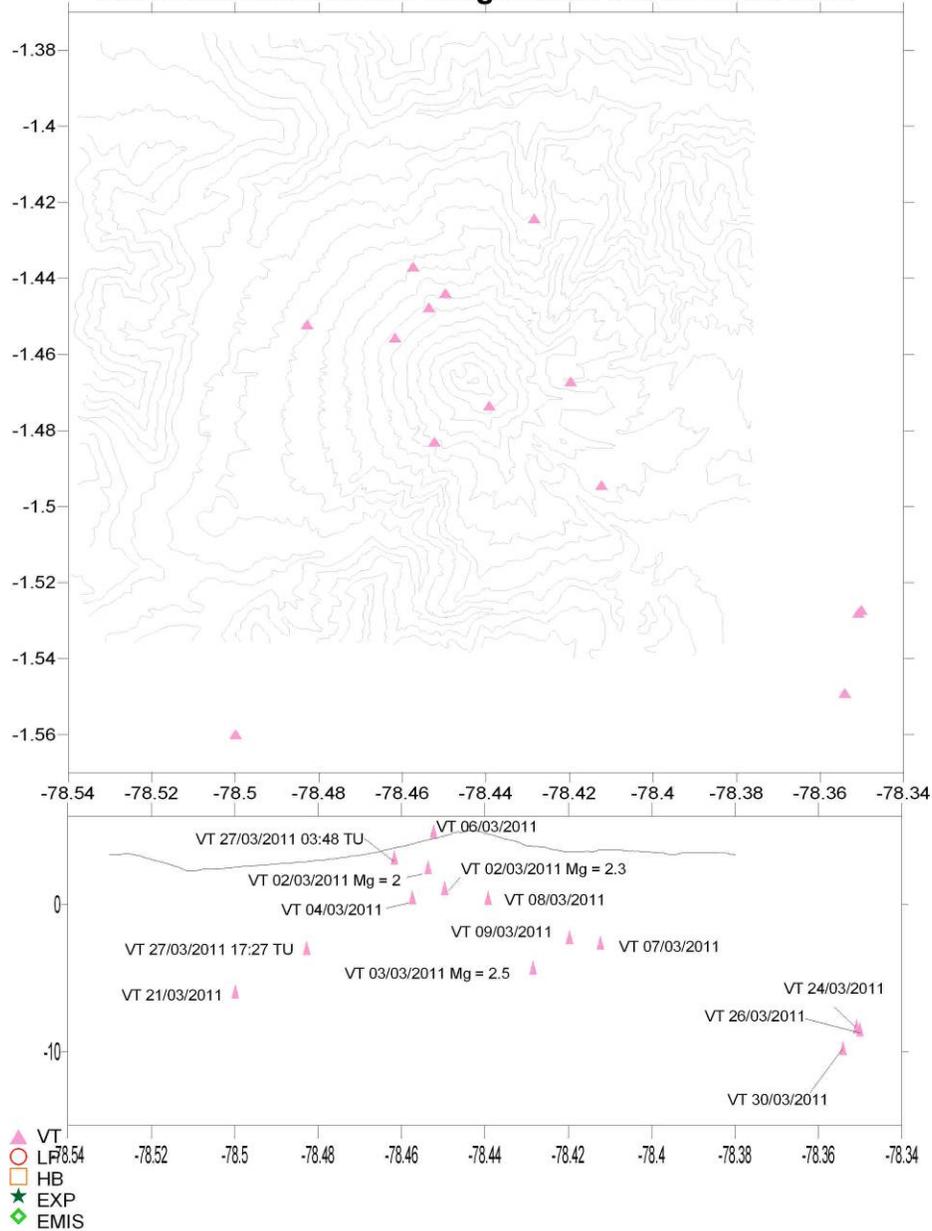


Figura 9. Localizaciones de eventos sísmicos durante el mes de Marzo, 2011, con 3D.

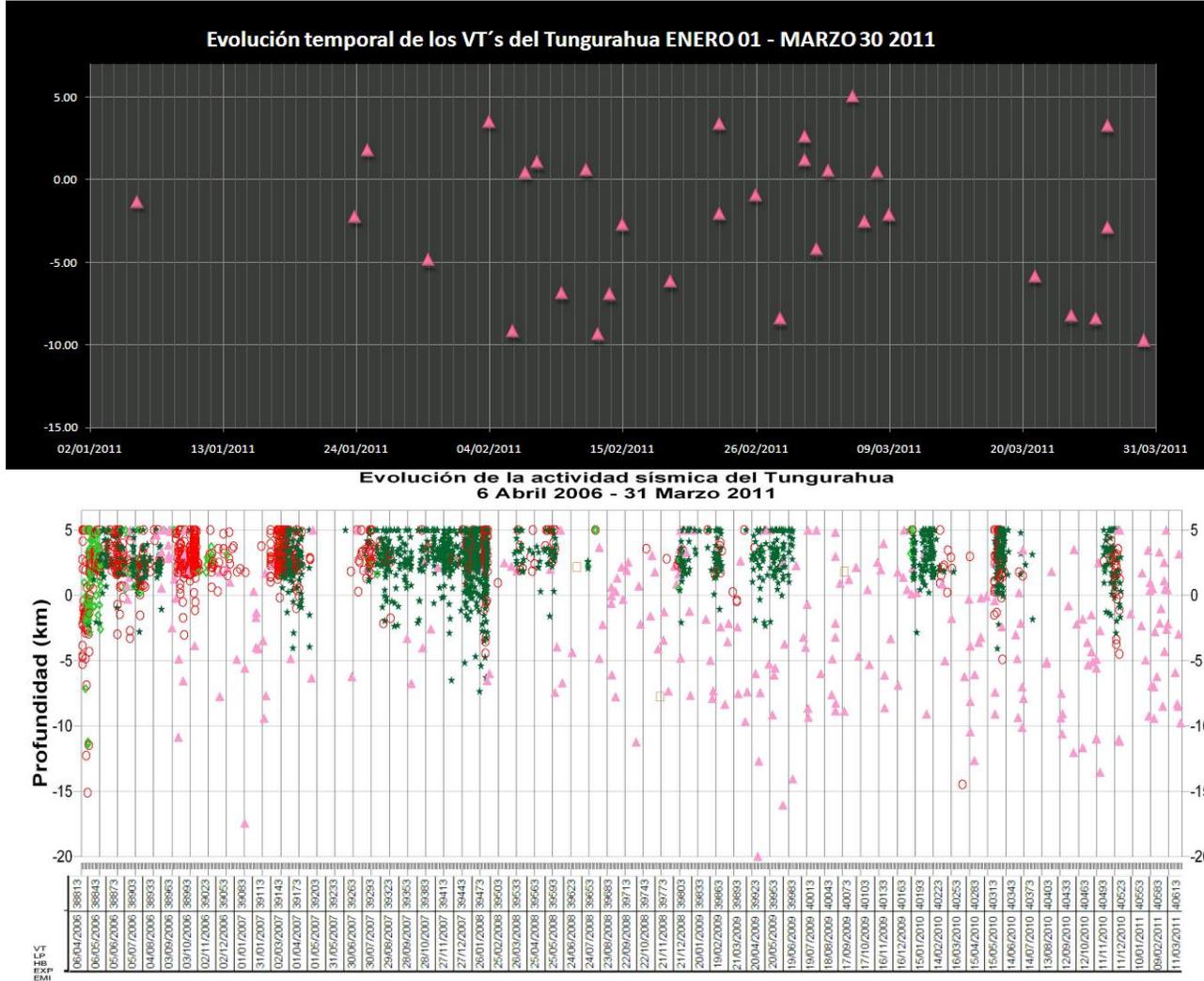


Figura 10. Evolución espacio-temporal de la sismicidad del V. Tungurahua.

Índice de Actividad Sísmica (IAS)

El Índice de Actividad Sísmica (IAS) es un parámetro de medida a dimensional que resume en un solo valor tanto la energía como el número de eventos de todas las señales sísmicas: explosiones, temblor, eventos de largo período, eventos híbridos y eventos volcánico-tectónicos. Los diferentes niveles de IAS reflejan un cambio significativo en el estado físico del volcán y a ellos se relaciona una descripción cualitativa de la actividad sísmica que va desde Muy Baja a Muy Alta como se muestra en la Figura 11a.

A finales del mes anterior se observó una tendencia ascendente y en la primera mitad del mes de Marzo, el volcán Tungurahua alcanzó el Nivel 2 del IAS, correspondiendo a un nivel de actividad Muy baja. Sin embargo a partir de la segunda mitad de del mes se observa un incremento del IAS, con tendencia ascendente a finales del mes. (Fig. 11b).

IAS - Nivel de Actividad Sísmica

>= 8	Muy Alta	
7	Alta	
6	Moderada - Alta	
5	Moderada	
4	Moderada Baja	
3	Baja	
2	Muy Baja	
1	Muy Baja	

Figura 11a. Niveles del IAS y descriptores cualitativos del nivel de actividad. La línea y flecha roja indica el nivel (2) y tendencia (ascendente) hasta finales de Marzo de 2011.

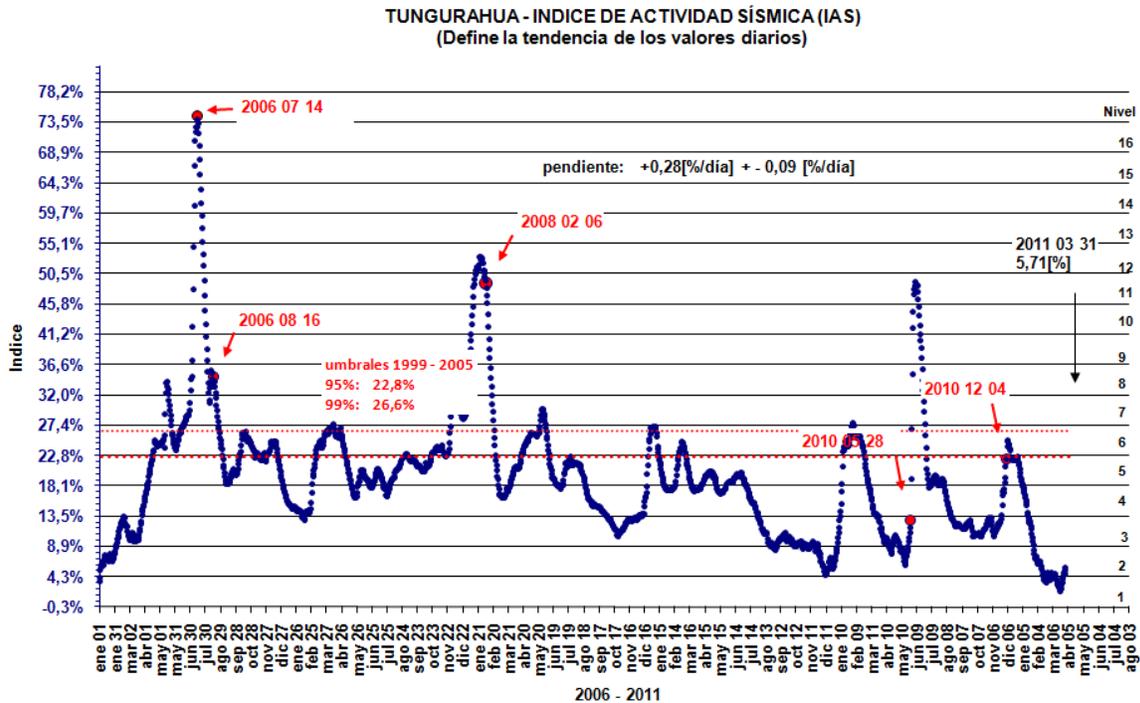


Figura 11b. IAS desde Enero 2006 hasta finales de Marzo de 2011.

3. Deformación

En el mes de Marzo de 2011, la red de inclinómetros indica una tendencia inflacionaria en todas las estaciones. La estación de RETU registró un proceso inflacionario en los dos ejes, 4.1 urad/día en el eje radial y 0.4 urad/día en el eje tangencial, de la misma manera que ha venido ocurriendo desde finales de Enero de 2011. La estación de PONDOA indica una tendencia inflacionaria de 0.4 urad/día y 0.2 urad/día en los ejes radiales y tangenciales respectivamente. Por otra parte, el inclinómetro de Bilbao registró un patrón deflacionario hasta el 20 de Marzo, a una razón de -0.1 urad/día en el eje radial, que luego cambió a una tendencia inflacionaria a razón de 0.23 urad/día en el eje radial (Fig. 12 a, b, c). Las tendencias inflacionarias de RETU, PONDOA y BILBAO indicarían un reajuste de las presiones internas de la cámara, que posiblemente esté asociada a una intrusión poco profunda, con un posible dique localizado en la parte superior del edificio volcánico en las cercanías de la estación RETU.

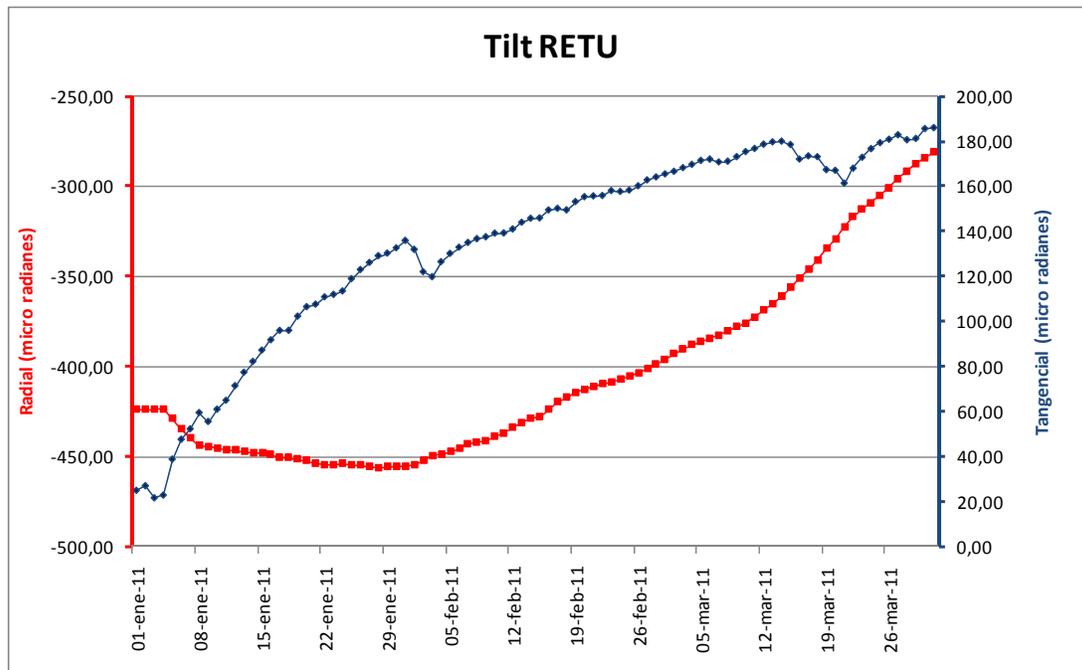


Figura 12a, Plot de datos del inclinómetro de RETU

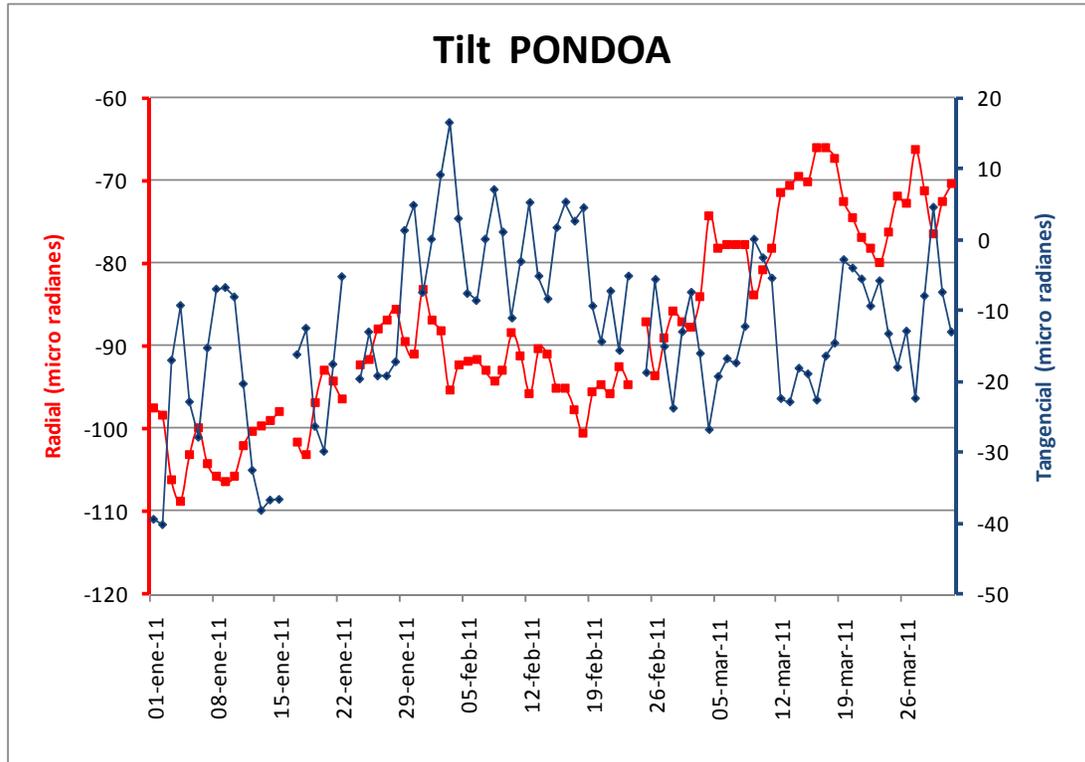


Figura 12b, Plot de datos estación Pondoá.

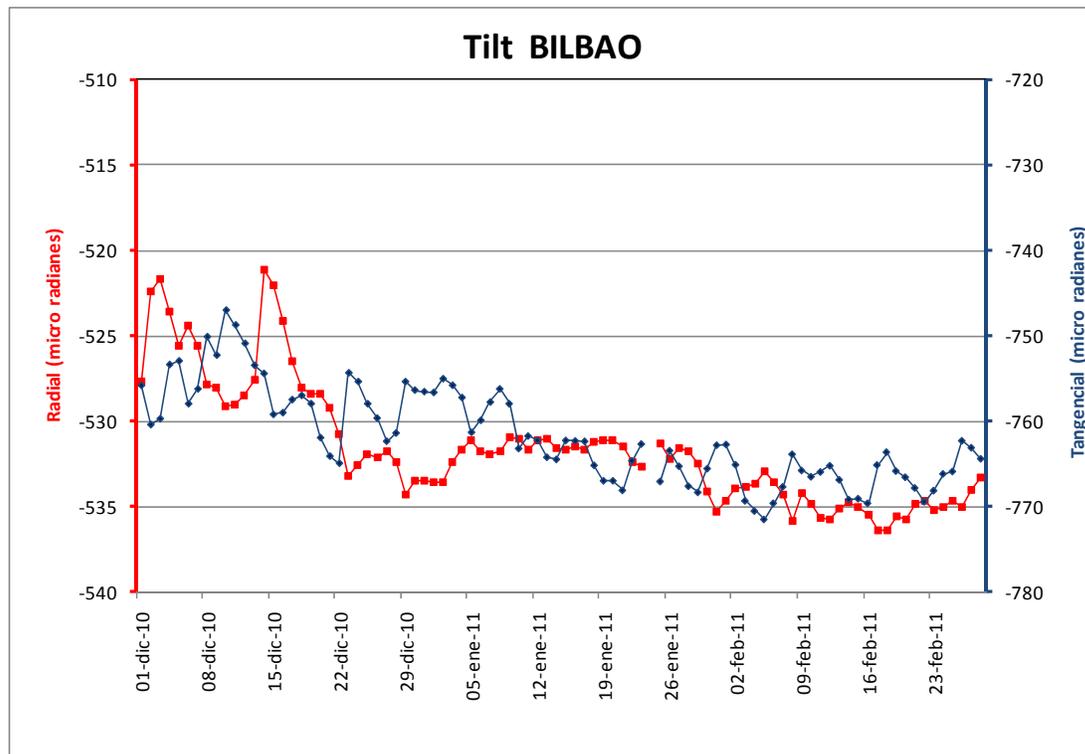


Figura 12c, Plot de datos estación Bilbao.



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

4. Geoquímica

Emisiones

La medición del flujo de SO_2 es un componente fundamental de la evaluación de la actividad eruptiva de los volcanes, pues da indicios directos de la presencia, volumen y tasa de ascenso del magma.

El IG-EPN cuenta con un espectrómetro de correlación (COSPEC) desde 1988, con el cual es posible medir las emisiones de SO_2 volcánico cuantificando la absorción de radiación UV solar dispersada por la atmósfera debida a las moléculas del gas. Adicionalmente, opera desde el año 2004 un sistema de dos estaciones autónomas de medición remota de flujos de SO_2 , basadas en la técnica Espectroscopia Óptica de Absorción Diferencial (DOAS) y un instrumento portátil (mini-DOAS) para el mismo fin. Las medidas se realizan en las horas de iluminación solar y su calidad está sujeta a las condiciones meteorológicas. En el mismo sentido, desde Marzo de 2007 se cuenta con una red de estaciones del proyecto NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change), financiado por la Unión Europea, que utiliza instrumentos DOAS de última generación.

Durante Marzo de 2011 el flujo de SO_2 del volcán Tungurahua fue relativamente constante. La primera semana se obtuvieron valores entre 68 y 593 toneladas diarias, la segunda semana entre 58 y 320 ton/día, la tercera semana entre 115 y 463 ton/día, la cuarta semana se obtuvieron valores que fluctuaron entre 92 y 433 ton/día, aunque en los últimos cuatro días del mes se registró volúmenes emanados de SO_2 entre 278 a 629 toneladas diarias. Estos valores de desgasificación son similares a los obtenidos durante Enero y Febrero de 2011, es decir se mantuvo un comportamiento estable y más o menos constante los primeros tres meses del año 2011 (ver Fig. 13-a y Fig. 13-b).

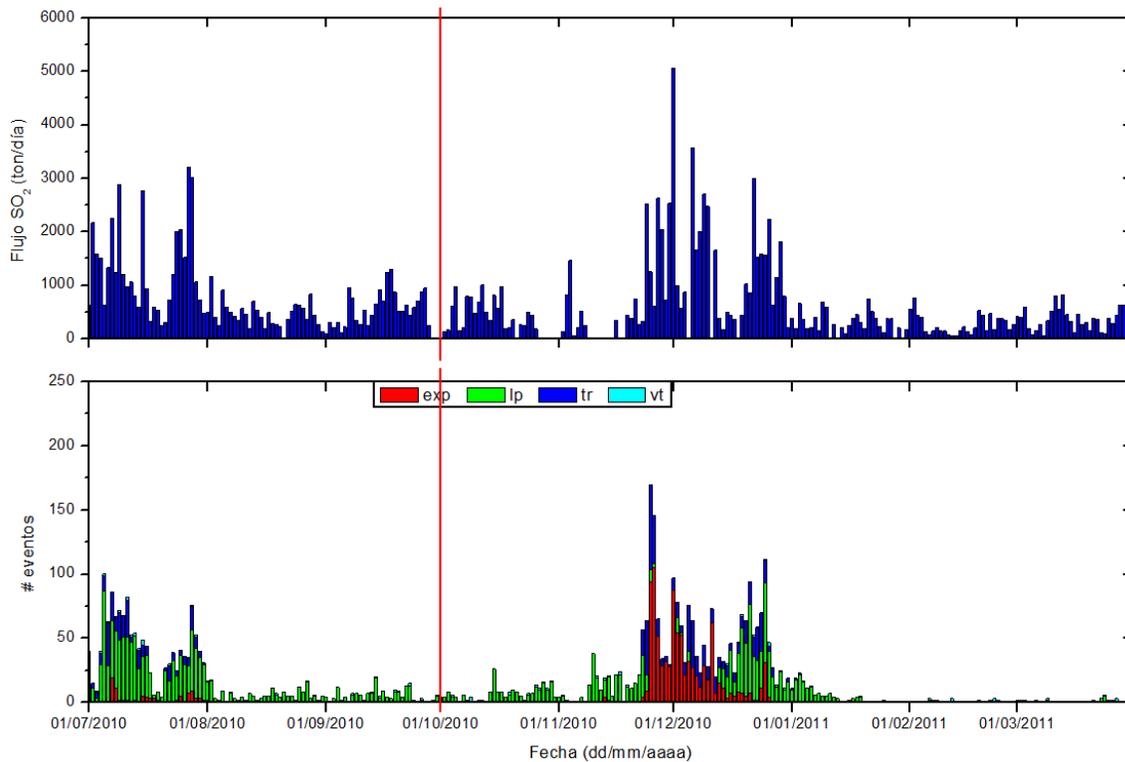


Figura 13-a. (Arriba) Flujo diario de SO₂ desde julio de 2010 hasta el final de Marzo de 2011. (Abajo) Número de eventos sísmicos para el mismo periodo. Este gráfico permite ver la evolución de estos dos parámetros, y establecer posibles correlaciones entre ellos.

El flujo diario de SO₂ tuvo en promedio un valor de 363 t/d con una desviación estándar de 198 t/d. El valor máximo medido fue de 820 t/d para el 13 de Marzo, y el valor estimado de emisión de SO₂ en la atmósfera alcanza un valor de 11258 t de SO₂ (por 7251 toneladas en Febrero de 2011).

Las imágenes satelitales OMI para el mes de Marzo de 2011 muestran una leve desgasificación a partir del día 20 hasta el día 22, aunque dicha desgasificación no es clara ni de volumen significativo (ver Fig. 13-d). Los valores registrados por la instrumentación para estos días están considerados como usuales. También se puede observar un volumen emitido de gas, según las imágenes satelitales, el día 30 de Marzo, aunque la red DOAS indica un flujo considerado como usual (ver Fig. 13-c).

Durante el mes las condiciones climáticas en la zona fueron variables, sin embargo la segunda semana de Marzo se presentó mayoritariamente favorable para realizar observaciones visuales, además en esta misma semana se tuvo los mayores valores de SO₂ registrados. Hay que recalcar que de éstas condiciones climáticas depende la confiabilidad de las imágenes satelitales obtenidas.

EMISIÓN DE SO₂ -Volcán Tungurahua-

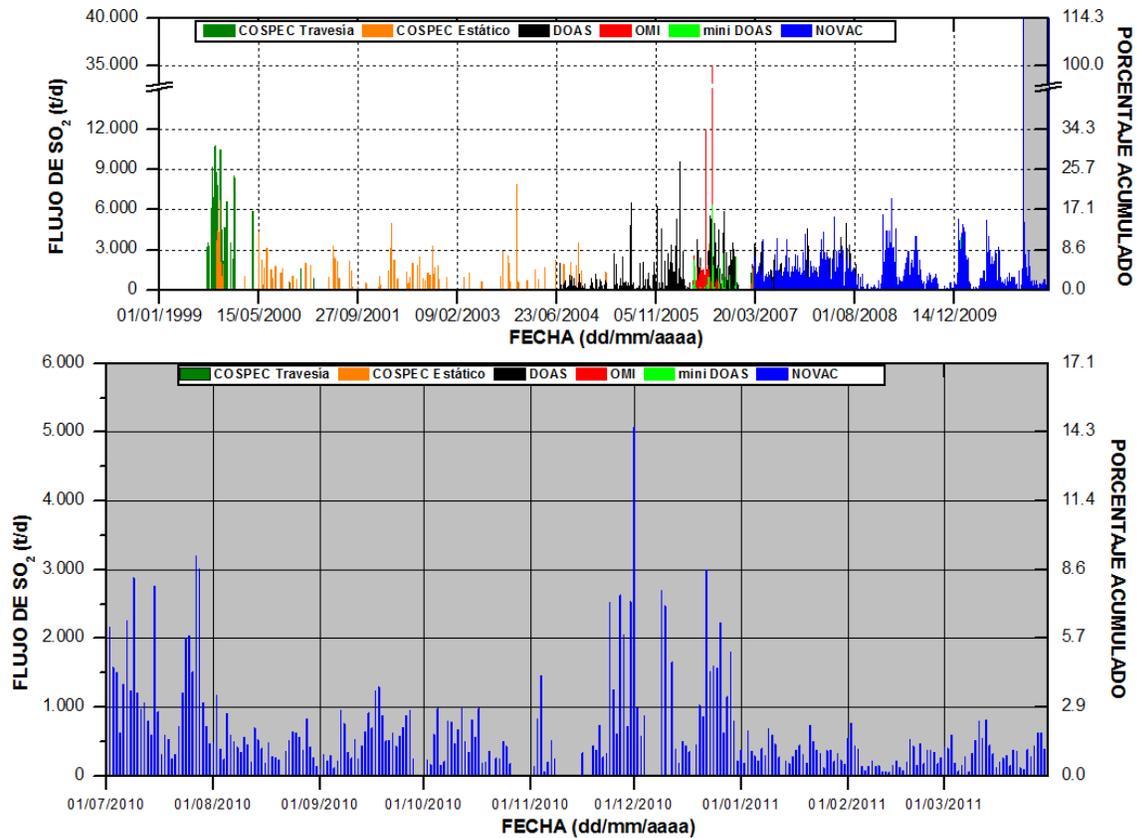


Figura 13-b. Flujo diario de SO₂ emitido por el volcán Tungurahua desde agosto de 1999 hasta Marzo de 2011. La zona sombreada del gráfico superior corresponde al zoom del registro de emisiones de SO₂ hasta el mes de Marzo de 2011, en el gráfico inferior. Las técnicas DOAS, mini DOAS y NOVAC son operadas permanentemente o en campañas de campo por el IG-EPN. La técnica OMI es un sensor satelital operado por JCET/UMBC/NASA.

Estadísticas mensuales:

Valor medio: 363 t/d
 Variabilidad (1σ): 198 t/d
 Valor máximo: 820 t/d (13 de Marzo)
 Emisión estimada: 11258 toneladas de SO₂

EMISIÓN DE SO₂ - VOLCÁN TUNGURAHUA -

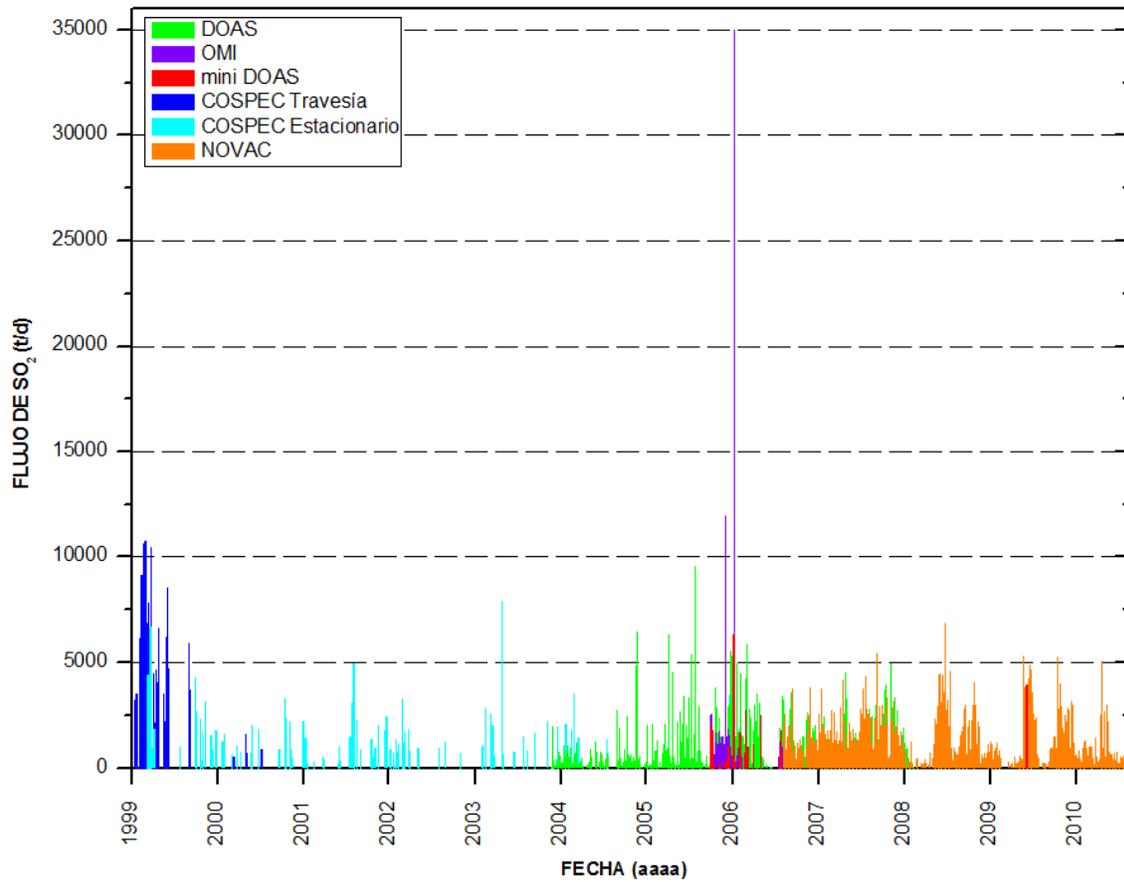


Figura 13-c. Flujo diario de SO₂ emitido por el volcán Tungurahua desde agosto de 1999 hasta fines de Marzo de 2011.

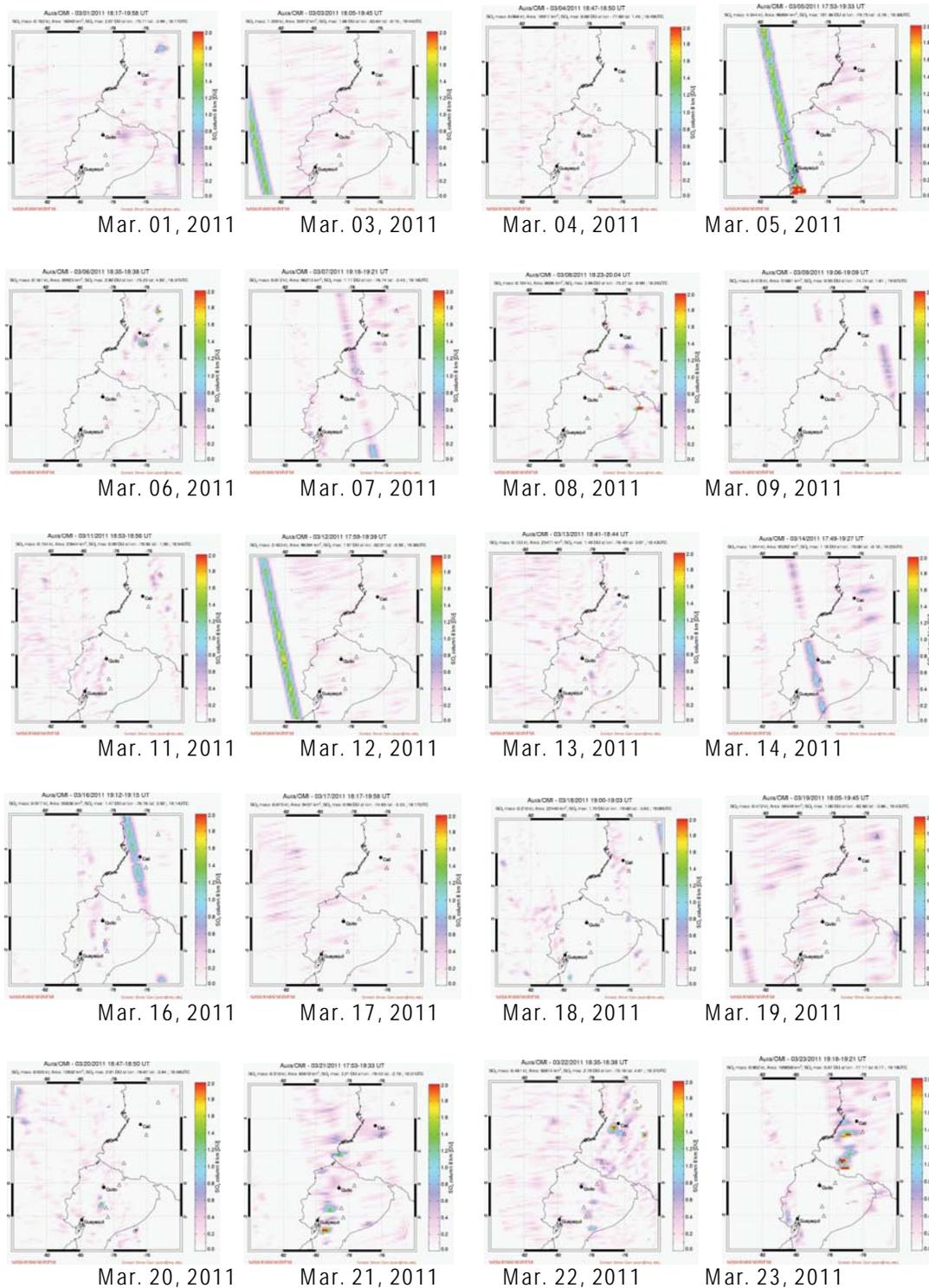


Figura 13-d. Imágenes generadas en base a observaciones satelitales con el instrumento OMI (NASA/JCET/UMBC) correspondientes al mes de Marzo de 2011. (Fuente: http://so2.umbc.edu/omi/pix/daily/0311/ecuador_0311.html)

5. Observaciones Visuales en el Terreno y Lahares

Observaciones Visuales en el mes de Marzo-2011

1.- Situación Climática

Durante el mes de Marzo la situación climática en la zona del volcán Tungurahua fue mayormente favorable. En hecho, las mañanas el volcán amanecía completamente despejado (Fig. 14). Por lo contrario, durante las primeras horas de la tarde este se nublabá. Por otra parte, las lluvias de ligera a moderada intensidad ocurridas en la tercera semana del mes, tuvieron una prolongada duración y generaron crecidas ligeras de agua lodosa por las quebradas del volcán y el descenso de un lahar por la quebrada Achupashal respectivamente, en este último interrumpiendo momentáneamente la vía Baños-Penipe. Posterior a las horas de pluviosidad, el volcán se mostraba con una capa de nieve, que alcanzó hasta la cota de los 4500 msnm (Fig. 15).



Fig. 14: Volcán despejado, se observa una mínima emisión de vapor de agua azul saliendo del cráter (Foto: B. Bernard, IRD-IG).



Fig. 15: Volcán despejado, se observa una capa de nieve que cubre la parte superior del cono hasta la cota de 4500 m. penacho de vapor de 100 msnc con dirección de dispersión al W. Nótese el flujo de lava que descendió posterior al evento eruptivo del 04 de diciembre de 2010 (Foto: J. Bustillos, IG-EPN).

2.- Situación Superficial y Geomorfológica

La actividad superficial del volcán Tungurahua durante el mes de Marzo se presentó en niveles bajos, similares a los ya registrados en los dos meses precedentes. La actividad superficial se caracterizó por presentar emisiones poco energéticas de vapor de agua. La altura de las emisiones oscilaron entre 100 y 300 metros sobre el nivel de la cumbre y fueron dispersadas hacia el E, SE, NE, W y SSW (Fig. 16).

Además de los ligeros penachos de vapor, se observó una importante actividad fumarólica a lo largo del borde exterior norte (Fig. 17); aunque en ocasiones el volcán mostraba una actividad superficial nula.

Dadas las buenas condiciones climáticas en la zona del Tungurahua, el día viernes 18 de Marzo se realizó un vuelo sobre el volcán. Durante el sobrevuelo se confirmó la presencia del pequeño cono de escoria, en donde el borde W del cráter coincide con el borde del cráter externo del cono, del cual se emite emisiones de vapor de agua poco energéticas (Fig. 18). La temperatura máxima aparente del cráter del cono se registró en 121° C (Fig. 18).



Fig. 16: Volcán despejado, se observa un ligero penacho de vapor de agua que se eleva unos 200 msnm y tiende a dirigirse hacia el W (Foto: J. Ordoñez, IG-EPN).



Fig. 17: Volcán despejado, se observa una emisión de vapor de agua que alcanza 100 m snc y las fumarolas del borde N y NE del cráter re-activadas (Foto: B. Bernard, IRD-IG).

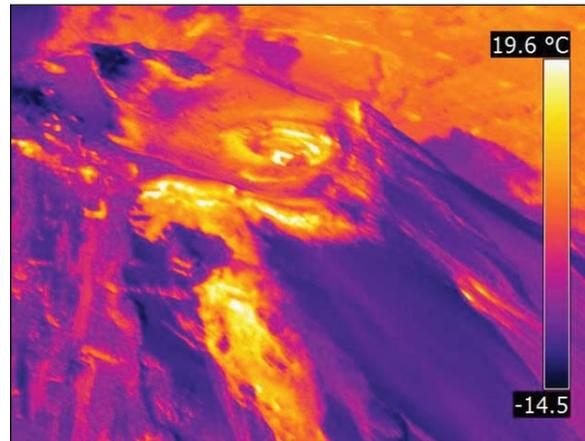


Fig. 18: A la izquierda: vista aérea del cráter del volcán desde el lado nor-oriental. A la derecha: imagen térmica correspondiente (Foto: P. Ramón, IG-EPN).

Lahares del volcán Tungurahua durante Marzo de 2011

Las condiciones del clima durante Marzo favorecieron la observación superficial del volcán. Sin embargo, también ocurrieron algunos días con lluvias de baja y moderada intensidad y que ocasionalmente fueron de larga duración. Estas precipitaciones no fueron suficientemente intensas para generar lahares o flujos de lodo importantes, aunque provocaron flujos de agua lodosa la mayoría de veces. No obstante, el domingo 20, ocurrieron lahares de pequeñas dimensiones que descendieron por la quebrada Achupashal durante la tarde (desde las 16:00, TL) y provocó que la vía entre Baños y Penipe quede

obstaculizada por el material sólido que fue arrastrado por el flujo. El material sólido consistió de bloques rocosos de 40 a 50 cm de tamaño en una matriz lodosa y arenosa. Esta información fue reportada por el vigía de la comunidad Bilbao y comprobada instrumentalmente con las estaciones AFM y sísmica de banda ancha que están instaladas en ese sector.

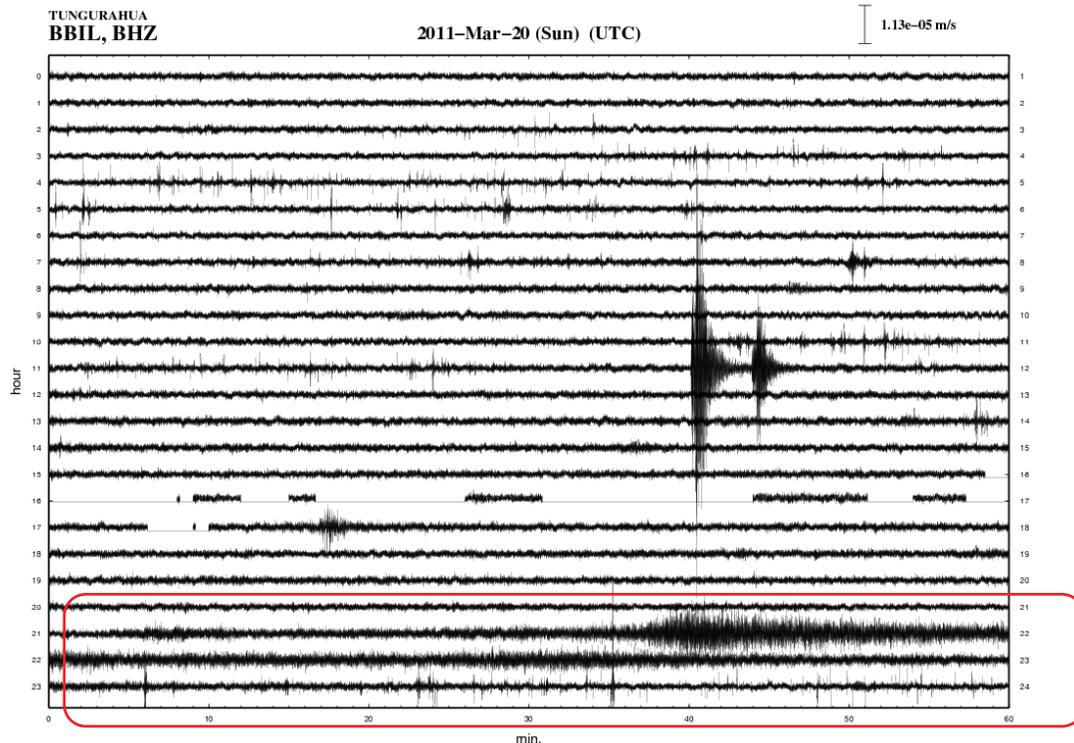


Figura 19: En color rojo se observa la señal sísmica asociada a pequeños lahares que descendieron por la quebrada Achupashal durante la tarde del domingo 20 de Marzo.

6. Conclusiones

La actividad volcánica en el mes de Marzo, se presentó en condiciones similares a las ocurridas en el mes anterior. La sismicidad fue prácticamente igual al mes anterior, aunque se registró una ligera disminución en el número de sismos VT. El flujo diario de SO₂ tuvo en promedio un valor de 363 t/d con una desviación estándar de 198 t/d., y el valor estimado de emisión de SO₂ en la atmósfera alcanza un valor de 11258 t de SO₂, valor un poco mayor al registrado en el mes de Febrero, 7251 toneladas, posiblemente el incremento en el flujo de SO₂ se deba a la desgasificación de un cuerpo de magma intruido durante los últimos dos meses. Por otra parte, la red de inclinómetros indica una tendencia inflacionaria en todas las estaciones. La estación de RETU registró un proceso inflacionario en los dos ejes, comportamiento que ha venido ocurriendo desde finales de Enero de 2011. La estación de PONDOA indica una tendencia inflacionaria muy ligera en los dos ejes, mientras que la estación BILBAO registró un patrón deflacionario hasta el 20 de Marzo, y un patrón inflacionario a partir de esta fecha. Las tendencias inflacionarias de RETU, PONDOA y BILBAO así como la ocurrencia de sismos VT indicarían un reajuste de las presiones internas de la cámara, que posiblemente esté asociada a una intrusión poco profunda, con un posible dique localizado en la parte superior del edificio volcánico en las cercanías de la



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

estación RETU. Las condiciones climáticas favorecieron tener avistamientos completos del volcán, aunque en muy pocas ocasiones ocurrieron lluvias que generaron crecidas de agua y lahares principalmente en el sector occidental del Tungurahua. En este sentido el IGEPN, continuara evaluado la actividad volcánica con el fin de dar avisos oportunos a las autoridades y población cuando la situación lo amerite.

Grupo de sismología

Guillermo Viracucha gviracucha@igeqn.edu.ec
Liliana Troncoso ltroncoso@igeqn.edu.ec
Daniel Pacheco dpacheco@igeqn.edu.ec

Grupo de vulcanología

Gorki Ruiz gruiz@igeqn.edu.ec
Jorge Bustillos jbustillos@igeqn.edu.ec
Jorge Ordóñez jordonez@igeqn.edu.ec
Francisco Herrera fherrera@igeqn.edu.ec

Estos informes son realizados utilizando datos y observaciones de la Base-Quito y la Base-Guadalupe-OVT. La vigilancia tanto en Quito como Guadalupe se realiza en turnos y está a cargo de científicos del Instituto Geofísico además de científicos colaboradores del IRD (Cooperación Francesa), como parte del convenio IG/EPN-IRD. El presente informe ha sido mejorado gracias a las nuevas técnicas aportadas por la Cooperación entre IG/EPN, JICA y NIED (Cooperación Japonesa), el USGS, FUNDACYT, la Embajada Británica y el BGR (Alemania). Además se reconoce la labor de los vigías y voluntarios de Defensa Civil del Cantón Baños, Patate, Pelileo y Penipe. En especial se da agradecimientos a la Familia Chávez por estar el OVT en su Hacienda Guadalupe.

15 de Abril de 2011 – Quito/gr