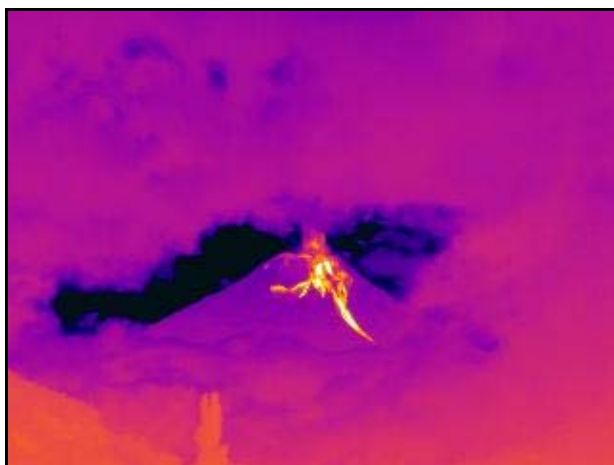




Lunes 25 de Abril de 2011, 05h15 UTC. Imagen térmica registrada a las 05:15

Resumen Mensual

Actividad del Volcán Tungurahua, Abril 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 Abril, la actividad volcánica cambió hacia un episodio de mayor actividad. La sismicidad total resultó en 32 eventos sísmicos, mayormente LP, aunque se observa una disminución en la ocurrencia de sismos VT con respecto al mes anterior. Dado el incremento de actividad, se registró 53 explosiones y 127 señales sísmicas asociadas a emisiones de ceniza. De esta manera, el volcán se encuentra en un episodio de mayor actividad, superficial, aunque como en otras ocasiones los sismos VT han jugado un rol importante en periodos de tiempo antes y durante los episodios de mayor actividad eruptiva. El IAS paso del Nivel 5 a finales de Diciembre 2010 al Nivel 5 a finales de Abril 2011. El flujo diario de SO₂ tuvo en promedio un valor de 1582 t/d. El valor máximo medido fue de 6015 t/d para el 24 de Abril, y el valor estimado de emisión de SO₂ en la atmósfera alcanza un valor de 47462 t de SO₂, cuatro veces mayor que en Marzo, 11258 toneladas. El incremento de la actividad eruptiva generó nubes de ceniza con variables contenidos de ceniza. La altura de las nubes de ceniza fue variable entre 1700 pies (5,1 km) y 40000 pies (12,2 km) sobre el nivel del mar y fueron dispersadas en todas las direcciones. Los días de mayor alcance en las alturas de ceniza fueron el 26, 27 y 29 de Abril, por lo tanto las nubes de ceniza alcanzaron una mayor dispersión y mayor energía. Adicionalmente, las emisiones y explosiones generaron importante caídas de ceniza en todos los alrededores del volcán, y afectaron a la población y

sus actividades económicas, inclusive afectaron las ciudades de Riobamba, Ambato, Latacunga y Puyo.

Por otra parte, en el mes de Abril de 2011, las estaciones de RETU y BILBAO indicaron una tendencia inflacionaria en los ejes radiales, mientras que la estación PONDOA muestra un patrón deflacionario en el eje radial. Se destaca la tendencia inflacionaria en los dos ejes de RETU, resultando una inflación hacia el noreste. La estación de PONDOA, muestra una mayor variabilidad. BILBAO muestra una tendencia inflacionaria en el eje radial. Las tendencias inflacionarias de RETU 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. Las condiciones climáticas fueron poco favorables para tener avistamientos completos del volcán, aunque en muy pocas ocasiones se observó al volcán despejado. Las lluvias ocurridas generaron crecidas de agua y lahares por las quebradas del volcán, principalmente en el sector occidental del Tungurahua y obstruyeron la vía Baños - Penipe.

Posiblemente el nuevo episodio de mayor actividad, iniciado a mediados de Abril, está relacionado estrechamente con los procesos inflacionarios y los sismos VT registrados desde finales de Enero de 2011.

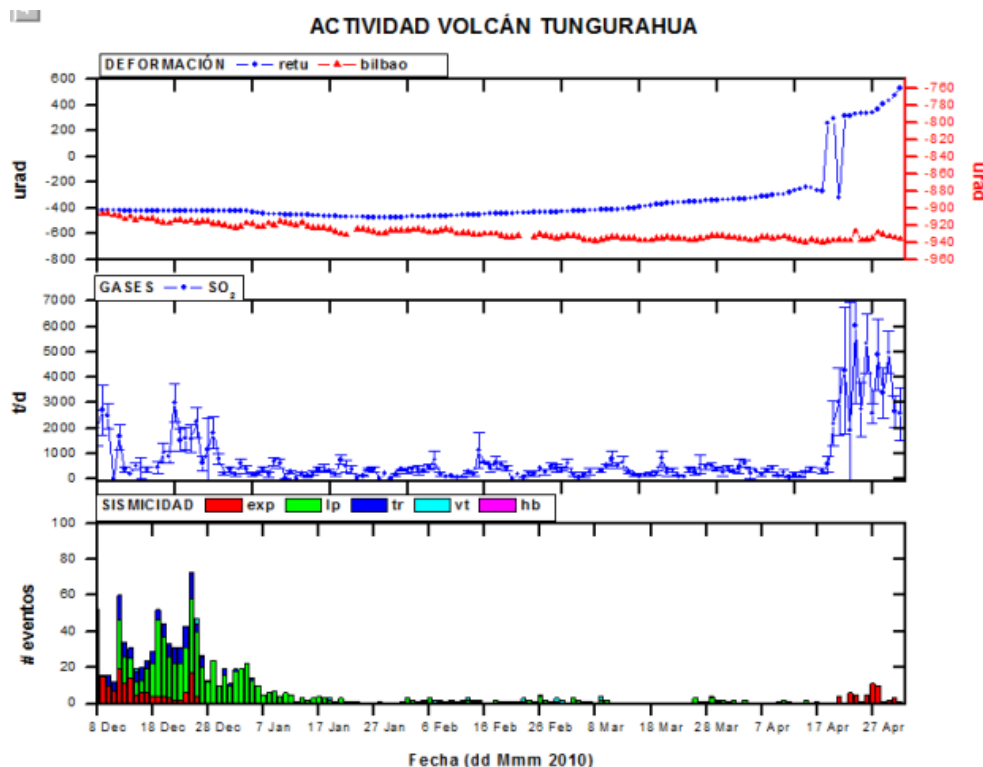


Figura 1. Resumen de la actividad del Volcán Tungurahua desde Diciembre de 2010 a inicios de Mayo de 2011, basado en datos de sismicidad, gas-SO₂ y deformación. En general durante este mes se nota un incremento importante en los valores de sismicidad durante el mes y una tendencia deflacionaria con varios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



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

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 tremor asociadas a emisiones. Durante el mes de Abril, la sismicidad cambió a mediados del mes, ya que el volcán inició un episodio de mayor actividad. La sismicidad total resultó en 32 eventos sísmicos, mayormente LP, y un promedio de 1.07 eventos por día. También se observa una disminución en la ocurrencia de sismos VT, 8 registrados, valor que representa la mitad con respecto al mes anterior. Dado el incremento de actividad, se registró 53 explosiones y 127 señales sísmicas asociadas a emisiones de ceniza. De esta manera, el volcán se encuentra en un episodio de mayor actividad, superficial, aunque como en otras ocasiones los sismos VT han jugado un rol importante en periodos de tiempo antes y durante los episodios de mayor actividad eruptiva. La sismicidad se resume en la Tabla 1.

Período	Sismicidad total	LP	VT	HB (Híbridos)	Emisiones	Explosiones
01-07 Abr.2011	11	9	2	0	0	0
08-14 Abr.2011	13	10	3	0	0	0
15-21 Abr.2011	8	5	3	0	25	5
22-30 Abr. 2011	0	0	0	0	102	48
Total Abr./2011	32	24	8	0	127	53
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
Promedio Diario Abr./2011	1.07	0.8	0.27	0	4.23	1.77
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

Tabla 1. Resumen de las estadísticas de actividad sísmica semanal del mes de Abril de 2011 y la registrada en los últimos doce meses.

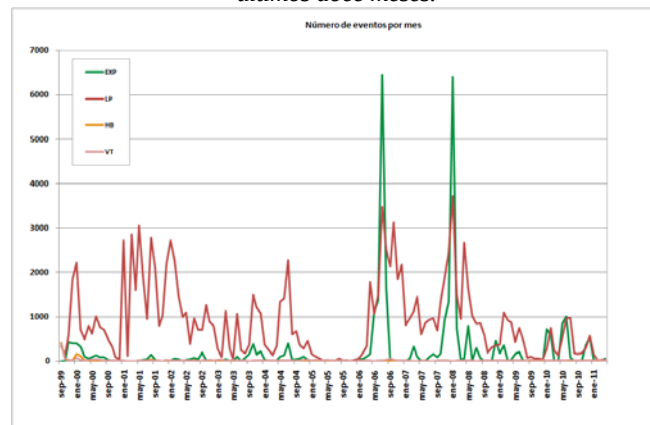


Figura 2. Número de sismos mensuales registrados en el Volcán Tungurahua desde Septiembre de 1999 hasta Abril de 2011.

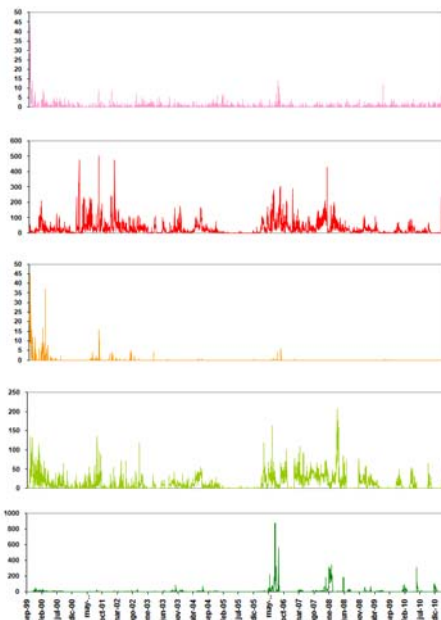


Figura 3. Número diario eventos volcano-tectónicos (VT), largo período (LP), híbridos (HB), emisiones y explosiones en el Volcán Tungurahua desde Septiembre de 1999 hasta Abril de 2011 (en el orden indicado).

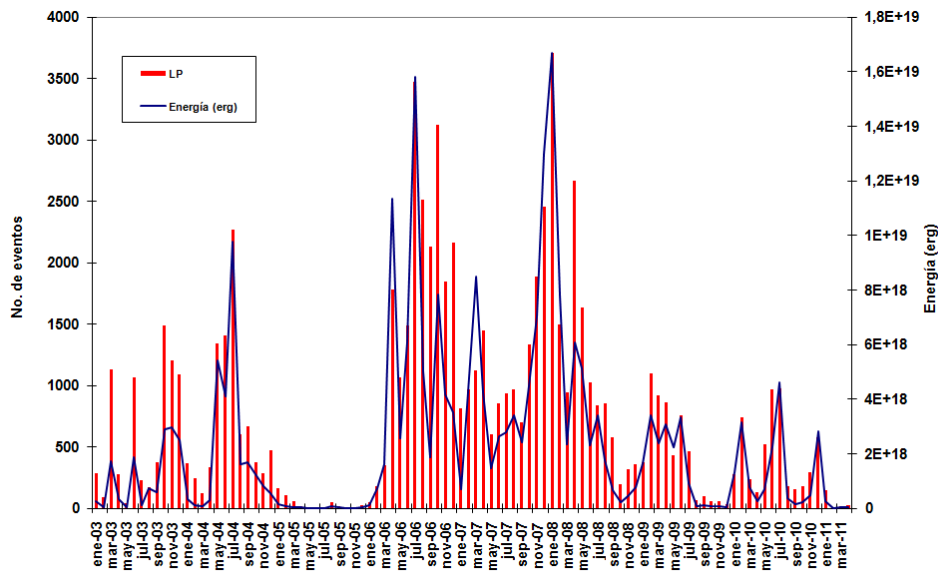


Figura 4. Número mensual de eventos de largo período y su energía asociada en el Volcán Tungurahua desde Enero 2003 hasta Abril de 2011.

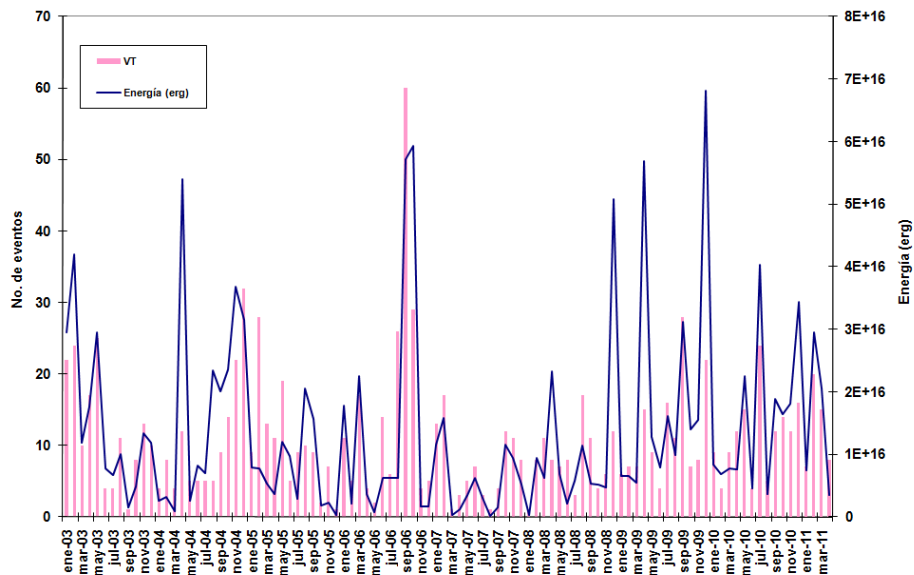


Figura 5. Número mensual de eventos volcano-tectónicos y su energía asociada en el Volcán Tungurahua desde Enero 2003 hasta Abril de 2011.

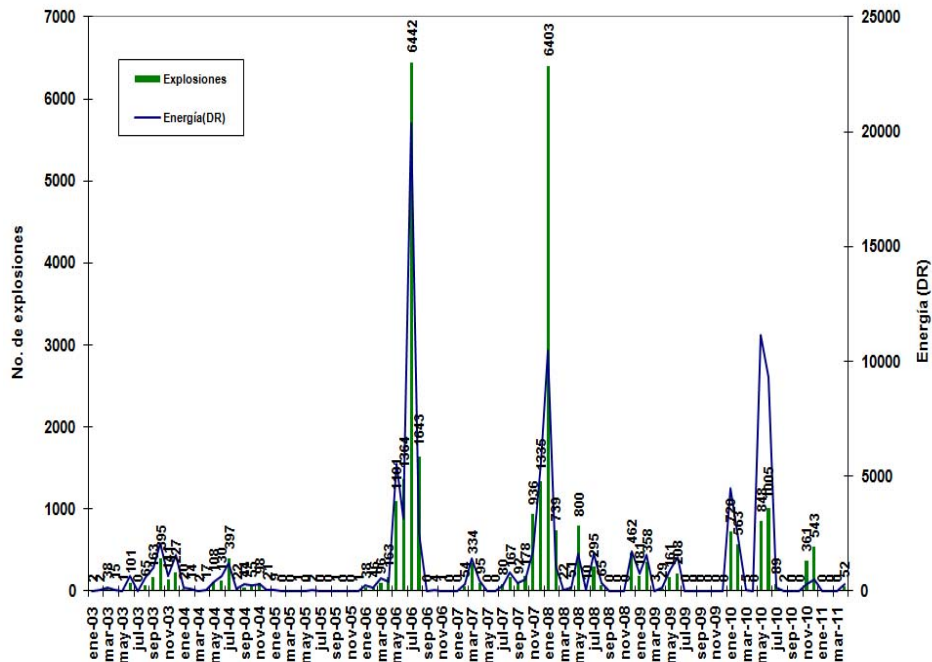


Figura 6. Número mensual de explosiones y su energía asociada (DR=desplazamiento reducido-) en el Volcán Tungurahua desde Enero 2003 hasta Abril de 2011.

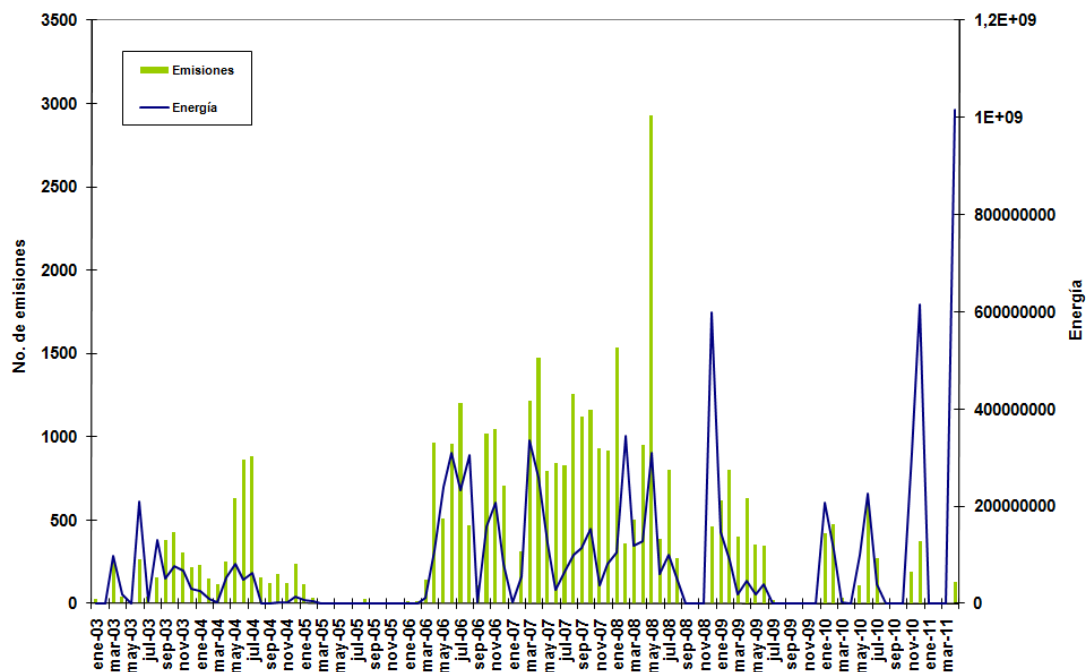


Figura 7. Número mensual de emisiones y su energía asociada (función de la intensidad del movimiento basada en la amplitud y duración) en el Volcán Tungurahua desde Enero 2003 hasta Abril de 2011.

2.1 Localizaciones

En el mes de Abril, se localizaron 3 VT's de las 8 señales registradas, y un evento del tipo LP de los 24 registrados. Adicionalmente, dado el incremento de la actividad a mediados del mes, fue posible localizar seis eventos de explosión. Estos eventos se encuentran entre 0 y 5 km bajo la cumbre (Fig. 8).

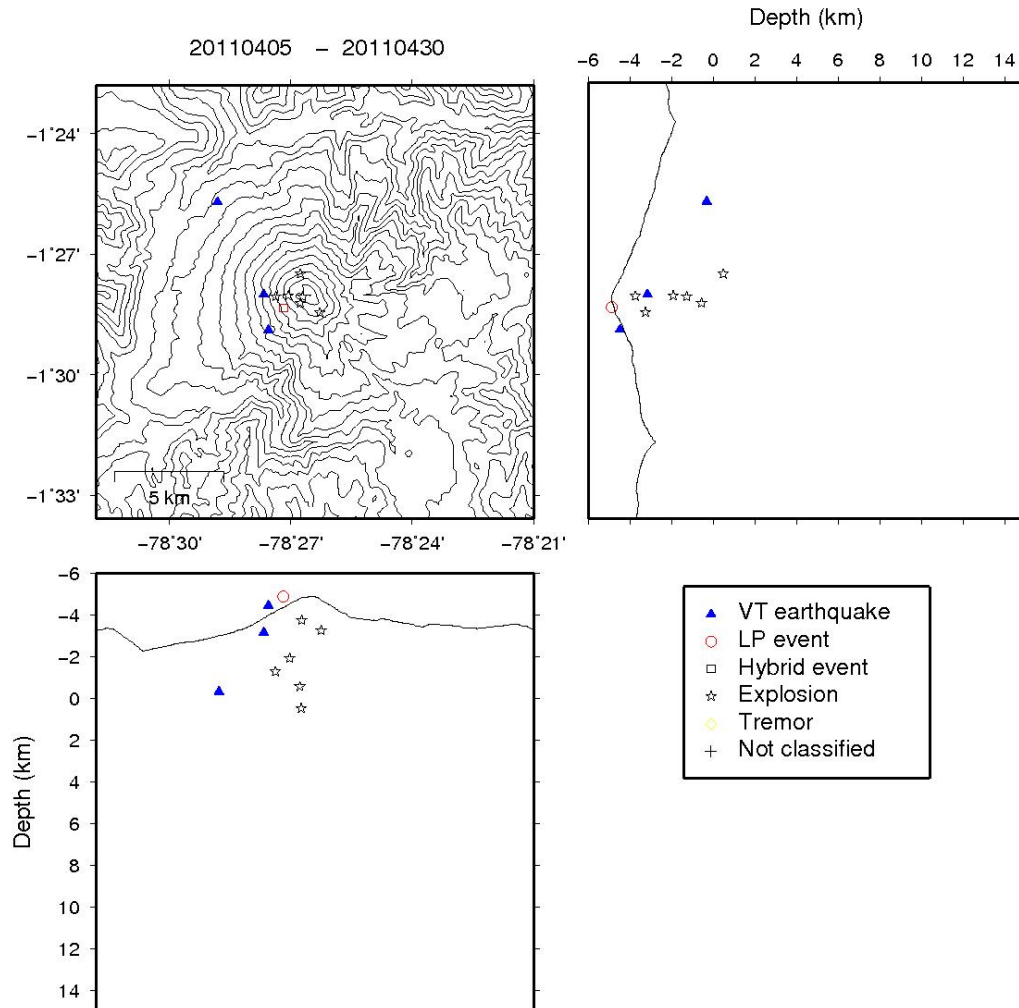


Figura 8. Localizaciones de eventos sísmicos durante el mes de Abril, 2011.

Actividad sísmica del Tungurahua Abril 01-30 2011

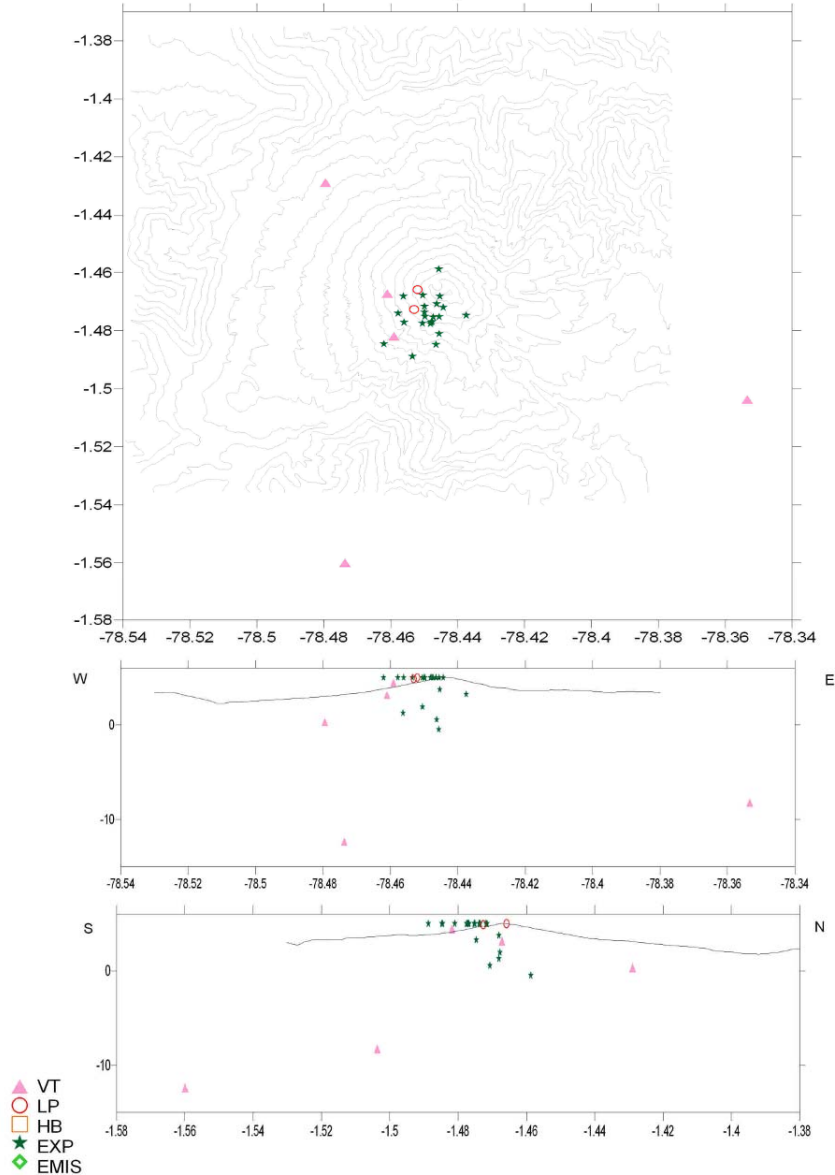


Figura 9. Localizaciones de eventos sísmicos durante el mes de Abril, 2011, con 3D.

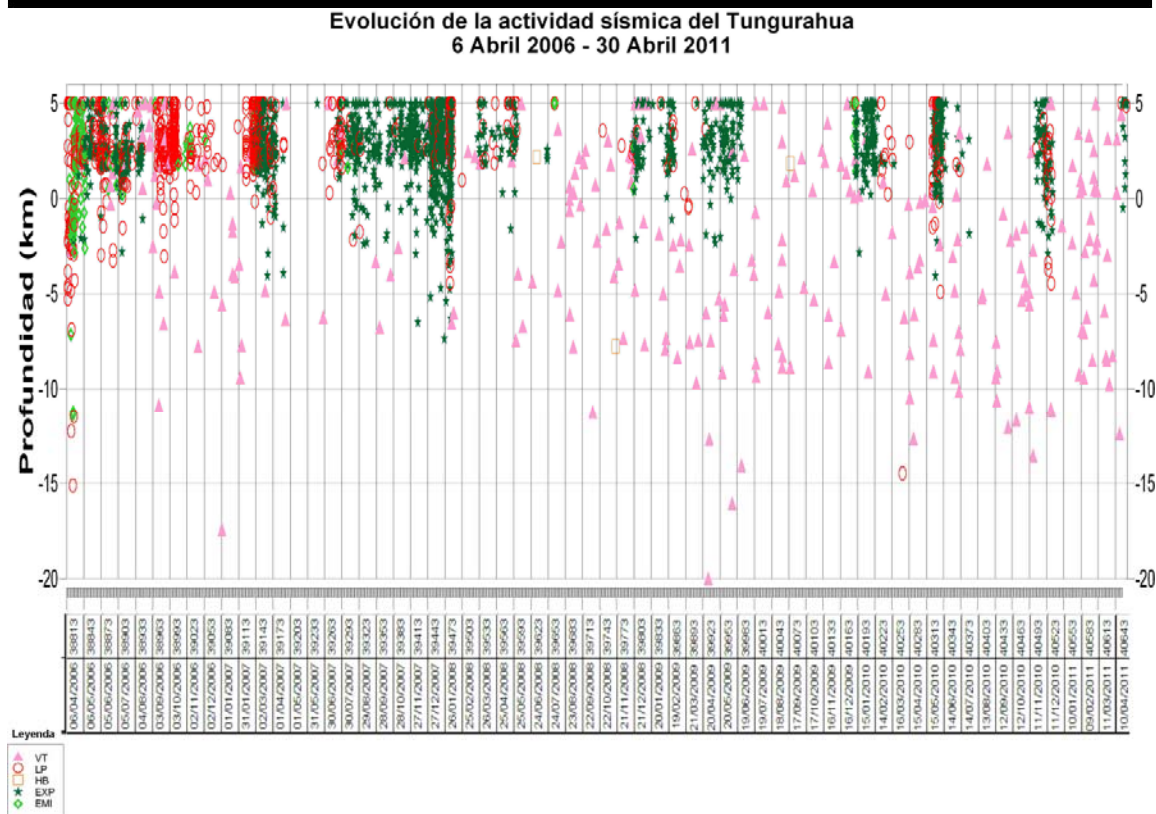


Figura 10. Evolución espacio-temporal de la sismicidad del V. Tungurahua.

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, tremor, 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 Abril, el volcán Tungurahua alcanzó el Nivel 5 del IAS, correspondiendo a un nivel de actividad moderada. 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 (3) y tendencia (ascendente) hasta finales de Abril de 2011.

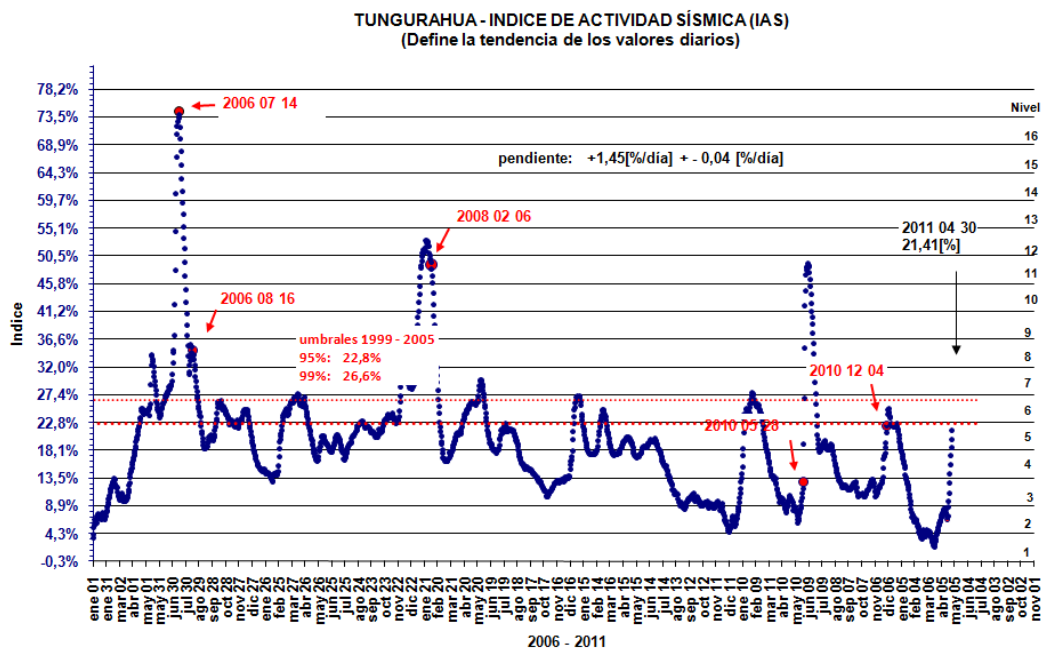


Figura 11b. IAS desde Enero 2006 hasta finales de Abril de 2011.

3. Deformación

En el mes de Abril de 2011, las estaciones de RETU y BILBAO indica una tendencia inflacionaria en los ejes radiales, mientras que la estación PONDOA muestra un patrón deflacionario en el eje radial. Se destaca la tendencia inflacionaria en los dos ejes de RETU, a una tasa de 19 urad/día en el eje radia y 6 urad/día en el eje tangencial, resultando una inflación hacia el noreste. La estación de PONDOA, indica deflación en el eje radial a una razón de -0.6 urad/día, mientras que el eje tangencial muestra una tendencia inflacionaria, no muy calara a una tasa 0.4 urad/día. Por otra parte, el eje radial de BILBAO muestra una tendencia inflacionaria de 0.15 urad/día, mientras que el eje tangencial indica una deflación variable a razón de -0.07 urad/día (Fig. 12 a, b, c). Las tendencias inflacionarias de RETU 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. Posiblemente el nuevo episodio de mayor actividad, iniciado a mediados de Abril, está relacionado estrechamente con los procesos inflacionarios registrados desde finales de Enero de 2011.

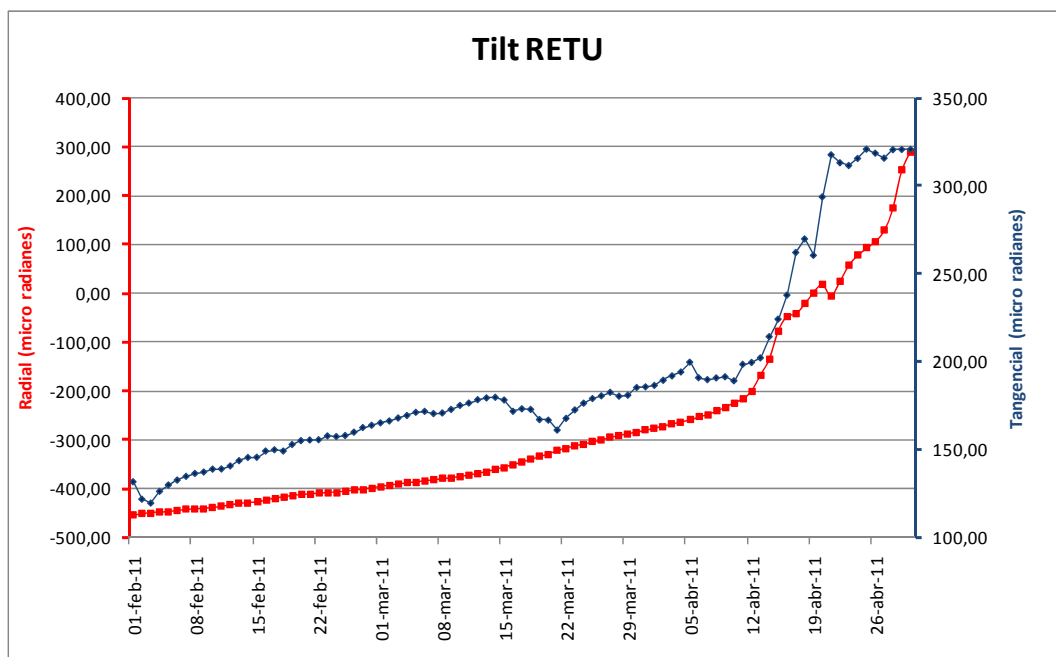


Figura 12a, Plot de datos del inclinómetro de RETU

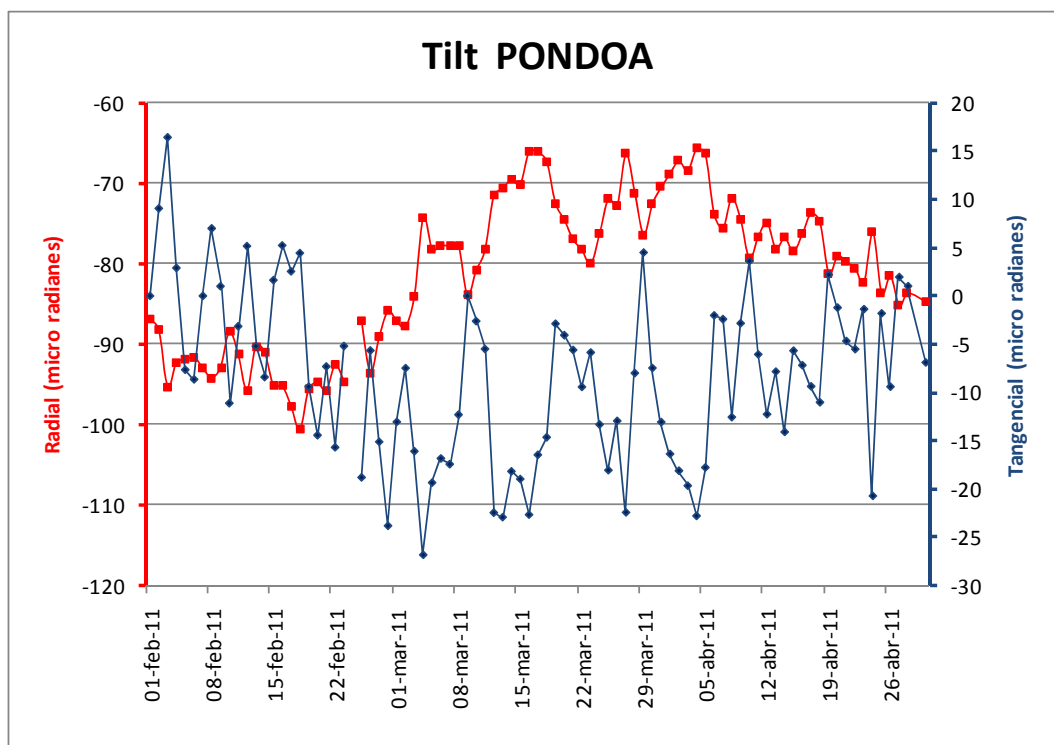


Figura 12b, Plot de datos estación Pondia.

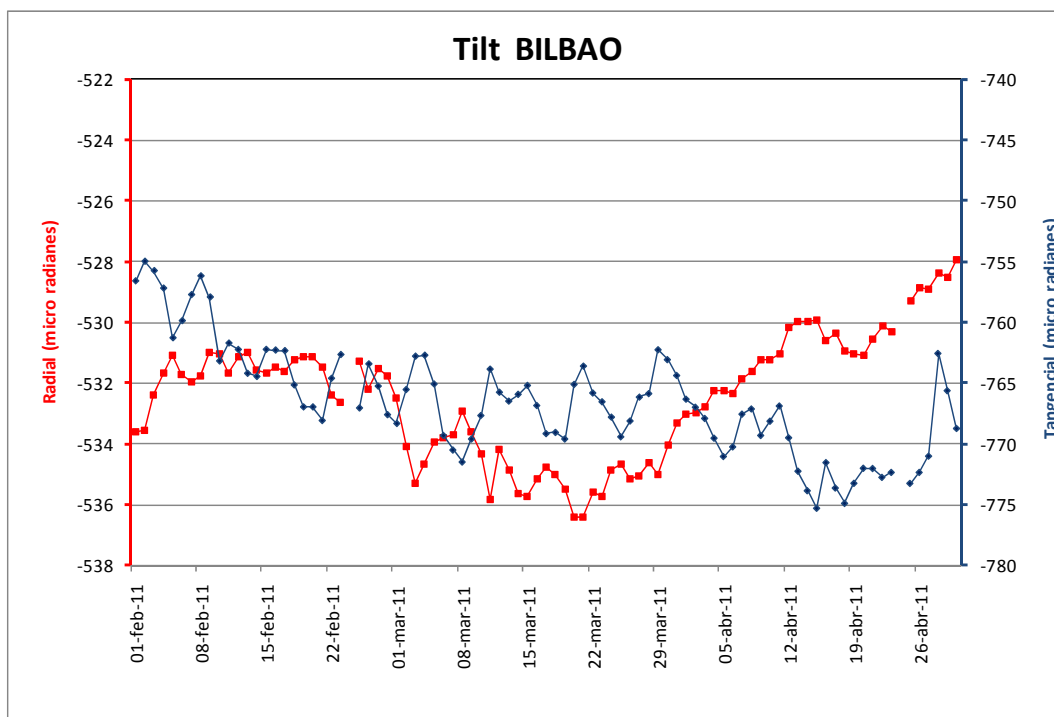


Figura 12c, Plot de datos estación Bilbao.

4. Geoquímica



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

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 Abril de 2011, el flujo de SO_2 del volcán Tungurahua se incrementó considerablemente hacia el fin de mes, de modo que a partir del día 20 de Abril la emisión de gas emanado fue mucho mayor en comparación con los tres meses anteriores, donde los valores promedio fueron 300, 260 y 360 ton/diarias, para Enero, Febrero y Marzo respectivamente. Hasta el día 19 de Abril la emisión de SO_2 fue similar a las fluctuaciones registradas desde inicios de 2011. Sin embargo, a partir del 20 de Abril se registró valores que fluctuaron entre 1900 y 6000 toneladas diarias (ver Fig. 13-a y Fig. 13-b). Cabe destacar que el valor promedio mensual está calculado con los máximos registrados para todo el mes.

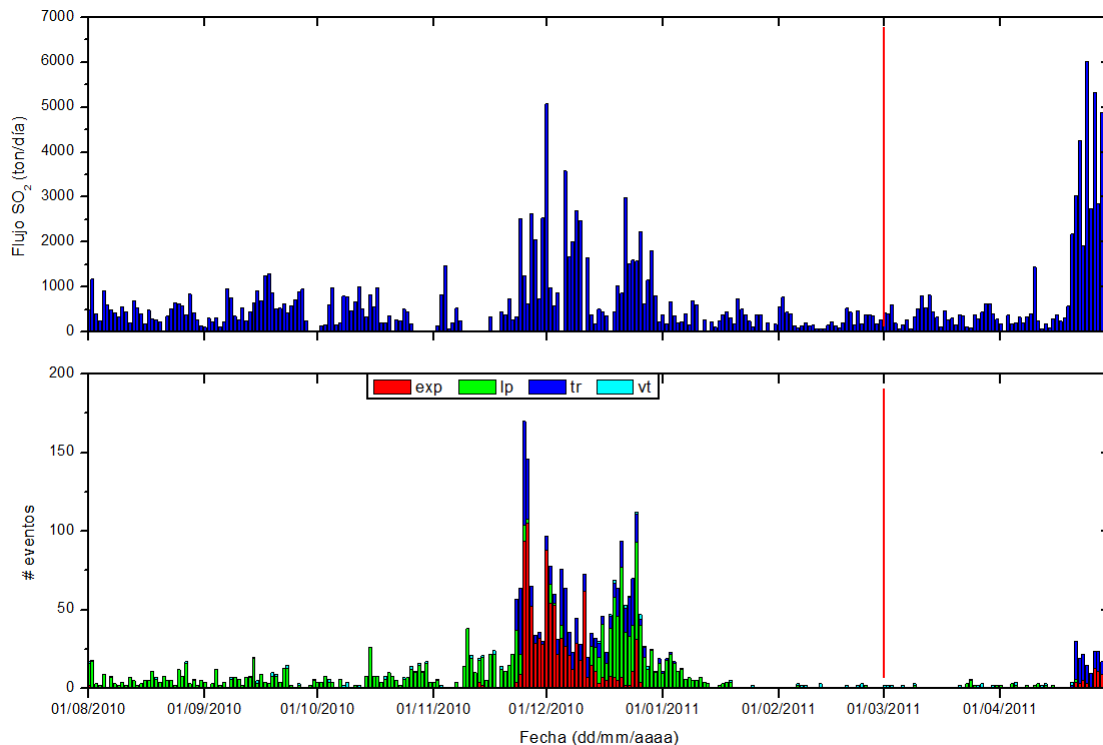


Figura 13-a. (Arriba) Flujo diario de SO_2 desde agosto de 2010 hasta el final de Abril de 2011. (Abajo) Número de eventos sísmicos para el mismo periodo. Este gráfico permite ver la evolución de estos dos parámetros, y establecer posibles correlaciones entre ellos.

El flujo diario de SO_2 tuvo en promedio un valor de 1582 t/d con una desviación estándar de 1896 t/d. El valor máximo medido fue de 6015 t/d para el 24 de Abril, y el valor estimado de emisión de SO_2 en la atmósfera alcanza un valor de 47462 t de SO_2 (por 11258 toneladas en Marzo de 2011).

De acuerdo a las imágenes satelitales OMI del mes de Abril de 2011, se observa que a partir del día 21 ocurre una intensa actividad de desgasificación, sin embargo los gases emanados por el volcán a una tasa de desgasificación importante fueron registrados por la instrumentación desde el día 20 de Abril y se prolongó por el resto del mes (ver Fig. 13-d). Cabe recalcar que de las condiciones climáticas en la región depende en gran parte la confiabilidad de las imágenes satelitales obtenidas.

Durante el mes de Abril el clima fue variable, aunque mayormente las condiciones climáticas fueron adversas, lo que impidió realizar observaciones visuales directas de la actividad del volcán, y más bien fueron ocasionales.

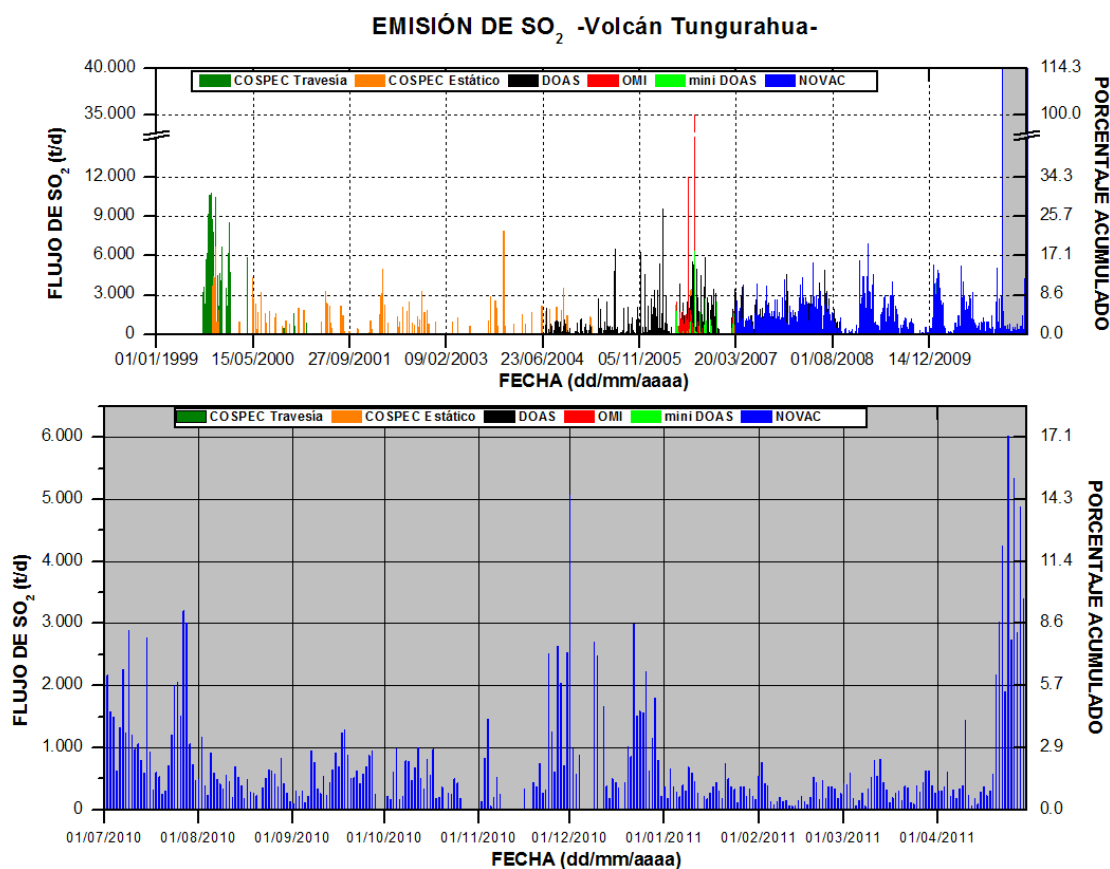


Figura 13-b. Flujo diario de SO_2 emitido por el volcán Tungurahua desde agosto de 1999 hasta Abril de 2011. La zona sombreada del gráfico superior corresponde al zoom del registro de emisiones de SO_2 hasta el mes de



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Abril 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: 1582 t/d
Variabilidad (1σ): 1896 t/d
Valor máximo: 6015 t/d (24 de Abril)
Emisión estimada: 47462 toneladas de SO_2

EMISIÓN DE SO_2 - VOLCÁN TUNGURAHUA -

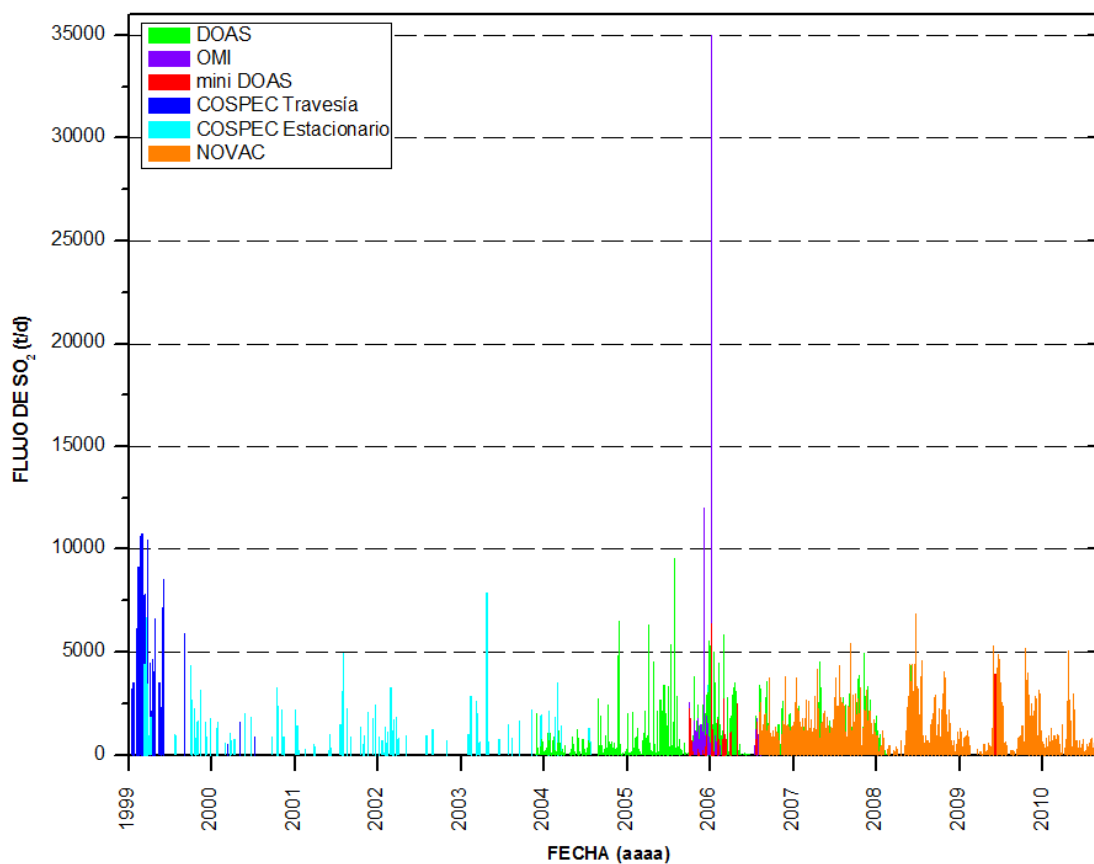
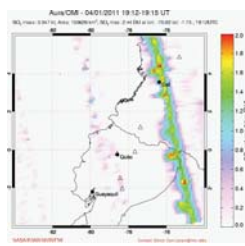
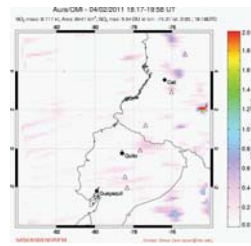


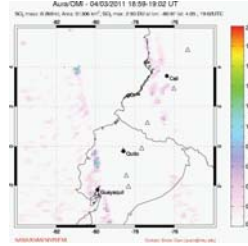
Figura 13-c. Flujo diario de SO_2 emitido por el volcán Tungurahua desde agosto de 1999 hasta fines de Abril de 2011.



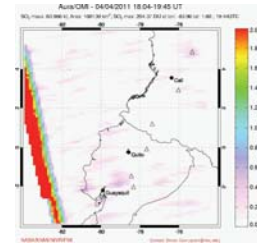
Abr. 01, 2011



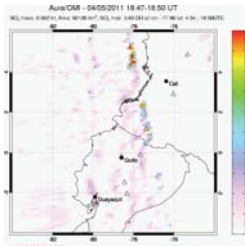
Abr. 02, 2011



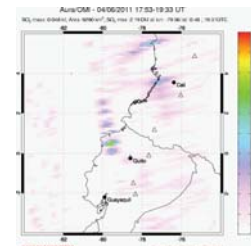
Abr. 03, 2011



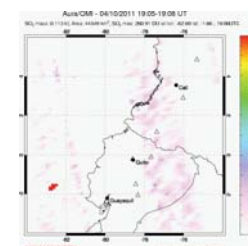
Abr. 04, 2011



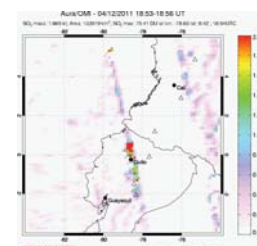
Abr. 05, 2011



Abr. 06, 2011



Abr. 10, 2011



Abr. 12, 2011

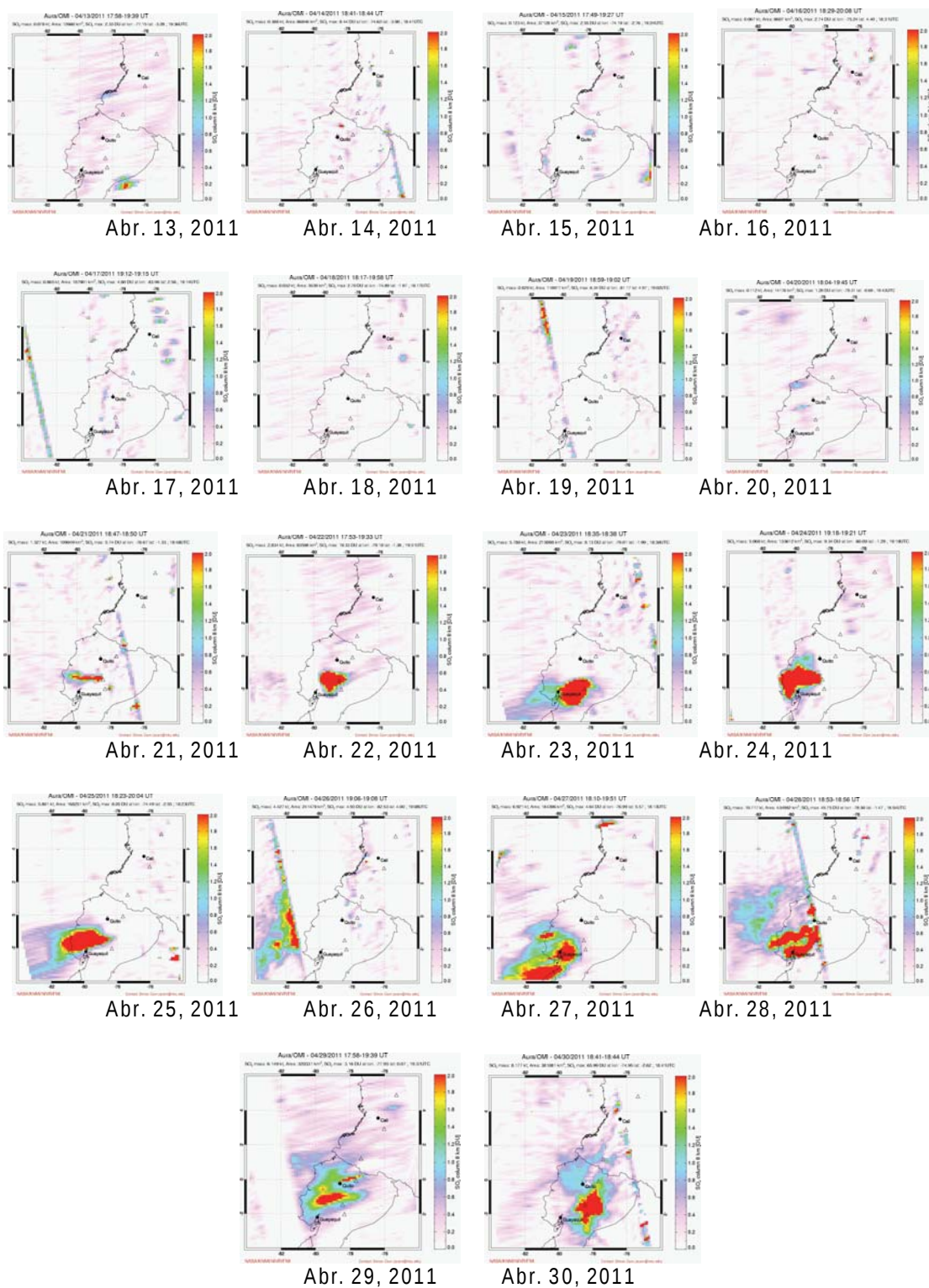


Figura 13-d. Imágenes generadas en base a observaciones satelitales con el instrumento OMI (NASA/JCET/UMBC) correspondientes al mes de Abril de 2011. (Fuente: http://so2.umbc.edu/omi/pix/daily/0411/ecuador_0411.html)

5. Observaciones Visuales en el Terreno y Lahares

Observaciones Visuales en el mes de Abril-2011

5.1.- Situación Climática

Durante el mes de Abril, el clima fue mayormente desfavorable. Sin embargo, en algunas tardes observó al volcán despejado o parcialmente despejado, y en ocasiones mostraba un ligero penacho de vapor (Fig. 14). Las lluvias de moderada intensidad ocurridas en Abril, generaron el descenso de agua lodosa y flujos de lodo (lahares) por varias quebradas del volcán. Dada la ocurrencia de lluvias en la región y a las bajas temperaturas, el volcán en ocasiones mostraba la condensación de nieve en la parte alta del cono, alcanzando una cota aproximada de hasta 4500 msnm (Fig. 15). Al final del mes la situación climática mejoró sustancialmente.



Fig. 14: Volcán despejado, se observa un penacho de vapor que se eleva 300 metros por encima del borde del cráter y se dirige al W (Foto: J. Bustillos, IG-EPN).



Fig. 15: Volcán despejado, después de varias horas de lluvia, se observa una capa de nieve en la parte alta del cono. Se observa además una ligera emisión de vapor blanco con dirección al WSW (Foto: S. Hidalgo, IG-EPN).

5.2.- Actividad Superficial

En los primeros 20 días del mes, el volcán mantuvo una actividad superficial baja, similar a lo ocurrido desde inicios de año. Esta actividad se caracterizó por emisiones discretas de vapor de agua que alcanzaron alturas entre 100 y 400 metros sobre el nivel del cráter, que por acción de los vientos fueron propagadas rápidamente hacia el NE, W y WSW (Fig. 14).

A partir del 20 de Abril, después de casi cuatro meses o más de mantener una actividad sísmica y superficial baja, ésta cambio radicalmente. Alrededor de las 22h00 (TU) se inició el registro de una señal importante de tremor sísmico, que minutos después se mostró como la salida desde el cráter de una columna de vapor y gas con poco contenido de ceniza. Esta columna se elevó aproximadamente 3 km sobre la cumbre, que luego fue dispersada hacia el occidente por los vientos dominantes de la región (Fig. 16). Posterior a la emisión, la señal de tremor fue continua y acompañada de bramidos y explosiones discretas. Hasta finales de mes, esta actividad alcanzó un nivel moderado – alto, que se caracterizó por mantener una señal continua del tremor sísmico y su amplitud llegó a saturar las estaciones de periodo corto (1 Hz). Los bramidos que acompañaban a la actividad mantuvieron una intensidad variable, y fueron escuchados en los alrededores del volcán e incluso en el OVT. Estos bramidos en ocasiones generaban la vibración de las estructuras y del suelo.

Durante este periodo de mayor actividad, a simple vista se pudo observar la salida de material volcánico, principalmente en las noches despejadas. La actividad del tipo estromboliana, proyectó bloques incandescentes hasta una altura de 500 metros sobre el nivel del cráter y rodaron hasta 2 km bajo el mismo (Fig. 17).



Fig. 16: Emisión de vapor de agua con poco contenido de ceniza (20 de Abril, 22h14 TU), alcanzó una altura de hasta 3 km sobre el cráter y se dirigió hacia el W-SW (Foto: P. Ramón, IG-EPN).



Fig. 17: Actividad estromboliana que proyecta bloques hasta 500 m sobre el nivel del cráter y que ruedan hasta 2 km bajo el mismo (Foto: P. Ramón, IG-EPN).

5.3.- Dispersión y Caída de Ceniza:

Las nubes de ceniza que variaron entre 1700 pies (5,1 km) y 40000 pies (12,2 km) sobre el nivel del mar. Estas nubes fueron dispersadas en todas las direcciones, logrando alcanzar distancias desde el cráter hacia el Norte hasta por 65 km, al Sur por cerca de 134 km, al Oeste por 108 km, 123 km al Este y 248 km al NE (Fig. 18). Las nubes de ceniza fueron generadas por la emisión continua de vapor, gas y un alto contenido de ceniza (Fig. 19). En hecho, las columnas eruptivas fueron sostenidas y alcanzaron alturas variables entre 1 y 7 km de altura sobre el nivel del cráter (Fig. 20). Los días de mayor alcance en las alturas de ceniza fueron el 26, 27 y 29 de Abril, por lo tanto las nubes de ceniza alcanzaron una mayor dispersión y mayor energía. Adicionalmente, las emisiones y explosiones generaron importante caídas de ceniza en todos los alrededores del volcán, llegando inclusive a afectar ciudades como Riobamba, Ambato, Latacunga y Puyo. En la tabla 2 se muestra las zonas afectadas por la caída de ceniza (Fig. 21 y Fig. 22).

**DISPERSION DE LAS NUBES DE CENIZA
DEL VOLCAN TUNGURAHUA
ABRIL - 2011**

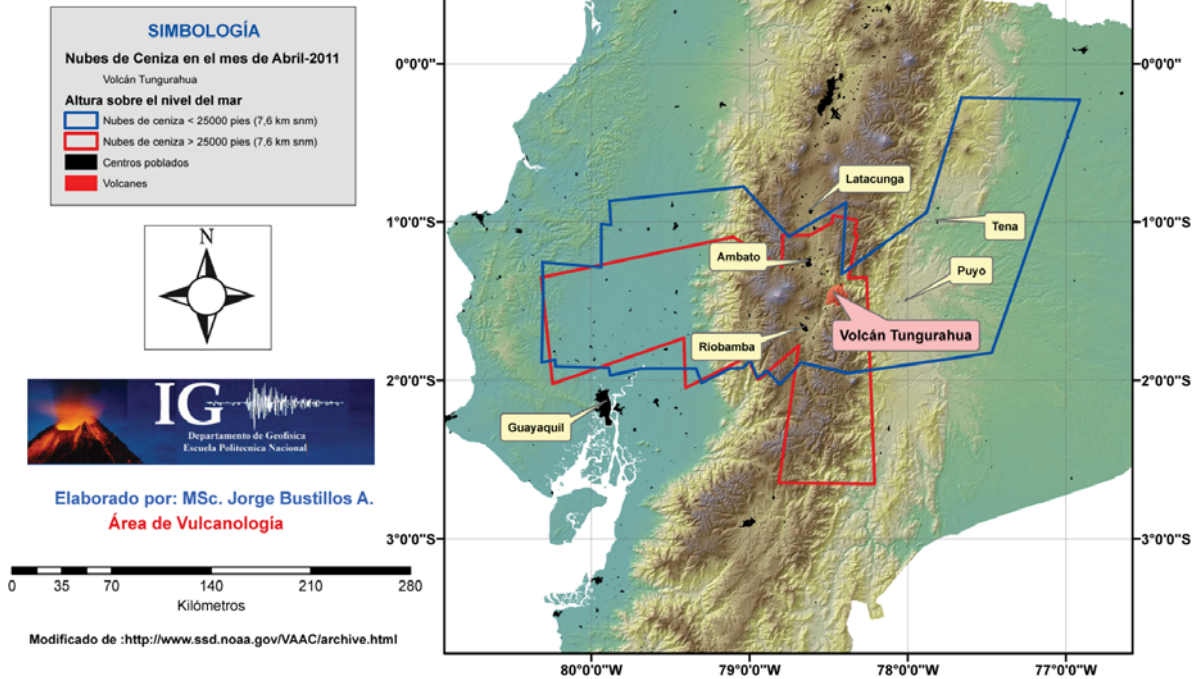


Fig. 18: *Dispersión de las nubes de ceniza del volcán Tungurahua durante el mes de Abril de 2011 (Modificado de <http://www.ssd.noaa.gov/VAAC/messages.html>)*



Fig. 19: *Emisión continua de vapor y gas con contenido alto de ceniza, alcanza una altura de 5 km snm y forma una nube de ceniza que se dirige al W y SW (Foto: P. Ramón, IG-EPN).*



Fig. 20: *Emisión de vapor y gas con contenido moderado – alto. La altura alcanzada es de 7 km sobre el cráter (Foto: S. Vallejo, IG-EPN).*

Ubicación	Población	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
N	Ambato											
N	Patate											
N	OVT											
NE	Pititig											
NE	Pondoa			Bf							Gg	
NE	Chontilla											
NNW	Juive											f
NNW	Cusúa									B		
NW	Cevallos						N					
NW	Quero											
S	Mathus											
SW	Riobamba											
SW	Guano											
SW	La Providencia											
SW	Penipe				Bf							
SSW	Palictagua				N							gf
SSW	Puela											
SSW	Pachamillay											
SSW	Utuñag											
SSW	Capil											
SSW	Patacocha											
E	Ulba									f		
E	Puntzán			G							G	
E	Río Blanco											
ENE	Baños											f
ENE	Runtún											
ENE	San Vicente			Gf								
W	Chontapamba											
W	Yuibug											
W	San Juan						Nf					
W	Palestina											
W	San Isidro											
W	Santa Fe de Galán											
W	Motilones											
WNW	Pillate				F						Gf	
WNW	Cotaló								N			
WNW	Chacauco			F		Nf	Nf					
WNW	Bilbao				N					Bf		
WSW	Choglontús					Nf	Nf		Nf			
WSW	El Manzano						Bf			Gf		
WSW	Cahuají											
WSW	San Andres											

Tabla 2: Reportes recibidos de caída de ceniza durante el mes de Abril de 2011. Fuente informes semanales OVT. (Ceniza: **B** = blanca; **R** = rojiza; **N** = negra; **G** = gris; **C** = Ceniza café; **g** = ceniza gruesa; **m** = ceniza media; **f** = ceniza fina.)

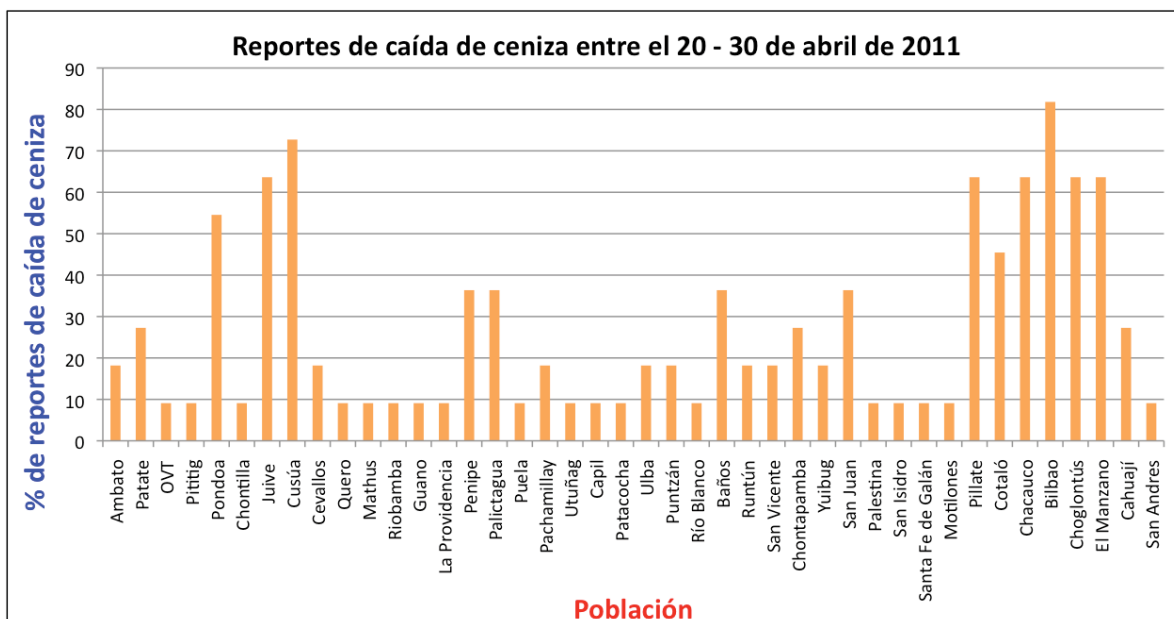


Figura 21. Reportes de caída de ceniza recibida por el OVT por parte de los vigías. Pondoa, Juive, Cusúa, Pillate, Cotaló, Chacauco, Bilbao, Choglontús, El Manzano han sido las poblaciones con mayor afectación de caída ceniza.

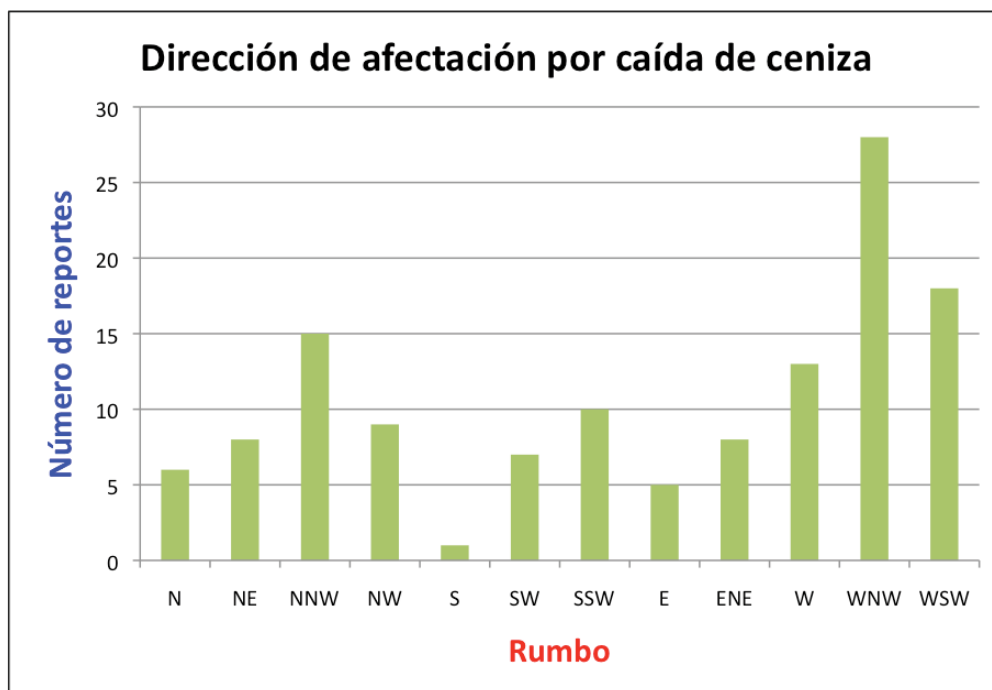


Figura 22. Dirección de afectación por la caída de ceniza. Las zonas ubicadas al NNW, WNW y WSW fueron las mas afectadas.



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

5.4.- Cuantificación de la Caída de Ceniza:

Para la cuantificación de la caída de ceniza se instaló 7 balanzas electrónicas desde el 24 de Abril de 2011. Las balanzas permitirán tener un mayor control y en tiempo cuasi-real de la tasa de caída de ceniza. Los recolectores de ceniza (cenizómetros) y balanzas, permitirán calcular de mejor manera el volumen de material sólido emitido, y así estimar la magnitud e intensidad de los episodios eruptivos de mayor actividad. Los dos métodos de medida (cenizómetros y balanzas) permiten aplicar los métodos de *Pyle* (1989) y hacer una comparación con el método de plumas termales para el caso del volcán Tungurahua (*Ruiz G. et al, 2004, Bustillos, 2010*)

5.4.1.- Colectores de Ceniza:

La cuantificación del volumen de ceniza emitida en el mes de Abril corresponde a 10 días de acumulación. Durante el recorrido de muestreo se observó que los mayores espesores acumulados fueron de 15 mm en Cahuají; 6 mm y 5 mm en Runtún y Palictahua respectivamente; 4 mm en El Manzano y Choglontús; y 3 mm en los sectores de Santa Fe de Galán y San Pedro de Sabañag. El espesor mínimo medido fue de 1mm en el sector de Saguazo (Fig. 23). Con los datos de campo obtenidos, se realizó el cálculo de volumen depositado utilizando el método de *Pyle* (1989) (Ec.1), que mejor se adapta a las condiciones eruptivas del volcán Tungurahua (*Bustillos, 2010*). Este modelo considera una disminución exponencial del espesor con respecto a la distancia del vento. Además, se utilizó la interpolación por un solo segmento, donde se consideran los siguientes parámetros: T_o , que es el espesor del depósito de ceniza teórico al nivel del vento; b_T , que es la distancia a la cual el espesor ha disminuido a la mitad de T_o ; k , que es una constante. Todos estos datos se obtuvieron mediante una regresión lineal de un ploteo de la raíz cuadrada del área de la isópaca versus el logaritmo natural del espesor de caída.

$$\text{Ec. (1)} \quad b_T = \frac{\ln(2)}{k\sqrt{\Pi}} \quad V = 13,08 \times T_o \times b_T^2$$

**ISOPACAS DE CENIZA ACUMULADA
DESDE EL 20 AL 30 DE ABRIL DE 2011
EN EL VOLCAN TUNGURAHUA**

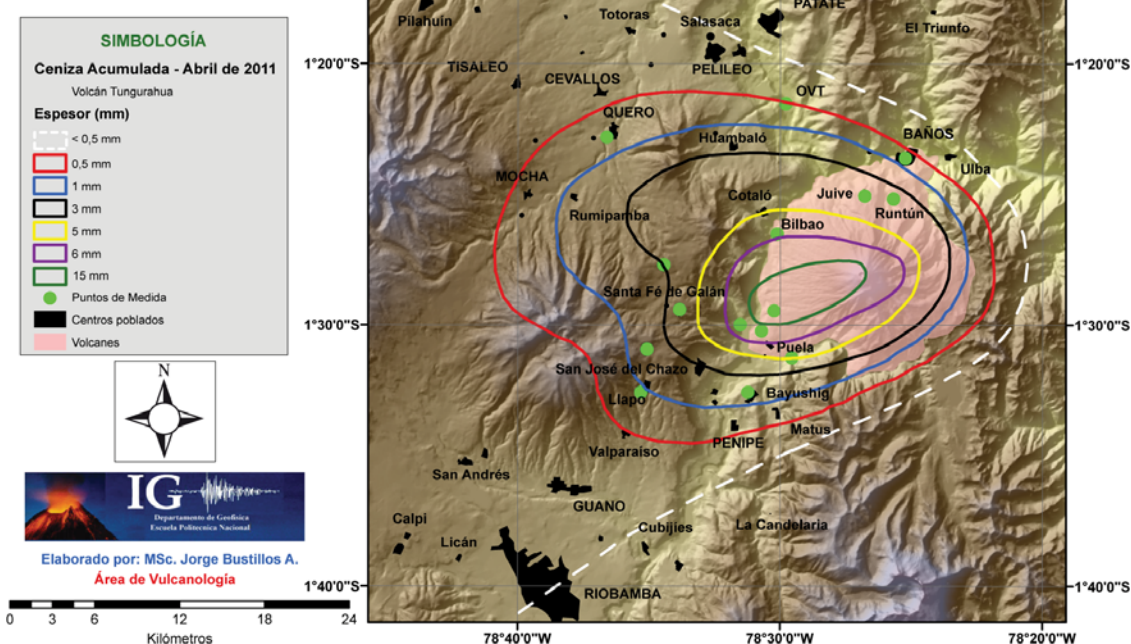


Figura 23. Isópacas de ceniza acumulada desde el 20 al 30 de Abril de 2011 en la zona del volcán Tungurahua, el espesor máximo medido fue de 15 mm en el cenizómetro de Cahuají.

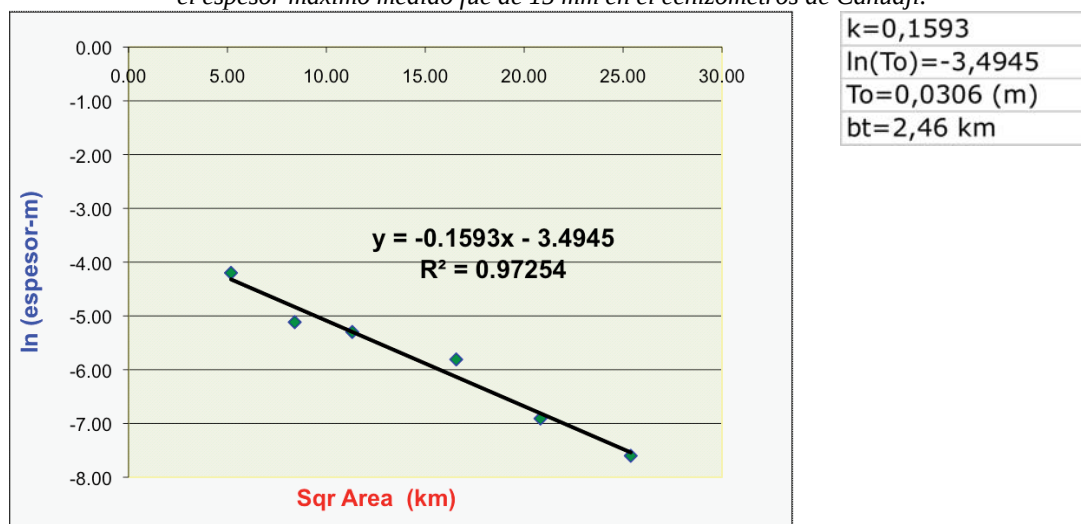


Figura 24. Izquierda: Diagrama $\ln(\text{espesor})$ vs. $A^{1/2}$ de las Isópacas en el mes de Abril de 2011. Derecha: Valores de los parámetros utilizados en el método de Pyle (1989) con un solo segmento y estimación del volumen acumulado.



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Con los datos obtenidos en el campo y mediante la utilización de los parámetros que se utilizan en el método de cálculo utilizado (Fig. 24.) se pudo estimar que el volumen acumulado es de 2'500.000 m³ de ceniza, que equivale a un VEI=2 (VEI= Índice de explosividad volcánica Newhall and Self 1982). Cabe recalcar que el volumen calculado por este método en este periodo, debido al estado y pérdida de los colectores de ceniza no muestra la cantidad real del material sólido emitido por el volcán Tungurahua en este periodo.

5.4.2.- Modelo de Plumas Termale:

Según *Carey y Bursik (2000)*, las plumas volcánicas son una mezcla de partículas volcánicas, gases y aire que son producidas principalmente por erupciones explosivas. Las plumas son inyectadas hacia la atmósfera y pueden dispersar ceniza y gases a escala global. La flotabilidad juega un rol importante en el movimiento de las plumas y determina como éstas pueden interactuar con la atmósfera. Las plumas energéticas pueden alcanzar alturas mayores de 50 km sobre la superficie terrestre. Los diferentes tipos de erupciones volcánicas pueden producir plumas y su comportamiento está controlado por factores como la composición del magma, la cantidad y naturaleza de los volátiles, la tasa de descarga del magma y la geometría del conducto y del viento. Algunas de estas plumas se pueden mantener por periodos de tiempo relativamente largos debido a la descarga continua de material desde el viento. En otros casos, las plumas de inyecciones discretas de gases y partículas en la atmósfera pueden durar únicamente unos minutos (*Carey y Bursik, 2000*). Por otro lado, las plumas volcánicas además son generadas cuando el magma es fragmentado en pequeños pedazos y descargados desde el viento a altas velocidades (superior a 400 m/s, *Carey y Bursik, 2000*). Esta fragmentación se genera por la exolución rápida de volátiles en el reservorio magmático. Sin embargo, la fragmentación también puede darse cuando el magma entra en contacto con acuíferos; es decir, bajo ciertas condiciones la transferencia de calor del magma al agua resulta en la conversión explosiva del agua en vapor (*Carey y Bursik, 2000*).

Dado que el estilo eruptivo del Tungurahua se ha caracterizado por una actividad estromboliana-vulcaniana, en donde la descarga de gases y partículas volcánicas han ocurrido por una serie de explosiones discretas separadas en el tiempo, que en algunos casos, la frecuencia de estas emisiones fue muy baja como para generar una descarga casi continua de material. En este sentido, al considerar que el tiempo entre erupciones/explosiones es mucho mayor que el tiempo de ascenso de la pluma, se observa que la pluma tiene un comportamiento termal, que es diferente a las plumas generadas por una descarga continua de material (*Carey y Bursik, 2000*). Bajo este contexto, es necesario hacer referencia a las plumas termale descritas por *Sparks et al. (2000)*, en donde se realiza un ajuste y calibración de las ecuaciones que modelan la altura máxima de las plumas volcánicas y el volumen emitido (Ruiz G., et al., 2004 no publicado). Es así que, la altura de la columna termal está dada por:

$$\text{Ec. (2)} \quad H_T = K F_T^{1/4} N^{-1/2}$$

Donde:

H_T = altura máxima de la pluma (m)

F_T = producto de flotamiento y el volumen de la pluma termal (m⁴s⁻²)

N = ambiente de estratificación atmosférica (s⁻¹)

K = constante adimensional de calibración (Tungurahua)



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

F_T está dado por:

$$\text{Ec. (3)} \quad F_T = \frac{V_{T_0} g (T_{T_0} - T_a)}{T_a}$$

Donde:

V_{T_0} = volumen inicial de la pluma (m^3)

T_{T_0} = temperatura inicial de la pluma (K)

g = aceleración de la gravedad (ms^{-2})

T_a = temperatura atmosférica a la altura H_T (K)

Utilizando los datos estadísticos de las explosiones registradas durante los periodos de mayor actividad en el Tungurahua, al igual que las emisiones reportadas y los cálculos realizados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (INAMHI) se calibró las ecuaciones del modelo de plumas termales y facilitaron calcular la descarga promedio de cada evento, así como también la altura media de las nubes de ceniza (*Ruiz G. et al., 2004 no publicado*), donde:

$$\text{Ec. (4)} \quad Vol_{evento} = \frac{Vol_{depositado}}{n_{explosiones}}$$

Donde:

$n_{explosiones}$ = número de explosiones + el número de emisiones.

Con el volumen de cada evento se puede calcular el caudal (Q), que se obtiene al dividir el volumen del depósito para el periodo de actividad, de la misma manera se puede obtener la altura (H_T) promedio de las nubes de ceniza, dividiendo la suma total de las alturas para el número de eventos registrados, y se utiliza los reportes del satélite GOES-EAST-NOAA:

Ec. (5)

$$H_T = \frac{\sum alturas}{n_{imágenes}}$$

Por otro lado, la temperatura (T_{T_0}) de las bombas y ceniza a la salida del cráter se encuentran alrededor de 900°C (*Ruiz G. et al., 2004 no publicado*) y la temperatura atmosférica (T_a) a diferentes alturas se determina en función del gradiente de temperatura atmosférica (*Sparks et al., 1997*) y se aplica a las alturas máximas de las columnas de ceniza.

Ec. (6)

$T_a = 273 - 6.5 (H)$ para: $0 < H < 11 \text{ Km}$

$T_a = 201.5$ para: $11 < H < 20 \text{ Km}$

$T_a = 201.5 + 2(H - 20)$ para: $20 < H < 40 \text{ Km}$

H = altura de las nubes de ceniza en Km snm.



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Ec. (7)

$$T_{To} = 900^{\circ} \text{ C} = 1173 \text{ K}$$

Ec. (8)

$$\text{Ambiente de estratificación (N): } N = 4.9 \text{ s}^{-1} \text{ (INAMHI)}$$

La constante K de la ecuación **(2)** se obtiene al resolver la ecuación **(3)** con los valores de las ecuaciones **(4)** a **(8)**, y por lo tanto el valor de $K = 912$ (Ruiz G. et al., 2004 no publicado) es adimensional y se aplica a todos los valores de las alturas de las nubes de ceniza reportados por el satélite. Sin embargo, esta base no cubre la totalidad de las alturas de las nubes de ceniza, por lo tanto es necesario ajustar la curva de volumen acumulado, en donde se define un factor de corrección:

Ec. (9)

$$\text{Factor corrección } 1 = \frac{\text{volumen depositado}}{\text{volumen calculado (base IG-VAAC)}}$$

Según Ruiz G. et al. 2004 (no publicado) el factor de corrección tomando en cuenta los datos obtenidos durante el 2001, para los cuales se considera que en fases de menor actividad existe una relación directa con las pendientes de la curva es aproximadamente 17,64. Este factor de corrección (fc1) se aplica a todos los periodos similares a la fase de Agosto de 2001, por lo tanto:

Pendiente Agosto ₂₀₀₁ (8,144)	→ fc1 (17,64)
Pendientes de 0.933	X = 2.02 (fc2)
Pendientes de 0.7	X = 1.52 (fc3)

Para pendientes menores a 0,7 se considera que no es necesario ajustar la curva ya que la actividad volcánica es relativamente baja y las nubes de ceniza registradas por la VAAC son coherentes con el grado de actividad volcánica (Ruiz G. et al., 2004 no publicado).



Figura 25. Volumen acumulado de material sólido emitido por el volcán Tungurahua desde 1999. Para el cálculo se aplicó el modelo de plumas termales de Sparks et al. (1997) y las correcciones realizadas por Ruiz G. et al., 2004 (no publicado).

- **Aplicación de las ecuaciones (2) y (3)**

Una vez calibradas las ecuaciones se procedió a aplicar las ecuaciones (2) y (3) en la base de datos de las alturas de las nubes de ceniza. Considerando además el factor de corrección de 17.64, el cual se aplica a todos los periodos de pendiente similar a lo calculado por Ruiz et al. 2004 (no publicado) para Agosto de 2001.

Con los datos recolectados se pudo cuantificar un volumen de material sólido emitido de 4'100.000 m³ de ceniza equivalente a un VEI = 2, que fue emitido a un caudal de 4,3 m³/seg., con una altura promedio en las columnas eruptivas de 9400 metros sobre el nivel del mar. Por otro lado se puede decir que el volumen acumulado de ceniza emitido por el volcán Tungurahua desde 1999 hasta el 30 de Abril de 2011 es de 110'000.000 m³ (Fig. 25)

5.4.3.- Balanzas Electrónicas:

Como se mencionó anteriormente, desde el 24 de Abril de 2011 se instaló 7 balanzas electrónicas, las cuales nos permitirán un mayor control y en tiempo cuasi real de la tasa de caída de ceniza. Las balanzas instaladas son:

- Choglontús (24 de Abril)
- ✓ Observatorio del Volcán Tungurahua (26 de Abril)
- ✓ Juive (26 de Abril)
- ✓ Pillate (26 de Abril)
- ✓ Palictahua (28 de Abril)
- ✓ Cahuají (28 de Abril)

Estos instrumentos cuantifican la cantidad de ceniza en unidades de masa, área y tiempo (gr/m²/día), en donde una equivalencia de 1000 gr/m² o 1 kg/m² corresponde a 1 mm de

espesor acumulado. Con estos datos se puede indicar el nivel de afectación a cada población:

- $< 100 \text{ g/m}^2$ ($< 0.1 \text{ mm}$): afectación mínima a las personas, del ganado y de las cosechas.
- $100 \text{ y } 1000 \text{ g/m}^2$ ($0.1 \text{ a } 1 \text{ mm}$) afectación moderada de las personas (irritación de los ojos, problemas para las personas con dificultades respiratorias), contaminación mínima de los pozos de agua, afectación moderada del ganado y de las cosechas.
- Entre $1000 \text{ y } 10000 \text{ g/m}^2$ ($1 \text{ a } 10 \text{ kg/m}^2$ ó $1 \text{ a } 10 \text{ mm}$) afectación importante de las personas, contaminación de los pozos de agua, el ganado empieza a enfermarse, las cosechas se dañan.
- Entre $10 \text{ y } 100 \text{ kg/m}^2$ ($10 \text{ a } 100 \text{ mm}$) afectación mayor a todas las personas, el ganado puede morir si come el pasto, las cosechas se dañan irremediablemente.
- 100 kg/m^2 ($> 100 \text{ mm}$ o 10 cm) posible colapso de los techos y daño importante a las personas, zona afectada por varias semanas a meses.

Con los datos recolectado por las balanzas electrónicas se cuantificó un volumen acumulado de ceniza entre 2 – 3, 6 millones de metros cúbicos, los cuales han afectado en los alrededores del volcán de la siguiente manera (Fig. 25 y Fig. 26):

- Afectación mínima ($< 100 \text{ gr/m}^2$ ó 0.1 mm) en el OVT
- Afectación moderada ($100 \text{ a } 1000 \text{ gr/m}^2$ ó $0.1 \text{ a } 1 \text{ mm}$) en los sectores de Juive y Palictahua.
- Afectación importante ($1000 \text{ a } 10000 \text{ gr/m}^2$ ó $1 \text{ a } 10 \text{ mm}$) en los sectores de Pillate, Choglontús, Runtún y Cahuají (Fig. 27 y Fig. 28).

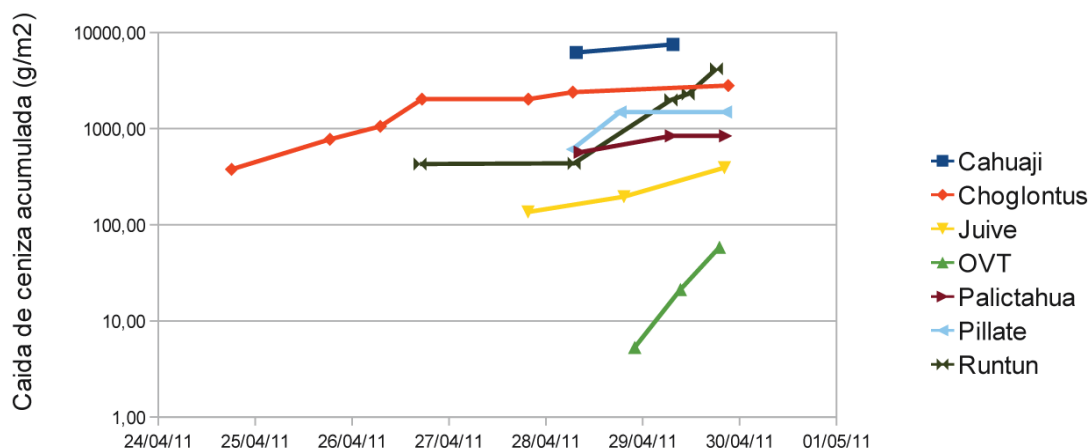


Figura 25. Caída de ceniza acumulada registrada por las balanzas electrónicas durante este periodo de actividad del volcán Tungurahua.

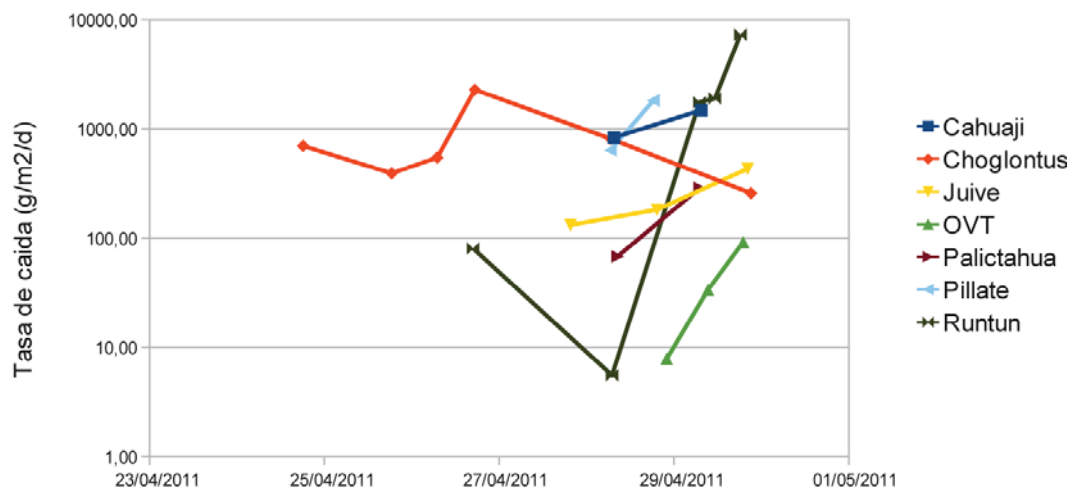


Figura 26. Tasa de caída diaria registrada por las balanzas electrónicas durante este periodo de actividad del volcán Tungurahua.



Fig. 27: Afectación en la vegetación por la caída de ceniza en el sector de Choglontús al WSW del volcán (Foto: P. Ramón, IG-EPN).



Fig. 28: Ceniza en el ambiente observada desde la estación multiparamétrica de Pillate al WNW del volcán (Foto: S. Hidalgo, IG-EPN).

5.5.- Referencias:

- Bustillos, J., 2010. Transición del estilo eruptivo durante las erupciones andesíticas en sistema abierto: Contribución al estudio de los depósitos de ceniza del volcán Tungurahua. Tesis de Master 2, Universidad de Nice Sophia Antipolis, Francia, 48 pp.
- Carey, S., Bursik, M., 2000. Volcanic Plumes. Encyclopedia of Volcanoes.
- Pyle, D. 1989. The thickness, volumen and grainsize of tephra fall deposits. Bull. Volcanol., v. 55, pp 523-535.
- RUIZ, G., LE PENNEC, J-L., PALACIOS, E., HALL, M. L., YEPES, H., 2004 no publicado. Cálculo Indirecto del Volumen de Material Emitido por el Volcán Tungurahua 1999-2004.



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

- SPARKS, R. S. J., BURSIK, M., CAREY, S. N., GILBERT., GLAZE, L. S., SIGURDSSON, H., WOODS, A., 2000. Volcanic Plumes. Jhon Wiley & Sons LTD. New York.

Lahares del volcán Tungurahua durante Abril de 2011

El nuevo ciclo eruptivo que inició el miércoles 20 de Abril, generó una importante cantidad de material piroclástico ($2-3,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ de ceniza hasta el 02 de mayo, según las estimaciones de B. Bernard) fue depositado en zonas altas y medias del cono del Tungurahua. De esta manera, existe un volumen importante de material depositado que puede combinarse con las lluvias de la región y generar lahares por las quebradas del volcán.

Durante este mes las condiciones meteorológicas fueron mayormente desfavorables, donde se presentaron muchos días nublados, con pocas horas de buen clima. Algunos días se presentaron lluvias de diferente intensidad sobre el volcán, y generaron lahares y flujos de agua lodosa, principalmente por las quebradas occidentales.

A continuación se resume los principales eventos, en base a los informes semanales del OVT:

Miércoles 06

Durante la semana se registraron lluvias de intensidad moderada, pero continuas, especialmente la noche del martes y madrugada del miércoles. Los lahares ocurrieron en las primeras horas del miércoles, los mismos que bloquearon el paso en la vía Penipe-Baños, en las quebradas, Pingullo, Achupashal, Pirámide, Romero y Chontapamba.

Aproximadamente a las 20:00 (TL) del martes empieza a llover moderadamente sobre el volcán. Las lluvias continuaron hasta las 13:00 (TL) del siguiente miércoles, alcanzando un total de 49mm de lluvia acumulada en el pluviómetro de Pondoá.

En las quebradas Mapayacu, Bilbao y en La Pampa solamente descendieron flujos de agua lodosa, según se observó en los instrumentos AFM, además ningún vigía de estos sectores reportó el descenso de algún lahar. Sin embargo, pequeños lahares ocurrieron en las quebradas del flanco occidental. En la quebrada Pingullo el flujo de escombros arrastró bloques de 25 cm de diámetro; en la quebrada Romero se observó bloques de 40 cm de tamaño, y se tuvo reportes de lahares en las quebradas Achupashal y La Pirámide. A causa de estos flujos se cerró temporalmente la vía entre Baños y Penipe, sin víctimas que lamentar.

Miércoles 13

Desde las 00:30 (TL) ocurrieron lluvias de moderada y alta intensidad sobre el volcán y permanecieron hasta las 10:00 (TL). Las lluvias generaron flujos de agua lodosa por la mayoría de quebradas, sin embargo los instrumentos AFM de Pondoá y Bilbao registraron el descenso de pequeños flujos de escombros por las quebradas La Pampa y Bilbao durante este período de tiempo (Fig. 29).

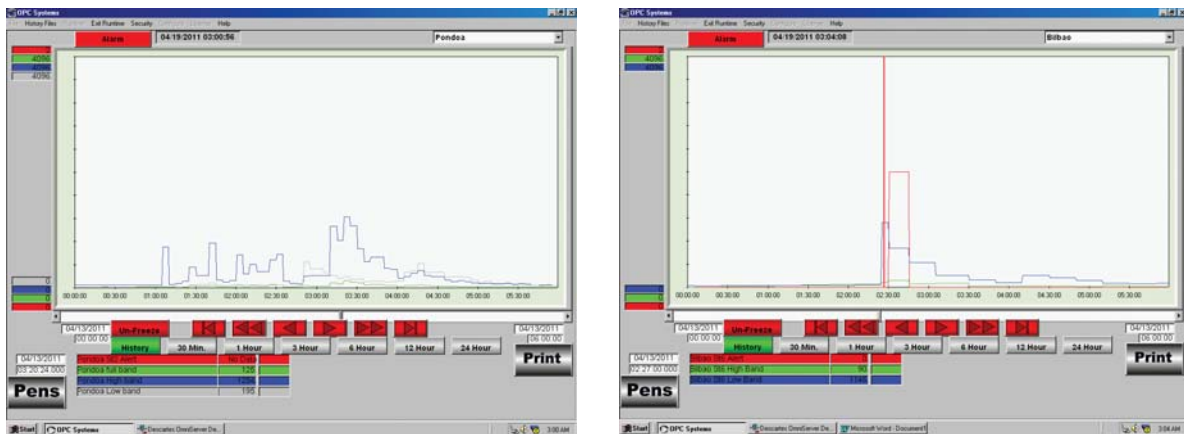


Figura 29. Registro gráfico de las estaciones laháricas de Pondoá y Bilbao. Se observa señales de flujos que descendieron el miércoles 13 entre las 06:00 y las 10:00

Estas lluvias también generaron lahares en la quebrada Mapayacu, cuya fase sólida contenía rocas de hasta 50 cm de diámetro, y crecidas de agua lodosa por las quebradas El Tambo y Bramadero, según el reporte del vigía de la zona.

A las 17h30 (TL) se recibió un reporte desde la radio “La Voz del Santuario” acerca de ruidos fuertes que fueron escuchados por los pobladores de la zona baja del río Vazcún, al parecer estos ruidos provienen de la cabecera de este río. Los pobladores comentan que probablemente está bajando algún flujo. La estación AFM del río Vazcún está fuera de servicio. A las 18h00 (TL) acude al sector el personal del Cuerpo de Bomberos de Baños y reportan al OVT que el río Vazcún incrementó su caudal y arrastra bastante material fino junto con troncos de árboles y rocas de 50 cm de diámetro. Al mismo tiempo se observan señales sísmicas asociadas a este evento en la estación BRun, y conjuntamente las estaciones BULb y AFM-Pondoá empezaron a registrar descensos de flujos (Fig. 30).

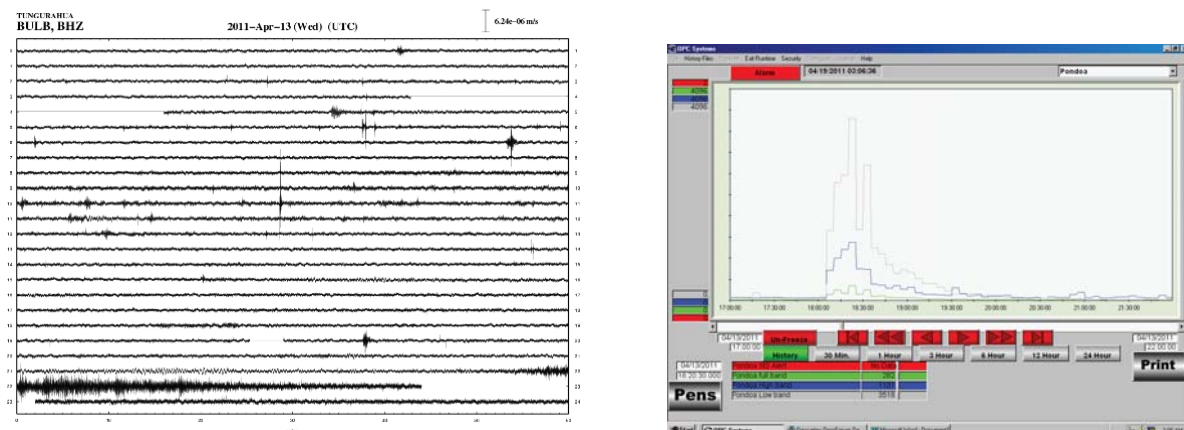


Figura 30. Registros gráficos de las estaciones sísmica BB Ulba y lahárica de Pondoá asociados.



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

Según reportes del vigía de Juive Chico y personal de la SGR-Baños, el flujo que descendió por la quebrada La Pampa acarreó bloques cuyos tamaños máximos oscilaban entre 40 y 50 cm. El AFM de Pondoá registró un pico máximo en los canales LB=3518, HB=1131 y FB=282.

Viernes 15

El vigía de Bilbao reportó el descenso de un lahar grande junto a la quebrada Romero (Q. Ingapirca?). No dio más detalles de este evento, el mismo que estuvo relacionado a lluvias generadas tres horas antes (~16h00, TL).

Martes 19

Aproximadamente a las 19h00 (TL) empezó a precipitar una lluvia muy intensa sobre la parte alta del volcán. La mayoría de vigías comentaron que las lluvias alcanzaron el nivel 1. Solamente la estación AFM-Pondoá registró descensos de lahares aproximadamente durante cuatro horas, con valores máximos de: HB=2412, LB=143, FB=171 (Fig. 31). Adicionalmente el AFM-Mapayacu registró pequeños flujos de lodo o agua lodosa con valores máximos de HB=218, LB=80, FB=36.

Personal del IG-Quito estuvieron trabajando en la estación AFM-Vazcún durante la tarde, pero al intentar regresar observaron que el río erosionó parte de la margen izquierda, la misma que conformaba el camino hacia Baños y no pudieron cruzar el río con el carro del OVT.

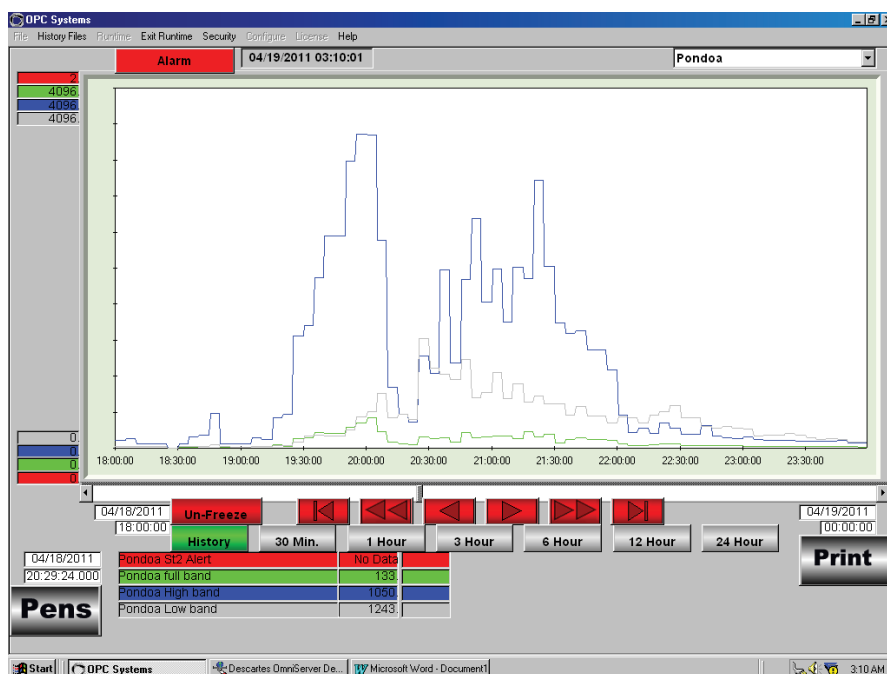


Figura 31. Registro gráfico de la estación AFM-Pondoá el cual muestra descensos de lahares por la quebrada La Pampa.



INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

6. Conclusiones

En el mes de Abril, se observó un cambio importante de la actividad volcánica hacia un episodio de mayor actividad. La sismicidad total resultó en 32 eventos sísmicos del tipo LP y VT., adicionalmente se registró 53 explosiones y 127 señales sísmicas asociadas a emisiones de ceniza. De esta manera, el volcán se encuentra en un episodio de mayor actividad del tipo estromboliano. El flujo diario de SO_2 tuvo en promedio un valor de 1582 t/d., y el valor estimado de emisión de SO_2 en la atmósfera alcanza un valor de 47462 t de SO_2 , que representa cuatro veces de lo registrado en Marzo, 11258 toneladas. El nuevo episodio de mayor actividad generó nubes de ceniza con variables contenidos de ceniza que fueron llevadas en todas las direcciones. Las caídas de ceniza afectaron en gran manera a las comunidades asentadas en los flancos y en las cercanías del volcán; también afectaron a las ciudades de Riobamba, Ambato, Latacunga y Puyo.

Al mismo tiempo, la red de inclinómetros indicó un proceso inflacionario, especialmente en las estaciones de RETU y BILBAO, mientras que la estación de PONDOA indicó una mayor variabilidad en los dos ejes. En este sentido, las tendencias inflacionarias de RETU y BILBAO así como la ocurrencia de los sismos VT indicarían un reajuste de las presiones internas de la cámara, que posiblemente esté asociada a una intrusión sineruptiva y poco profunda, con un posible dique localizado en la parte superior del edificio volcánico en las cercanías de la estación RETU. Las condiciones climáticas fueron poco favorables para tener avistamientos completos del volcán, aunque en muy pocas ocasiones se observó al volcán despejado. Las lluvias ocurridas generaron crecidas de agua y lahares por las quebradas del volcán, principalmente en el sector occidental del Tungurahua y obstruyeron la vía Baños - Penipe.

Posiblemente el nuevo episodio de mayor actividad, iniciado a mediados de Abril, está relacionado estrechamente con los procesos inflacionarios y los sismos VT registrados desde finales de Enero de 2011.

Grupo de sismología

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

Grupo de vulcanología

Gorki Ruiz gruiz@igepn.edu.ec
Jorge Bustillos jbustillos@igepn.edu.ec
Jorge Ordóñez jordonez@igepn.edu.ec
Francisco Herrera fherrera@igepn.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 Mayo de 2011 – Quito/gr