

RESUMEN ANUAL DE LA ACTIVIDAD DEL VOLCAN TUNGURAHUA. AÑO 2004



1. <u>RESUMEN DE LA ACTIVIDAD DEL VOLCAN DURANTE EL AÑO 2004</u>	2
2. <u>RESUMEN DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA DURANTE EL AÑO 2004</u>	3
3. <u>RASGOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD DEL TUNGURAHUA DURANTE EL 2004</u>	8
4. <u>LA ACTIVIDAD DEL 2004 DIVIDIDA EN 6 INTRUSIONES MAGMÁTICAS PRINCIPALES</u>	9
5. <u>LA DISPERSION DE CENIZAS</u>	15
6. <u>SÍNTESIS DE LA DEFORMACIÓN</u>	16
7. <u>SÍNTESIS GEOQUÍMICA</u>	16
8. <u>SINTESIS TERMICA</u>	20
9. <u>SÍNTESIS DE LAHARES</u>	24
10. <u>HACIA EL FUTURO</u>	27

RESUMEN DE LA ACTIVIDAD DEL VOLCÁN TUNGURAHUA DURANTE EL AÑO 2004

INTRODUCCIÓN

Durante el presente año, el Volcán Tungurahua ha presentado dos ciclos inusuales de actividad debido a sus duraciones, actividad previa y manifestaciones. La ocurrencia de sismos volcano-tectónicos previos y durante dichos ciclos ha sido la característica principal.

Durante los años anteriores el volcán experimentó periodos de actividad en los que el volcán comenzaba sus ciclos con una actividad previa que aparecía muy restringida en el tiempo y con un importante número de eventos. Poco a poco, principalmente desde junio del 2002, se registraron menos eventos precursores y casi de manera imperceptible ocurrió el ingreso de pequeños volúmenes de magma que perturbaron de manera rápida y por mucho tiempo el sistema, posiblemente debido al desarrollo de una actividad magmática a nivel del conducto. Se piensa que éste último proceso sucede como respuesta de pequeños volúmenes de magma que ascienden por un sistema que aún se encuentra muy caliente y sensible a pequeños incrementos de actividad, lo cual dificulta la identificación de un patrón tan definido como el que se observaba entre 1999 y mediados del 2002.

Este año continuó presentándose un elemento adicional, y fue la ocurrencia de sismos localizados en la zona de Pisayambo, a 35 km al norte del volcán, los mismos que pudieron haber influenciado la actividad volcánica en una ocasión.

Durante el proceso de ascenso de gases y magma hacia la superficie, fue posible identificar nuevamente un patrón que ha sido característico en épocas anteriores.

Este patrón se refiere a grandes rasgos de la siguiente manera:

1. Ocurrencia de eventos volcano-tectónicos profundos y distales.
2. Aparición de un muy bajo número de eventos pertenecientes al enjambre-LP cuyos eventos individuales presentan frecuencias que oscilan alrededor de 4.5, 6 y 7 Hz. Este enjambre es indicador de movimientos de fluidos directamente relacionados con el sistema de alimentación magmática.
3. Ocurrencia de eventos LP principalmente notables en la estación de JUIV5
4. Un incremento importante en la actividad tremórica y explosiva.
5. Aparición de tremor armónico.
6. Progresiva intensificación de sonidos similares a bramidos.
7. Generación de ondas expansivas (que hacen vibrar los vidrios de las ventanas) que acompañan tanto a bramidos como explosiones.
8. Un incremento en la actividad de largo periodo ya no como enjambre propiamente dicho sino más bien como eventos de largo periodo

esporádicos y no constreñidos temporalmente. Esta actividad incluye tantos eventos del enjambre-Lp que suele anteceder toda esta actividad así como eventos cuyas frecuencias se encuentran alrededor de 1.5 y 2 Hz.

9. La ocurrencia de sismos de Pisayambo, con magnitudes alrededor de 4.5, que pueden estar ejerciendo un esfuerzo adicional a un sistema volcánico no perturbado o perturbado.

RESUMEN DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA DURANTE EL AÑO 2004

Durante el presente año, fue posible observar dos episodios de actividad, el primero de ellos fue intenso y tuvo una larga duración siendo la actividad más energética del año desde de Abril hasta mediados de Julio, y el segundo ciclo tuvo una inusitada duración en cuanto a su actividad precursora (desde Septiembre hasta Diciembre) pero pocas manifestaciones superficiales.

A continuación se detallan los principales acontecimientos ocurridos mes a mes (en cursiva se señalan los meses en que se considera que hubo intrusión magmática):

ENERO:

La actividad fue bastante baja. La poca actividad explosiva y estromboliana que se registró se infiere que puede ser relacionada con un remanente de gases dejado por la inyección ocurrida en el mes de Diciembre de 2003. Dicho remanente de gases fue evidenciado mediante la ocurrencia de explosiones cuyas localizaciones se muestran en la figura 1-a.

FEBRERO:

La actividad permaneció en niveles bajos y aparentemente el conducto del volcán estuvo abierto debido a la continua emisión de gases y vapor de agua. En la figura 1-a se puede observar las localizaciones de los eventos registrados en este mes.

MARZO:

La actividad permaneció en niveles similares a los reportados en el mes anterior. En síntesis, los bajos niveles de sismicidad muestran que el sistema permanece abierto y que el magma debe estar parcialmente desgasificado. Probablemente pequeños ascensos de gases pueden alcanzar las capas superficiales del volcán y perturbarlo por cortos periodos como fue lo ocurrido a fines de marzo (ver localizaciones de dicha actividad en la figura 1-b). En la última semana del mes se presentaron los denominados eventos "LP de Juive" (no localizables) y un sismo de magnitud 5.1 en la zona de Pisayambo.

ABRIL:

Desde mediados del mes de Abril de 2004, la sismicidad VT (dos de ellos de magnitud 3 y sentidos en OVT) ubicada en cercanías del Valle del Patate se incrementó notablemente (ver figura 1-b). Las manifestaciones superficiales del volcán fueron de moderada intensidad después de mediados del mes cuando se piensa que el conducto del volcán estuvo aparentemente abierto. El sismo

de Pisayambo, del 15 de Abril, de magnitud 4.7, pudo haber afectado o más bien propiciado un incremento en la actividad tremórica del volcán pero no en su actividad explosiva como fue lo acontecido en septiembre del 2003; probablemente esto fue debido a la baja presurización al interior del conducto. Se piensa que los sismos VT del 20 de Abril (cada uno de magnitud 3) pudieron haber “contribuido” a una mayor intensificación en la actividad del volcán caracterizada por la ocurrencia de emisiones y explosiones que fueron localizadas alrededor de 3 km bajo la cumbre (figura 1-b).

MAYO:

Las manifestaciones superficiales tuvieron un incremento escalonado de explosiones durante todo el mes de mayo, sin embargo en la mayoría de casos fueron de tamaños pequeños y se localizaron entre 1 y 3 km de profundidad (figura 1-c). Igualmente se registraron enjambres-LP cuyos eventos presentaron frecuencias dominantes de 1.5, 1.6 y 2 Hz. Las columnas de vapor fueron mayormente blancas y sin mucha energía. Sin embargo en el fin del mes de mayo, parece que el caudal de gases fue mayor, lo mismo que fue evidenciado por lapsos energéticos de tremor (algunos de ellos de carácter armónico) acompañados por fuentes de lava.

JUNIO:

Las explosiones y emisiones, localizadas entre 1 y 3 km bajo la cumbre (figura 1-c), tuvieron un incremento tanto en número como energía desde la segunda semana del mes de Junio, lo cual estuvo acorde con la intensidad con que las explosiones fueron escuchadas y sentidas alrededor del volcán. Las columnas de vapor/ceniza expulsadas por el cráter, resultaron predominantemente blancas y sin mucha energía, especialmente en la última semana.

JULIO:

Se cree que el conducto del volcán estaba caliente y abierto, y pudo continuar respondiendo a una pequeña inyección de magma de fines de Abril, además de pequeños volúmenes de magma que pudieron haber ascendido y perturbado de manera más intensa la actividad superficial del volcán. La sismicidad se caracterizó por un gran número de eventos tipo explosión, emisión y LP cuyas frecuencias de eventos individuales fueron de 1.7, 1.88 y 2 Hz. Los eventos se localizaron desde unos pocos metros hasta alrededor de 3 km bajo la cumbre (figura 1-d), reflejando un incremento notable en número y energía hasta mediados del mes.

AGOSTO:

La actividad superficial del volcán registró un apreciable descenso, aunque no dejaron de registrarse algunas perturbaciones (emisiones y/o explosiones) de manera eventual, las mismas que tuvieron hipocentros más profundos (figura 1-d). Se registraron unos pocos eventos denominados “LP de Juive”.

SEPTIEMBRE:

Los parámetros sísmicos y visuales tuvieron un nivel bajo, aunque se observó ocasionalmente actividad estromboliana. La actividad LP y explosiva se concentró en profundidades alrededor de 3 km bajo la cumbre (figura 1-e). Se detectó una intensificación en la actividad volcano-tectónica (de carácter

profundo y distal), la misma que indicaría una nueva inyección de fluidos magmáticos.

OCTUBRE:

La actividad superficial disminuyó tanto en energía y número de eventos, y se ubicó entre 1 y 3 km de profundidad (figura 1-e). En contraste, la actividad volcano-tectónica de carácter profundo y distal continuó incrementándose.

NOVIEMBRE:

El volcán mostró un ligero incremento de la actividad con respecto al mes anterior. Este incremento consistió en un casi continuo flujo de gases, mayor número de explosiones ubicadas entre 1 y 3 km bajo la cumbre, la ocurrencia de sismos volcano-tectónicos profundos y distales, la mayor parte ubicados en el Valle del Patate (figura 1-f) y dos de ellos con magnitudes catalogadas como grandes de 3.6 y 4.1.

DICIEMBRE:

La actividad ha sido baja a moderada y se cree que el volcán permaneció con un conducto abierto (pocos eventos explosivos y alto número de emisiones). Los posibles ingresos de magma que pudieron haber ocurrido entre Octubre y Diciembre se consideran de pequeños volúmenes, lo cual sumado a un “conducto abierto” dio como resultado una actividad considerada en general como poco energética en el presente mes. Aún continuaron registrándose eventos VT en el Valle del Patate (figura 1-f).

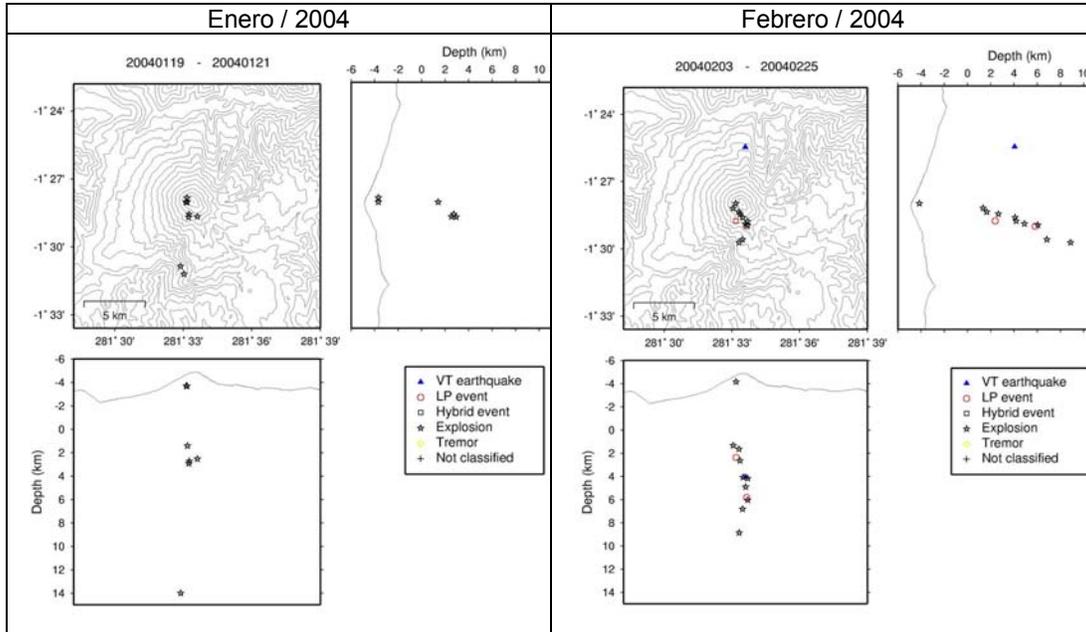


Figura 1-a. Localización de eventos volcánicos en Enero y Febrero. Nótese la gran dispersión en los hipocentros debido a la falta de lecturas de fases sísmicas en las estaciones AREV y RETU.

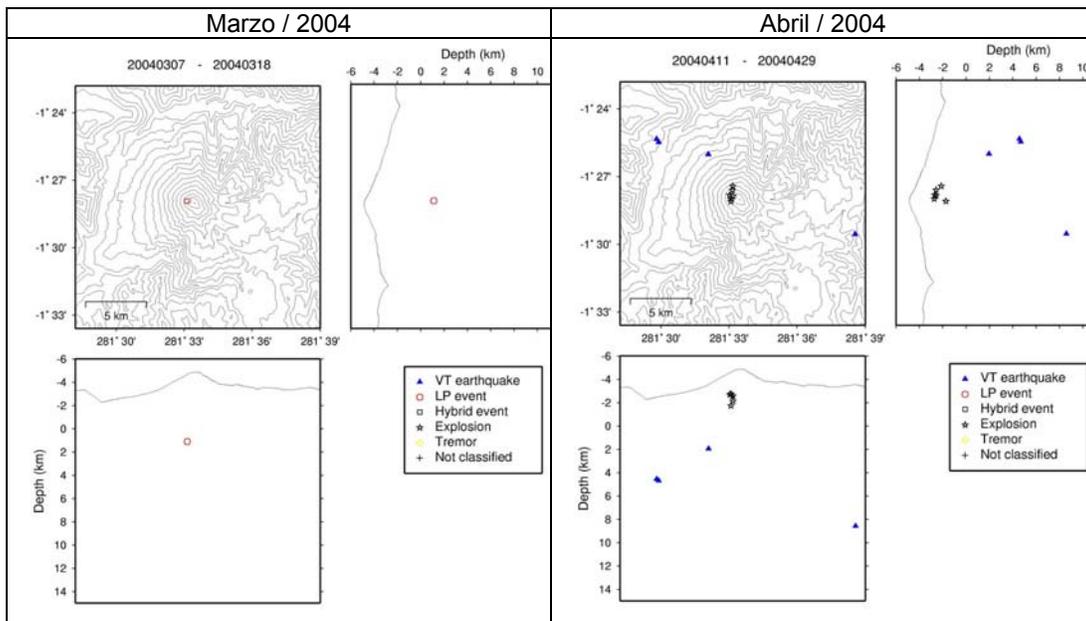


Figura 1-b. Localización de eventos volcánicos en Marzo (Nótese la gran dispersión en los hipocentros debido a la falta de lecturas de fases sísmicas en las estaciones AREV y RETU) y Abril.

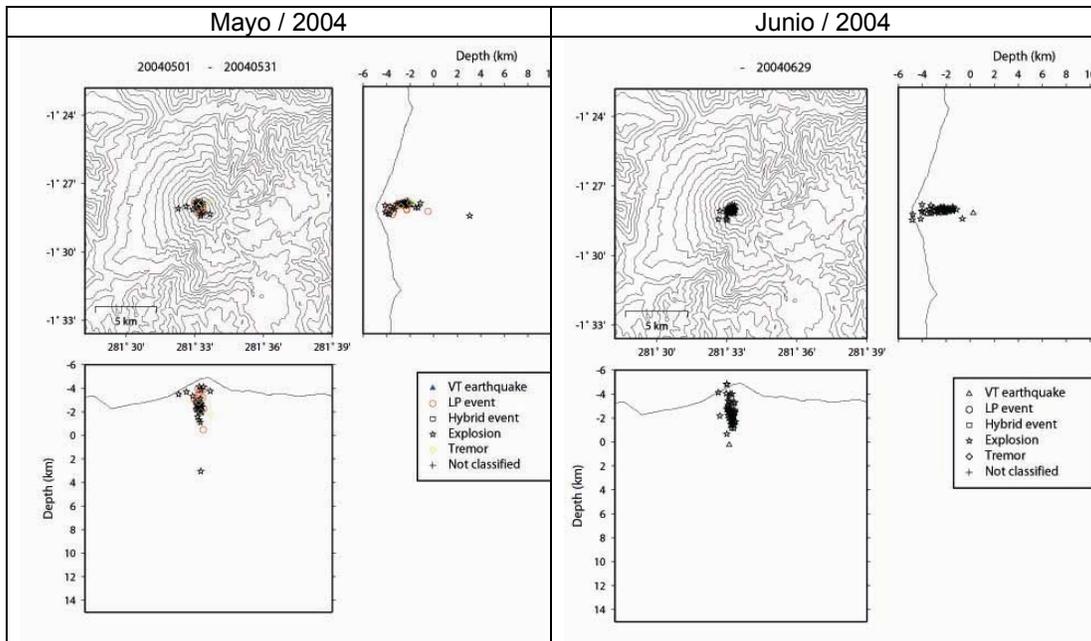


Figura 1-c. Localización de eventos volcánicos en Mayo y Junio

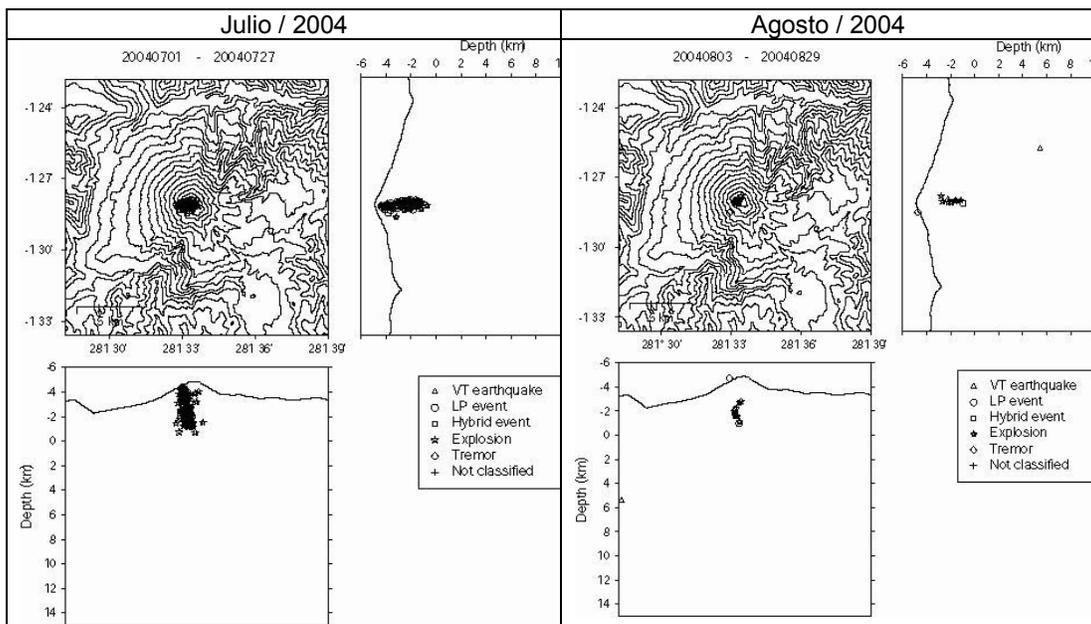
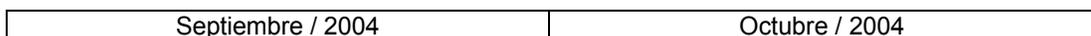


Figura 1-d. Localización de eventos volcánicos en Julio y Agosto



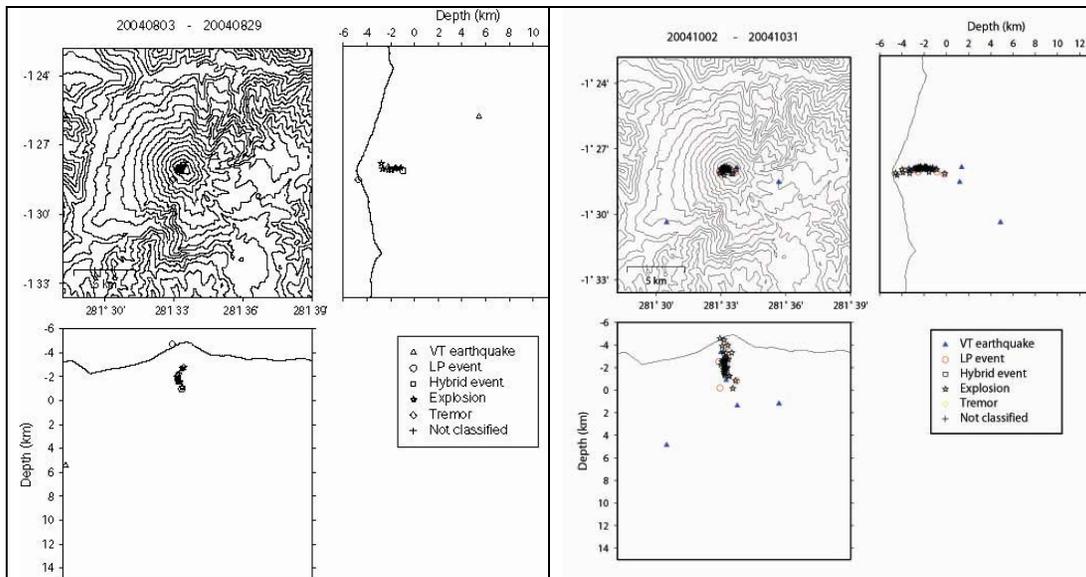


Figura 1-e. Localización de eventos volcánicos en Septiembre y Octubre

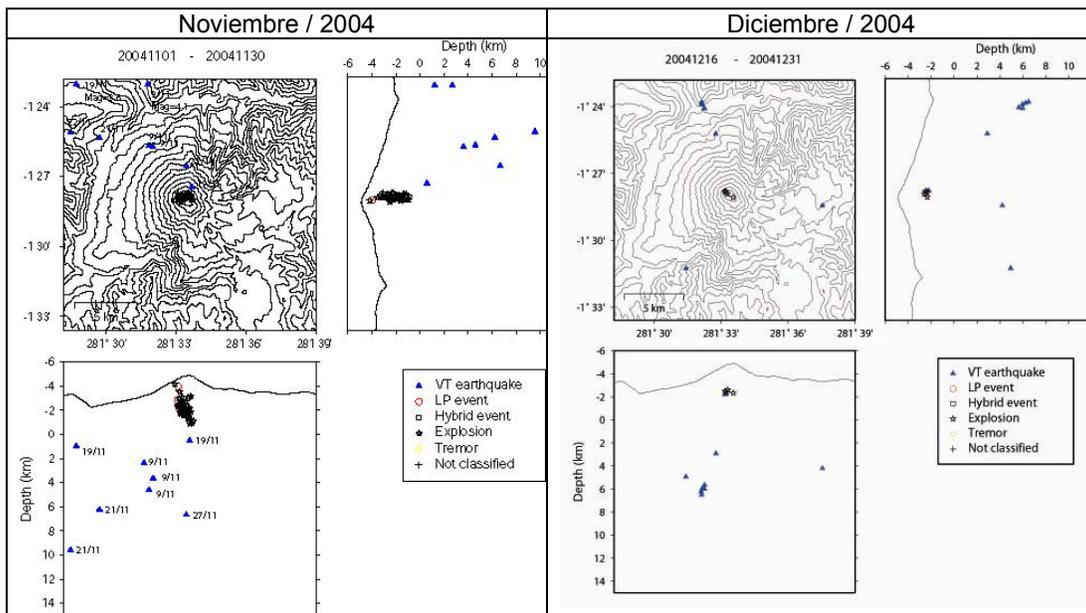


Figura 1-f. Localización de eventos volcánicos en Noviembre y Diciembre

RASGOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD DEL TUNGURAHUA DURANTE EL 2004

Durante este año los sismos de Pisayambo no tuvieron una relación directa (cercana en tiempo) y rápida como respuesta de un volcán que pudo haber

sido agitado por el movimiento tectónico procedente de esta zona. A pesar de la ocurrencia de 2 sismos con magnitudes alrededor de 5.0 el volcán permaneció con la actividad previa a diferencia de lo ocurrido en Agosto del año pasado.

Con las características actuales del conducto: más abierto, caliente y plástico se da lugar a que ante la ocurrencia de pocos eventos sísmicos propios del volcán, el volcán se vea afectado progresivamente en el escalonamiento de varios parámetros indicadores de una mayor actividad en el mismo. Tales son los casos que pudieron haber ocurrido en Julio y desde Septiembre a Diciembre del presente año. Estos periodos se caracterizaron principalmente por una alta ocurrencia de sismos VT que poco a poco parecen haber incidido en un aumento de la actividad del volcán. La ausencia de un enjambre-LP previo a un incremento de la actividad fue notoria y dos de estos enjambres ocurrieron en Mayo y Julio sin detectar una clara ocurrencia del aumento de la actividad posterior a los mismos.

Se notó que de Septiembre a Diciembre la actividad fue casi constante entrando en una etapa de menos actividad en Diciembre. A pesar que la actividad volcano-tectónica se incrementó paulatinamente en dichas épocas, no se notó una fuerte transición entre un periodo de calma a un periodo en el que hayan ocurrido fuentes de lava o actividad estromboliana. Lo que se notó es que el flujo de gases era casi continuo con ciertas variaciones en determinados periodos, siendo el periodo de fines de Agosto a principios de Septiembre el de mayor calma en cuanto a dicha actividad se refiere. Se cree, entonces, que el volcán tenía una actividad principalmente de conducto abierto en estas épocas.

En cuanto a la cuantificación de energía, se estimó que el ciclo entre Abril y Julio de 2004 es de menor intensidad respecto al último episodio de mayor actividad ocurrido en Agosto de 2003. Es decir, a pesar de que las emisiones fueron prácticamente constantes durante todos los días del mes, la máxima liberación de energía fue casi 1.5 veces menor.

En cuanto a mediciones del espesor de ceniza depositado en los sectores de Cusúa y en el Cerro de Iqualata, se encontró capas de ceniza con espesores de alrededor de 2 mm.

Con las condiciones actuales del volcán, los pequeños volúmenes de magma que ingresan conllevan a que el presente proceso se prolongue siendo casi imperceptible el comienzo de un nuevo ciclo de mayor actividad. Sin embargo vale la pena recalcar que aún se continúan observando, aunque en muy bajo número y energía los siguientes elementos:

- Eventos de largo periodo (enjambres-LP con eventos individuales cuyas frecuencias dominantes son alrededor de 1.5, 2, 4 y 7 Hz).
- Incremento de la actividad tremórica

El elemento más frecuente antes de un nuevo ciclo de actividad fue:

- Eventos sísmicos volcano-tectónicos profundos y distales del cráter.

LA ACTIVIDAD DEL 2004 DIVIDIDA EN 6 INTRUSIONES MAGMÁTICAS PRINCIPALES

El seguimiento de los patrones sísmicos y visuales (eventos VT y LP, explosiones, actividad estromboliana y/o fuentes de lava) durante estos 5 años de actividad en el Tungurahua han permitido definir 6 intrusiones magmáticas o periodos de actividad durante los cuales se cree que hubo actividad magmática. Estos periodos se intensificaron en las siguientes fechas:

1. Los días 20, 21, 25 y 28 de **Abril**.
2. Las dos primeras semanas de **Julio**.
3. Entre el 23 y 29 de **Septiembre**.
4. Entre el 11 y 14 de **Octubre**.
5. Entre el 8 y 22 de **Noviembre**.
6. Entre el 20 y 30 de **Diciembre**.

En la figura 2, se señalan las intrusiones magmáticas presentadas en el 2004. Entre Septiembre y Diciembre hubo en promedio una intrusión magmática por mes. Estas intrusiones magmáticas no coincidieron con picos de actividad sísmica, pero lo que sí es notorio, es la aparición de eventos de todos los tipos (de largo periodo, volcano-tectónicos, explosiones y emisiones) con un número de eventos un poco mayor que el registrado en el años 2003.

La actividad tremórica fue un indicador esencial de la ocurrencia de intrusiones magmáticas (figura 3-a). Siempre se observaron que los picos de actividad tremórica estaban precedidos por cortos periodos de actividad sísmica relacionados con intrusiones magmáticas. Igualmente la aparición de estos signos indicadores de intrusiones se hicieron presentes incluso durante y un poco después de un ciclo de actividad tremórica. Asimismo los periodos de actividad tremórica estuvieron temporalmente cercanos con las caídas de ceniza reportadas (figura 3-b), sin embargo, para el periodo entre Septiembre y Diciembre no se notó una relación entre la intensidad de la actividad tremórica y los niveles de alerta de caída de ceniza. A pesar de que entre Octubre y Diciembre hubo un casi permanente nivel de alerta 2 (caída de ceniza no solamente en los flancos del volcán sino en varias poblaciones cercanas al mismo) la actividad tremórica fue muy baja. Probablemente este comportamiento es un indicio de un sistema abierto en el que la salida de gases y ceniza se hace sin causar una resonancia (vibración) tan intensa.

De manera general, se puede notar que entre Abril y Julio de 2004, la liberación de energía tremórica por día fue casi constante y con una tasa muy similar respecto a los episodios ocurridos de Septiembre a Diciembre de 2003 (figura 3-c). Desde fines de Julio a Diciembre de 2004 la liberación de energía se redujo a una cuarta parte de la que se liberó en el ciclo ocurrido entre Abril y Julio de 2004.

En la figura 4-a, se presenta la energía liberada (desplazamiento reducido (DR)) por cada explosión. Se puede observar básicamente 4 periodos de actividad. En el periodo de Abril a Junio se presentaron explosiones de todos

los tamaños (desde aproximadamente 1 hasta 18 cm²) con un crecimiento acentuado en sus energías hasta el fin del periodo. Luego hubo una leve disminución en la actividad hasta mediados de Julio y la posterior ocurrencia de explosiones cuyos DR variaron desde 1 hasta 7.5 cm². De Agosto a Septiembre aunque el número de eventos disminuyó, ocurrieron explosiones de todos los tamaños con una tendencia a decrecer en sus energías. De Octubre a Diciembre se incrementó el número de explosiones pero disminuyó la energía asociada a ellos.

Por otra parte, se observó que las explosiones grandes –por su tamaño– ocurren ocasionalmente al final de cada ciclo de actividad, como es lo que se observó después de Junio. Igualmente se observó cambios en la localización de las explosiones con eventos más superficiales y profundos al mismo tiempo (desde 1 hasta 3 km de profundidad en Junio (figura 1-c) y Julio (figura 1-d)) hasta eventos más profundos (concentrados entre 3 y 4 km de profundidad en Abril (figura 1-b), Agosto (figura 1-d), Septiembre (figura 1-e) y Diciembre (figura 1-f)). Estos cambios son comparables con los retardos entre la señal acústica y sísmica medidos en la estación de Patacocha (figura 4-b). Con respecto a los cambios tanto en la profundidad como en la energía de las explosiones, se piensa que ambos factores podrían jugar un papel importante para el entendimiento del proceso eruptivo en el Tungurahua. Así pues se sugiere que al inicio de un ciclo de actividad los “sellos” que puedan haberse formado previamente en el conducto se presurizan y de-presurizan de manera constante y el conducto se va abriendo poco a poco a medida que ocurren las explosiones. Luego poco a poco, a medida que se acerca el final de un ciclo de actividad, debido al escaso aporte de calor y/o energía, un nuevo sello se forma y por lo tanto la energía de las explosiones tiende a aumentar e igualmente sus focos tienden a profundizarse.

En la figura 5, se presenta la energía sísmica de Pisayambo comparada con la actividad explosiva y tremórica del Tungurahua. En el presente año no se observó la posible influencia que pueda ejercer los movimientos tectónicos (originados en la región de Pisayambo) sobre el volcán.

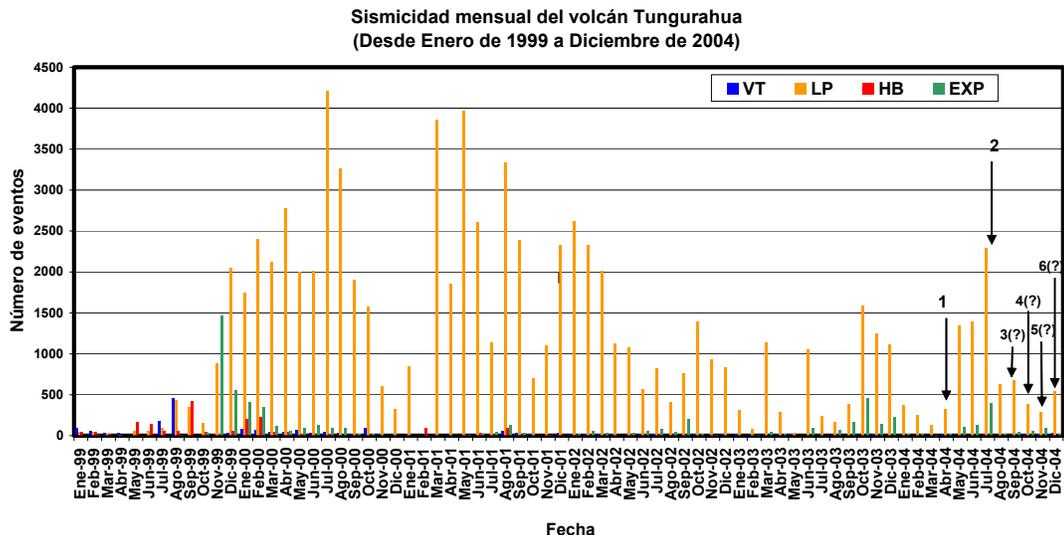


Figura 2. Número de sismos mensuales registrados en el Volcán Tungurahua. Los picos señalados con las flechas indican los periodos asociados con intrusión magmática.

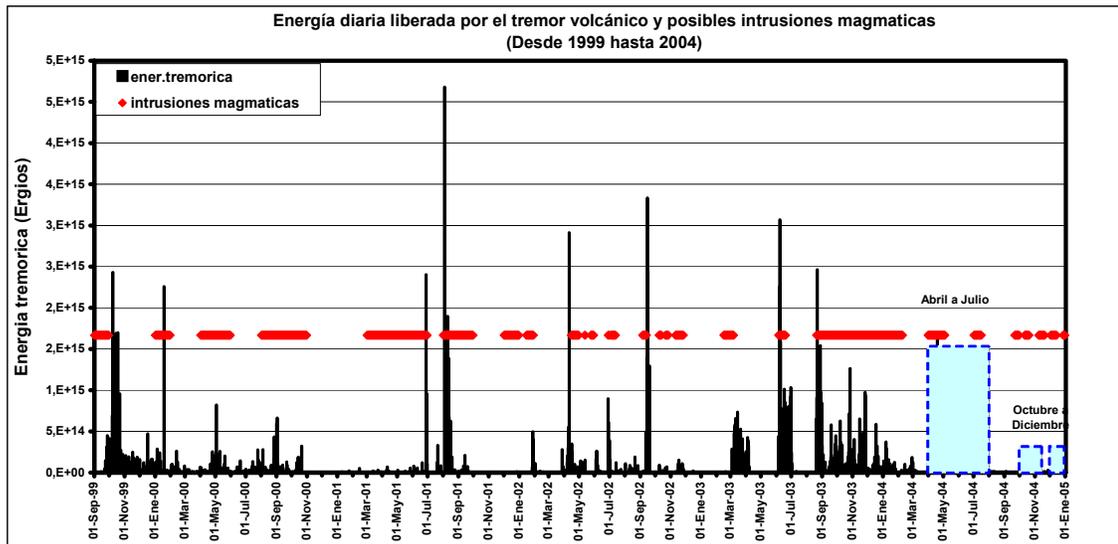


Figura 3-a. Energía liberada por el tremor volcánico relacionado a pequeñas emisiones de gas y/o ceniza (incluye el tremor armónico y el hidrotermal). Los diamantes rojos indican los días en que se considera que hubo una intrusión.

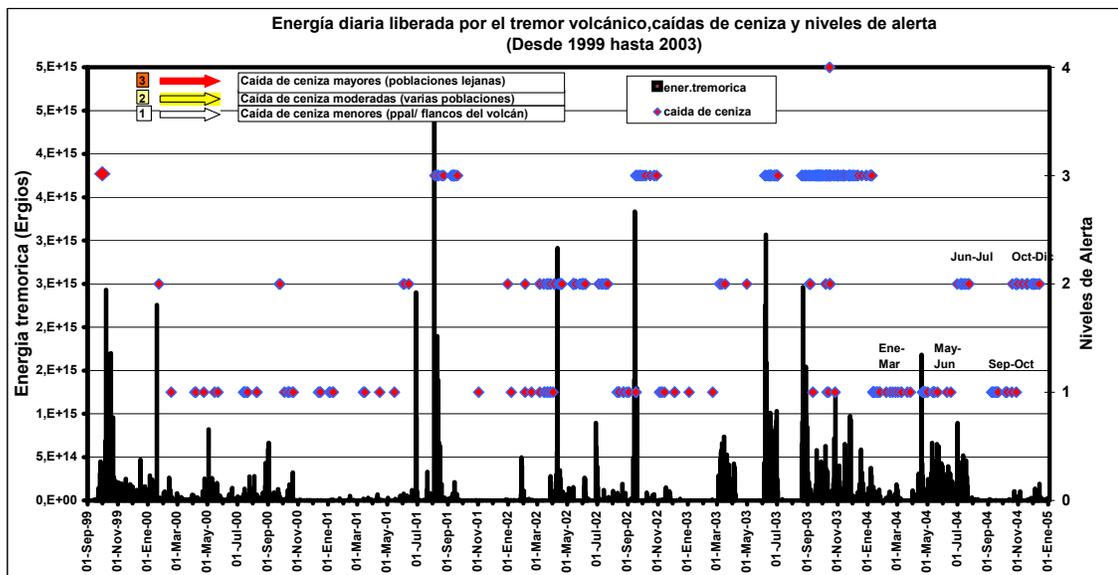


Figura 3-b. Energía liberada por el tremor volcánico relacionado con pequeñas emisiones de gas y/o ceniza (incluye el tremor armónico y el hidrotermal). Los diamantes indican los periodos en que se reportaron caídas de ceniza.

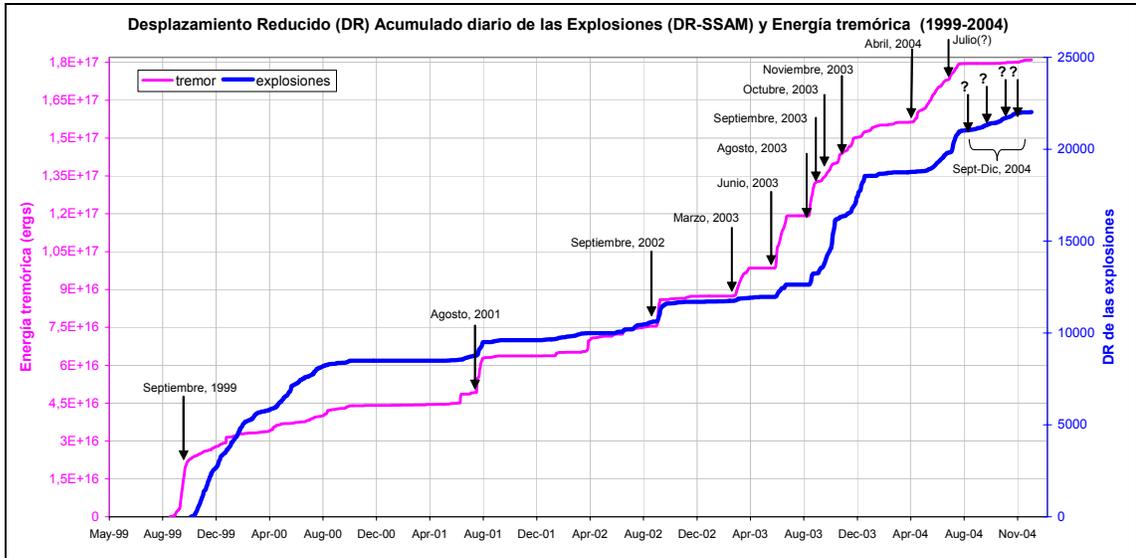


Figura 3-c. Energía acumulada por el tremor volcánico relacionado a pequeñas emisiones de gas y/o ceniza (incluye el tremor armónico y el hidrotermal). Las flechas indican los periodos en los que hubo mayor actividad tremórica.

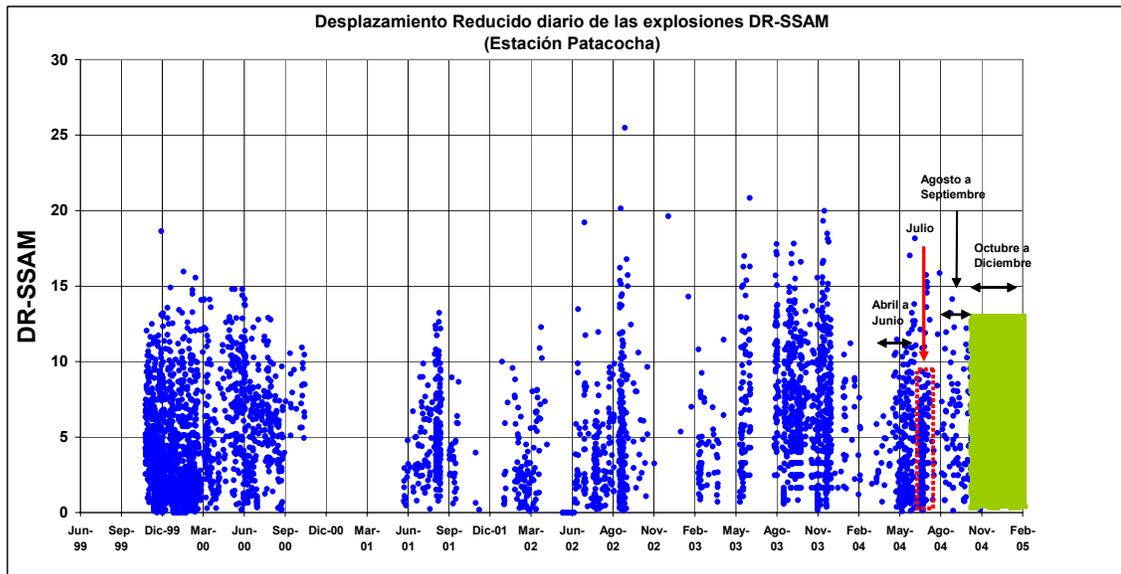


Figura 4-a. Desplazamientos reducidos calculados para cada explosión ocurrida en el Volcán Tungurahua desde 1999 hasta el 2004

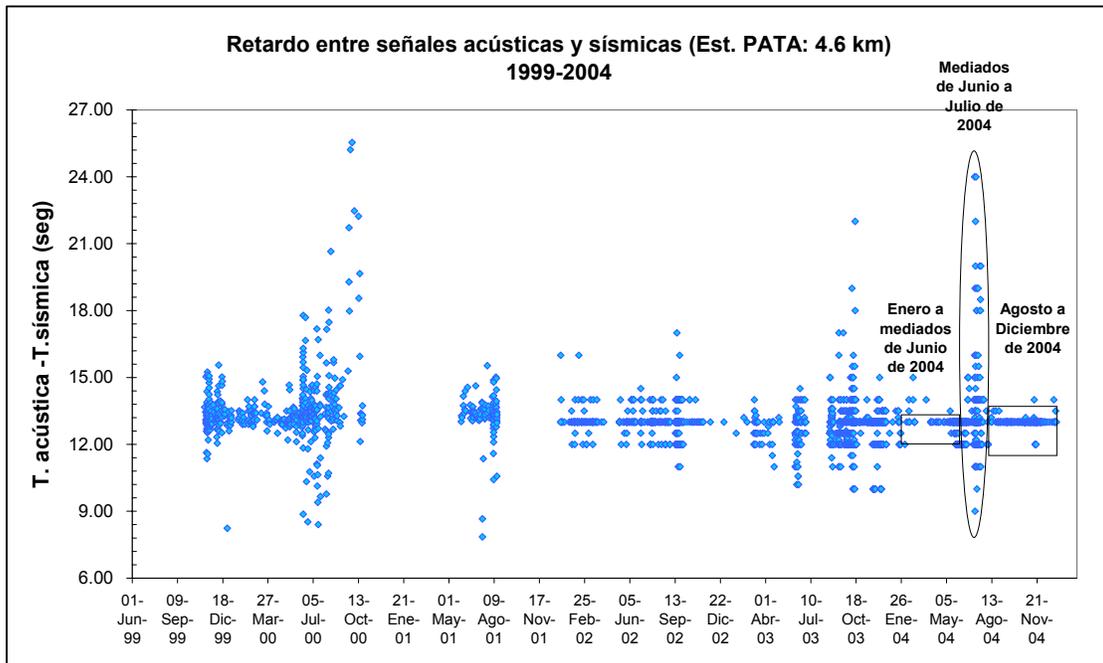
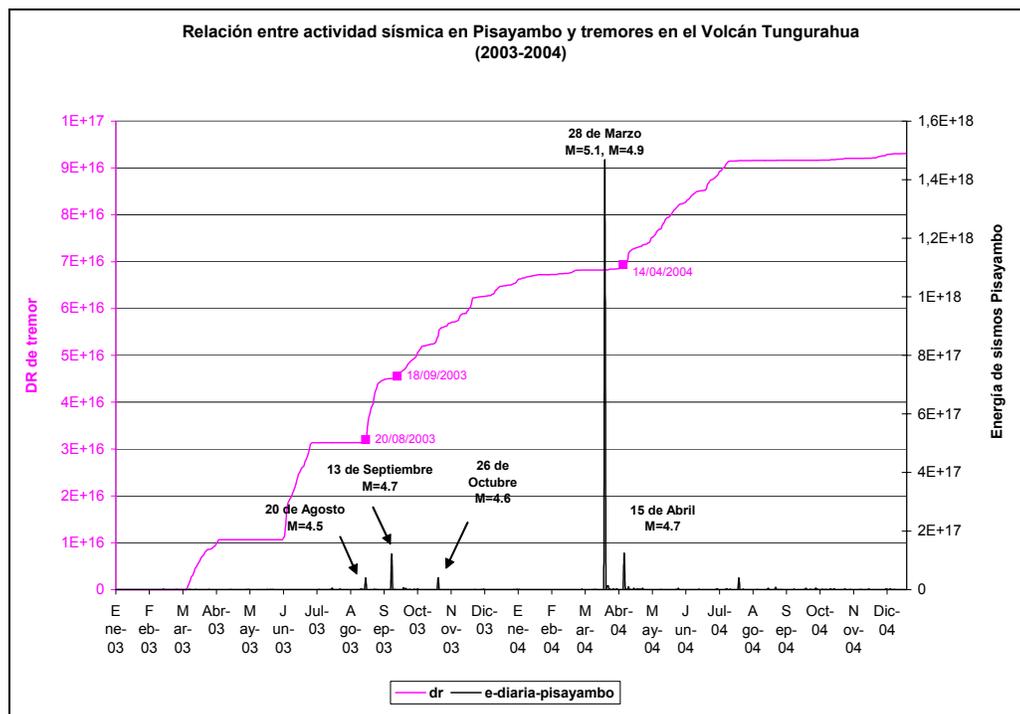


Figura 4-b. Diferencia en tiempo entre los arribos de la onda sísmica y acústica para cada explosión ocurrida en el Volcán Tungurahua desde 1999 hasta el 2004



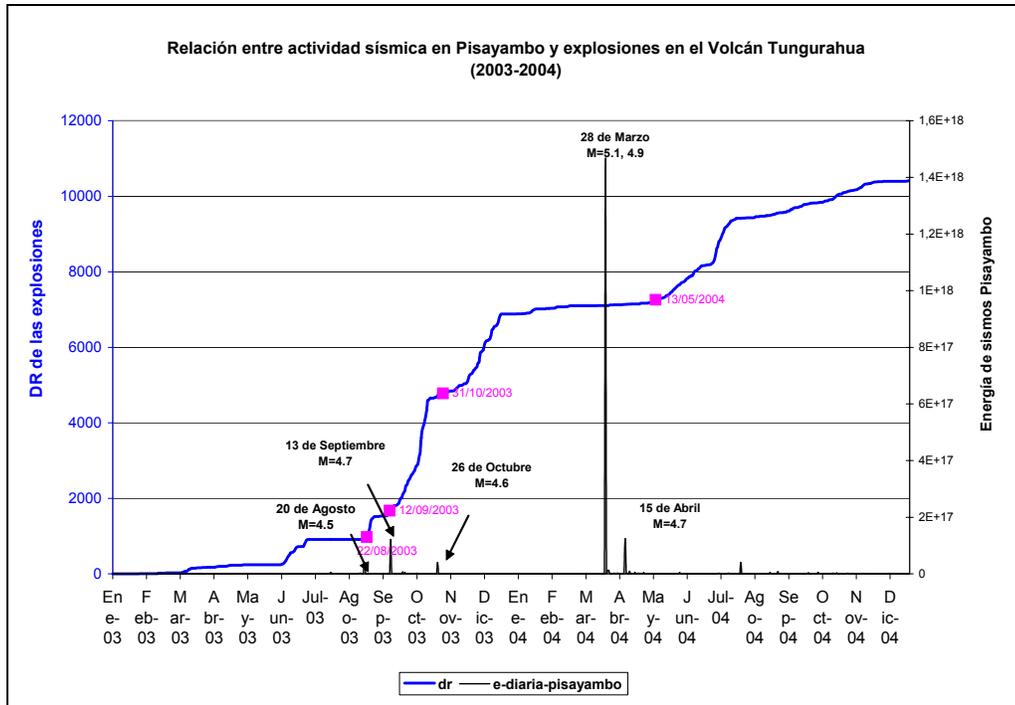


Figura 5. Desplazamientos reducidos acumulados para las explosiones del Volcán Tungurahua y energía sísmica liberada por el nido sísmico de Pisayambo durante el 2003. Con las flechas se señala los sismos de Pisayambo que se piensan afectaron la actividad del Tungurahua.

DISPERSION DE CENIZAS

Durante el año 2004 el satélite GOES de la NOAA /VAAC identificó 87 nubes de ceniza y gases asociadas a la actividad eruptiva del volcán Tungurahua. Los periodos de mayor actividad efusiva ocurrieron a principios del 2004 (Enero y Febrero) y en la mitad del 2004 (Junio a Julio).

El 29% de las nubes alcanzaron alturas entre 25000 y 32000 pies y se distribuyeron principalmente al Norte, Sureste y Suroeste (figura 6). La velocidad del aire circulante en las nubes osciló entre 10 y 20 nudos con rumbos generalmente NNE y SW respectivamente.

Mientras que el 71% de las nubes de ceniza alcanzaron alturas entre 18000 y 24000 pies y su distribución fue más amplia con respecto a aquellas nubes que alcanzaron mayor altura (>25000 pies), las nubes de menor altura fueron transportadas por el viento predominantemente hacia el SW del volcán y sus velocidades oscilaron entre 5 y 20 nudos. También se nota que cuando las corrientes de aire tuvieron velocidades de 20 nudos, las nubes de gases y ceniza tuvieron otros rumbos como al W, SW y NW, mientras que aquellas con menores velocidades (5-10 nudos) presentaron rumbos principalmente hacia el N y NEE del volcán (Figura 6).

Se reportaron caídas de ceniza únicamente en poblaciones cercanas al Volcán Tungurahua; entre las más importantes se destacan: Baños, Ambato, Riobamba, Penipe, Cotaló, Puela, Quero y la zona alta de Quero (Iguatala).

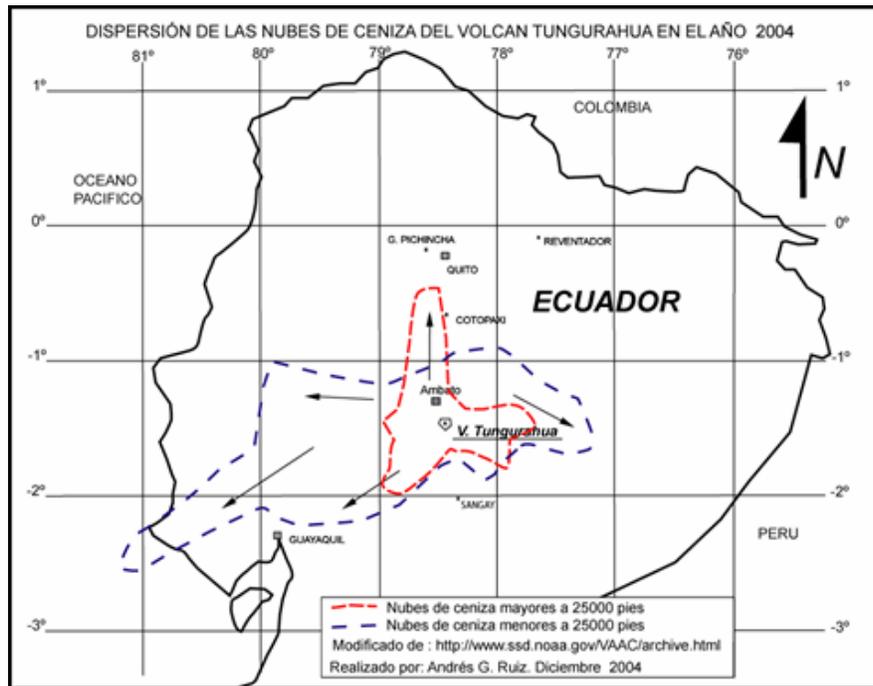


Figura 6. Nubes de ceniza asociadas con la actividad del Volcán Tungurahua en el año 2004.

SÍNTESIS DE LA DEFORMACIÓN

Durante el año las medidas de deformación efectuadas desde la base “El Salado” (Figura 7) han mostrado un alargamiento ligero de la distancia entre la base y el prisma, que se registra desde el año pasado. Este patrón indica que las fuerzas internas del volcán tienen menor efecto de presión en el flanco NE del cono, es decir hay un estado de leve relajamiento en dicho sector en comparación con el estado inflacionario registrado en el 2002. Un posible escape de esta energía, que antes efectuaba la presión allí, podría ser las fumarolas nuevas situadas a 400 metros de distancia vertical por encima de los prismas, ya que posiblemente éstas actuarían como una “válvula de escape” de los gases que se puedan acumular allí.

Los datos de los inclinómetros electrónicos JUIV5 y RETU, no han mostrado patrones más claros debido a ciertos problemas electrónicos.

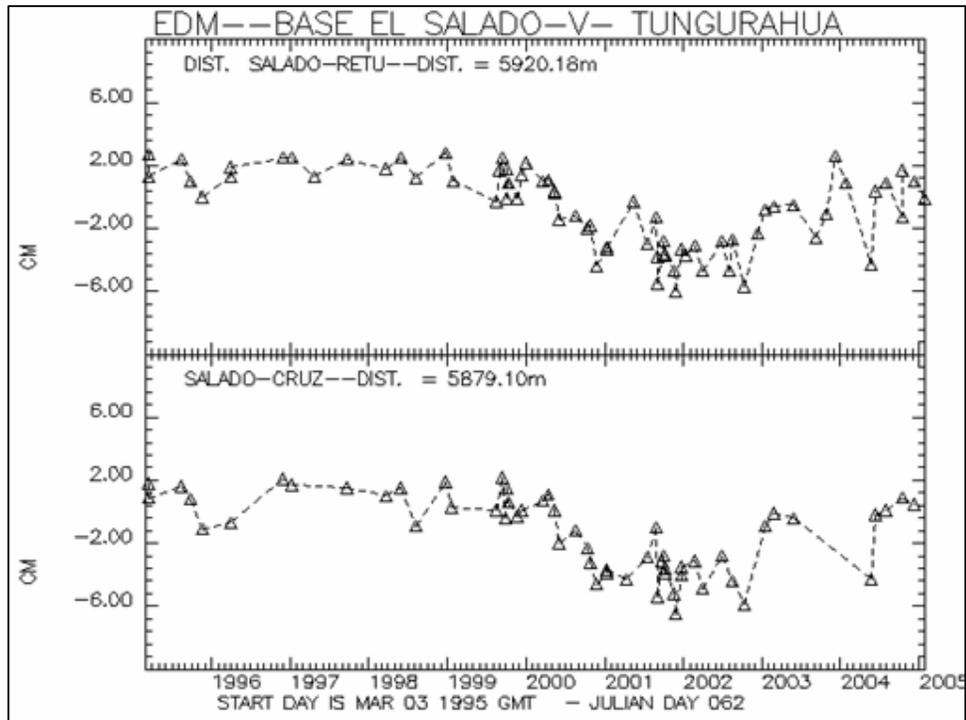


Figura 7. Medidas de deformación en el flanco nororiental del cono.

SÍNTESIS GEOQUÍMICA

a) Propiedades físico – químicas

Las medidas de las propiedades físico-químicas (pH, conductividad y temperatura) de las fuentes termales del Volcán Tungurahua permanecieron en niveles estables durante el año 2004. Dichas medidas pueden observarse en las figuras 8-a, 8-b y 8-c. Los datos que se muestran en la gráfica del pH no son confiables debido a problemas en la instrumentación.

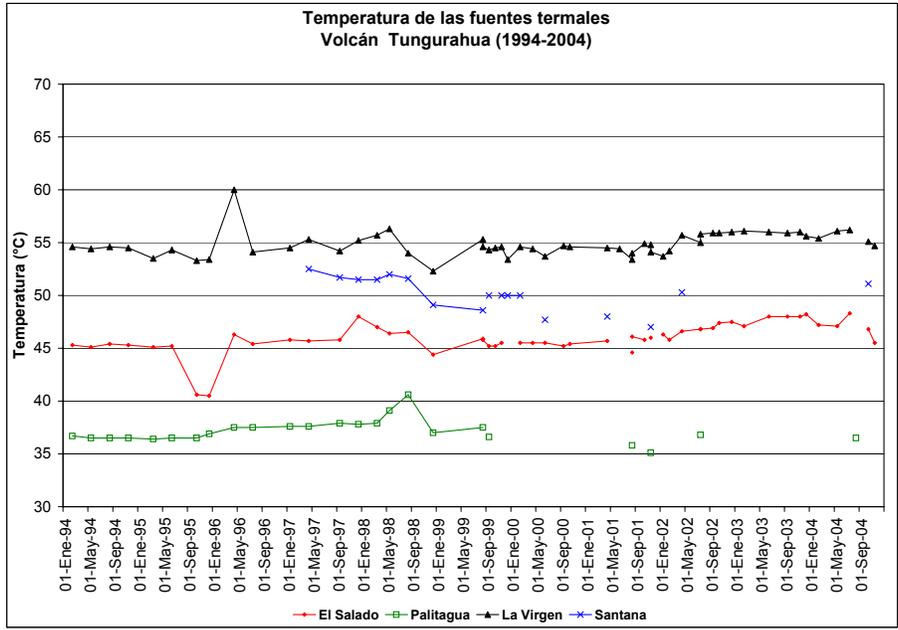


Figura 8-a. Observaciones de la temperatura en las diferentes fuentes termales del Tungurahua.

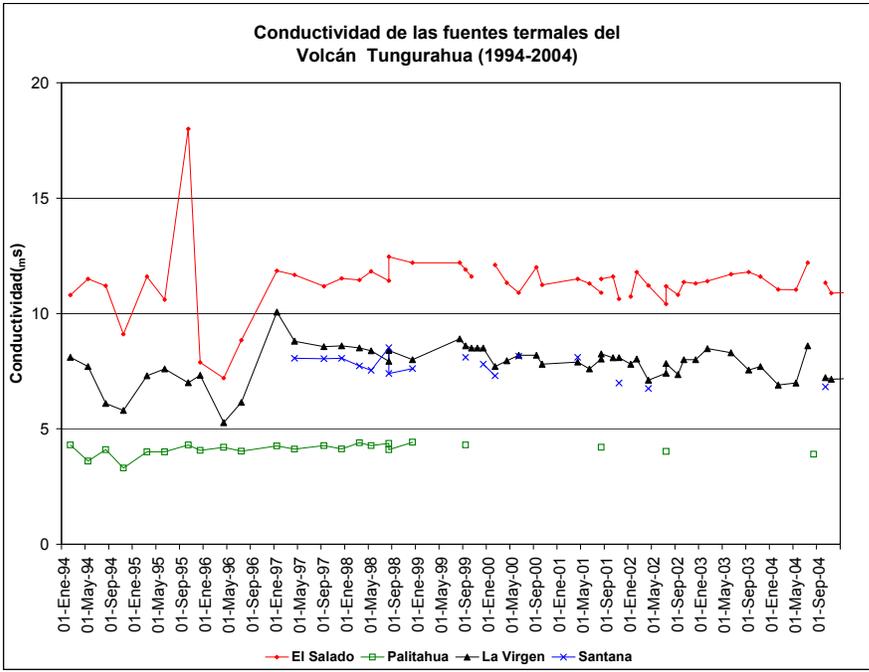


Figura 8-b. Observaciones de la Conductividad en las diferentes fuentes termales del Tungurahua.

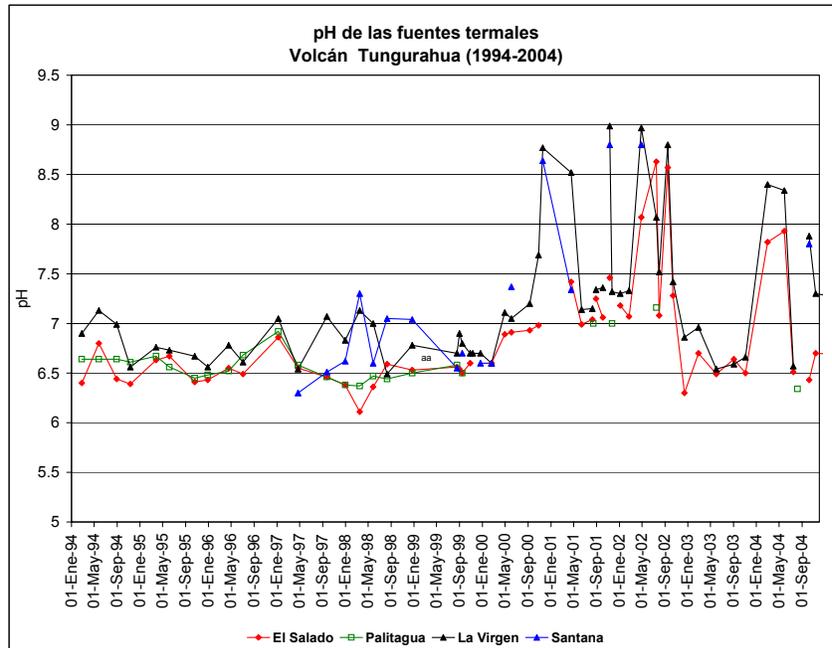


Figura 8-c. Observaciones del pH en las diferentes fuentes termales del Tungurahua.

b) Medición del gas SO₂ mediante los métodos de DOAS y COSPEC

Durante el 2004, se cree que conducto del Volcán Tungurahua estuvo principalmente abierto, permitiendo la desgasificación continua de la cámara magmática. Los gases emitidos, principalmente vapor de agua y azufre fueron dispersados en diferentes rumbos. Las medidas del caudal de SO₂ se realizaron por medio de la RED GEOQUIMICA (COSPEC – DOAS) en plumas volcánicas de rumbo SW, W, NW y N. Las medidas con COSPEC, método estático, variaron en sus valores de 641 a 3280 ton/día en los meses de Enero a Octubre (figura 9-a). Indiscutiblemente estas medidas dependen del grado de actividad volcánica y de las condiciones climáticas de la zona.

En el mes de Agosto se instaló el nuevo equipo para la medición de gases volcánicos, que se basa en el método DOAS (Diferential Optical Absorption Spectroscopy - Espectroscopía de Absorción Óptica Diferencial). Los instrumentos se encuentran ubicados al NW y SW del volcán, permitiendo obtener medidas de buena calidad en plumas con rumbo W, NW y SW. Los valores de mejor calidad tuvieron rangos de 1175 a 1986 ton/día de SO₂, mientras que en plumas cuya dirección es paralela al eje del instrumento como al NNE, E y/o hacia el SE del volcán resultaron en valores poco confiables. Con esta nueva metodología es posible obtener valores de la desgasificación en tiempo casi real, además es independiente de las condiciones climáticas de la zona. Los resultados se presentan en la figura 9-b, reflejando los diferentes estados de desgasificación, confirmando que el sistema permanece con un conducto abierto, es decir una desgasificación casi constante.

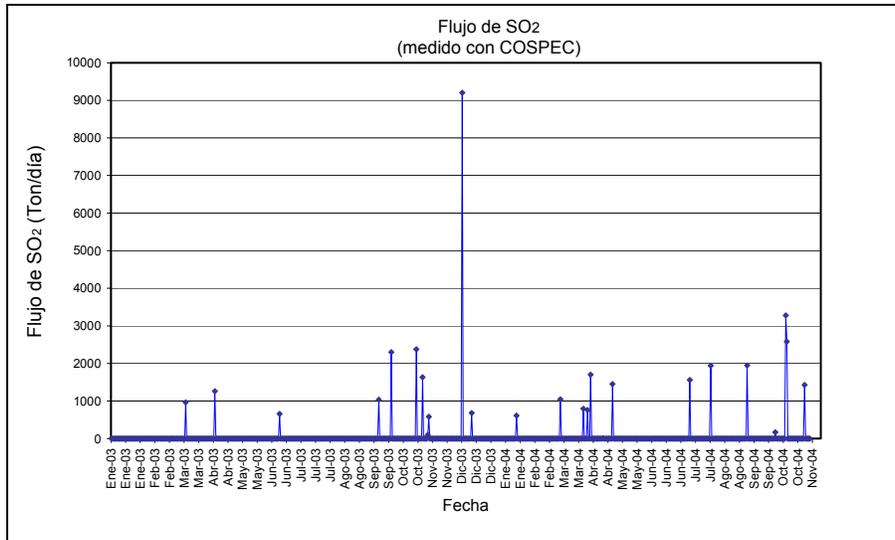


Figura 9-a. Flujo de SO₂ medido a través del método de COSPEC.

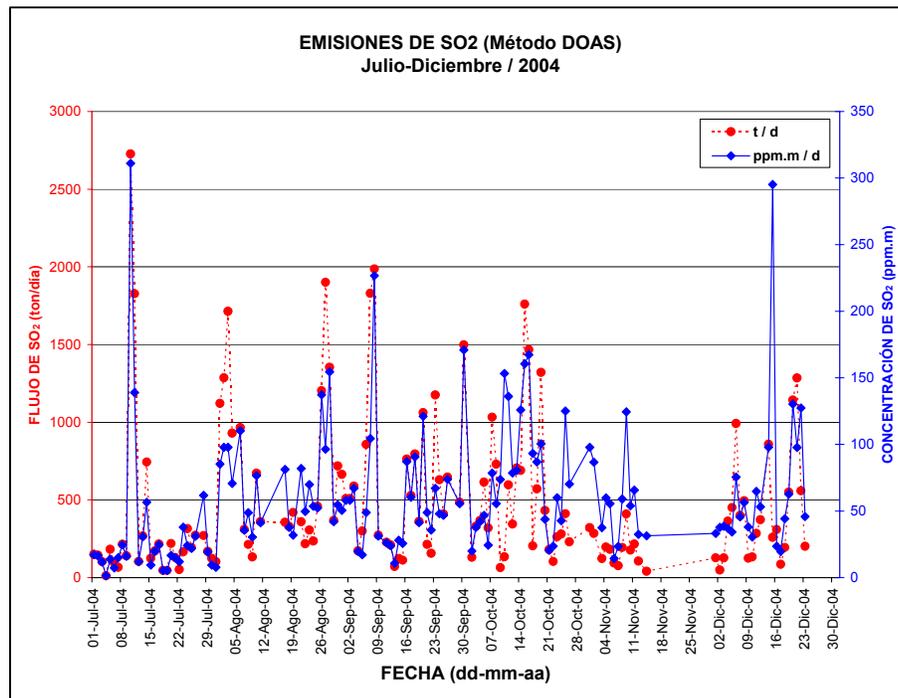


Figura 9-b. Flujo de SO₂ medido a través del método de DOAS.

SÍNTESIS TÉRMICA

Durante el año 2004, dentro de las actividades de monitoreo térmico del Proyecto IG-BGR, se han llevado a cabo tres campañas de adquisición de imágenes infrarrojas en el volcán Tungurahua: el 30 de Marzo y el 25 de

Octubre desde el aire y el 27 de Octubre desde tierra. Las imágenes obtenidas han sido procesadas incluyendo los parámetros respectivos y un resumen de los resultados obtenidos se presentan a continuación.

a) Zona del Cráter

La zona del cráter es la que mayores temperaturas ha presentado en las mediciones efectuadas desde el año 2002, especialmente en la zona del vento central. La medida efectuada el 30 de Marzo de 2004 muestra una temperatura de 493 °C. Igualmente se detectaron temperatura magmáticas en las medidas efectuadas el 25 de octubre, lo cual es coherente con las medidas que se vienen efectuando desde Diciembre de 2002 (figura 10).

b) Grieta y fumarolas dentro del cráter

La medida efectuada el 30 de Marzo de 2004 muestra una temperatura de la grieta interior ubicada en la pared NNE del cráter de 32.7 °C, la cual es coherente con temperaturas similares medidas desde el año 2002. La constancia en los valores de temperatura indica que posiblemente el mecanismo de la misma está asociado con la actividad freática inherente al sistema geotérmico del cráter del volcán (figura 11).

c) Fumarolas flanco NE

La única medida efectuada es la del 25 de Octubre de 2004, y muestra una temperatura máxima de 24.2 °C en el campo fumarólico ubicado en el flanco exterior NE del cono, similar a una temperatura de 24.5 °C medida en Diciembre del año 2003. Igualmente se confirma que el posible mecanismo de la misma está asociado con la actividad freática del flanco superior del volcán (figura 12). En la imagen térmica, en la figura 12, se nota una zona caliente ubicada sobre las fumarolas anteriores, que muestra una temperatura máxima de 16.2 °C, medida el 25 de octubre de 2004 y es similar con las temperaturas obtenidas en el 2003.

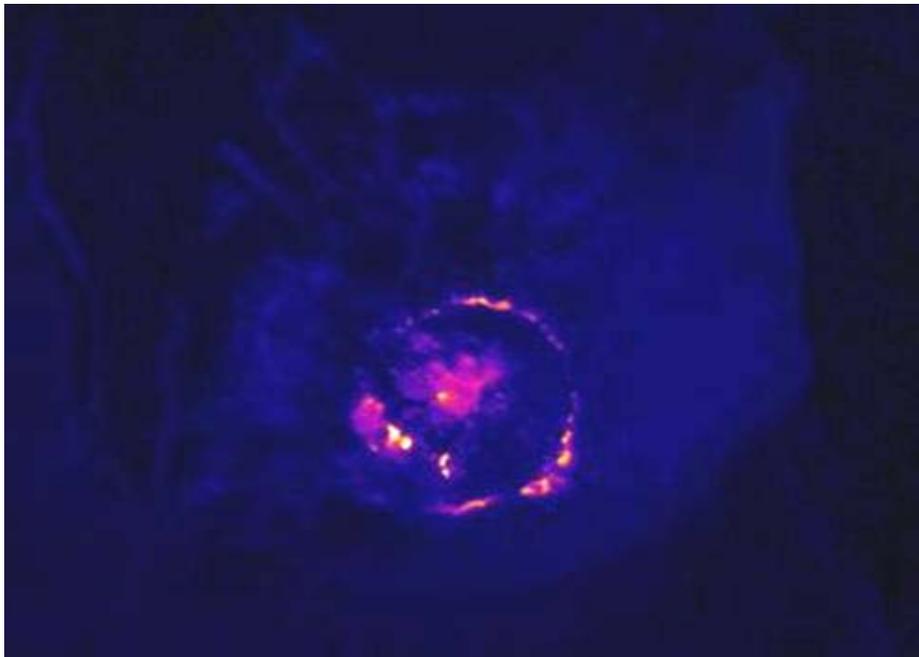


Figura 10. Imagen digital (**arriba**) y correspondiente imagen térmica (**abajo**) del cráter del volcán. El 30 de marzo se detectó una temperatura de 493°C en el vento central del cráter, lo cual es coherente con la actividad que el volcán mantenía a la fecha.



Figura 11. Imagen digital (*arriba*) y correspondiente imagen térmica (*abajo*) del cráter del volcán. Se indica la ubicación de la grieta interna del cráter.

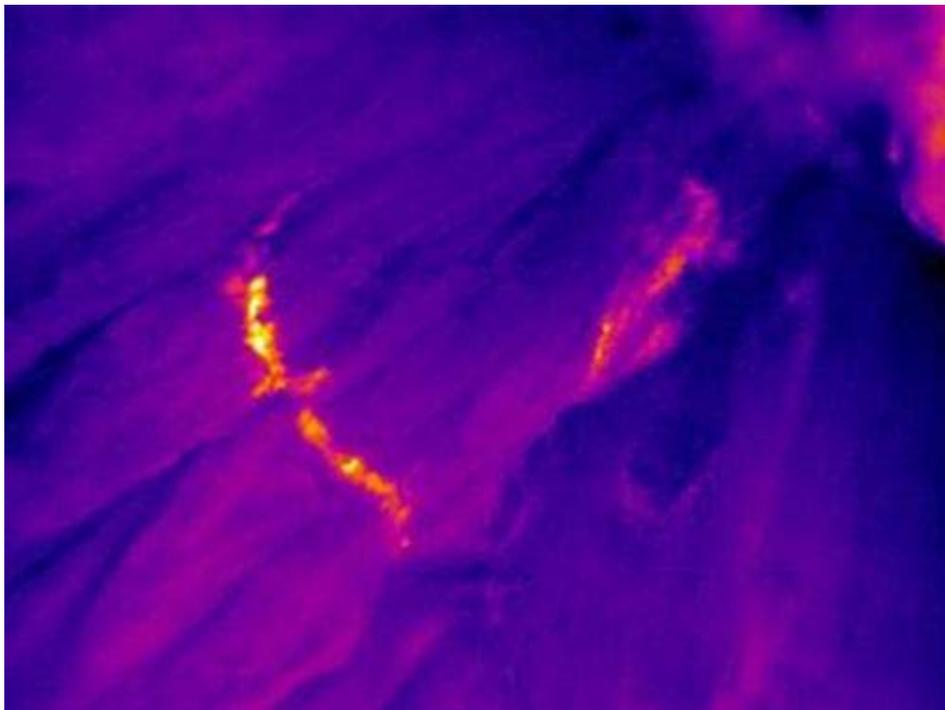
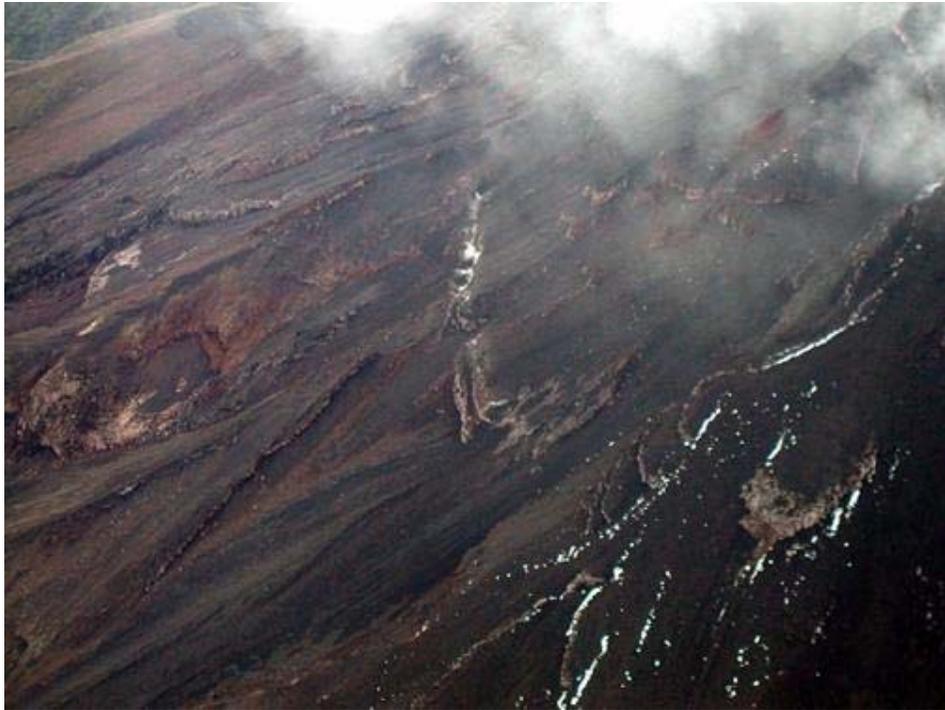


Figura 12. Imagen digital (*arriba*) y correspondiente imagen térmica (*abajo*) del campo fumarólico del flanco NE del volcán.

SÍNTESIS DE LAHARES

a) Detector AFM de Juive (quebrada de La Pampa).

En 2004 se detectó un total de 26 eventos lahéricos ocurridos en la zona de La Pampa, mediante el AFM de Juive. De ellos, en 24 ocasiones se pudo emitir una alerta temprana exitosa para las autoridades de Baños a fin de que se ponga en marcha el plan de emergencia local. El 100% de las alertas emitidas fueron ciertas, es decir que nunca se emitieron “falsas alarmas”. Este nivel de éxito se ha conseguido luego de 4 años de experiencia utilizando estos instrumentos.

Los meses con mayor ocurrencia de lahares fueron Marzo (10 lahares) y Abril (4 lahares), los cuales son aproximadamente coincidentes con periodos de mayor actividad observada en el Tungurahua, mientras que en los meses de Agosto y Septiembre no ocurrió ninguno (figura 13).

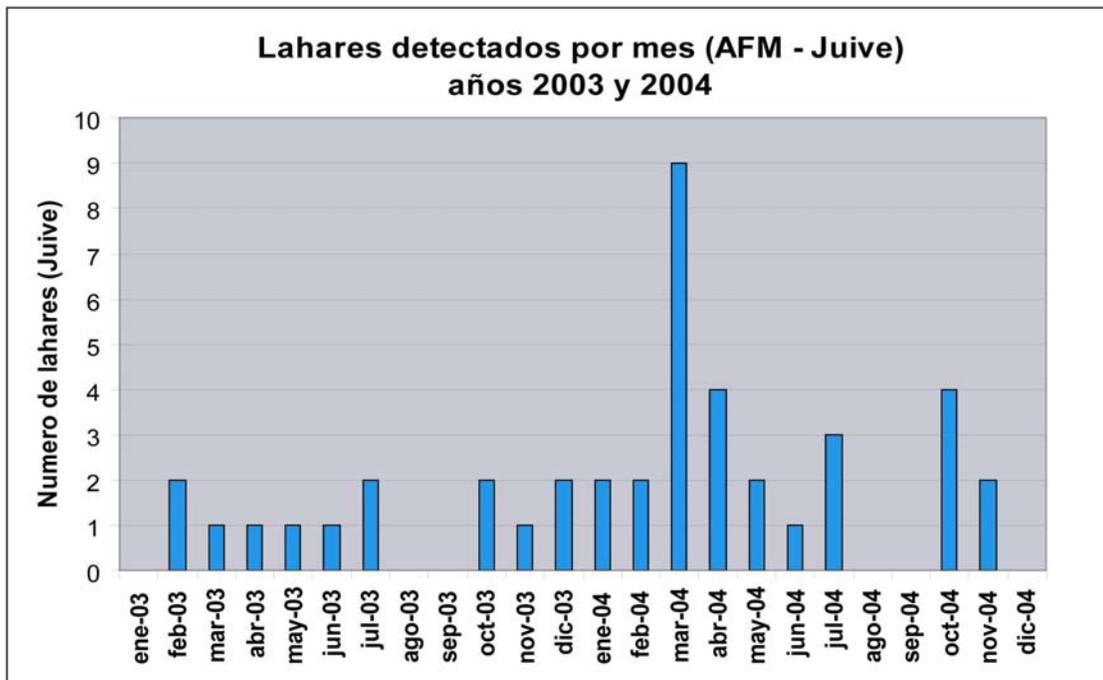


Figura 13. Lahares detectados por el AFM-Juive mensualmente entre 2003 y 2004. Nótese que en el último año ha habido un incremento en su ocurrencia.

En general, el volumen de los lahares detectados en la zona de Juive fue moderado a pequeño. El lahar más grande ocurrió el 22 de Abril, tuvo un volumen aproximado de 25.000 m³ y produjo la interrupción de la carretera a Baños por algunas horas. En cambio, el evento más pequeño registrado corresponde al 2 de Enero, con un volumen menor a 2.000 m³ y no causó ningún inconveniente. El volumen promedio de los lahares ocurridos en la zona de Juive, en el 2004, fue de aproximadamente 10.000 m³. Para comparación, el lahar más grande registrado por el AFM de Juive tuvo un volumen de al menos 145.000 m³ y ocurrió el 10 de Mayo de 2000. Los lahares con volúmenes inferiores a los 6.000 m³ en realidad corresponden a flujos hiper-concentrados

o pequeñas crecidas lodosas que raramente tienen efectos dañinos importantes.

Los datos de volumen han sido obtenidos con base en los registros del AFM-Juive (que son tratados como hidrogramas) y de trabajos de campo realizados en el momento de la ocurrencia de los lahares. Los volúmenes calculados corresponden con el flujo total que ha sido detectado por el instrumento y no corresponden a volúmenes de los depósitos dejados por los lahares.

b) Detector AFM de Vazcún (río Vazcún, Baños).

En general, los eventos laháricos son menos comunes en la Quebrada Vazcún. En el 2004 se registraron un total de 12 eventos, de los cuales 10 en realidad correspondieron a crecidas lodosas del río, que por las características topográficas del cauce, pasaron mayormente desapercibidas. Los dos únicos verdaderos lahares ocurrieron el 10 de Marzo y el 22 de Abril, aunque no causaron daños debido a que sus volúmenes no fueron importantes. De todas maneras, las alertas tempranas fueron emitidas oportunamente desde el OVT.

En el caso de esta quebrada, aún no se ha podido realizar una calibración suficientemente precisa como para poder calcular los volúmenes de los lahares a partir de los registros del AFM-Vazcún, por lo que no se presentan aquí datos cuantitativos de los mismos. Se espera que en los próximos meses se pueda contar con esta facilidad.

c) Otras quebradas

En el flanco occidental del Tungurahua hay varias quebradas donde comúnmente ocurren lahares de tamaños variados. Desafortunadamente es muy complicado en la actualidad tener al menos estadísticas básicas sobre el número de lahares que ocurren en esa zona del volcán ya que las vías de comunicación están muy deterioradas por lo que el flujo de información resulta pobre.

HACIA EL FUTURO

Desde 1999 el Volcán Tungurahua ha experimentado una actividad eruptiva con una frecuente actividad estromboliana y vulcaniana (de tamaño medio), y en raras ocasiones fuentes de lava. En total se estima que desde 1999 han ocurrido alrededor de 25 intrusiones magmáticas de similares características, aunque las últimas 3 inyecciones del año 2002, 4 últimas del 2003 y todas las del 2004 tuvieron características un poco diferentes. Las inyecciones del 2002 fueron diferentes por la adición de eventos de largo periodo de mayor frecuencia dominante, las del 2003 por la influencia de sismos tectónicos ubicados 35 km a la redonda del volcán y las del 2004 por la alta ocurrencia de sismos volcano-tectónicos distales (aproximadamente a 10 km desde el cráter) y profundos.

Hasta fines de Julio de 2004 se observó una disminución en la actividad tanto superficial (actividad estromboliana, emisiones, explosiones) como interna del volcán (eventos de largo periodo). La actividad del volcán hasta dicha época fue concebida como la formación progresiva de un “nuevo sello” debido al poco aporte de calor y/o energía en el sistema. Dicho “sello” que se formó progresivamente produjo que la energía de las explosiones al final de un ciclo aumentara e igualmente sus focos a profundizarse como fue lo acontecido hasta el mes de Julio. Desde el mes de Agosto la actividad volcano-tectónica ha tendido a incrementarse paulatinamente y así mismo los focos de las explosiones han sido más superficiales, reflejando que las condiciones del volcán vienen cambiando poco a poco desde hace unos tres meses.

Entonces, todavía subsisten los siguientes escenarios para el volcán:

1. La disminución paulatina de su actividad hasta llegar a un estado de tranquilidad.
2. La continuación del proceso actual, caracterizado principalmente por actividad volcano-tectónica, tremor volcánico y pocos eventos pertenecientes a enjambres de largo periodo (previos e incluso justo durante la etapa de mayor actividad).
3. La inyección de un volumen mayor de magma y la ocurrencia de mayor actividad tanto interna como superficial.
4. El taponamiento del conducto y la acumulación de presiones que termine en una explosión mayor.

Con el actual sistema de monitoreo se considera que es posible detectar señales premonitoras para los escenarios más peligrosos que serían el 3 y 4, así como seguir efectuando un seguimiento de los procesos asociados con los escenarios 1 y 2.

La actividad de largo periodo ha disminuido notablemente como actividad precursora de periodos de mayor actividad y la desgasificación es casi continua. De continuar el fluctuante proceso de desgasificación sugerimos tres escenarios:

1. Que el gas circulante en el edificio volcánico poco a poco se vaya acabando, hasta que las explosiones se vuelvan menos frecuentes y las emisiones de ceniza disminuyan en su totalidad.
2. Que la desgasificación continúe de manera sostenida y el volcán se esté preparando para un escenario tipo volcán Izu-Oshima (en el Japón), en el que los premonitores propios del volcán se disparan drásticamente (cuestión de semanas).
3. De continuar una actividad casi sostenida de desgasificación, y si se añaden concentraciones de esfuerzos debidas a sismo tectónicos alrededor del volcán (principalmente con magnitudes alrededor de 4.5 o más), o incluso eventos volcano-tectónicos (con magnitudes más grandes que 3), tales eventos podrían facilitar o contribuir a estados de mayor actividad en el volcán, no necesariamente mostrando una importante actividad de largo periodo previa a un nuevo ciclo.

Finalmente, es necesario recalcar que el proceso eruptivo como tal no termina y consideramos necesario que la población esté informada diariamente de lo que acontece con el mismo. Por otra parte, este proceso educativo debe ser parte de la cultura y el diario vivir de los habitantes que viven en la ciudad de Baños y las poblaciones ubicadas en los flancos del volcán. Con ello se lograría minimizar el riesgo ante una gran erupción.

Reconocimientos

Este informe está realizado 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, BGR (Alemania), JICA y NIED (Cooperación Japonesa).

Elaborado por:

Indira Molina, Patricia Mothes, Patricio Ramón, Andrés Gorky Ruiz Paspuel, Daniel Andrade, Pablo Samaniego, Santiago Arellano, Minard Hall, Alexander García, Alexandra Alvarado, Mónica Segovia, Jean-Luc LePenec, Hugo Yepes, Liliana Troncoso

Asistentes de Sismología y Vulcanología:

Guillermo Viraducha, Pablo Cobacango, Diego Barba, David Rivero

