

# Erupción de febrero-marzo 2016 del volcán Tungurahua

Reporte de erupción, volcán Tungurahua, 2016-01

Publicado el 22 de febrero de 2017



Figura 1. Columna eruptiva del volcán Tungurahua (Edwin Telenchana, OVT-IGEPN, 05-03-2016). A 3 km sobre el nivel del cráter, la columna llega a un nivel de flotabilidad neutro y se extiende formando un hongo.

Posteriormente el viento lleva la ceniza hacia el Occidente.

#### Realizado por:

Benjamin Bernard, Edwin Telenchana, Jean Battaglia, Stephen Hernandez, Santiago Aguaiza, Patricia Mothes, Daniel Sierra, Verónica Lema, Marjorie Encalada, Santiago Santamaría, Johnny García, Francisco Vásconez, Marco Córdova, Marco Almeida, Stefanie Almeida, Elizabeth Gaunt, Silvana Hidalgo, Patricio Ramón, Mario Ruiz, Jorge Yerovi, Pedro Espín, Daniel Andrade, Alexandra Alvarado, y los vigías del volcán Tungurahua.



#### Tabla de contenidos

Crónicas de la erupción	2
Primera fase: 26/02/2016, el despertar	2
Segunda fase: 27 al 29/02/2016, actividad continua	4
Tercera fase: 01/03 al 04/03/2016, disminución del tremor	5
Cuarta fase: 04 al 08/03/2016, incremento de la explosividad	6
Quinta fase: 09 al 15/03/2016, disminución de la actividad superficial	7
Resultados del monitoreo instrumental	8
Sismicidad	8
Acústica	10
Deformación	10
Emisión del SO <sub>2</sub>	11
Fenomenología volcánica	12
Nubes de ceniza	12
Caídas de ceniza	13
Flujos piroclásticos	14
Proyectiles balísticos	16
Lahares	16
Conclusiones	17

#### Crónicas de la erupción

Después de 94 días de aparente tranquilidad, el volcán Tungurahua entró en erupción el 26 de febrero de 2016. La actividad sísmica del volcán se mantuvo baja durante las últimas semanas antes del evento, con menos de 10 sismos/día, al igual que la actividad superficial caracterizada por emisiones poco energéticas de gas y bajo flujo de SO<sub>2</sub> (Figura 2). Sin embargo, el medidor de deformación de la estación inclinométrica ubicada al Norte del cráter mostró una pequeña inflación (estación RETU), desde el 15 de febrero. Este fenómeno se observó también en otras ocasiones, como en diciembre 2015, sin relación con una erupción.



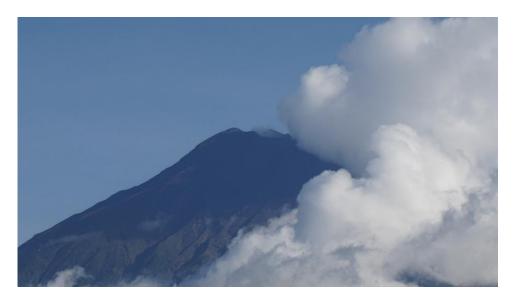


Figura 2. Cráter semi-despejado con una emisión débil de gas (Francisco Vásconez, OVT-IGEPN, 25-02-2016).

#### Primera fase: 26/02/2016, el despertar

El incremento de actividad interna fue detectado a las 11h05 TL (Tiempo Local) el 26 de febrero con la ocurrencia de un enjambre de sismos de tipo "Volcano-Tectónico" (VT), que están asociados al fracturamiento de rocas, seguidos por un enjambre de sismos de tipo "Largo Periodo" (LP), que están relacionados al movimiento de fluidos (informe especial IGEPN n°1, Figura 2). La primera explosión (Ex) se registró a las 12h11 TL (Figura 3 izquierda), formando una columna eruptiva de 5 km sobre el nivel del cráter (snc) y fue seguida por tremores de emisión (Tr) que provocaron caídas de ceniza (piroclástos <2 mm de diámetro) hacia el Occidente y Suroccidente. A las 12h39 TL, una nueva explosión formó un hongo de 6 km snc y las explosiones siguientes produjeron caídas de ceniza y lapilli (piroclástos entre 2 y 64 mm de diámetro) en los alrededores del volcán. A partir de este momento la nube de ceniza pudo ser observada en el instrumento satelital GOES-EAST (Figura 4). La actividad eruptiva se volvió continua a partir de las 13h32 TL, asociada al aumento del tremor de emisión. En esta fase, la columna eruptiva alcanzó 8 km snc, los proyectiles balísticos subieron a ~2 km snc, y los primeros flujos piroclásticos de pequeño alcance (<1.5 km bnc) bajaron por los flancos NW y W (informe especial IGEPN n°2, Figura 3 derecha). La actividad se mantuvo por 4 horas antes de cambiar a un estilo discontinuo caracterizado por explosiones. Es durante esta primera fase de la erupción que ocurrió la principal caída de ceniza y lapilli de color gris con fragmentos oxidados.



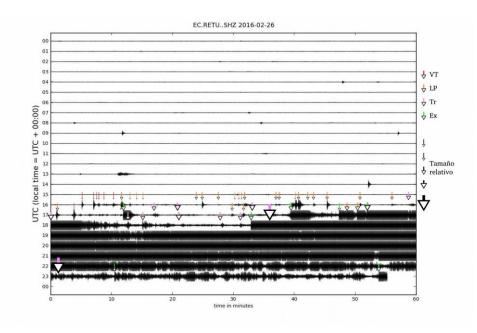


Figura 2. Sismograma de la estación RETU, 26 de febrero de 2016 (Tiempo Universal = Tiempo Local + 5 horas).

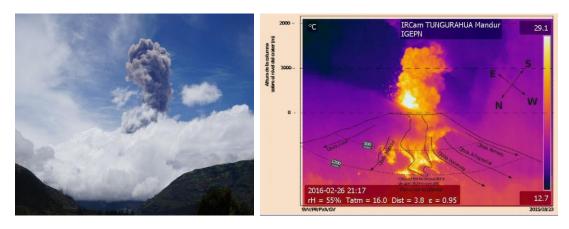


Figura 3. (Izquierda) Columna eruptiva debido a la explosión de las 12h11 (26/02/2016, Francisco Vásconez, OVT-IGEPN); (derecha) Imagen térmica de los depósitos de flujos piroclásticos en el flanco occidental del volcán (26/02/2016, cámara de Mandur, IGEPN). El área delimitada en línea negra continúa, corresponde al flujo de lava del 09/04/2014 para referencia. También se observa proyectiles balísticos que alcanzan más de 1 km snc.



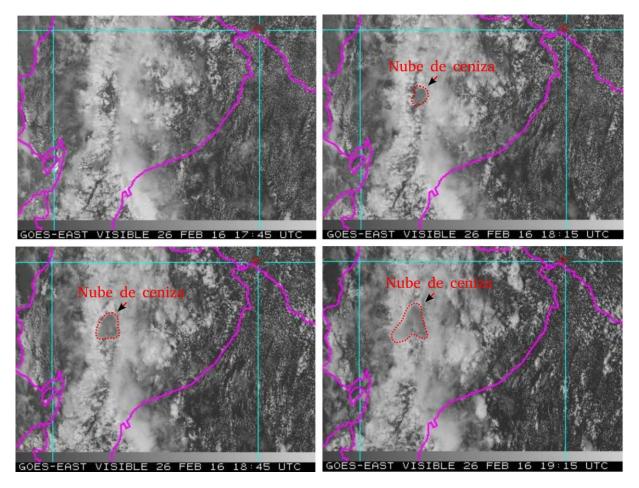


Figura 4. Secuencia de imágenes satelitales del 26/02/2016 con la identificación de la nube de ceniza (GOES-FAST)

#### Segunda fase: 27 al 29/02/2016, actividad continua

Durante los siguientes días la actividad eruptiva osciló entre periodos de explosiones y emisiones continuas (informe especial IGEPN n°3, Figura 5). Durante este periodo se pudo observar columnas eruptivas de hasta 4 km snc y explosiones con proyectiles balísticos que alcanzaron hasta 1 km snc. La nube de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) fue claramente visible en los instrumentos satelitales OMI y OMPS (Figura 6 izquierda). Se escucharon frecuentes cañonazos y bramidos asociados a la actividad y se registraron caídas de ceniza pequeñas a moderadas de color gris. Durante este periodo no hubo flujos piroclásticos primarios. El 29/02, un incremento del tremor de emisión asociado a una actividad de tipo fuente piroclástica produjo caídas de ceniza moderadas en Choglontus y pequeñas avalanchas calientes en las quebradas Hacienda y Romero (informe especial IGEPN n°4, Figura 6 derecha).







Figura 5. (Izquierda) Explosión con emisión de bloques incandescentes que descienden hasta 1 km bnc hacia los flancos NW, W y SW (28/02/2016, Francisco Vásconez, OVT-IGEPN); (derecha) Emisión continúa de ceniza hasta 1 km snc dirigida por el viento hacia el W (29/02/2016, Francisco Vásconez, OVT-IGEPN).

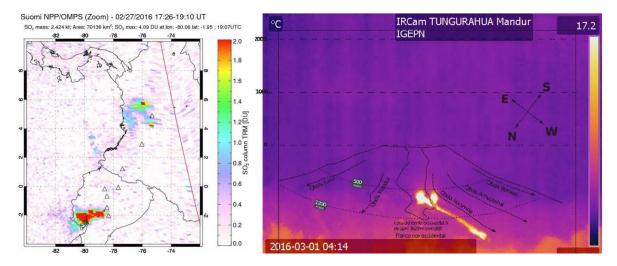


Figura 6. (Izquierda) Imagen satelital de la nube de SO<sub>2</sub> (27/02/2016, Suomi NPP/OMPS) y (derecha) imagen térmica del depósito de las avalanchas calientes en la quebrada Hacienda y Romero (29/02/2016 23:14 TL, cámara de Mandur, OVT-IGEPN). Las avalanchas son productos del deslizamiento de material acumulado en el cráter (actividad fuente de lava). El depósito incandescente tiene un alcance de 1.5 km bnc.

#### Tercera fase: 01/03 al 04/03/2016, disminución del tremor

A inicios de marzo, se observó una disminución de la actividad eruptiva del volcán, con menos tremor de emisión asociado a caídas pequeñas a moderadas de ceniza. Durante esta fase las columnas de emisiones fueron limitadas a 2 km sobre el nivel del cráter y no se observaron flujos piroclásticos primarios. Las caídas de ceniza tomaron una tonalidad rojiza el 3 de marzo. La actividad superficial se caracterizó por explosiones con proyectiles balísticos incandescentes visibles de noche alcanzando



cerca de 1 km snc (informe especial IGEPN n°5, Figura 7). En comparación con la segunda fase las emisiones de SO<sub>2</sub> son un poco mayores.





Figura 7. (Izquierda) Explosión con emisión de proyectiles balísticos incandescentes hasta 800 m snc (02/03/2016, Elizabeth Gaunt, OVT-IGEPN); (derecha) Columna eruptiva de 2 km snc dirigida hacia el Occidente (03/03/2016, Pedro Espín, OVT-IGEPN).

#### Cuarta fase: 04 al 08/03/2016, incremento de la explosividad

Tanto el número de explosiones como la altura de las columnas eruptivas aumentaron a partir de la tarde del 4 de marzo. Este incremento de la explosividad se tradujo en un incremento de las caídas de ceniza y también en la formación de pequeños flujos piroclásticos y avalanchas calientes con un alcance máximo de 2 km bnc. Las caídas de ceniza fueron fuertes el 5 y el 6 de marzo con un color gris oscuro a negro. Adicionalmente el 6 de marzo la emisión de SO₂ alcanzó un máximo con un flujo de 6000 Ton/día. Durante esta fase se observó un cambio en la dirección de los vientos hacia el Sur, a partir del 7 de marzo, lo que provocó caídas pequeñas de ceniza en el sector de Palitahua y hacia el Sur del volcán. Las columnas eruptivas alcanzaron hasta 6 km snc mientras que los proyectiles balísticos alcanzaron 800 m snc el 8 de marzo.







Figura 8. (Izquierda) Columna eruptiva de 3 km snc con incandescencia al nivel del cráter, dirigida por el viento hacia el SW (05/03/2016, Edwin Telenchana, OVT-IGEPN); (derecha) Explosión con proyectiles balísticos incandescentes que alcanzaron 600 m snc y luego rodaron por los flancos del volcán (05/03/2016, Elizabeth Gaunt, OVT-IGEPN).



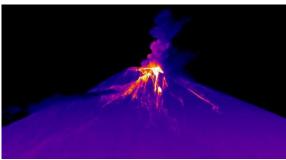


Figura 9. (Izquierda) Pequeña avalancha caliente bajando por la quebrada Achupashal (06/03/2016, Elizabeth Gaunt, OVT-IGEPN); (derecha) Imagen térmica de la avalancha (06/03/2016, Marco Almeida, OVT-IGEPN).

## Quinta fase: 09 al 15/03/2016, disminución de la actividad superficial

Durante la última fase de la erupción se observó una neta disminución de la actividad superficial. El número de explosiones y la altura de las columnas eruptivas disminuyeron rápidamente lo que produjo una menor caída de ceniza. Las columnas eruptivas alcanzaron un máximo de 3,5 km snc y se generaron también pequeñas avalanchas calientes que bajaron hasta 500 m bnc. La actividad interna durante esta fase se mantuvo alta, con una alta tasa de sismos LP (Figura 10) y también se observó una marcada tendencia descendente en el inclinómetro de RETU.



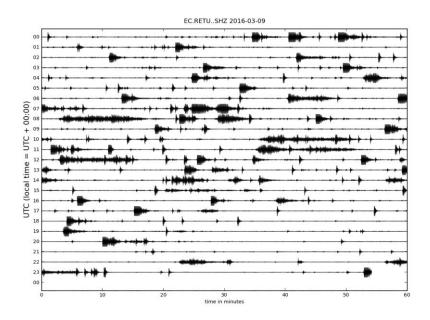


Figura 10. Sismograma de la estación de RETU con principalmente señales de tipo LP (09/03/2016, IGEPN).

#### Resultados del monitoreo instrumental

#### **Sismicidad**

Durante la erupción se observó una clara evolución de la actividad sísmica (Figura 11). En la primera fase (26/02), después de los enjambres sísmicos pre-eruptivos (VT y LP), las explosiones y el tremor de emisión dominaron el registro sísmico. En la segunda fase (27/02-01/03) el tremor de emisión dominó con una presencia de explosiones y eventos LP. En la tercera fase (01-04/03) antes del aumento de la actividad explosiva en la cuarta fase (04-08/03), se notó una disminución del tamaño y del número de los eventos sísmicos (Figura 12). Al final de la cuarta fase y al inicio de la quinta fase (09-15/03) se registró un aumento del número de eventos LP. Sin embargo, la amplitud del tremor y el tamaño de los eventos, disminuyeron significativamente. Luego la actividad decreció paulatinamente. Vale indicar también la ocurrencia de pocos VT en la quinta fase. Durante toda la erupción la sismicidad se ubicó entre 1 y 9 km debajo del cráter con magnitudes que no superaron 3.5 ML (magnitud local) (Figura 13).



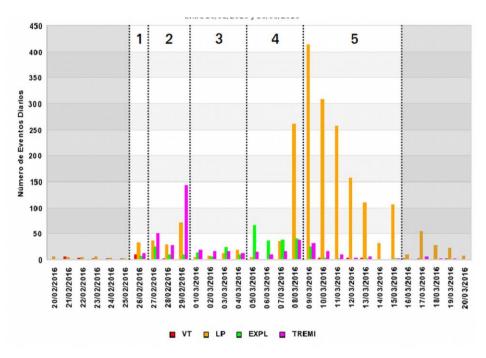


Figura 11. Número diario de eventos volcánicos en el Tungurahua durante la erupción de febrero-marzo 2016 (datos: IGEPN). VT: Volcano-Tectónico; LP: Largo Periodo; EXPL: Explosión; TREMI: Tremor de emisión.

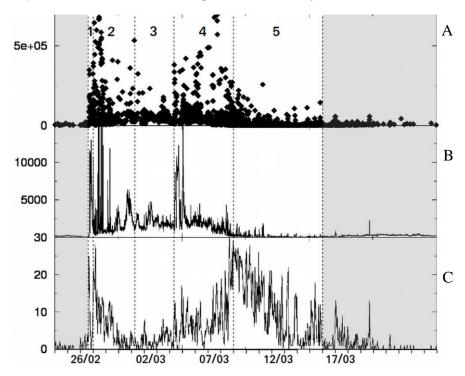


Figura 12. Actividad sísmica registrada en la estación de banda ancha T04 (Refugio Tungurahua) en ventanas de 10 minutos durante la erupción de febrero-marzo 2016. A: Amplitud cresta a cresta de los eventos sísmicos; B: Amplitud mediana de la señal sísmica; C: Número de detecciones (Jean Battaglia, LMV universidad Blaise Pascal).

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847 Página Web: <a href="www.igepn.edu.ec">www.igepn.edu.ec</a>; Correo Electrónico: <a href="geofisico@igepn.edu.ec">geofisico@igepn.edu.ec</a> Dirección: Campus Ing. José Rubén Orellana - Calle Ladrón de Guevara E11-253 Apartado Postal 2759 - Quito – Ecuador



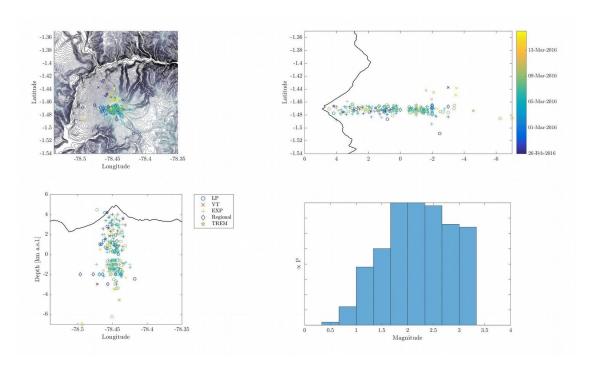


Figura 13. Localización y magnitud de los eventos sísmicos en el Tungurahua durante la erupción de febreromarzo 2016 (Stephen Hernandez, IGEPN).

#### Análisis de infrasonido

Al igual de lo observado en el registro sísmico, el monitoreo del infrasonido demostró la presencia de las diferentes fases eruptivas (Figura 14 izquierda). La fase más explosiva fue la fase 4 con más de 15 explosiones grandes por día mientras que las fases 3 y 5 tuvieron la menor cantidad de explosiones grandes. Se observó un claro aumento de la energía infrasónica de las explosiones entre las fases 1 a 4 y luego una disminución muy rápida en la quinta fase (Figura 14 derecha).

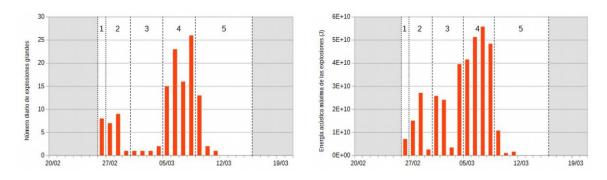


Figura 14. (Izquierda) Número de explosiones grandes (>45 Pa a 1 km del cráter) en el Tungurahua durante la erupción de febrero-marzo 2016, (derecha) Energía acústica diaria máxima de las explosiones (datos: Stephen Hernandez, IGEPN).

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Página Web: <a href="mailto:www.igepn.edu.ec">www.igepn.edu.ec</a>; Correo Electrónico: <a href="mailto:geofisico@igepn.edu.ec">geofisico@igepn.edu.ec</a>
Dirección: Campus Ing. José Rubén Orellana - Calle Ladrón de Guevara E11-253

Apartado Postal 2759 - Quito – Ecuador



#### Deformación

Según los datos de inclinometría, se empieza a registrar una tendencia ascendente desde el 15 de febrero del 2016 en RETU (Refugio Tungurahua), la cual estaría relacionada a una inflación en la zona alta del volcán. Luego se observó una ligera tendencia descendente a partir del 26 de febrero. Durante la quinta fase (09-15/03) se registró un aumento en la tasa de descenso (hasta 100  $\mu$ rad/día) asociada a una deflación del edificio.

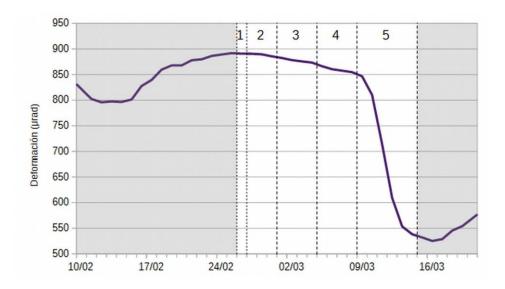


Figura 15. Tendencias de inclinometría registradas en la estación Retu (refugio Tungurahua) durante la erupción de febrero-marzo 2016 (datos: Santiago Aguaiza, IGEPN).

#### Emisión del SO<sub>2</sub>

El valor del flujo de SO2 observado durante la primera fase es probablemente subestimado debido a que la erupción empezó a medio día lo que disminuye el tiempo de medición. Las emisiones de SO<sub>2</sub> se mantuvieron entre 500 y 3000 ton/día en las primeras fases eruptivas (Figura 16). En las imágenes de los satélites Aura/OMI y Suomi NPP/OMPS (Figura. 17) se muestra que las nubes de SO2 se dirigieron hacia el occidente hasta el 6 de marzo. El valor máximo de desgasificación se registró en la cuarta fase con un valor de 2950 Ton/día el 6 de marzo. La quinta fase evidencia una disminución drástica de la emisión de SO2 con valores que regresaron al nivel pre-eruptivo. Está disminución corresponde a un cambio de la dirección del viento a partir del 7 de marzo, pero también debido a una disminución de la actividad como se observó en las imágenes satelitales.



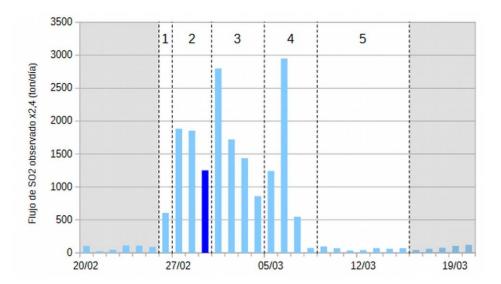


Figura 16. Valores observados del SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) en el Tungurahua durante la erupción de febreromarzo 2016 (datos: Jean Battaglia, LMV université Blaise Pascal, y Daniel Sierra, IGEPN). Los instrumentos DOAS miden el SO<sub>2</sub> durante las 10 horas de luz solar y los valores obtenidos son multiplicados por 2,4 para representar un flujo diario. El valor en azul oscuro corresponde a un día con pocas medidas debido a problemas técnicos y en vez de valores observados se utilizó el promedio de las medidas válidas.

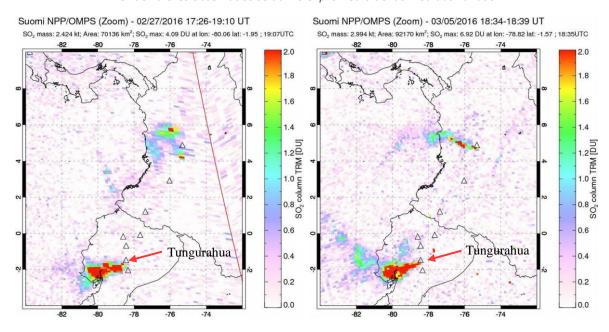


Figura 17. Imágenes del satélite Suomi NPP/OMPS del 27 de febrero (izquierda) y del 5 de marzo (derecha) de 2016 (NASA).



#### Fenomenología volcánica

#### Nubes de ceniza

Durante la erupción se produjeron columnas de emisión de ceniza de variados alcances en altura hasta 8 km snc. Las máximas alturas se reportaron el 26 de febrero y el 8 de marzo, el resto del periodo, no superaron los 4 km snc (Figura 18). Los vientos soplaron principalmente hacia el W, SW y NW con una carga moderada a alta de ceniza (Figura 19).

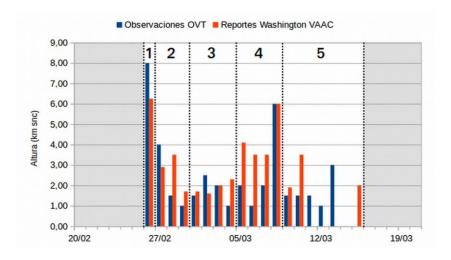


Figura 18. Altura de las nubes de ceniza asociadas a la actividad del volcán Tungurahua durante la erupción de febrero-marzo 2016 (datos: Washington VAAC y OVT-IGEPN).

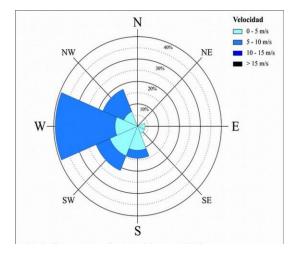


Figura 19. Diagrama de rosa de la dirección y velocidad de las nubes de ceniza asociadas a la actividad del Tungurahua durante la erupción de febrero-marzo 2016 (datos: Washington VAAC; Santiago Santamaría y Marjorie Encalada, IGEPN).



#### Caídas de ceniza

Como resultado de las emisiones y explosiones durante este periodo de actividad, las columnas eruptivas provocaron caídas de ceniza (y en menor proporción lapilli), siendo las zonas más afectadas aquellas que se encuentran hacia el Occidente del volcán, principalmente en las poblaciones de Choglontus, El Manzano, Puela, Cahuají, Pillate, Palitahua, Juive, Chacauco, Cusúa, Bilbao, Cotaló y Quero (Figura 20). En base al mapa de caída de ceniza se calculó una masa total del depósito de 1.1E+9 kg (~7E+5 m³). Gracias al monitoreo diario de la ceniza también se observó la distinción entre diferentes fases de actividad con las principales caídas de ceniza registradas el 26 de febrero y el 5-6 de marzo en Choglontus al WSW del volcán (Figura 21). Adicionalmente se observó el cambio de la dirección del viento con caídas en Palitahua (SW) al final de la cuarta y durante la quinta fase.

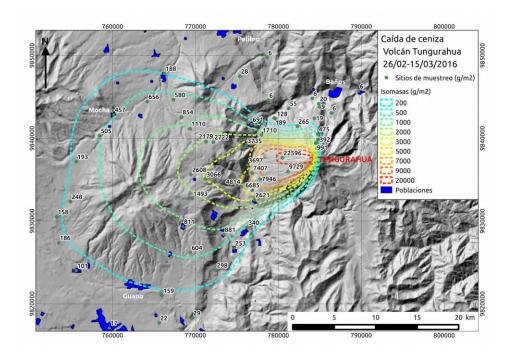


Figura 20. Mapa del depósito de caída de ceniza asociado a la actividad eruptiva del volcán Tungurahua durante la erupción de febrero-marzo 2016 (Benjamin Bernard, IGEPN).



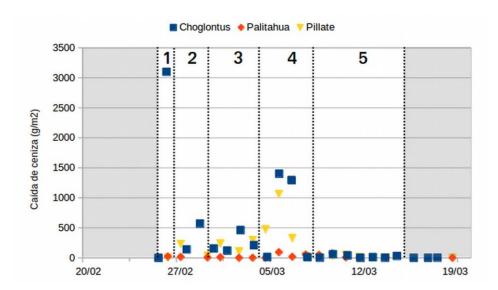


Figura 21. Caídas diarias de ceniza en la zona occidental del Tungurahua durante la erupción de febrero-marzo 2016 (datos: Víctor Zumba, Rodrigo Ruiz, Jorge Totoy, Benjamin Bernard, Vigías del Tungurahua - IGEPN).

#### Flujos piroclásticos

Durante este periodo eruptivo se observaron dos tipos de flujos piroclásticos: 1) flujos piroclásticos primarios alimentados por fenómeno de "rebosamiento de fuente piroclástica"; 2) avalanchas calientes del material acumulado en el borde del cráter. Los flujos piroclásticos primarios ocurrieron exclusivamente durante la primera fase y la cuarta fase y dejaron los depósitos más extensos (Figura 22). En base al análisis de las imágenes térmicas y fotografías de este depósito se estima que cubrió un área de ~1.4 km², para un volumen estimado entre 0.45-0.9E+5 m³. Adicionalmente se produjeron un gran número de avalanchas calientes a lo largo del periodo eruptivo, las cuales bajaron por las quebradas de Romero, la Hacienca, Cusúa, Mandúr, La Rea y Juive con un alcance máximo de 2 km bnc. Las condiciones climáticas durante el periodo eruptivo fueron muy variables con una alta nubosidad a final de febrero e inicio de marzo lo que no permitió tener observaciones en ciertos días (Figura 23).



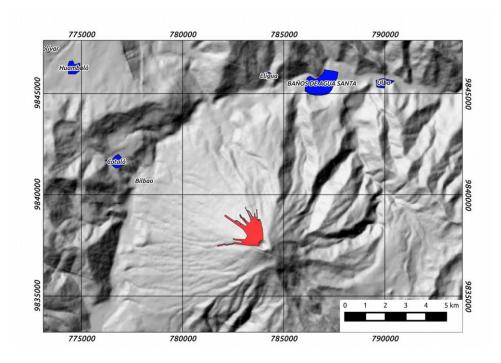


Figura 22. Mapa de los depósitos de flujos piroclásticos de la erupción de febrero-marzo 2016 del Tungurahua (cartografía: Johnny García, IGEPN).

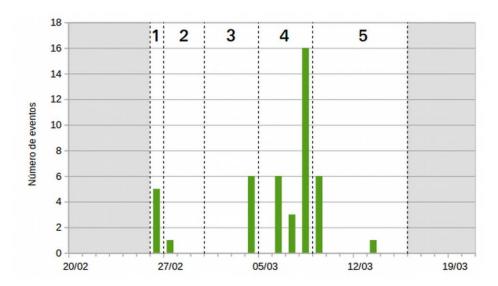


Figura 23. Número diario de flujos piroclásticos en el Tungurahua durante la erupción de febrero-marzo 2016 (datos: OVT - Johnny García, IGEPN).

#### **Proyectiles balísticos**

Además de las nubes de ceniza y de los flujos piroclásticos, la actividad explosiva del Tungurahua arrojó una gran cantidad de material en forma de proyectiles balísticos visible principalmente de



noche (bloques incandescentes) pero también de día y en particular con la ayuda de las cámaras térmicas del OVT y de Mandúr. El alcance vertical máximo de los proyectiles balísticos fue el 26/02 con ~2 km snc lo que corresponde a una velocidad inicial mínima de ~200 m/s. Se observó una disminución de la altura de los proyectiles balísticos durante las cuatro primeras fases y ya no se observaron durante la quinta (Figura 24). Los bloques rodaron en los flancos altos del volcán hasta ~1.5 km bnc (el 27/02 y el 01/03). Al igual que para los flujos piroclásticos, las condiciones climáticas pudieron afectar el registro de este fenómeno.

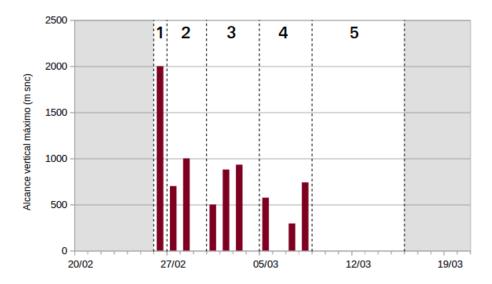


Figura 24. Alcance vertical máximo de los proyectiles balísticos en el Tungurahua durante la erupción de febreromarzo 2016(datos: OVT - Marco Córdova, IGEPN).

#### Lahares

Se registró un episodio de lahares durante el periodo eruptivo, el 5 de marzo en las quebradas de Achupashal, Bilbao, Juive, Mapayacu y el río Ulba asociado a lluvias de baja intensidad. Sin embargo, la acumulación de material deleznable en la parte alta del volcán y lluvias más intensas provocaron la multiplicación de este fenómeno durante el mes de abril 2016 (Figura 25).



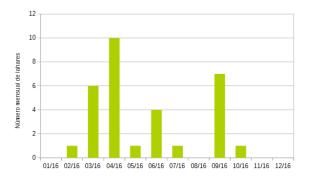


Figura 25. Número de lahares mensuales en el volcán Tungurahua para el año 2016 (datos: Stefanie Almeida, IGEPN).

#### **Conclusiones**

La erupción de febrero-marzo 2016 empezó con pocas señales premonitoras. Se observó una pequeña deformación del volcán a partir del 15 de febrero sin ser una señal clara. La actividad sísmica empezó a manifestarse tan solo una hora antes de las primeras explosiones. Esta actividad permitió prevenir a las autoridades justo antes del inicio de la fase eruptiva vía radio y celular. Se tuvieron dos fases claras con mayor intensidad eruptiva, el 26 de febrero y entre 5 al 8 de marzo. Las caídas de ceniza fueron el principal peligro volcánico, afectando las poblaciones localizadas al Occidente del cráter. Adicionalmente se registraron numerosos flujos piroclásticos, los más importantes desde la erupción de febrero 2014, sin embargo se quedaron en la parte alta del volcán y no afectaron a las comunidades. En total la erupción duró 19 días y arrojó ~1.5 millones de m³ de material volcánico lo que permite calificarla con un índice de explosividad volcánica 2 (Newhall and Self, 1982). Esta erupción fue la última del Tungurahua hasta la fecha de publicación de este reporte. El periodo de tranquilidad actual, que lleva casi un año, es el más largo desde el inicio del ciclo eruptivo en octubre de 1999.