

Informe Volcánico Especial Cotopaxi N° 2022-005

Incremento progresivo en la actividad superficial e interna del volcán Cotopaxi

Quito, 23 de diciembre de 2022



Emisión de gases del volcán Cotopaxi tomada durante el sobrevuelo provisto por las Fuerzas Armadas el 19 de diciembre de 2022 (Foto: M. Almeida).

Resumen

El día 21 de octubre a las 19h44 TL, las estaciones sísmicas instaladas en los flancos del volcán Cotopaxi registraron una señal sísmica de tremor de frecuencia de 2-8 Hz, larga duración y pequeña amplitud. Esta señal estuvo acompañada por la emisión de gases y ceniza, produciendo una caída moderada de este material en el Refugio José Ribas. Desde entonces se han generado dos caídas de ceniza con mayor alcance, afectando hasta 60 km de distancia con respecto al volcán. Estos eventos de mayor alcance ocurrieron los días 26 de noviembre y 20 de diciembre del año en curso. Las nubes de ceniza alcanzaron hasta 2.2 km sobre el nivel del cráter y se han dirigido principalmente hacia el nor-noroccidente por lo que se tuvo reportes de caídas de ceniza en los cantones Mejía, Rumiñahui y Quito. Además,



se observa la emisión casi continua de gases desde el cráter del volcán alcanzando una altura variable entre 200 y 2800 m. Los parámetros de sismicidad y deformación se mantienen en niveles moderados mientras que la desgasificación es intensa, tanto la registrada por la red de sensores permanentes en tierra del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional como por los instrumentos satelitales. Adicionalmente, instrumentos satelitales han detectado anomalías termales en el cráter del volcán que cada vez son más frecuentes (última anomalía 22 de diciembre 2022).

Esta reactivación volcánica tiene un origen magmático evidenciado por las grandes cantidades de dióxido de azufre emitido a la atmósfera y por el porcentaje alto de componente juvenil en la ceniza recolectada. Las emisiones de ceniza son cada vez más frecuentes, pero hasta el momento no han llegado a los niveles observados durante la erupción de agostonoviembre 2015.

La evolución de esta actividad a mediano plazo es incierta, debido a la naturaleza misma de los fenómenos volcánicos. Sin embargo, a corto plazo (días a semanas) el escenario más probable es que las emisiones de ceniza se repitan y/o se intensifiquen sin mostrar signos precursores; pero sin llegar a los niveles observados en la erupción de 2015. En este sentido es importante mantener activo el sistema de vigilancia y continuar con las tareas de prevención y mitigación relacionadas con los escenarios eruptivos del volcán Cotopaxi. El IG-EPN se mantiene atento a cambios en las condiciones presentadas por el volcán para dar información oportuna a las autoridades y la población en general.

Anexo técnico-científico

Sismicidad

Desde el mes de octubre hasta la fecha, la sismicidad muestra un incremento en el número de eventos diarios del tipo LP (largo período; asociados al movimiento de fluidos; Figura 1) y el registro de sismos de tipo VLP (muy largo periodo).





Figura 1. Gráfico de barras mostrando el número diario de eventos sísmicos registrados en el volcán Cotopaxi entre los años 1996 y 2022. El tipo de evento está identificado por color (véase la leyenda). Nótese el incremento de sismos de tipo LP desde octubre 2022 (barras moradas).

Desde el 21 de octubre se ha registrado un total de 27 emisiones de ceniza, las cuales han tenido asociadas señales de tremor (2-8 Hz). Dos de estas emisiones han provocado caídas de ceniza a nivel provincial, el 26 de noviembre y el 20 de diciembre.

La amplitud (cuentas/energía) de los tremores sísmicos relacionados con estas dos emisiones de ceniza son menores en comparación a los episodios registrados durante el proceso eruptivo de 2015.

El martes 20 de diciembre de 2022, las estaciones sísmicas del volcán Cotopaxi registraron una señal de tremor de emisión de ceniza, desde las 00h21 TL, misma que fue confirmada por las imágenes satelitales de GOES-16 y reportado en el IG AL INSTANTE VOLCÁN COTO-PAXI No. 2022-031. Esta señal sísmica se mantuvo por 5 horas. El tremor inició de manera progresiva y alcanzó un valor máximo de amplitud a las 02h17 TL (Figura 2). Posteriormente, se observó un descenso paulatino en la amplitud sísmica hasta aproximadamente las 05h15 TL. Este episodio de emisión de ceniza fue diferente al tremor registrado el 26 de noviembre de 2022 el cual inició y finalizó de forma abrupta (Figura 3).





Figura 2. RSAM (en cuentas) de las estaciones del Volcán Cotopaxi en las frecuencias 2-8 Hz correspondientes a la emisión de ceniza registrada en la madrugada del martes 20 de diciembre de 2022. El RSAM es una medida de la amplitud de la señal sísmica.



Figura 3. RSAM (en cuentas) de las estaciones del Volcán Cotopaxi en las frecuencias 2-8 Hz. Correspondientes a la emisión de ceniza registrada en la madrugada del sábado 26 de noviembre de 2022.

La Figura 4 muestra el tremor de emisión con las formas de onda en tres estaciones (BREF, VC2 y BTAM) y sus correspondientes espectros. La coincidencia en la frecuencia corresponde a un pico espectral máximo de 3.97 Hz. Lo que indica que la señal corresponde a un proceso de la fuente y que la presencia de picos secundarios debe ser atribuida a procesos que ocurren durante el camino por el que atraviesa la señal sísmica.



Campus Ing. José Rubén Orellana



Figura 4. Formas de onda del tremor de emisión detectados en tres estaciones sísmicas durante el evento del 20 de diciembre del 2022. Izq. Formas de onda en color rojo. Der. Espectros de onda en color azul.

Deformación

Para el análisis de deformación del suelo, se realiza periódicamente el procesamiento de estaciones cGPS que están ubicadas en los flancos altos del volcán y de imágenes satelitales procesadas con el método InSAR.

Para el análisis de deformación, se realiza el procesamiento interferométrico de imágenes de Radar de Apertura Sintética (InSAR), de la constelación de satélites de Sentinel-1 de la Agencia Espacial Europea (ESA). Se procesaron las órbitas ascendentes y descendentes utilizando datos del portal LiCSAR (https://comet.nerc.ac.uk/comet-lics-portal/) y la serie temporal con el software LiCSBAS (Morishita et al., 2020).

La Figura 5 muestra el mapa de deformación acumulada en los componentes vertical y horizontal de la zona del volcán Cotopaxi. El periodo de análisis es desde el 1 de enero del 2019 hasta el 11 de diciembre del 2022. Los resultados muestran una tendencia de deformación positiva en el componente horizontal al nororiente del volcán, mientras que en el componente vertical no se observan mayores cambios. Este procesamiento se realizó en la Universidad de Leeds (Reino Unido) que mantiene estrecha cooperación con el Instituto Geofísico.





Figura 5. Mapa de los componentes vertical y horizontal de deformación acumulada obtenida por el método InSAR, en base a imágenes Sentinel-1 de órbita descendente y ascendente en el volcán Cotopaxi, entre el 01 de enero del 2019 y el 11 de diciembre del 2022.

Adicionalmente, la variación relativa de las posiciones diarias registradas por la red de bases cGPS (continuos global positioning system) del volcán Cotopaxi (Figura 6) muestran una tendencia ligeramente ascendente que inicia entre julio y agosto 2022 y que se mantiene hasta la actualidad (área remarcada en color amarillo). Esta tendencia indica que las bases geodésicas están distanciándose progresivamente. Por la ubicación de las bases (en el flanco nororiental y suroccidental, respectivamente), el incremento de la distancia entre estas estaciones fijas implica un aumento milimétrico en el diámetro del edificio volcánico, el cual responde a un patrón radial de deformación denominado "inflación", cuya velocidad media es de aproximadamente 8 mm/año. Los patrones de deformación registrados por los cGPS son similares a los obtenidos por el método InSAR.





Figura 6. Serie temporal de las posiciones relativas entre las bases cGPS del volcán Cotopaxi VC1G y MORU, ubicadas en los flancos nororiental y suroccidental, respectivamente. Cada circunferencia en color azul representa un promedio de 4 días de las posiciones relativas entre bases. La zona resaltada en color rojo indica la inflación registrada durante el periodo eruptivo del año 2015. La línea segmentada en color rojo señala las explosiones del 14 de agosto de ese mismo año. Finalmente, la zona remarcada en color amarillo resalta el patrón de inflación que se viene registrando en los cGPS durante el segundo semestre del 2022.

Nubes y caídas de cenizas

Como se puede observar en la Figura 7, el número de emisiones de ceniza del volcán Cotopaxi se ha incrementado significativamente en los últimos dos meses. Mientras que en octubre se registró apenas una emisión de ceniza, en la última semana de noviembre el número subió a 5, y durante el mes de diciembre se incrementó hasta 22 emisiones de ceniza. Como consecuencia, la tasa diaria de emisiones de ceniza es de 0.96, indicando que en promedio hay una emisión de ceniza al día en el volcán Cotopaxi. Sin embargo, solo dos de ellas han sido lo suficientemente grandes como para causar afectación leve en la población.



Campus Ing. José Rubén Orellana



Figura 7. Número de emisiones de ceniza en el volcán Cotopaxi desde septiembre del 2022. El eje izquierdo marca el total de emisiones registradas cada mes (barras grises), mientras que el derecho indica la tasa diaria (línea negra, número de emisiones del mes dividido por el número de días). Para el mes de diciembre se tomaron en cuenta las emisiones registradas hasta hoy, 23 de diciembre.

En paralelo, el Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas de Washington (W-VAAC por sus siglas en inglés) ha reportado varias nubes de ceniza desde el 21 de octubre. Los mayores alcances fueron observados para las nubes de ceniza asociadas a la actividad del 26 de noviembre y 20 de diciembre con 60 km de distancia en dirección nor-noroccidente. Las alturas de estas dos fueron de 2.2 km y 1.5 km sobre el nivel del cráter, respectivamente. Debido a esta actividad se reportó caída de ceniza desde varios sectores de los cantones Mejía, Rumiñahui y Quito (Figura 8).





Figura 8. Proyección de las alertas W-VAAC registradas desde el 21 de octubre hasta el 23 de diciembre de 2022 con los reportes de caída de ceniza recibidos en este periodo a través del grupo de monitoreo del IG-EPN y de los informes del SNGRE (imágenes de personas). Como se observa por los colores, la mayoría de las alertas se han dado desde finales de noviembre (colores amarillos a rojizos). Además, se observa la variabilidad de la dirección de los vientos para este periodo de tiempo.

La ceniza de estas caídas fue muestreada y el material recolectado preparado para su correspondiente análisis de laboratorio. En la Figura 9A se indica la evolución de los porcentajes de los componentes que conforman la ceniza de la primera caída que ocurrió el 21 de octubre y de la segunda del 26 de noviembre. Los resultados muestran un ligero incremento en el aporte del material juvenil (material asociado al magma que está generando la actividad volcánica en superficie) para la caída de ceniza del 26 de noviembre. La muestra de la caída de ceniza del 20 de diciembre se encuentra en etapa de procesamiento y análisis para poder completar la serie temporal de componentes y estudiar la evolución del actual proceso eruptivo. Además, gracias a la colaboración con el laboratorio Magmas y Volcanes de Clermont-Ferrand (Francia), se tomaron imágenes de electrones retrodifusos (Figura 9B) con una microsonda electrónica con el objetivo de observar las texturas y de determinar la química del vidrio volcánico. Este análisis muestra que el magma actualmente en erupción es más básico que el magma que salió durante el periodo eruptivo de 2015.



Campus Ing. José Rubén Orellana



Figura 9. A. Evolución del contenido de material juvenil (material derivado del magma en erupción) en negro y accidental (material volcánico viejo) en rojo observado en las fracciones de 125 µm de las muestras de ceniza recolectadas el 21 de octubre (COT-22-01) y el 26 de noviembre (COT-22-08). B. Imagen del material juvenil observado con microsonda electrónica.

Anomalías térmicas satelitales

Desde el 21 de octubre los sistemas satelitales MIROVA, MOUNTS y FIRMS han detectado claramente anomalías térmicas en el volcán Cotopaxi. En las imágenes más reciente de Sentinel-2 del 17 y 22 de diciembre 2022 se observa un pequeño punto caliente en el cráter debajo de la emisión de gas (Figura 10). Este punto caliente ha sido observado de manera repetitiva desde 2015, pero la frecuencia de observación se ha incrementado teniéndose 7 anomalías en los últimos 2 meses, registradas por los sistemas satelitales mencionados anteriormente.



Campus Ing. José Rubén Orellana



Figura 10. Izquierda: Imágenes satélite Sentinel 2 (Bandas visible 12, 11, 8A / 20 m de resolución) del punto caliente en el cráter del Cotopaxi del 17 de diciembre 2022 en un cuadro de 2 y 10 km de escala. Derecha: Conteo automático de las anomalías térmicas (puntos rojos) basadas en dichas imágenes, desde el 18 de octubre de 2022 y diciembre 2020 (fuente MIROVA y MODIS Thermal volcanic activity).

Mediante fotografías colectadas durante el sobrevuelo realizado el 19 de diciembre se pudo constatar la presencia de ceniza cubriendo toda la parte superior del volcán y parte de los flancos sur, sur oriental y sur occidental. Este material volcánico es el resultado de las emisiones de gases y ceniza reportadas en los últimos días. Debido a la continua salida de gases no se tuvo observaciones directas de la parte interna del cráter (Figura 11). Por otro lado, mediante imágenes térmicas tomadas con una cámara infrarroja portátil, se estimó que las temperaturas más altas están al interior del cráter con un valor de 45°C, este valor es sub-estimado debido que la parte superior del cráter está llena de gases. Por otro lado, las temperaturas de los campos fumarólicos externos e internos del cráter no sobrepasan los 25°C. Estos valores de temperatura están dentro de los rangos medidos en el presente periodo eruptivo, es decir desde el 21 de octubre de 2022.





Figura 11. Imágenes obtenidas en el sobrevuelo el 19 de diciembre 2022 provisto por el Grupo Tucanes de la FAE. Izq. Fotografía del cráter del volcán Cotopaxi cubierto de ceniza. Der. Imagen térmica correspondiente y que muestra en colores más claros las temperaturas más altas y que se encuentran en el interior cráter, cuyos valores se considera subestimados debido a la presencia de gases.

Desgasificación y medidas de dióxido de azufre (SO₂)

Desde octubre 2022 se observa un claro incremento en los valores de flujo de SO₂, los mismos que se intensifican en los primeros días de diciembre (Figura 12). Estos valores altos de SO₂ son similares a los reportados en el 2015. Este mismo patrón de incremento se observa en el número de medidas válidas, indicando que desde el mes de octubre el SO₂ está de manera permanente en la atmósfera. Los valores de emisión de SO₂ también son medidos gracias al instrumento TROPOMI en el satélite Sentinel-5SP. En el panel intermedio de la Figura 12 se muestra las emisiones de SO₂ medidas en la atmósfera alrededor del Cotopaxi por este instrumento satelital. Se ve claramente la aparición de medidas desde octubre y un incremento en los valores de SO₂ desde el mes de noviembre. En conjunto, los datos satelitales y los provistos por la red DOAS indican un incremento de la emisión de SO₂ del volcán Cotopaxi. Adicionalmente, al comparar estos datos con las alturas de las columnas de emisión se constata que la red DOAS tiene mejor detección para las columnas de menor altura, mientras que el satélite observa mejor el SO₂ asociado a columnas de mayor altura.





Figura 12. Superior: Altura de las emisiones de gas en azul y de ceniza en rojo del volcán Cotopaxi, observadas gracias a la red de cámaras visuales instaladas alrededor del volcán. Intermedio: Masa de SO₂ registrada por el instrumento satelital TROPOMI (fuente Mounts). Inferior: Máximo flujo de dióxido de azufre (SO₂) diario registrado en las 4 estaciones del volcán Cotopaxi (Refugio Norte, Refugio Sur, Cami y San Joaquín). Actualizado hasta el 20 de diciembre 2022.

Las imágenes de TROPOMI permiten generar un mapa de la distribución promedio de SO₂ en la atmósfera. Se ha realizado una superposición de las imágenes para un periodo de quince días en octubre, 30 días en noviembre y 20 días en diciembre. En la Figura 13 se observa claramente un incremento de la cantidad de SO₂ emitida por el volcán Cotopaxi. En



las imágenes también se nota la emisión de SO₂ para los volcanes Reventador y Sangay que también se encuentran en erupción.



Figura 13. Masa de SO₂ presente en la atmósfera sobre los volcanes Cotopaxi, Sangay y Reventador. Las imágenes representan la emisión promedio en un periodo tiempo variable (Base Google Engine Code Editor, Script: C. Laverde-SGC).

Desde la emisión de ceniza del 21 de octubre 2022 se realiza mediciones periódicas de otras especies gaseosas con un equipo MultiGAS (Aiuppa et al., 2004; Shinohara, 2005). A través de sobrevuelos y ascensos a la cumbre se realizaron mediciones de las especies gaseosas mayoritarias emitidas (Agua: H₂O, Dióxido de carbono: CO₂, Dióxido de azufre: SO₂ y Ácido sulfhídrico: H₂S). Durante el último sobrevuelo del 19 de diciembre 2022 se realizaron 3 cortes a la pluma de gas, un ejemplo de uno de ellos se puede ver en la Figura 14. Desde el inicio de las mediciones, la razón SO₂/H₂S ha mostrado un incremento progresivo que indica una reducción del sistema hidrotermal del volcán frente a una predominancia de los gases de origen magmático.





Figura 14. Fotografía de la columna de gas medida durante el sobrevuelo del 19 de diciembre de 2022, en el recuadro se puede observar los picos de los gases volcánicos (CO₂, SO₂) detectados, a partir de los cuales se obtiene la razón CO₂/SO₂.

Interpretación de datos

En base a la información disponible, se concluye que el volcán Cotopaxi presenta al momento una actividad eruptiva de nivel moderado. El análisis conjunto de los diferentes parámetros de vigilancia muestra que la actividad reciente del Cotopaxi está provocada por la presencia de magma en el conducto volcánico. Sin embargo, hasta el momento no hay evidencia de un ingreso de un mayor volumen de magma hacia el sistema.

Los datos de monitoreo indican un incremento paulatino de la actividad superficial caracterizada mayormente por columnas de gases y vapor de agua alcanzando hasta 2800 metros sobre el cráter (m snc), además de una ocurrencia cada vez más frecuente de emisiones de ceniza de más de 1000 m snc. La sismicidad sigue dominada por pequeños sismos de tipo LP y la aparición esporádica de eventos VLP; la deformación muestra una leve tendencia inflacionaria detectable en los flancos del volcán, en el componente horizontal; y los gases magmáticos, especialmente el SO₂ son abundantes en la pluma volcánica.



Escenarios Eruptivos para el Volcán Cotopaxi (Actualización 21/12/2022)

En base a lo presentado anteriormente, se propone tres escenarios eruptivos para el corto plazo (días a semanas). Los escenarios uno y dos tienen mayor posibilidad de ocurrir, mientras el escenario número tres es mucho menos posible. Los escenarios han sido elaborados en base a la información de monitoreo que se dispone al momento de la publicación de este informe. Estos escenarios pueden ir evolucionando, dependiendo de lo que se observa en los parámetros de vigilancia.

1. Las emisiones de ceniza que iniciaron el 21 de octubre de 2022 van aumentando en frecuencia y/o altura, al igual que las emisiones de gases volcánicos. Lo más probable es que este tipo de eventos se repita o intensifique en el corto plazo (días a semanas), sin mostrar signos precursores, pero sin llegar a los niveles observados en la erupción de 2015. Al momento no hay evidencias fehacientes de nuevas inyecciones de magma en zonas profundas que pudieren derivar en una erupción de mayor magnitud. En este escenario es muy posible observar nuevas erupciones pequeñas acompañadas de señales sísmicas de tremor de larga duración (horas) y emisiones de ceniza similares a las ocurridas el 26 de noviembre y el 20 de diciembre. Dependiendo de la dirección y la velocidad de los vientos estas emisiones de ceniza podrían causar afectación leve en áreas relativamente cercanas al volcán.

2. Las emisiones de ceniza se intensifican hasta llegar a niveles similares a los observados en el periodo eruptivo del 2015. Este escenario podría darse en el corto/mediano plazo y se esperaría observar una tendencia claramente ascendente en los parámetros de monitoreo (especialmente en la deformación y la actividad sísmica). Dependiendo de las condiciones de velocidad y dirección del viento, estas emisiones de ceniza causarían una mayor afectación en los centros poblados, particularmente en las provincias de Cotopaxi, Pichincha y Napo. Además, debido a las lluvias en el sector, pueden generarse lahares secundarios que afectarían las inmediaciones del Parque Nacional Cotopaxi como lo observado en la erupción de 2015. Afectando principalmente la vía al refugio en el sector de la quebrada Agualongo.

3. Las emisiones de gases volcánicos y ceniza aumentan de forma acelerada en el corto/mediano plazo, así como otros parámetros de monitoreo (deformación y actividad sísmica), con evidencias claras de inyecciones profundas o de transporte acelerado de magma hacia la superficie, lo que en conjunto representaría los precursores de una fase eruptiva mucho mayor a la observada en 2015. Por ahora este escenario se considera como muy poco probable, por la falta de evidencias de aumento acelerado de los parámetros de monitoreo y de actividad superficial. Las explosiones y emisiones de ceniza en este escenario serían mucho más grandes que las observadas en 2015 y tendrían una afectación regional, es decir,



puede haber caída de ceniza en las provincias de Cotopaxi, Pichincha, Napo, Los Ríos, Manabí y otras, dependiendo de la velocidad y dirección del viento. Además, la caída fuerte de ceniza puede interrumpir la circulación vehicular entre las provincias de Pichincha y Cotopaxi, contaminar fuentes de agua potable y de riego, y afectar la distribución eléctrica. Adicionalmente, se pueden formar flujos piroclásticos de diferentes tamaños que derritan parte del glaciar y desencadenen lahares primarios en los principales drenajes del volcán, tal como se muestra en los mapas de peligros zona norte, sur y oriente (Mothes et al., 2016b, 2016a; Vásconez et al., 2015).

Referencias

- Aiuppa, A., Burton, M., Murè, F., Inguaggiato, S., 2004. Intercomparison of volcanic gas monitoring methodologies performed on Vulcano Island, Italy. Geophysical Research Letters 31.
- IG-EPN, 2022. IG AL INSTANTE VOLCÁN COTOPAXI No. 2022-031. Quito-Ecuador. Disponible en: https://informes.igepn.edu.ec/igepn-registro-web/pages/public/InformeGenerado.jsf?directorio=28978
- Mothes, P., Espin, P., Hall, M.L., Vásconez, F., Sierra, D., Córdova, M., Santamaría, S., Marrero, J., Cuesta, R., 2016a. Actualización Mapa de Amenazas del Volcán Cotopaxi, Zona Sur.
- Mothes, P., Espin, P., Hall, M.L., Vásconez, F., Sierra, D., Marrero, J., Cuesta, R., 2016b. Actualización Mapa de Amenazas del Volcán Cotopaxi, Zona Norte.
- Shinohara, H., 2005. A new technique to estimate volcanic gas composition: plume measurements with a portable multi-sensor system. Journal of Volcanology and Geothermal Research 143, 319–333.
- Vásconez, F., Sierra, D., Andrade, D., Almeida, M., Marrero, J., Hurtado, J., Mothes, P., Bernard, B., Encalada, M., 2015. Mapa Preliminar de Amenazas Potenciales del Volcán Cotopaxi- Zona Oriental.
- Lazecký, M., Spaans, K., González, P. J., Maghsoudi, Y., Morishita, Y., Albino, F., et al. (2020). LiCSAR: An automatic InSAR tool for measuring and monitoring tectonic and volcanic activity. Remote Sensing, 12(15), 2430. <u>https://doi.org/10.3390/rs12152430</u>
- Morishita, Y., Lazecky, M., Wright, T. J., Weiss, J. R., Elliott, J. R., & Hooper, A. (2020). LiCSBAS: An open-source InSAR time series analysis package integrated with the LiCSAR automated Sentinel-1 InSAR processor. Remote Sensing, 12(3), 424. <u>https://doi.org/10.3390/rs12030424</u>

Elaborado por:

S. Hidalgo, M. Almeida, A. Vásconez, F.J. Vasconez, M. Yepez, M. Córdova, S. Vallejo, A. García. D. Sierra, P. Espín Bedón, S. Vaca, D. Andrade, Jean-Luc Devidal, M. Ruiz, B. Bernard.

Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional.