

UNA SÍNTESIS DEL ESTADO ACTUAL DE ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS, COLOMBIA, 2009

(A synthesis of the current state of the activity of Galeras volcano, Colombia, 2009)

Diego M. Gómez M.*, Roberto A. Torres C.*, Carlos A. Laverde C.*, Oscar E. Cadena I.*, Richard A. Mier P.*, María L. Monsalve**, Gloria P. Cortés J.***, Marta L. Calvache V.****

INGEOMINAS, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de: *Pasto, **Popayán y ***Manizales, y ****Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental
 dgoomez@ingeominas.gov.co

(Recibido el 15 de julio de 2009 y aceptado el 24 de agosto de 2009)

Resumen:

Dando continuidad al proceso eruptivo del volcán Galeras, detectado hacia mediados de 2004, después de la intrusión de un domo de lava en 2006 y la ocurrencia de erupciones explosivas el 12 de julio del mismo año y el 17 de enero de 2008, nuevo material magmático se observó en septiembre de 2008, incorporándose a los remanentes del domo de 2006, con un volumen estimado, hacia finales del 2008, cercano a los 5.000.000 m³, reiniciando un nuevo ciclo de procesos eruptivos explosivos, tres de ellos en el término de un mes. Estas erupciones, el 14 y 20 de febrero y el 13 de marzo de 2009, arrojaron magma juvenil (con altos contenidos de vidrio), con la particularidad de exhibir previamente, y en pocas horas, una disminución en la sismicidad, especialmente aquella asociada con tránsito de fluidos e, igualmente, el descenso en las emisiones de dióxido de azufre, SO₂. Aunque no se registraron sismos tipo "tornillo", se observaron registros de sismos "híbridos", con una componente de fractura de carácter de fuente superficial. La presencia del domo de lava, el enfriamiento y solidificación parcial de la columna de magma con el consiguiente taponamiento de conductos, evitando la salida libre de gases, podría explicar el mecanismo de inicio de esas erupciones y, con ello, el comportamiento observado en sismicidad y en SO₂.

En términos comparativos, la energía sísmica liberada por las erupciones del actual ciclo de reactivación permite establecer, de mayor a menor grado, el siguiente orden: 21/Nov/04, 21/Ago/04, 20/Feb/09, 13/Mar/09, 17/Ene/08, 14/Feb/09, 12/Jul/06, 11/Ago/04 y 24/Nov/05. El volumen total considerado como mínimo depositado por las erupciones explosivas entre el 2004 y el 2009 es cercano a 6.500.000 m³ de los cuales cerca del 38% (2.500.000 m³) corresponde a las erupciones del 2009. Galeras sigue presentando fluctuaciones en su actividad, enmarcadas en la movilización del mayor volumen de material magmático de los 20 años de monitoreo continuo.

Palabras clave: volcán Galeras, domo de lava, erupciones, energía sísmica.

Abstract:

Giving continuity to the eruptive process of Galeras volcano detected about middle of 2004, after the intrusion of a lava dome in 2006, and the occurrence of explosive eruptions in July 12 of the same year and January 17 of 2008, new magmatic material was observed in September, 2008, joining the remnants of the 2006 dome, with an estimated volume towards the end of 2008, near to 5.000.000 m³, restarting a new cycle of eruptive explosive processes, three of them within one month. These eruptions, in February 14 and 20 and March 13 of 2009, threw juvenile magma (with high glass contains), with the particularity of exhibiting before and at a few hours, a decrease in the seismicity, specially that one associated with transit of fluids as well as the decrease in the emissions of Sulphur Dioxide, SO₂. Although it was no record of "Screw" type events, there were observed "hybrid" earthquakes with a fracture component, of superficial source. The presence of a lava dome, the cooling and partial solidification of the magma column with the consequent sealing of conduits, avoiding the free escape of gases, could explain the mechanism of beginning of these eruptions and with it, the behavior observed in seismicity and SO₂.

In comparative terms, the seismic energy liberated by the eruptions of the current cycle of reactivation, allows to establish from bigger to minor degree, the following order: Nov/21/04, Aug/21/04, Feb/20/09, Mar/13/09, Jan/17/08, Feb/14/09, Jul/12/06, Aug/11/04 and Nov/24/05. The total volume considered as minimum deposited by the explosive eruptions between 2004 and 2009 is near to 6.500.000 m³, of which, almost a 38% (2.500.000 m³) corresponds to the 2009 eruptions. Galeras continues presenting fluctuations in its activity, framed in the mobilization of the major volume of magmatic material of 20 years of permanent monitoring.

Key words: Galeras volcano, lava dome, eruptions, seismic energy

1. INTRODUCCIÓN

Galeras, un volcán andesítico de 4276 m, hace parte de una concentración volcánica del sector centro-oriental de la cordillera de los Andes, situado en el Nudo de los Pastos, en el Departamento de Nariño, Colombia, a 1°13.73' N, 77°2.55' W. Es uno de los volcanes más activos de Colombia, y su cono activo se ubica a 9 km al W de San Juan de Pasto, una ciudad con cerca de 310.000 habitantes (Ver figura 1). Galeras es un estrato-volcán caracterizado por flujos de lava andesítica, flujos piroclásticos y depósitos de caída, y corresponde al centro eruptivo más reciente del denominado Complejo Volcánico Galeras. A finales de 1988, el volcán mostró nuevamente señales de actividad, e INGEOMINAS, en 1989, empezó su monitoreo continuo, estableciendo el

Observatorio Vulcanológico de Pasto. El período más reciente de actividad eruptiva se evidenció instrumentalmente hacia mediados de 2004, y permanece hoy en día en evolución.

Este artículo presenta una síntesis de la actividad del Galeras en 2009, utilizando referentes de la actividad del período 2004-2008. Se resalta el hecho de que, en los veinte años de monitoreo permanente del Galeras, se han registrado quince episodios eruptivos explosivos, relacionados con etapas de intrusión, limpieza y apertura de conductos; emplazamiento y formación de domos, y destrucción de los mismos. El período más reciente de actividad inició a finales de junio de 2004 y aún permanece en evolución. En los últimos cinco años, el volcán ha registrado nueve erupciones explosivas de

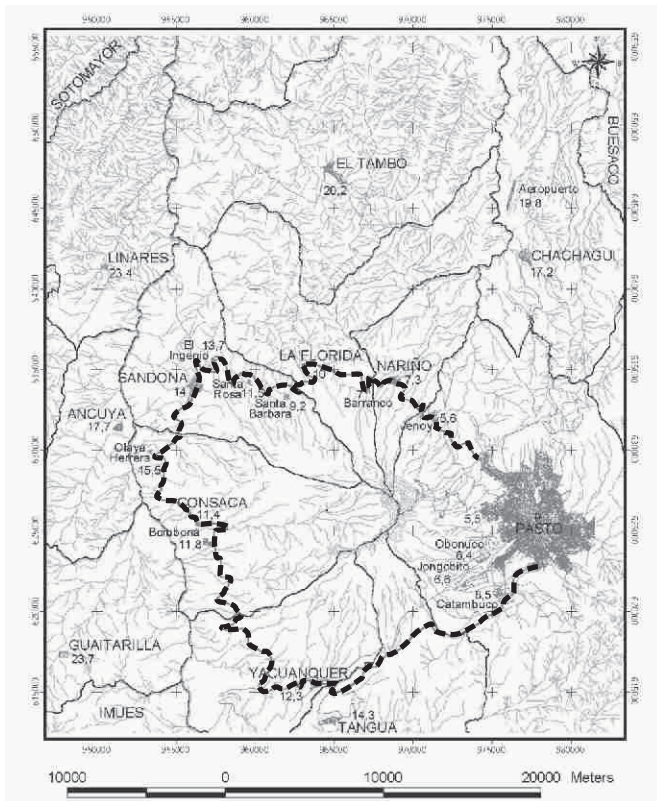


Figura 1. Localización del volcán Galeras y poblaciones aledañas. La línea negra punteada representa la vía circunvalar al volcán; las líneas en negro muestra las divisiones municipales, y los números indican distancias en línea recta (km), entre el cráter y una población dada.

nivel intermedio, de las cuales, cuatro se han registrado entre enero de 2008 y marzo de 2009. En este período se ha detectado la intrusión y emplazamiento de dos domos de lava, el primero de ellos observado el 13 de enero de 2006, y el más reciente, claramente evidenciado hacia septiembre de 2008.

2. ANTECEDENTES DE LA ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS

En el registro geológico del volcán Galeras, con una edad aproximada de 4500 años, Calvache (1990) reporta el hallazgo de erupciones de tipo Vulcaniano con columnas eruptivas no mayores a 12 km de altura, con pequeños volúmenes de depósitos de flujos piroclásticos conteniendo una alta proporción de material no juvenil, fragmentos de flujos de lava y clastos de escoria (Calvache y Williams, 1992). En los últimos 500 años, y según el registro documental, las erupciones se han caracterizado principalmente por emisiones de gases y cenizas, pequeños flujos de lava y erupciones explosivas que han dado lugar a depósitos de flujos piroclásticos, ondas de choque e incendios ocasionados por la caída de material incandescente (Espinosa, 2001). De acuerdo con un registro fotográfico, se evidencia que en la erupción del 27 de agosto de 1936 se produjo un flujo piroclástico, por colapso de la columna hacia el flanco NE

del edificio volcánico. Por otra parte, en la actividad del volcán se destaca la generación y destrucción de domos de lava, así como la ocurrencia de secuencias de sismos volcánicos que fueron sentidos en la zona de influencia del volcán. El registro de sismos de largo período y episodios de corta duración de tremor cuasi-monocromático, intercalados con ciertos sismos volcano-tectónicos, desde junio de 1988, y las variaciones en la composición química de los gases fumarólicos, a finales de 1988, se evidenciaron como signos de nuevas evidencias de actividad en Galeras (Gil-Cruz, 1997; Williams *et al.*, 1990). Este período, que se extendió hasta 1996, se caracterizó por la extrusión de un domo de lava, observado en octubre de 1991, y la posterior generación de seis eventos eruptivos explosivos, el primero de los cuales, registrado el 16 de julio de 1992, destruyó cerca de las dos terceras partes del domo. Las cinco erupciones subsecuentes, ocurridas el 14 de enero, el 23 de marzo, el 4 y el 13 de abril, y el 7 de junio de 1993, también fueron explosiones súbitas, tipo Vulcanianas, con columnas eruptivas de menos de 10 km en altura, que produjeron pequeños volúmenes de depósitos de caídas piroclásticas y efectos de ondas de choque.

El período más reciente de actividad se detectó, instrumentalmente, hacia mediados de 2004, caracterizado por una intrusión, en julio, y por la apertura y limpieza de conductos subsiguientemente, en el mismo mes, con emisiones de ceniza desde un cráter secundario, hasta la ocurrencia de tres erupciones explosivas registradas en el cráter principal el 11 y 12 de agosto de 2004 y, posteriormente, el 21 de noviembre del mismo año, alternando con emisiones de cenizas desde este mismo cráter. En 2005, sísmicamente se evidencian algunos procesos intrusivos en abril y agosto, el último de los cuales tuvo manifestaciones de deformación cortical hasta finales de octubre, un mes antes de la ocurrencia de una erupción de baja explosividad registrada en el 24 de noviembre. A partir de esta erupción, se registró un incremento en la sismicidad asociada con movimiento de fluidos, acompañando el ascenso y extrusión de un domo de lava, que fue observado el 13 de enero de 2006 y que fue parcialmente destruido por la erupción explosiva registrada el 12 de julio, a la cual se le asoció un depósito mínimo cercano a los 310.000 m³, equivalentes a cerca de un 10% del volumen total del domo. Posteriormente ocurrió la erupción del 17 de enero de 2008, que también se asoció con destrucción del domo de lava emplazado a inicios del 2006 y que, en conjunto con la erupción precedente, totalizó un 50% de destrucción del domo. Posteriormente, se detectaron manifestaciones instrumentales que se relacionaron con un nuevo aporte de material magmático, fundamentalmente desde mediados de 2008, que en el mes de septiembre se evidenció con la presencia -en el fondo del cráter principal- de un nuevo domo de lava, y que para el mes de

diciembre se le estimó en un volumen cercano a los 5.000.000 m³. Las erupciones más recientes, registradas entre febrero y marzo de 2009, expulsaron cerca de un 60% del volumen total estimado para el domo de 2008. En sobrevuelos efectuados en el mes de abril de 2009, se detectan cambios morfológicos en el interior del cráter principal, asociados a los efectos de las erupciones más recientes, la presencia de remanentes del domo de lava, la observación de sectores con incandescencia, con temperaturas máximas cercanas a los 470 °C y actividad fumarólica desde diferentes sectores del cono activo. La figura 2 ilustra el comportamiento general de la sismicidad del volcán desde enero de 2004.

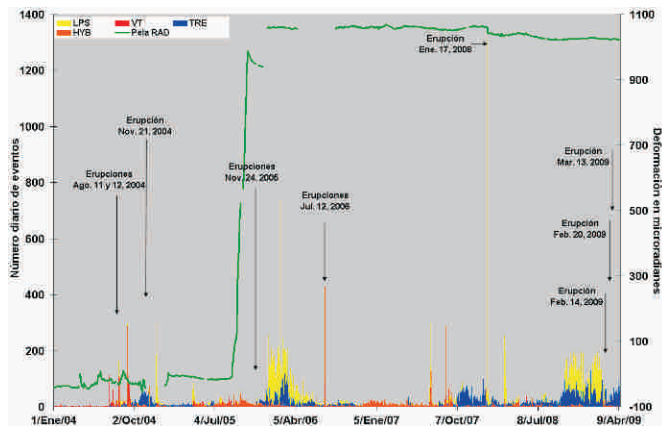


Figura 2. Ocurrencia diaria de sismos de Galeras y comportamiento de la componente radial del inclinómetro Peladitos (ubicado a 1,9 km al E del cráter activo), entre enero de 2004 y abril de 2009.

3. ACTIVIDAD ERUPTIVA DE 2009

El proceso eruptivo de 2009 estuvo enmarcado por la presencia de un domo de lava emplazado en el fondo del cráter principal y por el registro de tres erupciones explosivas registradas el 14 y el 20 de febrero, y el 13 de marzo. La actividad posterior al evento eruptivo de marzo se ha caracterizado por presentar fluctuaciones en la sismicidad, en las emisiones de dióxido de azufre y en las manifestaciones en superficie. En sobrevuelo efectuado el 7 de abril de 2009, se observó incandescencia en un sector del fondo del cráter principal, y las mediciones de temperaturas a partir de imágenes tomadas con cámaras infrarrojo térmicas, mostraron valores máximos de 480 °C.

4. EL DOMO DE LAVA

A través de reconocimientos aéreos de la actividad superficial de Galeras, mediante sobrevuelos efectuados con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), hacia septiembre de 2008 se detectó la presencia de material incandescente en el fondo del cráter principal, y anomalías térmicas significativas, registradas desde agosto de 2008, con valores entre 330 y 470 °C, que hacia final del año alcanzaron valores máximos entre 420 y 530

°C, con el uso de una cámara térmica FLIR (convenio INGEOMINAS - BGR_Alemania) (ver figura 3).

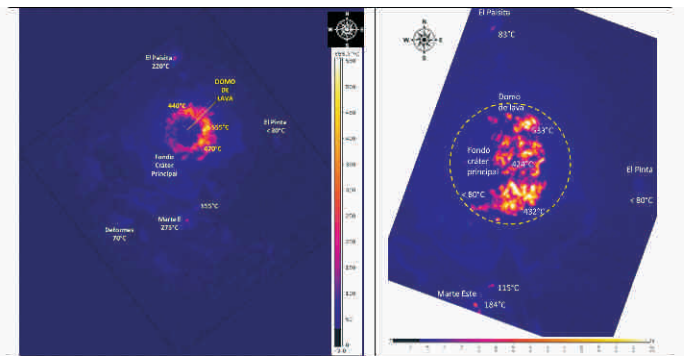


Figura 3. Imágenes térmicas infrarrojas tomadas sobre el cráter del volcán Galeras el 19 de septiembre de 2008 (izquierda) y el 11 de diciembre de 2008 (derecha). En ambos casos, las temperaturas máximas superan los 500 °C.

A partir de modelamiento gráfico (Ver figura 4), realizado regularmente sobre el cono activo de Galeras, con base en puntos morfológicos georreferenciados y la toma regular de fotografías, en diferentes épocas, fue posible establecer el crecimiento del domo de lava. Con ese modelamiento, se estableció que a 12 de diciembre de 2008, el domo tenía un volumen cercano a 4'500.000 m³, y que justo antes de las erupciones de febrero de 2009 podría estar en un valor cercano a los 5'300.000 m³, asumiendo una tasa de crecimiento promedio entre 15.000 - 20.000 m³/día, valores estimados de acuerdo con el seguimiento de los domos de 1991 y 2006.

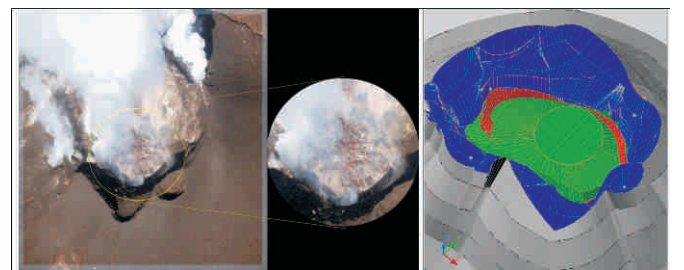


Figura 4. Imágenes del cráter principal del volcán Galeras el 12 de diciembre de 2008 (izquierda), en la que se detalla el domo de lava y representación del modelo gráfico del mismo.

5. ERUPCIÓN EXPLOSIVA DEL 14 DE FEBRERO DE 2009

El 14 de febrero, a las 7:10 p.m., hora local, las estaciones que conforman la red de monitoreo sísmico de Galeras registraron un evento eruptivo que generó una señal sísmica (Ver figuras 5 y 6). La señal inicial, más energética (correspondiente a la fase explosiva de la erupción), duró cerca de dos minutos y liberó una energía de ondas de cuerpo (Eoc) de 2,24 x 1.014 ergios, con un desplazamiento reducido de ondas de cuerpo (DR_{oc}) de 1.283 cm², valores calculados para la componente vertical de la estación Cufiño, de banda ancha (ubicada a

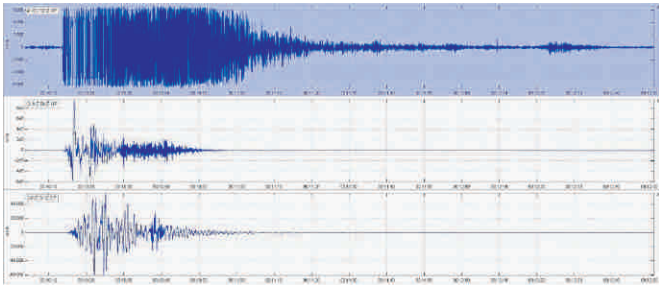


Figura 5. Sismogramas correspondientes a la componente vertical en las estaciones Anganoy, Cufiño (banda ancha) y Calabozo, de la fase inicial del episodio eruptivo explosivo registrado el 14 de febrero de 2009 a las 7:10 p.m.

1,9 km al este-noreste del cráter principal). Segundos después, se registró un evento de tremor espasmódico que duró aproximadamente 43 minutos, de las 7:13 p.m. a las 7:56 p.m. (Ver figura 6), que liberó una Eoc de 2,16 x 1.012 ergios, con un DR_{oc} de 67 cm^2 ; esta señal de tremor espasmódico se correlaciona con una emisión de ceniza que, por acción del viento, se dirigió hacia el costado oriental del edificio volcánico.

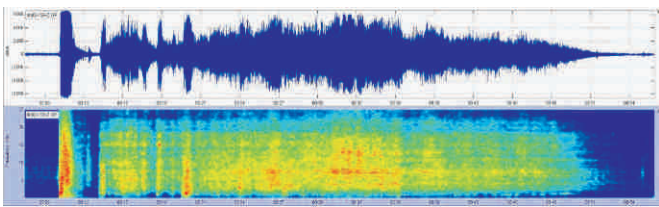


Figura 6. Sismograma y espectrograma para la estación sísmica de corto período-componente vertical Anganoy (ubicada a 0,8 km al este del cráter principal) del episodio eruptivo registrado el 14 de febrero de 2009 a las 7:10 p.m. La señal sísmica superó el umbral de detección en amplitud de esta estación, por lo que el registro sísmico muestra saturaciones en algunos segmentos del sismograma.

La señal sísmica estuvo acompañada de una onda de choque que fue percibida por habitantes del municipio de Pasto, causando vibración de vidrios, principalmente. Las ondas acústicas propagadas a través de la atmósfera fueron registradas por el sensor acústico de la estación Calabozo, CAMI, ubicado a 6,8 km hacia el occidente del cráter (Ver figura 7). La onda de máxima amplitud acústica registrada fue de aproximadamente 1,1 Pa, con una frecuencia de 0,6 Hz, que corresponde al rango del

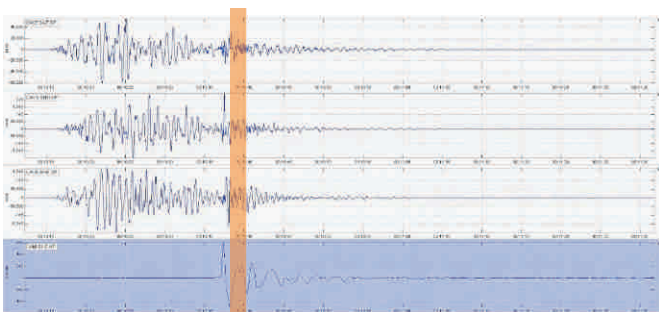


Figura 7. Componentes vertical, NS y EW del sismómetro de corto período de la estación Calabozo (a 6,8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2.350 msnm), junto con el registro del sensor acústico, correspondientes a la erupción del 14 de febrero de 2009. El recuadro naranja indica el arribo del tren de ondas acústicas.

infrasonido. El material generado en la erupción consistió en bloques y bombas que alcanzaron distancias de hasta 1,5 km, que afectaron principalmente la base militar ubicada en el borde del anfiteatro de Galeras, y ceniza distribuida preferencialmente en dirección E a SE, incluyendo el sector norte de la laguna de La Cocha, a una distancia de 27 km a partir del cráter activo, afectando principalmente a la ciudad de Pasto (ver figura 8). El volumen mínimo depositado en esta erupción se estimó en cerca de 285.000 m^3 . En el momento de la erupción estaba nublado, y llovía en el sector oriental del volcán, lo que impidió la visualización del fenómeno. De manera general, el material emitido en la erupción, en forma de ceniza y polvo volcánico, es de color gris a gris habano, está constituido en un 90%-95% por vidrio volcánico, que se presenta como fragmentos angulares a subangulares de color gris claro semitranslúcido, translúcido y negro, algunos de los cuales presentan pequeños cristales de plagioclasa. Entre los fragmentos negros se presenta un alto porcentaje de vesículas, y otros afectados por oxidación. Adicionalmente, en baja proporción, se encuentran fragmentos de color gris muy claro a blanco, vítreos, con textura sacaroides, que podrían corresponder a fragmentos del interior de las bombas. Entre el 2% y el 6% está constituido por fragmentos líticos alterados y accidentales, entre los cuales hay masivos de color ladrillo, porfíricos finos de color rosado y grises rojizos (oxidación) muy vítreos, y blancos opacos, posiblemente cuarzo microcristalino.

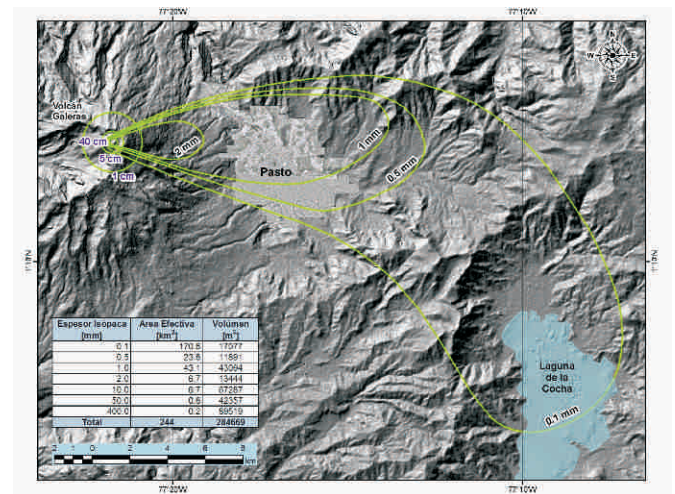


Figura 8. Mapa de distribución de caída piroclástica (mapa de isopacas), para el evento eruptivo registrado el día 14 de febrero de 2009. Se establecieron, de manera preliminar, varios espesores entre 0,1 y 400 mm.

6. ERUPCIÓN EXPLOSIVA DEL 20 DE FEBRERO DE 2009

El 20 de febrero, a las 7:04 a.m., hora local, las estaciones de la red sísmica de Galeras registraron un nuevo evento eruptivo explosivo, que generó una señal sísmica. La señal inicial, más energética, tuvo una duración aproximada de un minuto y liberó una energía de ondas

de cuerpo (E_{oc}) de $3,17 \times 1.014$ ergios, con un desplazamiento reducido de ondas de cuerpo (DR_{oc}) de 617 cm^2 , valores calculados para la componente vertical de la estación Cufiño. De inmediato, se registró un episodio de tremor espasmódico que duró aproximadamente 12 minutos, desde las 7:06 a.m. hasta las 7:19 a.m. (Ver figura 9). Parte de la energía liberada por la explosión se manifestó en un tren de ondas acústicas que fue escuchado por varias personas en la zona de influencia del volcán, y además se tienen reportes asociados a esta onda explosiva, como vibración de vidrios y ligero movimiento de algunas puertas. Igualmente, se reportó que la onda explosiva fue sentida en Popayán, a más de 150 km en línea recta del volcán. El cambio súbito en la presión atmosférica, estimado en 10,7 HPa, fue detectado por el sensor de presión de la estación climática ubicada en el sector de la estación sísmica Cráter, a 1,5 km hacia el sur sureste del cráter volcánico. El frente de onda acústico alcanzó también los sensores de sonido en la estación CAMI. La variación en la presión calculada para ambas erupciones, tanto la del 14 como la del 20 de febrero, fue de 1,1 Pa. La figura 10 muestra el sismograma y el registro de la fase acústica de la erupción del 20 de febrero; las gráficas están sincronizadas en el tiempo. El material generado en la erupción, consistió en bloques y bombas que alcanzaron distancias de hasta 2,3 km hacia el este del cráter, donde se encontraron bloques con tamaños de hasta 30 cm, que afectaron de nuevo a la Base Militar, y algunos daños en el sector de las antenas repetidoras de televisión y la carretera que lleva a la cima del volcán. También se registró caída de ceniza, que se distribuyó en dirección W-NW, obteniéndose reportes de caída hasta distancias mayores de 100 km (Carretera hacia el Pacífico, entre El Diviso y La Guayacona. Ver figura 11). El volumen mínimo depositado en esta erupción se estimó en cerca de $1.400.000 \text{ m}^3$. A diferencia del material piroclástico del 14 de febrero, que es esencialmente vítreo, y conforme al análisis de las muestras de ceniza bajo lupa binocular, se permite clasificar el material como ceniza lítico vítrea a vítrea cristalina, que se da desde la ceniza más gruesa a la más fina. El material emitido contiene ceniza de color gris a gris habano; en la fracción más gruesa (ceniza muy gruesa a lapilli), los fragmentos líticos grises porfiríticos o afaníticos son muy comunes. Los fragmentos vítreos se presentan como angulares a subangulares de color gris claro semitranslúcido, translúcido y negro, algunos de los cuales presentan pequeños cristales de plagioclasa y máficos. Entre los fragmentos translúcidos se destacan, aunque en bajo porcentaje, fragmentos muy vehiculados; igualmente se encuentran fragmentos de color gris muy claro a blanco, vítreos con textura sacaroide y aspecto pumítico, entre los cuales estos dos últimos tipos de fragmento parecen corresponder al interior de las bombas volcánicas. La fracción más fina presenta un mayor contenido en cristales subhedrales a anhedrales, principalmente de plagioclasa y, en menor cantidad,

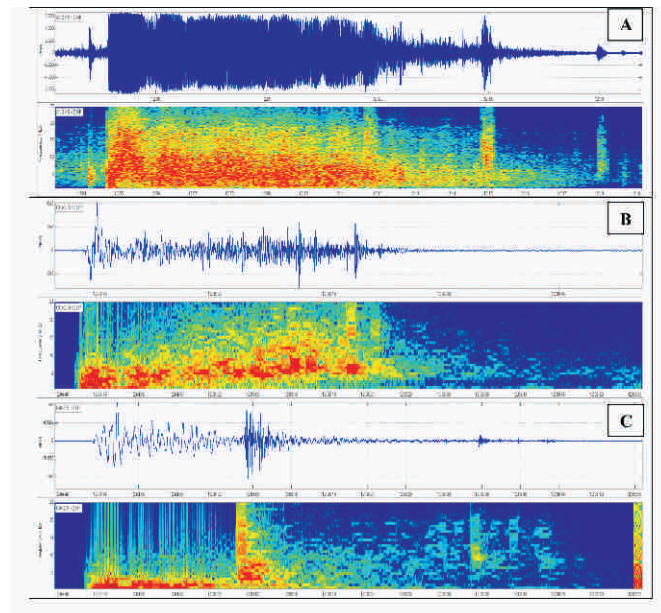


Figura 9. Sismogramas y espectrogramas en la componente vertical para las estaciones: A) Anganoy, B) Cufiño y C) Calabozo, del episodio eruptivo registrado el 20 de febrero de 2009 a las 7:05 a.m.

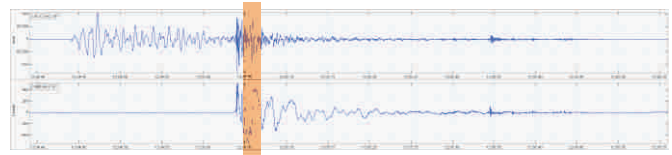


Figura 10. Componente vertical del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo, junto con el registro del sensor acústico, correspondientes a la erupción del 20 de febrero. El recuadro naranja indica el arribo del tren de ondas acústicas.

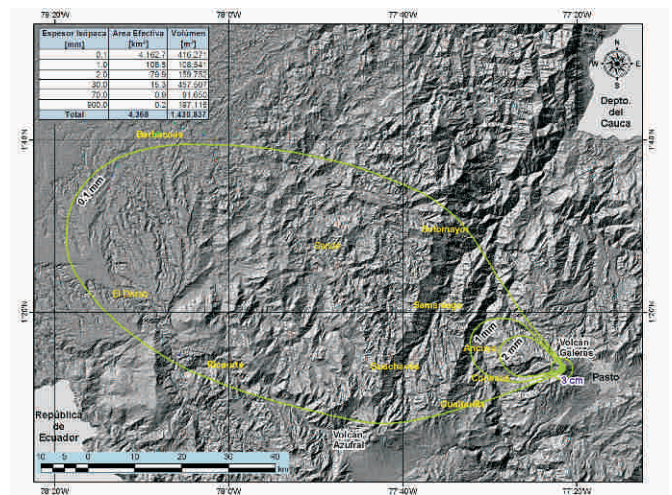


Figura 11. Mapa de distribución de caída piroclástica (mapa de isopacas), para el evento eruptivo registrado el 20 de febrero de 2009. Se establecieron de manera preliminar, varios espesores entre 0,1 y 900 mm.

cuarzo, piroxenos y anfíboles, xenocristales de biotita subhedral color dorado, plagioclasas y cuarzos con tintes amarillos y rojizos, presentes en muy baja proporción. Los fragmentos líticos alterados y accidentales, entre los que se encuentran unos porfiríticos blancos con fenocristales de plagioclasa, cuarzo piroxeno, anfíbol y

biotita, y otros con porfíricos finos de color ladrillo, rosado y grises rojizos (oxidación) y blancos de aspecto terroso, se encuentran en baja proporción en todas las fracciones.

7. ERUPCIÓN EXPLOSIVA DEL 13 DE MARZO DE 2009

El 13 de marzo, a las 3:55 p.m., hora local, se presentó un evento eruptivo explosivo, que generó una señal sísmica registrada por las estaciones de la red de Galeras (Ver figura 12). La señal inicial, más energética, tuvo una duración aproximada de 16 minutos y liberó una energía de ondas de cuerpo (E_{oc}) de $1,87 \times 10^{14}$ ergios, según cálculos en estación Cufiño. Hacia las 03:44 p.m., el volcán registró un nuevo pulso de tremor, asociado con procesos de emisión de material volcánico (ver figura 13).

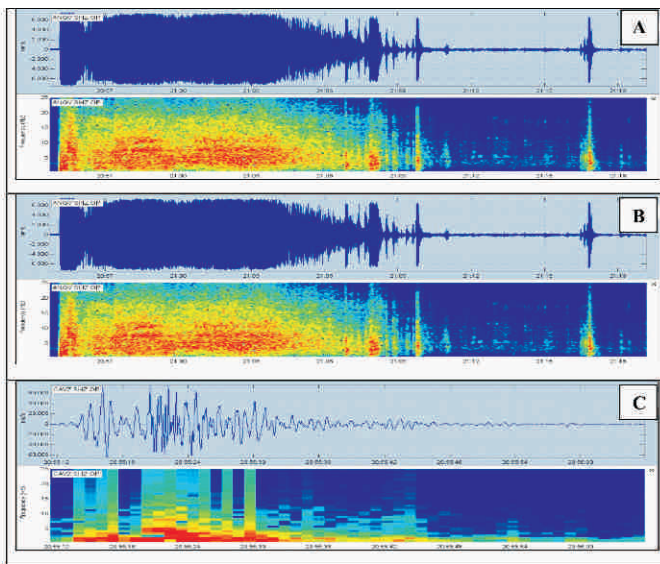


Figura 12. Sismogramas y espectrogramas para las componentes verticales de las estaciones: A) Anganoy, B) Cufiño y C) Calabozo, del episodio eruptivo registrado el 13 de marzo de 2009 a las 3:55 p.m.

Se generaron efectos acústicos, percibidos en varios sectores de los municipios de la zona de influencia de Galeras. Hubo caída de ceniza, preferentemente en dos direcciones: hacia el oriente y norte (San Juan de Pasto, Anganoy, San Cayetano y Mapachico) y hacia el noroccidente y noroccidente (Pachindo, Barranco, El Rodeo, casco urbano de La Florida, y veredas de la parte alta del municipio de Sandomá). En algunos de esos sectores se reportaron olores a gases azufrados. El tren de ondas acústicas alcanzó los sensores de sonido en la estación CAMI, ubicados en la estación Calabozo (ver figura 14).

El material generado durante esta erupción consistió fundamentalmente de ceniza, que se distribuyó en las direcciones NNW y NNE. Esta distribución bimodal es debida a dispersión de la ceniza por cambio en la

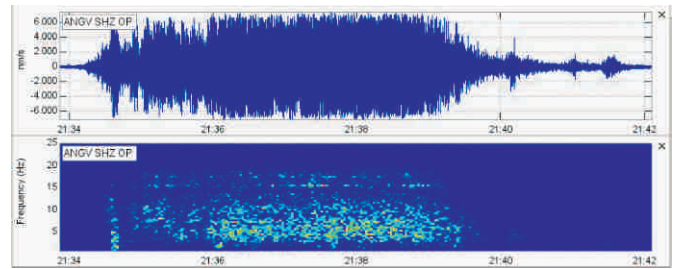


Figura 13. Sismograma (superior) y espectrograma (inferior) del episodio de tremor registrado el 13 de marzo a las 4:34 p.m. con una duración de aproximadamente 8 minutos. Evento posterior a la erupción de las 3:55 p.m.

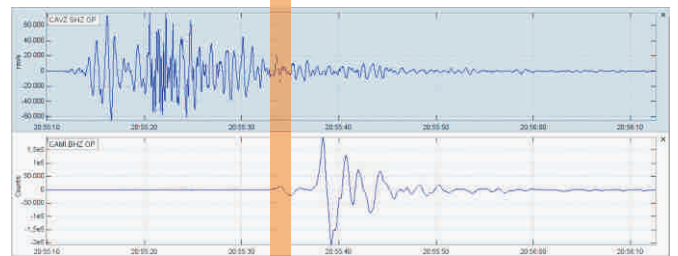


Figura 14. Componente vertical del sismómetro de corto período de la estación Calabozo, junto con el registro del sensor acústico, correspondientes a la erupción del 13 de marzo. El recuadro naranja indica el arribo del tren de ondas acústicas.

dirección del viento, entre las emisiones de las 3:55 y las 4:34 p.m., como se corrobora con los datos de la estación climática. Se obtuvieron reportes de caída de este material hasta distancias de 40 km al NW del volcán (Sector de La Llanada) y 25 km al NNE (Sector de Chachagüi), afectando localidades como Sandomá, (a 14,5 km), la Florida (a 10 km), sector norte de San Juan de Pasto (a 10 km) y Aeropuerto Antonio Nariño (a 19 km). El volumen mínimo depositado en esta erupción se estimó en cerca de 850.000 m³ (ver figura 15). El análisis, bajo lupa binocular, de las muestras de ceniza colectadas en la zona de dispersión de los piroclastos, permite clasificar el material emitido como ceniza vítrea a vitro

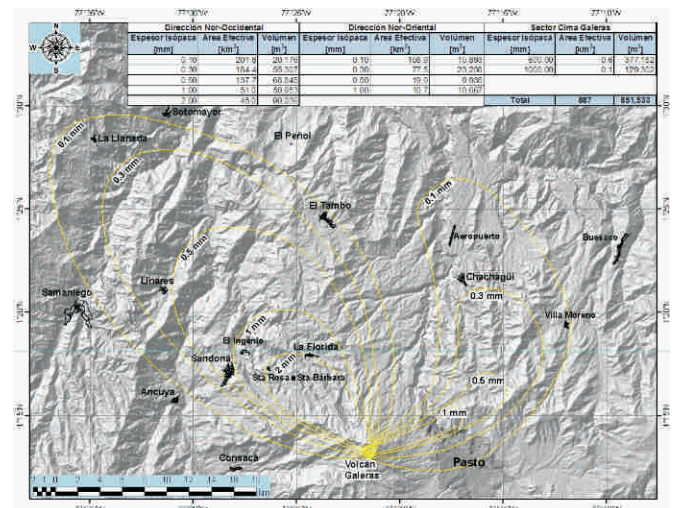


Figura 15. Mapa de distribución de caída piroclástica (mapa de isópacas), para los eventos eruptivos registrados el día 13 de marzo de 2009.

cristalina, dependiendo del tamaño y la distancia a la fuente. Es de anotar que no hay diferencias en la composición del material emitido en las dos fases eruptivas de este día. En algunas de las fracciones del material emitido hacia el NNE se nota que, independiente de la distancia al cráter, hay un alto porcentaje de polvo volcánico que se explica, al igual que para la erupción del 14 de febrero, por la presencia de fuertes lluvias en el momento de la erupción, que ayudan a precipitar este material a distancias más cercanas.

De manera general, el material emitido en la erupción en forma de ceniza y polvo volcánico es de color gris a gris habano, y está constituido en un 65%-90% por vidrio volcánico, que se presenta como fragmentos angulares a subangulares de color gris claro semitranslúcido, algunos con pequeños cristales de plagioclasa y opacos, representando la mayor parte del material arrojado. En menor cantidad, pero muy común, se encuentra vidrio translúcido y vidrio negro, que generalmente presentan fractura concoide y, a veces, están afectados por oxidación. En muy baja proporción (<1%), se encuentran fragmentos de color gris muy claro o blanco, vítreos con textura sacaroides, y microvesículas que podrían corresponder a fragmentos del interior de bombas volcánicas. Cabe anotar que este material se encuentra en menor porcentaje que en el analizado en las erupciones de febrero.

8. DISCUSIÓN

El comportamiento de la sismicidad, la deformación y los flujos de SO_2 del período actual de actividad han sido relativamente similares a los observados en el período inmediatamente previo relacionado, con la extrusión del domo de 1991. Las principales diferencias se enmarcan en los tiempos de evolución de construcción del domo y en los volúmenes de material magmático emplazado. En el domo de mediados de 1991, el proceso de construcción fue más lento y de menor volumen, razón por la que su destrucción pudo darse en un tiempo más corto respecto a los domos de comienzos de 2006 y de finales de 2008. Parte de estas diferencias pueden ser atribuibles al hecho de que Galeras, antes del domo de 1991, era un sistema más cerrado, dado el tiempo transcurrido desde su última actividad eruptiva. Después de la destrucción del primer domo, el sistema parece haber quedado más abierto. Las erupciones de 2009, así como las de 1992-1993, después de los emplazamientos de domos, pueden explicarse desde el punto de vista de procesos de presurización y su posterior relajación. Los procesos de presurización podrían evidenciarse en el comportamiento de la sismicidad antes de las erupciones, por el descenso de sismos asociados con movimiento de fluidos, la disminución en las emisiones de gas y, especialmente, por las concentraciones de SO_2 y la aparición e incremento de sismos con componente de fractura a niveles muy

superficiales, justo antes de las erupciones. La gran cantidad de vidrio en las cenizas puede explicarse por el rápido enfriamiento del material magmático del domo. Este material solidificado trabaja como un sello en los conductos, impidiendo la libre liberación de gases y, consiguientemente, la reducción en la movilidad de los mismos, lo que estaría de acuerdo con la disminución o ausencia de sismos asociados con dinámica de fluidos y, posteriormente, en la ocurrencia de sismos pequeños asociados a fracturamiento del material recientemente solidificado. Cuando la sobrepresión alcanza un nivel crítico, se suscitan los episodios eruptivos y, consiguientemente, la relajación del sistema.

9. CONCLUSIONES

Aunque es difícil establecer precursores que puedan anticipar erupciones en Galeras, se han evidenciado, durante el período de la vigilancia instrumental, algunos patrones que permiten pronosticar episodios eruptivos, especialmente después del emplazamiento de domos, como la disminución de los sismos asociados a movimiento de fluidos y de las emisiones de gases y, principalmente, de las concentraciones de SO_2 , y la aparición de pequeñas fracturas muy localizadas en la región del cráter y a niveles superficiales.

Cabe destacar la relativa estabilidad en la composición de las muestras colectadas después de las erupciones y el hecho del rápido enfriamiento del magma en superficie, lo que puede desencadenar una erupción en corto tiempo, una vez se selle el sistema.

10. REFERENCIAS

- Calvache, V.; M.L. (1990). Geology and volcanology of the recent evolution of Galeras volcano, Colombia. M. S. thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, 171p.
- Calvache V.; M.L., and Williams, S.N. (1992). Lithic-dominated pyroclastic flows at Galeras volcano, Colombia--An unrecognized volcanic hazard. *geology*, v. 20, pp. 539-542.
- Espinosa, A. (2001). Erupciones históricas de los volcanes colombianos (1500-1995). Editorial Guadalupe Ltda., Bogotá. pp. 147-250
- Gil-Cruz, F., and Chouet, B.A. (1991). Long-Period events, the most characteristic seismicity accompanying the emplacement and extrusion of a lava dome in Galeras volcano, Colombia, 1991.
- Williams, S. N.; Calvache, V. M. L.; Sturchio, N. C.; Zapata, G. J. A.; Méndez, F. R. A.; Calvache, O. B.; Londoño, C. A.; Gil, C. F., and Sano, Y. (1990). Premonitory geochemical evidence of magmatic reactivation of Galeras volcano, Colombia. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 71: 647.