



INGEOMINAS – OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE PASTO

RESUMEN DE ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS DEL 29 DE DICIEMBRE DE 2009 AL 4 DE ENERO DE 2010

San Juan de Pasto, 13 de enero de 2010

Desde el 8 de diciembre de 2009 la actividad de Galeras mostró variaciones importantes, como la presencia de sismos asociados con cambios en las condiciones geométricas del sistema e incremento de presiones en el sistema volcánico, que sísmicamente se reflejaron en el registro de eventos tipo Tornillo y “seudo-tornillo”. Lo anterior junto con bajos niveles de SO₂, escasa actividad superficial y el comportamiento térmico del cono activo, razones por las cuales, el 9 de diciembre de 2009 se tomó la decisión de cambiar de nivel de actividad a Naranja (II) ♦: “Erupción probable en término de días o semanas”.

Después de un periodo de bajos niveles de ocurrencia y energía en la sismicidad, desde el 12 de diciembre se inicia un incremento en los sismos relacionados con dinámica de fluidos, en su gran mayoría del tipo LP (movimiento de fluidos cuya fuente actúa de manera transitoria en el tiempo; Figuras 1 y 2). La sismicidad asociada a fluidos, continuó incrementándose hacia el final de la tercera semana de diciembre, cuando se llegaron a registrar más de 120 eventos por día, luego se presentó un descenso paulatino que finalmente desembocó en la erupción del 2 de enero de 2010. Sismicidad con características similares se observó en etapas previas a las erupciones del 30 de septiembre y 20 de noviembre de 2009, con la diferencia de que la sismicidad contenía más eventos en los que se conjuga fractura de material cortical y movimiento de fluidos, sismos tipo Híbrido (HYB).

Cabe resaltar que durante la fase previa a la erupción del 2 de enero se registraron diez eventos tipo Tornillo y 7 “Seudotornillo”. Para Galeras, la importancia de los tornillos radica en que se han presentado en etapas que antecedieron a varios de los episodios eruptivos registrados entre 1992 y 2009. En la mayoría de los casos han mostrado características comunes como disminución en la frecuencia fundamental e incremento en sus duraciones.

De acuerdo a algunos modelos para eventos volcánicos asociados con dinámica de fluidos, en general, la tendencia a la disminución de las frecuencias dominantes de esta sismicidad, puede estar relacionada con incremento en la fracción gaseosa de los volátiles magmáticos presentes en el sistema volcánico. El aumento en las duraciones de este tipo de eventos puede explicarse a partir de contrastes significativos de las propiedades físicas, tales como la densidad del fluido que se mueve dentro de cavidades resonantes.

Los Tornillos que antecedieron la erupción del 2 de enero muestran características similares a las mencionadas en el párrafo anterior, en general, su frecuencia fundamental disminuyó (Figura 3), mientras que sus duraciones se incrementaron (Figura 4). De igual manera los eventos tipo Seudotornillo mostraron un comportamiento similar en cuanto a las duraciones (Figura 5). La inyección de vapor de agua u otros volátiles magmáticos hacia la cavidad resonante sería la causa de que la fracción de gas en el fluido aumente, lo que implica disminución en las frecuencias del registro sísmico y dado que la densidad del fluido disminuye (densidad promedio) se genera incremento en el contraste de impedancias entre la roca encajante y el fluido, lo que redundará en aumento de las duraciones de los Tornillos.

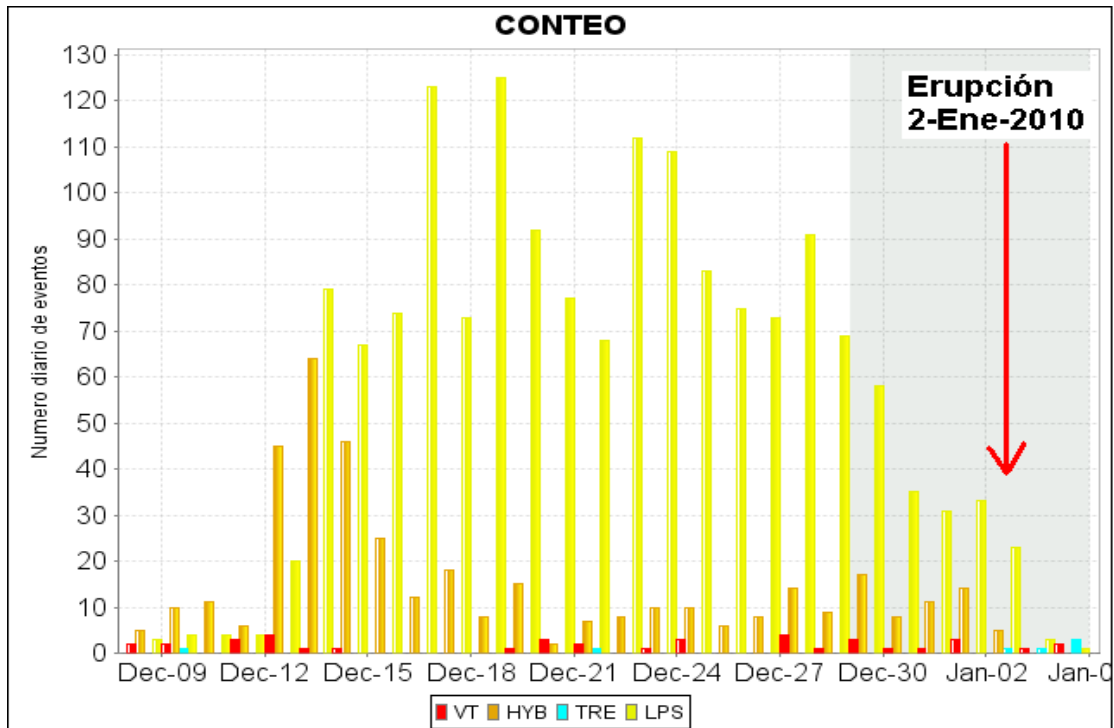


Figura 1. Ocurrencia diaria de eventos volcánicos por tipo, registrados entre el 29 de diciembre de 2009 y el 4 de enero de 2010. Se resalta con un recuadro gris el periodo semanal que se está evaluando.

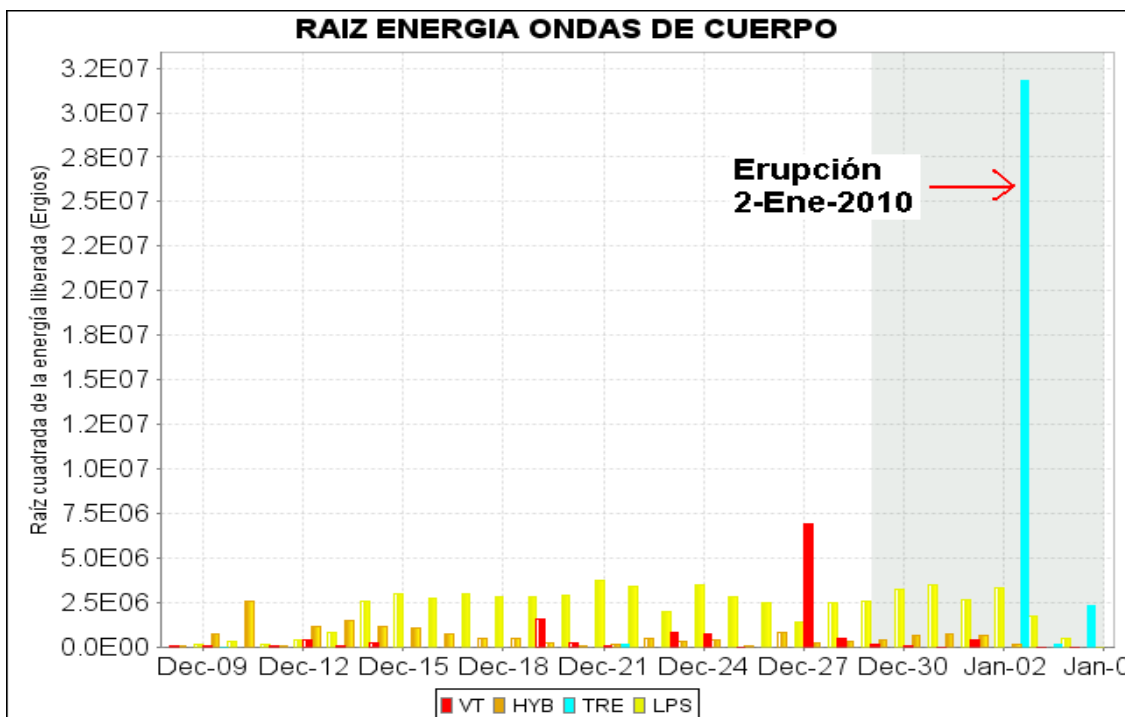


Figura 2. Energía de onda de cuerpo liberada diariamente por los eventos volcánicos según el tipo (expresada en términos de la raíz cuadrada de su valor en ergios), registrados entre el 29 de diciembre de 2009 y el 4 de enero de 2010. Se resalta con un recuadro gris el periodo semanal que se está evaluando.

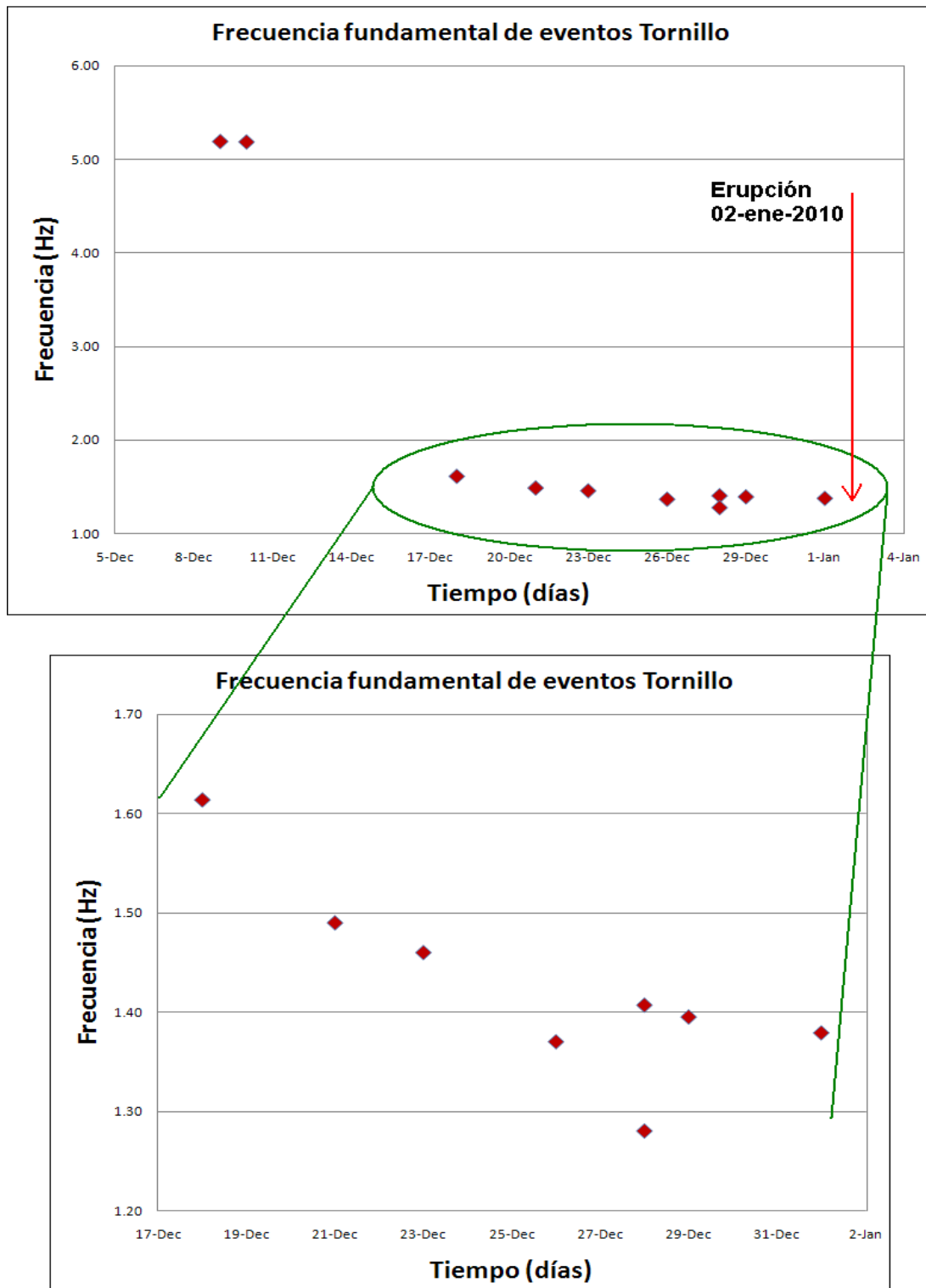


Figura 3. Evolución temporal de la frecuencia fundamental de los eventos tipo tornillo registrados por la estación Anganoy entre el 9 de diciembre de 2009 y el 1 de enero de 2010. En la gráfica inferior se muestra un detalle de los eventos presentados desde el 18 de diciembre ya que el cambio en sus frecuencias es sutil.

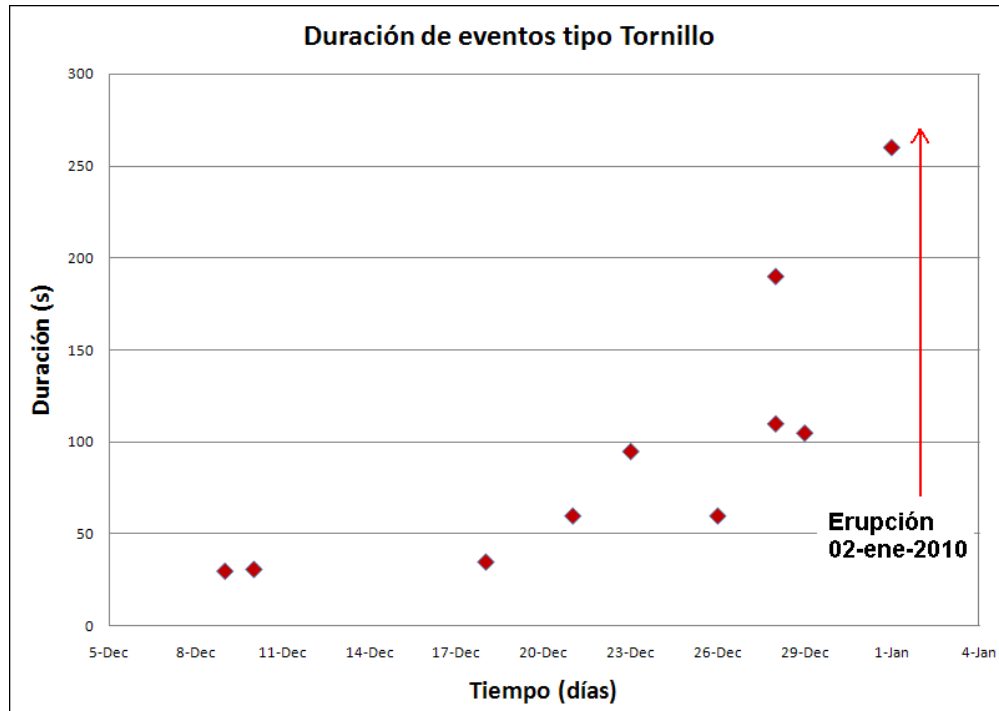


Figura 4. Evolución temporal de la duración de los eventos tipo tornillo, registrados por la estación Anganoy entre el 9 de diciembre de 2009 y el 1 de enero de 2010.

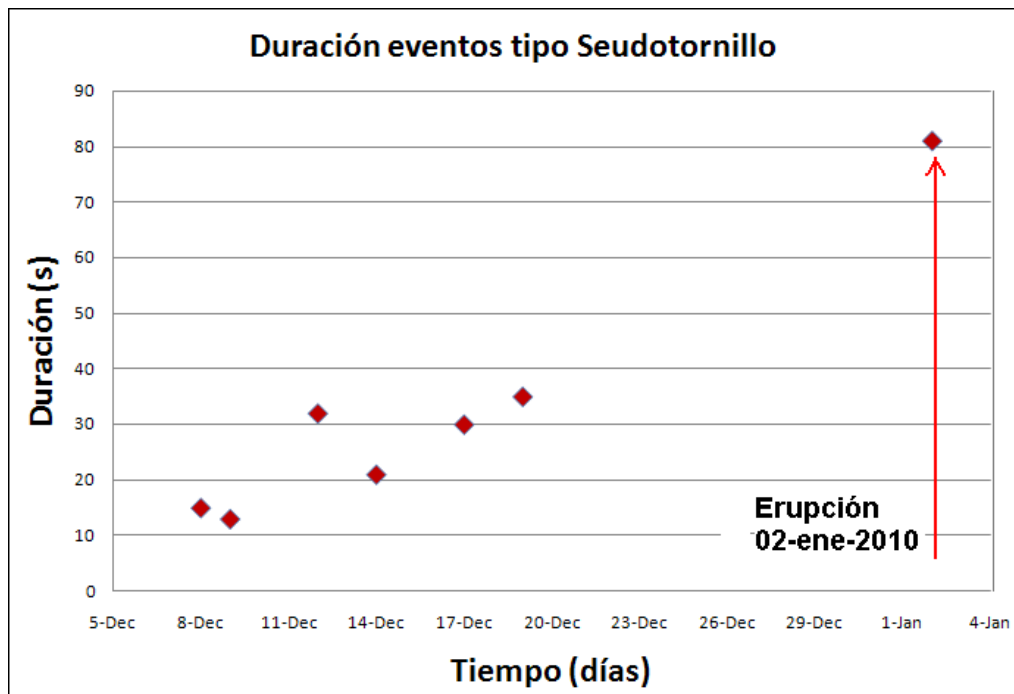


Figura 5. Evolución temporal de la duración de los eventos tipo pseudotornillo, registrados por la estación Anganoy entre el 9 de diciembre de 2009 y el 1 de enero de 2010.

En las gráficas 6 y 7 se muestra dos Tornillos registrados en la etapa pre-eruptiva al evento eruptivo del 2 de enero de 2010.

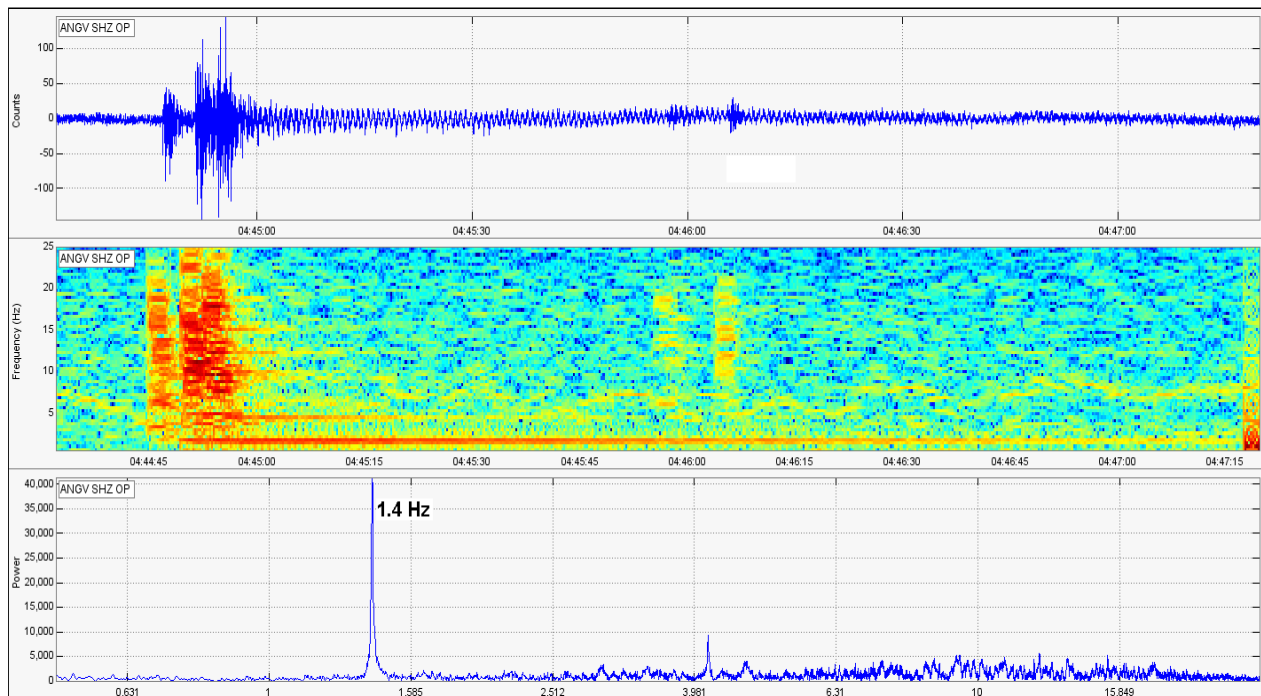


Figura 6. Sismograma, espectrograma y espectro del evento tipo Tornillo ocurrido el 29 de diciembre de 2009 a las 11:45 p.m. el cual registra una fase inicial con pulsos o eventos pequeños mayores que las ondas de coda.

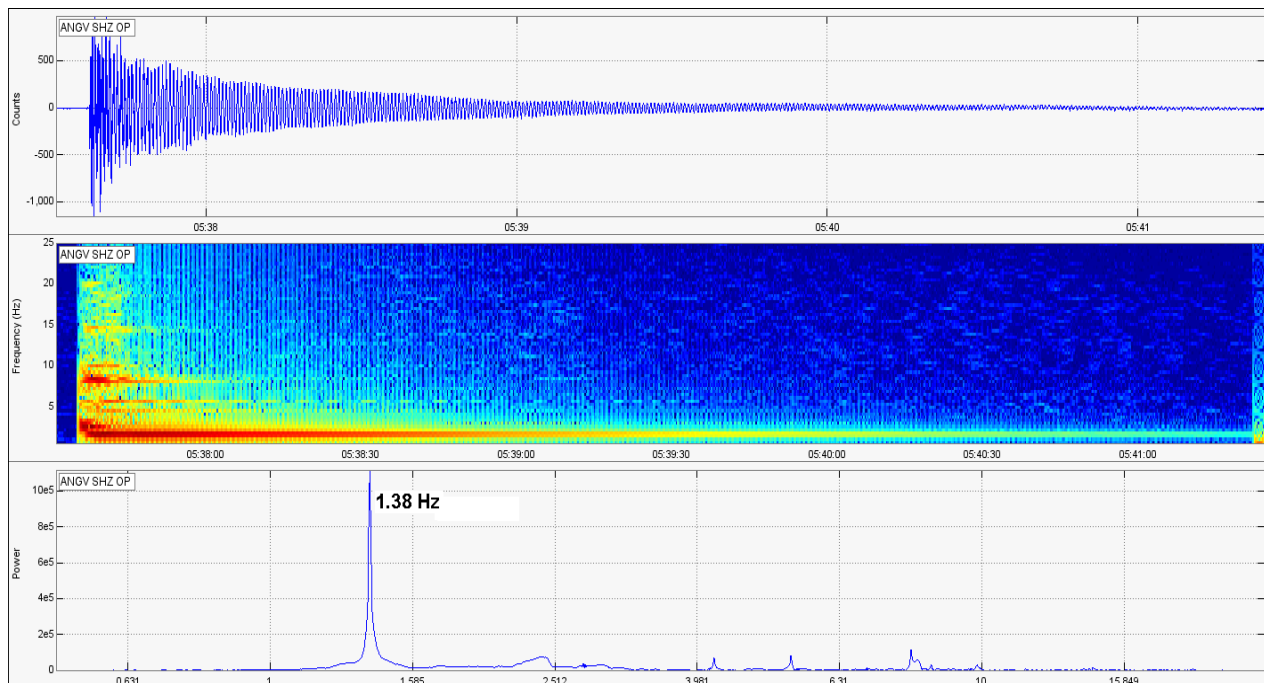


Figura 7. Sismograma, espectrograma y espectro del evento tipo Tornillo ocurrido el 1 de enero de 2010 a las 12:37 a.m. Este evento tuvo una duración de poco más de cinco minutos y correspondió al último de este tipo, registrado antes del evento eruptivo.

Entre los factores involucrados en etapas previas a las erupciones de Galeras se ha observado la presencia de tremores con características espectrales especiales, como son los sismos de fuente persistente en el tiempo y en los que sobresalen algunas de sus componentes armónicas (tremor armónico). Las erupciones ocurridas en 2009 han sido antecedidas por tremor armónico que se ha presentado desde semanas hasta días antes de las erupciones; de manera similar, cuatro semanas antes del evento eruptivo del 2 de enero de 2010 se registraron episodios de tremor que mostraban, cerca del final de la señal, un armónico dominante de baja frecuencia, estos eventos luego desaparecieron; en la figura 8 se muestra un ejemplo de un episodio de este tipo registrado el 4 de diciembre de 2009. El fenómeno involucrado en la generación de estos sismos se relaciona muy probablemente con la intrusión de material magmático hacia niveles más superficiales propiciando las condiciones necesarias para la gestación de nuevos eventos eruptivos.

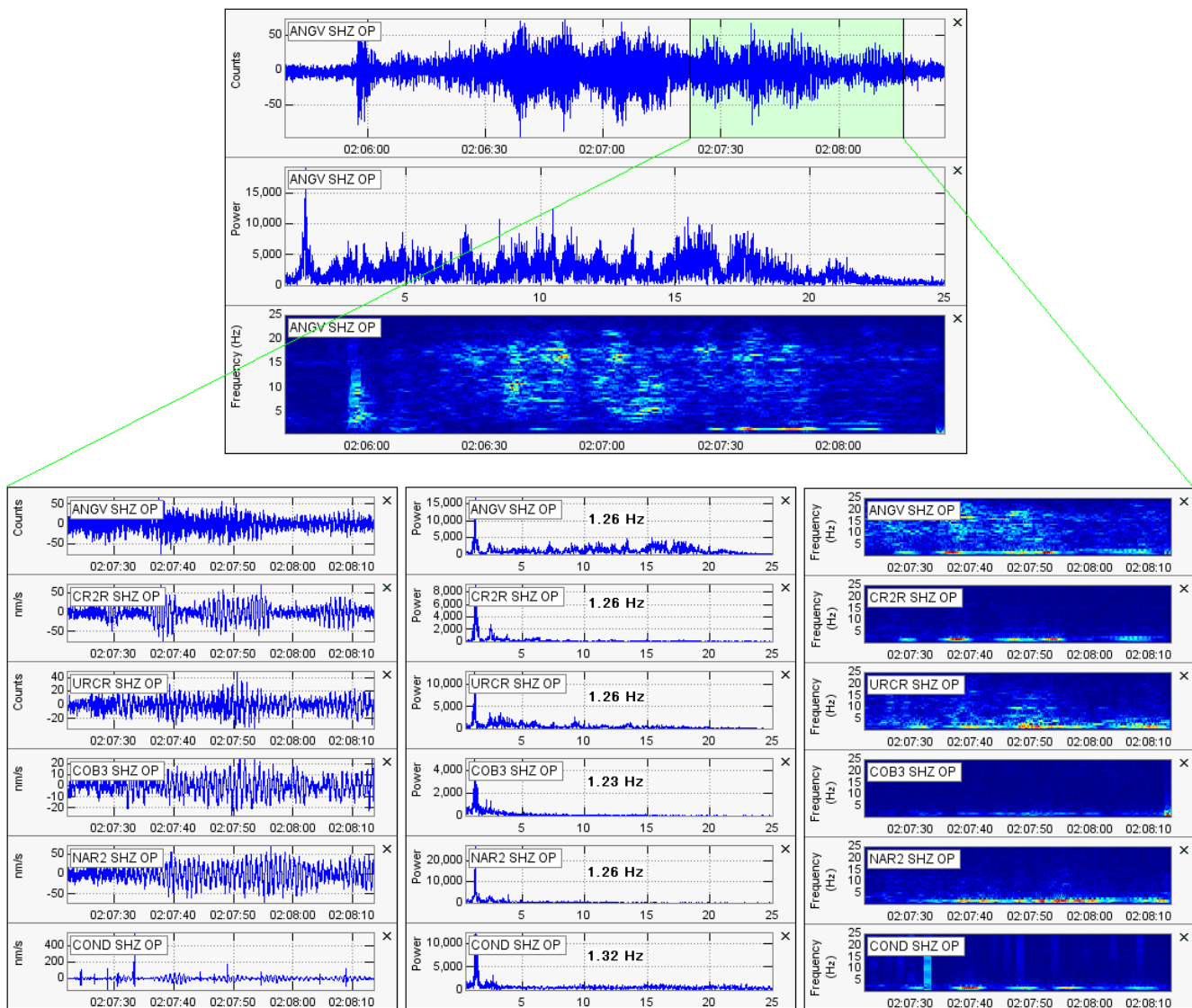


Figura 8. Sismogramas, espectros y espectrogramas del evento tipo tremor ocurrido el 4 de diciembre a las 9:06 p.m., el cual presenta características armónicas en la parte final del evento

El sismograma de la Figura 9 muestra la actividad de cuatro días previos a la erupción del 2 de enero contiene el registro de sismicidad de niveles energéticos y de ocurrencia considerables, aunque en días anteriores al 29 de diciembre esta actividad fue mayor.

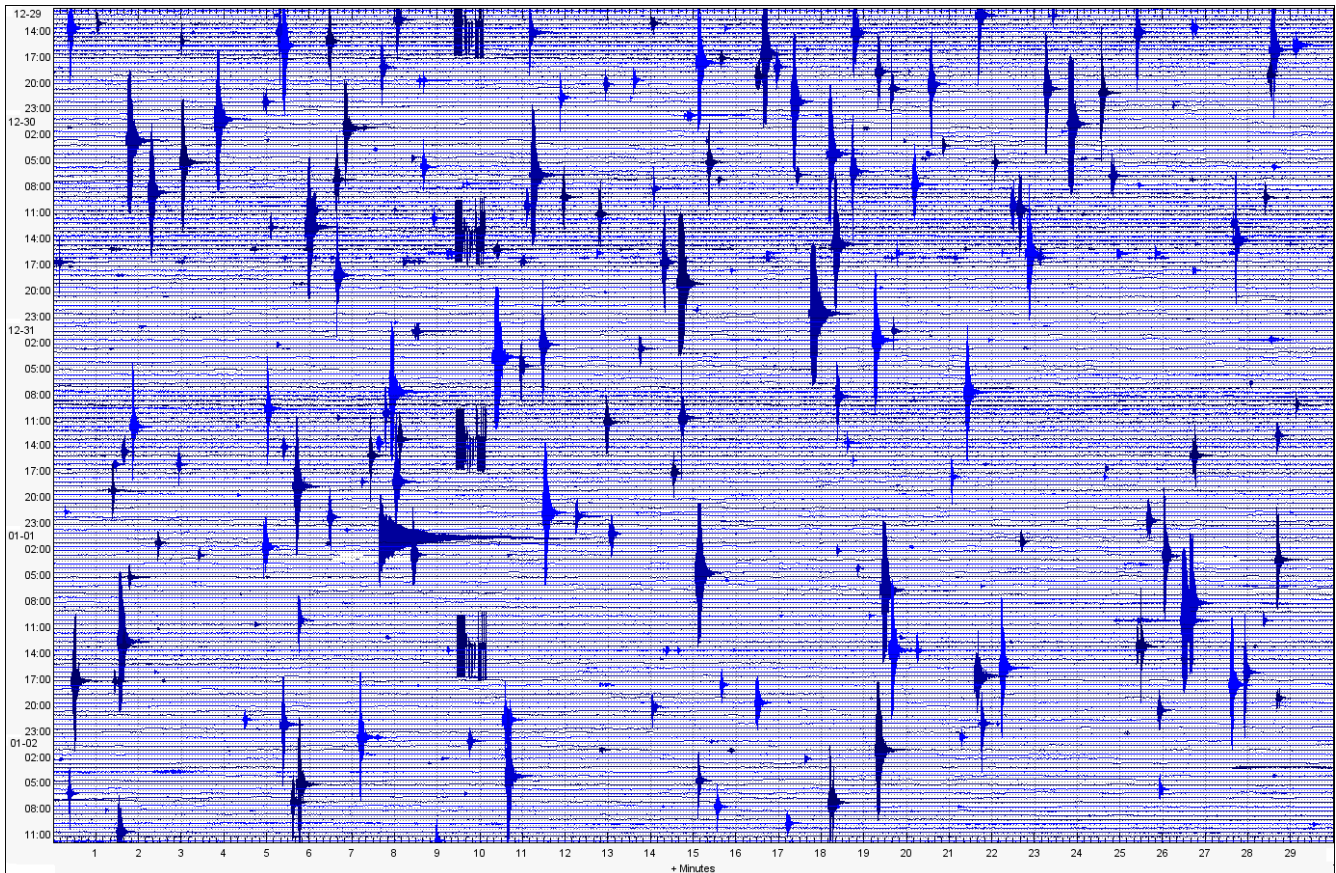


Figura 9. Sismograma registrado desde las 11:00 a.m. del 29 de diciembre de 2009 hasta las 11:00 a.m. del 2 de enero de 2010 por la estación Anganoy, que tiene un sensor de componente vertical ubicado a 0.9 Km al este del cráter principal. Cada línea horizontal tiene el registro de 30 minutos de sismicidad.

EVENTO ERUPTIVO DEL 2 DE ENERO DE 2010

A las 7:43 p.m. (hora local) se registró un evento eruptivo de carácter explosivo (Figuras 10 y 11), lo que implicó el cambio de nivel a Rojo (I), “*Erupción inminente o en curso*”, después de un periodo aproximado de 24 días en nivel Naranja. La señal sísmica asociada, para la estación Cráter-2 (ubicada a 1.5 km al sur del cráter principal), tuvo una duración aproximada de 30 minutos. Aproximadamente 30 segundos después del inicio de la erupción, la estación Anganoy a 900 m del cráter, dejó de funcionar. En comparación con los registros sísmicos asociados a erupciones ocurridas desde marzo de 2009, esta es la segunda más energética después de la del 13 de marzo de 2009 (Figura 12 y 13). En lo que va corrido del periodo eruptivo iniciado en 2004 la señal sísmica asociada a esta erupción es la quinta en cuanto a su nivel energético después de las ocurridas el 21 de noviembre de 2004, 12 de agosto de 2004, 20 de febrero de 2009 y 13 de marzo de 2009, en ese orden.

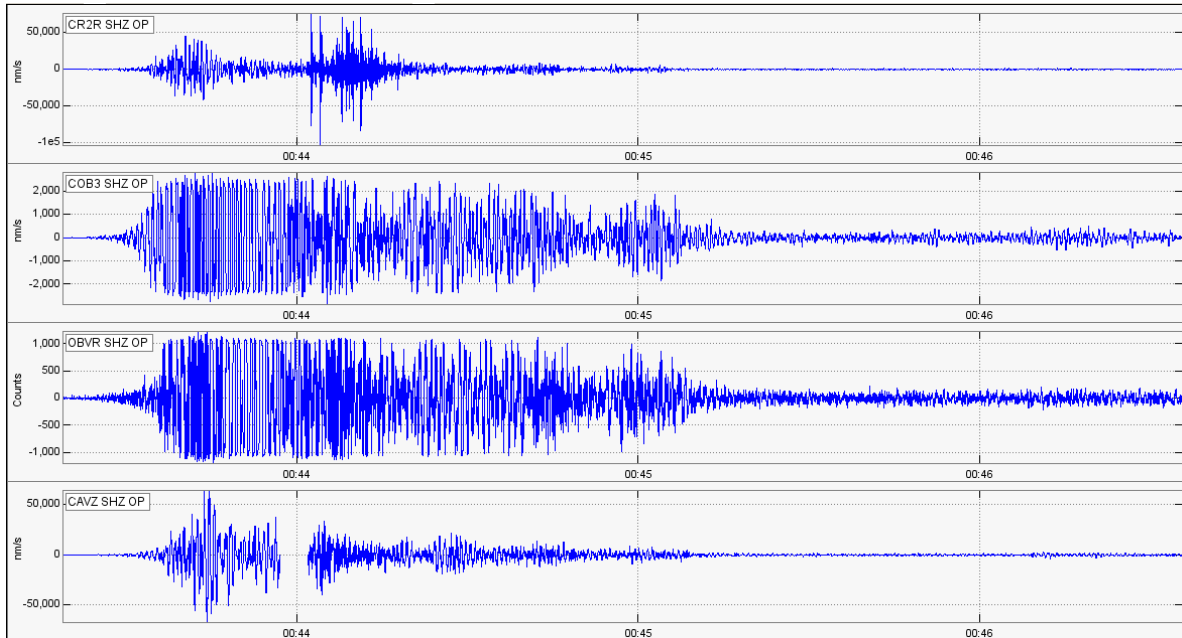


Figura 10. Sismogramas para las estaciones (de arriba abajo) Cráter-2, Cobanegra, Obonuco y Calabozo (componentes verticales), asociados al evento eruptivo de Galeras registrado el 2 de enero de 2010 a las 7:43 p.m. El alto nivel energético de la señal sísmica superó el rango de detección de la instrumentación de las estaciones Cobanegra y Obonuco, alcanzando su nivel de saturación.

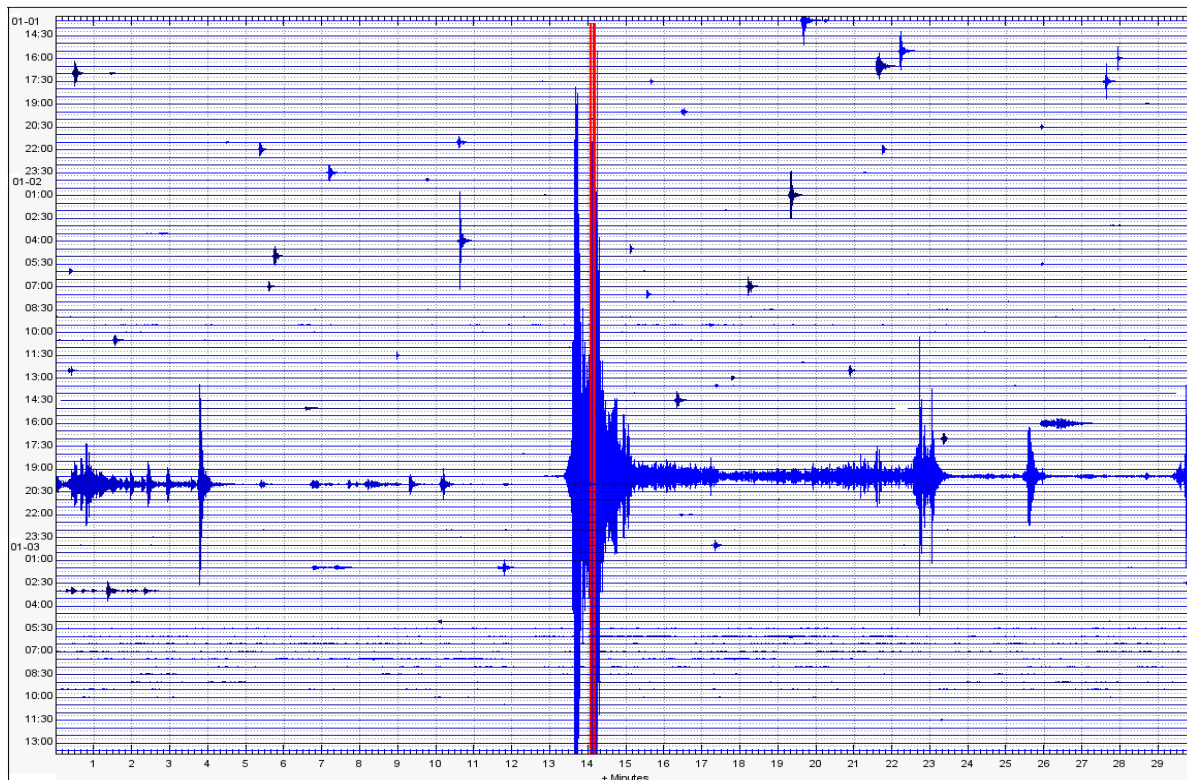


Figura 11. Sismograma registrado por la estación Cráter entre la 1:30 p.m. del 1 de enero hasta las 1:00 a.m. del 3 de enero. El tipo de digitalizador utilizado en esta estación impide la saturación de la señal, por tanto es posible observar hasta cuando esta alcanza su máxima amplitud (color rojo).

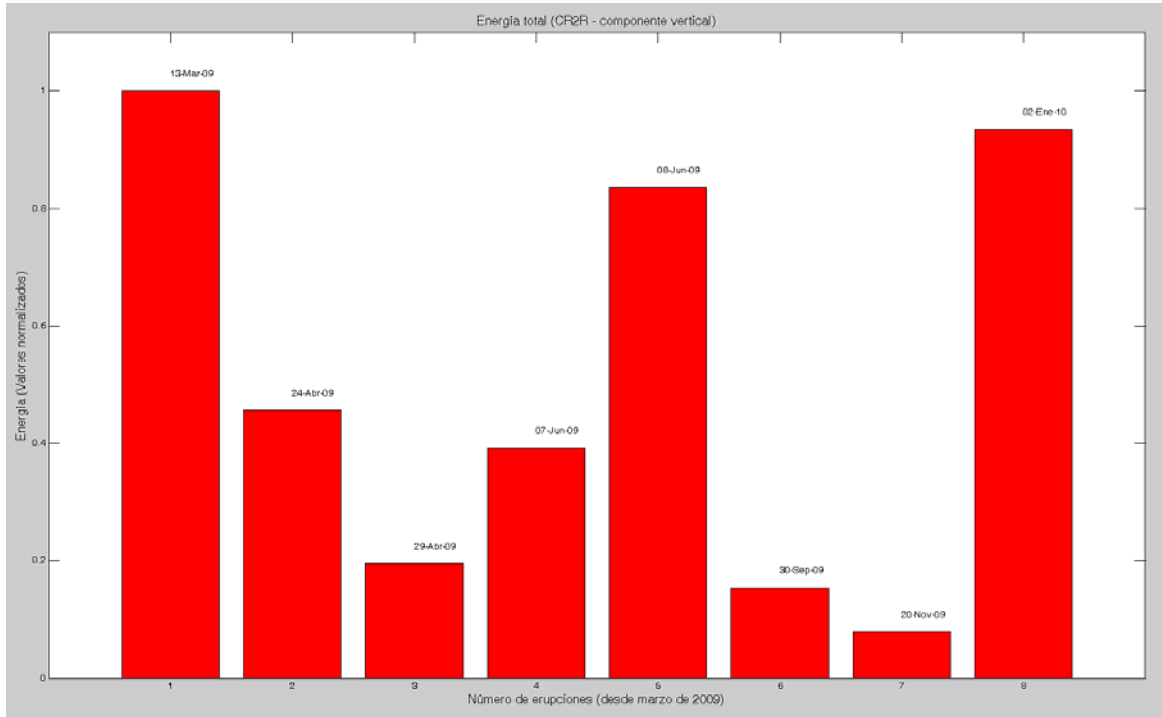


Figura 12. Comparación de los niveles energéticos de las señales sísmicas asociadas a las erupciones de Galeras registradas entre marzo de 2009 y enero de 2010.

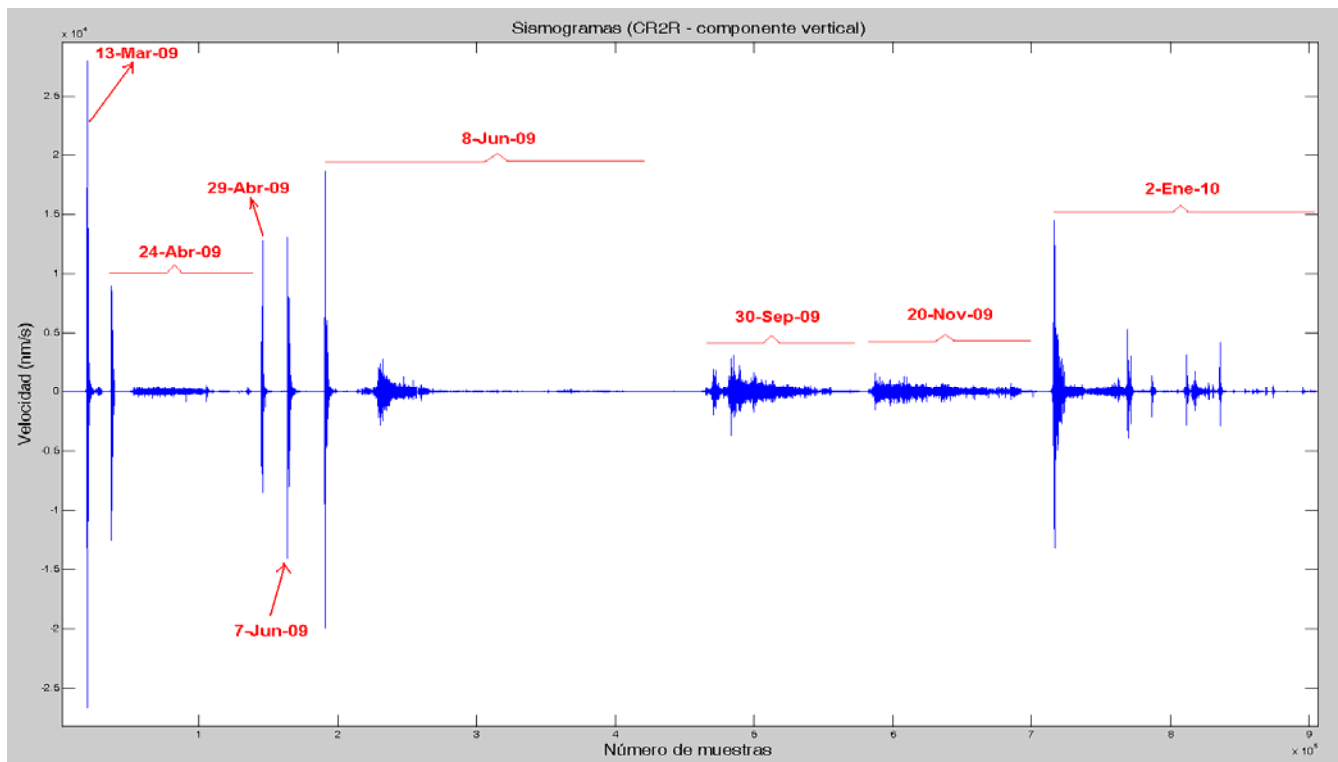


Figura 13. Sismogramas de las señales sísmicas asociadas a las erupciones desde el 13 de marzo de 2009 hasta el 2 de enero de 2010. Las trazas corresponden a los registros de la estación Cráter (que tiene un sismómetro de componente vertical) y están separadas por pequeños intervalos de tiempo para hacer posible su comparación.

La erupción generó una onda acústica que fue registrada por los sensores instalados en las estaciones Cráter y Calabozo, esta última ubicada a 6.8 Km al oeste-suroeste del cráter principal. Para el sensor acústico *ISLA14* (desarrollado por la Universidad de Hawái), el registro de su amplitud máxima es cerca de 9 veces mayor que la amplitud máxima registrada para la erupción de septiembre 20 de 2009. La Figura 14 muestra los registros de los tres sensores acústicos y la señal sísmica registrada en por la estación Cráter. Se recibieron reportes de personas que escucharon sonidos parecidos a explosiones desde diversos sectores del área de influencia de Galeras, especialmente desde zonas rurales y urbanas del municipio de Pasto.

Gracias a las condiciones climáticas favorables en la noche del 2 de enero el evento eruptivo fue captado por la cámara web instalada en la sede del OVSP (ubicada a 11.5 Km al oriente del cráter principal), en el video es posible observar la fase explosiva del evento caracterizada por la incandescencia que emerge de manera violenta desde el cráter principal a manera de pulsos (Figura 15), esta incandescencia acompaña a la columna de gases y ceniza que rápidamente se eleva transportando consigo partículas con carga eléctrica negativa, cuando estas alcanzan la atmósfera, que generalmente tiene partículas con carga positiva, genera un potencial eléctrico que es capaz de producir el paso de corriente eléctrica ionizando las moléculas de aire produciendo pulsos de luz blanca en forma de rayos.

En el registro fílmico se observa también proyectiles balísticos de diversos tamaño que describen trayectorias parabólicas y que caen sobre las faldas del edificio volcánico hasta distancias luego calculadas en cerca de 3 – 3.5 Km; algunos de estos bloques iniciaron incendios que duraron hasta la tarde del 3 de enero (en la zona nor-oriental) y 4 de enero (en el sector nor-occidental), consumiendo la vegetación que a su paso encontraban. El video completo puede observarse en el siguiente enlace de la página web del observatorio:

http://intranet.ingegominas.gov.co/pasto/Imagen:Erupcion_galeras_2_ene_2010.mpg

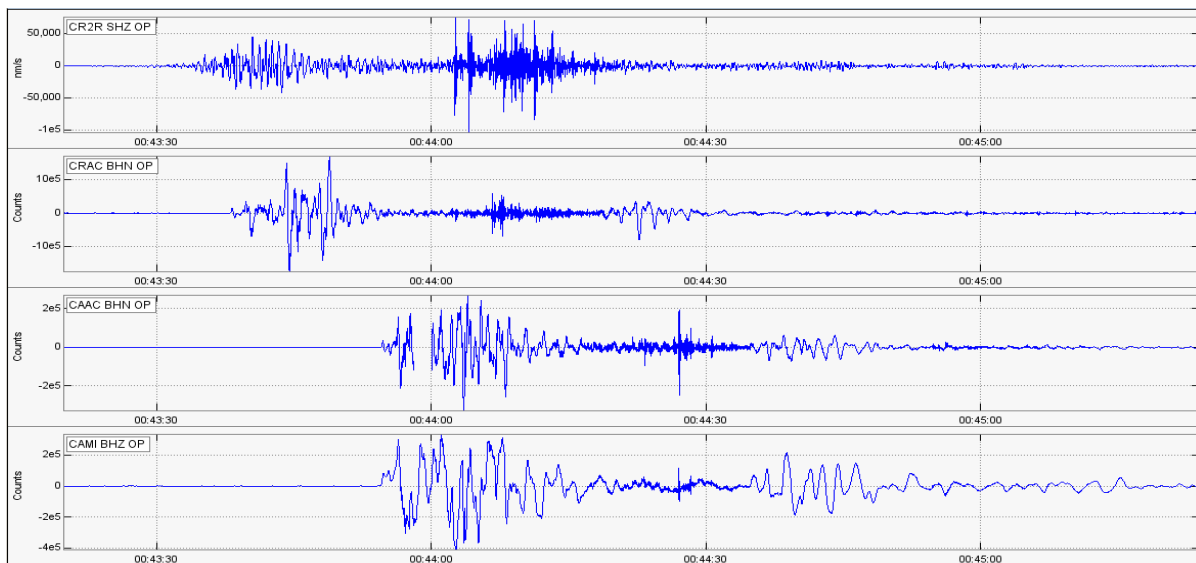


Figura 14. Registros del evento eruptivo del 2 de enero a las 7:43 p.m. para los sensores en la estación Calabozo de componente vertical sísmica componente vertical de la estación Cráter, sensor acústico en Cráter, acústico EENTEC SA-4, acústico ISLA14. El desfase de las acústicas de Calabozo respecto a la señal sísmica de Cráter es mucho mayor, esto se debe a la distancia que hay entre el cráter y estos sensores teniendo en cuenta que la velocidad de propagación del sonido es aproximadamente de 340 m/s.

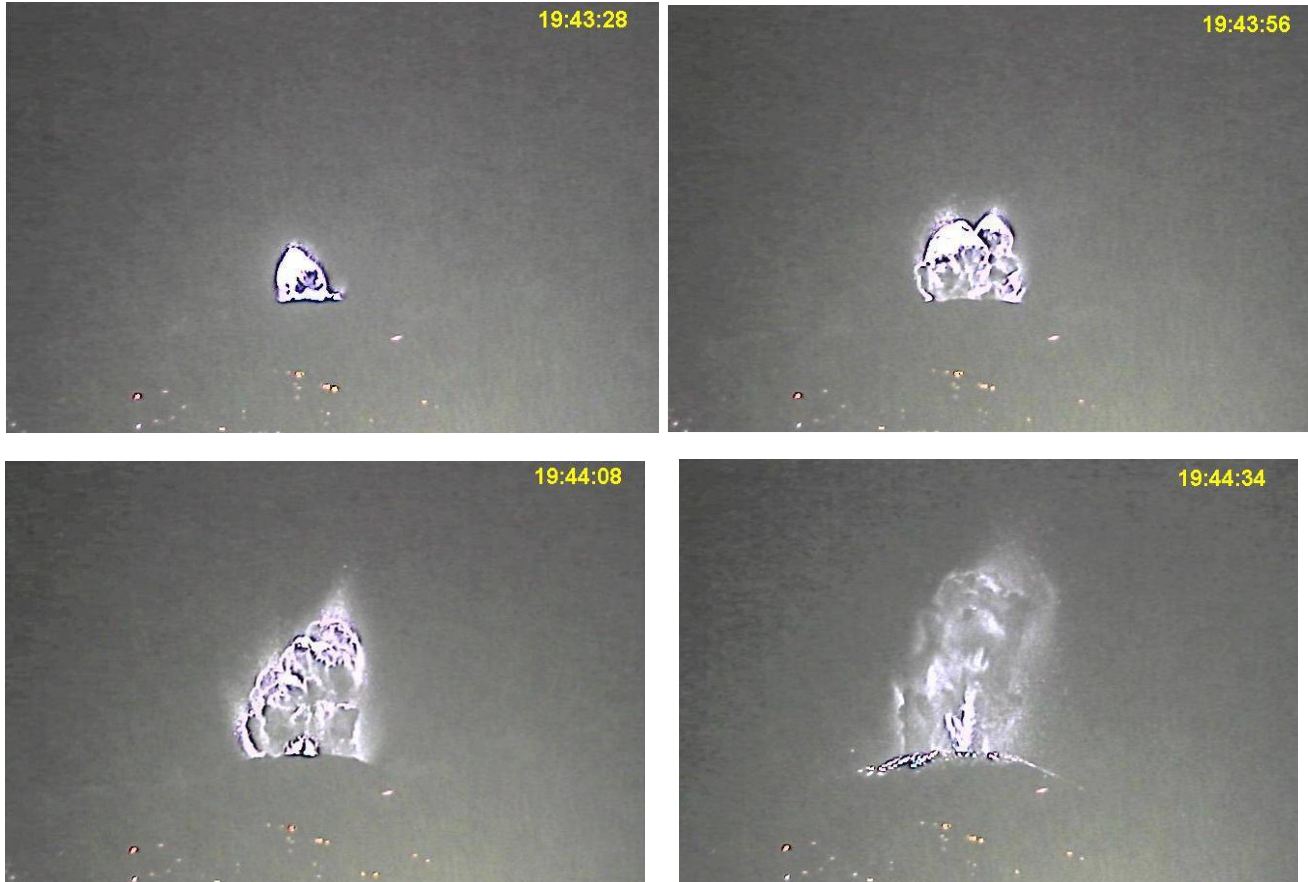


Figura 15. Fotogramas captados por la cámara web ubicada en la sede del OVSP de las manifestaciones en superficie del evento eruptivo registrado el 2 de enero de 2010.

De acuerdo con la información suministrada por el VAAC (*Volcano Ash Advisory Center*: Centro de Información sobre Ceniza Volcánica de los Estados Unidos), basada en el análisis de las imágenes del sensor satelital GOES-12 (con canales para espectro visible, infrarrojo y gases como vapor de agua), la columna eruptiva alcanzó entre las 7:43 p.m. y las 8:45 p.m., una altura máxima aproximada de 12 Km sobre la cima, con dispersión principalmente hacia el occidente y luego tendiéndose hacia el Sur, penetrando después de algunas horas en la República del Ecuador (Figuras 16 y 17).

Esta información fue coherente con la altura de columna estimada a partir de imágenes térmicas tomadas desde la sede del OVSP minutos después de la erupción (Figura 18), empleando la termocámara FLIR ThermaCAM PM595PAL (Convenio INGEOMINAS-BGR de Alemania).



Figura 16. Mapa de dispersión de cenizas de la erupción de Galeras del 2 de enero a las 7:43 p.m., elaborado por VAAC con base en las imágenes del sensor satelital GOES-12. Las altitudes máximas de columna se expresan en unidades FL (*Flight Lines* : Líneas de Vuelo). Una FL equivale a aproximadamente 100 pies sobre la superficie terrestre. Las horas se expresan en UT (*Universal Time*, Tiempo Local menos 5 horas).

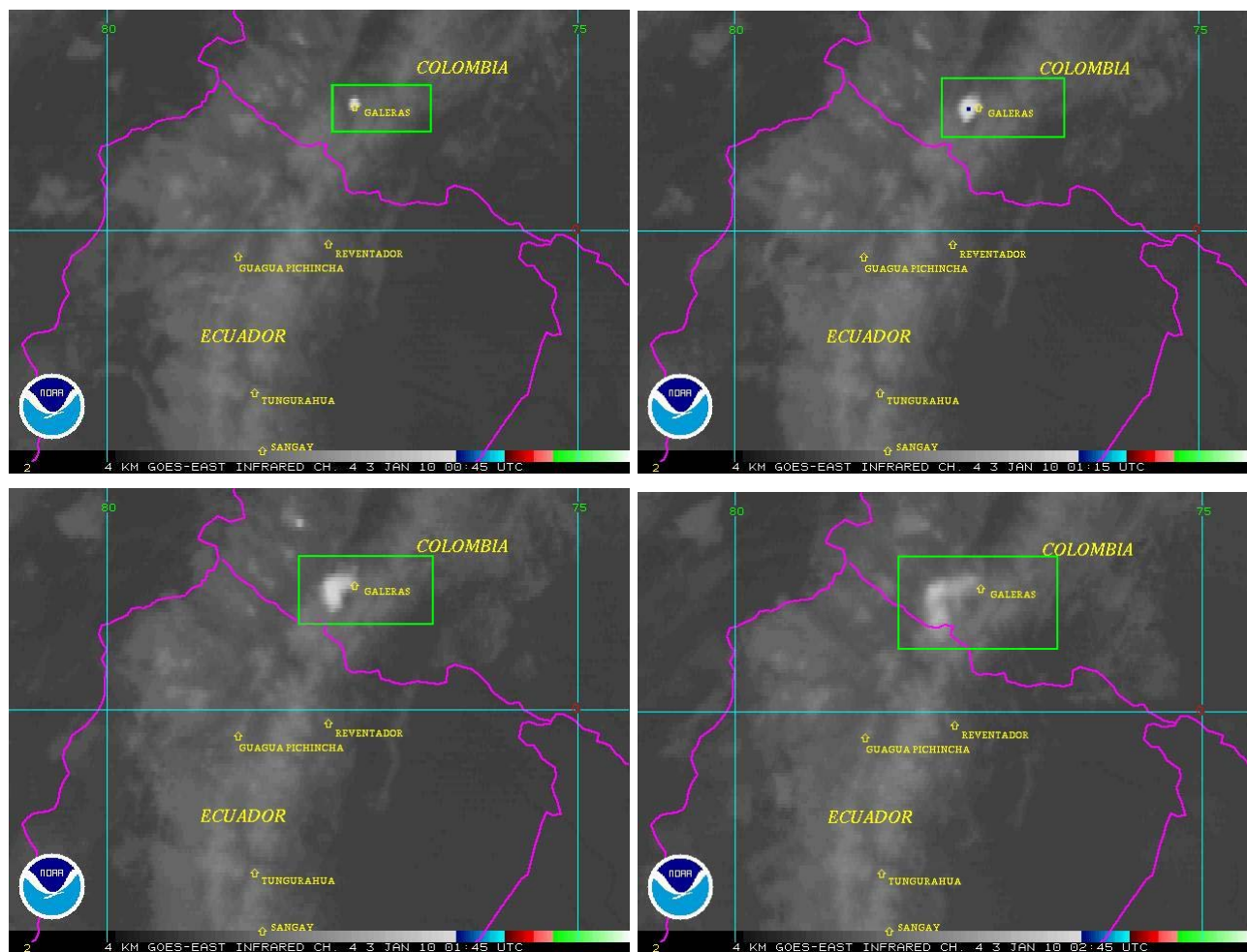


Figura 17. Secuencia de imágenes del satélite GOES-12 (canal infrarrojo, resolución de 4 Km por píxel) en las que se observa la evolución entre las 7:45 p.m. hasta las 8:45 p.m., de la columna de gases y cenizas asociada al episodio eruptivo del volcán Galeras registrado a las 7:43 p.m. del 2 de enero de 2010.

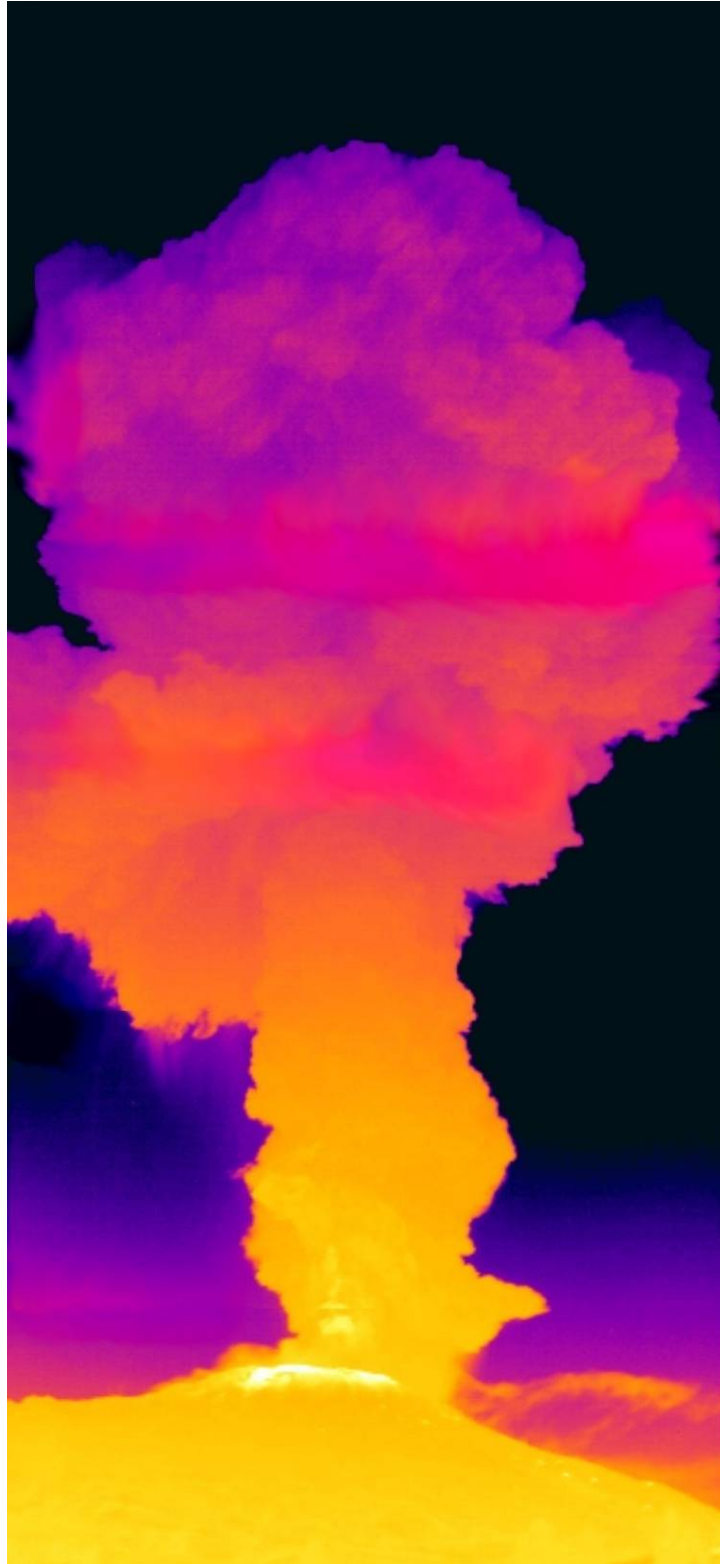


Figura 18. Imagen térmica de la columna de material asociada a la erupción explosiva de Galeras, registrada el 2 de enero de 2010 a las 7:43 p.m. En la imagen (tomada empleando la cámara térmica FLIR ThermoCAM PM595PAL, convenio INGEOMINAS - BGR de Alemania), los colores más claros representan temperaturas más altas. La altura de columna en el momento de la captura de la imagen fue de 12 Km aproximadamente.

Durante la erupción también fueron expulsados piroclastos tamaño ceniza, que se dispersaron y depositaron principalmente al occidente debido a efectos eólicos. Como es usual, el tamaño de grano varió desde sectores cercanos al cráter a sitios más alejados del mismo. Se realizó reconocimiento vía terrestre (Figura 19) sobre las poblaciones ubicadas en la circunvalar al Galeras tales como: Yaquanquer, Bomboná, Consacá, Sandoná, El Ingenio; también en las poblaciones de Ancuya, Linares, Samaniego, Guachavés, La Llanada, Túquerres, Pierdrancha, Ricaurte, Altaquer y Junín. En varios de estos sitios se corroboró el depósito de ceniza y se recogieron muestras para su posterior análisis.



Figura 19. Algunos sectores donde se efectuó muestreo de la ceniza emitida en la erupción del 2 de enero de 2010 y depositada en la vía circunvalar al Galeras (superior izquierda), Ancuya (superior derecha), Ricaurte (inferior izquierda), Linares (inferior derecha).

Con base en muestreo en campo (tanto aéreo como terrestre), en reportes de caída de ceniza y en imágenes satelitales analizadas, se elaboró el mapa de distribución de caída piroclástica depositada por transporte eólico (mapa de *isópacas*; Figura 20). El cálculo preliminar realizado indica un volumen mínimo depositado de 3'560.000 m³ que corresponde al mayor volumen depositado de las 18 erupciones explosivas registradas en los 20 años de monitoreo. Desde la erupción de 14 de febrero de 2009 hasta la del 2 de enero de 2010 se ha estimado un volumen depositado de 11'907.000 m³ (Tabla 1).

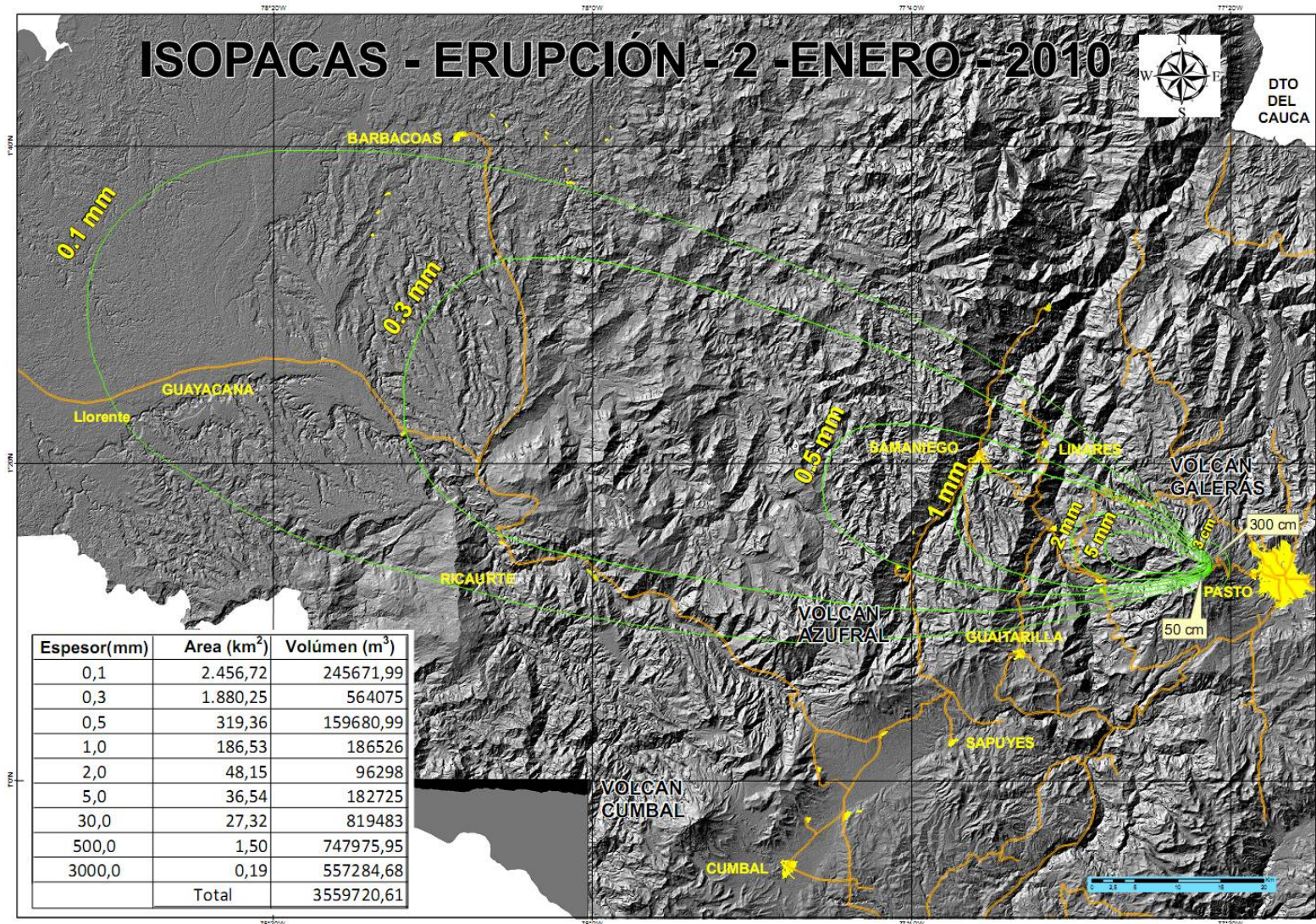


Figura 20. Mapa de isópacas para la erupción de Galeras del 2 de enero de 2010. La tabla en la parte inferior izquierda indica las áreas efectivas, los volúmenes calculados para las isópacas de cada espesor estimado y el volumen total estimado.

Tabla 1. Volúmenes de material emitido calculados para las erupciones explosivas de Galeras registradas entre el 14 de febrero de 2009 y el 2 de enero de 2010.

Fecha	Volumen calculado [m ³]
14-Feb-09	285.000
20-Feb-09	1'431.000
13-Mar-09	852.000
24-Apr-09	1'000.000
29-Apr-09	63.000
7-Jun-09	35.000
8-Jun-09	2'214.000
30-Sep-09	2'014.000
20-Nov-09	453.000
2-Ene-10	3'560.000
Total volumen emitido erupciones 2009	11'907.000

La Figura 21 corresponde a una muestra de ceniza tomada en la localidad de Consacá a unos 11.5 Km hacia el occidente del cráter principal vista bajo la lupa binocular (aumento X 10). Se aprecia los fragmentos de vidrio (1, 2 y 3) que varían en coloración de translúcido a negro, igualmente se observan algunos cristales de plagioclasa (4), piroxeno (5) y fragmentos de roca (6).

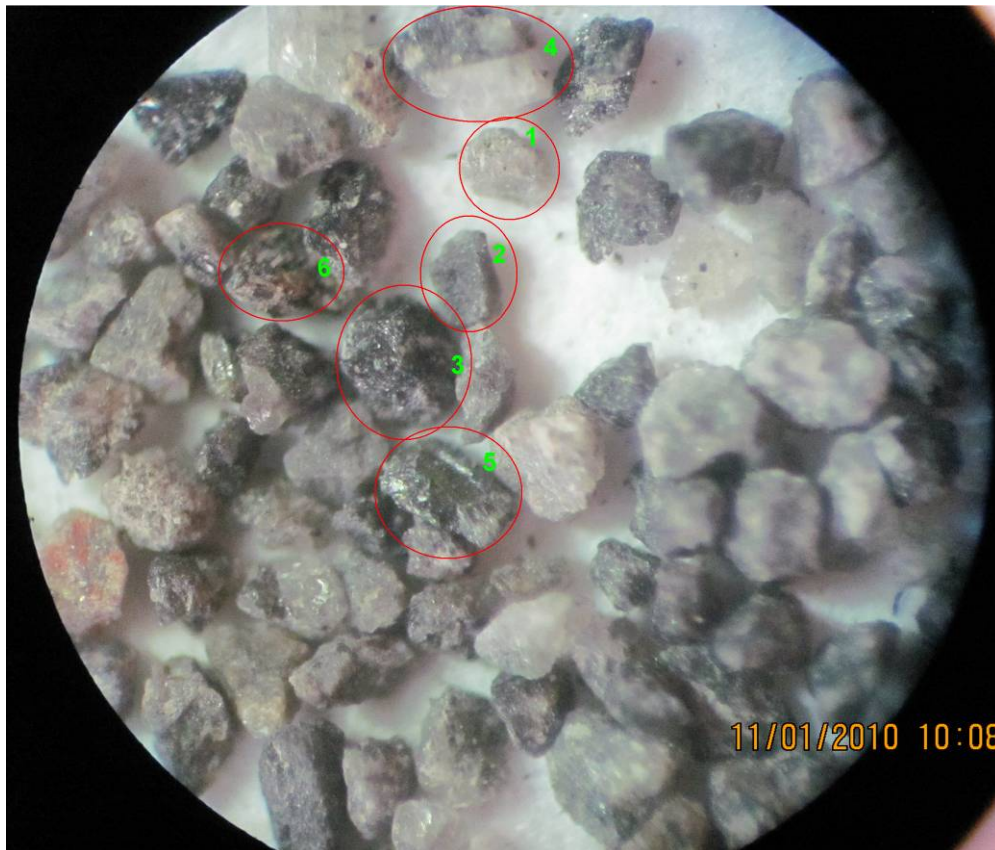


Figura 21. Aspecto de la ceniza bajo la lupa binocular. Corresponde a una ceniza vítrea y se aprecian además algunos fragmentos de cristales y roca.

En reconocimiento aéreo realizado el 3 de enero de 2010 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (Helicóptero Huey II), fue posible registrar imágenes de incendios que persistieron en las faldas de Galeras hasta el 4 de enero (Figura 22- izquierda), también se observaron cráteres de impacto y cantidades considerables de depósito de cenizas, especialmente sobre el cono activo (Figura 22- derecha).



Figura 22. Registros fotográficos tomados durante el sobrevuelo a la zona de influencia de Galeras, el cual se realizó en horas de la mañana del 3 de enero con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. En la fotografía de la izquierda se observan los efectos de los incendios provocados por los proyectiles balísticos sobre el sector norte y noroccidente, algunos de los cuales se extinguieron finalmente entre el 3 y 4 de enero.

Desde el Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño el Profesor Alberto Quijano Vodniza registró imágenes de los incendios ocasionados por los proyectiles balísticos, estas fotos fueron tomadas el día 3 de enero (Figura 23). Desde otros sectores del municipio de Pasto varias personas capturaron fotografías que publicaron en sitios públicos de Internet, la Figura 24 muestran dos de estos registros.



Figura 23. Fotografía capturada desde la sede del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño por el profesor Alberto Quijano Vodniza el 3 de enero de 2010.



Figura 24. Fotografías registradas desde diferentes sectores del municipio de Pasto y que posteriormente se publicaron en sitios públicos de internet. La fotografía de la izquierda fue tomada por el señor Luis Ponce M. desde el Estadio de la Pastusidad minutos después de la erupción, se observa el que la columna adquiere una forma especial debido a las diferencias en las direcciones del viento con la altura. La fotografía de la derecha fue registrada desde el sector de Pinasaco.

En cuanto a los sismos volcánicos que tienen como génesis el fracturamiento de material cortical, con o sin interacción directa de fluidos (sismos Volcano-tectónicos-VT e Híbridos-HYB, respectivamente), fue posible localizar nueve sismos tipo VT y 17 HYB (Figura 25).

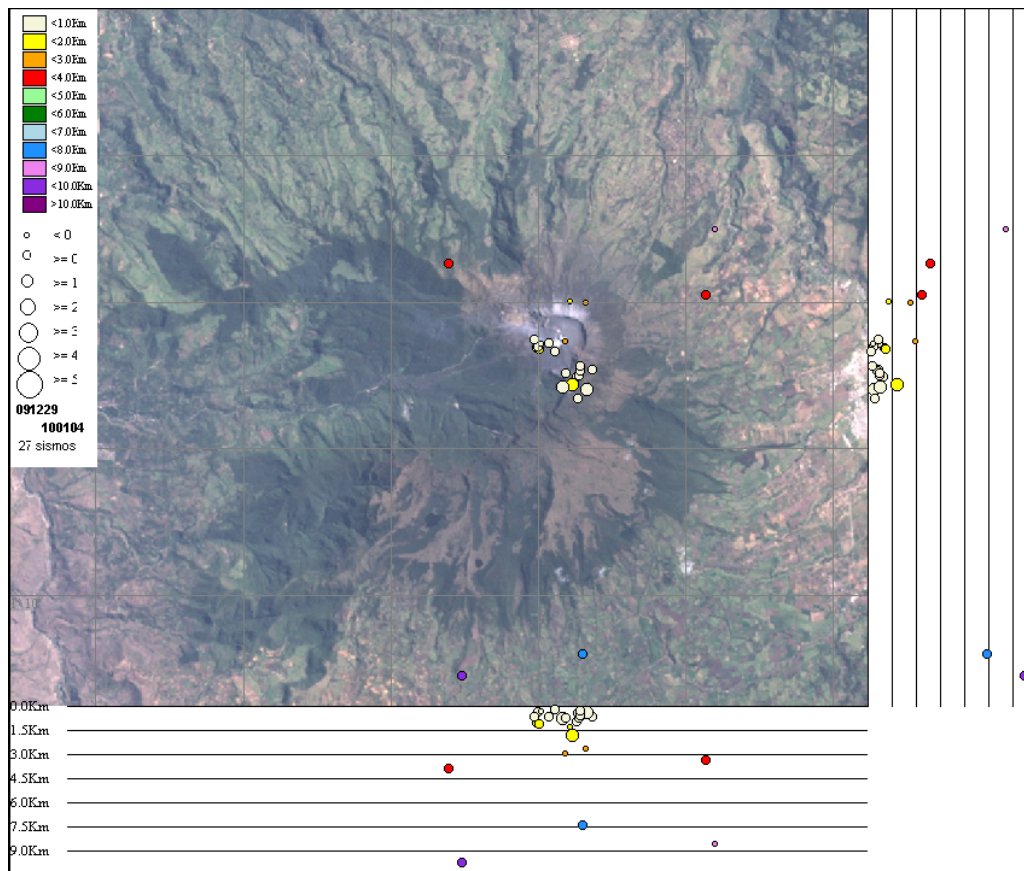


Figura 25. Localización de sismos VT e HYB registrados entre el 29 de diciembre de 2009 y el 4 de enero de 2010. En los cortes Norte-Sur y Este-Oeste cada línea de división representa 1.5 Km de profundidad. Las convenciones de tamaño de círculo y colores se encuentran en la parte superior izquierda.



La mayoría de los sismos localizados se concentran en el cráter principal y en un sector a unos dos Km al suroriente del cráter, los sismos mencionados no superan los 2 Km en profundidad. La tabla 2 resume los resultados de las localizaciones que se realizaron utilizando el programa HYPO71, que utiliza el algoritmo de Geiger para estimar la localización de los eventos.

Tabla 2. Parámetros de las localizaciones a sismos VT e HYB, registrados entre el 29 de diciembre de 2009 y el 4 de enero de 2010.

Fecha	Hora	Lat 1° N (minutos)	Lon 1° W (minutos)	Profundidad (Km)	Mg. Local	Mg. Coda	M° Fases	Gap	RMS	ERH	ERZ	Calidad	Tipo
12/29/2009	1:49 AM	12.98	21.49	0.9	0	0.38	10	170	0.09	0.3	0.4	B1	HD
12/29/2009	4:59 AM	8.93	23.06	9.7	0.3	0.82	16	272	0.11	0.7	0.7	C1	VA
12/29/2009	6:40 AM	12.99	21.45	0.7	0.6	0.82	9	165	0.08	0.3	0.4	B1	HD
12/29/2009	7:33 AM	14.01	21.56	1.3	-0.2	0.4	8	309	0.1	0.8	0.7	C1	HD
12/29/2009	10:46 AM	13.37	22.04	1.0	0	-1.24	8	301	0.04	0.3	0.3	C1	HD
12/29/2009	3:02 PM	13.44	21.88	0.6	0.3	0.48	8	297	0.02	0.1	0.2	C1	HD
12/29/2009	3:58 PM	5.3	20.96	14.2	0.9	1.69	15	225	0.15	2	2.2	C1	VA
12/29/2009	10:56 PM	13.99	21.36	2.7	-0.3	0.1	8	306	0.08	0.7	0.5	C1	HD
12/30/2009	8:14 AM	13.08	21.27	0.7	0.5	1.45	8	147	0.06	0.3	0.3	B1	HD
12/30/2009	12:27 PM	14.54	23.23	3.9	0.1	0.86	8	335	0.05	0.8	0.7	C1	VA
12/30/2009	2:27 PM	12.87	21.54	1.9	1	1.21	10	177	0.11	0.4	0.5	B1	HD
12/31/2009	4:40 AM	12.68	21.47	0.4	0.6	1.95	8	160	0.06	0.2	0.4	B1	HD
12/31/2009	10:07 AM	13.39	22.03	0.4	0.7	0.92	8	302	0.04	0.3	0.9	C1	HD
12/31/2009	11:36 PM	15	19.6	8.6	-0.3	0.46	14	240	0.07	0.5	0.4	C1	VA
1/1/2010	12:37 AM	12.84	21.67	0.8	1.5	4.43	8	92	0.06	0.2	0.5	B1	TO
1/1/2010	10:34 AM	14.11	19.73	3.4	0	0.36	10	219	0.07	0.5	0.4	C1	HD
1/1/2010	1:25 PM	13.5	22.07	0.7	0.8	0.72	8	307	0.03	0.2	0.4	C1	VA
1/1/2010	1:44 PM	13.43	21.98	0.3	-0.2	0.41	6	301	0.02	0.2	0.8	C1	HD
1/1/2010	1:50 PM	13.33	21.8	0.2	0.5	0.83	8	286	0.02	0.1	0.5	C1	HD
1/1/2010	4:02 PM	13.45	21.63	3.0	-0.3	-0.05	11	138	0.06	0.2	0.2	B1	HD
1/1/2010	4:27 PM	13.07	21.43	0.6	0.9	0.91	10	163	0.07	0.2	0.3	B1	VA
1/1/2010	4:51 PM	8.1	19.73	7.4	1.6	2.18	14	302	0.06	0.5	0.1	C1	VA
1/1/2010	5:45 PM	13.03	21.64	0.7	0.3	0.34	11	95	0.07	0.2	0.5	B1	HD
1/1/2010	8:14 PM	13.13	21.44	0.2	0.4	0.87	9	166	0.08	0.2	0.8	B1	HD
1/3/2010	5:31 PM	9.21	21.4	7.4	0.3	1.78	12	267	0.06	0.5	0.2	C1	VA
1/4/2010	6:56 PM	7.48	28.81	12.6	0.4	0.83	13	327	0.08	0.9	1	C1	VA

En cuanto a los procesos que generan deformaciones en el edificio volcánico y que son registradas por los inclinómetros electrónicos que conforman la red de deformación de Galeras, durante el periodo evaluado se registraron variaciones asociables a cambios en la temperatura ambiental (ciclos día-noche y tendencias climáticas usuales en esta época del año). Se observa también en las componentes radial y tangencial del inclinómetro Cráter y en la radial de Peladitos una tendencia descendente iniciada en los primeros días del mes de diciembre, este hecho es de interés ya que ocurrió cerca de un mes antes de la erupción del 2 de enero y coincide con el cambio en la actividad sísmica del volcán.

Las Figuras de la 26 a 29, muestran el comportamiento de las componentes de inclinación, junto con los datos de temperatura ambiental y voltaje de alimentación de la instrumentación, para los inclinómetros electrónicos Cráter (0.8 Km al este-noreste del cráter principal, 4060 msnm), Peladitos (1.4 Km al sureste del cráter principal, 3850 msnm), Huairatola (1.7 Km al norte del cráter principal, 3745 msnm) y Calabozo (7.1 Km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm).

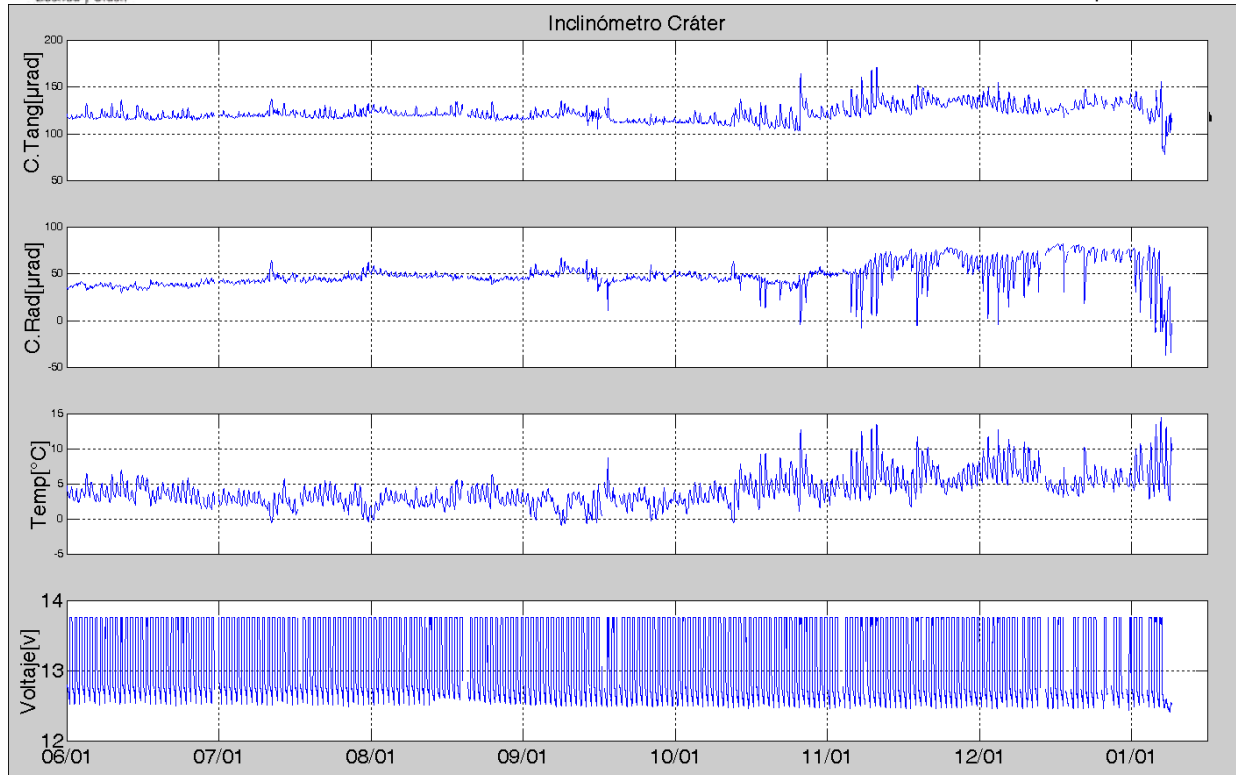


Figura 26. Comportamiento de las componentes de inclinometría tangencial y radial, junto con los datos de temperatura del instrumento y voltaje del sistema de alimentación, para el inclinómetro electrónico Cráter, entre el 1 de junio de 2009 y el 4 de enero de 2010.

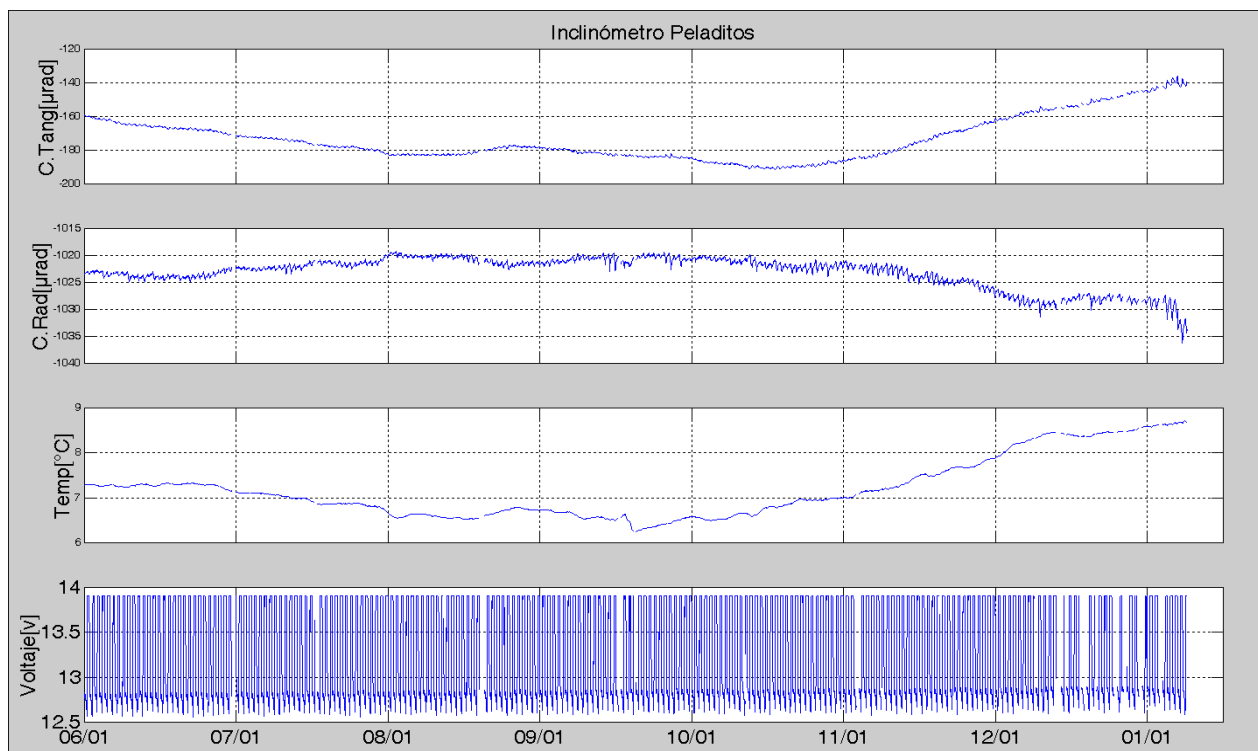


Figura 27. Comportamiento de las componentes de inclinometría tangencial y radial, junto con los datos de temperatura del instrumento y voltaje del sistema de alimentación, para el inclinómetro electrónico Peladitos, entre el 1 de junio de 2009 y el 4 de enero de 2010.

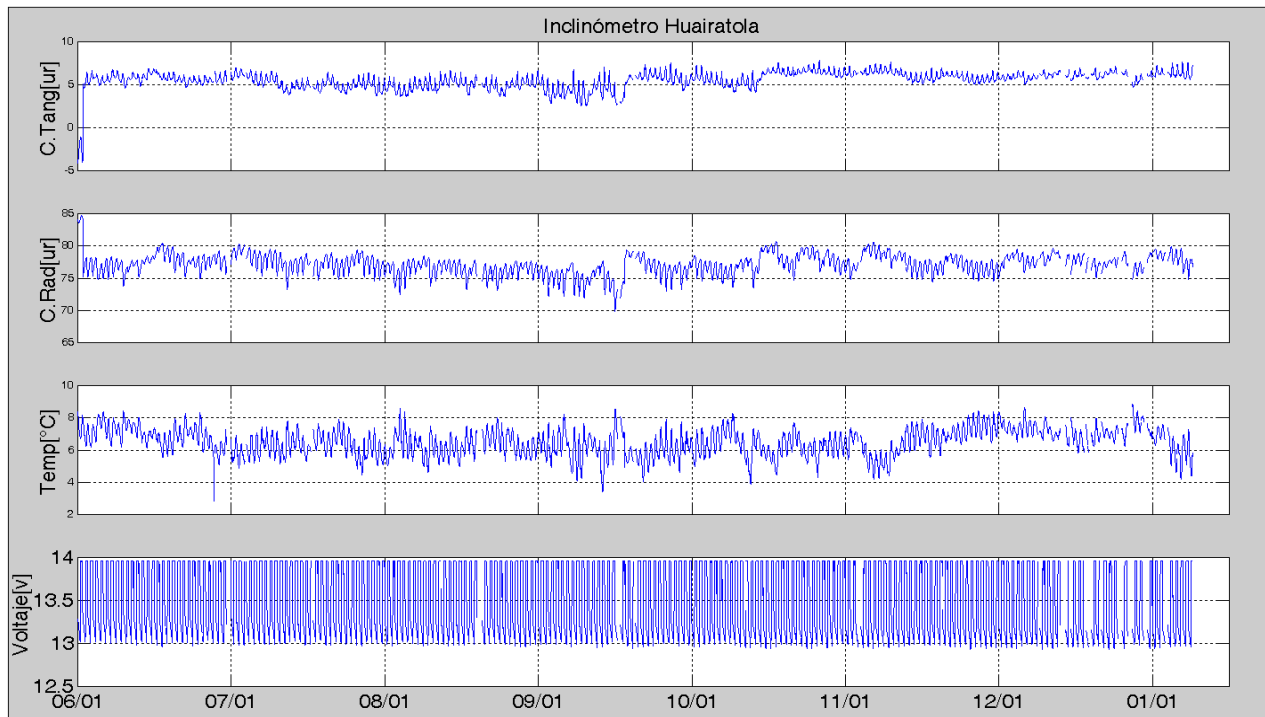


Figura 28. Comportamiento de las componentes de inclinometría tangencial y radial, junto con los datos de temperatura del instrumento y voltaje del sistema de alimentación, para el inclinómetro electrónico Huairatola, entre el 1 de junio de 2009 y el 4 de enero de 2010.

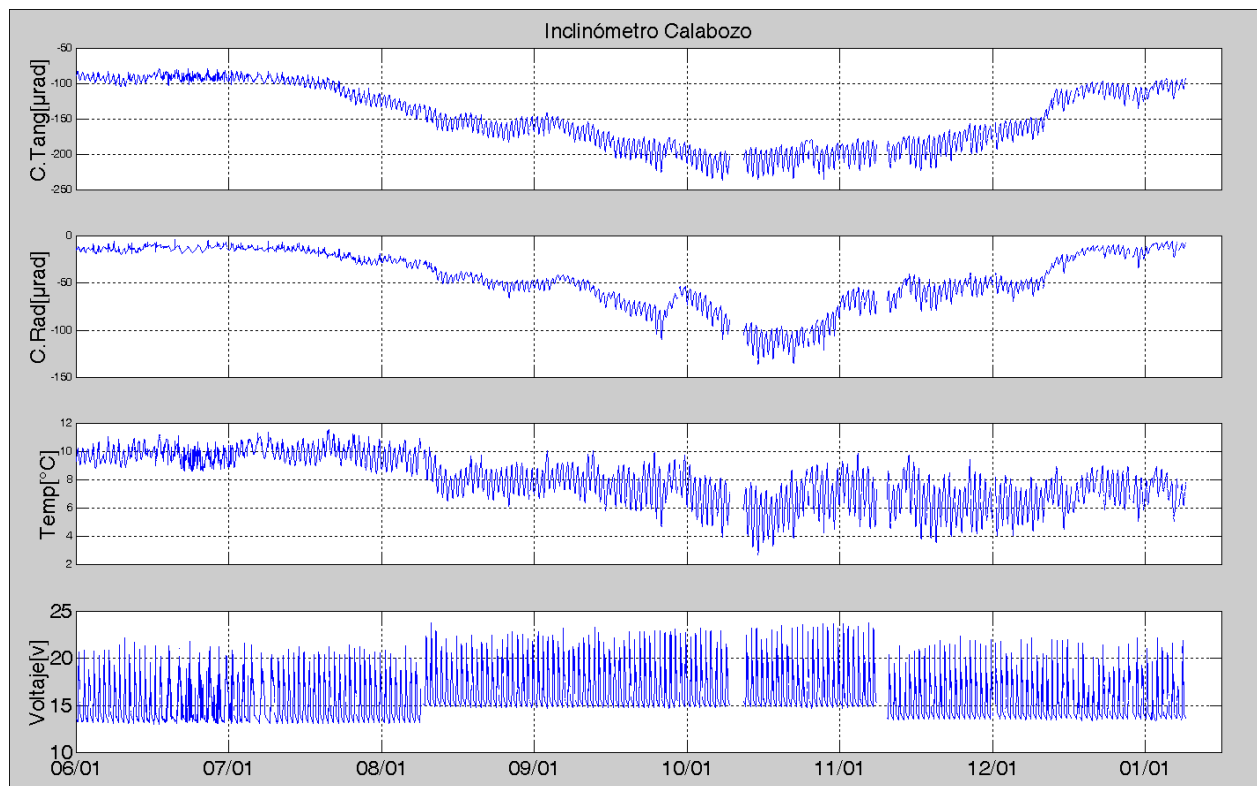


Figura 29. Comportamiento de las componentes de inclinometría tangencial y radial, junto con los datos de temperatura del instrumento y voltaje del sistema de alimentación, para el inclinómetro electrónico Calabozo, entre el 1 de junio de 2009 y el 4 de enero de 2010.

Respecto al monitoreo de las emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2) a la atmósfera provenientes del volcán, las estaciones que conforman la red telemétrica de instrumentos *ScanDOAS* en Galeras (ubicadas en el cuadrante nor-occidental del edificio volcánico) y el instrumento *MobilDOAS* (en sus recorridos por la vía circunvalar al Galeras) no registraron datos con flujo de Dióxido de Azufre desde el 3 de diciembre de 2009, por tanto este parámetro también coincide con los cambios en la sismicidad y deformación registrados a inicios de diciembre y con el escenario planteado de un sistema volcánico cuyos conductos registran evidencias de sellamiento. Durante la semana que finaliza el año 2009 se obtuvieron dos valores registrados por el equipo portátil *MobilDOAS* que son de 1160 y 1100 Toneladas/día para el 30 de diciembre de 2009 y 3 de enero de 2010.

La Figura 30 muestra una gráfica con los datos que se registraron desde el 1 de enero de 2009 hasta el 4 de enero de 2010, en la que se observa que dentro de fluctuaciones, la tendencia general ha sido descendente a lo largo del año, para acabar con valores nulos de SO_2 para el mes de diciembre.

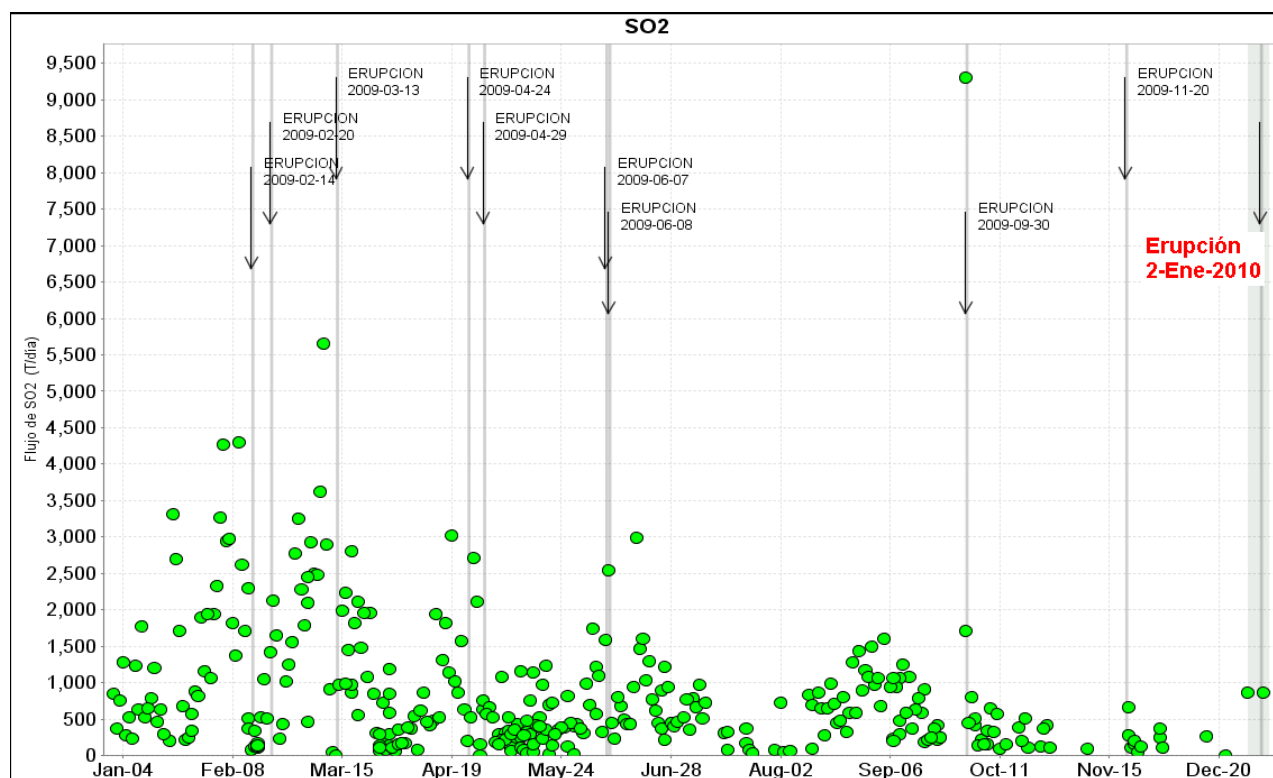


Figura 30. Valores de flujo de emisión a la atmósfera de SO_2 , registrados por los instrumentos *ScanDOAS* y *MobilDOAS*, entre el 1 de enero de 2009 y el 4 de enero de 2010. Se resaltan las fechas de las erupciones registradas entre el 14 de febrero de 2009 y el 2 de enero de 2010 y con un recuadro gris, el periodo semanal que se está evaluando en este informe.



CONCLUSIONES

La mayoría de erupciones de Galeras han mostrado etapas previas con ciertos patrones característicos en los parámetros que se monitorean, especialmente a nivel sísmico, del comportamiento de las emisiones de Dióxido de Azufre, de la evolución de las anomalías térmicas y de la actividad fumarólica. El evento eruptivo del 2 de enero no fue la excepción, la aparición de tremor armónico unos 30 días antes, el registro de enjambres de eventos asociados con movimientos súbitos de fluidos que en ocasiones rompen material cortical y la presencia de sismos tipo Tornillo, fueron hechos que caracterizaron la sismicidad, en cuanto a los niveles de SO_2 se observó el típico descenso registrado también en anteriores erupciones que está asociado al taponamiento de conductos, ligado a los bajos niveles de actividad superficial registrada tanto en el cráter principal como en los diferentes cráteres secundarios y campos fumarólicos. El registro de este tipo de actividad fue la razón por la que el 9 de diciembre de 2009 el OVSP cambió el nivel de actividad de Amarillo (III) a Naranja (II) “Erupción en términos de días o semanas”.

La erupción del 2 de enero de 2010 corresponde a un evento enmarcado dentro del proceso más reciente de Galeras iniciado en 2004. Esta erupción, que en cuanto a su energía sísmica liberada, no fue la mayor, si lo fue en cuanto a la cantidad de material emitido y depositado.

En las erupciones de 2004-2010 se han distinguido dos tipos diferentes de señales sísmicas asociadas, las cuales están marcadas por la presencia total o parcial de domo de lava o la ausencia de este. Hasta las erupciones de julio 7 y 8 de 2009 en que existían todavía remanentes de domo, la señal sísmica fue bastante impulsiva ya que el material en superficie forma tapones bastante efectivos que requieren de presiones muy altas para ser movidos de su sitio, es por eso que se libera la mayor parte de la energía sísmica en la primera explosión. Una vez se ha eliminado el domo, el material que se expulsa durante una erupción, como las de 30 de septiembre, 20 de noviembre de 2009 sale con relativa facilidad, por tanto la señal sísmica asociada es más emergente y paulatinamente crece y decae con el tiempo. Sin embargo, a pesar de no tener domo en superficie la erupción del 2 de enero muestra en su registro sísmico un inicio bastante impulsivo, parecido a las señales que se caracterizaron por la presencia de domo, la explicación puede estar en la formación de tapones a niveles no tan superficiales y la acumulación previa de contenidos importantes de gases. El magma en Galeras tiende a cristalizar rápidamente lo que contribuye eficientemente a la formación de sellos. Los análisis geológicos preliminares del material expulsado indican que la última erupción fue gestada a niveles un poco más profundos que sus predecesoras de 2009.

A lo largo de estos cinco años el volcán ha intruido material magmático desde niveles más profundos, parte de este material ha extruido formando domos de lava en superficie, el resto aparentemente aún continúa presente en los conductos. Teniendo en cuenta que el motor de la actividad eruptiva de los volcanes es el magma y sus volátiles, en Galeras estas condiciones están dadas, lo que posibilita que en un futuro cercano puedan presentarse nuevos eventos eruptivos, sin que pueda descartarse que alguna de las columnas eruptivas puedan colapsar y generar flujos piroclásticos en la zona de amenaza volcánica alta.



Después de la erupción de enero 2 de 2010 las características de la sismicidad mostraron un comportamiento típico de un sistema relativamente cerrado, los niveles de flujo de SO₂ y la muy escasa emisión de gases desde el cráter, apoyan esta hipótesis, por tanto hasta el cierre de este informe se mantiene el Nivel Naranja ■ (II): “Erupción probable en término de días o semanas”.