

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN | |
| INTRODUCCIÓN | |
| 2 VOLCAN GALERAS | |
| 2.1 RED DE VIGILANCIA | |
| 2.2 SISMOLOGÍA | |
| 2.3 DEFORMACIÓN | |
| 2.3.1. Inclínómetros Electrónicos | |
| 2.3.2. Vectores Cortos de Nivelación | |
| 2.4 FISICOQUÍMICA | |
| 2.5 POTENCIALES ELÉCTRICOS ESPONTÁNEOS | |
| 2.6 ACTIVIDAD SUPERFICIAL | |
| 2.7 ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA | |
| 2.8 CONCLUSIONES | |
| 2.9 BIBLIOGRAFÍA | |
| 2.10 PERSONAL PARTICIPANTE | |

TABLAS

| | Pág. |
|-----------|---|
| Tabla 2.1 | Observaciones del funcionamiento de la red de vigilancia volcánica. Semestre II de 2007 |
| Tabla 2.2 | Número de sismos volcánicos según el tipo, en los periodos indicados |
| Tabla 2.3 | Energía liberada según el tipo de sismo, en los periodos indicados. |
| Tabla 2.4 | Características de los eventos tipo Tornillo en la estación Anganoy (CP). Segundo semestre de 2007. |
| Tabla 2.5 | Características de los eventos tipo VT sentidos. Segundo semestre de 2007. |
| Tabla 2.6 | Temperaturas máximas obtenidas de imágenes térmicas en Galeras |
| Tabla 2.7 | Principales observaciones de la actividad superficial de Galeras. Segundo semestre de 2007. |

FIGURAS

Pág.

- Figura 2.1 Zona de influencia del Volcán Galeras y su red de monitoreo telemétrica y de toma directa de datos en campo, que funcionó durante el segundo semestre de 2007. Estaciones sísmicas de corto periodo: 1: Anganoy, 2: Cráter2, 3: Urcunina, 4: Cobanegra3, 5: Obonuco, 6: Nariño2, 7: Calabozo y 8: Cóndor. Estaciones sísmicas de banda ancha: b1: Cráter y b2: Cufiño. Inclínómetros electrónicos: i1: Cráter, i2: Peladitos, i3: Urcunina e i4: Calabozo. Las estaciones de Radón-222 se indican directamente sobre el mapa
- Figura 2.2 Porcentaje de operación de las estaciones de CP, estaciones de BA (CR2V, CUFV, CUFA), estación climatológica (CRWV, CRWD, CRTM, CRHM, CRPL, CRPR), inclínómetros electrónicos (I-PELA, I-CRA2, I-URCU, I-CALA) y el micrófono (CAMI), para vigilancia de Galeras. Julio a diciembre de 2007.
- Figura 2.3 Red de arreglos para medición de potenciales eléctricos espontáneos, en la zona de influencia del volcán Galeras. Segundo semestre de 2007.
- Figura 2.4 Ocurrencia y energía diaria de eventos LP. Julio a diciembre de 2007.
- Figura 2.5 Ocurrencia y energía diaria de eventos VT. Julio a diciembre de 2007.
- Figura 2.6 Ocurrencia y energía diaria de eventos tipo Híbrido. Julio a diciembre de 2007.
- Figura 2.7 Ocurrencia y energía diaria de episodios de Tremor. Julio a diciembre de 2007.
- Figura 2.8 Registro sísmico digital de la estación Anganoy, entre las 11:40 a.m. y 1:20 p.m. hora local, de agosto 5 de 2007. Nótese que desde las 12:00 hora local, se observa el registro de un enjambre de eventos de baja energía. A las 1:11 p.m. hora local se registra un evento de tremor, cuyo inicio es marcado con el círculo azul. En este sismograma, cada línea contiene 20 minutos de registro
- Figura 2.9 Señal de tremor registrada el 8 de noviembre a las 6:43 a.m., con su respectivo espectro, espectrograma, localización y fotografía de la columna asociada. Se muestra también un detalle del tremor para observar sus frecuencias.
- Figura 2.10 Distribución de sismos VT en la zona de influencia de Galeras. Julio a diciembre de 2007. En los cortes norte-sur (derecha) y este-oeste (abajo) cada división equivale a 4 Km.
- Figura 2.11 Red de vigilancia en Deformación del Volcán Galeras. Inclínómetros electrónicos: i1: Cráter, i2: Peladitos, i3: Urcunina, i4: Calabozo. Vectores cortos de nivelación: V1: Puyito, V2: Lindero, V3: Chorrillo, V4: Chacaguaico, V5: Barranco, V6: Chiguaco, V7: Popeye, V8: Piedras, V9: La Mica, V10: La Y, V11: Inclínómetro, V12: Telecom, V13: La Quebrada, V14: Cobanegra.
- Figura 2.12 Inclínómetro Cráter. Comportamiento de las componentes de inclinación tangencial y radial y de los canales de voltaje y temperatura. Enero a diciembre de 2007.
- Figura 2.13 Inclínómetro Peladitos. Comportamiento de las componentes de inclinación tangencial y radial y de los canales de voltaje y temperatura. Enero a diciembre de 2007.
- Figura 2.14 Inclínómetro Calabozo. Comportamiento de las componentes de inclinación tangencial y radial y de los canales de voltaje y temperatura. Enero a diciembre de 2007.
- Figura 2.15 Vector de nivelación Barranco
- Figura 2.16 Vector de nivelación Chorrillo
- Figura 2.17 Vector de nivelación Lindero
- Figura 2.18 Vector de nivelación Puyito
- Figura 2.19 Vector de nivelación Chacaguaico
- Figura 2.20 Vector de nivelación Telecom
- Figura 2.21 Vector de nivelación La Y
- Figura 2.22 Vector de nivelación Cobanegra
- Figura 2.23 Vector de nivelación El Inclínómetro
- Figura 2.24 Vector de nivelación Las Piedras
- Figura 2.25 Vector de nivelación La Mica
- Figura 2.26 Vector de nivelación La Quebrada
- Figura 2.27 Vectores de nivelación del sector norte de Galeras

- Figura 2.28 Vectores de nivelación del sector sur de Galeras
Figura 2.29 Vectores de nivelación del sector oriente de Galeras
Figura 2.30 Mapa de localización de las estaciones telemétricas ScanDOAS en el Volcán Galeras.
Figura 2.31 Flujo de SO₂, medido con Mini-DOAS y Scan-DOAS (NOVAC). Segundo semestre de 2007.
Figura 2.32 Emisiones de Rn-222, en la Línea Norte. Segundo semestre de 2007.
Figura 2.33 Emisiones de Rn-222, en la Línea Circunvalar. Segundo semestre de 2007.
Figura 2.34 Emisiones de Rn-222, en la Línea Galeras. Segundo semestre de 2007.
Figura 2.35 PEE medido en las componentes horizontales de la estación Lavas. Enero a diciembre de 2007.
Figura 2.36 PEE medido en las componentes horizontales de la estación Lirios. Enero a diciembre de 2007
Figura 2.37 PEE medido en las componentes horizontales de la estación Alto Jiménez. Enero a diciembre de 2007.
Figura 2.38 PEE medido en las componentes horizontales de las estaciones de Calabozo, San Felipe y Cobanegra, con los sensores largos. Enero a diciembre de 2007
Figura 2.39 PEE medido en las componentes horizontales de la estación La Y. Agosto a diciembre de 2007
Figura 2.40 PEE medido en las componentes horizontales de la estación Peladitos. Agosto a diciembre de 2007.
Figura 2.41 PEE medido en las componentes horizontales de la estación Barranco. Agosto a diciembre de 2007
Figura 2.42 PEE medido en las componentes horizontales de las estaciones de Calabozo, San Felipe y Cobanegra, con los sensores anchos. Enero a diciembre de 2007
Figura 2.43 Emisión de gases, 05/07/05:26pm
Figura 2.44 Emisión de gases, 18/07/06:31am
Figura 2.45 Imagen Térmica, 18/07/06:31am
Figura 2.46 Emisión de gases, 21/07/07:15am
Figura 2.47 Emisión de gases, 21/08/05:45am
Figura 2.48 Emisión de gases, 07/09/08:37am
Figura 2.49 Emisión de gases, 17/09/06:46am
Figura 2.50 Imagen Térmica, 17/09/06:46am
Figura 2.51 Imagen Térmica, 27/09/06:15am
Figura 2.52 Imagen Térmica, 02/10/06:51am
Figura 2.53 Emisión de ceniza, 05/11/06:19am
Figura 2.54 Imagen Térmica, 27/11/06:12am
Figura 2.55 Emisión de gases, 05/12/11:37am
Figura 2.56 Emisión de ceniza, 31/12/06:42am

RESUMEN

Durante el segundo semestre de 2007 se mantuvo el grado de actividad de Galeras en Nivel III (CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA). La actividad volcánica se caracterizó, en general, por el aumento en la ocurrencia de los sismos volcánicos, especialmente aquellos asociados con el tránsito de fluidos por los conductos al interior del volcán y de la energía total liberada por los sismos, la observación de cambios importantes en la deformación del edificio volcánico, la observación de columnas de gases y vapor de agua y hacia el final del semestre un aumento en la temperatura de las rocas del interior del cráter principal.

A principios del semestre entre el 5 y el 9 de julio, se destaca la ocurrencia de un enjambre de sismos volcánicos, la mayoría de ellos asociados con el tránsito de fluidos al interior del sistema volcánico, con dominio del tipo LP, pero se registraron también eventos de tipo HIB, VT y TRE. La energía total de los sismos del enjambre correspondió al 62% de la energía sísmica total del semestre y el número de eventos al 16% del número total de sismos del semestre.

Asociado con este enjambre se pudo observar cambios en la estación de inclinometría electrónica de Calabozo, pues hubo un cambio de tendencia en su componente tangencial, con relación a la que traía al finalizar el primer semestre de 2007. También se puede asociar con este enjambre las emisiones de SO₂ pues los valores aumentaron durante el mes de julio, alcanzando los picos máximos del semestre a finales de agosto y comienzos de septiembre.

Al finalizar el semestre los episodios de tremor dominaron la actividad sísmica, correlacionándose con columnas de gases y vapor de agua que en algunas ocasiones arrastraron partículas de ceniza que se precipitaron con las lluvias. Esta actividad probablemente pueda estar asociada con valores altos de Potenciales Eléctricos Espontáneos que se midieron en algunas estaciones de la zona de influencia de Galeras. En cambio los valores de flujo de SO₂ no fueron tan altos como los registrados al principio del semestre, muy probablemente debido a que el viento estuvo dirigido hacia el sector oriental y no hacia el sector occidental donde se encuentran ubicadas las estaciones de medida de SO₂.

Se destaca el registro de 14 eventos de tipo Tornillo en julio y tres eventos Volcano-Tectónicos ocurridos en julio, agosto y septiembre, que se reportaron sentidos en Pasto y algunos poblados de la zona de influencia de Galeras, el mayor de ellos alcanzó una magnitud local de 3 grados en la escala abierta de Richter.

Al final del semestre lo más importante fue el aumento progresivo de la temperatura de la roca en el cráter principal, que alcanzó un valor máximo de 403°C.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS tiene a su cargo la tarea de vigilar los volcanes activos del territorio colombiano, tarea que cumplió a cabalidad durante el segundo semestre de 2007, a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, desarrollando labores de vigilancia continua y en tiempo real de las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica de Galeras, permitiendo así, mantener informada a la comunidad, a las entidades del Sistema Nacional de Atención y Prevención de Desastres y a las autoridades locales y regionales.

En este boletín de actividad volcánica, se consignan los resultados obtenidos con el monitoreo y seguimiento de la actividad de Galeras y la información del funcionamiento de los equipos utilizados. Es importante resaltar el apoyo y colaboración de Instituciones como La Fuerza Aérea Colombiana (FAC), La Policía Nacional de Colombia, el Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) de Alemania, el United States Geological Survey (USGS) de los Estados Unidos y a la Universidad de Chalmers de Suecia (Proyecto NOVAC), a quienes INGEOMINAS expresa su agradecimiento.

En general, a pesar de las extremas condiciones climáticas reinantes en la cima del volcán y a las condiciones de intemperie en campo, las estaciones de la red de vigilancia de Galeras tuvieron un desempeño satisfactorio, exceptuando algunas estaciones que funcionaron un tiempo muy corto, debido a fenómenos de descargas eléctricas.

Con la reactivación del Volcán Nevado del Huila, el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana con el helicóptero Hughes divide su tiempo entre los dos volcanes, Huila y Galeras, por lo cual, cuando las condiciones atmosféricas fueron favorables y la actividad del V. N. del Huila lo permitió, la actividad superficial del volcán Galeras fue documentada con una cantidad satisfactoria de videos, fotografías digitales desde el aire e imágenes térmicas.

Es importante destacar que se instalaron tres estaciones permanentes telemétricas de miniDOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy – Espectroscopia Óptica Diferencial de Absorción) tipo escáner en el sector noroccidental de Galeras, para medir el flujo de SO₂ en el aire, gracias a la participación de INGEOMINAS en el proyecto internacional NOVAC (*Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change* – Red de Observación de Cambios Atmosféricos y Volcánicos), patrocinado por la Unión Europea y liderado por la Universidad de Chalmers (Suecia).

Los datos y la información contenidos en este boletín son una guía de consulta preliminar que pueden servir como base para el desarrollo de estudios posteriores que requieran mayor detalle y nivel de análisis, pero siempre respetando y citando la fuente primaria.

2. VOLCÁN GALERAS

2.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el segundo semestre de 2007 la red de vigilancia de Galeras, estuvo conformada por ocho estaciones sísmicas telemétricas de corto periodo (CP), dos de banda ancha (BA), un acelerómetro, una estación climática, un sensor acústico, 4 inclinómetros electrónicos y 17 estaciones de medición de Radón-222 (Figura 2.1). Adicionalmente se contó con una red de arreglos para toma de potenciales propios (Figura 2.3), una red de líneas para deformación (Figura 2.19), dos cámaras de video para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP) y otra en la institución educativa Los Libertadores en la población de Consacá. Gracias a la participación de INGEOMINAS en el proyecto NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change) se contó con un scandoas para medir el flujo de dióxido de azufre (SO_2) en algunos puntos de la vía circunvalar a Galeras y a partir de noviembre se contó con tres estaciones scandoas telemétricas, ubicadas en el sector NW de Galeras. Para seguimiento de la actividad superficial, se contó con cámaras digitales (fotográficas y de video), una cámara térmica infraroja (Flir), utilizadas por el personal del OVSP durante reconocimientos aéreos que se efectúan con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) en un helicóptero Hughes.

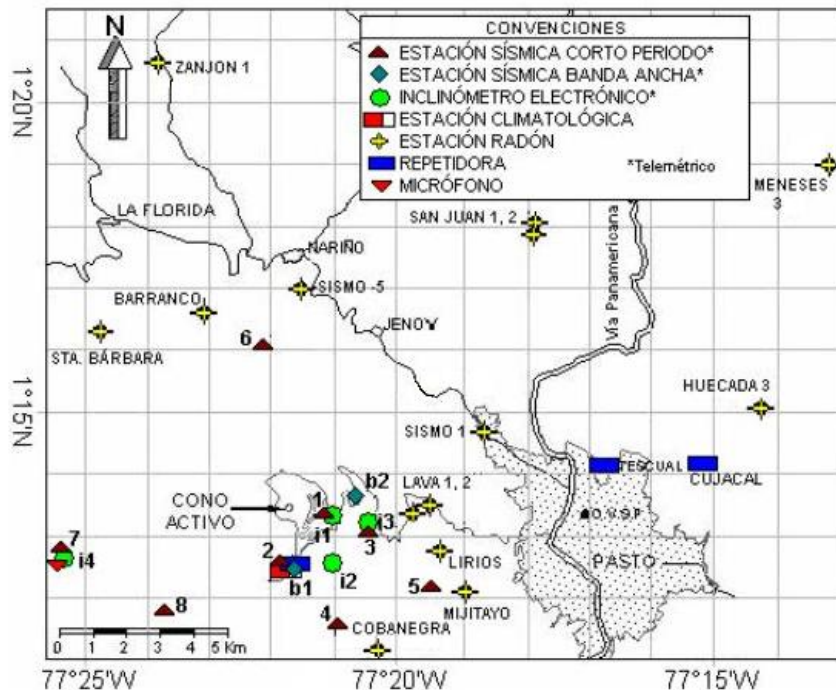


Figura 2.1. Zona de influencia del Volcán Galeras y su red de monitoreo telemétrica y de toma directa de datos en campo, que funcionó durante el segundo semestre de 2007. Estaciones sísmicas de corto periodo: 1: Anganoy, 2: Cráter, 3: Urcunina, 4: Cobanegra, 5: Obonuco, 6: Nariño, 7: Calabozo y 8: Cónдор. Estaciones sísmicas de banda ancha: b1: Cráter y b2: Cufiño. Inclinómetros electrónicos: i1: Cráter, i2: Peladitos, i3: Urcunina e i4: Calabozo. Las estaciones de Radón-222 se indican directamente sobre el mapa.

Las estaciones de la red de Galeras, básicamente fueron afectadas por problemas de alimentación, mal funcionamiento de los equipos y el clima. Aun cuando, gran parte del semestre, no se contó con la señal de la estación sísmológica de Cráter de banda ancha, la estación climática y el inclinómetro Urcunina, el promedio de funcionamiento de la red fue de 83%; que se considera satisfactorio. En la tabla 1 se pueden apreciar los principales aspectos del funcionamiento de la red de vigilancia durante el segundo semestre de 2007.

Tabla 2.1. Observaciones del funcionamiento de la red de vigilancia volcánica. Semestre II de 2007.

| Fecha | Observación |
|------------|--|
| 27/07/2007 | La estación sísmica Cráter de banda ancha y la estación Climática sufrieron daños electrónicos, al ser afectados por un rayo. Las estaciones estuvieron fuera de funcionamiento el resto del semestre. |
| 07/08/2007 | Sale estación sísmica Anganoy, por problemas electrónicos al ser afectada por un rayo. |
| 15/08/2007 | Se reinstala Anganoy |
| 17/08/2007 | Se reinstala el inclinómetro Cráter, estaba fuera desde abril 17 de 2007 |
| 05/09/2007 | Sale estación sísmológica Urcunina por mal funcionamiento del sensor |
| 12/09/2007 | Se retira inclinómetro Urcunina por mal funcionamiento de la tarjeta digitalizadora en campo |
| 12/09/2007 | Se reinstala estación sísmica Urcunina |
| 04/11/2007 | Sale inclinómetro Peladitos al ser afectado por un rayo |
| 16/11/2007 | Se reinstala Peladitos |
| 10/12/2007 | Se cambia el sismómetro en Urcunina, por mal funcionamiento |

La figura 2.2 ilustra el porcentaje de operación de las estaciones de corto periodo (CP) con registro analógico y digital; las estaciones de banda ancha (BA), la estación climática, inclinómetros electrónicos y el micrófono, durante el segundo semestre de 2007.

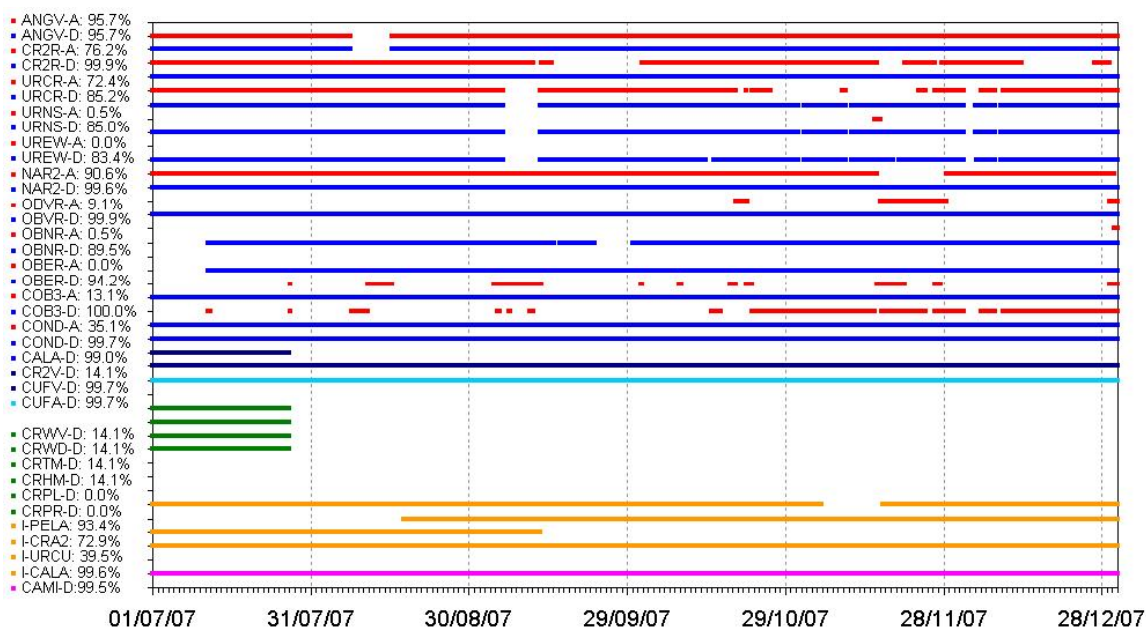


Figura 2.2. Porcentaje de operación de estaciones de CP (ANGV, CR2R, URCR, NAR2, OBVR, COB3, COND, CALA), estaciones de BA (CR2V, CUFV, CUFA), estación climática (CRWV, CRWD, CRTM, CRHM, CRPL, CRPR), inclinómetros electrónicos (I-PELA, I-CRA2, I-URCU, I-CALA) y el micrófono (CAMI), en Galeras. Julio a diciembre de 2007.

A finales de 2006 se implementó la red de puntos de medición de potenciales eléctricos espontáneos, con estaciones ubicadas alrededor del volcán Galeras (Figura 2.3). Las nueve estaciones están formadas por cuatro o tres puntos, donde cada par de puntos define una alineación, norte-sur o este-oeste, con separación entre los puntos de 60 o 100 m. En tres de estas estaciones se realizan mediciones de perfiles de 3 y 6 puntos adicionales en una de las dos alineaciones. Las estaciones La Y, Peladitos, Lavas y Lirios, se ubican en la vía de acceso a la cima del volcán; Barranco, Alto Jiménez, Calabozo, San Felipe y Cobanegra, se ubican en la vía circunvalar a Galeras.

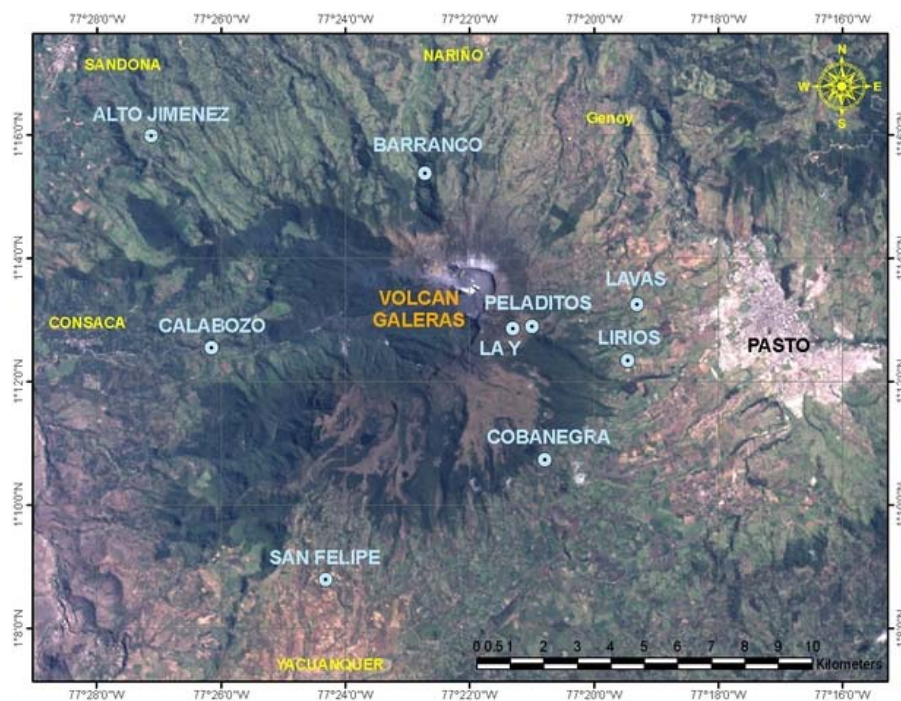


Figura 2.3. Red de arreglos para medición de potenciales eléctricos espontáneos, en la zona de influencia del volcán Galeras. Segundo semestre de 2007.

2.2 SISMOLOGÍA

En este semestre se registró un considerable aumento en la ocurrencia de la sismicidad asociada con el tránsito de fluidos al interior del volcán, que constituyó el mayor aporte de la sismicidad en cuanto a ocurrencia.

Con relación al semestre anterior, el número de eventos de tipo LP y TRE aumentó 5 y 10 veces respectivamente. El aumento de los eventos de tipo Híbrido (HIB) y Volcano-Tectónico (VT) fue más moderado, siendo del 41% y 14% respectivamente. Si se tiene en cuenta la totalidad de sismos, su número aumentó más de 3 veces con relación al registrado en el semestre anterior.

Los eventos de baja energía (no clasificables) mostraron un aumento superior al doble del número obtenido en el semestre pasado. La tabla 2.2 totaliza el número de eventos de cada tipo registrados durante el segundo semestre de 2007.

Tabla 2.2. Número de sismos volcánicos de cada tipo, registrados en los periodos indicados.

| TIPO DE SISMO | Semestre I de 2007 | Semestre II de 2007 |
|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Largo Periodo (LP) | 642 | 3.253 |
| Volcano-Tectónico (VT) | 420 | 479 |
| Híbrido (HIB) | 1.234 | 1.740 |
| Tremor (TRE) | 399 | 3.918 |
| TOTAL | 2.695 | 9.392 |
| Sismos no clasificables | 10.320 | 21.369 |

En cuanto a la energía total liberada por los sismos volcánicos, durante este semestre se observó un considerable aumento, siendo el valor obtenido casi 6 veces mayor que el registrado en el semestre anterior. Teniendo en cuenta los tipos de sismo y los valores registrados en el semestre anterior, se observó que la energía de los eventos LP aumentó más de 5 veces y la energía de los TRE aumentó 29 veces. La energía de eventos VT e HIB disminuyó un 11% y un 48% respectivamente. Nuevamente el mayor aporte en la energía del semestre provino de los eventos de tipo LP y TRE.

La tabla 2.3 muestra el total de la energía sísmica liberada por cada tipo de evento, en los dos semestres del año 2007.

Tabla 2.3. Energía sísmica liberada para cada tipo de evento, en los periodos indicados.

| TIPO DE SISMO | Semestre I de 2007 | Semestre II de 2007 |
|------------------------|---|---|
| Largo periodo (LP) | $3,01 \times 10^{13}$ | $1,63 \times 10^{14}$ |
| Volcano-Tectónico (VT) | $4,03 \times 10^{13}$ | $3,58 \times 10^{13}$ |
| Híbrido (HIB) | $3,51 \times 10^{13}$ | $1,80 \times 10^{13}$ |
| Tremor (TRE) | $1,93 \times 10^{12}$ | $5,64 \times 10^{13}$ |
| TOTAL | $4,87 \times 10^{13}$ | $2,73 \times 10^{14}$ |

Se destaca la ocurrencia de un enjambre de eventos, entre el 5 y el 9 de julio, la mayoría estuvieron asociados con el tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos de tipo LP, pero también se registraron eventos de tipo HIB, VT y TRE. El número total de eventos del enjambre fue de 1.465, de los cuales 825 fueron de tipo LP, 322 de tipo HIB, 287 de tipo VT y 31 de tipo TRE. La energía sísmica liberada en este enjambre fue alrededor de $1,7 \times 10^{14}$ ergios, que corresponde al 62% de la energía sísmica total del semestre. De acuerdo al tipo de eventos registrados durante el enjambre, la energía sísmica liberada se distribuyó así; la energía de LP fue de $1,5 \times 10^{14}$ ergios, la de VT fue de $5,07 \times 10^{12}$ ergios, la de HIB fue de $1,37 \times 10^{13}$ ergios y la de TRE fue de $1,0 \times 10^{12}$ ergios. La tasa de ocurrencia promedio del enjambre se calculó en 14,5 eventos por hora. El total de eventos de baja energía durante el enjambre fue de 2.108.

Las figuras 2.4 a 2.7 muestran el comportamiento del número diario y de la energía sísmica liberada, expresada como la raíz cuadrada de su valor, para destacar los episodios más representativos, de los eventos tipo LP, VT, HIB y TRE durante el segundo semestre de 2007.

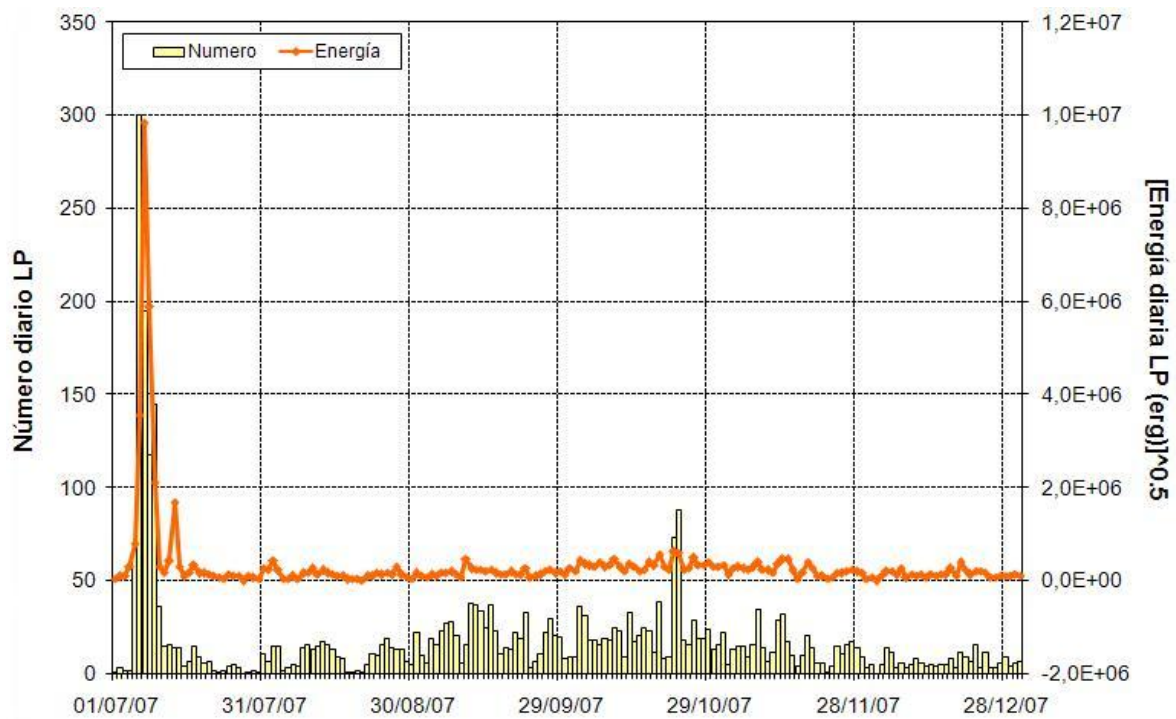


Figura 2.4. Ocurrencia y energía diaria de eventos LP. Julio a diciembre de 2007.

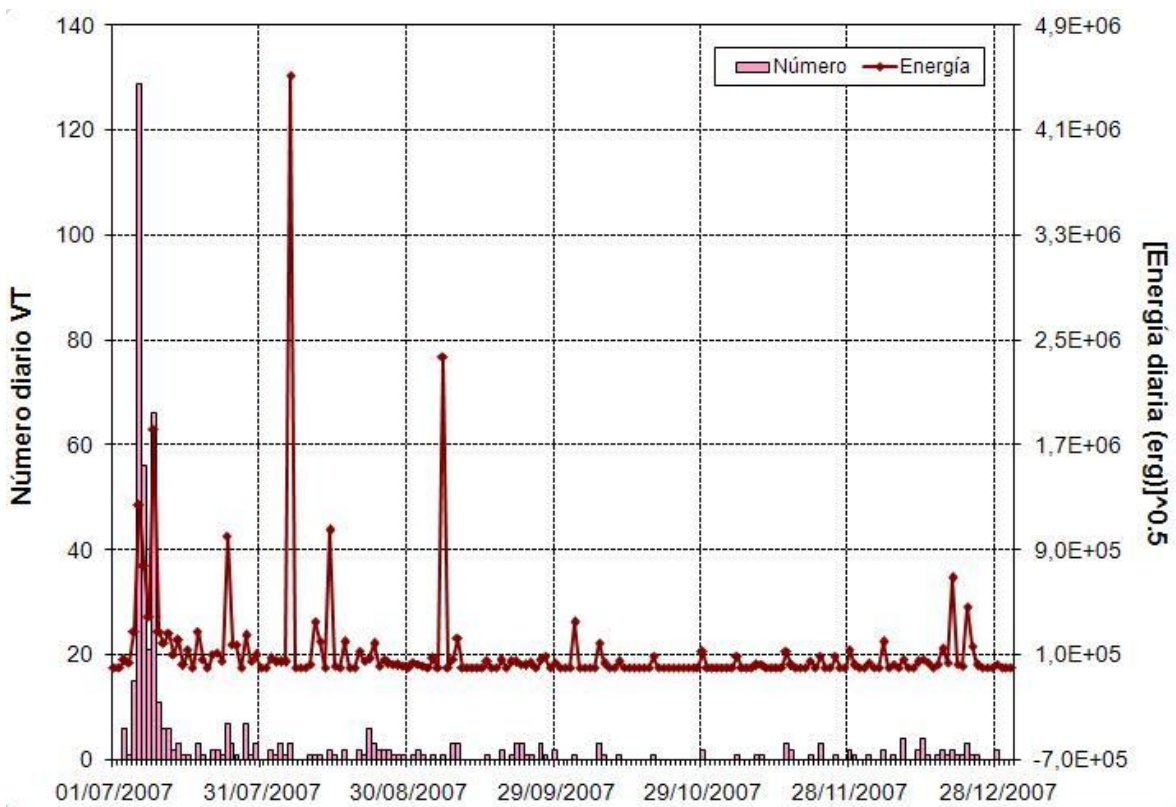


Figura 2.5. Ocurrencia y energía diaria de eventos VT. Julio a diciembre de 2007.

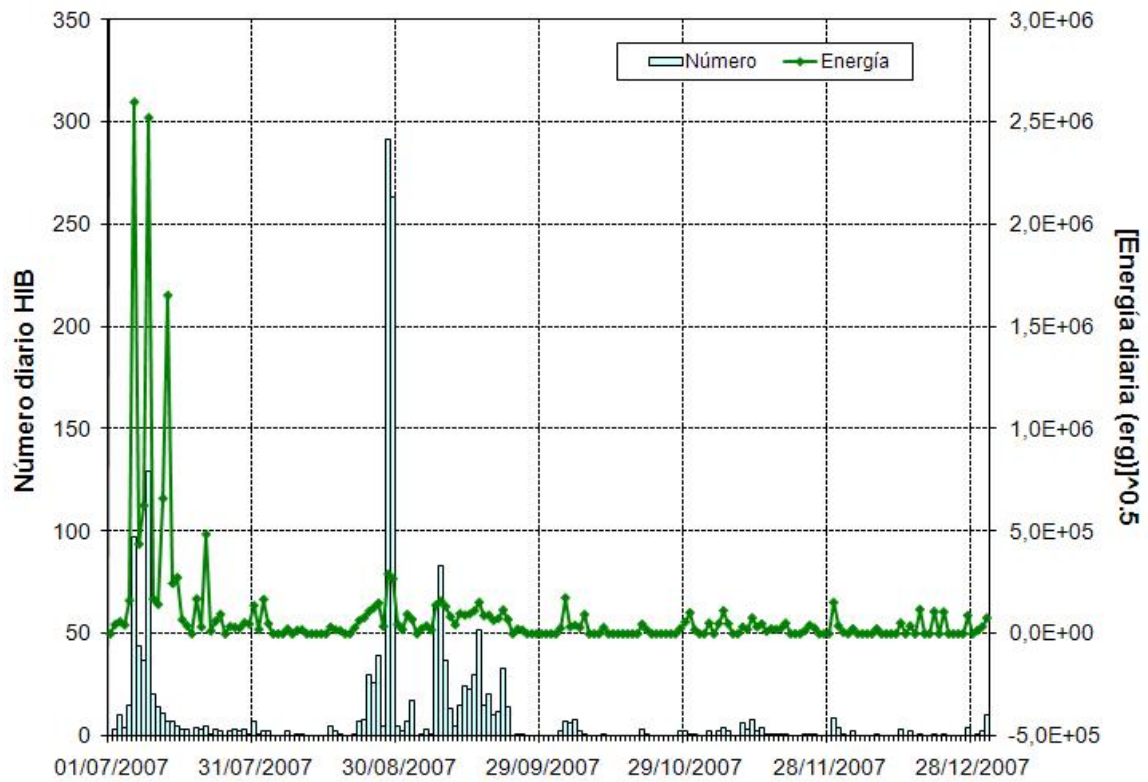


Figura 2.6. Ocurrencia y energía diaria de eventos tipo Híbrido. Julio a diciembre de 2007.

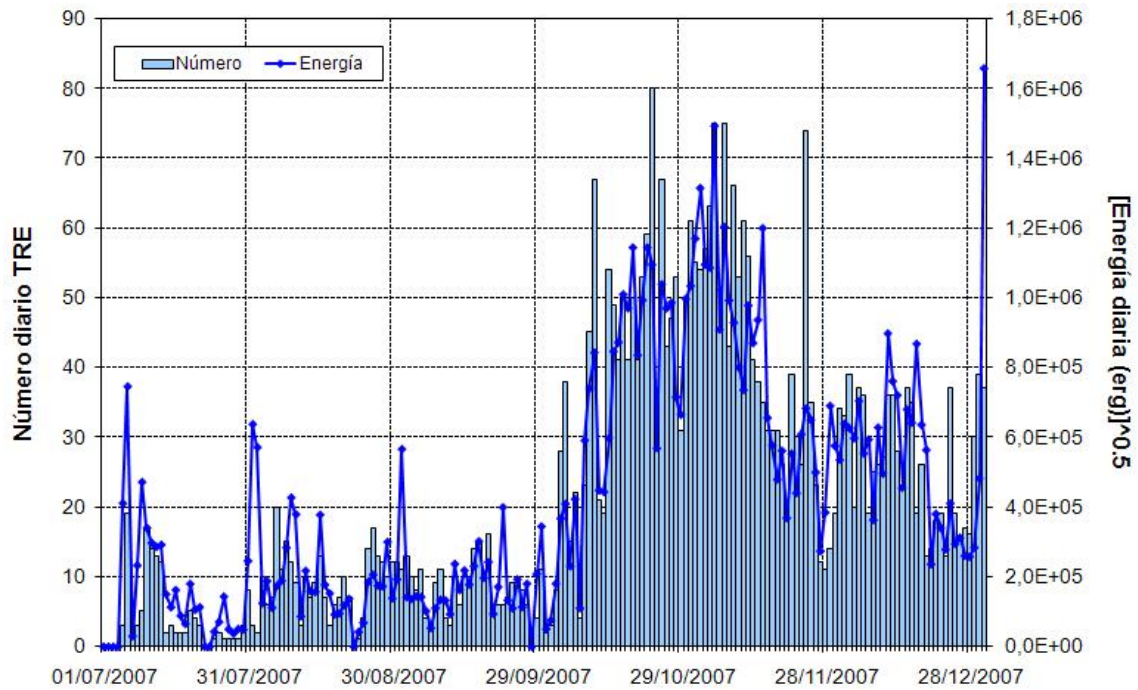


Figura 2.7. Ocurrencia y energía diaria de episodios de Tremor. Julio a diciembre de 2007.

Se destaca en el mes de julio la ocurrencia de 14 eventos tipo Tornillo (TOR) y cuatro eventos tipo Pseudo-Tornillo (PST), cuyas características, calculadas a partir de la información registrada en la estación Anganoy (0,9 km E del cono activo) de corto periodo, se consignan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Características de los eventos tipo Tornillo en la estación Anganoy (CP). Segundo semestre de 2007.

| Evento | Fecha | Hora Local | Duración (s) | Velocidad $\mu\text{m/s}$ | Frecuencia Dominante |
|--------|-----------|------------|--------------|---------------------------|----------------------|
| TOR | 04-jul-07 | 16:13 | 120 | 10,40 | 3,83 |
| TOR | 05-jul-07 | 16:38 | 117 | 9,48 | 1,67 |
| TOR | 06-jul-07 | 17:40 | 134 | 9,78 | 1,20 |
| TOR | 08-jul-07 | 02:06 | 150 | 8,25 | 6,37 |
| TOR | 08-jul-07 | 06:29 | 67 | 9,48 | 6,00 |
| TOR | 08-jul-07 | 18:19 | 245 | 11,31 | 1,25 |
| PST | 11-jul-07 | 18:10 | 85 | 3,06 | 1,37 |
| TOR | 12-jul-07 | 09:22 | 80 | 1,53 | 4,90 |
| TOR | 12-jul-07 | 11:42 | 136 | 3,06 | 1,37 |
| TOR | 12-jul-07 | 12:03 | 55 | 1,71 | 1,37 |
| TOR | 14-jul-07 | 06:06 | 150 | 2,14 | 1,40 |
| PST | 16-jul-07 | 04:46 | 95 | 5,69 | 1,46 |
| TOR | 21-jul-07 | 17:41 | 100 | 7,03 | 1,50 |
| TOR | 30-jul-07 | 02:39 | 92 | 1,22 | 1,46 |
| TOR | 30-jul-07 | 14:14 | 82 | 1,22 | 1,44 |
| PST | 30-jul-07 | 21:53 | 60 | 1,53 | 2,76 |
| TOR | 31-jul-07 | 02:16 | 75 | 11,31 | 2,94 |
| PST | 31-jul-07 | 02:41 | 60 | 0,61 | 1,46 |

De la actividad sísmica del segundo semestre de 2007 se resalta también el registro de enjambres de eventos de baja energía que terminaban en episodios de TRE, que se presentaron en los meses de agosto y septiembre. La figura 2.8 muestra un enjambre típico de eventos de baja energía que termina en un episodio de Tremor, registrado en la estación de corto periodo Anganoy. Este enjambre ocurrió el 5 de agosto de 2007, entre las 12:00 y las 12:50 p.m., con un total de 182 eventos no clasificables; posterior al enjambre, hacia las 1:11 p.m. hora local, se registró un pulso de tremor, que duró aproximadamente 85 segundos y tuvo una energía de $1,77 \times 10^9$ ergios.

El 28 y 29 de agosto se presentó un enjambre de eventos HIB conformado por 554 sismos que liberaron una energía de $1,58 \times 10^{11}$ ergios, los cuales posiblemente se originaron por la presión de un fluido que genera microfracturas durante su paso de un lugar a otro, reflejando altas frecuencias en la fase inicial de la señal.

Para los meses de octubre, noviembre y diciembre fue muy característica la presencia de episodios de TRE, la mayoría de los cuales estuvieron acompañados por columnas de gases, vapor y en ocasiones ceniza fina. Estas columnas se observaron desde la ciudad de Pasto y poblaciones alrededor de Galeras, también se tuvieron reportes de caída de ceniza en algunos sitios altos del edificio volcánico. En la figura 2.9 se puede apreciar a manera de ejemplo, el registro de un tremor en la estación Anganoy, ocurrido en noviembre 8, que mostró una banda de frecuencias entre 1,5 Hz y 13,3 Hz, el reflejo de este evento en superficie fue una columna de gases y vapor que alcanzó una altura de 1.200 m sobre la cima de Galeras.

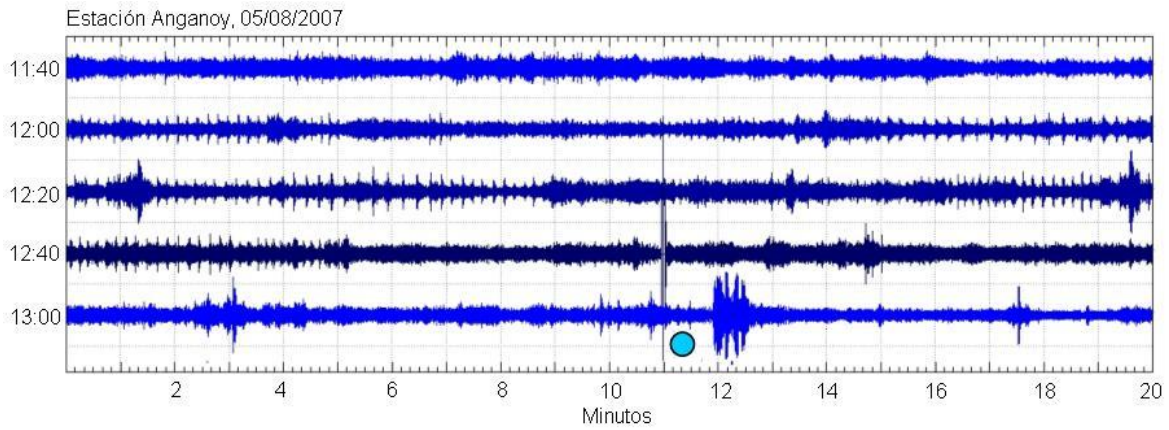


Figura 2.8. Registro sísmico digital en la estación Anganoy, entre las 11:40 a.m. y 1:20 p.m. hora local, de agosto 5 de 2007. Nótese que desde las 12:00 hora local, se observa el registro de un enjambre de eventos de baja energía. A las 1:11 p.m. hora local se registra un evento de tremor, cuyo inicio es marcado con el círculo azul. En este sismograma, cada línea contiene 20 minutos de registro

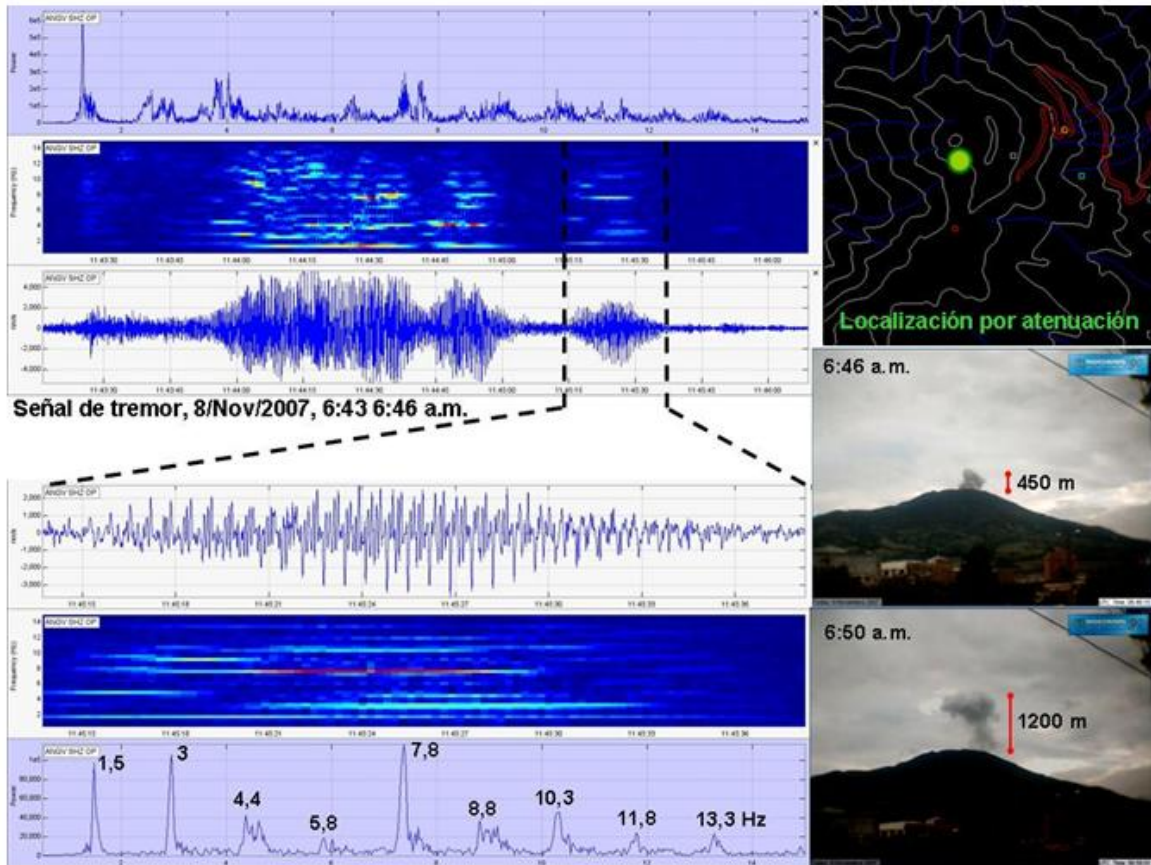


Figura 2.9. Señal de tremor registrada el 8 de noviembre a las 6:43 a.m., con su respectivo espectro, espectrograma, localización y fotografía de la columna asociada. Se muestra también un detalle del tremor para observar sus frecuencias.

Finalmente están los eventos de tipo VT que se reportaron sentidos durante el segundo semestre de 2007, cuyas características se aprecian en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Características de los eventos tipo VT sentidos. Segundo semestre de 2007.

| Fecha | Hora Local | Tipo | Distancia a Galeras | Latitud | Longitud | Prof. Km | ML | Sentido en |
|------------|------------|------|---------------------|----------|-----------|----------|-----|----------------------------|
| 24/07/2007 | 11:49 pm | VT | 6 Km SSW | 1°10,20' | 77°22,75' | 6 | 3,2 | Tangua y Yacuanquer |
| 14/08/2007 | 12:39 am | VT | 3 Km NE | 1°14,77' | 77°20,55' | 7 | 2,5 | Pasto |
| 06/09/2007 | 03:31 pm | VT | 4 Km NNE | 1°15,74' | 77°21,36' | 6 | 2,9 | Pasto, Nariño y La florida |

En la figura 2.10 se muestra el mapa de la zona de influencia de Galeras con las localizaciones de los eventos VT, tanto en planta como en sus respectivos perfiles en profundidad, norte-sur y este-oeste.

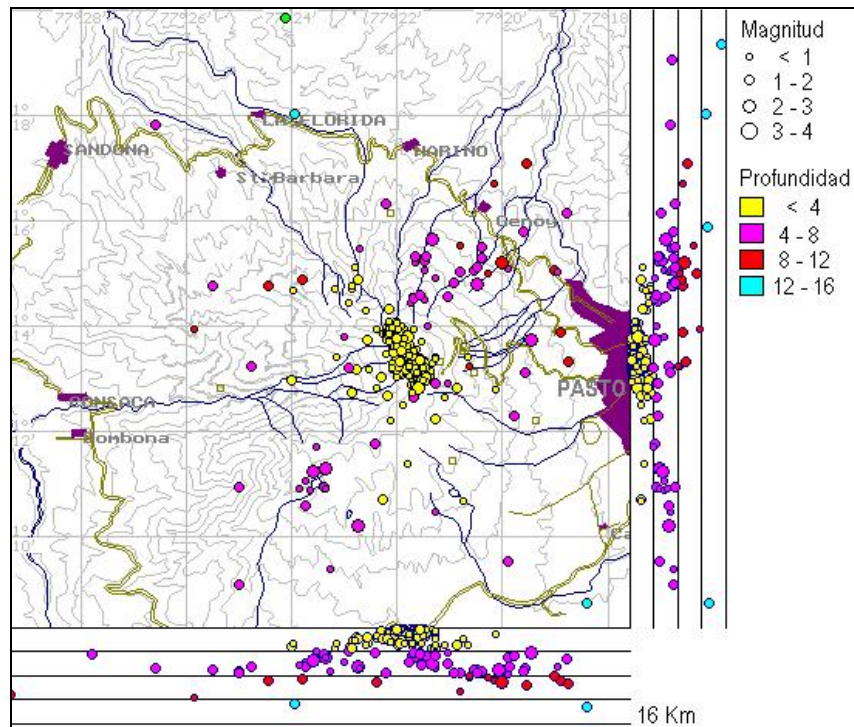


Figura 2.10. Distribución de sismos VT en la zona de influencia de Galeras. Julio a diciembre de 2007. En los cortes norte-sur (derecha) y este-oeste (abajo) cada división equivale a 4 Km.

Para el segundo semestre de 2007, el máximo valor de magnitud local de los sismos VT fue de 3,2 grados. La profundidad de los sismos osciló en un rango entre 0,1 Km y 20 Km. La gran mayoría de eventos VT se ubicó a profundidades menores de 4 Km con respecto a la cima volcánica y en planta se localizaron en el edificio volcánico, siguiendo un alineamiento SE-NW. El 77% de eventos localizados se ubicó entre 0 y 4 Km, el 17% se localizó a una profundidad entre 4,1 y 8 Km y sólo un 6% mostró profundidades mayores de 8 Km. Los sismos con profundidad mayor de 4 Km se ubicaron de forma dispersa sobre la zona de influencia de Galeras, especialmente en el costado norte.

2.3 DEFORMACION

Entre julio y diciembre de 2007, básicamente se contó con los datos de tres inclinómetros electrónicos telemétricos, pues uno de ellos trabajó solamente durante un tercio del semestre y también se ocuparon 12 de los 14 Vectores de Nivelación (VN) (Figura 2.11).

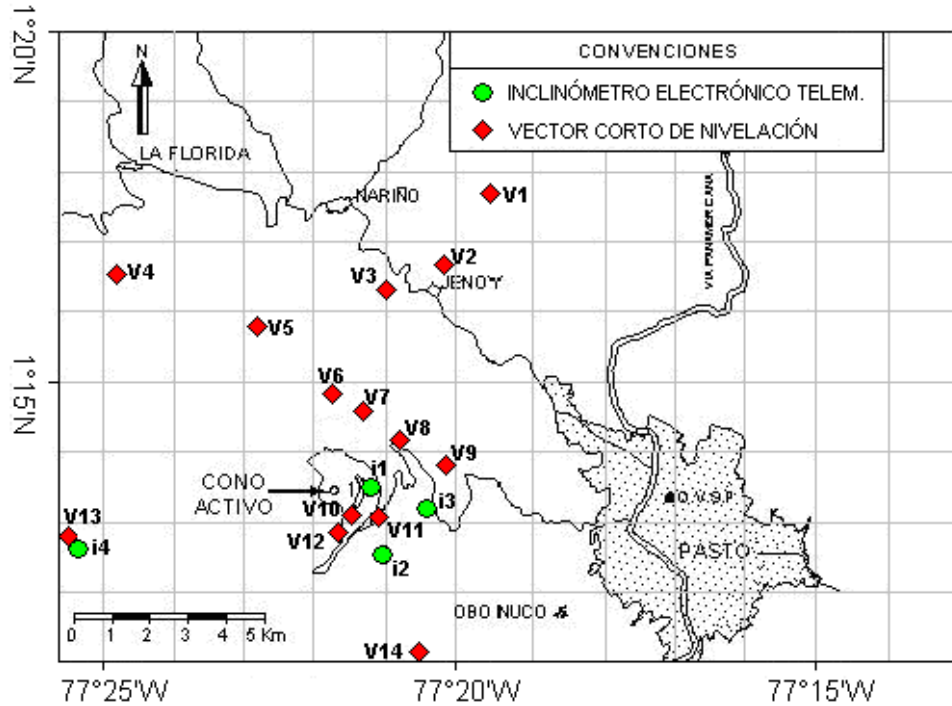


Figura 2.11. Red de vigilancia en Deformación del Volcán Galeras. Inclinómetros electrónicos: i1: Cráter, i2: Peladitos, i3: Urcunina, i4: Calabozo. Vectores cortos de nivelación: V1: Puyito, V2: Lindero, V3: Chorrillo, V4: Chacaguaico, V5: Barranco, V6: Chiguaco, V7: Popeye, V8: Piedras, V9: La Mica, V10: La Y, V11: Inclinómetro, V12: Telecom, V13: La Quebrada, V14: Cobanegra.

2.3.1 Inclinómetros Electrónicos

En el segundo semestre de 2007, se detectaron cambios en la actividad volcánica, que inicialmente se reflejaron con un incremento en la actividad sísmica y que también pueden estar asociados con los cambios en deformación registrados por los inclinómetros electrónicos.

El inclinómetro Cráter (0,9 Km al ENE del cráter principal), reinstalado en agosto 18, mostró, a partir de esta fecha y hasta finales de septiembre, estabilidad en sus componentes, posteriormente hasta mediados de noviembre se presentó un ascenso en ambas componentes, siendo de 12 μ rad en la componente radial y más marcado en la componente tangencial con 40 μ rad. Aunque no se descarta que éste comportamiento esté asociado con la actividad del volcán, se ha observado además que estas variaciones son influenciadas también por la temperatura ambiente. Posteriormente y hasta diciembre, las dos componentes nuevamente mostraron una tendencia a estabilizarse (Figura 2.12).

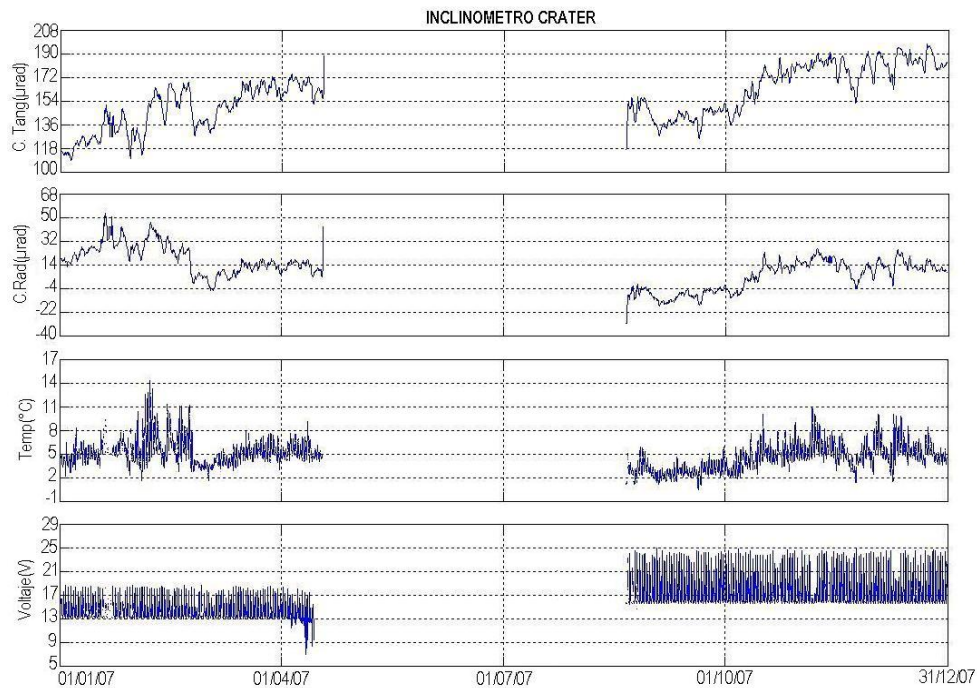


Figura 2.12. Inclínómetro Cráter. Comportamiento de las componentes de inclinación tangencial y radial y de los canales de voltaje y temperatura. Enero a diciembre de 2007.

Para el inclinómetro Peladitos (1,4 Km al SE del cráter principal), los mayores cambios se dieron entre mayo y octubre de 2007, con variaciones de 30 μrad y 10 μrad para la componente tangencial y radial respectivamente. Estas variaciones son muy coherentes con los cambios de temperatura ambiente, principalmente en la componente radial; sin embargo, en la componente tangencial la variación es mucho mayor y podría corresponder también a la influencia de la actividad volcánica (Figura 2.13).

Finalmente el inclinómetro Calabozo (7 Km al WSW del cráter principal), mantuvo el comportamiento que traía desde el primer semestre de 2007, mostrando cambios importantes en sus componentes. Para el segundo semestre mostró variaciones que pueden ser divididas en tres periodos a saber (Figura 2.14):

- En el primer periodo, entre mayo y octubre de 2007, se observó un cambio de tendencia a ascendente en la componente tangencial con un valor de 110 μrad , mientras que la componente radial continuó mostrando descenso, con un valor acumulado hasta octubre de 30 μrad .
- En el segundo periodo, desde octubre hasta mediados de diciembre, nuevamente las dos componentes mostraron descenso, de 100 μrad para la componente tangencial y de 55 μrad para la radial. Cabe destacar que del 4 al 20 de octubre se notó una variación marcada en la componente radial de 30 μrad . Se resalta también, que entre mediados de octubre y mediados de noviembre se registró la fase más intensa de tremor y por tanto, estas variaciones podrían ser concordantes con esta actividad sísmica.
- En el último periodo, que se toma hasta el 31 de diciembre de 2007, las dos componentes tuvieron un comportamiento estable.

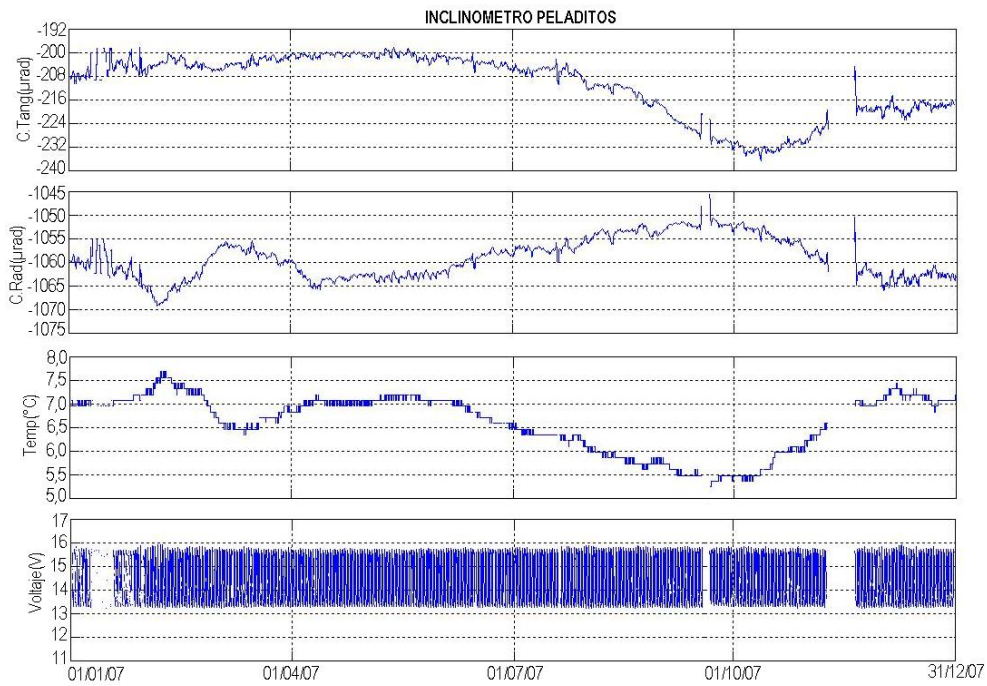


Figura 2.13. Inclínometro Peladitos. Comportamiento de las componentes de inclinación tangencial y radial y de los canales de voltaje y temperatura. Enero a diciembre de 2007.

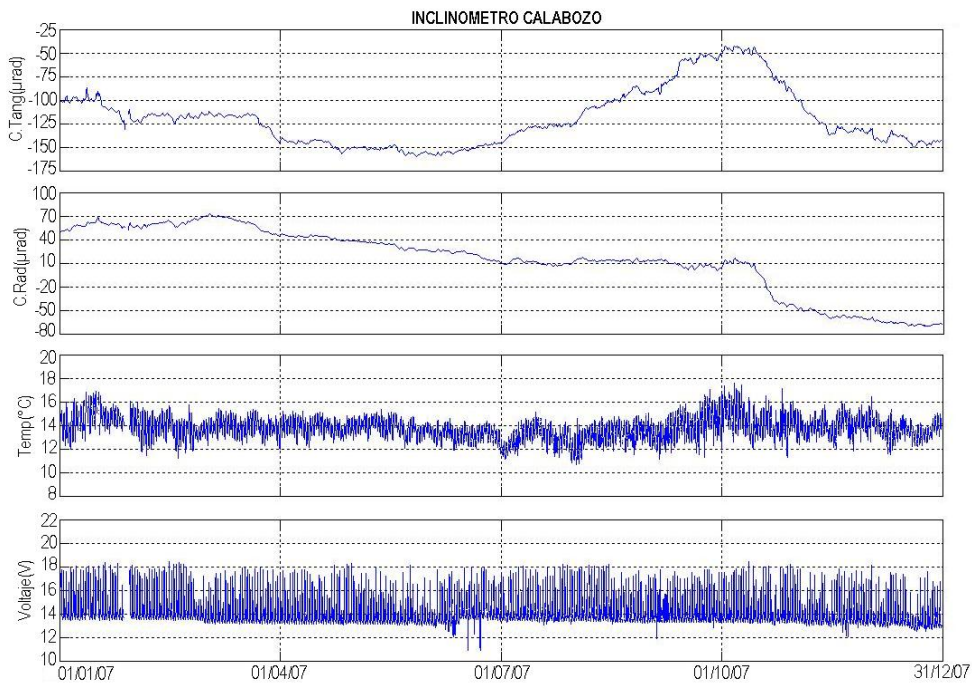
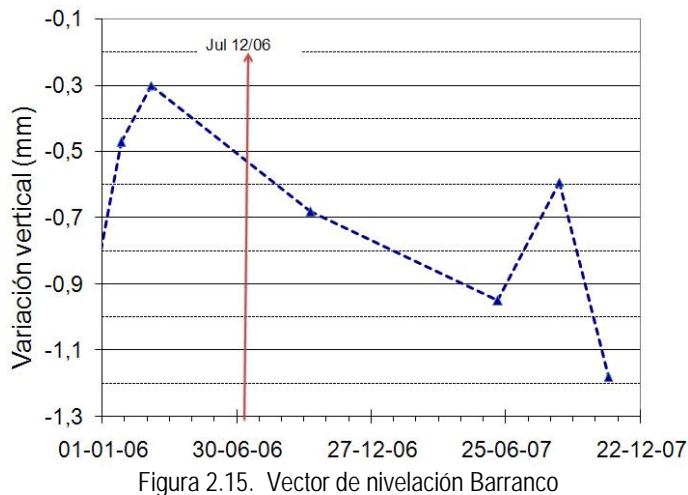


Figura 2.14. Inclínometro Calabozo. Comportamiento de las componentes de inclinación tangencial y radial y de los canales de voltaje y temperatura. Enero a diciembre de 2007.

2.3.2 Vectores de Nivelación

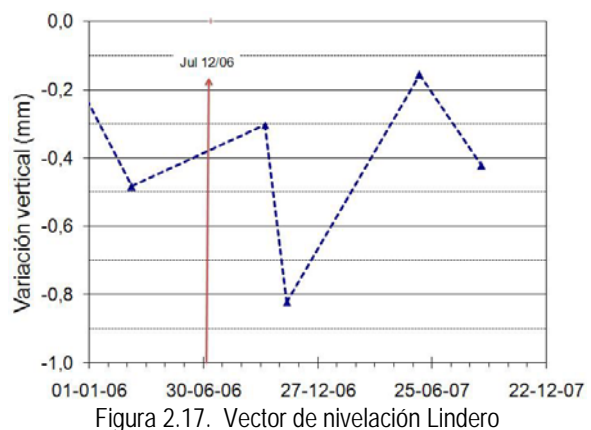
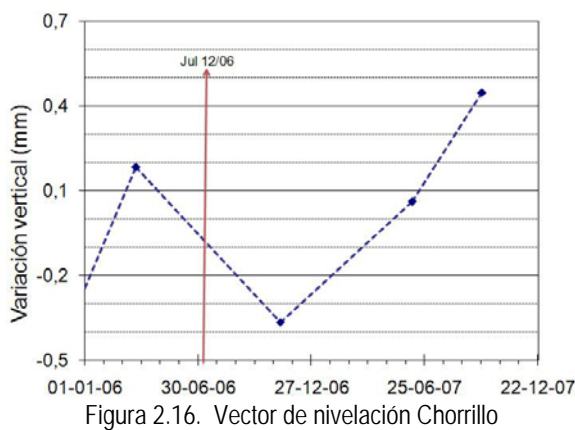
Durante el segundo semestre de 2007, las condiciones climáticas adversas limitaron la ocupación de los vectores de nivelación (VN); sin embargo, en la mayoría de ellos se tomó al menos una medida. Para interpretar la tendencia que muestran las gráficas es importante aclarar que un comportamiento ascendente en las gráficas de los VN indica una posible inflación de la zona y lo contrario una deflación del sector.

El sector norte del volcán está cubierto por los vectores: Chorrillo, Lindero, Puyito, Barranco y Chacaguaico. Lindero tiene dirección tangencial al cráter y los restantes son radiales.



En el segundo semestre de 2007, en el vector Barranco, se tomaron dos medidas. La primera mostró un cambio en la tendencia que traía de 0,4 mm, que es consistente con el cambio en la sismicidad registrada en julio de 2007. La segunda medida continuó mostrando la tendencia descendente que traía desde principios de 2006, con una variación acumulada cercana a 0,9 mm (Figura 2.15).

La medida realizada en el VN Chorrillo indicó que se mantuvo la tendencia que traía desde noviembre de 2006, con una variación acumulada de 0,8 mm (Figura 2.16). En las últimas medidas El vector Lindero ha mostrado cambios similares sin indicar una tendencia clara (Figura 2.17).



El vector Puyito mostró una variación cercana a los 0,2 mm, manteniendo una tendencia relativamente estable (Figura 2.18). La medida en el vector Chacaguaico varió con respecto a la anterior en 0,3 mm, mostrando una tendencia estable (Figura 2.19).

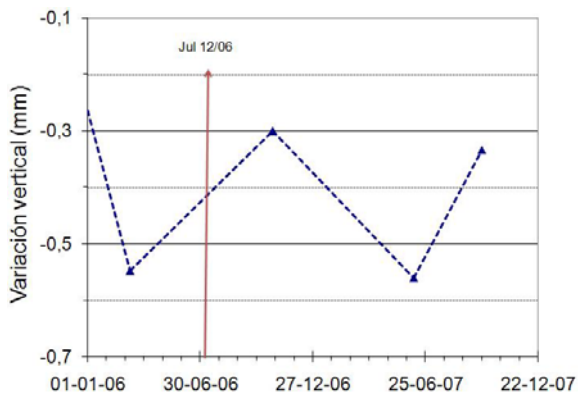


Figura 2.18. Vector de nivelación Puyito

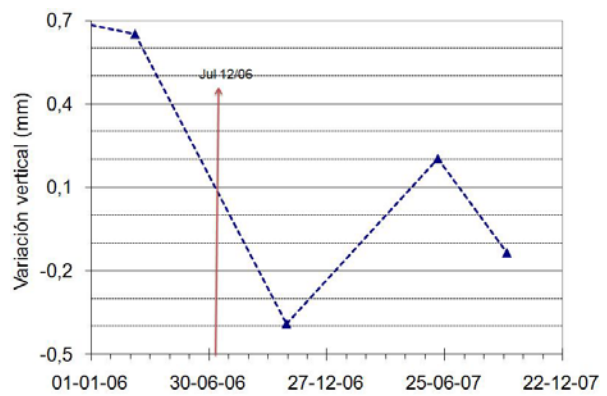


Figura 2.19. Vector de nivelación Chacaguaico

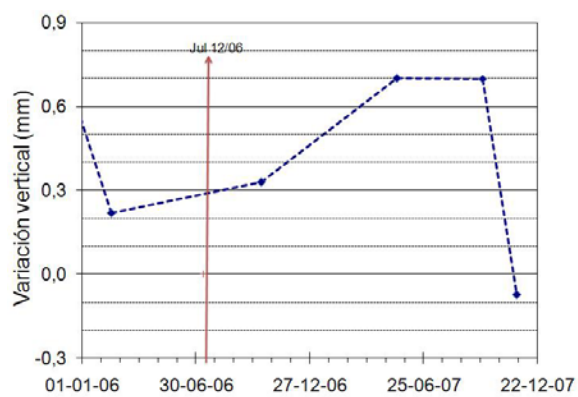


Figura 2.20. Vector de nivelación Telecom

En el sector sur se cuenta con los vectores radiales Telecom, La Y y Cobanegra.

En el vector Telecom se tomó dos medidas, la primera en septiembre, que mostró estabilidad con respecto a la de mayo de 2007, mientras que la segunda, tomada en noviembre, mostró un cambio de tendencia con un valor de 0,7 mm. (Figura 2.20).

En el vector La Y, se tomaron dos medidas, la primera mostró un cambio de tendencia de 0,4 mm, la segunda medida nuevamente registró un cambio de tendencia menor de 0,1 mm (Figura 2.21). La medida obtenida en el vector Cobanegra mostró una tendencia similar a la que traía desde enero de 2007, con una variación acumulada desde esa fecha de 0,8 mm. (Figura 2.22).

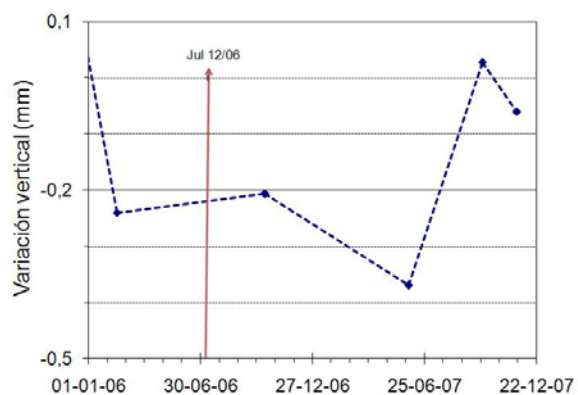


Figura 2.21. Vector de nivelación La Y

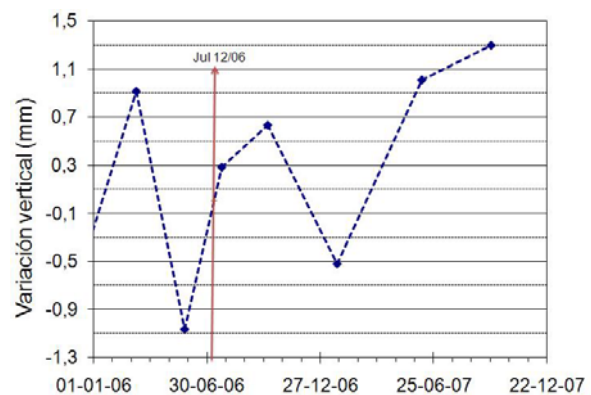


Figura 2.22. Vector de nivelación Cobanegra

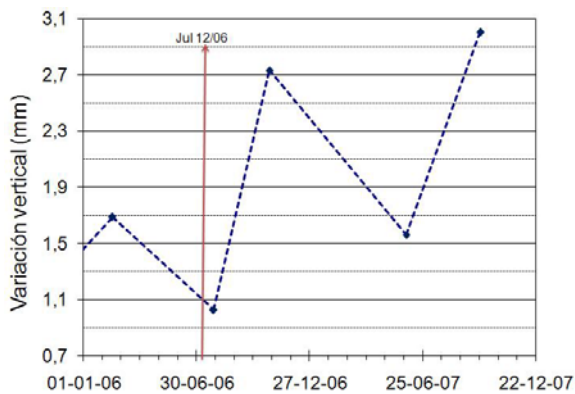


Figura 2.23. Vector de nivelación El Inclinómetro

El sector oriental de Galeras está cubierto por el vector tangencial Piedras y los vectores radiales El Inclinómetro y La Mica.

Las últimas medidas en el vector El Inclinómetro mostraron variaciones similares, cambiando constantemente de tendencia, sin embargo en términos generales desde principios de 2006 hasta finales de 2007, se observa una tendencia ascendente cercana a 1,6 mm (Figura 2.23)

Las últimas medidas en el vector Las Piedras mostraron una tendencia estable con variaciones menores de 0,05 mm, que es similar al error propio del equipo (0.05 mm) (Figura 2.24). La última medida tomada en 2007, mostró que el vector La Mica tiene una tendencia estable, con una variación de 0,1 mm (Figura 2.25).

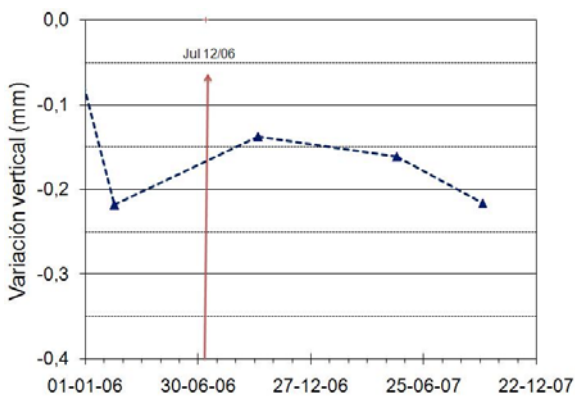


Figura 2.24. Vector de nivelación Las Piedras

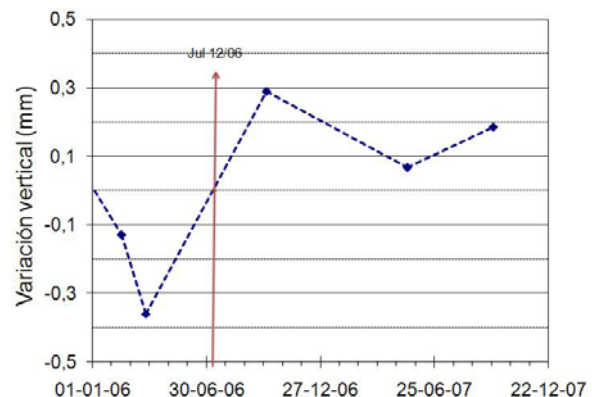


Figura 2.25. Vector de nivelación La Mica

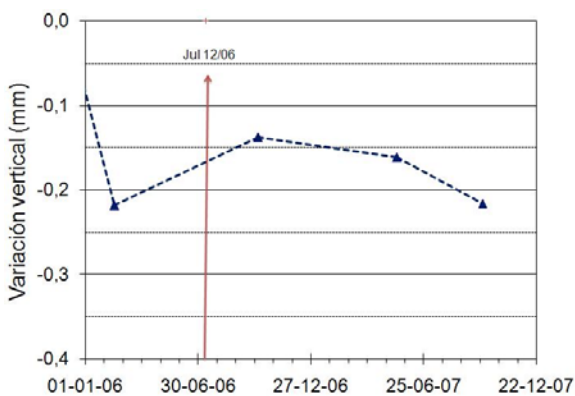


Figura 2.26. Vector de nivelación La Quebrada

Finalmente el vector radial La Quebrada, ubicado a 7,3 Km desde el cráter del volcán, es el único vector construido en el sector occidental.

La medida tomada en el segundo semestre de 2007, mostró un cambio de tendencia de 2,5 mm, la cual corresponde al mayor cambio medido en la red de vectores de nivelación y que es consistente con las variaciones observadas en el inclinómetro instalado en este sector (Figura 2.26).

En general se observa que en el sector norte, con excepción del vector Chorrillo, los vectores restantes tuvieron cambios en sus tendencias con valores menores, donde las principales

variaciones se dieron en los vectores Barranco y Chorrillo (Figura 2.27) ubicados respectivamente a 4,8 y 5,6 Km desde el cráter del volcán.

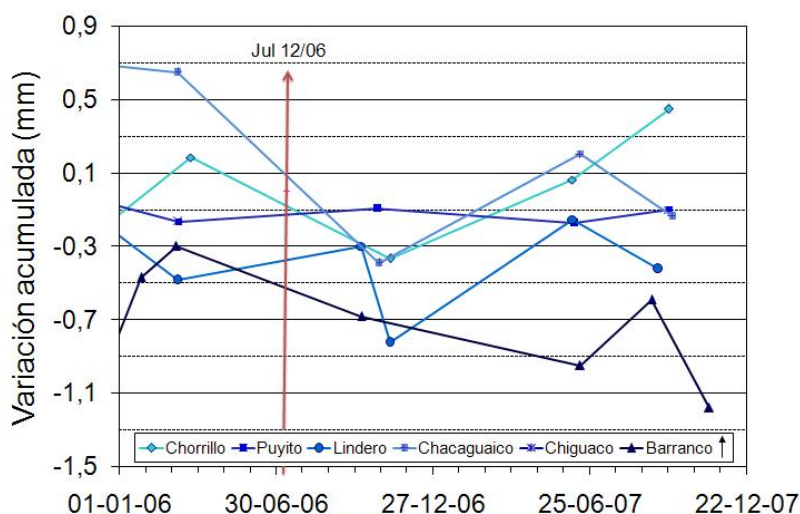


Figura 2.27. Vectores de nivelación del sector norte de Galeras

Para los vectores ubicados al sur del volcán, el mayor cambio en el semestre estuvo reflejado en el vector Telecom; sin embargo, el vector Cobanegra continúa mostrando una variación importante (Figura 2.28). Los vectores La Y, Telecom y Cobanegra están ubicados a distancias de 0,9, 1,1 y 5,1 Km, respectivamente desde el cono activo.

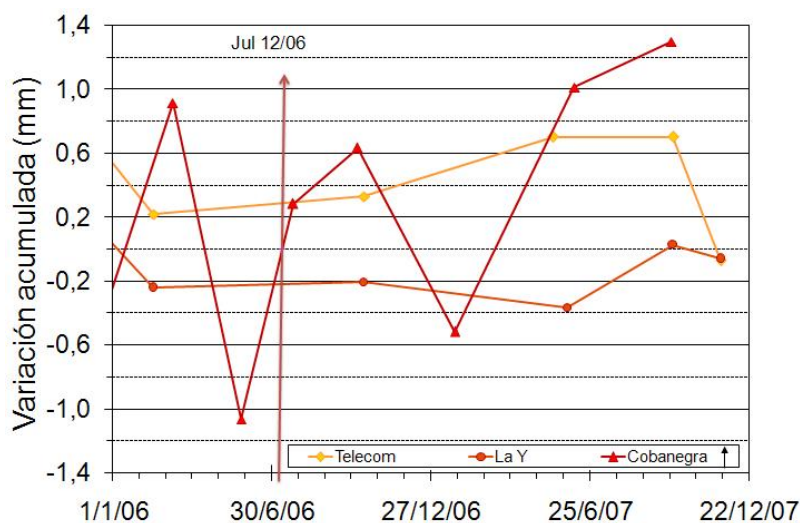


Figura 2.28. Vectores de nivelación del sector sur de Galeras

En el sector oriental, tanto el vector la Mica (3,1 Km del cráter) como Piedras (1,9 Km del cráter) fueron los más estables, en tanto que el vector El Inclinómetro (1,2 Km del cráter), muestra una tendencia ascendente que viene desde 2006 y que supera los 2 mm (Figura 2.29).

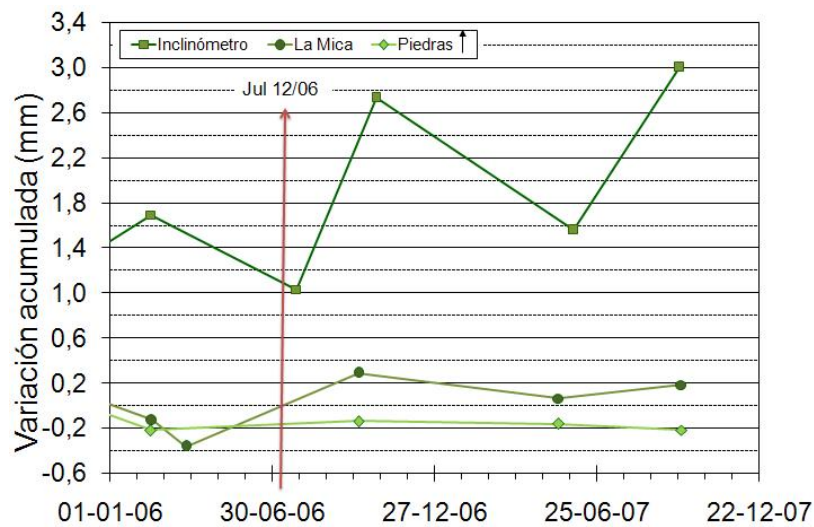


Figura 2.29. Vectores de nivelación del sector oriente de Galeras

2.4 FISICOQUIMICA

Durante el segundo semestre de 2007, se midió el flujo de SO_2 en el aire y las emisiones de Rn-222 en suelos. El SO_2 se midió mediante el método Scan-DOAS (DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy – Espectroscopía Óptica Diferencial de Absorción) con el prototipo del Proyecto NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change), desde diversos puntos de la zona de influencia del volcán Galeras teniendo en cuenta la dirección y velocidad del viento, con datos obtenidos de la estación climatológica ubicada en la cima de Galeras, hasta finales del mes de julio, cuando un rayo la sacó de funcionamiento y luego con datos de velocidad y dirección del viento proporcionados por el IDEAM.

Gracias a la participación de INGEOMINAS en el proyecto NOVAC se contó con equipos scanDOAS para instalar tres estaciones telemétricas de medición permanente del flujo de SO_2 . Primero se adelantó la fases de reconocimiento en campo para la definición de los tres sitios para instalar las estaciones telemétricas de SO_2 en Galeras, además, se realizaron gestiones de organización de los sitios para instalar dos repetidoras para transmisión de las señales, se contrató la construcción de los sistemas de protección y se logró instalarlos en el mes de octubre de 2007. Los tres sitios escogidos fueron: Santa Bárbara, localizado al NW a 8,3 Km de distancia del cono activo, con coordenadas WGS84 de $1^{\circ}16'14.3''$ Norte, $77^{\circ}24'50.9''$ Occidente y con altitud de 2600 msnm. El otro sitio fue Alto Jiménez localizado al WNW, a 11.2 Km de distancia del cono activo, con coordenadas WGS84 de $1^{\circ}15'52.1''$ Norte, $77^{\circ}27'00''$ Occidente y con altitud de 2400 msnm. El último sitio escogido fue Alto Tinajillas, localizado al WNW, a 13.7 Km de distancia del cono activo, con coordenadas WGS84 de $1^{\circ}13'44.9''$ Norte, $77^{\circ}28'56.2''$ Occidente y con altitud de 2100 msnm. La localización de los sitios de instalación de las estaciones se muestra en la figura 2.30.

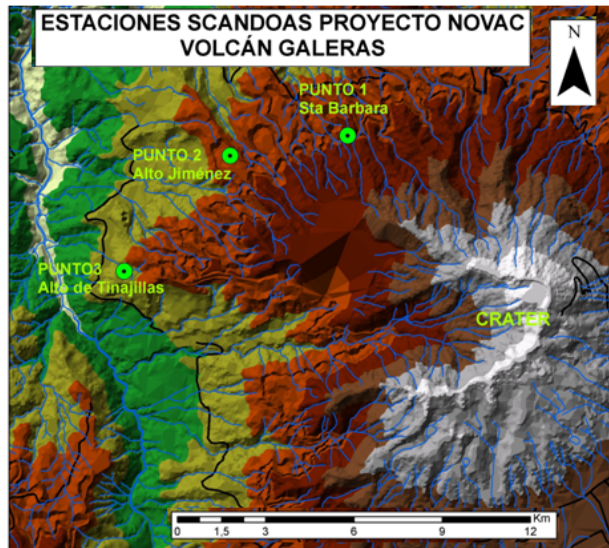


Figura 2.30. Mapa de localización de las estaciones telemétricas ScanDOAS en el Volcán Galeras.

Las estaciones, con su telemetría, se instalaron en el transcurso del mes de noviembre y se contó con la ayuda de la Ingeniera Claudia Rivera, estudiante de doctorado de la Universidad de Chalmers (Suecia), quien viajó a la zona de Galeras después de la Segunda Reunión del Proyecto NOVAC realizada en Manizales a principios del mes de noviembre de 2007. En la figura 2.31 se muestra el comportamiento de los valores de flujo de SO_2 durante el segundo semestre de 2007. Nótese que los mayores valores se encuentran en la primera mitad del semestre, con un máximo de 1.615 T/día, medido en septiembre 5 cerca de la población de Sandoná, al NW de Galeras. Al final del semestre aun cuando lo característico de la sismicidad era el registro de eventos de Tremor, los valores de SO_2 son bajos, muy probablemente debido a que la velocidad del viento fue baja y la columna no estuvo dirigida hacia el sector NW donde se encuentran las estaciones.

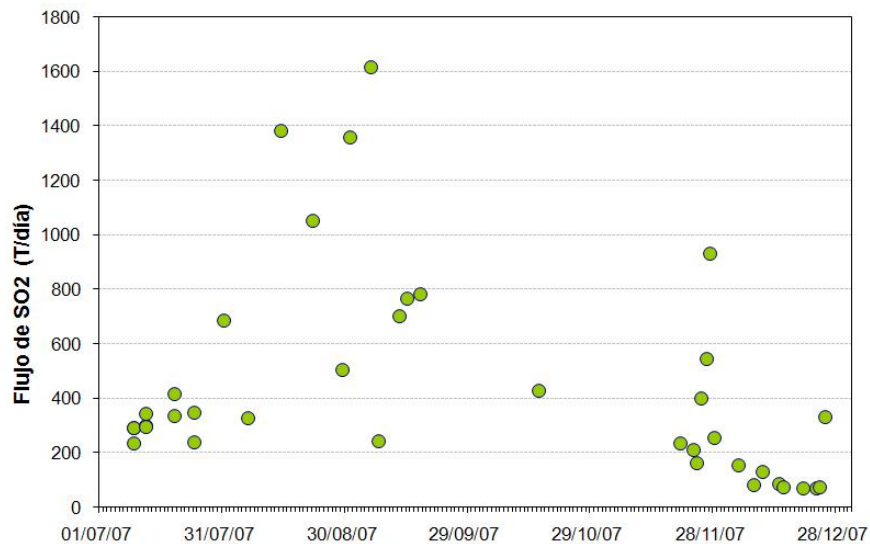


Figura 2.31. Flujo de SO_2 , medido con Mini-DOAS y Scan-DOAS (NOVAC). Segundo semestre de 2007.

En cuanto a las emisiones de gas Rn-222, las estaciones funcionaron durante la mayor parte del semestre, solamente fue necesario retirarlas algunas semanas a finales de octubre y comienzos de noviembre por suspensión de comisiones debido a época de elecciones.

La Línea Norte contó con 5 estaciones que registraron valores de emisión entre 183 pCi/L y 2.850 pCi/L, ambos obtenidos en la estación San Juan 2. En general la tendencia de las emisiones de esta línea fue levemente ascendente durante el semestre, mostrando la mayoría de las estaciones los valores más altos al terminar este periodo, como se ve en la figura 2.32.

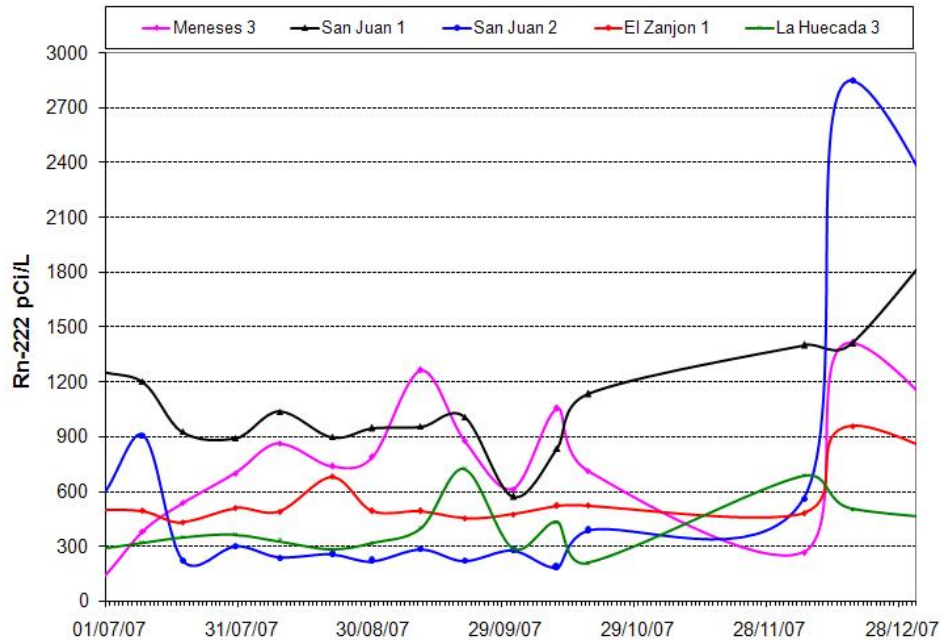


Figura 2.32. Emisiones de Rn-222, en la Línea Norte. Segundo semestre de 2007.

La Línea Circunvalar mostró valores de emisión de Rn-222 entre 151 pCi/L y 2.907 pCi/L, medidos ambos en la estación Sismo 1. En general los valores de emisión de ésta línea fueron fluctuantes sin evidenciar una tendencia definida (Figura 2.33).

Tanto las mayores como las menores emisiones de Rn-222 del semestre se registraron en la Línea Galeras. Los valores fluctuaron entre 0 pCi/L y 3.013 pCi/L medidos respectivamente en las estaciones Cobanegra y Lava 1. En general las emisiones mostraron fluctuaciones sin presentar una tendencia definida para las estaciones Santa Bárbara, Mijitayo y Lava 1. Al contrario, en las estaciones Cobanegra, Lirios y Lava 2 se observó bastante estabilidad en los datos como se aprecia en la figura 2.34.

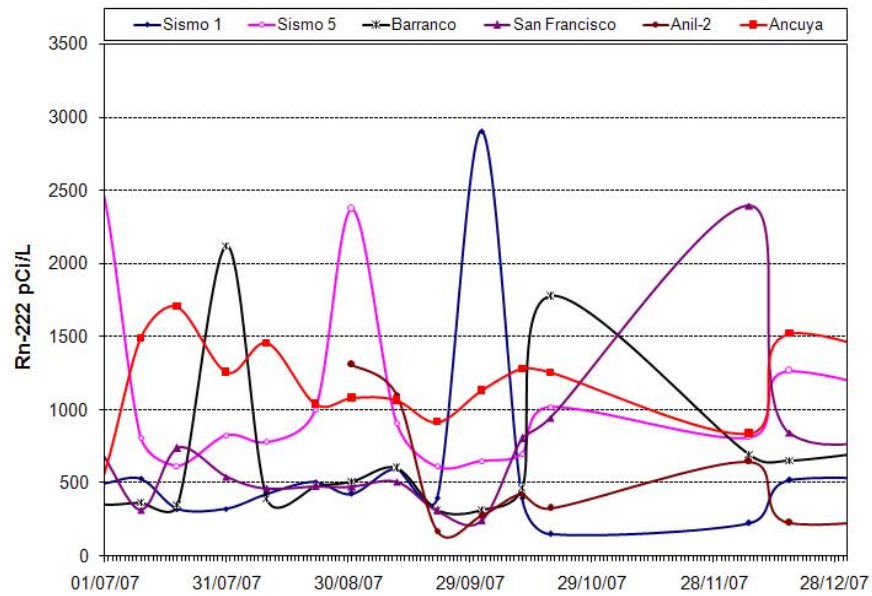


Figura 2.33. Emisiones de Rn-222, en la Línea Circunvalar. Segundo semestre de 2007.

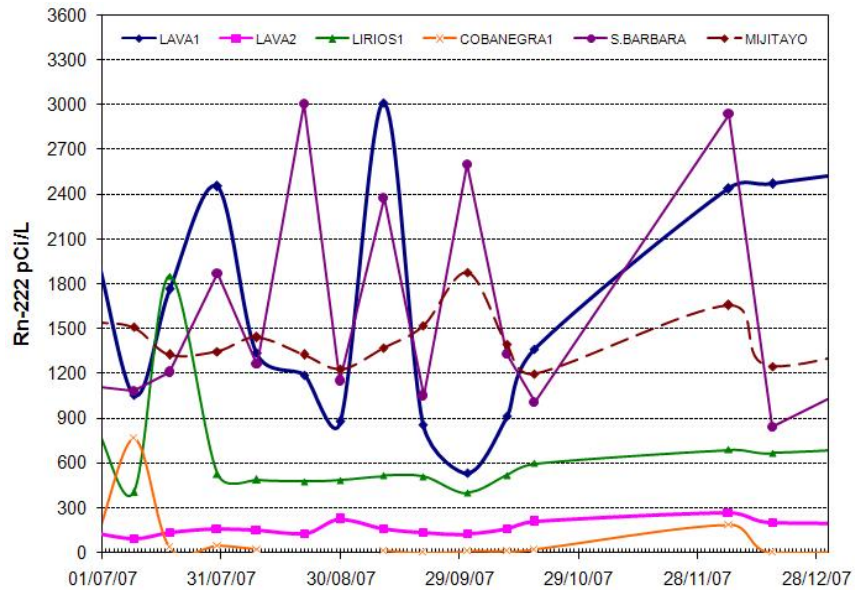


Figura 2.34. Emisiones de Rn-222, en la Línea Galeras. Segundo semestre de 2007.

2.5 POTENCIALES ELÉCTRICOS ESPONTÁNEOS (PEE)

En el segundo semestre de 2007 se continuó ocupando las seis estaciones dispuestas para el monitoreo de potenciales eléctricos espontáneos, asociados con los procesos de actividad del volcán Galeras como: Lavas y Lirios, ubicadas en la vía que conduce a la cima volcánica; Alto Jiménez (Alto_J, ubicada en el sector de Sandoná), Calabozo (Cala), San Felipe (SNF) y Cobanegra (Coba), localizadas en la vía circunvalar a Galeras; adicionalmente, en el mes de agosto de 2007, se

inició la ocupación de las otras tres estaciones que son: La Y (LAY) y Peladitos (PEL), ubicadas en la vía que conduce a la cima volcánica, aproximadamente a 4090 y 3970 m.s.n.m., respectivamente y la estación de Barranco, ubicada hacia el sector NNW de Galeras, en la vía circunvalar. Estos muestreos se realizan utilizando sensores no polarizados de dos dimensiones diferentes, donde se varía el área de la base de contacto con el suelo y su altura. Los sensores tipo_1 tienen un diámetro de 6,4 cm y 11,4 cm de altura, en tanto que los sensores tipo_2 tienen 12,1 cm de diámetro y 9 cm de alto.

Durante el segundo semestre del año, los datos reportados por las seis estaciones que se venía ocupando desde inicios de año mostraron variaciones muy evidentes al comparar con los valores registrados durante el primer semestre; que en condiciones de baja actividad volcánica, oscilaron en un rango entre ± 100 mV. Los valores de PEE obtenidos para el mes de julio de 2007, estuvieron en un rango entre los ± 200 a ± 300 mV, (para los registros realizados con los sensores tipo_1) (Figuras 2.35, 2.36, 2.37 y 2.38). Estas variaciones se correlacionaron con el incremento en la actividad sísmica, que se presentó entre el 5 y el 10 de julio de 2007.

Los muestreos posteriores mostraron una leve disminución en los PEE, obteniendo valores intermedios en las estaciones más cercanas al cráter volcánico, como Lavas y Lirios, que oscilaron entre los ± 100 y los ± 200 mV y con valores que oscilaron entre intermedios y bajos en estaciones más lejanas como Alto_J, Cala, Cob y SNF (Figuras 2.35, 2.36, 2.37 y 2.38).

Las estaciones de La Y, Peladitos y Barranco, que comenzaron a ocuparse desde agosto de 2007, mostraron valores, que en general, oscilaron en un rango entre niveles altos a intermedios (Figuras 2.39, 2.40 y 2.41).

Adicionalmente, desde que se implementó la técnica de PEE dentro del monitoreo volcánico, los datos obtenidos con los sensores tipo_2 habían mostrado una tendencia estable en su comportamiento, incluso en oscilaciones de la actividad volcánica, como en julio de 2007 cuando sucedió el enjambre sísmico. En general, estos sensores habían mostrado valores en un rango muy bajo, entre ± 50 mV; sin embargo, se observó en la estación de Alto_J, en los meses de septiembre y noviembre de 2007 (Figura 2.37), variaciones entre los 90 y 150 mV, en la componente NS. Esta variación no se relacionó con algún tipo especial de actividad sísmica. Además, para finales del mes de diciembre de 2007, las mediciones obtenidas en las estaciones más lejanas como: Cala, Cob y SNF, con este tipo de sensores, mostraron los valores más altos de potencial espontáneo, reportados en la actividad de Galeras (Figura 2.42). Estos valores oscilaron entre ± 260 y ± 400 mV. Los valores obtenidos en estas mismas estaciones, con los sensores tipo_1, fueron inferiores a los ± 100 mV. Para este mismo período, las estaciones La Y y Peladitos reportaron valores de bajos a intermedios (menores de ± 100 mV); las estaciones de Lavas y Lirios reportaron valores en un rango de intermedio a alto (entre ± 150 a ± 200 mV). Las estaciones de Alto_J y BAR tuvieron valores bajos, menores de ± 50 mV.

En conclusión, durante el segundo semestre de 2007, se presentaron las primeras variaciones de potenciales espontáneos, asociados con variaciones en la actividad volcánica de Galeras. Posteriormente, desde el mes de octubre, en la actividad sísmica, predominaron los procesos asociados con la dinámica de fluidos al interior del volcán, que se reflejaron en las manifestaciones

de actividad superficial, como son las columnas de emisión de gases. Estos procesos podrían explicar las variaciones que se presentaron en cuanto a los potenciales eléctricos, ya que estas columnas surgen de la movilización de fluidos volcánicos a mayores temperaturas. Este tipo de actividad podría indicar un aporte, o fuente perturbadora más profunda, que comenzó a evidenciarse en la estación de Alto_J, y para el mes de diciembre de 2007 tuvo su máxima manifestación en las estaciones del sector SE del volcán, reflejado en los valores de las mediciones obtenidas.

No se puede descartar la influencia de las condiciones climáticas, por la presencia de lluvias, especialmente en la primera mitad de diciembre, que es cuando los valores de PEE son los más altos obtenidos en el período, de aproximadamente un año, en el que se ha utilizado esta técnica de vigilancia volcánica. Aunque es importante mencionar que estos períodos de fuertes lluvias ya se han presentado con anterioridad en Galeras, sin gran afectación sobre los valores obtenidos en las mediciones de PEE.

Esta es una interpretación preliminar, que es necesario revisar e ir ajustando, en la medida en que se disponga de mayores volúmenes de datos y de manera más continua. Se debe tener en cuenta que el período de observación del parámetro de PEE en la región del volcán Galeras es muy corto, en comparación con otras técnicas de vigilancia que llevan periodos de muchos años. Por esta razón es importante continuar con las mediciones para un mayor volumen de información que nos permita un mejor análisis de la información y la realización de correlaciones con las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica que se obtienen a partir de las otras técnicas de vigilancia.

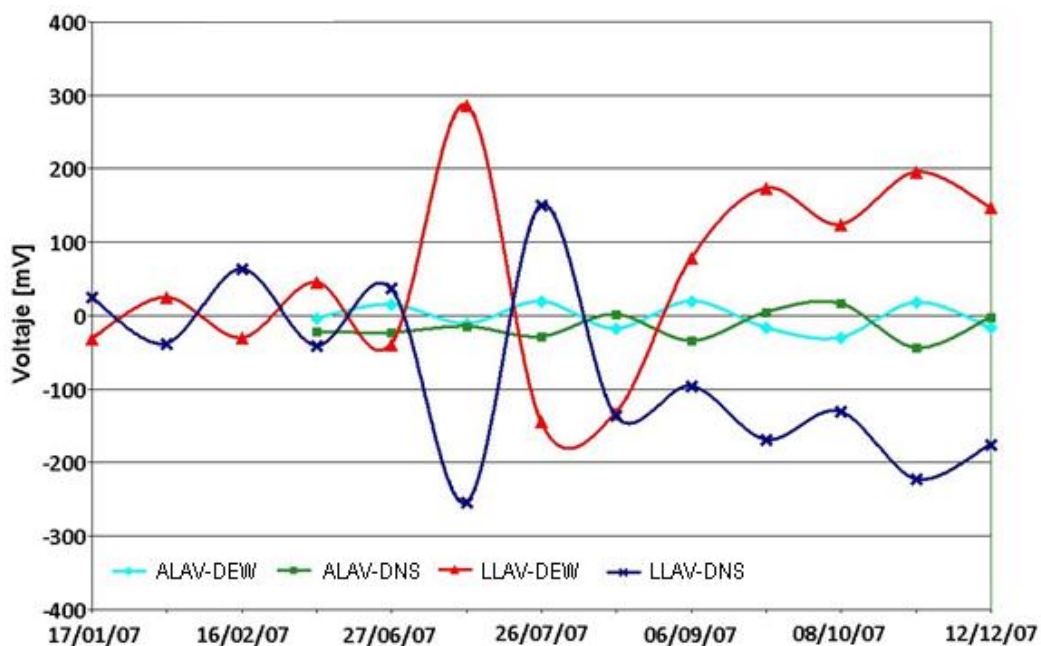


Figura 2.35. PEE medido en las componentes horizontales de la estación Lavas. Enero a diciembre de 2007.

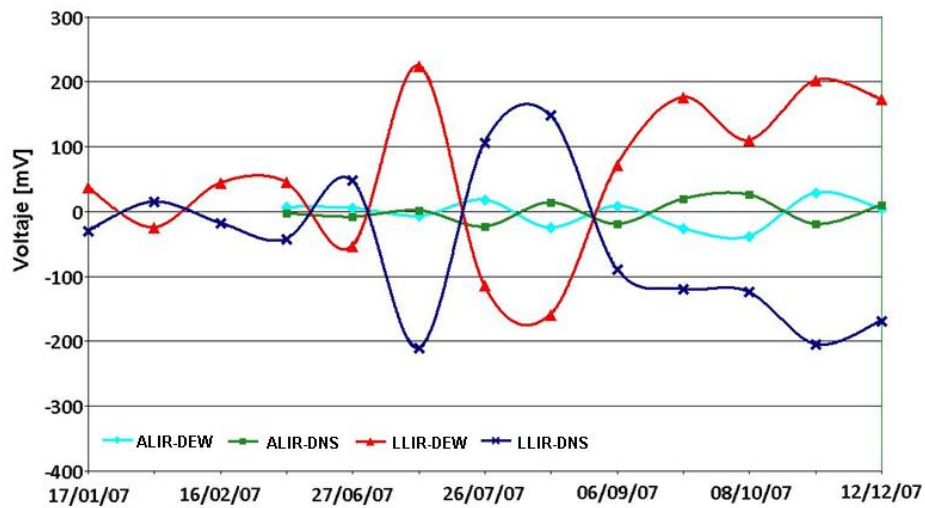


Figura 2.36. PEE medido en las componentes horizontales de la estación Lirios. Enero a diciembre de 2007

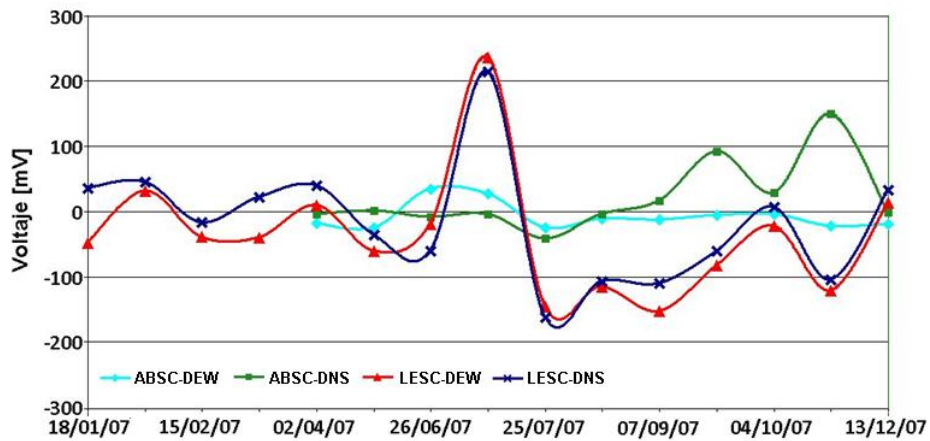


Figura 2.37. PEE medido en las componentes horizontales de la estación Alto Jiménez. Enero a diciembre de 2007.

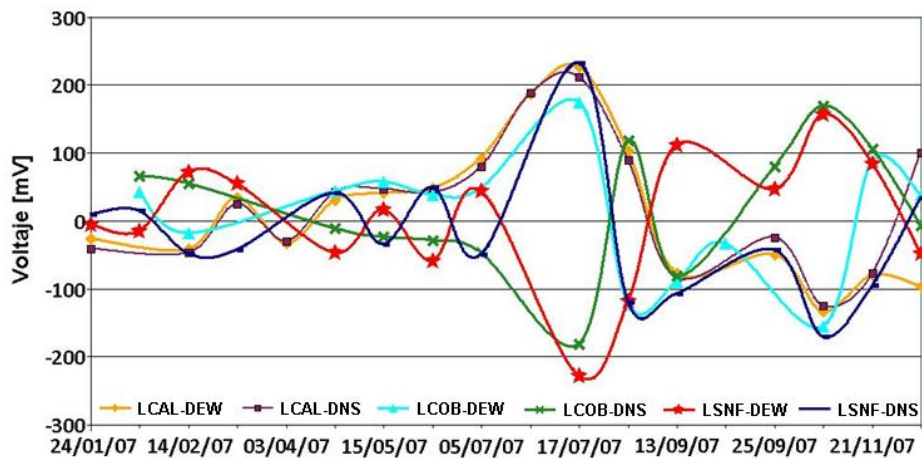


Figura 2.38. PEE medido en las componentes horizontales de las estaciones de Calabozo, San Felipe y Cobanegra, con los sensores largos. Enero a diciembre de 2007

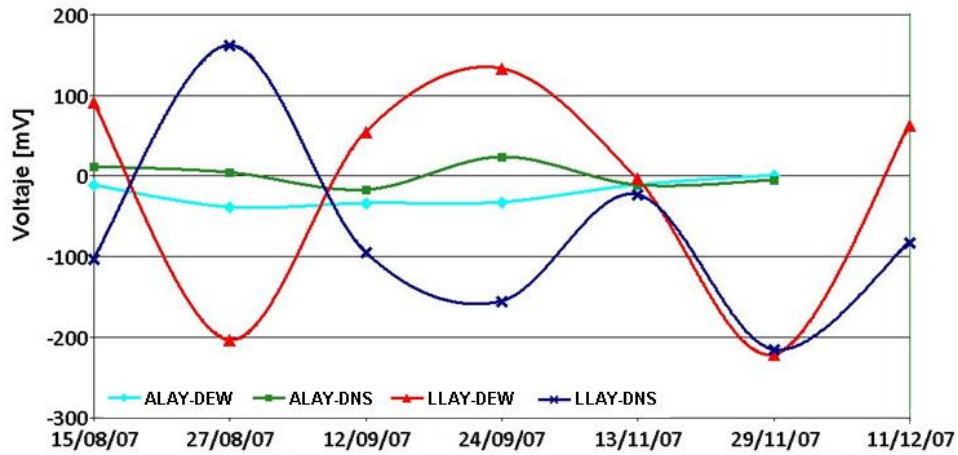


Figura 2.39. PEE medido en las componentes horizontales de la estación La Y. Agosto a diciembre de 2007

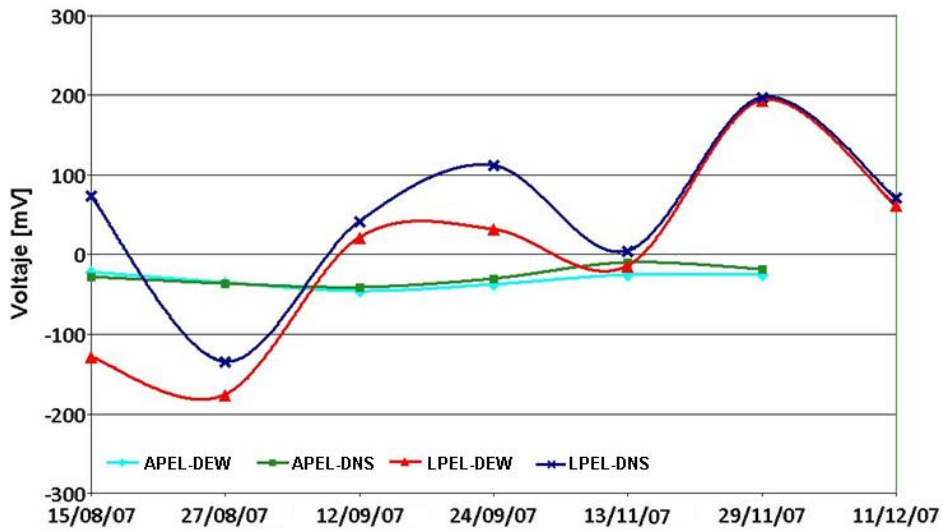


Figura 2.40. PEE medido en las componentes horizontales de la estación Peladitos. Agosto a diciembre de 2007.

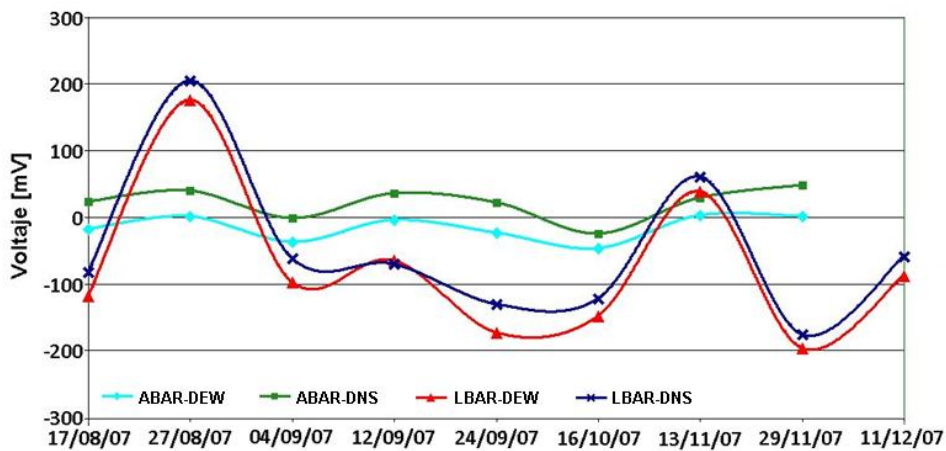


Figura 2.41. PEE medido en las componentes horizontales de la estación Barranco. Agosto a diciembre de 2007

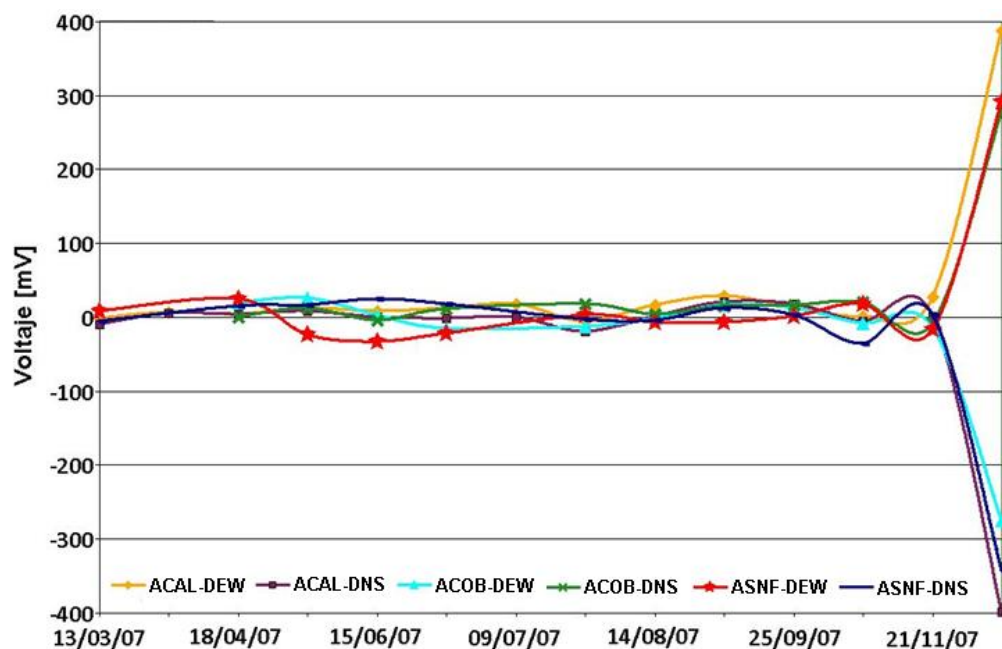


Figura 2.42. PEE medido en las componentes horizontales de las estaciones de Calabozo, San Felipe y Cobanegra, con los sensores anchos. Enero a diciembre de 2007

2.6 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Las manifestaciones de la actividad superficial se documentaron gracias a las observaciones directas hacia la cima volcánica, desde la sede del OVSP, por reportes de las comisiones de personal en campo, por reportes de la comunidad o las autoridades, por sobrevuelos efectuados por personal del observatorio en el helicóptero Hughes de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

La página web del observatorio, en la dirección: (<http://intranet.ingeominas.gov.co/pasto>), cuenta con una galería de imágenes seleccionadas que están a disposición del público siempre y cuando se respete la fuente primaria y se haga la respectiva referencia.

Durante el segundo semestre de 2007 se realizaron 10 sobrevuelos, en cinco de los cuales se tomaron imágenes térmicas que permitieron observar la variación de la temperatura de la roca superficial del cráter volcánico. En la mayoría de inspecciones se observó la columna de gases de color blanco, tendida hacia el costado occidental. Los principales focos de emisión fueron el cráter principal y los cráteres secundarios El Paisita y Las Chavas.

Cuando las condiciones atmosféricas fueron propicias, también se pudo observar desde la ciudad de Pasto, la columna de gases y vapor de agua, que en algunas ocasiones se asoció con señales de Tremor y caída de ceniza fina en sectores altos del edificio volcánico. En la tabla 2.6 se puede ver la variación de la temperatura máxima de la roca registrada por las imágenes térmicas y se realizó una selección de imágenes obtenidas durante el segundo semestre de 2007 (Figuras de 2.43 a 2.56)

Tabla 2.6. Temperaturas máximas obtenidas de imágenes térmicas en Galeras

| Fecha | Hora | Temperatura Máxima °C |
|--------------------|----------|-----------------------|
| 18/Julio/2007 | 06:31 am | 174 |
| 17/Septiembre/2007 | 06:46 am | 121 |
| 27/Septiembre/2007 | 06:15 am | 218 |
| 02/Octubre/2007 | 06:51 am | 370 |
| 27/Noviembre/2007 | 06:12 am | 403 |



Figura 2.43. Emisión de gases, 05/07/05:26 p.m.



Figura 2.44. Emisión de gases, 18/07/06:31 a.m.

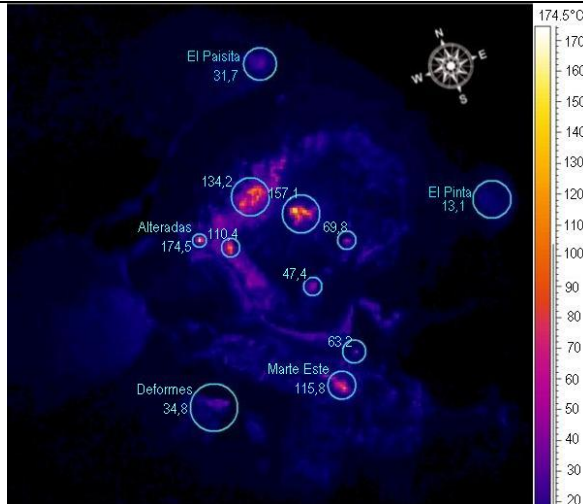


Figura 2.45. Imagen Térmica, 18/07/06:31 a.m.



Figura 2.46. Emisión de gases, 21/07/07:15 a.m.



Figura 2.47. Emisión de gases, 21/08/05:45 a.m.



Figura 2.48. Emisión de gases, 07/09/08:37 a.m.



Figura 2.49. Emisión de gases, 17/09/06:46 a.m.

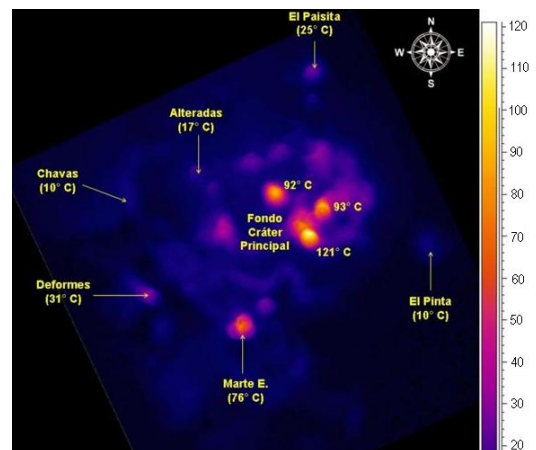


Figura 2.50. Imagen Térmica, 17/09/06:46 a.m.

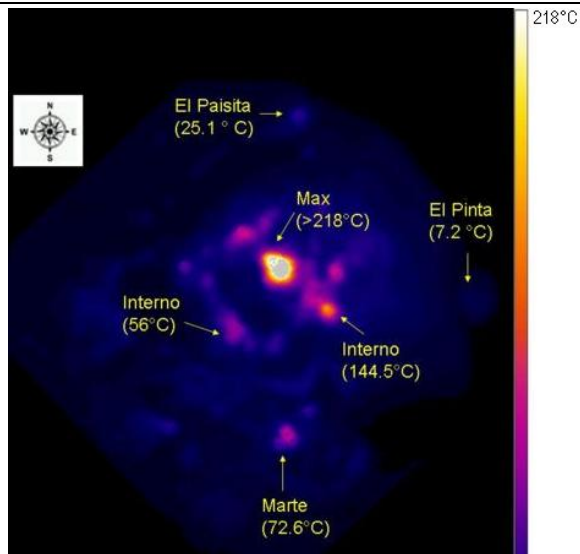


Figura 2.51. Imagen Térmica, 27/09/06:15 a.m.

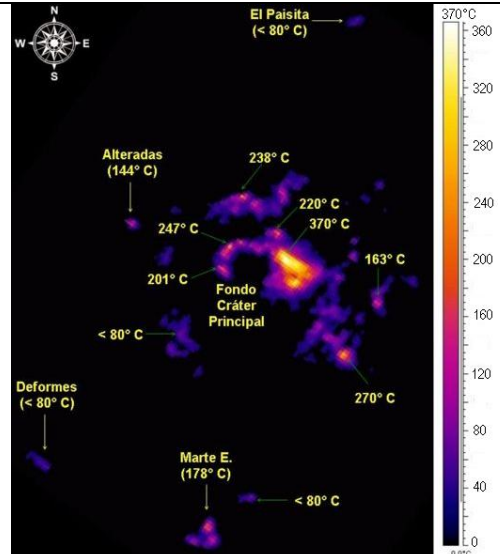


Figura 2.52. Imagen Térmica, 02/10/06:51 a.m.



Figura 2.53. Emisión de ceniza, 05/11/06:19 a.m.

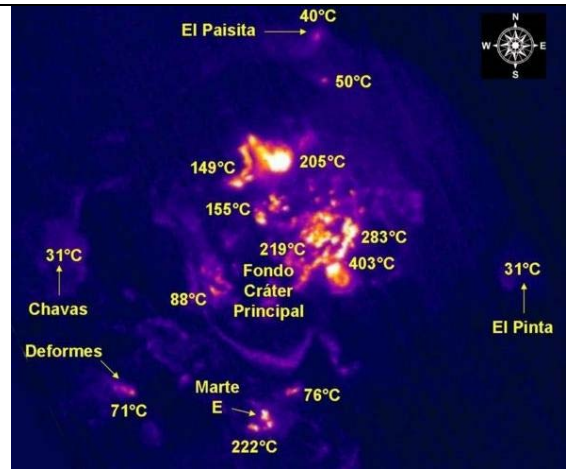


Figura 2.54. Imagen Térmica, 27/11/06:12 a.m.



Figura 2.55. Emisión de gases, 05/12/11:37 a.m.



Figura 2.56. Emisión de ceniza, 31/12/06:42 a.m.

Las principales observaciones realizadas durante el semestre se consignan en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Principales observaciones de la actividad superficial de Galeras. Segundo semestre de 2007.

| Fecha | Hora | Observaciones |
|--------|---------|--|
| 06-jul | 5:00 pm | Reporte de un fuerte olor a huevo podrido (azufre) en la base militar. Desde Consacá reportan una columna de gas de color oscuro. |
| 18-jul | 4:45 pm | En sobrevuelo al Volcán Galeras se observó emisiones de gas de color blanco, con contenido principalmente de vapor de agua. El gas sale desde puntos de emisión localizados en la periferia del cráter principal, como el cráter secundario El Paisita, también se ve emisión por los sectores sur, occidental y desde el fondo del cráter principal |
| 21-jul | 9:26 am | En sobrevuelo se observó una continua salida de gas con presión considerable en especial por los cráteres secundarios de El Paisita, El Pinta y el cráter principal; este gas no presentó ningún olor y su color era blanco. Por el sector occidental, hacia el cual el gas se dirigía se detectó un color azul el cual podría indicar la presencia de SO ₂ . |

| | | |
|--------|----------|--|
| 23-jul | 10:09 am | Desde la base militar Galeras, se percibe olor a azufre y hay poca visibilidad hacia el cráter, pero se puede apreciar emisión de color blanco por el sector de El Paisita y El Pintao, mientras que por Chavas sale con mayor presión. |
| 19-ago | 6:00 am | Se observó una columna de vapor de agua de color blanco de aproximadamente 400 m de altura, no se presentó ninguna señal sísmica relacionada con el evento. |
| 20-ago | 6:10 am | Columna de vapor de agua de color blanco, tendida hacia el norte, ninguna señal sísmica fue relacionada con este evento. |
| 26-ago | 5:51 am | Columna de color blanco con dirección hacia el sector oriental alcanzando una altura de 625 m. |
| 04-sep | 5:00 pm | Reconocimiento de caída de cenizas ocurrido en septiembre 1. En Barranco se observó sobre las hojas de la vegetación ceniza de tamaño muy fino (llovió en la zona). Se percibió por algunos instantes olor sulfuro de hidrógeno y sobre las tapas de PVC en los puntos de medición de potenciales espontáneos se observó salpicaduras de ceniza. |
| 05-sep | 11:50 am | Se encontró ceniza muy fina en las rocas, aunque el agua ya la había lavado, esto en la zona del anfiteatro, lo descrito anteriormente es similar a lo sucedido en Barranco. Después de seguir caminando en dirección norte hacia el segundo cordón de lavas perciben la presencia de SO ₂ en el ambiente lo cual irrita los ojos. |
| 07-sep | 8:00 am | En sobrevuelo se observó salida de gases desde varios sitios dentro del cráter principal y en algunos sectores a su alrededor como las fumarolas Deformes, el cráter Chavas y Paisita. A lo largo de la grieta de Marte también se observó salida de gases con menor presión, así como también es baja la presión de salida en el cráter Chavas. |
| 16-sep | 6:23 am | Se observó salida de gases volcánicos desde múltiples puntos de emisión tanto de la periferia como del interior del cráter principal. La columna de emisión (con un importante contenido de vapor de agua) fue tendida hacia el sector nor-occidental del cono activo por acción del viento. Durante el sobrevuelo, a las 6:50 a.m., se pudo apreciar una pequeña emisión de ceniza, proveniente de un punto interno del cráter principal. Esta emisión se asoció con el registro de un evento de tremor. Se tomó imágenes térmicas. |
| 22-sep | 5:39 pm | Emisión de ceniza relacionada con el tremor espasmódico registrado a las 05:39 pm. La columna alcanzó una altura aproximada de 1100 m sobre la cima, y por acción del viento se dispersó hacia el costado nor-noroccidental. Se reportó caída de ceniza en la parte alta del volcán. |
| 23-sep | 12:00 m | En reconocimiento de campo se observó caída de ceniza muy fina sobre las hojas en los sectores de Santa Bárbara y Alto de Santa Rosa. |
| 27-sep | 6:00 am | En sobrevuelo se observó que el gas sale desde varios puntos del cono activo como los cráteres adventicios El Pinta, Paisita y Chavas, desde la fumarola Deformes y en mayor cantidad desde el cráter principal. Las imágenes térmicas mostraron una anomalía ubicada en el sector central del cráter principal con una temperatura superior a los 218°C, que es el punto de saturación para el cual estaba calibrada la cámara en esta ocasión. |
| 01-oct | 7:48 am | Las condiciones de nubosidad impidieron una visión clara del cono activo durante el sobrevuelo. En medio de las nubes, se pudo observar emisiones de gases volcánicos (con una importante aporte de vapor de agua) desde varios puntos de emisión. |
| 02-oct | 6:31am | En sobrevuelo se observó salida de gases volcánicos con una concentración importante de vapor de agua, siendo emitidos desde diversas zonas, principalmente de la parte interna del cráter principal; pero también desde varios focos de emisión localizados en sus zonas periféricas, de las cuales, por los volúmenes emitidos y sus presiones de salida, se destacan la zona de Marte, Chavas, El Paisita y Deformes. El viento tendía las columnas de gases generadas hacia el sector nor-occidental del edificio volcánico. Se tomó imágenes térmicas que registraron hasta 370°C |
| 05-oct | 6:00 am | Entre las 06:00 am y la 01:30 pm se observó columnas de color blanco con alturas entre 1500 y 2000 metros sobre la cima del volcán |
| 06-oct | 2:00 pm | En los videos captados por la web cam del OVSP se pueden observar que entre las 14:00 y las 17:30 (LT) se presenta una emisión de color blanco, que se dirige hacia el noreste por acción de los vientos. |
| 10-oct | 5:30 am | Se observó columnas de gases con alturas hasta 813 m sobre la cima. |
| 12-oct | 6:30 am | Desde las 05:40 am se observaron columnas de gases que alcanzaron alturas hasta de 750 metros sobre la cima del volcán |

| | | |
|--------|----------|--|
| 15-oct | 5:46 am | Acompañada de un evento de tremor se presentó una columna de color gris con una altura de 1000 m sobre la cima del volcán Galeras, dispersándose hacia el NNE. A las 06:28 a.m. se observó una segunda columna de color gris cuya longitud fue de 800 m. |
| 16-oct | 5:56 am | Columna de gas color grisáceo, que alcanzó los 560 m sobre la cima del volcán. A las 07:08 am se registró otra que alcanzó 950 m. A las 11 se recibe reporte de caída de ceniza en Nariño pero de las columnas del día anterior. |
| 17-oct | 5:02 pm | Columnas de color gris que alcanzan alturas entre 1063 m y 1670 m sobre la cima del volcán y que se dispersan hacia el NNW por acción de los vientos. |
| 20-oct | 6:50 am | Columna que tuvo una altura aproximada de 700 m sobre la cima del volcán y se dirigió hacia el costado sur. A las 05:15 pm reportaron caída de ceniza en San Cayetano. |
| 21-oct | 8:57 am | Durante el día se presentaron columnas de gases con alturas entre 550 m y 1.438 m sobre la cima |
| 22-oct | 7:17 am | Hasta las 08:07 am se observaron columnas con alturas entre 563 m y 1063 m sobre la cima, dirigidas hacia el sureste y hacia el sur. |
| 23-oct | 5:00 pm | Columnas con alturas entre 560 m y 1650 m metros sobre la cima del volcán. Las emisiones se asocian con el registro de eventos tipo Tremor. |
| 26-oct | 5:50 am | Columna de gas que alcanzó una máxima altura de 1250 m y se dirigió hacia el sur por acción de los vientos; esta columna se asocia al evento tipo Tremor registrado a las 6:53 a.m |
| 29-oct | 3:36 pm | Columna que alcanza una altura máxima de 800 metros. |
| 31-oct | 5:18 pm | Columnas con alturas entre 500 y 600 m, dirigidas hacia el sur. |
| 02-nov | 6:10 pm | Desde San Cayetano y la cabaña de Parques Nacionales en Galeras, reportaron que se escuchó un sonido fuerte a manera de explosión, que coincide con el Tremor registrado a la misma hora. |
| 03-nov | 6:40 am | Entre las 7:50 y las 10:26 se observó columnas con alturas entre 800 m y 1200 m sobre la cima de Galeras |
| 04-nov | 2:24 pm | Entre las 2:24 pm y las 5:27 pm se registraron columnas de gases con alturas entre 600 m y 900 m que en algunas ocasiones se dirigían al sur. |
| 05-nov | 6:23 am | Durante el día se observaron varias columnas de color gris con alturas entre 200 m y 1370 m sobre la cima del volcán Galeras, por acción de los vientos, fueron desviadas en varias direcciones. |
| 06-nov | 3: 59 pm | Columnas con alturas entre 630m y 1000 m sobre la cima del volcán. Reportaron caída de ceniza en Alto Jiménez. |
| 08-nov | 10:30 am | Desde Churupamba en Consacá, personal del OVSP reportó la caída de ceniza fina lo cual puede estar asociado con la emisión de las 10:30 LT, producto de un evento tipo tremor registrado a las 10:29 LT. |
| 09-nov | 7:55 am | Columna de color gris de 900 m, asociada con el registro de un evento tipo Tremor |
| 12-nov | 6:10 am | Durante todo el día se observó columnas de color gris con alturas entre 350 y 420 m sobre el nivel de la cima |
| 13-nov | 2:50 pm | Columna de color blanco, con altura de 1150 m, dirigida hacia el sur y asociada con el registro de un Tremor |
| 22-nov | 5:20 pm | Emisión que alcanzó una altura máxima de aproximadamente 950 m |
| 27-nov | 5:53 am | En sobrevuelo se observó salida continua de vapor de agua y otros gases volcánicos, con algún contenido de ceniza desde zonas tanto al interior como de la periferia del cráter principal. A las 05:58: am se observó una pequeña emisión de ceniza que se elevó a una altura aproximada entre los 100 y 150 m sobre el cono activo, antes de ser tendida hacia el sector nor-occidental por acción de los vientos. Se tomó imágenes con la cámara Térmica, alcanzando un máximo de 400°C. |
| 04-dic | 2:00 pm | Reporte desde la caseta de Parques Nacionales (Urcunina) de caída de ceniza fina y color gris. |
| 05-dic | 10:14 am | En sobrevuelo se observó salida de gases volcánicos en volúmenes pequeños y con presiones de salida bajas, de algunos puntos de emisión de la periferia (como Deformes, Chavas, El Paisita, Marte Este y El Pinta) y del fondo del cráter principal. Las columnas de emisión, por su coloración blanquecina, tuvieron un contenido importante de vapor de agua. Se tomó imágenes térmicas. Reportaron caída de ceniza fina de color gris en Botanilla. Desde la estación Urcunina, personal del OVSP reportó caída de ceniza fina y depositación de ceniza en la vegetación, que puede ser de días anteriores. |

| | | |
|--------|----------|--|
| 06-dic | 11:30 am | Columnas de color blanco con alturas entre 315 y 480 m sobre la cima. |
| 07-dic | 5:30 pm | Reporte de caída de ceniza desde las antenas de televisión en la cima. |
| 31-dic | 6:39 am | Columna de color grisáceo que se dirige hacia el norte, la cual alcanza una altura de 630 m sobre la cima del volcán Galeras, esta emisión estuvo asociada con un Tremor |

2.7 ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA

La estación climatológica (1,6 Km S del cono activo) funcionó solamente hasta julio 27 a las 12:46 ya que la caída de un rayo ocasionó daños en su digitalizador, sacándola de funcionamiento. Esta estación permite realizar un seguimiento a parámetros del clima como velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente y humedad relativa, los cuales son utilizados para trabajar y correlacionar con otras variables analizadas dentro del monitoreo volcánico. Los pocos datos obtenidos en el mes de julio permitieron determinar que el promedio de velocidad del viento fue de 36 Km/hora, con una dirección predominante hacia el WNW del cono activo, específicamente hacia las poblaciones de Sandoná y Ancuya. Esta tendencia en la dirección es típica en esta época del año, en la región del volcán Galeras. La temperatura ambiente registró un valor promedio de 2,3°C; con máximo de aproximadamente 7°C (24 de julio) y un mínimo de -0,7°C (2 de julio). La humedad relativa se mantuvo en valores cercanos al 100%.

2.8 CONCLUSIONES

- La sismicidad del segundo semestre de 2007 estuvo dominada por los eventos asociados con tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos.
- Con relación al primer semestre de 2007, la ocurrencia sísmica aumentó considerablemente especialmente para los sismos LP y TRE.
- La energía sísmica total liberada durante el semestre también aumentó, pero básicamente debido al aumento de la energía de los eventos LP y TRE.
- La energía del enjambre sísmico ocurrido en julio representó el 62% de la energía total liberada en el semestre, sin embargo el número de sismos del enjambre solamente representó el 16% del número total de sismos del semestre.
- La tasa de ocurrencia del enjambre fue cercana a 15 eventos por hora
- Los eventos de tipo Tornillo solamente se registraron en julio y después desaparecieron de los registros sísmicos, sus frecuencias dominantes oscilaron entre 1,2 y 6,4 Hz.
- También fue característico de la actividad sísmica el registro de enjambres de sismos de baja energía que culminaban con el registro de un episodio de TRE, especialmente en los meses de agosto y septiembre
- Al finalizar el mes de agosto se registró un enjambre de eventos HIB que alcanzó un número de 554 eventos
- Finalizando el semestre, la actividad se caracterizó por el registro de episodios de TRE, muchos de los cuales se asociaron con columnas de gases y vapor de agua que fueron observadas y reportadas por la comunidad de la zona de influencia de Galeras
- Se reportaron como sentidos en Pasto y otros poblados, tres eventos VT con magnitud local entre 2,5 y 3,0

- El 77% de los eventos VT localizados se ubicó a profundidades superficiales, entre 0 y 4 Km con relación a la altura de la cima de Galeras y siguiendo un alineamiento SE-NW en inmediaciones del cono activo
- Las variaciones observadas en deformación volcánica en los inclinómetros electrónicos y algunos vectores de nivelación, pueden obedecer a la combinación de procesos que se dan tanto a nivel superficial como lo manifiesta principalmente la sismicidad, así como a otros que suceden a mayor profundidad, los cuales son capaces de producir cambios en los equipos instalados a distancias mayores como es el caso del inclinómetro Calabozo y del vector La Quebrada.
- Tanto el proceso registrado en julio como el de octubre, caracterizados por el incremento en la sismicidad y el aumento del tremor, respectivamente, tuvieron un reflejo en el comportamiento de los inclinómetros especialmente en Calabozo, lo que confirma que son procesos que se originaron a niveles más profundos.
- En noviembre se instalaron tres estaciones permanentes telemétricas para medir flujo de SO₂ en el aire en el costado NW de Galeras, debido a que ésta es la dirección que mantiene el viento en más del 90% del año, según datos que se han obtenido de la estación climática.
- Los mayores valores de emisión de SO₂ se presentaron en agosto y septiembre. Al finalizar el semestre los valores comienzan a disminuir aunque la sismicidad es dominada por episodios de TRE, muy probablemente por el cambio de dirección del viento hacia el oriente, en el costado opuesto a donde se encuentran las estaciones.
- Las mayores emisiones de Radón²²² se midieron en algunas de las estaciones de la Línea Galeras, que son las más cercanas al cono activo, siendo el mayor valor superior a 3000 pCi/L en las estaciones Lava 1 y Santa Bárbara ubicadas respectivamente en los costados oriental y noroccidental de Galeras
- Durante el segundo semestre de 2007, se presentaron las primeras variaciones de potenciales espontáneos, asociados con variaciones en la actividad volcánica de Galeras, posiblemente porque en la actividad sísmica, predominaron los procesos asociados con la dinámica de fluidos al interior del volcán, reflejados en superficie como columnas de emisión de gases que surgen de la movilización de fluidos volcánicos a mayores temperaturas que generan corrientes eléctricas que pueden captarse utilizando este método de monitoreo.
- Esta actividad sísmica podría indicar una fuente perturbadora más profunda, que comenzó a evidenciarse en la estación de medida de Potenciales Eléctricos Espontáneos de Alto Jiménez y para el mes de diciembre de 2007 tuvo su máxima manifestación en las estaciones del sector SE del volcán, reflejado en los valores de las mediciones obtenidas.
- La interpretación de las variaciones en los Potenciales Eléctricos Espontáneos es una interpretación preliminar, que es necesario revisar e ir ajustando, en la medida en que se disponga de mayores volúmenes de datos que permitan realizar mejores correlaciones con las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica que se obtienen a partir de las otras técnicas de vigilancia.
- Durante casi todo el semestre se reportaron columnas de gases y vapor de agua, observadas desde diferentes puntos de la zona de influencia de Galeras, especialmente en la segunda mitad del semestre, con alturas que oscilaron entre 200 m y 1700 m sobre la cima de Galeras.

- Algunas columnas arrastraron partículas finas de ceniza que se depositaron básicamente en la cima de Galeras.
- Las imágenes térmicas de principios del semestre mostraron temperaturas de la roca de 174°C, pero a partir de septiembre se notó un aumento de la temperatura de la roca en el cráter principal de Galeras, el cual siguió progresivamente hasta finalizar el año, alcanzando una temperatura máxima de 403°C.
- La evaluación de la actividad de Galeras durante el segundo semestre de 2007 permitió mantener el nivel III (Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica)

2.9 BIBLIOGRAFÍA

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Boletín Semestral de la Actividad de los Volcanes Colombianos, enero a junio de 2007. Informe inédito. Pasto. Octubre 2007.

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Reportes Mensuales de Actividad del Volcán Galeras. Meses de enero a junio de 2007. Varios autores. Informes inéditos. Pasto. 2007.

2.10 PERSONAL PARTICIPANTE

Personal Observatorio Vulcanológico de Pasto

| | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Gómez Martínez Diego Mauricio | Ponce Villarreal Anita Patricia |
| Muñoz Hidalgo Edgar Antonio | Silva Parra Betty |
| Narvárez Medina Lourdes | Torres Corredor Roberto Armando |
| Ortega Estupiñán Adriana Micaela | Mier Richard Andrés |
| Laverde Castaño Carlos Andrés | Grupo de Estudiantes |

Personal INGEOMINAS otras sedes

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| Dra. Marta Lucía Calvache | Gustavo Garzón Valencia |
|---------------------------|-------------------------|