



***BOLETIN SEMESTRAL_REFERENCIA: REPORTE DE ACTIVIDAD DEL
VOLCÁN GALERAS_Segundo Semestre de 2004.***

INTRODUCCION

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto - INGEOMINAS, estuvo constantemente monitoreando y vigilando en tiempo real, las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica de Galeras, durante el segundo semestre de 2004, esto enmarcado dentro de la misión encomendada al INGEOMINAS de vigilar los volcanes activos del país. Los resultados de este monitoreo se consignan en este boletín, al igual que el desempeño de los equipos utilizados. Agradecemos a las personas e Instituciones que de una u otra forma apoyaron el trabajo del OVSP-INGEOMINAS durante el transcurso del segundo semestre de 2004.

Finalizando junio de 2004 se detectó un cambio en la actividad sísmica de Galeras, tanto de eventos de fractura como de sismos asociados con la parte fluida del sistema volcánico. Ese aumento fue acentuándose con el registro de un importante emisión de cenizas en julio 16. A partir de ese momento la actividad siguió aumentando en diversos parámetros, especialmente en lo relacionado con las manifestaciones superficiales. Este incremento en los niveles de actividad se mantuvo a lo largo de todo el segundo semestre de 2004, generando una gran cantidad de información, cuyo procesamiento y análisis se incorpora en el presente boletín.

Aparte de los inconvenientes normales con los equipos, la red de vigilancia de Galeras tuvo que enfrentar otros, debido al aumento de la actividad, tales como bloques incandescentes que destruyeron equipos e instalaciones, paneles solares cubiertos por ceniza impidiendo su trabajo, tormentas eléctricas, etc., sin embargo, el personal del OVSP mantuvo la red de vigilancia funcionando casi en su totalidad y durante la mayor parte del tiempo.

Gracias a la importante cooperación que se tiene de la Fuerza Aérea Colombiana, durante la mayor parte del semestre, un helicóptero Hughes tripulado estuvo a disposición del OVSP para que los funcionarios del observatorio efectuaran reconocimientos aéreos al cono activo y la documentación con cámaras digitales, de video y de imágenes térmicas a través de equipos de los que dispone el observatorio para tal fin. Se contó por supuesto con todo el apoyo del INGEOMINAS, que movilizó funcionarios de los observatorios de Manizales y Popayán y de la sede central para apoyar al personal del OVSP en la vigilancia y monitoreo de este nuevo periodo de actividad del Volcán Galeras. Instituciones como el CREPAD_Nariño, el CLOPAD_Pasto, la OPS, el Instituto Departamental de Salud y otras, se integraron al trabajo del OVSP-INGEOMINAS desde sus



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

República de Colombia

respectivas competencias, para afrontar la crisis de esta nueva actividad, manteniendo siempre como meta el enfoque desde el punto de vista social.

Los datos y la información contenidos en este boletín son una guía de consulta básica o pueden servir como base para el desarrollo de estudios posteriores que requieran mayor detalle y nivel de análisis.

2. GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO VULCANOLOGICO Y SISMOLOGICO PASTO

2.1 VOLCAN GALERAS

2.1.1 Red de Vigilancia

Durante el segundo semestre de 2004, se presentaron muchos problemas con los equipos de la red de vigilancia de Galeras, que se resolvieron en la medida de lo posible. Las causas principales fueron el sistema de alimentación de las estaciones en campo, tormentas eléctricas, animales silvestres y básicamente la ceniza y los bloques emitidos por Galeras en esta nueva etapa de actividad. La Figura 2.1 muestra la distribución de las estaciones de vigilancia de Galeras.

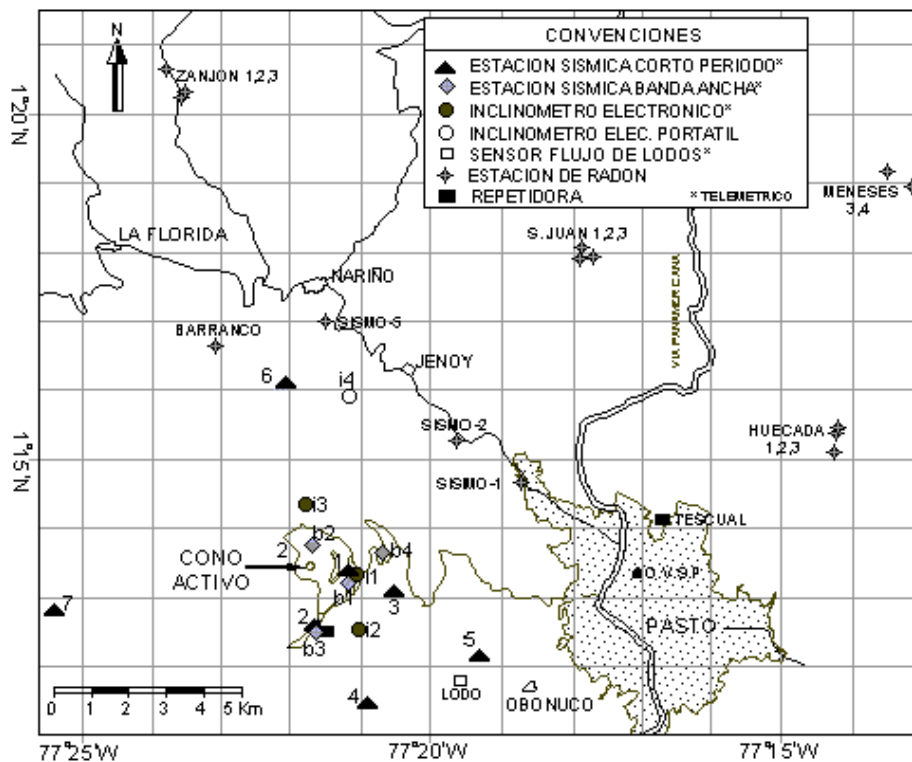


Figura 2.1. El Volcán Galeras y su red de monitoreo telemétrica y de toma directa de datos en campo, que funcionó durante el segundo semestre de 2004. Estaciones sísmicas de corto período: 1: Olga, 2: Cráter2, 3: Urcunina, 4: Cobanegra, 5: Obonuco, 6: Nariño2 y 7: Calabozo. Estaciones sísmicas de banda ancha: b1: Anganoy, b2: Achalay, b3: Cráter y b4: Cufiño. Inclínómetros electrónicos: i1: Cráter, i2: Peladitos, i3: Huairatola e i4: Chorrillo. Las estaciones de Radón-222 y el sensor de flujo de lodos, se indican directamente sobre el mapa. El cono activo de Galeras se resalta con una flecha. Algunas vías y centros poblados (Pasto, Jenoy, La Florida, Obonuco, etc.) localizados alrededor del volcán también se muestran.



Algunos de los aspectos relacionados con el funcionamiento de los equipos de la red de vigilancia de Galeras durante el segundo semestre del 2004 fueron:

- La estación sismológica Achalay funcionó entre julio 13 y agosto 8, pues la ceniza no permitió que los equipos siguieran trabajando y la alta actividad impidió los mantenimientos habituales. Se presume que el material eyectado en las erupciones la destruyó.
- En julio 23 dejaron de recibirse datos de la estación de Geoquímica instalada en las fumarolas Joyas, Chavas y Deformes, debido a la ceniza que cayó sobre los paneles y al incremento de las temperaturas. Seguramente fue destruida en las erupciones.
- En julio 24 se retiró el inclinómetro portátil de Chorrillo y se instaló en julio 27 en el sitio de la estación de inclinometría electrónica Cráter2.
- En julio 24 dejaron de recibirse datos de la estación de Electromagnetismo Cráter, debido a la ceniza que cayó sobre los paneles. Se presume que fue destruida en las erupciones.
- En agosto 4 se reemplazó el equipo del inclinómetro Peladitos2 por otro que llegó como apoyo desde el observatorio de Manizales.
- En agosto 11 y como medida preventiva se retiraron los equipos de Anganoy para ser instalados en el sitio de Cufiño, un poco más alejado del cono activo, entrando en funcionamiento a partir de agosto 12.
- En octubre 1 se instaló una estación telemétrica para detección de flujos de lodos que puedan generarse y desplazarse por el cauce de la quebrada Mijitayo.
- En octubre 5 en la estación sismológica Calabozo, se cambió el sensor de componente vertical por uno triaxial de corto periodo, incorporándole transmisión con telemetría digital desde campo.
- En octubre 7 se reinstaló la estación de sismológica Cobanegra3.
- En octubre 22 se reinstaló la estación de inclinometría Huairatola con telemetría, pero funcionó solamente hasta octubre 30 pues los animales silvestres carcomieron los cables, ocasionando corto-circuitos que dañaron los equipos.
- En octubre 26 un rayo sacó las señales de las estaciones sismológica Cráter y Calabozo, , así como la climatológica de la cima de Galeras.
- En octubre 29 se reconectó la señal de Calabozo.
- En noviembre 12 se cambió sensor en Cráter y se rehabilitó la señal pero sin señal de tiempo por GPS. Se reconectó la estación climatológica.
- Del 12 al 18 de noviembre, no funcionó la estación sismológica Cráter2 debido a problemas con el equipo de modulación de señales (VCO).
- En noviembre 18 se perdió la señal de Peladitos2 por problemas con el equipo, se reinstaló en diciembre 29.
- Se verificó directamente en campo que fragmentos de roca eyectados a manera de proyectiles balísticos y arrojados por Galeras durante la erupción de noviembre 21, destruyeron la estación sismológica Olga y el inclinómetro electrónico Cráter2.



En las figuras 2.2 y 2.3 se puede apreciar el porcentaje de registro, tanto analógico como digital de las estaciones de banda ancha, estación climatológica, estaciones de corto periodo e inclinómetros electrónicos, durante el semestre julio a diciembre de 2004.

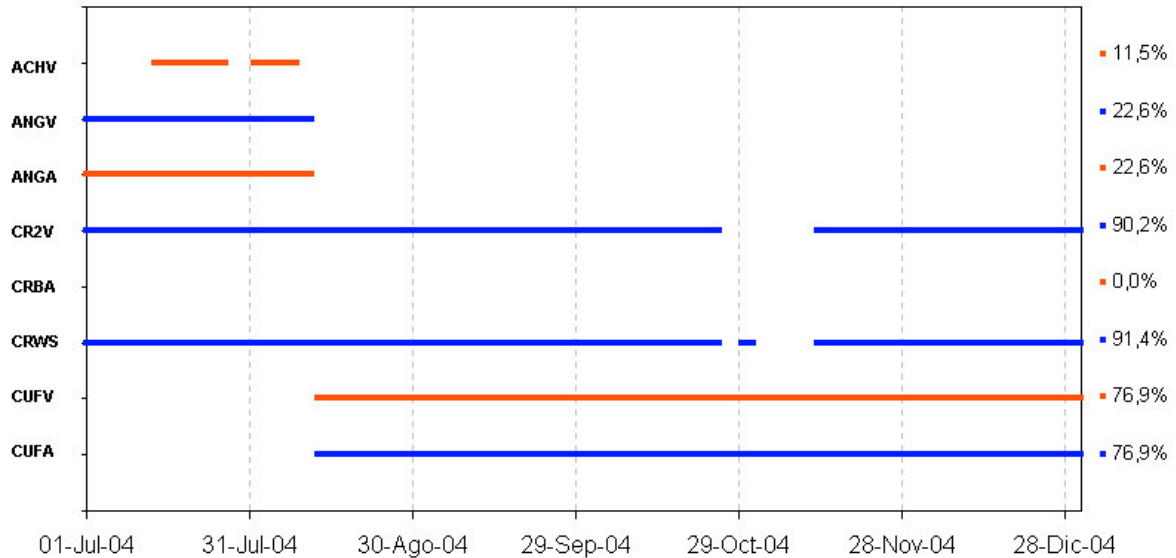


Figura 2.2. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de banda ancha (ACHV, ANGV, CR2V, CUFV), acelerómetro (ANGA, CUFA) y estación climatológica (CRWS) para vigilancia de Galeras (convenio INGEOMINAS – BGR). Julio a Diciembre de 2004.

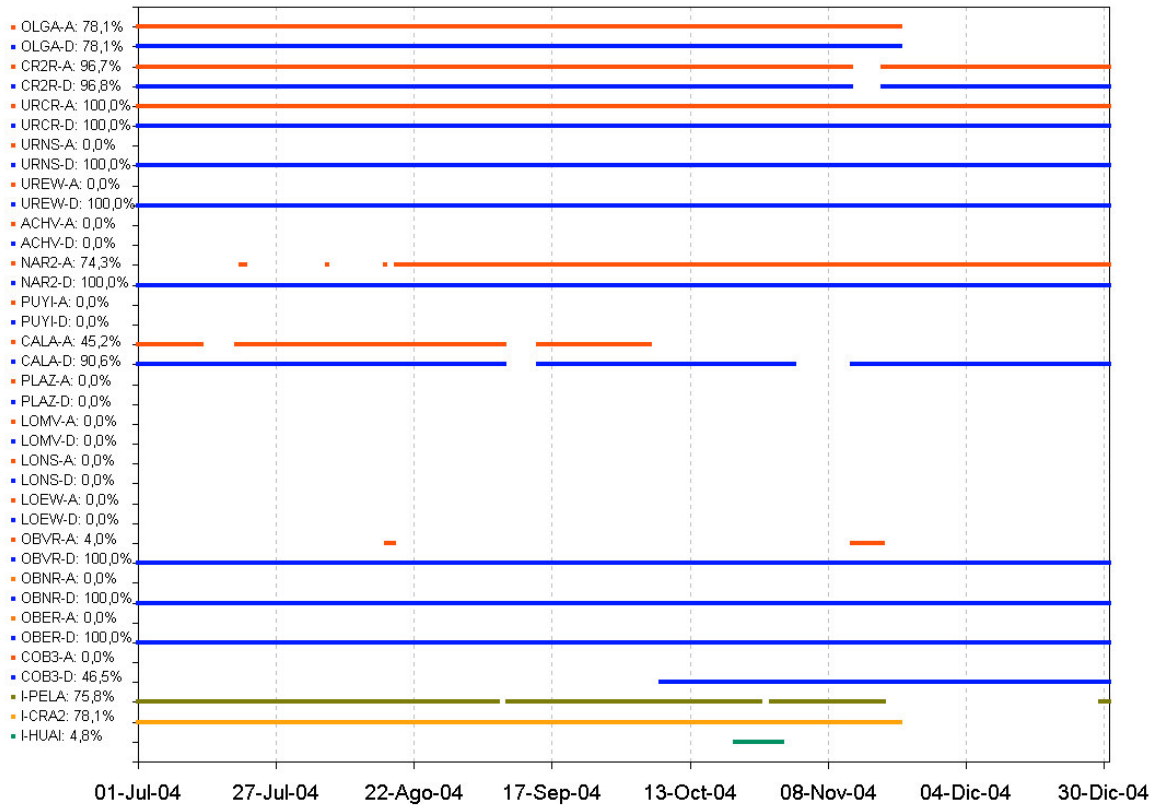


Figura 2.3. Porcentaje de funcionamiento en registro analógico y digital de las estaciones de corto periodo e inclinómetros para vigilancia de Galeras. Julio a Diciembre de 2004.

2.1.2 Sismología

Todos los procesos de análisis que hace el observatorio, relacionados con cálculos de magnitud local, análisis espectral, valoración de la energía sísmica, localización de sismos, etc. tienen integrados los registros de eventos sísmicos obtenidos en las estaciones de banda ancha (Estación Multiparámetro Galeras – Convenio INGEOMINAS y BGR de Alemania).

Entre julio y diciembre de 2004 la actividad sísmica mostró un notable incremento con relación a los años inmediatamente anteriores, incluyendo emisiones de ceniza y erupciones explosivas. En total se registraron 6.026 eventos entre VT, LP e Híbridos, además se presentaron 2.210 episodios de temblor. Por el número de eventos se destacan los enjambres sísmicos de agosto, septiembre y diciembre. El enjambre de agosto desembocó en erupción. También se destacan los episodios de temblor continuo con largas duraciones, hasta de días, en agosto, septiembre, octubre y noviembre que se asociaron con columnas grises cargadas de ceniza, la cual se depositó preferencialmente al noroccidente del volcán por la acción de la dirección de los vientos durante los procesos de emisión.

Los eventos principales fueron:



- Emisión (erupción) de ceniza del cráter adventicio El Pinta, a las 09:01 LT de julio 16, cuyo evento principal fue un temblor que por 3 minutos, saturó la señal en la estación de corto periodo Olga (0,9 km al Este del cráter activo), y cuyo registro se extendió hasta las 19 horas. La figura 2.4 muestra 10 minutos de señal sísmica digital, componente vertical, de la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo) asociada con la emisión de cenizas mencionada.

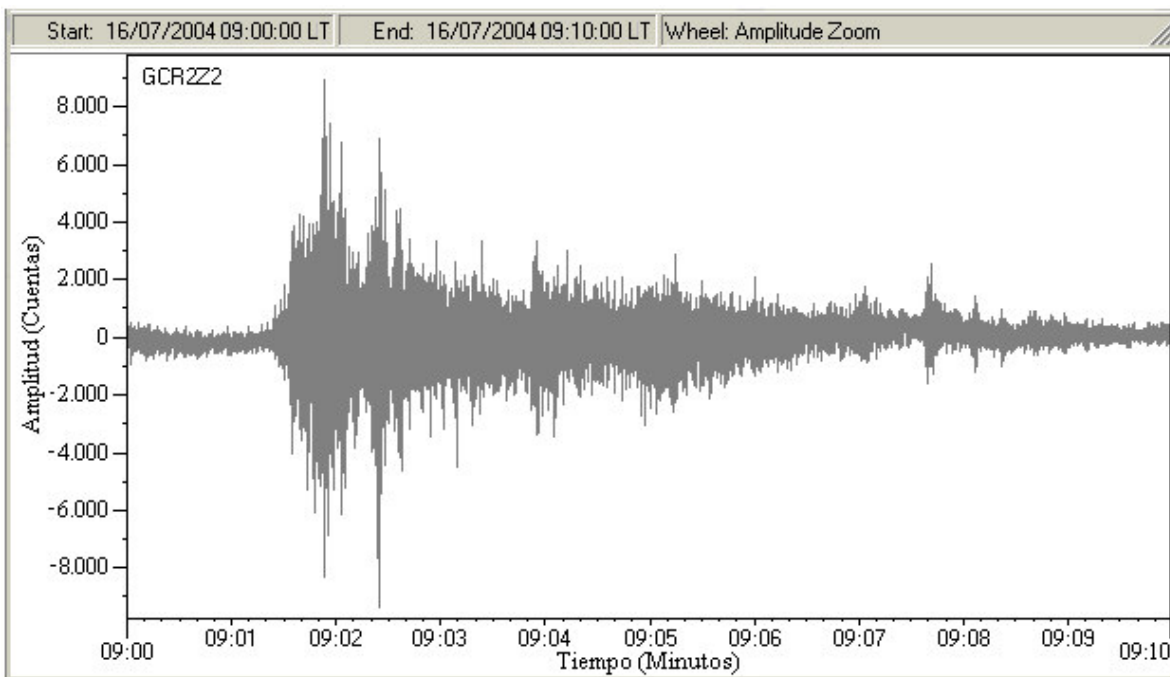


Figura 2.4. Registro digital de la emisión (erupción) de ceniza de julio 16, en la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo)

- Emisión (erupción) de ceniza del cráter adventicio El Pinta, a las 16:16 LT de julio 21, cuyo evento sísmico principal fue un temblor que saturó la señal de la estación Olga durante 8 minutos, el temblor desencadenado permaneció hasta las 23:20 LT. En la figura 2.5 se puede ver 30 minutos de registro digital de la componente vertical de la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo)



Libertad y Orden

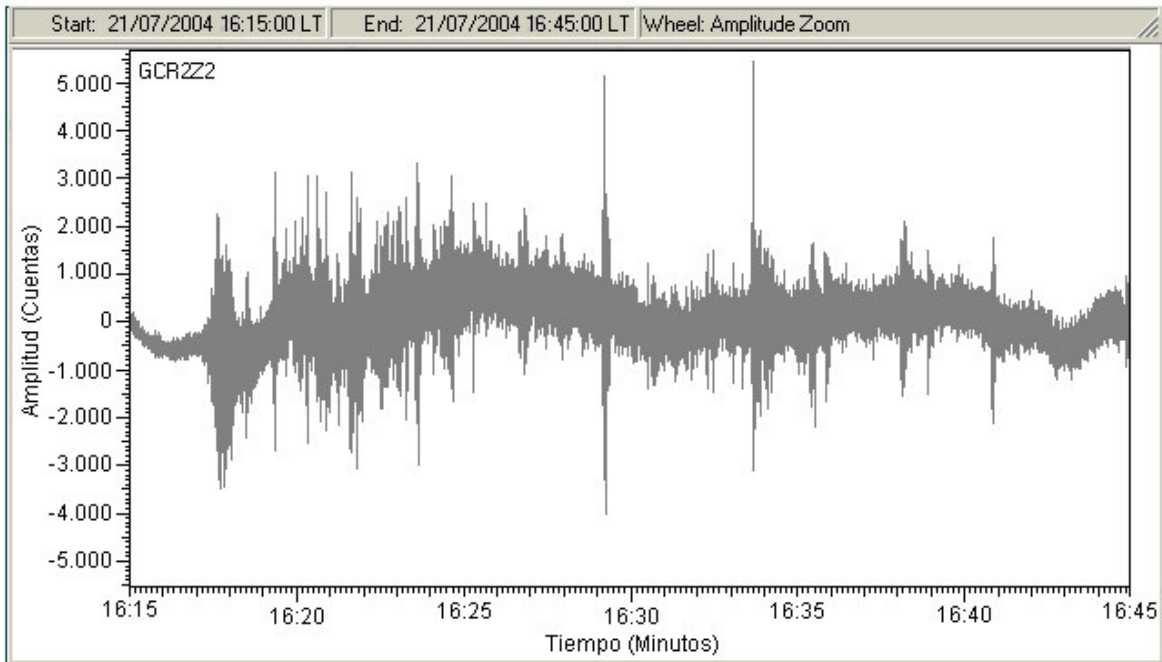


Figura 2.5. Registro digital de la emisión (erupción) de ceniza de julio 21, en la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo)

- En agosto 11 a las 23:49 LT se registró una erupción explosiva cuya onda de choque alcanzó a escucharse en sitios alejados como Aranda, distante aproximadamente 11 km al oriente de Galeras, el registro sísmico saturó la señal de la estación Olga por 1 minuto y su duración fue de 13 minutos. El evento eruptivo estuvo también acompañado por la emisión de productos sólidos de diferentes tamaños.
- Luego a las 00:02 LT del 12 de agosto, se registró una segunda fase eruptiva explosiva que además de ceniza, arrojó lapilli y bloques, el registro sísmico fue un episodio de tremor que saturó durante 10 minutos la señal de la estación Olga, el tremor desencadenado duró hasta las 16 horas de agosto 13. En la figura 2.6 se puede apreciar 30 minutos de registro digital durante los eventos del 11 y 12 de agosto, en la componente vertical de la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo).



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**
República de Colombia

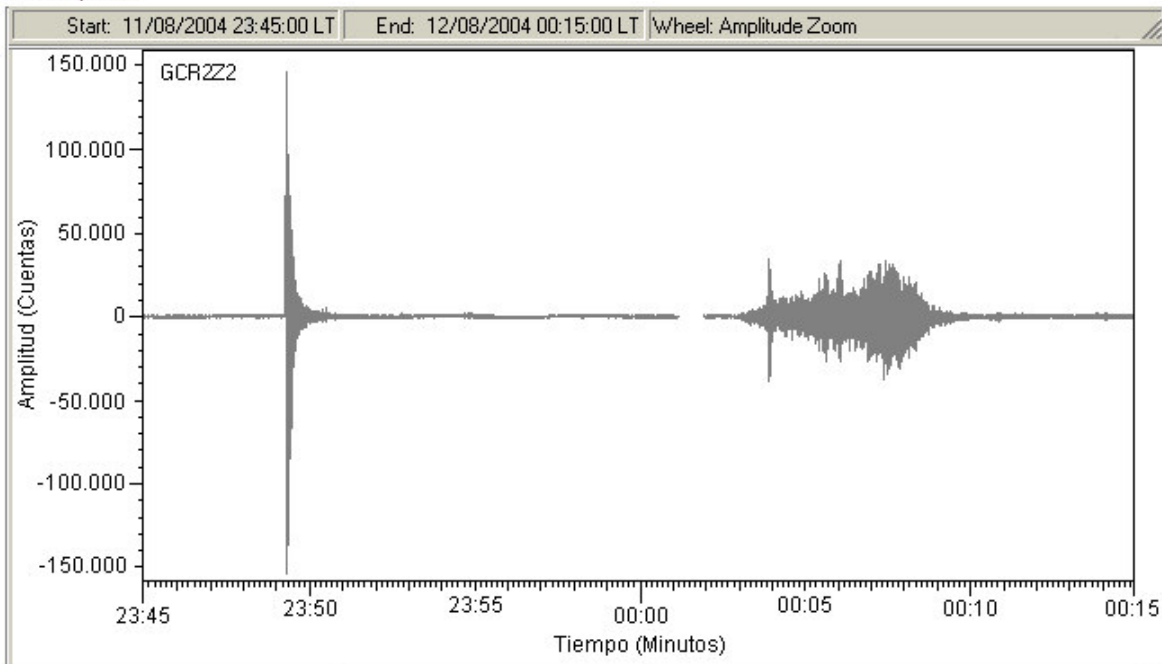


Figura 2.6. Registro digital de la explosión de agosto 11 y la erupción de agosto 12, en la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo)

- Finalmente, está la erupción ocurrida en noviembre 21 a las 15:44, que emitió ceniza, lapilli y bloques, cuyo registro sísmico correspondió a un temblor que saturó las señales de las estaciones de corto periodo. A los 42 segundos de registro, se pierde la señal de la estación Olga, pues la caída de bloque de manera balística la impactaron destruyendo varios de sus componentes. En la estación Cráter2 de corto periodo (1,5 km S del cráter principal) la señal tiene 2 minutos de saturación y el temblor desencadenado dura hasta las 16:45 LT. La figura 2.7 muestra 15 minutos de registro digital en la componente vertical de la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo).



Libertad y Orden

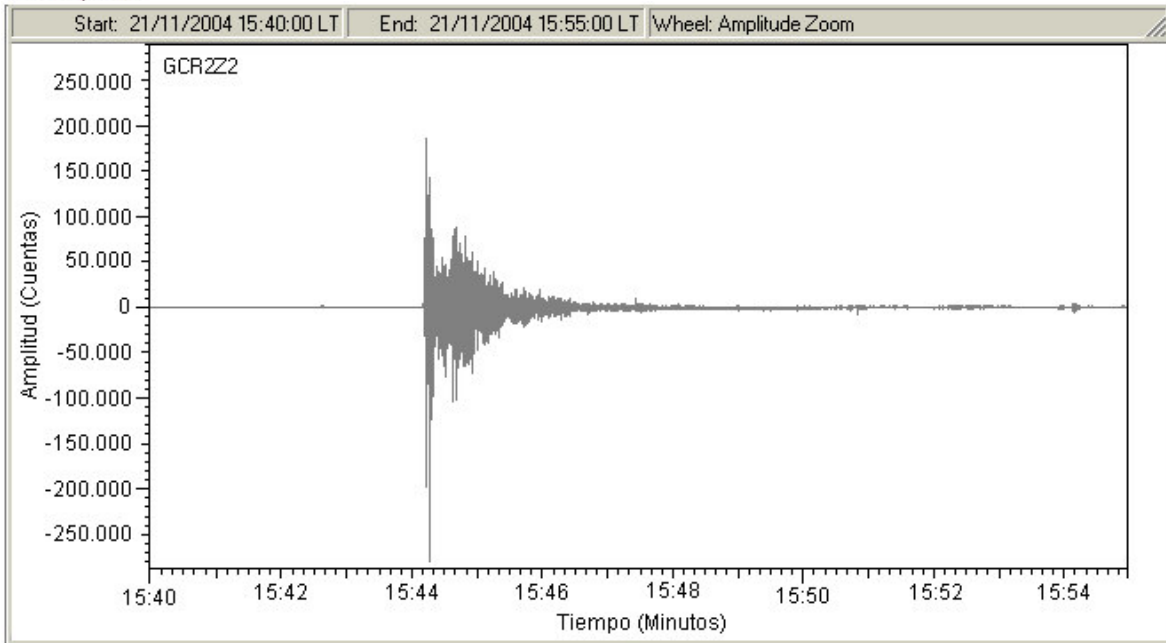


Figura 2.7. Registro digital de la erupción de noviembre 21, en la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo).

El incremento de los sismos VT fue menor que el mostrado por los eventos LP y Tremor. En total se registraron 1.931 eventos VT, con un pico máximo de ocurrencia de 221 eventos, presentado en septiembre 9 (Figura 2.8). Se destaca el enjambre de septiembre por el número sismos registrados.

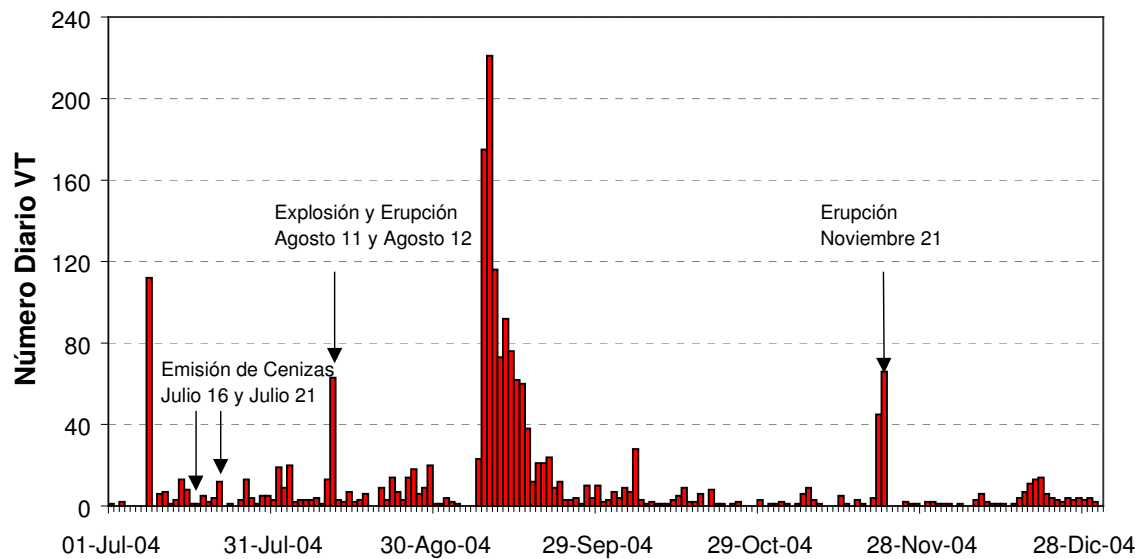


Figura 2.8. Ocurrencia diaria de eventos VT. Julio a diciembre de 2004.



La magnitud de los sismos localizados, osciló entre $-0,4$ y $2,9$ grados en la escala de Richter. La profundidad osciló entre $0,5$ y 10 km con relación a la cima de Galeras. Cuatro de estos eventos se reportaron como sentidos, a saber:

- El domingo 19 de septiembre de 2004, a las 12:09 LT, se registró un evento volcano-tectónico, localizado a 7 km al ENE del cono activo, con una profundidad de 10 km respecto a la cima de Galeras, su magnitud local fue de 2,7 grados y se le estimó para la ciudad de Pasto, una intensidad máxima de III grados en la escala de Mercalli Modificada. Este evento se reportó sentido en varios barrios de la ciudad de Pasto, especialmente en el sector nororiental.
- El segundo sismo volcano-tectónico sentido, se registró el viernes 29 de octubre de 2004 a las 20:23 LT, localizado a unos 4 km al NE del cono activo a una profundidad de 8 km respecto a la cima de Galeras, su magnitud local fue de 2,7 grados y para la población de Jenny, se le estimó una intensidad máxima de II grados en la escala de Mercalli Modificada. Este sismo se reportó sentido en Jenoy, Mapachico, Villa María y el barrio Aranda de la ciudad de Pasto.
- El tercer evento sentido ocurrió el jueves 9 de diciembre de 2004 a las 21:54 LT, localizado a unos 5 km al SW del cono activo, con una profundidad de 6 km respecto a la cima de Galeras, su Magnitud Local fue de 3,9 grados y para la ciudad de Pasto, se le estimó una intensidad máxima de III grados en la escala de Mercalli Modificada. Fue sentido en varios barrios de la ciudad de Pasto y en varias poblaciones de la región de influencia de Galeras.
- El último sismo reportado como sentido se registró el martes 21 de diciembre de 2004, a las 20:51 LT, localizado a unos 4 km al NE del cono activo y a 7 km de profundidad respecto a la cima de Galeras, su magnitud local fue de 3,4 grados y para la ciudad de Pasto, se le estimó una intensidad máxima de III grados en la escala de Mercalli Modificada. Este sismo se reportó como sentido en varios barrios de la ciudad de Pasto y en varias poblaciones del noreste de la región de influencia de Galeras. Este evento presentó una réplica de 2,3 grados de Magnitud Local, que no se reportó como sentida.

La principal fuente generadora de sismos fue la zona del Cráter activo, formando un abanico con tendencia hacia el occidente y noroccidente del mismo, con eventos de magnitudes hasta 2,0 grados (Figura 2.9). También se registraron eventos hacia el nororiente y el suroccidente del cono activo, algunos de los cuales se reportaron sentidos. Otros pocos epicentros aparecen dispersos en la zona de influencia de Galeras (Figura 2.9). Teniendo como referencia la altura de la cima de Galeras sobre los 4200 msnm, las profundidades de los sismos localizados mostraron la siguiente distribución: un 75,9% se ubicó entre 0 y 3,0 km, un 23,8% entre 3,1 y 9,0 km y solamente un 0,3% mostró profundidades mayores de 9,0 km (Figuras 2.10 y 2.11).

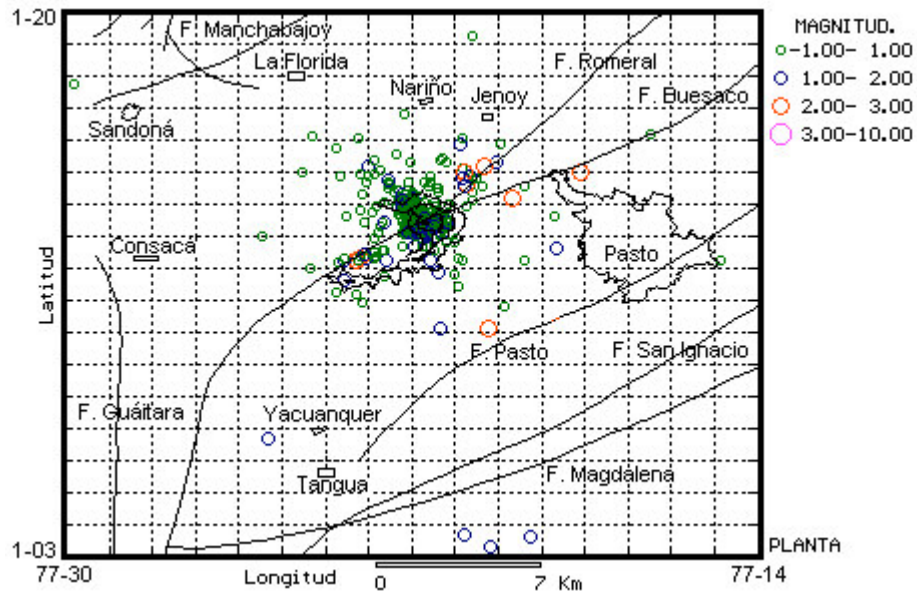


Figura 2.9. Distribución epicentral de sismos VT en el área de influencia de Galeras. Julio a diciembre de 2004.

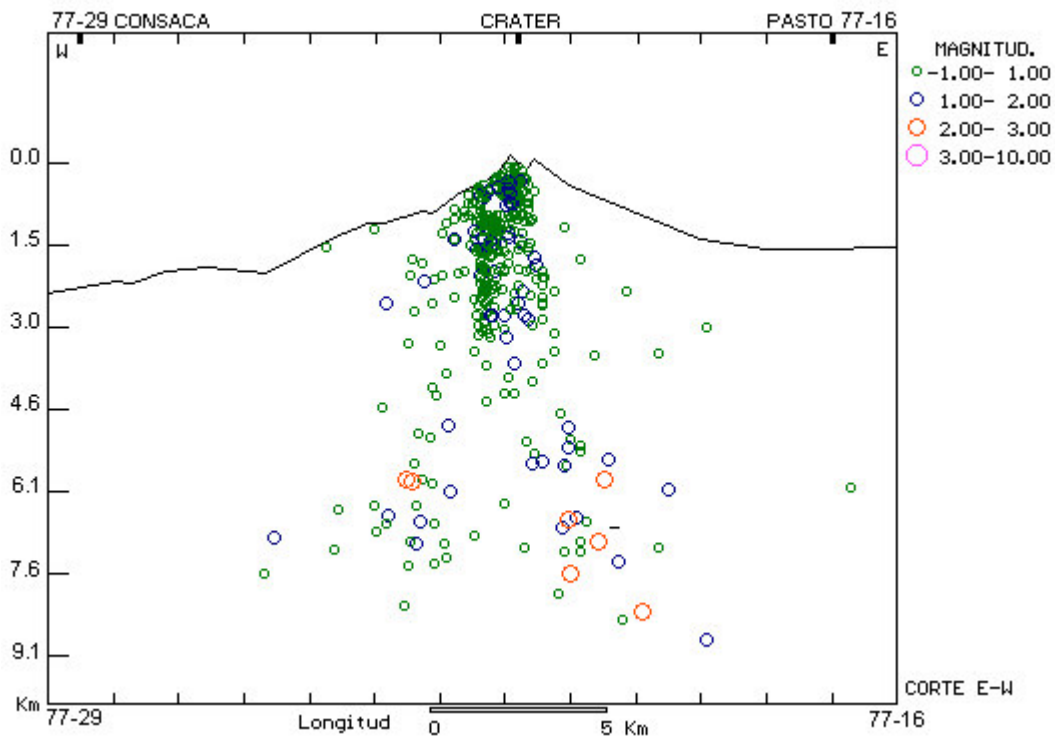


Figura 2.10. Distribución hipocentral de sismos VT, corte oeste-este. Julio a diciembre de 2004.

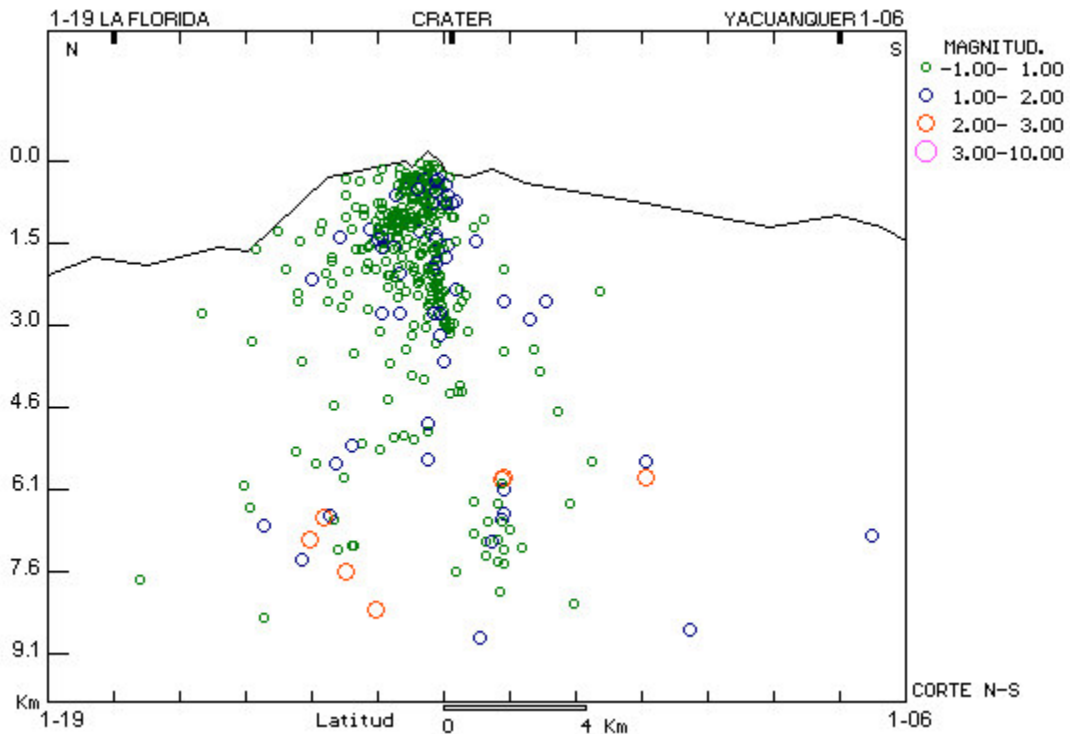


Figura 2.11. Distribución hipocentral de sismos VT, corte norte-sur. Julio a diciembre de 2004.

Durante el segundo semestre de 2004, la actividad asociada con procesos de dinámica de fluidos también aumentó notoriamente su aporte, siendo mayor que el de los eventos VT, pues la ocurrencia de eventos LP, Híbridos y episodios de tremor, fue muy alta. En total se registraron 3.132 eventos LP con un pico máximo de ocurrencia de 386 sismos LP, registrado en septiembre 8 de 2004, aunque también se presentaron días sin el registro de eventos LP (Figura 2.12). Utilizando el método de atenuaciones de la amplitud, se pudo analizar que todos los eventos LP se localizaban en la zona del cráter principal.

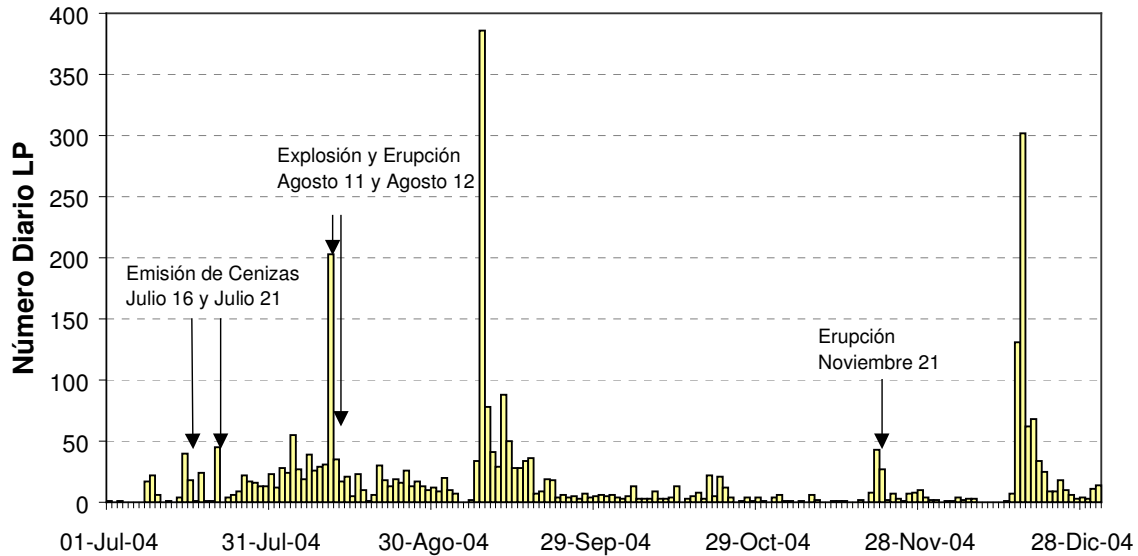


Figura 2.12. Ocurrencia diaria de eventos LP. Julio a diciembre de 2004.

Desde noviembre de 2001 no se presentaban sismos de tipo Tornillo, en este semestre se registraron 39 en total, con un número diario máximo de 6 eventos, ocurrido en septiembre 14 (Figura 2.13). Se nota claramente dos periodos de ocurrencia de tornillos, durante los enjambres sísmicos de septiembre y diciembre, con 21 y 17 eventos respectivamente. Antes de la erupción de noviembre 21 solamente se presentó un evento de tipo Tornillo a las 05:13 LT, con una duración de 130 s y una frecuencia dominante de 1,2Hz (Figura 2.14). Las duraciones de los eventos tornillo oscilaron entre 30 s y 130 s y sus frecuencias dominantes entre 1,2Hz y 5,8Hz

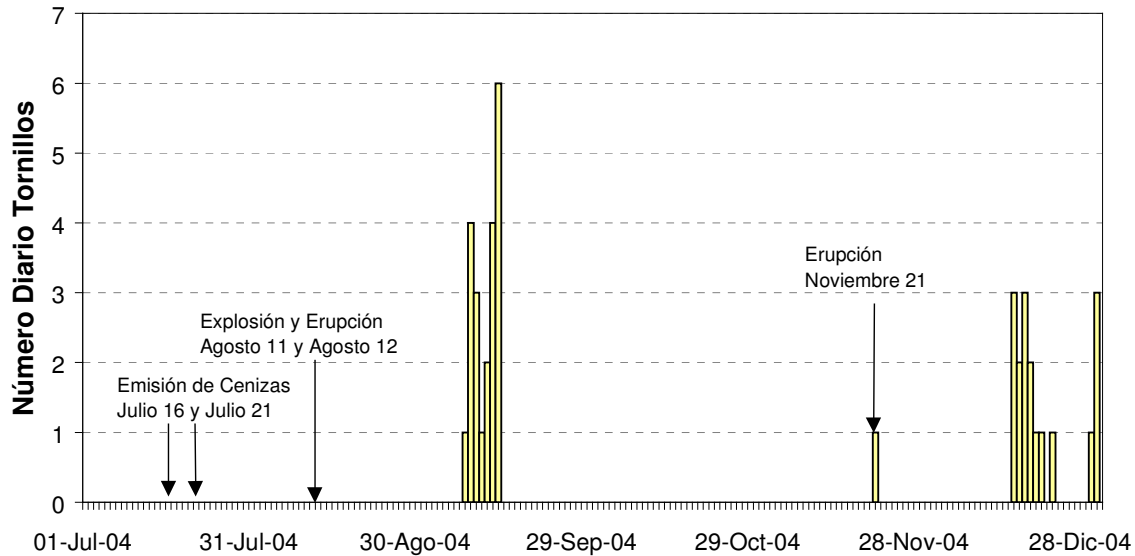


Figura 2.13. Ocurrencia diaria de eventos Tornillo. Julio a diciembre de 2004.

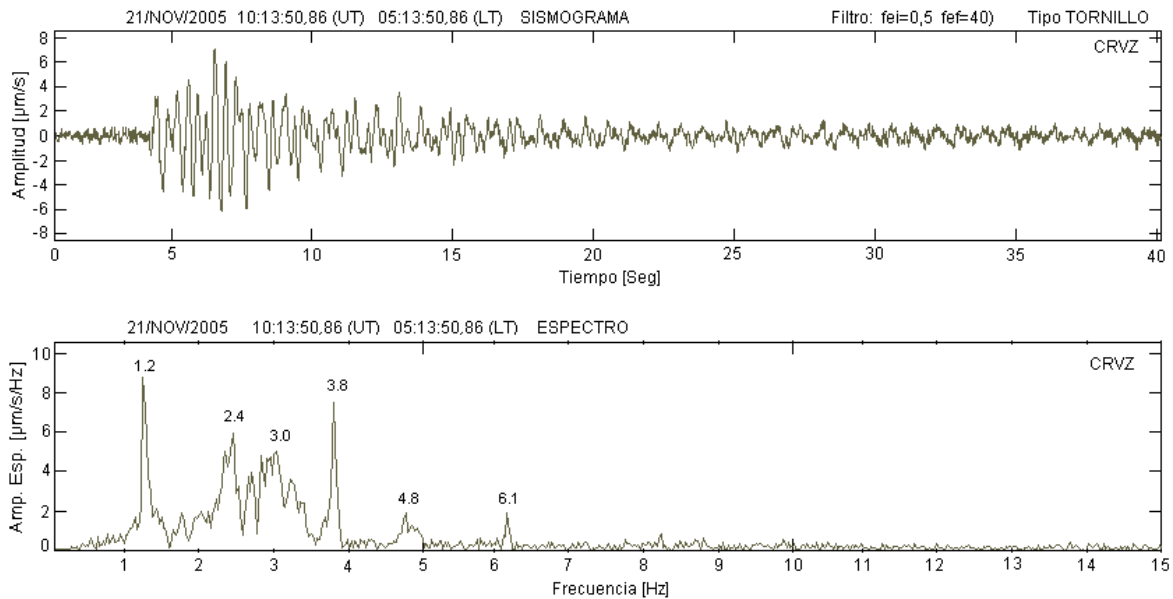


Figura 2.14. Sismograma y espectro del tornillo del 21 de noviembre, en la componente vertical de la estación de banda ancha Cráter2 (1,5 km S del cráter activo)

El número total de episodios de temblor fue de 2.210, con un pico de ocurrencia de 56 eventos, presentado en noviembre 5 (Figura 2.15). Algunos de estos episodios de temblor tuvieron duraciones de días, siendo el más largo el ocurrido entre el 11 y el 14 de agosto, el cual duró 4,1 días (Figura 2.16). La mayoría de estos episodios de temblor se asociaron con columnas de ceniza



de color gris y reportes de caída de ceniza especialmente en las veredas altas de La Florida, Sandoná y Consacá, localizadas en el costado noroccidental y occidental del Volcán Galeras.

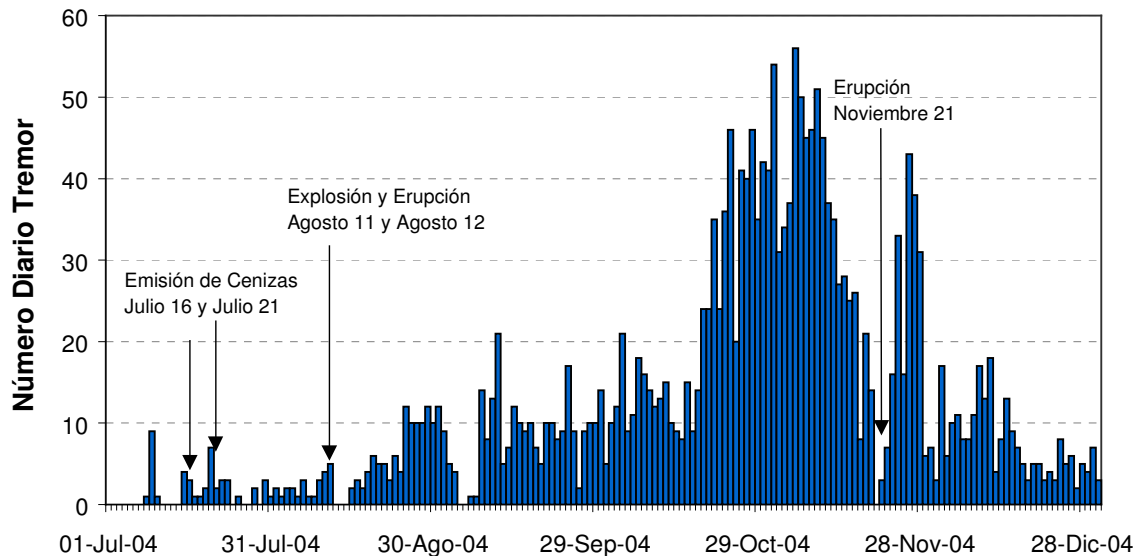


Figura 2.15. Ocurrencia diaria de episodios de Tremor. Julio a diciembre de 2004

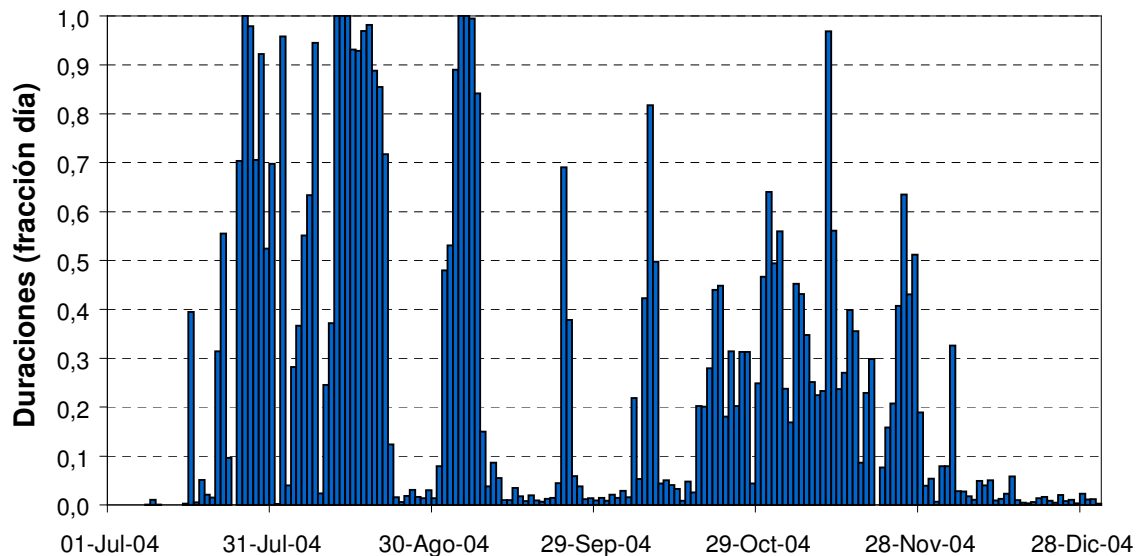


Figura 2.16. Duración en fracciones de día de los episodios de tremor. Julio a diciembre de 2004

Por último, los eventos de tipo híbrido, que mostraban claras fases de rompimiento, con frecuencias altas seguidas de una fase de tránsito de fluidos de baja frecuencia, se registraron a menudo durante este semestre, especialmente durante el enjambre de septiembre. Hubo un total de 963



eventos Híbridos con un pico de ocurrencia de 242 eventos, presentado en septiembre 8 (Figura 2.17). Previo a la explosión y erupción del 11 y 12 de agosto, se registraron 116 eventos híbridos y en los días anteriores a la erupción de noviembre 21, se registraron 120 eventos híbridos.

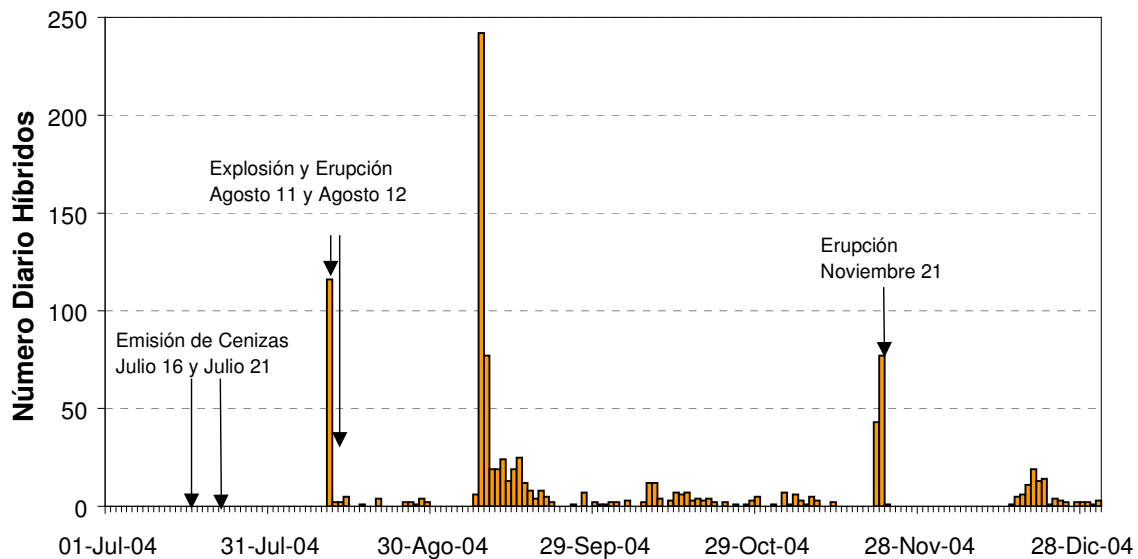


Figura 2.17. Ocurrencia diaria de eventos Híbridos. Julio a diciembre de 2004

2.1.3 Deformación

En el segundo semestre del 2004, la red de deformación contó de manera casi continua, con dos inclinómetros electrónicos y se tomaron medidas en 11 de los 14 vectores cortos de nivelación construidos. Adicionalmente se instaló un inclinómetro electrónico con telemetría en Huairatola, el cual estuvo funcionando por una semana. También se desinstaló la estación portátil Chorrillo para utilizar el sensor en la estación de Peladitos. En noviembre se presentaron problemas en los sensores lo que limitó la red únicamente a vectores cortos de nivelación (Figura 2.18)

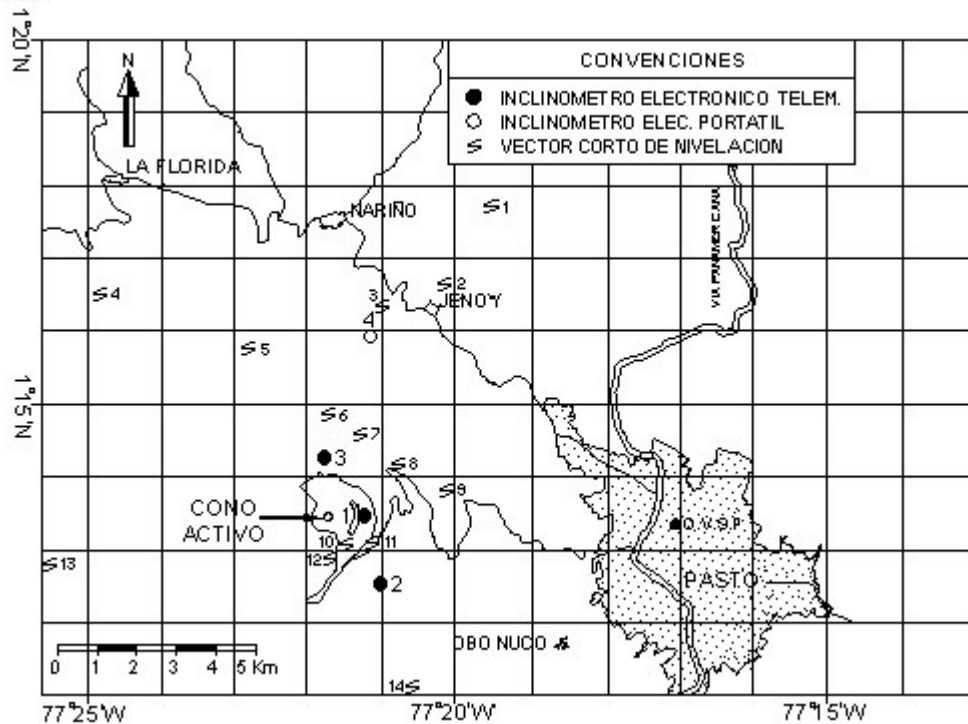


Figura 2.18. Red de vigilancia en Deformación del Volcán Galeras. Inclínómetros electrónicos: 1: Cráter, 2: Peladitos, 3: Huairatola, 4: Chorrillo (portátil). Vectores cortos de nivelación: 1: Puyito, 2: Lindero, 3: Chorrillo, 4: Chacaguaico, 5: Barranco, 6: Chiguaco, 7: Popeye, 8: Piedras, 9: La Mica, 10: La Y, 11: Inclínómetro, 12: Telecom, 13: La Quebrada, 14: Cobanegra.

2.1.3.1 Vectores cortos de nivelación VCN

El equipo utilizado para la toma de datos es un nivel Kern, con placa plano paralela con un error de 0,1 mm y una mira de invar de tres metros de longitud. Debido a la actividad de Galeras y a las condiciones climáticas, se tomaron datos en 11 vectores cortos de nivelación.

Los VCN se pueden dividir por grupos de acuerdo al sector en donde fueron construidos, de esta manera en el sector norte se encuentran Chiguaco, Popeye, Barranco, Chorrillo, Lindero, Chacaguaico y Puyito; en el sector sur están Telecom, La Y y Cobanegra; al oriente se encuentran Piedras, El Inclínómetro y la Mica; y finalmente en el occidente únicamente está el vector La Quebrada (Figura 2.18). La configuración de la red de VCN está limitada fundamentalmente por las condiciones de limitantes topográficas en la zona.

En el sector norte, los vectores Popeye y Lindero tienen una dirección tangencial al cráter del volcán y los vectores Barranco, Chiguaco, Chacaguaico, Puyito y Chorrillo son radiales. En el segundo semestre de 2004, no se tomaron datos en los VCN Popeye, Chiguaco y Chacaguaico.

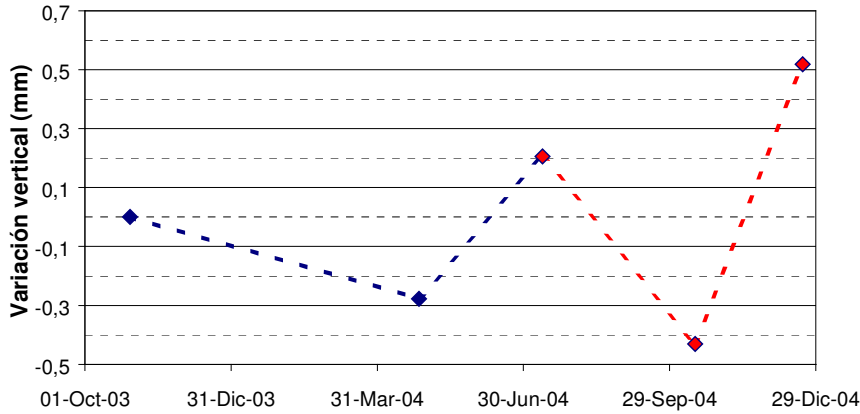


Figura 2.19 Vector corto de nivelación Barranco

El vector Barranco se ocupó tres veces, en julio, octubre y diciembre. Sus variaciones fueron menores de 0,7 mm. Aunque estos cambios fueron mayores que en el primer semestre, no hay una tendencia clara, de ascenso o descenso del vector.

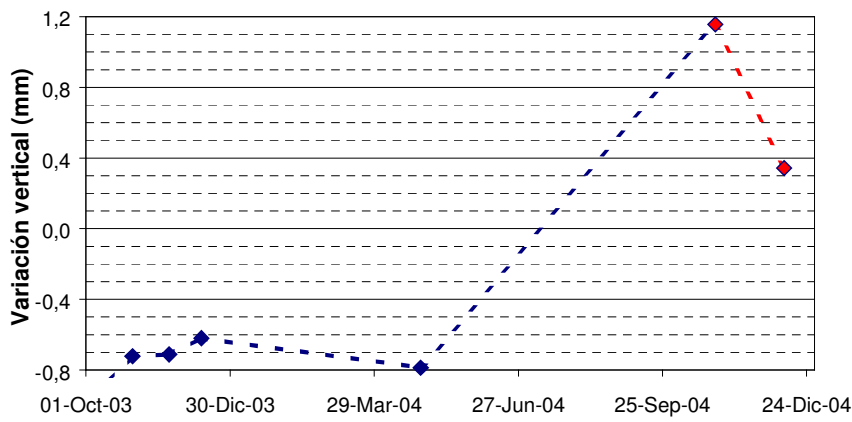


Figura 2.20 Vector corto de nivelación Chorrillo

Chorrillo se ocupó en, octubre y diciembre. En la primera medida se obtuvo una diferencia de 1,9 mm, siendo una de las mayores desde su construcción; la segunda medida tuvo un cambio de nivel de 0,8 mm.

Según su orientación y su pendiente, en el primer tramo se considera una tendencia de inflación y en el segundo tramo se considera una tendencia de deflación de la zona.

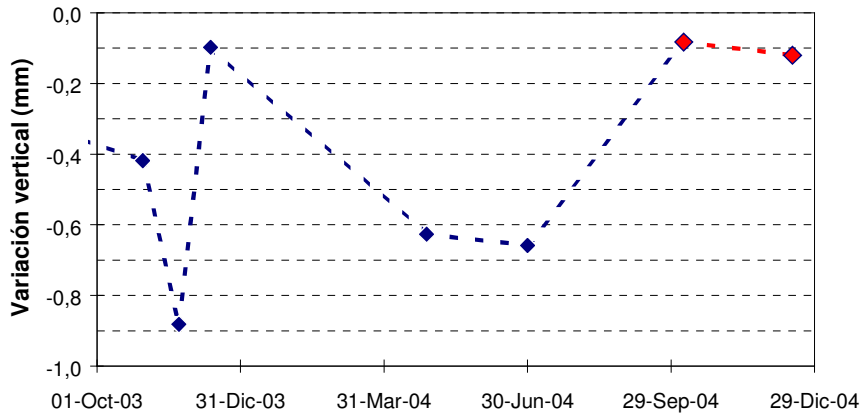


Figura 2.21 Vector corto de nivelación El Lindero

En el VCN Lindero se tomaron dos medidas, en octubre y diciembre, cuyos cambios fueron de 0,6 y 0,04 mm, respectivamente. Su tendencia se considera estable.

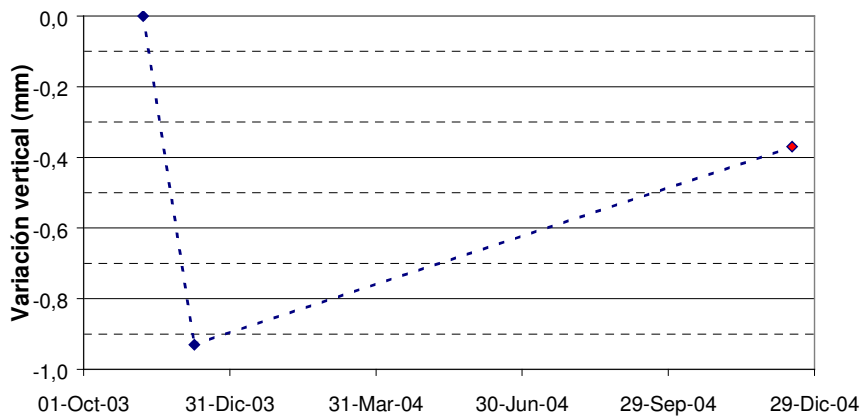


Figura 2.22 Vector corto de nivelación Puyito

Por las condiciones de viento y lluvias en la zona únicamente se tomó un dato en diciembre, en el vector Puyito. Su cambio de nivel fue cerca de 0,6 mm. Con un solo dato no es oportuno asociar este cambio a una tendencia ya sea de inflación o deflación.

En el sector sur se encuentran los vectores Telecom, La Y y Cobanegra, que fueron construidos con una dirección radial al cráter del volcán.

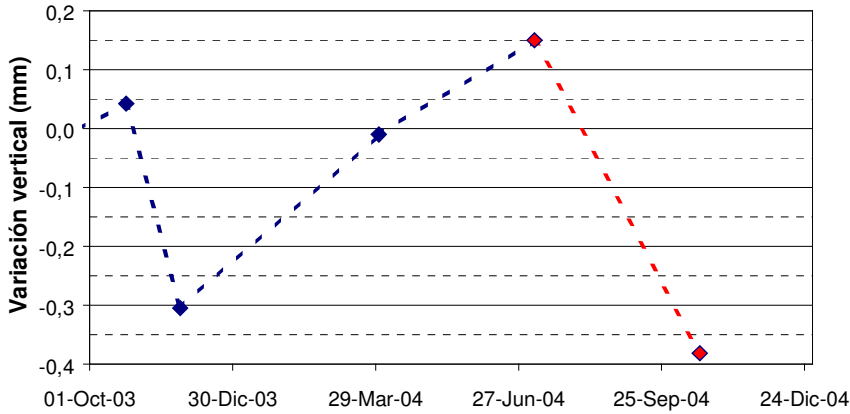


Figura 2.23 Vector corto de nivelación Telecom

El vector corto Telecom se midió en dos ocasiones, en julio y en octubre. La toma de datos se vio limitada por la actividad de Galeras y por la cercanía del vector con el cono del volcán. La diferencia de nivel entre las dos últimas medidas fue de 0,5 mm.

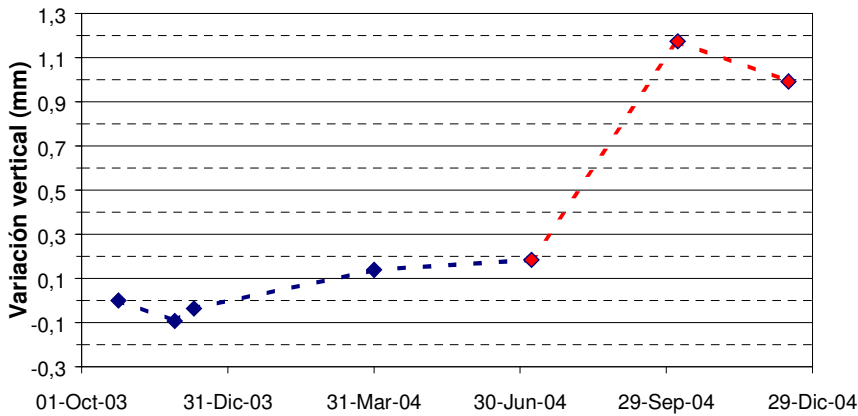
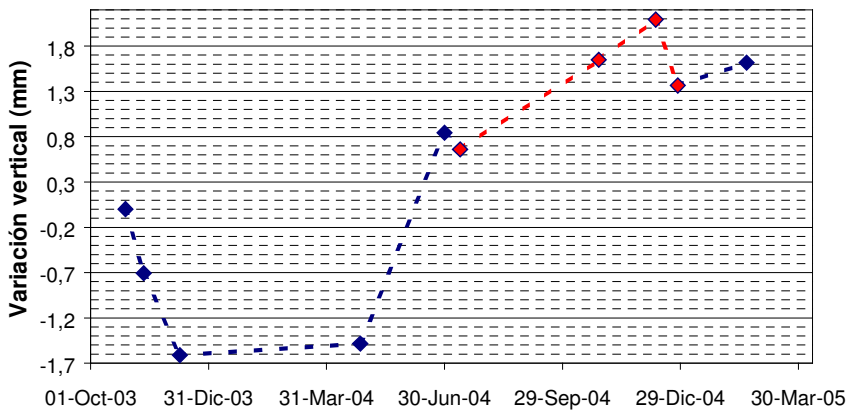


Figura 2.24 Vector corto de nivelación La Y

El vector La Y fue ocupado tres veces. La mayor variación se obtuvo entre julio y octubre con 1,4 mm. Teniendo en cuenta los cambios desde finales de 2003, se tiene un valor acumulado de 2,1 mm, con una tendencia posiblemente asociada a inflación.

Luego entre octubre y diciembre se obtuvo un cambio de 0,2 mm, con una tendencia contraria.



Por los cambios que se presentaron en el semestre anterior, el vector Cobanegra se ocupó 4 veces en el semestre. Desde el 26 de abril, hasta el 10 de diciembre de 2004, los cambios de nivel obtenidos conservaron la misma tendencia,



Figura 2.25 Vector corto de nivelación Cobanegra

asociada a inflación.

El valor de la variación acumulada fue de 3,5 mm; posterior a esta medida se obtuvo un cambio de 0,7 mm con una tendencia contraria a la que venía mostrando.

En el sector oriental de Galeras están los vectores Piedras, El Inclinómetro y La Mica. Piedras fue construido tangencialmente al cráter, mientras El Inclinómetro y La Mica tienen una orientación preferencialmente radial.

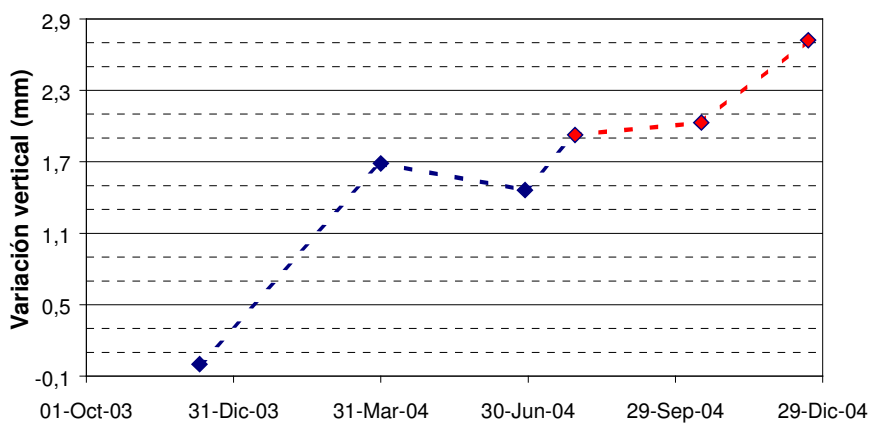


Figura 2.26 Vector corto de nivelación El Inclinómetro

El Inclinómetro se midió tres veces, con cambios menores de 0,7 mm. Las últimas medidas conservaron la tendencia que traía desde finales de 2003, con un valor acumulado de 2,7 mm, cuya tendencia posiblemente indica inflación en la zona.

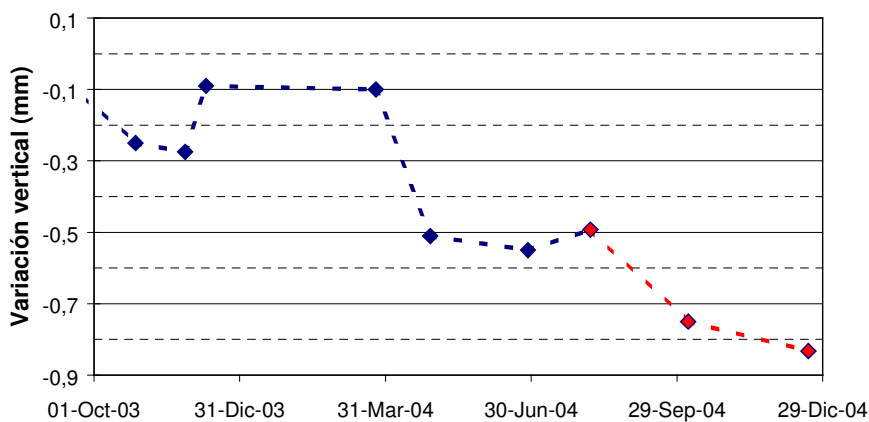


Figura 2.27 Vector corto de nivelación Piedras

En las tres medidas tomadas en Piedras en el segundo semestre de 2004, se observó continuidad en su tendencia desde marzo de 2004. Hasta la última medida realizada en diciembre hubo un cambio de nivel acumulado de 1,0 mm.

Según la construcción del vector, esta tendencia puede estar asociada a una deflación hacia el norte o una inflación hacia el sur del vector.

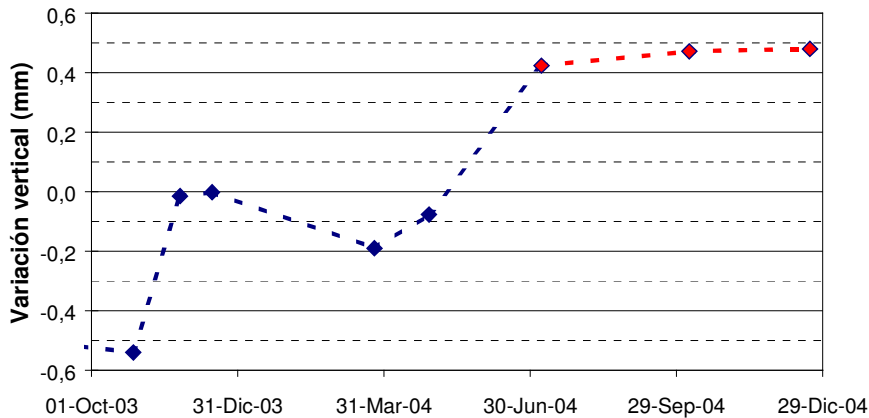


Figura 2.28 Vector corto de nivelación La Mica

La Mica se midió en tres ocasiones; con una diferencia de 0,54 mm entre abril y julio, las otras variaciones del semestre fueron menores de 0,02 mm. El acumulado entre marzo y diciembre fue de 0,6 mm y su tendencia en general, posiblemente es de inflación.

Finalmente, el único vector construido en el sector occidental es La Quebrada, el cual se construyó con una dirección radial al cráter de Galeras.

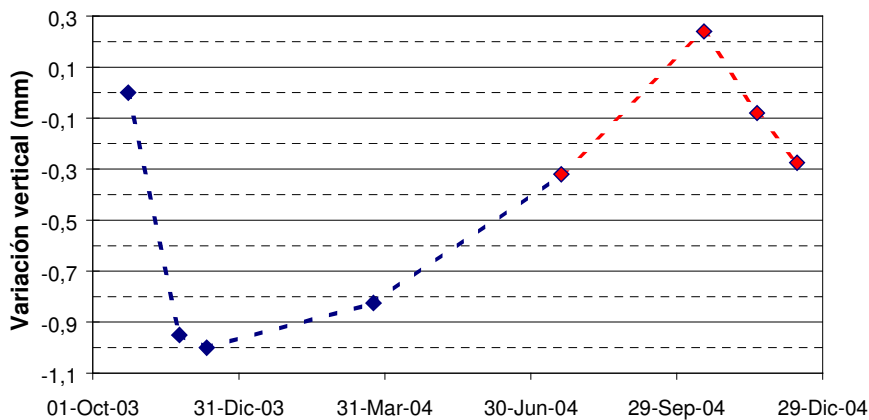


Figura 2.29 Vector corto de nivelación La Quebrada

El vector La Quebrada se ocupó 4 veces. En las dos primeras su tendencia se mantuvo constante con un valor acumulado de 1,2 mm entre diciembre de 2003 y octubre de 2004, que posiblemente puede estar asociada con deflación en la zona.

Posteriormente, las dos medidas restantes mostraron una tendencia contraria con un valor acumulado de 0,4 mm

Una vez descrito el comportamiento de cada uno de los VCN en el segundo semestre de 2004, los vectores se agruparon por sectores y se intentó interpretar su comportamiento, teniendo en cuenta además, que el incremento en la actividad de Galeras se inició a finales de junio y que posteriormente se presentaron emisiones de ceniza en lo que siguió del año con los episodios eruptivos explosivos mencionados del 11-12 de agosto y del 21 de noviembre.

En el sector norte (Figura 2.30), no se tuvieron en cuenta en el análisis a Puyito y Barranco, el primero porque se tomaron muy pocos datos y el segundo porque sus variaciones en este periodo estuvieron dentro del rango aceptable. Chorrillo y Lindero mostraron una tendencia de inflación y las medidas posteriores a la erupción de noviembre 21 mostraron un cambio indicando deflación.

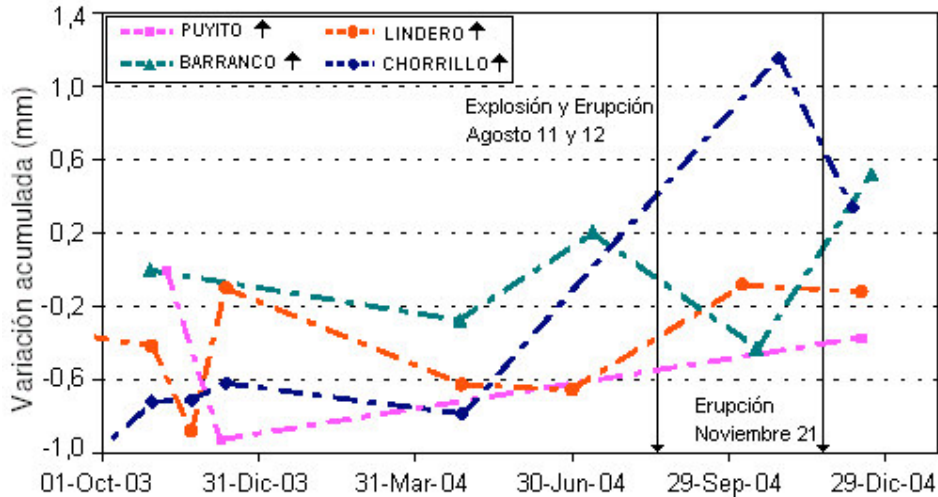


Figura 2.30 Vectores cortos de nivelación del sector norte de Galeras

En el sector sur (Figura 2.31), los vectores Cobanegra, La Y y Telecom, mostraron una tendencia de inflación, muy acentuada en Cobanegra. En las medidas tomadas hasta finales de diciembre la tendencia en estos vectores cambió a deflación.

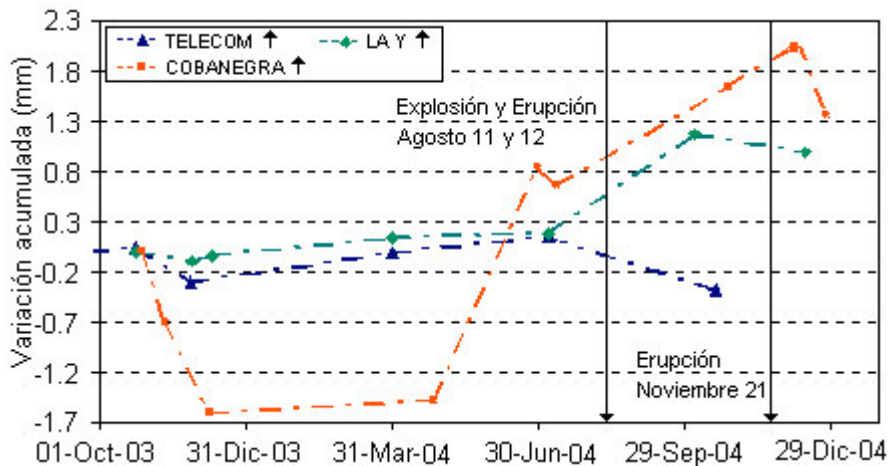


Figura 2.31 Vectores cortos de nivelación del sector sur de Galeras

En el sector oriental (Figura 2.32), Piedras, La Mica y El Inclínómetro, hasta las últimas medidas en diciembre no cambiaron su comportamiento, mientras Piedras indicó deflación (hacia el norte del vector), La Mica y El Inclínómetro mantuvieron una tendencia de inflación durante todo el proceso.

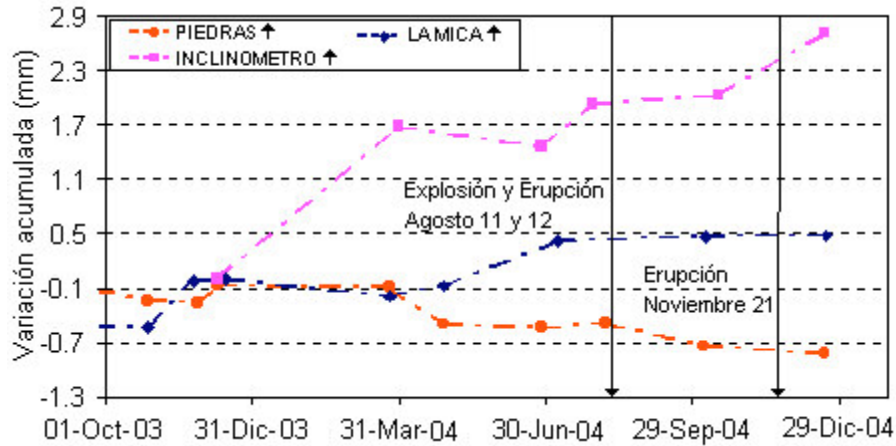


Figura 2.32 Vectores cortos de nivelación del sector oriental de Galeras

En el sector occidental, (Figura 2.29) La Quebrada mostró una tendencia de deflación hasta octubre, posteriormente y hasta diciembre esta tendencia cambio a inflación.

Representando las variaciones de nivel de los VCN antes del cambio de tendencia y siguiendo la dirección preferencial en la que fueron construidos, sea ésta radial o tangencial al volcán, se aprecia que la mayoría de vectores mostraron una tendencia ascendente, asociada posiblemente a una inflación del macizo volcán como respuesta al ascenso de un cuerpo magmático. Adicionalmente, las mayores deformaciones se presentaron en los vectores más extremos y los tres vectores en el sector oriental indican una inflación de la zona. (Figura 2.33a). Después de la erupción del 21 de noviembre, algunos de los vectores cambiaron de tendencia indicando un posible relajamiento del sistema o en términos generales un cambio en el estado de esfuerzos existentes en la región durante las diferentes fases de actividad (Figura 2.33b).

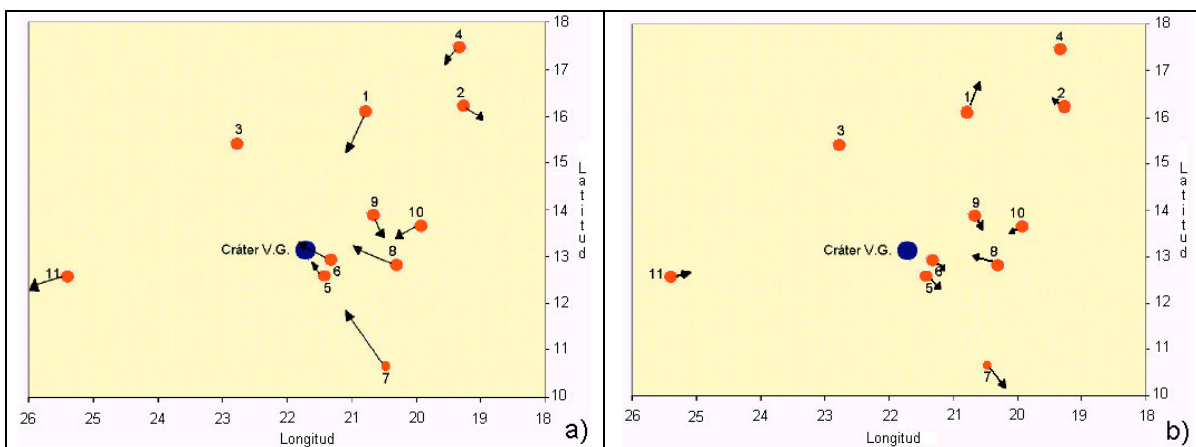




Figura 2.33 Variaciones de nivel obtenidas en la red de deformación de los VCN. a) Antes que la tendencia de los vectores cambiara. b) Vectores que mostraron cambio de tendencia. El círculo azul indica el cráter del volcán. 1: VCN Chorrillo, 2: Lindero, 3: Barranco, 4: Puyito, 5: Telecom, 6: La Y, 7: Cobanegra, 8: El inclinómetro, 9: Piedras, 10: La Mica, 11: La Quebrada.

2.1.3.2 Inclinómetros electrónicos

Desde su reinstalación en mayo de 2004, el inclinómetro Cráter mostró cambios de más de 20° en el sensor de temperatura, que afectaron el comportamiento de los sensores de inclinación; sin embargo no se puede descartar completamente que las variaciones de las componentes pudieron ser la respuesta a la actividad del volcán durante este periodo. El 27 de julio se optó por cambiar el sensor de esta estación, utilizando el de la estación portátil Chorrillo, del cual se conocía con certeza su buen estado. Durante mediados de julio y agosto la tarjeta mostró problemas con la transmisión de voltaje, pero las componentes no se vieron afectadas. La estación funcionó hasta el 21 de noviembre, cuando fue alcanzada por rocas lanzadas en la erupción de esta fecha (Figura 2.34).

El sensor de Peladitos, en el segundo semestre mostró cambios que muy probablemente estaban asociados a la actividad propia del volcán, pero teniendo en cuenta que en el semestre anterior se vio afectado por la caída de un rayo, el 1 de agosto se decidió cambiar el sensor para observar si las variaciones se mantenían. El nuevo sensor continuó mostrándolas, por lo que se asume que los datos suministrados por esta estación eran un reflejo de la actividad volcánica. En septiembre 17 se instaló un panel solar y una batería adicional, que hizo que las variaciones diarias sean mayores a las que había presentado con anterioridad, sin embargo continuó mostrando tendencias claras en sus componentes. Finalizando octubre, tanto en el sensor de temperatura como en las componentes de inclinación, se presentaron fuertes variaciones que obedecieron a problemas en el equipo hasta que el 18 de noviembre salió de funcionamiento. (Figura 2.35)

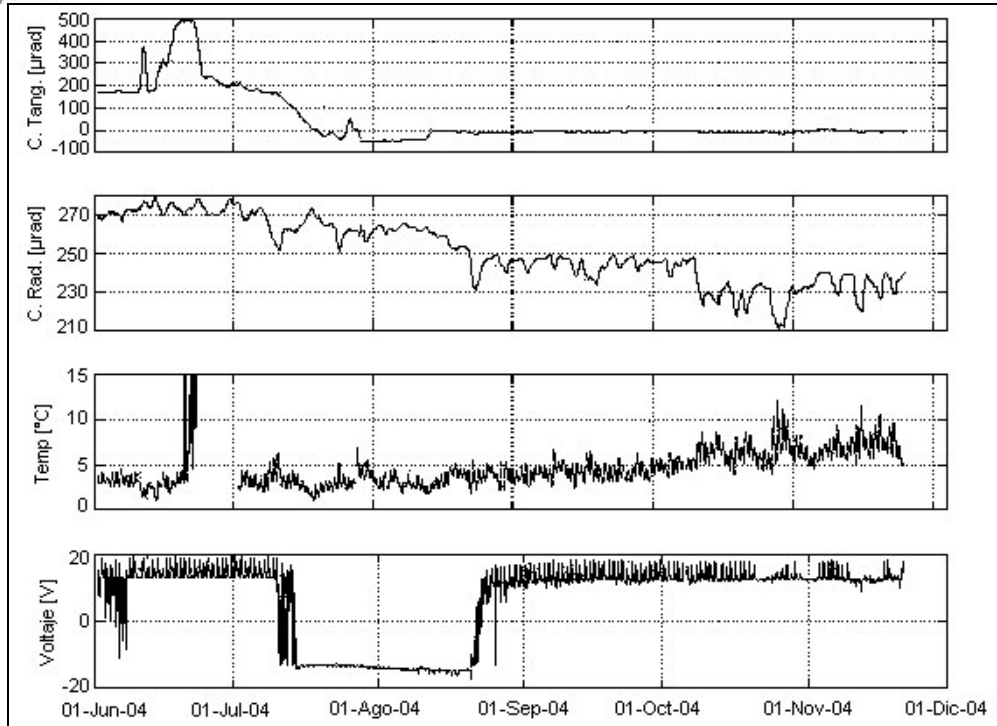


Figura 2.34 Comportamiento de las componentes del inclinómetro electrónico Cráter. Segundo semestre de 2004

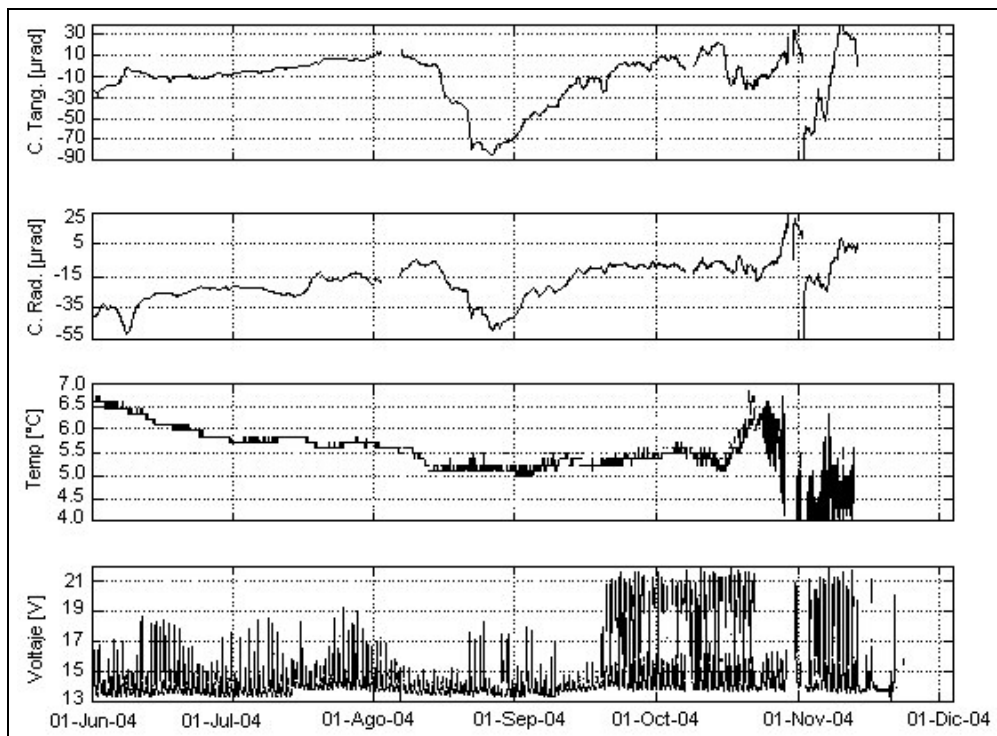




Figura 2.35 Comportamiento de las componentes del inclinómetro electrónico Peladitos. Segundo semestre de 2004.

Los inclinómetros Cráter y Peladitos, antes del cambio de sensor, tuvieron variaciones marcadas en diferentes épocas. La componente tangencial del inclinómetro Cráter, a mediados de junio presentó un incremento principalmente en la componente Tangencial, cercano a los 400 μ radianes, (días después se registraron variaciones anormales en el sensor de temperatura). Posteriormente se presentó una tendencia descendente de casi 300 μ radianes; en tanto que la componente radial presentó un comportamiento estable con una tendencia ligeramente descendente.

En el inclinómetro Peladitos las variaciones pueden ser resumidas en tres periodos; el primero entre el 2 y el 8 de junio, en el cual la componente tangencial mostró una tendencia ascendente de 23 μ radianes y la componente radial una tendencia descendente de 15 μ radianes; el segundo periodo entre el 8 y el 14 de junio, con un cambio de tendencia, con valores de 10 y 25 μ radianes, para la componente tangencial y radial respectivamente. El tercer periodo entre el 14 de junio y el 27 de julio con una tendencia ascendente para las dos componentes (Figura 2.36a).

Teniendo como referencia los tres periodos mencionados anteriormente y calculando el vector resultante para cada inclinómetro se tiene que, en el primer periodo Cráter tuvo un vector resultante de 4,3 μ radianes y Peladitos de 26,9 μ radianes dirigido hacia el sector occidental del volcán indicando una posible inflación. En el segundo periodo la magnitud del vector resultante de Cráter fue de 92,5 μ radianes, dirigido hacia el sur oriente de la estación y Peladitos de 26,9 μ radianes dirigido hacia el oriente de la estación, aunque las proyecciones de los dos vectores no se cruzan, posiblemente indican una inflación del sector oriental del cono de Galeras. En el tercer periodo, Cráter tiene 317 μ radianes con la misma dirección que el anterior pero de sentido contrario, mientras Peladitos tiene 23,9 μ radianes dirigido hacia el sur occidente; al intentar cruzar la proyección de los dos vectores se puede suponer que hubo una deflación del sector oriental del cono (Figura 2.36b).

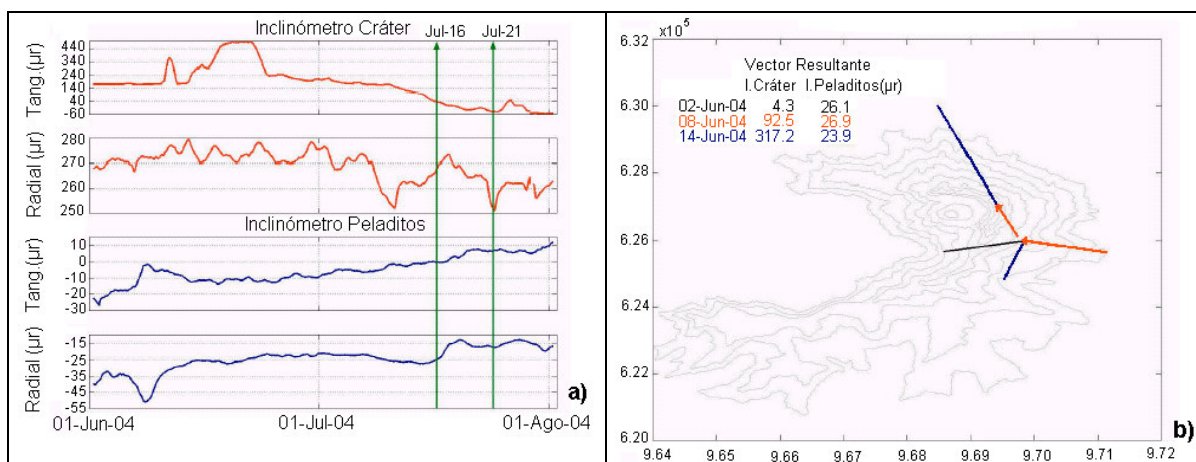




Figura 2.36 a) Comportamiento de las componentes radial y tangencial de los inclinómetros Peladitos y Cráter. b) Vector resultante para cada inclinómetro, en diferentes periodos: 1er periodo del 2 al 8 de junio (color negro); 2do periodo del 8 al 14 de junio (color rojo); 3er periodo del 14 de junio al 27 de julio (color azul).

Una vez realizado el cambio de sensores en Cráter y Peladitos, las variaciones que se registraron en las componentes de los inclinómetros pudieron estar asociadas con la actividad del volcán. Entre agosto y noviembre de 2004, se distinguen tres periodos así, del 8 al 24 de agosto, del 24 de agosto al 20 de septiembre y del 20 de septiembre al 20 de octubre (Figura 2.37a).

En el primer periodo, la componente tangencial del inclinómetro Cráter, presentó un cambio inmediatamente después de la erupción del 11 de agosto, de casi 40 μ radianes, y la componente radial mostró una tendencia ligeramente descendente de unos 30 μ radianes. En el inclinómetro Peladitos se presentaron cambios descendentes en las componentes tangencial y radial de 95 y 45 μ radianes, respectivamente (Figura 2.37a).

En el segundo y tercer periodo las componentes del inclinómetro Cráter fueron estables, indicando las variaciones diarias que son producto de los cambios de temperatura o de voltaje (Figura 2.37a). La tendencia de las dos componentes del inclinómetro Peladitos en el segundo periodo, cambió a ascendentes con valores de 90 y 40 μ radianes para la componente tangencial y radial respectivamente. En el tercer periodo el comportamiento fue estable y las variaciones que se presentaron desde finales de septiembre, obedecieron a problemas en el equipo (Figura 2.37a).

Al calcular el vector resultante en los tres periodos (Figura 2.37b), se observa que las mayores magnitudes fueron para el inclinómetro Peladitos, con valores cercanos a los 90 μ radianes para los dos primeros periodos y en Cráter de 40 μ radianes, cuyo aporte principal está en la componente tangencial del día 12 de agosto. En el primer periodo la dirección de los dos vectores apunta hacia el sector oriental, por lo que se puede asumir que hubo una inflación de esta zona, mientras que los dos periodos restantes no hay una concordancia o cruce de los dos vectores, sin embargo hay que tener en cuenta que, en el inclinómetro Cráter los valores son cercanos a las variaciones diarias del sensor. Peladitos en los dos últimos periodos y con respecto al primer periodo mostró un cambio de sentido mas no de dirección, por lo que se puede asumir que en esta época hubo una posible deflación de la zona asociada con una relajación del sistema (Figura 2.37b).

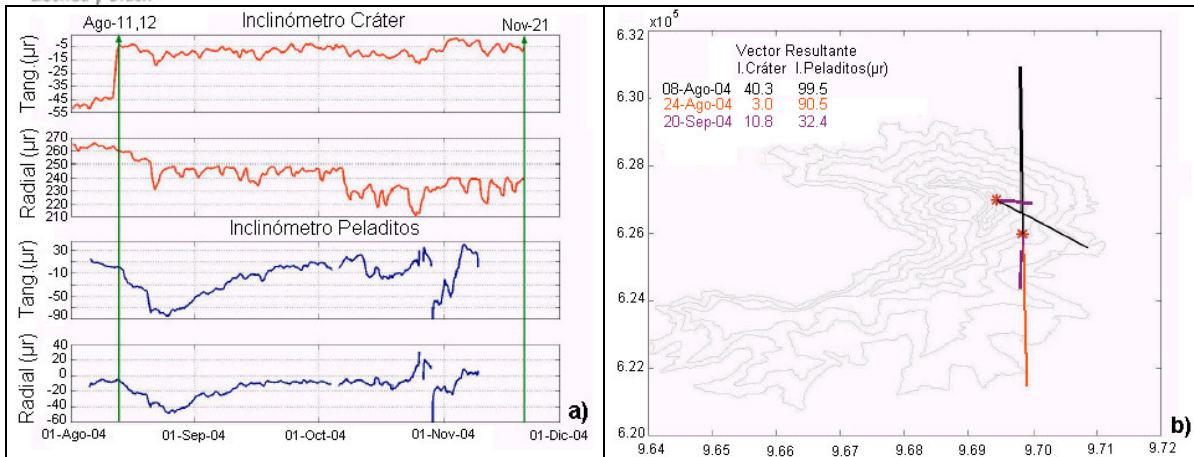


Figura 2.37 a) Comportamiento de las componentes radial y tangencial de los inclinómetros Peladitos y Cráter. b) Vector resultante para cada inclinómetro, en diferentes periodos: 1er periodo del 8 al 24 de agosto (color negro); 2do periodo del 24 de agosto al 20 de septiembre (color rojo); 3er periodo del 20 de septiembre al 20 de octubre (color violeta).

En el campo de la deformación en particular hay que entender que la estructuración de una red adecuada desde el punto de vista de número y configuración permite restringir las limitaciones en el análisis de la información y conformar así un mejor modelo del estado de deformaciones y esfuerzos en la región. El gran inconveniente en la parte de inclinometría está en el costo de los equipos.

2.1.4 Fisicoquímica

La estación de geoquímica, conformada por los equipos instalados en las fumarolas La Joya, Las Chavas y Deformes (sector occidental del cono activo), funcionó solamente hasta los primeros días de agosto, pues con el incremento de la actividad también aumentaron otros factores que afectaron los equipos. Inicialmente, la ceniza que cubrió los paneles solares inhabilitó el sistema de alimentación del equipo, lo cual se trató de solucionar efectuando limpieza de los mismos y el cambio de baterías, pero después las condiciones se volvieron muchísimo más agresivas en el sitio, aumentó la cantidad de gas emitido, aumentaron las temperaturas del gas y del suelo, se acrecentó la acidez de los gases que lastimaban los ojos y las vías respiratorias dificultando la respiración, las emisiones de ceniza se volvieron prácticamente continuas y la actividad comenzó a emigrar al cráter principal, por lo que no se volvió para mantenimiento, pues esto resultaba muy peligroso para la vida de los integrantes de las comisiones. Con toda la actividad superficial y los cambios morfológicos observados, se da por hecho que los equipos fueron destruidos por las erupciones.

En julio 31 de 2004, una comisión del OVSP subió al cráter activo de Galeras y reportó las siguientes observaciones:

- La ceniza al contacto con los ojos producía irritación.
- Por algunos momentos se notaba la caída de una ceniza más gruesa al punto de sentir su contacto.



- Se advertía incremento en la presión de salida de los gases en el cráter secundario El Pinta y las fumarolas Deformes, La Joya y Chavas por el marcado sonido de chorro a presión.
- La fumarola Joya Baja prácticamente no mostraba salida de gases, sin embargo se notaba varios pequeños puntos de emisión de gases del piso en ese sector; además se destacaba el calor del piso en algunos sitios, al punto de calentar las botas de las personas de la comisión, sobre los cuales, debajo de la ceniza, se observaba azufre, el cual no parecía ser viejo.
- La ceniza observada en los paneles de la estación de gases de la multiparámetro mostró espesores con valores cercanos a los 4 mm.
- Las emanaciones de los gases de las fumarolas Deformes y en los alrededores de Joya Baja eran bastante irritantes. Más aún los gases procedentes del sector de Las Chavas.
- Desde Joya Baja, ocasionalmente se percibían algunos sonidos similares al paso de un avión en altura, al de un jet y al de una olla pitadora. Se percibieron también los sonidos de otros puntos de emisión (similares a Deformes) que resultaron ser tres fumarolas ubicadas a unos 30 m de Joya Baja ladera abajo del cono, las cuales mostraban una salida relativamente marcada de gas con presión.

El último día que una comisión del OVSP subió a la cima de Galeras fue el 4 de agosto de 2004, en esa ocasión se pudieron hacer las siguientes observaciones:

- Mayores espesores de ceniza cubriendo los equipos del Sistema de Monitoreo de Gases de la Estación Multiparámetro.
- El sonido de chorro a presión de El Pinta ya no se oía, pero el sonido de Deformes era más intenso que el de la visita anterior.
- El piso en el sector de Joya Baja estaba bastante permeado de gases (91°C).
- En ocasiones, después de una abundante emisión de gases se percibía un enmudecimiento de los sonidos que acompañaban las emisiones.

Durante el tiempo que las termocuplas funcionaron, los datos de las temperaturas se vieron afectados por ruido en algunas ocasiones, especialmente en la fumarola La Joya, lo cual no impidió que se observen tendencias en los datos de temperatura graficados (Figura 2.38). La fumarola Deformes, hasta el 24 de julio mantuvo valores de temperatura entre 88°C y 89°C; luego, del 25 al 28 de julio estuvo por fuera y cuando se restableció la señal, mostró una tendencia ascendente de 88°C a 91°C hasta que se perdió definitivamente su señal en agosto 2 (Figura 2.38).

La temperatura de la fumarola Las Chavas, presentó un comportamiento de ascenso lento entre julio 1 y julio 14, yendo de 291°C a 295°C, luego entre el 15 y el 17 de julio, Chavas aumentó más rápidamente su temperatura de 295°C a 309°C, seguidamente entre el 17 y el 19 de julio bajó hasta 301°C y se mantuvo estable hasta el 22 de julio para subir nuevamente hasta los 311°C, cuando se perdió definitivamente su señal (Figura 2.38).

La fumarola La Joya por su parte, tuvo varias tendencias en el transcurso del tiempo monitoreado. Del 1 al 3 de julio se mantuvo estable en 89°C, luego hasta el 9 de julio descendió a 85°C, para

volver a subir hasta los 95°C en julio 17, de aquí hasta el 28 de julio se mantuvo estable, fluctuando entre 94°C y 95°C. Entre julio 28 y agosto 2 estuvo por fuera y cuando se restableció su señal, ascendió de 94°C a 98°C, alcanzados en agosto 7 cuando se perdió definitivamente su señal (Figura 2.38).

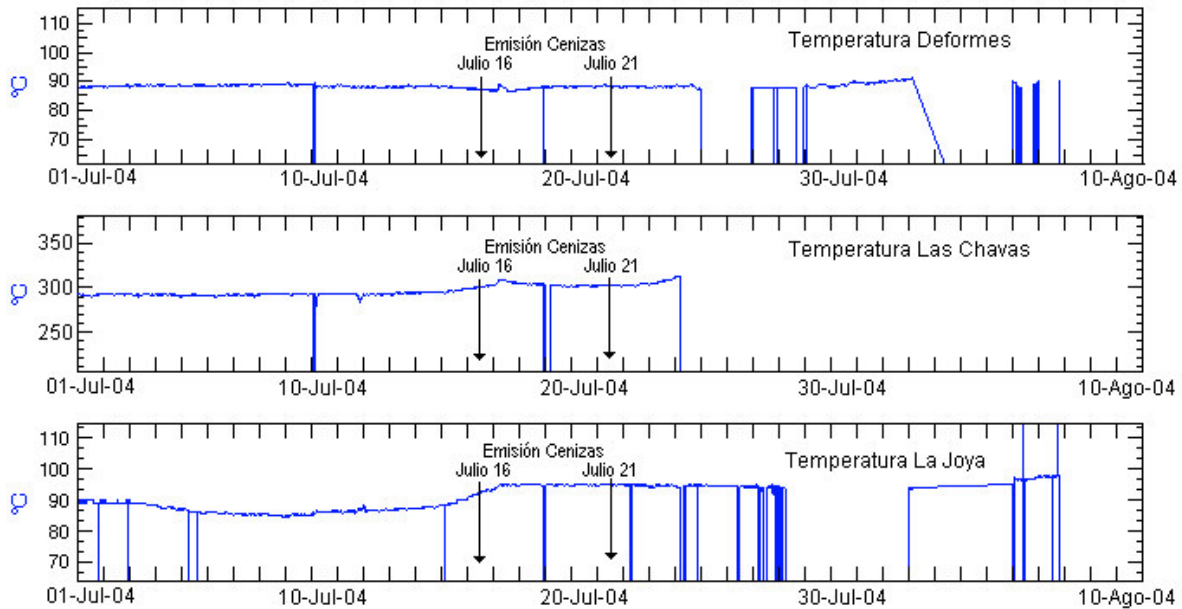


Figura 2.38. Temperaturas en tiempo real, medidas por la estación de Geoquímica en las fumarolas Deformes, Chavas y La Joya. Julio - agosto 10 de 2004.

En las 3 visitas de mantenimiento a la estación de geoquímica y reconocimiento en la cima, se tomaron medidas directas de temperatura con la termocupla portátil en las fumarolas La Joya y Deformes (Tabla 2.1), las cuales son muy acordes con las registradas por el sistema telemétrico. En el caso de la Joya, en julio 31 y agosto 1, el sistema telemétrico no funcionó, pero la temperatura medida con la termocupla portátil es acorde con la tendencia que traían los valores del sistema telemétrico, de igual forma sucede con Deformes que en agosto 4 no tuvo sistema telemétrico pero su temperatura directa es acorde con la tendencia de las temperaturas telemetradas. Estos valores evidenciaron estabilidad en Deformes y ascenso rápido de la temperatura en Joya Baja, entre julio 31 y agosto 4 de 2004.

Tabla 2.1. Medidas de temperatura (°C) con termocupla portátil en las fumarolas Deformes y La Joya

Fecha	Deformes	Joya Baja
31-Jul-04	89,4	92
01-Ago-	90,8	94,3



04		
04-Ago-04	89,7	98,6

El ruido también afectó los otros parámetros físico-químicos que se monitorean en La Joya, especialmente al sensor de presión ambiental, aunque se puede observar en la figura 2.39 que los valores de presión mostraron una tendencia estable, oscilando entre 630 mbar y 634 mbar, que se consideran normales para altura de la cima de Galeras. El CO2 mostró una tendencia claramente descendente (Figura 2.39) comenzando en 3,71% de volumen en julio 1 y terminando con un valor de 3,06% de volumen en julio 27, cuando se perdió su señal. En cuanto al SO2, la gráfica muestra una línea muy estable en 3,18 V (Figura 2.39), pero es probable que el sensor no estuviera funcionando bien, por lo cual estos datos no son confiables.

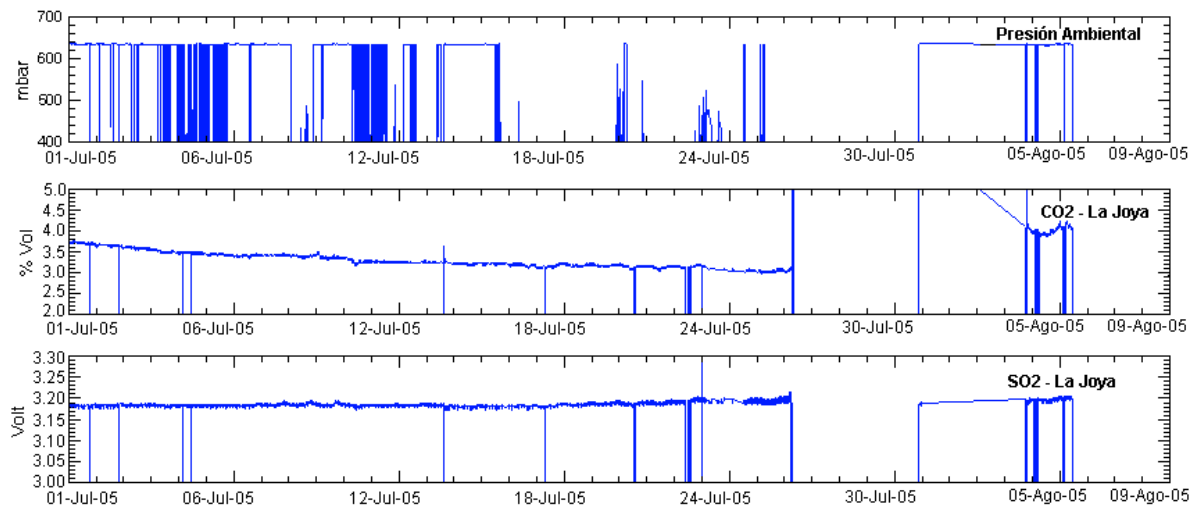


Figura 2.39. Datos en tiempo real, de Presión Ambiental, CO2 y SO2 medidos por la estación de Geoquímica en la fumarola La Joya. Julio - agosto 10 de 2004.

Por otro lado, las 18 estaciones que conforman la red isotópica de Radón (Figura 2.1), distribuidas en los tramos denominados como Línea Norte y Línea Circunvalar, funcionaron hasta el 24 de noviembre de 2004, pues por cambio de año y logística, se retiran hasta la nueva vigencia. Durante el segundo semestre de 2004 se tomaron 14 medidas tanto en la Línea Norte como en la Línea Circunvalar, por lo cual se tuvo un funcionamiento del 82% en ambas líneas.

Para la Línea Norte, la estación con la mayor emisión fue Meneses 4, localizada sobre un trazo de la falla de Buesaco y con direccionamiento al cráter activo del volcán Galeras, su pico máximo fue de 2.892 pCi/L, medido en la semana del 12 de noviembre. Otras estaciones con emisiones importantes fueron Zanjón 2 con 2.688 pCi/L, Huecada 1 con 2.294 pCi/L y San Juan 1 con 2.200pCi/L (Figura 2.40). En general las estaciones de la Línea Norte mantuvieron sus emisiones



por debajo de los 1.000 pCi /L y los picos de emisión por debajo de los 2.000 pCi/L, también se nota una ligera tendencia ascendente, sin tener en cuenta los picos (Figura 2.40). La menor emisión del semestre también fue registrada en la estación Meneses 4, con 36 pCi/L (Figura 2.40).

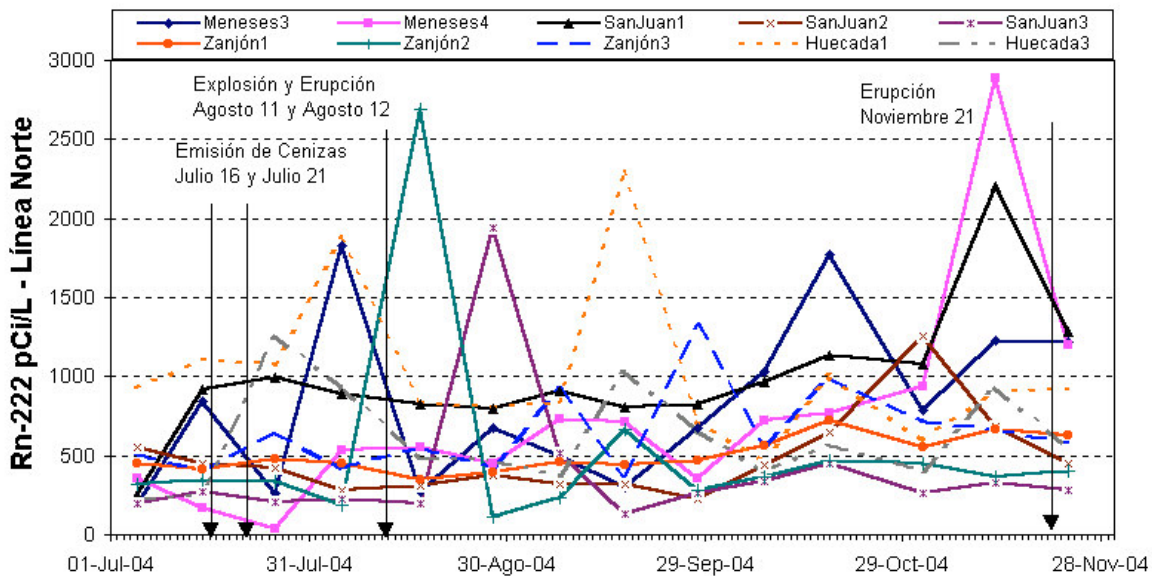


Figura 2.40. Emisiones de Rn-222, en la Línea Norte. Segundo semestre de 2004.

En cuanto a la línea Circunvalar, su mayor emisión se dio en la estación Sismo 2 localizada sobre un trazo de la falla de Romeral, al NW del cráter activo del volcán Galeras, alcanzando dos picos máximos de 7.441 pCi/L y 7.188 pCi/L en la semana del 7 de agosto y en la semana del 30 de agosto (Figura 2.41). Las estaciones Sismo 5, sismo 1 y Anil 2, también presentaron emisiones importantes, de 4.661 pCi/L, 3.695 pCi/L y 3.529 pCi/L, respectivamente. En general las emisiones medidas en las estaciones de la Línea Norte, fueron menores de 3.000 pCi/L y las mayores anomalías se presentaron en los meses de julio y agosto, con picos menores de 8.000 pCi/L (Figura 2.41).

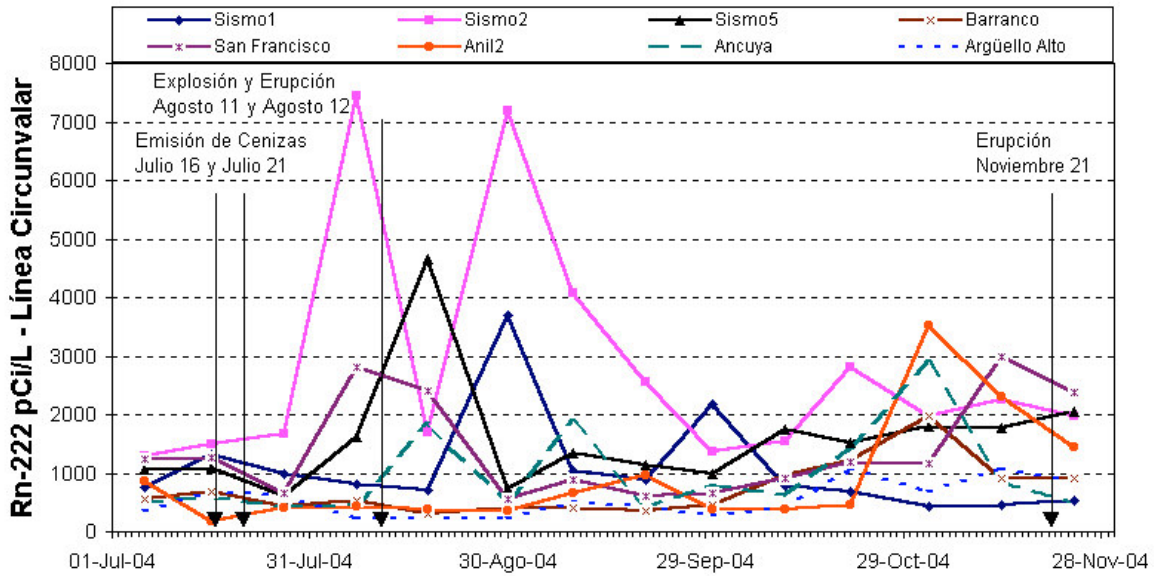


Figura 2.41. Emisiones de Rn-222, en la Línea Circunvalar. Segundo semestre de 2004.

2.1.5 Actividad superficial

Los reportes de actividad superficial se obtienen de las diferentes comisiones que van a mantenimiento de estaciones o a reconocimiento en la cima, también por informes de personas que habitan la zona de influencia de Galeras o de observaciones directas al volcán desde la sede del OVSP. Durante el semestre julio a diciembre de 2005, los reportes de actividad superficial son muchísimos, debido al aumento de la actividad del volcán por esa época, razón por la cual solamente se consignan los principales.



Figura 2.42 Ceniza depositada por la emisión de julio 16, cerca del cráter El Pinta.

El 19 de julio de 2004, una comisión del OVSP se desplazó hasta el cono activo de Galeras, para hacer un reconocimiento de los posibles cambios morfológicos asociados con la emisión de ceniza de julio 16. Se encontraron depósitos de material desde la parte media de la pared interna del anfiteatro en el sector nororiental, hasta la parte alta del cono volcánico, con un cubrimiento horizontal de casi 800 m, incrementando los espesores hacia el cráter el Pinta (E del cono activo), con un diámetro aproximado de 60 m (Figura 2.42).

El equipo de la estación de electromagnetismo, localizada en la base del cono y al nororiente de este, fue cubierto por una capa de aproximadamente 3 mm de ceniza, que al tacto se sentía muy plástica y fina.

Aunque la neblina no permitió precisar los cambios morfológicos del área, se pudo apreciar desprendimiento de material de las paredes del cráter El Paisita, salida de gas y ruido. En el trayecto del Paisita al Pinta, aumentaban los espesores de la capa de ceniza hasta un valor aproximado de 20 cm en el borde del Pinta (Figura 2.42). Mientras se bordeaba el Pinta, se podía escuchar ruido y salida de gas caliente, que se asoció con una señal sísmica de temblor.

Después de una actividad de sismicidad superficial de tipo LP, a las 16:16 de julio 21, se registró otra emisión de ceniza, que fue visible desde Pasto y sectores aledaños al volcán. Se estimó una altura de 500 m para la columna de gases y ceniza, la cual se tendió en dirección NW (Figura 2.43).



Figura 2.43 Emisión de cenizas de julio 21.

Con el reconocimiento de julio 22, se comprobó que la ceniza se acumuló en el sector noroccidental del edificio volcánico, afectando principalmente la cuenca del río Barranco y las veredas de Santa Rosa y Santa Bárbara (Sandóná).

Los paneles de las estaciones de electromagnetismo y la estación sísmica Achalay se encontraron cubiertos por aproximadamente 3 o 4 mm de ceniza. En el trayecto hacia Achalay se observó salida de gases principalmente del Pinta, también del cráter principal y del Paisita.



Figura 2.44 Emisión de ceniza del cráter adventicio El Pinta, observada en julio 29.

A las 16:00 LT de julio 28, el señor Fernando Goyes, controlador aéreo del aeropuerto Antonio Nariño, reportó que se observaba la columna de color gris oscuro con una altura aproximada de 1000 m y tendida hacia el occidente, solicitando que se enviara un reporte a la aeronáutica civil, pues por ese sector pasa una ruta aérea. En los sobrevuelos de julio 28 y julio 29, personal de INGEOMINAS pudo confirmar la existencia de una columna de gases y cenizas y que la actividad se concentraba principalmente en el cráter adventicio El Pinta (Figura 2.44).

El Cap. Mauricio Manrique, piloto del helicóptero 4301 de la FAC hizo la recomendación de restringir la ruta aérea G-675 entre Pasto e Ipiales. Se hizo el reporte y se envió a los aeropuertos de Pasto, Cali y Bogotá y a la sección de Meteorología Aeronáutica del IDEAM.

El Centro Regulador de Urgencias y Emergencias de la Gobernación, enviaba diariamente los reportes de caída de ceniza, principalmente en los municipios de Consacá, Sandoná, La Florida y Nariño, pues el viento mayoritariamente mantenía la dirección NW. Estas caídas de ceniza se asociaron con señales de tremor continuo registradas entre agosto y diciembre de 2004. También se reportaba el olor a azufre en algunas ocasiones y en otras el olor a gases azufrados que lastimaban las vías respiratorias y los ojos. Adicionalmente, las comisiones que subían a la cima, los soldados de la Base Militar Galeras y campesinos de las veredas altas, reportaban un sonido fuerte, similar al que produce una turbina de avión, proveniente del cráter adventicio El Pinta al principio y luego desde otros puntos fumarólicos del cráter activo. Cuando el clima lo permitía se podía apreciar desde la ciudad columnas con colores en diferentes tonos de gris, según la cantidad de ceniza arrojada, las cuales se elevaban a alturas entre 300 y 2000 m y a la vista eran espesas por la ceniza, igualmente se podía ver la caída de la ceniza en forma de cortinas o chorros formando bucles.

Las fotografías que se tomaron durante este tiempo, muestran las calles, techos, cultivos y vegetación cubiertos de ceniza (Figura 2.45), igualmente las corrientes de agua que bajan de Galeras en el sector noroccidental, como las quebradas Chorrillo, Barranco, Chacaguaico, el río Azufral, etc., se vieron afectadas por la caída de ceniza y por el arrastre de sedimentos de ceniza depositada en las laderas del volcán debido a las lluvias, por lo cual su color se tornó gris y aumentó dramáticamente la turbiedad,



Figura 2.45 Ceniza depositada sobre la vegetación



Libertad y Orden

que habita en ellas.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS

República de Colombia

por las emisiones asociadas a tremores continuos entre agosto y diciembre de 2004.



Figura 2.46 Muerte de truchas en criaderos, debido a la ceniza.

Personal del OVSP-Ingeominas, en visitas conjuntas con personal de la OPS, el Instituto Departamental de Salud y el CREPAD a los municipios de Sandoná, Consacá, la Florida y Nariño, constataron que debido a la ceniza se presentó la muerte de truchas tanto en corrientes de agua como en criaderos (Figura 2.46), también obtuvieron reportes confirmados de muerte de cuyes. Los reportes de la muerte de ganado no se confirmaron.

Las pruebas de contaminación debida a la ceniza en el agua fueron negativas.

En agosto 11 a las 23:49 LT y agosto 12 a las 00:02 LT se presentaron una explosión y una erupción que no pudieron observarse debido a la niebla que cubría la cima volcánica y la oscuridad de la noche. Muchas personas en sitios alejados como Aranda (11 km E de Galeras) reportaron haber sido despertados por un fuerte ruido, similar al paso de un camión pesado que duró por varios segundos y reportaron también vibración de ventanas y puertas.

En la caseta de Parques Nacionales en las faldas de Galeras, el personal de turno y los policías reportaron haber escuchado un ruido muy fuerte como un bramido. Personal de la Cruz Roja Pasto, reportó que se observaban tres puntos luminosos en la cima de Galeras, uno en la parte superior y dos más abajo, estos puntos se asociaron con posibles incendios por caída de piroclastos, lo cual fue corroborado en la madrugada cuando se vieron los incendios y la humareda que estaban produciendo. Desde la vereda San Antonio de Consacá reportaron que no estaba cayendo ceniza sino arena y un fuerte olor a azufre. De las zonas altas de Galeras reportaron olor fuerte a azufre y ácido sulfhídrico.

El reporte del sonido o bramido fuerte y rocas incandescentes que algunos llamaban incendio, llamada ó puntos luminosos, fue común en los municipios de la circunvalar a Galeras, igualmente la caída de ceniza, que llegó incluso hasta poblados más lejanos como Samaniego. Los piroclastos arrojados por estos eventos ocasionaron varios incendios forestales que se apagaron por la lluvia, excepto el más grande que se mantuvo ardiendo durante todo el día 12 y pudo ser observado desde



Figura 2.47 Incendio forestal en las laderas de Galeras, ocasionado por un piroclasto arrojado en la



Libertad y Orden

Pasto (Figura 2.47).

**INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

República de Colombia

erupción de agosto 12.

Una comisión subió hasta la cima para ver los impactos de los bloques, las distancias que alcanzaron y tomar muestras. El primer impacto lo encontraron cerca del vector Piedras, del lado de la carretera se observó un impacto, la roca se fragmentó y había presencia de azufre también. En el mismo sector, más arriba se observó otro cráter y el proyectil aún caliente con un tamaño aproximado de 50X25 cm, de color gris oscuro y macizo. En la subida a Inravisión no se observó caída de bloques. 01:45. Se observó otro impacto, aproximadamente 200 m antes de llegar a Cufiño, la roca era de 30X15 cm de color oscuro y estaba algo tibia, esta roca cayó encima del talud. Más adelante había otro impacto pero se encontraba muy al costado donde era difícil tomar datos. Encima del sitio de la estación Cufiño encontraron un cráter de unos 60 cm de diámetro y profundidad de 12 a 15 cm, la roca tenía un diámetro de 40 a 45 cm y era de color rojizo. Más cerca de Cufiño se observaron al menos 8 sitios de impacto, sorprendentemente la estación no sufrió ningún daño.

El incendio estaba más abajo de Cufiño, tal vez a una hora u hora y media, había buena visibilidad y se ubicó al respaldo del letrero de la reserva privada Los Encinos del Manantial, se estimó una longitud ladera abajo de aproximadamente 300 m, pero el ancho no se pudo determinar.

En octubre 20 a las 23:00 LT se presentó el primer reporte de caída de ceniza en la ciudad de Pasto, La caída de ceniza fina se prolongó durante la noche y hasta la madrugada.

En octubre 24 la ceniza cayó al sur de Galeras, personal de Ingeominas reportó que según las descripciones de las personas del sector, la ceniza cayó como lluvia (sin agua) por la Coba Negra, Marqueza Alto, Marqueza Bajo, Cruz de Amarillo, inclusive atravesando la panamericana a la altura de las bombas de gasolina de Texaco y Mobil. La gente informó que escuchaban la ceniza caer sobre los techos y en las partes altas de la vereda La Marqueza Alta, tapizó los pastos con cerca de 1mm de espesor. Por la panamericana el espesor fue poco, pero se levantaba al pasar los carros. El eje de dispersión transversal fue más débil, hacia Gualmatán Bajo por el oriente donde cayó muy débilmente y por el occidente en La Aguada.

En noviembre 9 a las 21:30, pobladores del corregimiento de Obonuco informaron que el agua de la red de acueducto estaba saliendo con un color gris oscuro, parecido a lejía y en ocasiones más espesa y que comenzó aproximadamente a las 16:00 horas, esta situación se prolongó durante la noche y todo el día 10.



Figura 2.48 Erupción de noviembre 21, vista desde Chimayoy (NE de Galeras).

En noviembre 21 a las 15:44 LT ocurrió una erupción, cuya columna alcanzó una altura aproximada entre 9.000 y 10.000 m (Figura 2.48). Al momento de la erupción se observó del lado oriental algunos de los piroclastos lanzados por el volcán los cuales produjeron incendios. Algunas personas en Pasto sintieron el estallido, otras no se dieron cuenta. La columna no fue visible en toda su magnitud debido a que algunas nubes cubrían la cima de Galeras. Personal del aeropuerto reportó que se escuchó el sonido de la explosión, vieron la columna elevarse entre 8 y 10 Km, de color gris, espesa y se dirigió hacia el NW. Los datos de viento de la torre aeroportuaria fueron de 120° viniendo de NE hacia SW, la velocidad del viento fue de 10 a 20 nudos en el transcurso de la tarde (1 nudo = 1,8 K/h). El lunes 22 de noviembre estuvo cerrado el aeropuerto por prevención, durante todo el día.

El Coronel Uribe comandante del Batallón Boyacá, reportó que los soldados que estaban en la cima, le informaron que la base militar se cuarteó. Había tres soldados que escucharon la explosión y eso los dejó sordos momentáneamente. Les ordenaron bajar para valoración médica y aunque estaban aturdidos, su equilibrio estaba bien. El grupo de soldados con cámaras que subió a documentar el hecho, reportó que había rocas obstaculizando la carretera. De las oficinas del Servicio Seccional de Salud reportaron que se rompió uno de los ventanales por la vibración producida por la onda de choque de la erupción.

En noviembre 22 se hizo el recorrido de Jenoy a Linares, para tomar muestras de ceniza, la cual se observó desde la quebrada Honda de Sandoná hasta las veredas cercanas después del casco urbano de Ancuya, en dirección a Linares. En la vereda La Palma de Linares ya no se encontró ceniza. En los cascos urbanos de Jenoy, Nariño, La Florida y Sandoná no cayó ceniza. En el casco urbano de Consacá cayó muy poca y del tamaño de piedrecillas. En Ancuya cayó bastante ceniza con tamaño de arena. En Linares no cayó Ceniza. En la cima volcánica se encontraron huellas de impactos de bloques de todos los tamaños, incluso hasta 2 km de distancia del cráter activo. Uno de los bloques encontrados evidenció la presencia de magma juvenil (Figura 2.49).



Figura 2.49 Bloque solidificado de magma juvenil, arrojado en la erupción de noviembre 21.



Figura 2.50 Huella del flujo de lodo secundario de septiembre 9 en el río Azufral.

Entre septiembre y noviembre por la época lluviosa, fueron recurrentes los flujos de lodo secundarios, formados por el arrastre de la ceniza depositada, los cuales bajaron por el río Azufral (Consacá). La mayoría de estos flujos o avalanchas fueron moderados y algunos elevaron el nivel del río hasta 8 m. En septiembre 9 entre las 21:00 LT y las 23:00 LT, ocurrió un fuerte aguacero que arrastró mucho material, ocasionando una avalancha que bajó por el río Azufral. Desde Consacá reportaron que se observó en el puente Alfonso López Pumarejo que la altura del río subió

Entre el 20 y el 25 de octubre, se presentaron flujos de lodo secundarios moderados, que bajaron por el río Azufral. El mayor de ellos ocurrió el 25, según narraciones de los pobladores cercanos al puente Alfonso López Pumarejo, entre las 16 y las 19 horas ocurrieron por lo menos 15 pulsos en los que el río arrastraba bloques hasta de 3 m de diámetro, el agua bajaba muy lodosa y se percibía un fuerte olor a azufre. Personal del Ingeominas le estimó una velocidad aproximada de 16 km/h, con base en la huella del peralte alcanzado por el flujo en una curva.

En noviembre 6 también ocurrió otro flujo de lodos secundario, que arrastró mucha piedra y lodos, acompañado por olor a azufre y que alcanzó una altura de 7,2 m en el puente Alfonso López Pumarejo y en la curva anterior al puente alcanzó los 9,3 m. En noviembre 25 y 29 ocurrieron otros dos flujos de lodos, que alcanzaron alturas de 7 m y 6 m respectivamente.

2.1.6 Estación Climatológica

El comportamiento de la estación climatológica (1,6 km S del cráter activo), fue satisfactorio. Los parámetros medidos fueron velocidad y dirección del viento, temperatura ambiental, precipitación y presión atmosférica.

Como es usual la velocidad del viento se mantuvo variando constantemente y sus mayores valores se presentaron en los meses de julio y agosto, que usualmente es la temporada de vientos fuertes. Los valores de velocidad del viento oscilaron entre 1,5 km/h y 133 km/h. El pico máximo alcanzado por la velocidad del viento ocurrió en agosto 8 (Figura 2.51).

Durante los meses de julio, agosto y septiembre, el viento apuntó la mayor parte del tiempo hacia el sector noroccidental (280° - 300°) de la zona de influencia de Galeras (Figura 2.52). Luego, empezando el mes de octubre, la dirección del viento empezó a fluctuar más, barriendo una zona que va desde el WSW (242°) hasta el norte (358°) de la zona de influencia de Galeras (Figura 2.52),



en sentido de las manecillas del reloj. Los registros indican que el viento no sopló en dirección nororiente, oriente, suroriente y sur.

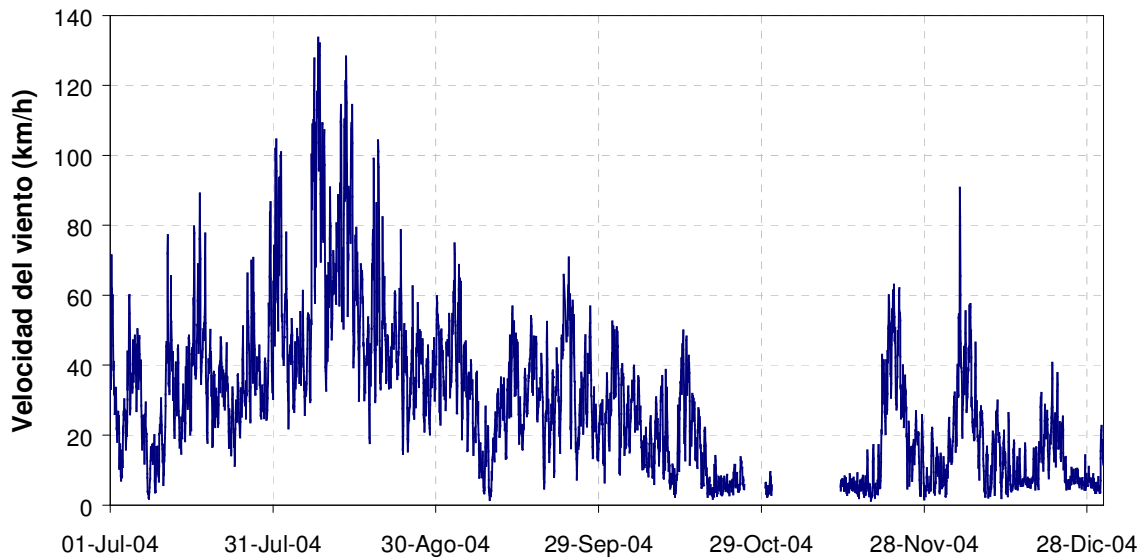


Figura 2.51. Velocidad del viento en la cima. Julio a diciembre de 2004.

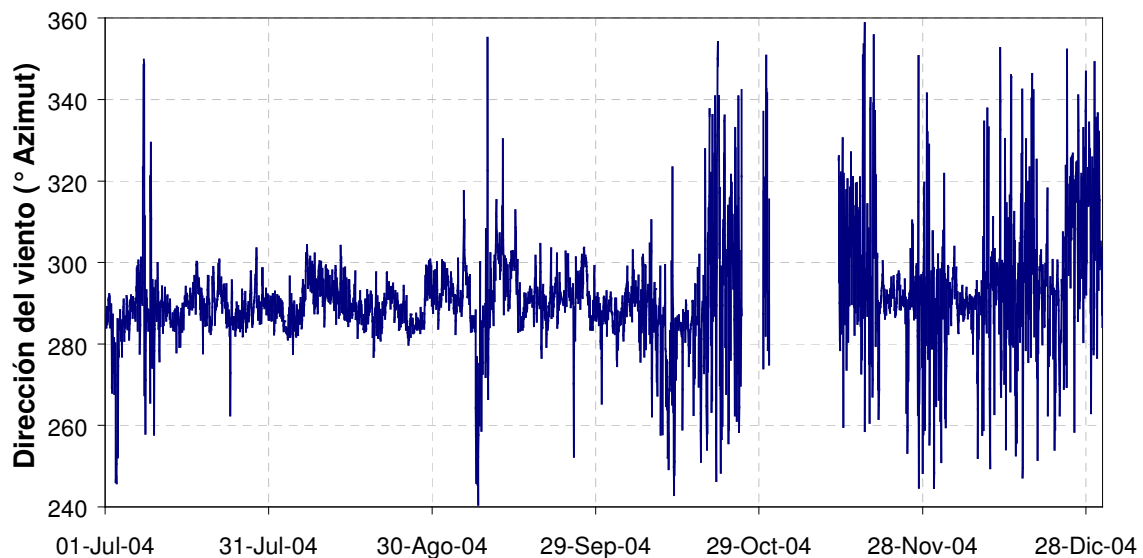


Figura 2.52. Dirección del viento en la cima. Julio a diciembre de 2004.

La figura 2.53 muestra el comportamiento de la temperatura ambiental en la cima, en la cual se puede observar una tendencia ascendente, después de la época de vientos. Aunque en los meses de octubre y noviembre llovió mucho, la temperatura en la cima es mayor que la presentada en julio



y agosto. Solamente en el mes de agosto, en algunas oportunidades la temperatura bajó del cero, descendiendo hasta -1°C , en cambio, el mayor valor que alcanzó fue de 12° a finales de diciembre. En promedio la temperatura se mantuvo entre 2°C y 3°C entre julio y septiembre y luego el promedio sube un poquito, llegando a $3,5^{\circ}\text{C}$ entre octubre y noviembre, para finalizar con un promedio de 5°C en el mes de diciembre.

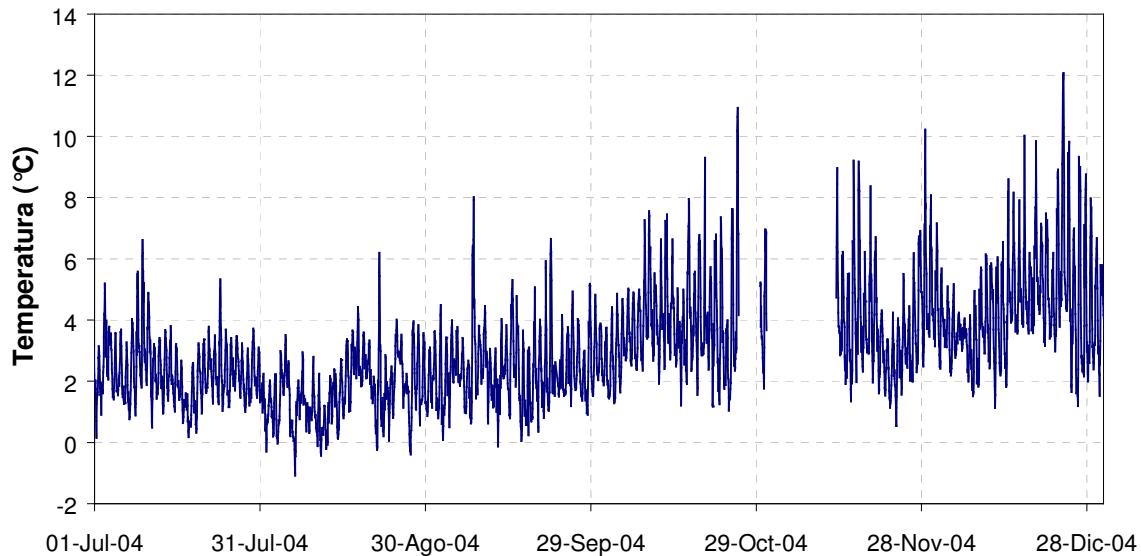


Figura 2.53. Temperatura ambiental en la cima. Julio a diciembre 2004

Los valores mayores de precipitación se presentaron durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, algunos de los cuales se asociaron con flujos de lodo secundarios que bajaron por el río Azufral. El pico de precipitación del semestre fue de $15,6 \text{ mm/hora}$ (Figura 2.54), ocurrido en octubre 20 a las 20:00 horas (tiempo local). Algunos pocos días no presentaron precipitación o precipitaciones muy bajas, pues debido a las extremas condiciones atmosféricas de la cima, es muy común que esté nublada y se presenten lluvias, lloviznas, tormentas y en algunas ocasiones granizo.

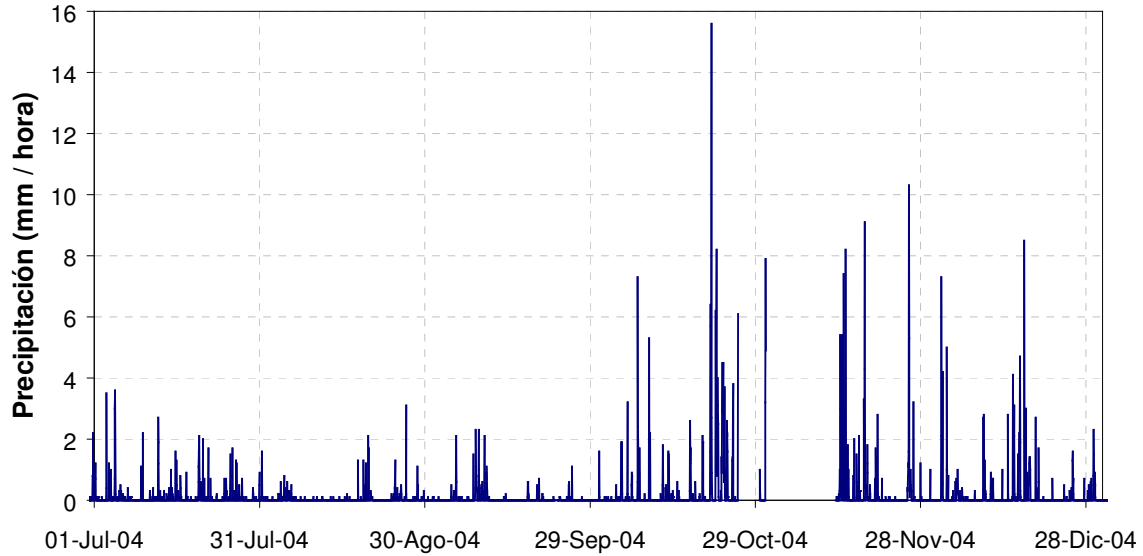


Figura 2.54. Precipitación en la cima. Julio a diciembre de 2004

La presión atmosférica fue estable durante los primeros cuatro meses del semestre, con un valor promedio de 629 hPa. Luego del problema con el rayo, los valores de la presión cambiaron a un promedio de 646 hPa (Figura 2.55) y terminó el semestre con valores de 650 hPa.

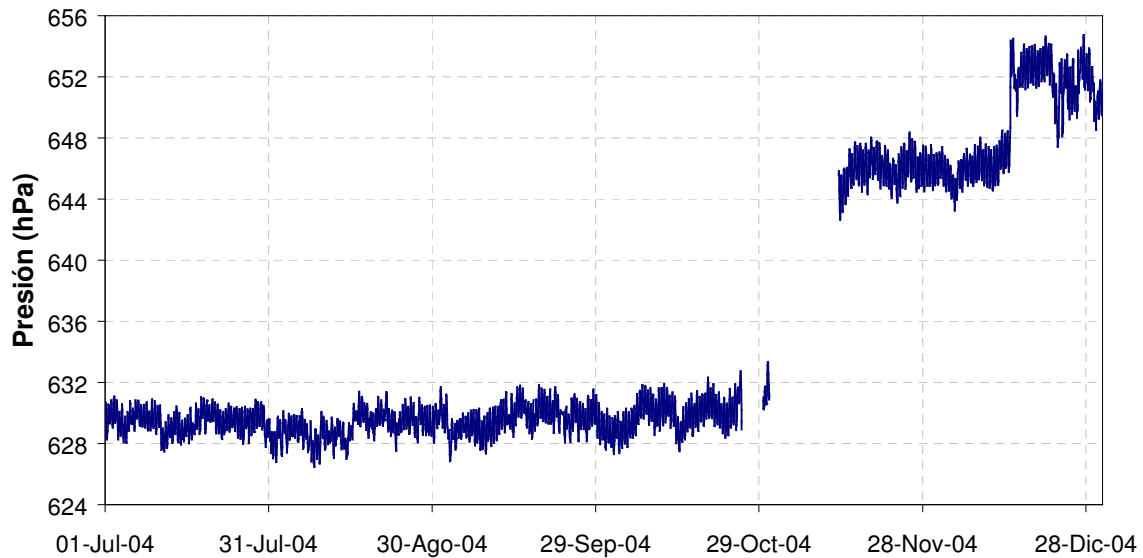


Figura 2.55. Presión atmosférica en la cima. Julio a diciembre de 2004

2.1.7 Electromagnetismo



Desde 1999, cuando se instaló en Galeras una estación telemétrica para la detección de variaciones en los campos eléctrico y magnético originados por la actividad volcánica, los datos habían mostrado variaciones relacionadas principalmente con el campo electromagnético generado por la radiación solar y algunas variaciones asociadas con el campo electromagnético debido a la actividad industrial del entorno (Figuras 1 y 2). Sin embargo a mediados de julio de 2004, cuando Galeras comenzó un nuevo período de actividad, se observaron cambios importantes en la información electromagnética, asociados principalmente con los procesos de emisión de ceniza.

Solamente los eventos de emisión de cenizas, correspondientes a los días 16 y 21 de julio de 2004, estuvieron acompañados por el registro de información electromagnética. Durante el evento del día 16 de julio, la señal sísmica de temblor asociada con este proceso se registró a las 14:01 UT; en cambio, tanto en las componentes horizontales del campo eléctrico (este CEE y norte CEN), como en las componentes magnéticas (este CME, norte CMN y vertical CMZ), se observó una variación importante hacia las 13:53 UT, pocos minutos antes del registro sísmico (Figuras 2.56, 2.57 y 2.58).

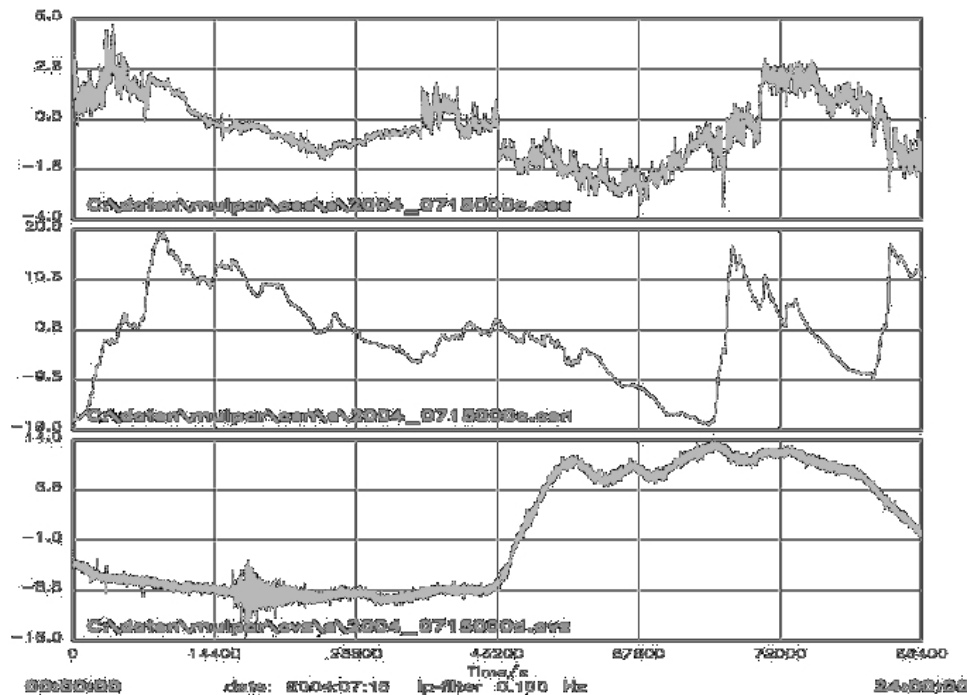


Figura 2.56 Comportamiento regular de las componentes horizontales del campo eléctrico (superior) CEE, (medio) CEN y registro sísmológico de la componente vertical de la estación ANGANÓY, correspondiente al día 15 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de $\mu\text{V} \times \text{m}$, en el campo eléctrico.

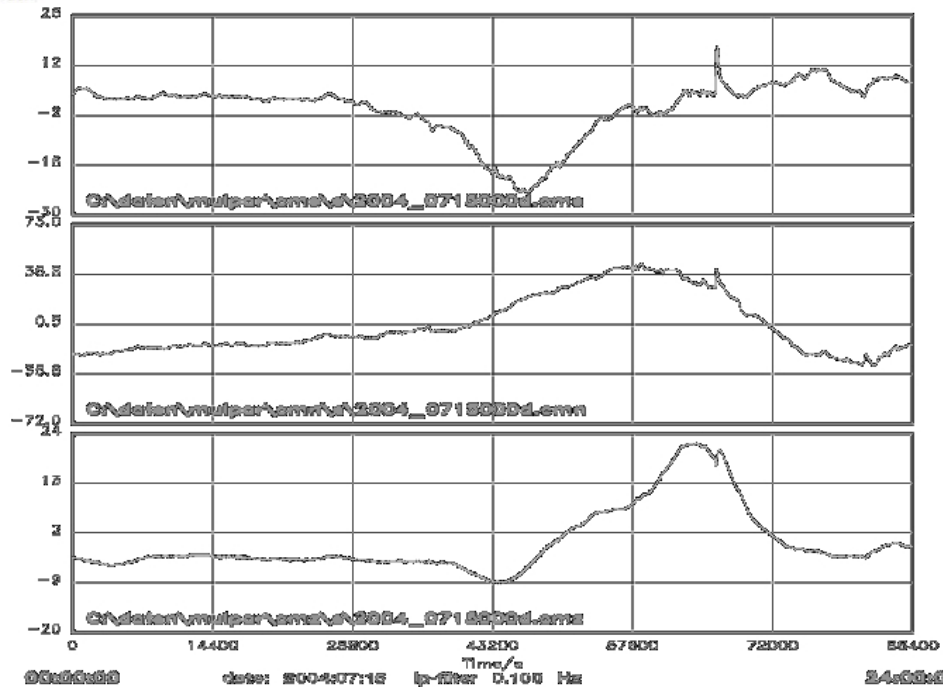


Figura 2.57 Comportamiento regular del campo magnético (superior) CME, (medio) CMN, (inferior) CMZ, del día 15 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de nT.

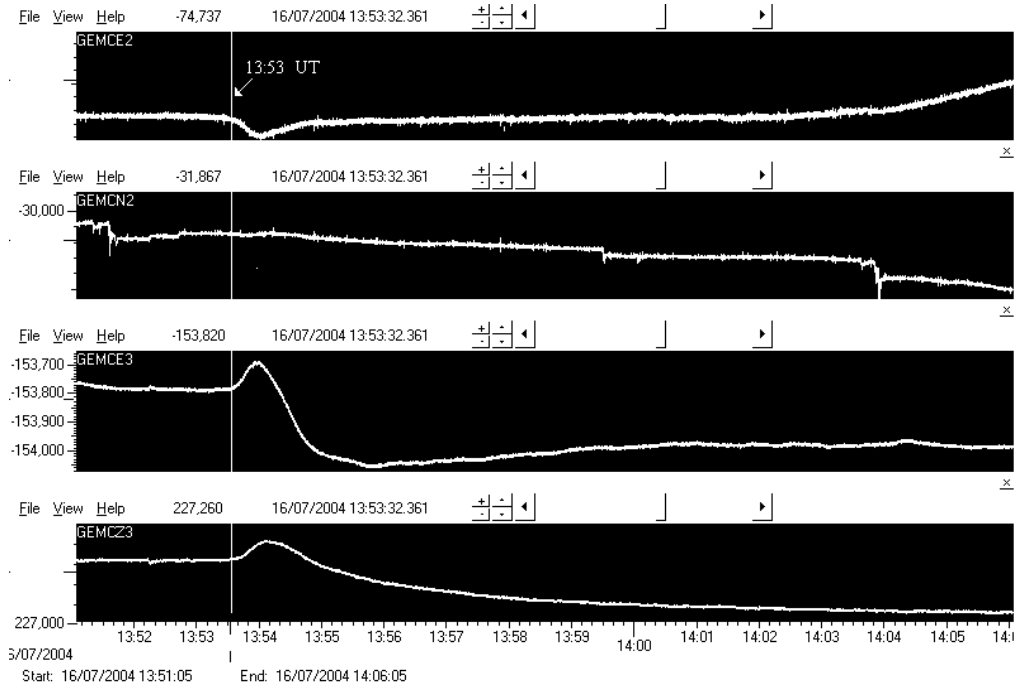




Figura 2.58 Variación relacionada con el evento de emisión de ceniza de Julio 16 de 2004, entre las 13:53 y las 14:06 (UT), registrado en cuatro de las componentes de la estación electromagnética a las 13:53 UT. Las componentes en orden descendente son CEE, CEN, CME y CMZ. Los valores de amplitud de dichas componentes no se encuentran en valores reales.

Los registros de las variaciones electromagnéticas se muestran de manera diferente en cada una de las componentes de la estación, posiblemente debido a las características en cuanto a la orientación del campo generado por la actividad volcánica (Figuras 2.59 y 2.60). Para la componente CEE se observó una variación negativa del campo, de aproximadamente $120 \mu\text{V} \times \text{m}$, recuperando su nivel original aproximadamente a las 24:00 UT; 10 horas después de iniciado el proceso. Para la componente CEN se observó una variación positiva, con un valor máximo aproximado de $380 \mu\text{V} \times \text{m}$ el día 16, manteniendo una tendencia inestable que el día 17 alcanzó una variación máxima de aproximadamente $440 \mu\text{V} \times \text{m}$, alrededor de las 10:00 UT. Posteriormente, la componente CEN comenzó una tendencia descendente de gran pendiente, hasta aproximadamente las 22:00 horas del día 17; esta tendencia con pendiente más suave, se mantuvo hasta que la estación deja de funcionar el 25 de julio aproximadamente a las 03:30 UT.

La información del campo magnético, durante la emisión del 16 de julio, mostró una pequeña variación en sus tres componentes (Figuras 2.61 y 2.62), hacia las 13:53 UT, similar a como se presentó en el campo eléctrico, asociada posiblemente con el proceso de emisión. Las variaciones no fueron tan significativas ni evidentes como en el campo eléctrico, pero es posible reconocer el cambio en la tendencia general de los datos.

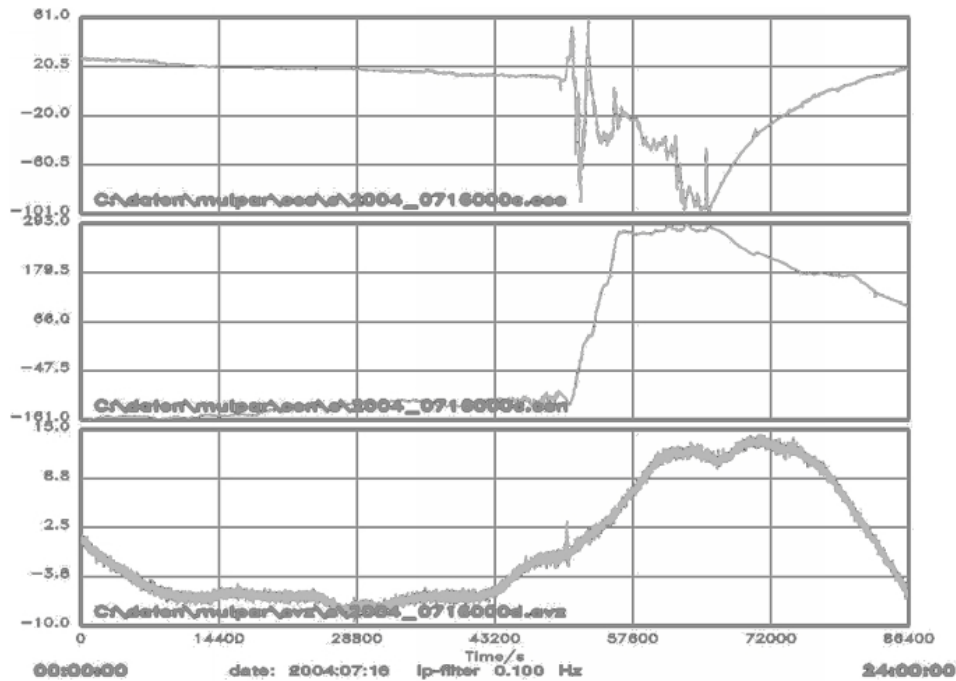




Figura 2.59 Registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las componentes horizontales del campo eléctrico y en la componente vertical de la estación sismológica de Anganoy (en orden descendente: CEE, CEN ANVZ), el día 16 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de $\mu\text{V} \times \text{m}$, en el campo eléctrico.

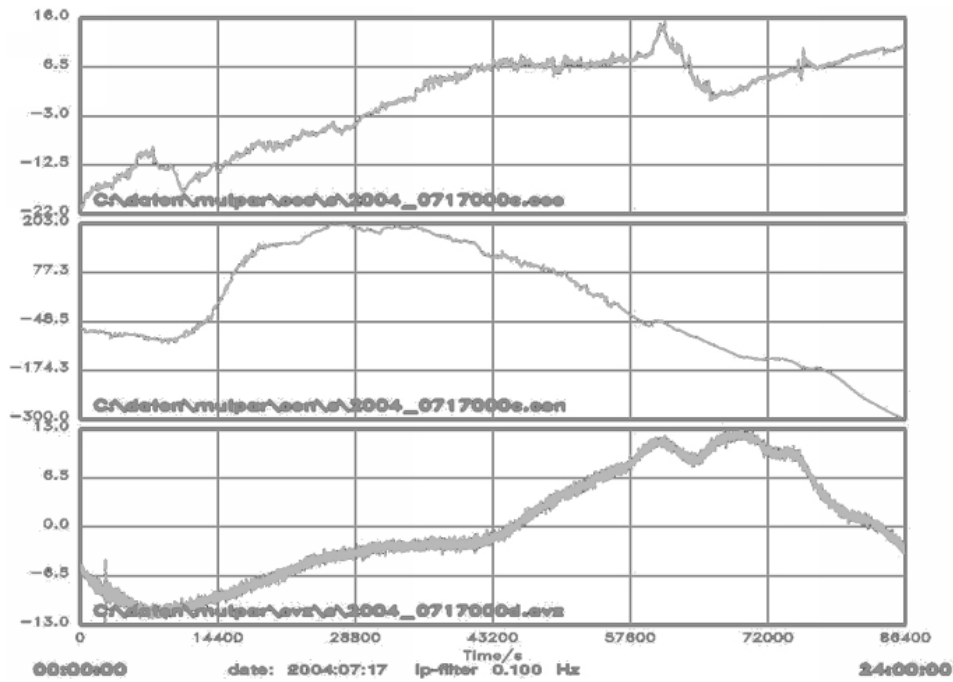


Figura 2.60 Registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las componentes horizontales del campo eléctrico y en la componente vertical de la estación sismológica de Anganoy (en orden descendente: CEE, CEN ANVZ), el día 17 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de $\mu\text{V} \times \text{m}$, en el campo eléctrico.

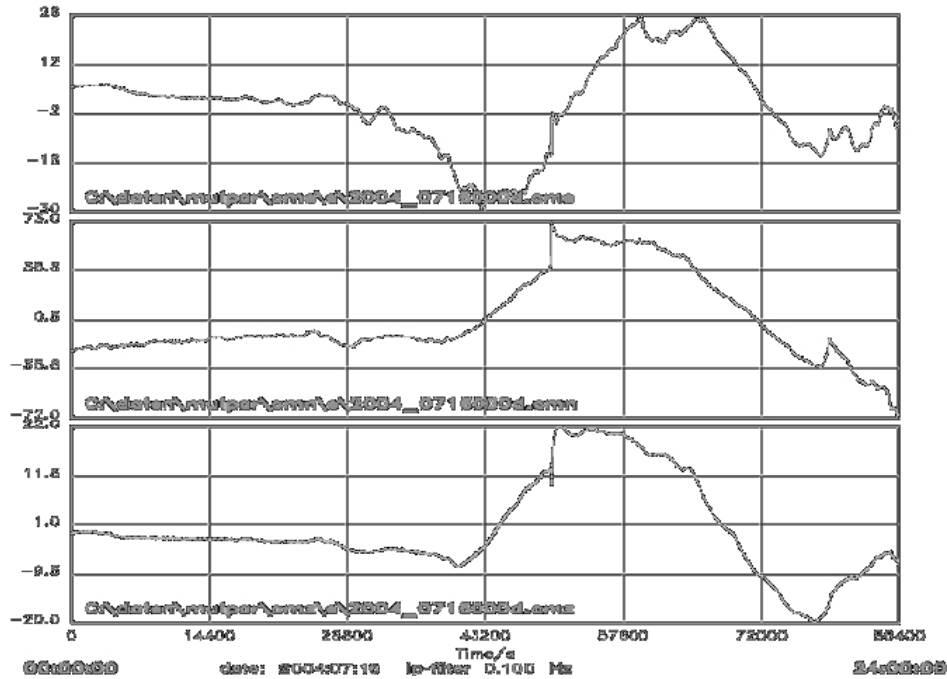


Figura 2.61 Registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las tres componentes del campo magnético (en orden descendente: CME, CMN y CMZ), el día 16 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de nT.

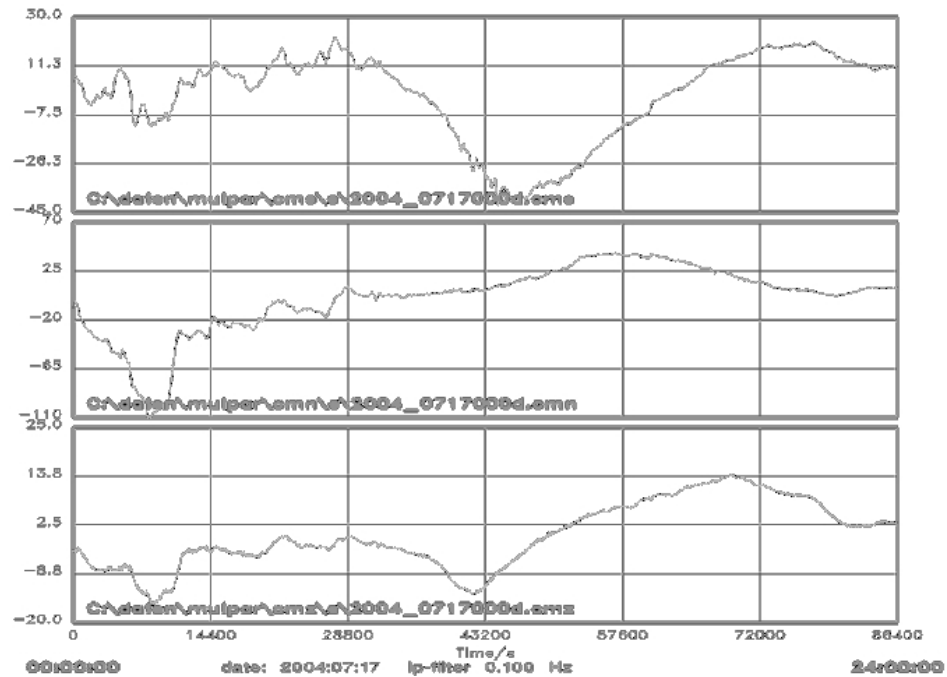
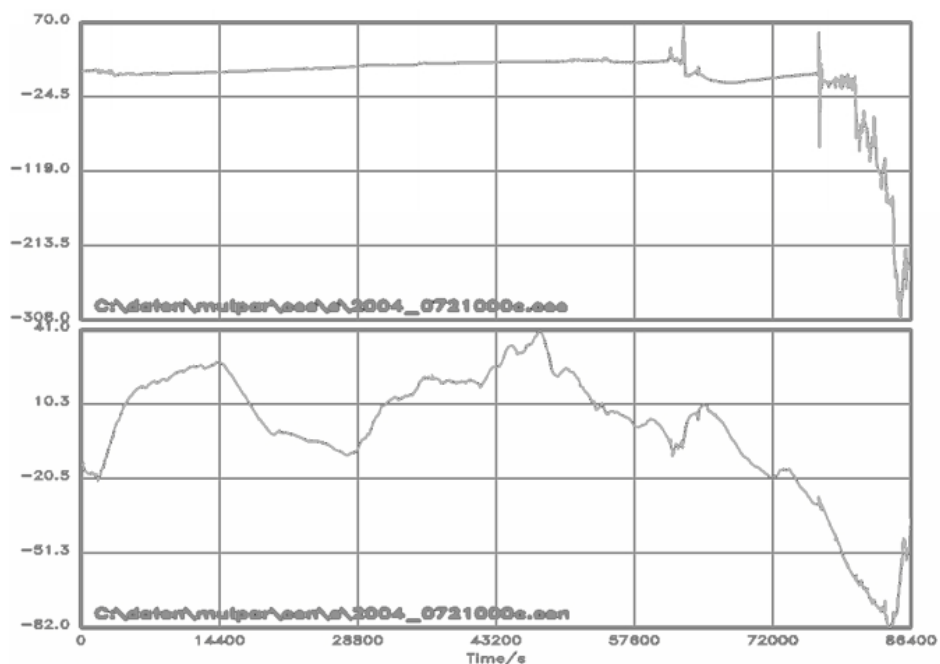




Figura 2.62 Registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las tres componentes del campo magnético (en orden descendente: CME, CMN y CMZ), el día 17 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de nT.

La emisión de ceniza del día 21 de Julio, cuyo registro sísmico fue una señal de tremor que inicio hacia las 21:16 UT, tuvo un registro particular en la estación de electromagnetismo (Figuras 2.63, 2.64, 2.65, 2.66 y 2.67). Revisando la información se observó que la componente CEE mostró una variación de amplitud no tan importante, aproximadamente a las 17:00 UT, pero que podría indicar el inicio del proceso, previo al registro sísmológico. Esta señal no es tan evidente en la componente CEN; sin embargo, posteriormente se presentó una segunda variación a las 22:20 en la componente CEE y aproximadamente a las 23:10 en CEN. El día 21, la componente CEE muestra su máxima variación de 308 $\mu\text{V} \times \text{m}$, en tanto que para el día 22, su valor máximo fue de aproximadamente 390 $\mu\text{V} \times \text{m}$, a la 01:00 y a las 03:00. El comportamiento de esta componente se estabilizó hacia las 06:00 UT, del día 22, conservando una tendencia ascendente de baja pendiente. Por otra parte, la componente CEN mostró su máxima variación el día 22 de julio aproximadamente a las 03:30 y logró un nivel de aparente estabilización el día 23 de julio a las 05:00.

En cuanto a las variaciones del campo magnético, a diferencia del proceso que se observó con la emisión del 16 de julio, durante la emisión del 21 de julio no se observaron evidencias de una respuesta inmediata en el magnetómetro. Las variaciones se presentaron aproximadamente 10 horas después de iniciado el proceso, hacia las 10:36 UT del día 22, en las tres componentes del campo magnético (Figuras 2.68 y 2.69).





Libertad y Orden

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

República de Colombia

Figura 2.63 Registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las componentes horizontales del campo eléctrico (en orden descendente: CEE y CEN), el día 21 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud, en unidades reales de $\mu\text{V} \times \text{m}$, en el campo eléctrico.

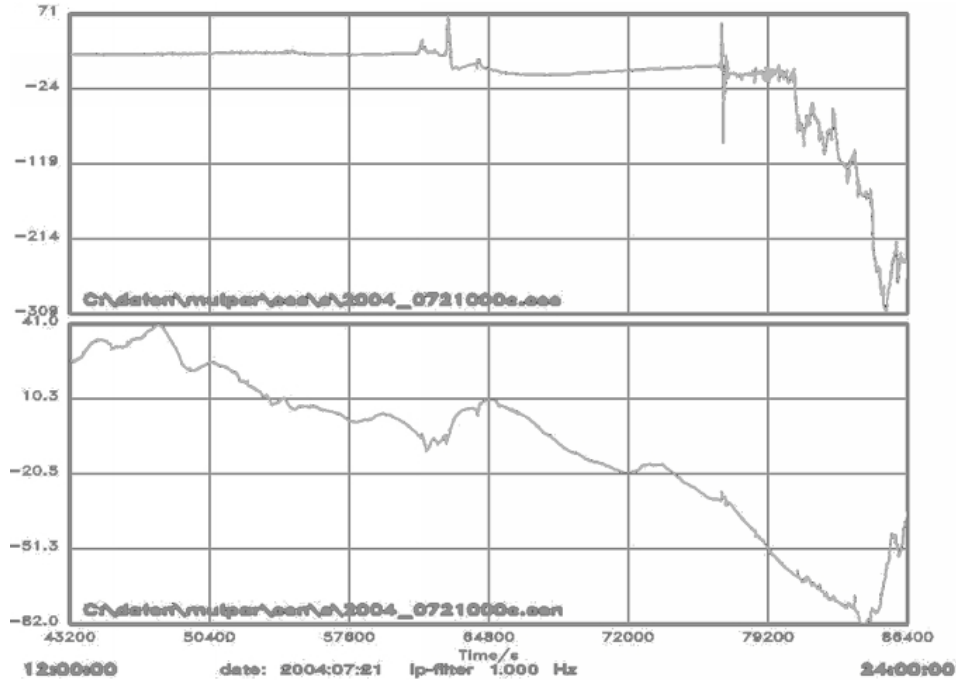


Figura 2.64 Acercamiento del registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las componentes horizontales del campo eléctrico (en orden descendente: CEE y CEN), el día 21 de julio de 2004, entre las 12:00 y las 24:00 (UT). Las gráficas muestran valores relativos de amplitud, en unidades reales de $\mu\text{V} \times \text{m}$, en el campo eléctrico.

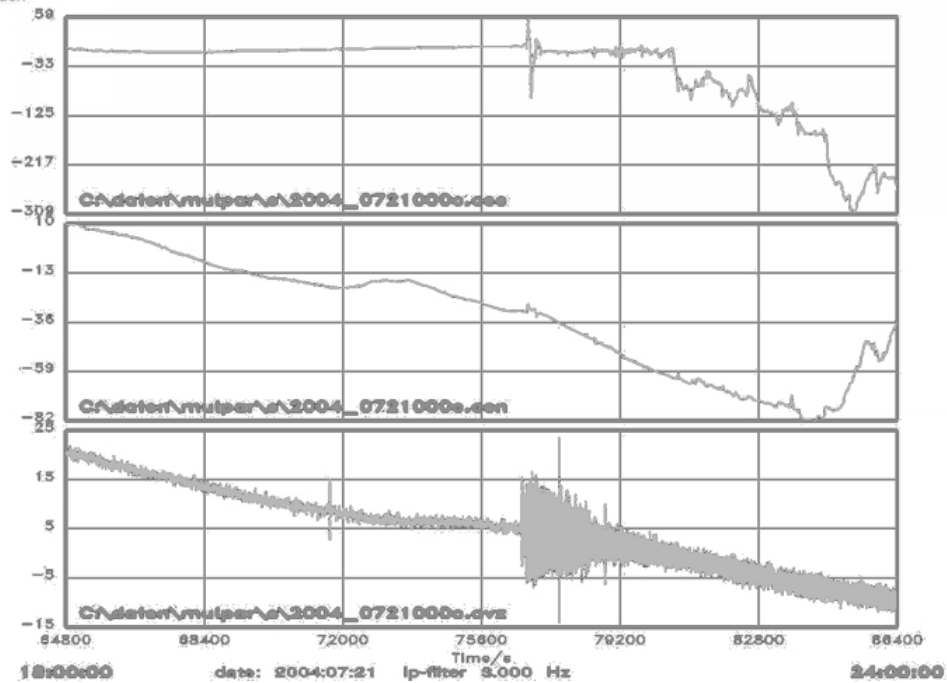
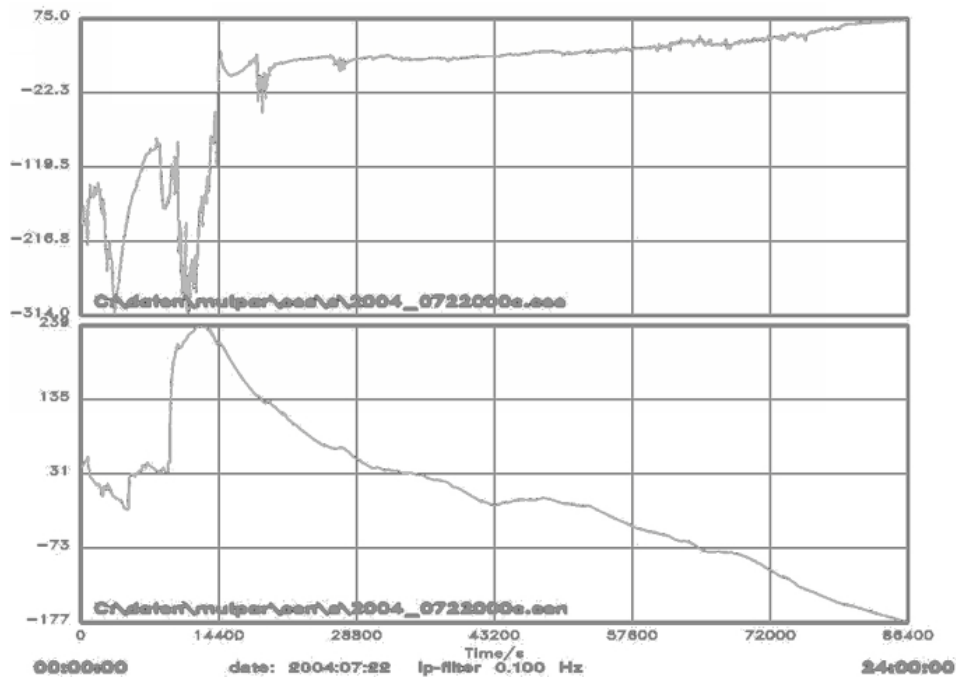


Figura 2.65 Acercamiento de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las componentes horizontales del campo eléctrico y componente vertical de la estación sismológica de Anganoy (en orden descendente: CEE, CEN, AVZ), el día 21 de julio de 2004, entre las 18:00 y las 24:00 (UT). Las gráficas muestran valores relativos de amplitud, en unidades reales de $\mu\text{V} \times \text{m}$, en el campo eléctrico.





Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

República de Colombia

Figura 2.66 Registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las componentes horizontales del campo eléctrico (superior CEE, inferior CEN), el día 22 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de $\mu\text{V} \times \text{m}$.

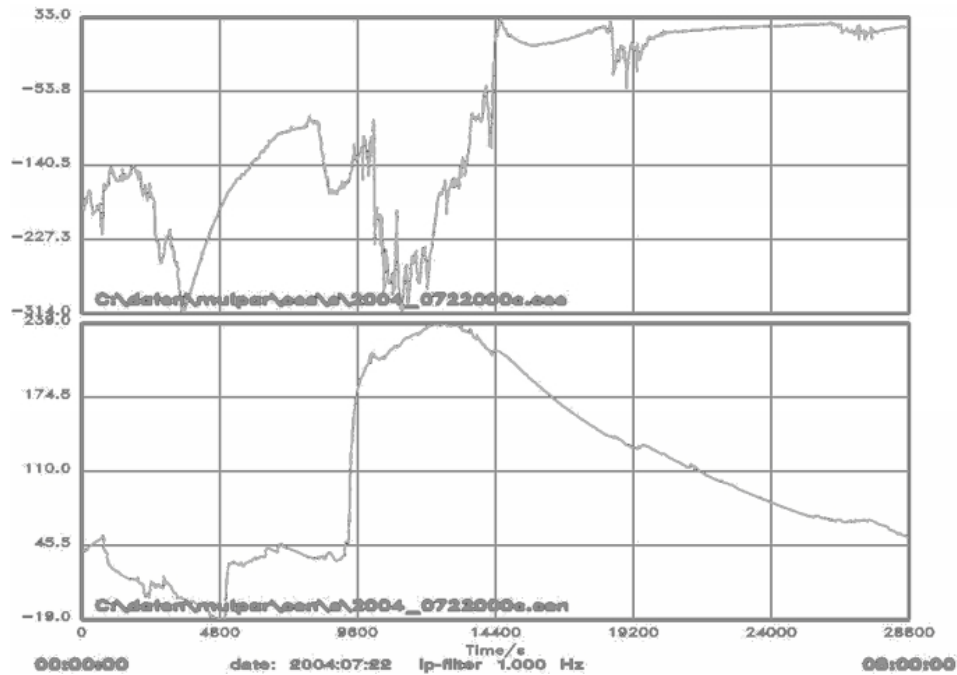


Figura 2.67 Acercamiento al registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las componentes horizontales del campo eléctrico (superior CEE, inferior CEN), el día 22 de julio de 2004, entre las 00:00 y las 08:00 (UT). Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de $\mu\text{V} \times \text{m}$.

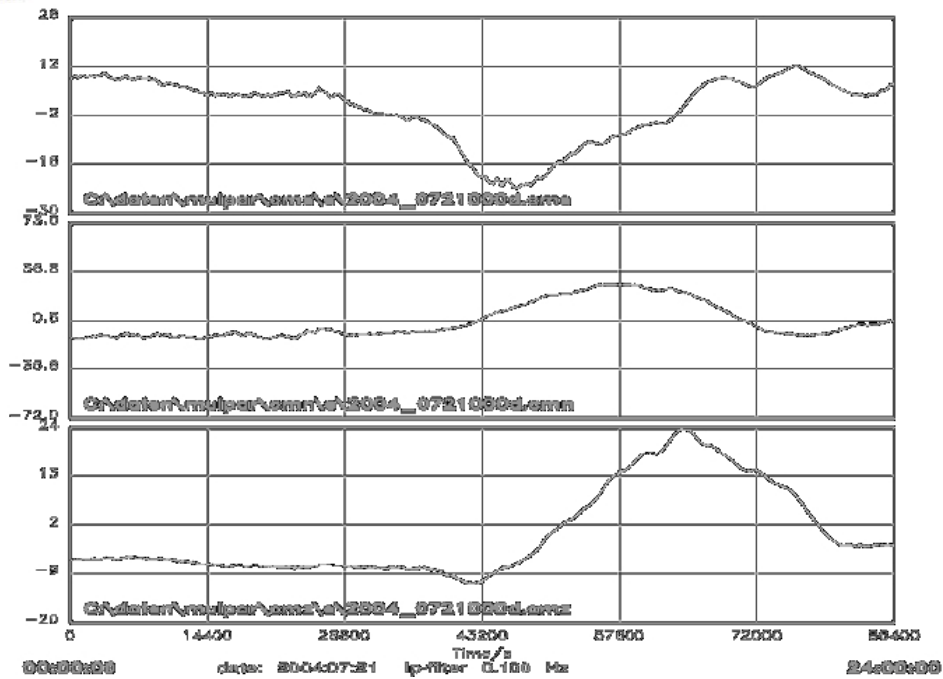


Figura 2.68 Registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las componentes del campo magnético (en orden descendente: CME, CMN y CMZ), el día 21 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de nT.

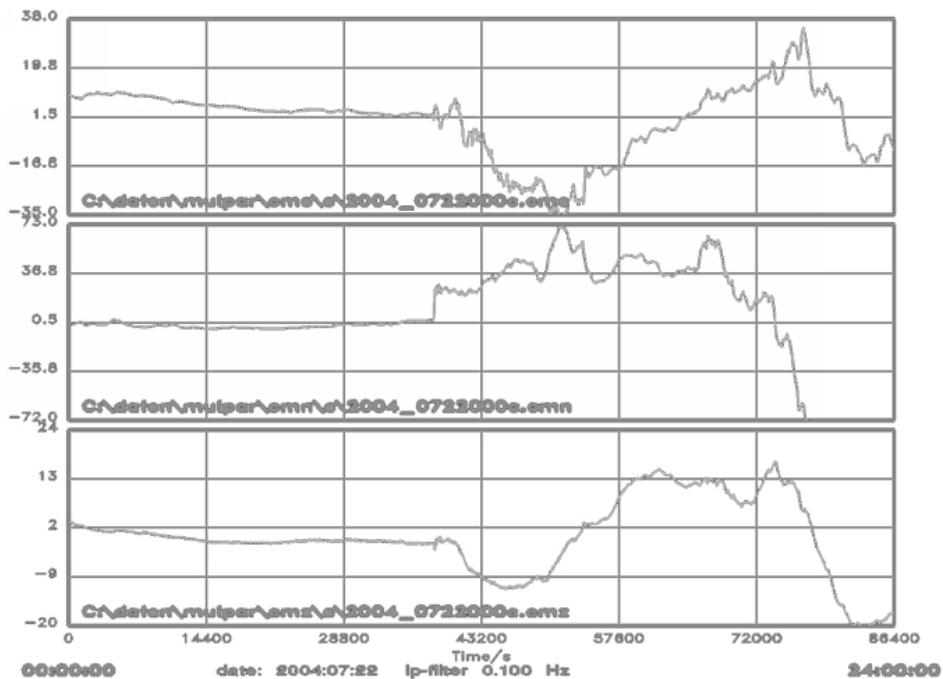
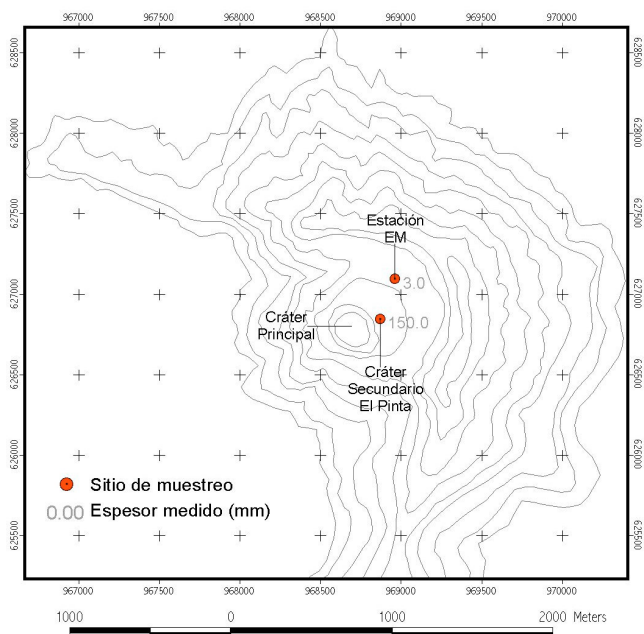




Figura 2.69 Registro de las variaciones asociadas con la emisión de ceniza en las tres componentes del campo magnético (en orden descendente: CME, CMN y CMZ), el día 22 de julio de 2004. Las gráficas muestran valores relativos de amplitud en unidades reales de nT.

2.1.8 Geología

En julio 16 de 2004 se presentó la primera emisión de cenizas, de la cual se pudo establecer la distribución de caída piroclástica (Figura 2.70) con las muestras que se tomaron en las comisiones de reconocimiento, las cuales también permitieron hacer una descripción del material.



- Depósito de caída piroclástica
- Color gris
- Tamaño ceniza (principalmente gruesa)
- Tamaño promedio 2,20 phi.
- Pobre a moderadamente seleccionada
- Compuesta por fragmentos líticos de composición andesítica

Figura 2.70 Distribución de caída piroclástica.
Emisión de cenizas de julio 16.

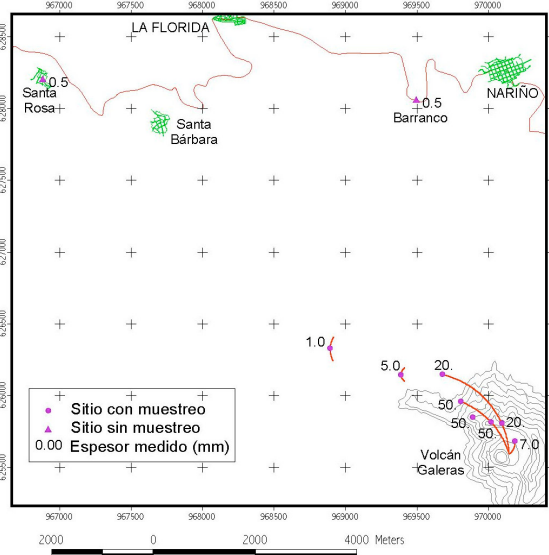


Figura 2.71 Distribución de caída piroclástica.
Emisión de cenizas de julio 21.

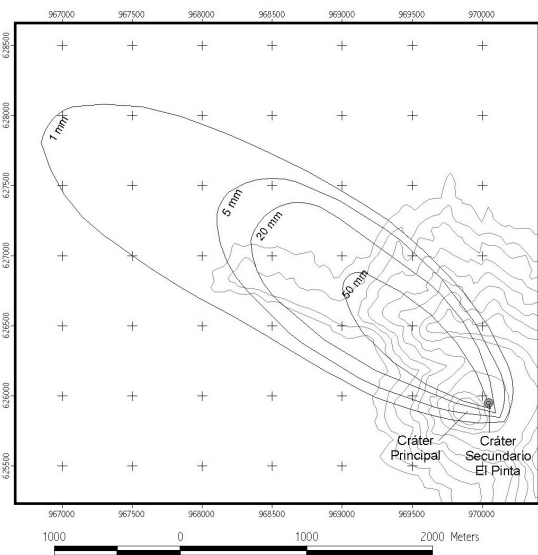


Figura 2.72 Distribución de caída piroclástica.
Emisión de cenizas de julio 21

En julio 21 de 2004 se presentó la segunda emisión de cenizas, de la cual se pudo establecer el área de cobertura en 4,51 km² (Figura 2.71) y el volumen estimado de material depositado que fue de 53.159 m³ (Figura 2.72). La descripción del material fue:

- Depósito de caída piroclástica
- Color gris
- Tamaño ceniza (> 90% gruesa)
- Tamaño promedio (2,10 – 2,50 phi)
- Moderadamente seleccionada

El material emitido en las sucesivas emisiones entre julio 28 y agosto 8, se caracterizó por:

- Depósito de caída piroclástica
- Color gris
- Tamaño ceniza (principalmente gruesa)
- Tamaño promedio 2,95 – 3,15 phi
- Pobre a moderadamente seleccionada
- Compuesta por fragmentos líticos composición andesítica

En agosto 11 y 12 se presentó una erupción vulcaniana, de la cual se pudieron tomar muestras de rocas, bloques y cenizas, las cuales fueron analizadas en laboratorio y con las cuales se pudo establecer su mapa de distribución de caída (Figura 2.73).



**INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**
República de Colombia

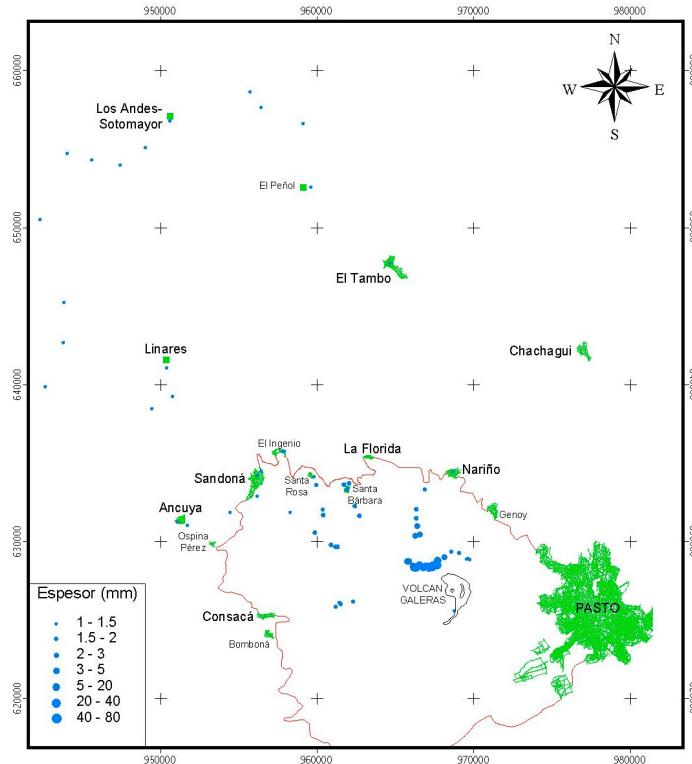


Figura 2.73 Mapa de distribución de cenizas por transporte eólico, de la erupción vulcaniana de agosto 11-12 de 2004

El material emitido tuvo las siguientes características:

- Depósito de caída piroclástica
- Color gris
- Tamaño lapilli y ceniza
- Tamaño promedio (0,30 – 2,40 phi)
- Pobre – moderadamente bien seleccionada
- Componentes (fragmentos líticos, vidrio, cristales)



**INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**
República de Colombia

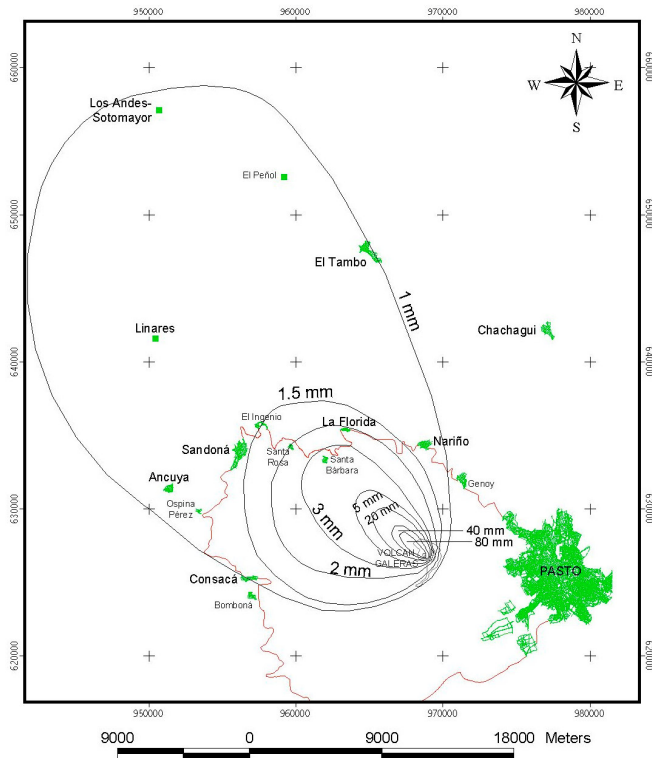


Figura 2.74 Mapa de isopacas de cenizas de la erupción vulcaniana de agosto 11-12 de 2004

El mapa de isopacas de la ceniza se puede apreciar en la figura 2.74.

Las características de la erupción fueron:

- Rumbo: N46°W
- Alcance longitudinal: 37 km
- Cobertura: 581 km²
- Volumen mínimo depositado: 1.161.960 m³
- Alcance transversal: 11km
- Explosividad: VEI 2

El mapa de distribución de caída piroclástica de proyectiles balísticos, se puede apreciar en la figura 2.75.

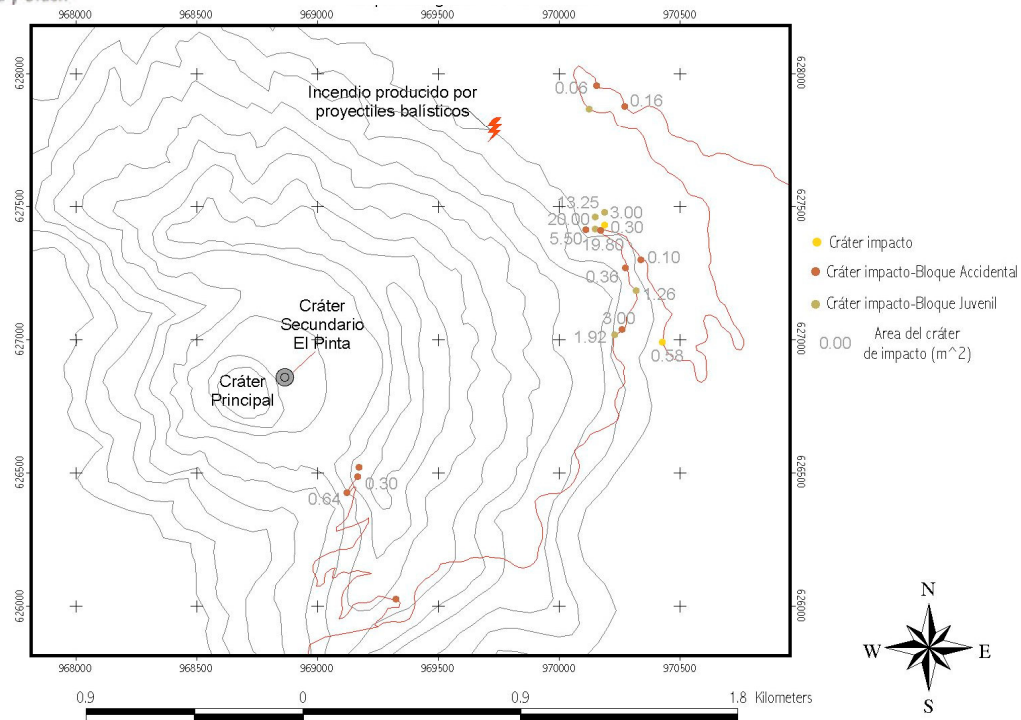


Figura 2.75 Distribución de caída piroclástica por proyección balística. Erupción vulcaniana de agosto 11-12 de 2004

Durante el mes de septiembre se pudieron tomar muestras del material depositado por las emisiones, para determinar sus características. También se elaboró el mapa de distribución de cenizas por transporte eólico (Figura 2.76)

- Depósito de caída piroclástica
- Color rosado y gris
- Tamaño ceniza
- Tamaño promedio (3,30 – 2,85 phi)
- Moderadamente bien seleccionadas
- Compuesta por fragmentos líticos composición andesítica

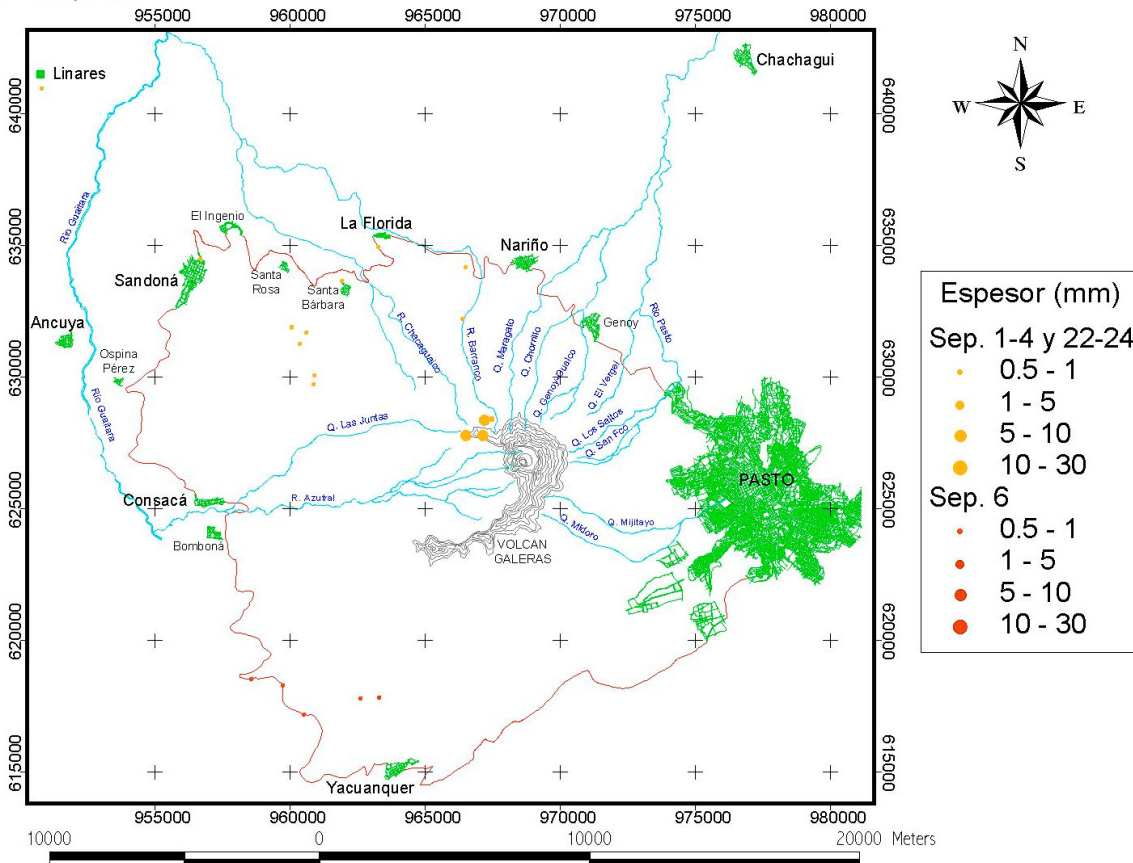


Figura 2.76 Mapa de distribución de cenizas por transporte eólico, de las emisiones de ceniza de septiembre de 2004

Durante octubre, debido al cambio de dirección del viento, las emisiones de ceniza también cambiaron su dirección. Algunos días fue posible tomar muestras de ceniza, en otros no ya que era muy fina y se precipitaba con la lluvia.

La emisión de octubre 20 se precipitó con la lluvia y tuvo una dirección SW. La muestra de la ceniza recolectada en octubre 21 tuvo una densidad seca de $1,18 \text{ g/cm}^3$ y su equivalente de roca densa (ERD) fue $1,77 \text{ g/cm}^3$. Su dirección fue hacia el oriente de Galeras, cayendo sobre la ciudad de Pasto. La muestra de ceniza de octubre 22 tuvo una densidad seca de $1,12 \text{ g/cm}^3$ y su equivalente de roca densa (ERD) fue $1,52 \text{ g/cm}^3$. También cayó sobre la ciudad de Pasto. La ceniza del 24, 25 y 26 de octubre se fue para el sur.

Los volúmenes depositados fueron:

- 20 de Octubre: 1.436 m^3
- 21 de Octubre: 4.670 m^3
- 24-25 de Octubre: 24.405 m^3



- 26 de Octubre: 1.598 m³
- TOTAL EN ESTOS DÍAS: 32.108 m³

En noviembre 21 de 2004, a las 15:44, ocurrió una nueva erupción explosiva de tipo vulcaniano en el cráter principal del volcán Galeras, la cual generó una onda de choque, sentida claramente en las poblaciones del área de influencia del volcán y en localidades al norte del volcán como Cimarrones y Chachagüí (18 y 17 km) y al suroriente como La laguna de la Cocha (20 km). La erupción fue observada claramente desde Chachagüí, Nariño y Jenoy y parcialmente entre las nubes desde la ciudad de Pasto. Durante un lapso aproximado de 15 minutos, permaneció vertical para luego ser dispersada parte hacia el sur y parte al occidente. En la erupción fue emitido material piroclástico consistente en bloques proyectados balísticamente y ceniza transportada eólicamente. Asociados con la caída de proyectiles balísticos, se generaron incendios forestales de corta duración ya que la vegetación se encontraba húmeda a causa de las precipitaciones de los días anteriores.

El material piroclástico más fino fue distribuido por el viento y depositado hacia el NW y W del volcán, con un espesor de 0,5 mm, hasta distancias verificadas de 81 km. El área mínima cubierta fue de 1.329 km², en la cual se encuentran localidades como Alto Ingenio, Alto Jiménez, San Miguel, Veracruz, Consacá, Rumipamba, San Antonio, Churupamba y Bomboná (12 km); Ancuya, El Limonal, La aguada, Cabuyal, Germán y Estación Roso (21 km); Balalaica, Guachavez, Providencia, Chagües y Santa Rosa (35 km) y Piedrancha, Ricaurte, Altaquer (81 km) (Figura 2.77). Seguramente las mayores acumulaciones fueron en las inmediaciones del cono activo, borde norte del anfiteatro y sector del Camino Real, en donde por motivos de seguridad, no se realizó reconocimiento geológico. Según lo observado, el material piroclástico estuvo conformado por partículas tamaño ceniza. El volumen mínimo de ceniza depositado, calculado a partir del mapa con la isopacas de 0,5 mm, fue de 664.568 m³, equivalente a 1,66x10⁹ kg de roca con densidad de 2,5 g/cm³. La altura de la columna eruptiva se estimó por observación visual entre 9 y 10 km. El Índice de Explosividad Volcánica (VEI), según Newhall and Self (1982) para el volumen emitido corresponde al valor 1, el cual cataloga la erupción como pequeña. El material piroclástico proyectado balísticamente en forma de bloques, generó cráteres de impacto con diámetros entre 80 cm y 1,20 m y profundidades de hasta 70 cm hasta distancias de 2 km en el sector oriental, donde los bloques se encontraron altamente fragmentados con tamaños máximos de orden decimétrico y tibios, aun después de 21 horas de la erupción. En la cima del edificio volcánico, se observó una mayor densidad de cráteres de impacto con diámetros variables desde unos pocos centímetros hasta 2 o 3 metros y bloques con diámetros cercanos al metro.

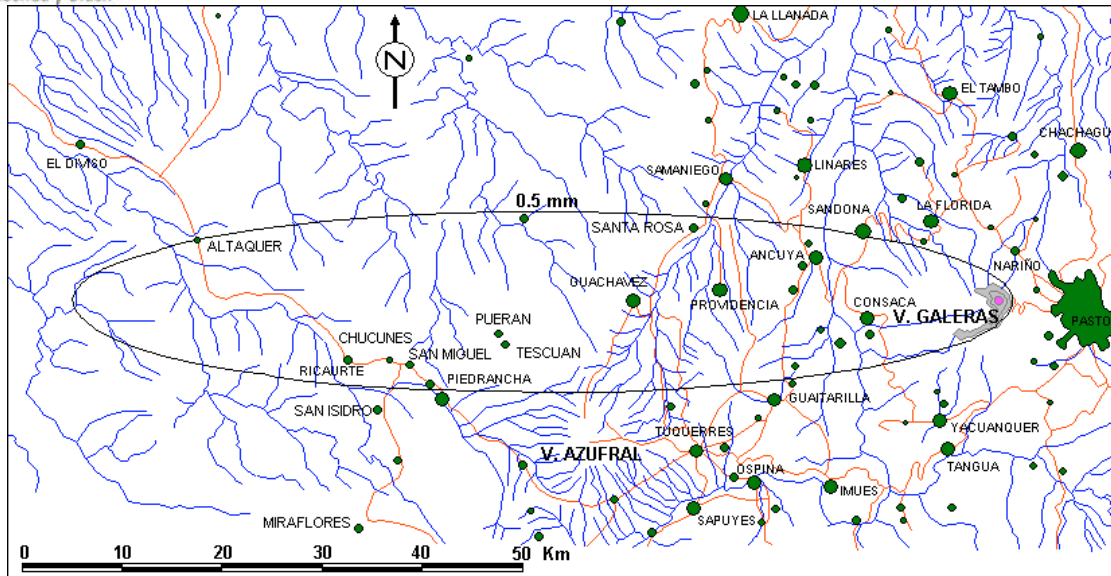


Figura 2.77 Mapa de la isopaca de 0,5 mm del material piroclástico transportado eólicamente en la erupción del 21 de noviembre de 2004

La tabla 2.2 resume las características de los eventos de emisión y erupción ocurridos durante el segundo semestre de 2004

Tabla 2.2. Resumen de las características de los eventos de emisión y erupción del segundo semestre de 2004

Fecha	Hora LT	Foco	Altura (km)	Dist.(km)	Direcc.	Material
Julio 16	09:01	El Pinta	-	1,3	NE	Ceniza
Julio 21	16:16	El Pinta	0,5	12	NW	Ceniza
Julio 28 - Agosto 8	-	El Pinta	Variable	40	NW	Ceniza
Agosto 11-12	23:49- 00:02	Cráter Principal	11 (Calculada)	37	NW	Ceniza, Lapilli, bloques
Septiembre	-	Cráter Principal	Variable	23 y 13	NW- SW	Ceniza rosada y gris
Octubre- Noviembre	-	Cráter Principal	Variable	11	Variabl e	Ceniza
Noviembre 21	15:44	Cráter Principal	10	80,5	W	Ceniza, lapilli y bloques

2.1.9 Termografía



Gracias a la cooperación de la Fuerza Aérea Colombiana, se realizaron muchos sobrevuelos para observar en forma directa el fenómeno en la cima y documentarlo con fotografías digitales, videos y fotografías térmicas. A continuación se presentan las fotografías térmicas más destacadas, tomadas durante el segundo semestre de 2004.



Figura 2.78 Fotografías digital y térmica tomadas en el cono activo de Galeras. Actividad característica entre julio 28 y agosto 10 de 2004.

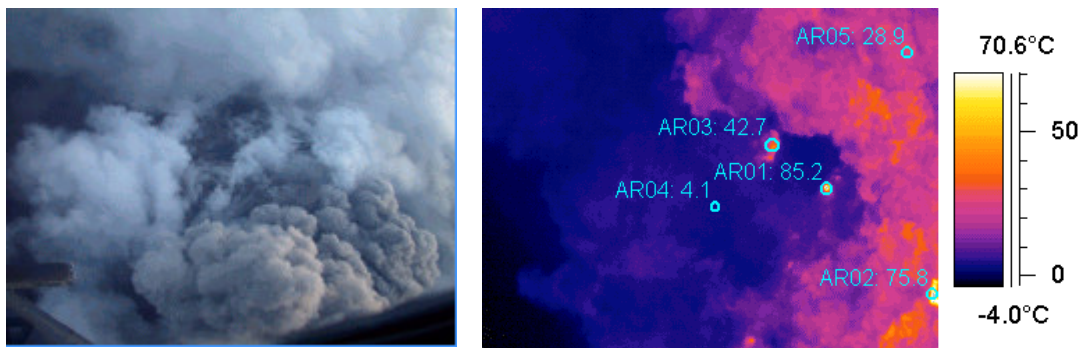


Figura 2.79 Fotografías digital y térmica tomadas en el cono activo de Galeras en septiembre 7 de 2004

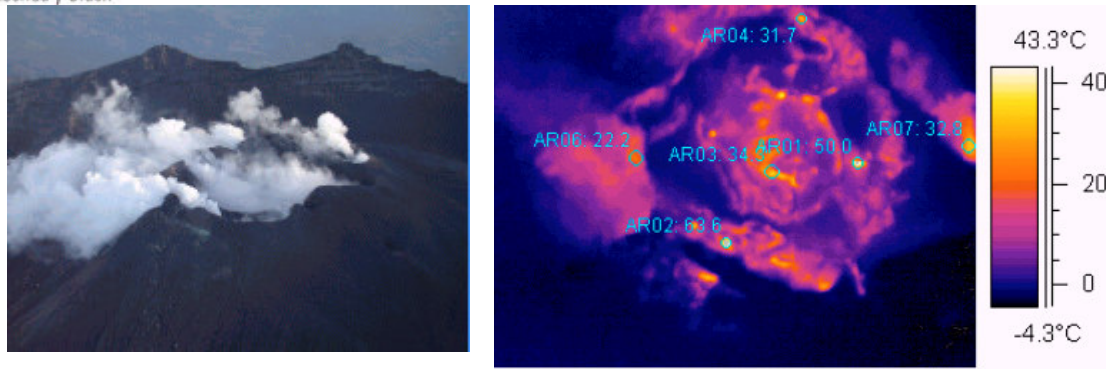


Figura 2.80 Fotografías digital y térmica tomadas en el cono activo de Galeras en septiembre 14 de 2004

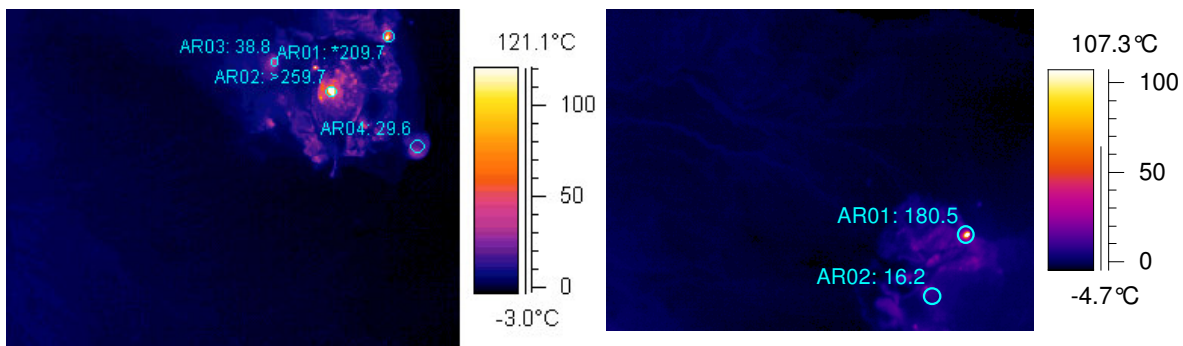


Figura 2.81 Fotografías térmicas tomadas en el cono activo de Galeras en octubre 9 y octubre 21 de 2004

2.2 CONCLUSIONES

- Los inconvenientes normales y además problemas adicionales generados por el aumento de la actividad del volcán Galeras, afectaron a los diferentes equipos que conforman la red de vigilancia. Los principales problemas se sufrieron por que bloques incandescentes de varios tamaños destruyeron equipos e instalaciones en la cima. La ceniza depositada en las sucesivas emisiones tapó los paneles solares, causando un rendimiento menor en las baterías del sistema de alimentación de las estaciones. En la época de lluvias por la ionización del aire a causa de la ceniza, algunos rayos también ocasionaron problemas a los equipos.
- Las principales pérdidas de equipos sufridas por la red de vigilancia fueron, las estaciones sísmicas Achalay de banda ancha y Olga de corto periodo, la estación de electromagnetismo Cráter y la estación de Geoquímica.
- Los eventos más destacados de la nueva actividad fueron los eventos de emisión de cenizas de julio 16, julio 21 y las erupciones vulcanianas de Agosto 11-12 y Noviembre 21.



- El incremento de los eventos VT fue menor que el mostrado por los eventos asociados con tránsito de fluidos (LP y Tremor). En total se registraron 1.931 eventos VT, con un pico máximo de ocurrencia de 221 eventos, presentado en septiembre 9.
- Cuatro eventos VT se reportaron sentidos, el mayor de ellos con una ML de 3,9 grados, ubicado a 5 km al SW del cono activo.
- La principal fuente generadora de sismos VT fue la zona del Cráter activo, formando un abanico con tendencia hacia el occidente y noroccidente del mismo, con eventos de magnitudes hasta 2,0 grados.
- La actividad asociada con procesos de dinámica de fluidos aumentó dramáticamente su aporte, siendo mayor que el de los eventos VT. En total se registraron 3.132 eventos LP con un pico máximo de ocurrencia de 386 sismos LP, presentado en septiembre 8 de 2004.
- Desde noviembre de 2001 no se presentaban sismos de tipo Tornillo, en este semestre se registraron 39 en total, con un número diario máximo de 6 eventos, ocurrido en septiembre 14.
- Hubo dos periodos de ocurrencia de tornillos, durante los enjambres sísmicos de septiembre y diciembre, con 21 y 17 eventos respectivamente. Antes de la erupción de noviembre 21 solamente se presentó un evento de tipo Tornillo, con una duración de 130 s y una frecuencia dominante de 1,2Hz.
- El número total de episodios de tremor fue de 2.210, con un pico de ocurrencia de 56 eventos, presentado en noviembre 5. Algunos de estos episodios de tremor tuvieron duraciones de días, siendo el más largo el ocurrido entre el 11 y el 14 de agosto, el cual duró 4,1 días.
- La mayoría de los episodios de tremor se asociaron con columnas de ceniza de color gris y reportes de caída de ceniza especialmente en las veredas altas de La Florida, Sandoná y Consacá.
- En total hubieron 963 eventos Híbridos con un pico de ocurrencia de 242 eventos, presentado en septiembre 8.
- Los vectores Chorrillo y Lindero del sector norte de Galeras, mostraron una tendencia de inflación y las medidas posteriores a la erupción de noviembre 21 mostraron un cambio indicando deflación.
- En el sector sur, los vectores Cobanegra, La Y y Telecom, mostraron una tendencia de inflación, muy acentuada en Cobanegra. En las medidas tomadas hasta finales de diciembre la tendencia en estos vectores cambió a deflación.
- En el sector oriental los vectores Piedras, La Mica y El Inclinómetro, hasta las últimas medidas en diciembre no cambiaron su comportamiento, mientras Piedras indicó deflación, La Mica y El Inclinómetro se mantuvieron con una tendencia de inflación.
- El vector La Quebrada en el occidente mostró una tendencia de deflación hasta octubre, posteriormente y hasta diciembre esta tendencia cambió a inflación.
- La mayoría de vectores mostraron una tendencia ascendente, asociada posiblemente a una inflación del volcán como respuesta a un ascenso de magma. Después de la erupción del 21 de noviembre, algunos vectores cambiaron de tendencia indicando un posible relajamiento del sistema.



- El inclinómetro Peladitos mostró cambios que se asume eran reflejo de la actividad de Galeras, pues luego del canje de sensor, los cambios en los datos continuaron, hasta que por problemas con el equipo la estación salió de funcionamiento.
- El inclinómetro Cráter también mostró cambios, que se asume fueron producidos por la actividad de Galeras, aunque fueron menores que los presentados en Peladitos. Es de anotar que el sensor de esta estación también fue reemplazado.
- Mientras hubo datos telemétricos de temperaturas, Deformes aumentó su temperatura de 88°C a 91°C; La Joya aumentó de 89°C a 98°C y Las Chavas de 291°C a 311°C.
- El CO₂ mostró una tendencia claramente descendente comenzando en 3,71% de volumen en julio 1 y terminando con un valor de 3,06% de volumen en julio 27, cuando se perdió su señal. En cuanto al SO₂, la gráfica muestra una línea muy estable en 3,18 V, pero es probable que el sensor no estuviera funcionando bien, por lo cual estos datos no son confiables.
- En general las estaciones de la Línea Norte mantuvieron sus emisiones por debajo de los 1.000 pCi /L y los picos de emisión por debajo de los 2.000 pCi/L, también se notó una ligera tendencia ascendente, sin tener en cuenta los picos.
- En general las emisiones medidas en las estaciones de la Línea Norte, fueron menores de 3.000 pCi/L y las mayores anomalías se presentaron en los meses de julio y agosto con picos de emisión que superaron los 7.000 pCi/L.
- El material depositado por la emisión de cenizas de julio 16 se restringió al cono activo en cercanías del cráter adventicio El Pinta. El clima impidió su observación.
- La emisión de ceniza de julio 21 fue observada desde Pasto, estimándosele una altura de 500 m, que se tendió en dirección NW, el material se acumuló en el sector noroccidental del edificio volcánico, afectando principalmente la cuenca del río Barranco y las veredas de Santa Rosa y Santa Bárbara (Sandóná).
- Debido a las continuas emisiones de ceniza ocurridas en agosto, septiembre, octubre y noviembre, el Centro Regulador de Urgencias y Emergencias de la Gobernación, enviaba diariamente los reportes de caída de ceniza, principalmente en los municipios de Consacá, Sandóná, La Florida y Nariño, pues el viento mayoritariamente mantenía la dirección NW. Solamente hasta el mes de octubre el viento cambió y la ceniza cayó en Pasto y los sectores del sur y del oriente de Galeras.
- La ceniza afectó calles, techos, cultivos y las corrientes de agua que bajan de Galeras en el sector noroccidental, como las quebradas Chorrillo, Barranco, Chacaguaico, el río Azufral, etc., que también por el arrastre del material depositado en las laderas del volcán debido a las lluvias, por lo cual su color se tornó gris y aumentó dramáticamente la turbiedad, ocasionando la muerte de la fauna y la microfauna que habita en ellas.
- La explosión-erupción de agosto 11-12 no se pudo observar debido a la niebla que cubría la cima volcánica y la oscuridad de la noche. Muchas personas en sitios alejados como Aranda reportaron haber sido despertados por un fuerte ruido, similar al paso de un camión pesado que duró por varios segundos y reportaron también vibración de ventanas y puertas. Esta erupción



emitió material de mayor tamaño, incluyendo bloques incandescentes que provocaron algunos incendios forestales.

- La columna de la erupción de noviembre 21 una altura aproximada entre 9.000 y 10.000 m, la cual se observó desde Pasto, acompañada de un estallido. Algunos de los piroclastos lanzados produjeron incendios. El lunes 22 de noviembre se cerró el aeropuerto por prevención. En la cima volcánica se encontraron huellas de impactos de bloques de todos los tamaños, incluso hasta 2 km de distancia del cráter activo. Uno de los bloques encontrados evidenció la presencia de magma juvenil.
- Entre septiembre y noviembre por la época lluviosa, fueron recurrentes los flujos de lodo secundarios, formados por el arrastre de la ceniza depositada, los cuales bajaron por el río Azufral (Consacá). La mayoría de estos flujos o avalanchas fueron moderados y algunos elevaron el nivel del río hasta 8 m.
- Pese a que los cambios en la actividad volcánica comenzaron a presentarse en los registros sísmológicos desde finales de junio de 2004, la información procedente de la estación de electromagnetismo, no mostró cambios significativos durante estos procesos iniciales, únicamente se evidenciaron durante las emisiones de ceniza; posiblemente porque los equipos de electromagnetismo no son tan sensibles a actividad de menor energía. Sin embargo no se debe descartar la continuación del monitoreo electromagnético dentro de la vigilancia volcánica, ya que debido a la falta del sistema de alimentación del equipo, la estación no continuó su funcionamiento y no fue posible establecer como pudo ser la respuesta a los procesos subsiguientes al evento del 21 de Julio.
- Las posibles explicaciones de las variaciones electromagnéticas a los procesos de emisión pueden tener su origen en los procesos termomagnéticos, piezoeléctricos (o piezomagnético), electrocinéticos etc., que debidos a los procesos asociados con la actividad volcánica, cambian las condiciones de resistividad o las propiedades magnéticas del medio.
- Es importante contar con los datos del magnetómetro ubicado en la estación de Fúquene, para tener una herramienta adicional que nos permita asociar o descartar los procesos observados en la estación de electromagnetismo de Galeras, a la actividad volcánica propiamente dicha y no a efectos de actividad externa.
- El material de la emisión de julio 16 fue un depósito de caída piroclástica, de color gris, con tamaño ceniza (principalmente gruesa), promedio 2,20 phi, pobre a moderadamente seleccionada, compuesta por fragmentos líticos de composición andesítica.
- La cobertura de la emisión de cenizas de julio 21 fue de 4,51 km² y su volumen estimado de material depositado fue de 53.159 m³. El material fue un depósito de caída piroclástica, de color gris, tamaño ceniza (> 90% gruesa), tamaño promedio (2,10 – 2,50 phi), moderadamente seleccionada
- El material emitido en las sucesivas emisiones entre julio 28 y agosto 8, se caracterizó por ser un depósito de caída piroclástica, de color gris, tamaño ceniza (principalmente gruesa), tamaño promedio 2,95 – 3,15 phi, pobre a moderadamente seleccionada, compuesta por fragmentos líticos composición andesítica.



- El material emitido en la erupción de agosto 11-12, se caracterizó por ser un depósito de caída piroclástica, color gris, tamaño lapilli y ceniza, tamaño promedio (0,30 – 2,40 phi), pobre a moderadamente bien seleccionada, compuesta por fragmentos líticos, vidrio y cristales.
- La erupción de agosto 11-12 se caracterizó por tener un rumbo N46°W, un alcance longitudinal de 37 km (Hasta Sotomayor), cobertura de 581 km², un volumen mínimo depositado de 1.161.960 m³, un alcance transversal de 11km y explosividad VEI 2.
- El material emitido en septiembre fue un depósito de caída piroclástica, de color rosado y gris, con tamaño ceniza, tamaño promedio (3,30 – 2,85 phi), moderadamente bien seleccionadas, compuesta por fragmentos líticos composición andesítica.
- El volumen depositado en los días que cayó ceniza en octubre fue de 32.108 m³.
- La erupción del 21 de noviembre emitió material piroclástico tamaño ceniza hasta distancias verificadas de 81 km. El área mínima cubierta fue de 1329 km², el volumen mínimo de ceniza depositado fue de 664.568 m³, equivalente a 1,66x10⁹ kg de roca con densidad de 2,5 g/cm³. El Índice de Explosividad Volcánica (VEI), según Newhall and Self (1982) para el volumen emitido corresponde al valor 1, el cual cataloga la erupción como pequeña. El material piroclástico proyectado balísticamente en forma de bloques, generó cráteres de impacto con diámetros entre 80 cm y 1,20 m y profundidades de hasta 70 cm hasta distancias de 2 km en el sector oriental, donde los bloques se encontraron altamente fragmentados con tamaños máximos de orden decimétrico y tibios, aun después de 21 horas de la erupción.
- La mayor temperatura tomada con la cámara térmica fue de 267°C, sobre el cráter adventicio El Pinta en medio de la actividad característica de Galeras, entre julio 28 y agosto 10 de 2004.

2.3 BIBLIOGRAFIA

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Boletín Semestral de Actividad de los Volcanes Colombianos, Enero a Junio 2004. Informe inédito. Pasto. Septiembre 2004.

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Erupciones Vulcanianas y Emisiones de Ceniza del Volcán Galeras entre Julio y Noviembre de 2004. Cortés J. Gloria P., y otros. X Congreso Colombiano de Geología. Febrero 2005.

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Generalidades sobre la actividad del volcán Galeras entre junio 27 de 2004 y febrero 25 de 2005. GOMEZ M. Diego M., y otros. X Congreso Colombiano de Geología. Febrero 2005.

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Informe Actividad Volcán Galeras Junio 27 - Agosto 8 de 2004. Informe inédito. Pasto. Julio 2004.



**INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**
República de Colombia

2.4 PERSONAL PARTICIPANTE

Personal Observatorio Vulcanológico de Pasto

Gómez Martínez Diego Mauricio	Ponce Villarreal Anita Patricia
Laverde Castaño Carlos Andrés	Silva Parra Betty
Narváz Medina Lourdes	Torres Corredor Roberto Armando
Ortega Estupiñán Adriana Micaela	Grupo de Estudiantes