



**BOLETÍN SEMESTRAL DE ACTIVIDAD DE VOLCANES DE NARIÑO  
ENERO A JUNIO DE 2009**

**San Juan de Pasto, marzo de 2010**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA - INGEOMINAS

**REPÚBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
INGEOMINAS**

**BOLETÍN SEMESTRAL DE ACTIVIDAD DE VOLCANES DE NARIÑO  
ENERO A JUNIO DE 2009**

Edición:

**ADRIANA MICAELA ORTEGA ESTUPIÑAN**

**San Juan de Pasto, marzo de 2010**

## **2. VOLCANES DE NARIÑO**

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
2. VOLCANES DE NARIÑO	4
2.1 VOLCAN GALERAS	5
2.1.1 RED DE VIGILANCIA	5
2.1.2 SISMOLOGÍA	12
2.1.2.1 Episodios eruptivos del primer semestre de 2009	27
2.1.2.1.1 Episodio eruptivo del 14 de febrero de 2009	27
2.1.2.1.2 Episodio eruptivo del 20 de febrero de 2009	36
2.1.2.1.3 Episodio eruptivo del 13 de marzo	38
2.1.2.1.4 Evento eruptivo de 24 de abril	45
2.1.2.1.5 Evento eruptivo del 29 de abril	50
2.1.2.1.6 Episodios eruptivos del 7 y 8 de junio de 2009	52
2.1.3 DEFORMACION	68
2.1.4 ELECTROMAGNETISMO	74
2.1.4.1. Erupción: febrero 14 de 2009	74
2.1.4.2. Erupción: febrero 20 de 2009	76
2.1.4.3. Erupción: marzo 13 de 2009	78
2.1.5 FISICOQUIMICA	81
2.1.6 GEOLOGIA	85
2.1.6.1 Evento eruptivo del 14 de febrero de 2009	86
2.1.6.2 Evento eruptivo del 20 de febrero de 2009	91
2.1.6.3 Evento eruptivo del 13 de marzo de 2009	99
2.1.6.4 Evento eruptivo del 24 de abril de 2009	103
2.1.6.5 Evento eruptivo del 29 de abril de 2009	109
2.1.6.6 Evento eruptivo del 7 de junio de 2009	115
2.1.6.7 Evento eruptivo del 8 de junio de 2009	119
2.1.7 ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS MORFOLOGICOS	125
2.1.8 IMÁGENES TERMICAS	139
2.1.9 CONCLUSIONES	145
2.2 VOLCAN DOÑA JUANA	147
2.2.1 RED DE VIGILANCIA	147
2.2.2 SISMOLOGIA	151
2.2.3 DEFORMACION	155
2.2.4 ACTIVIDAD SUPERFICIAL	156
2.2.5 CONCLUSIONES	157
2.3 VOLCAN AZUFRAL	158
2.3.1 RED DE VIGILANCIA	159
2.3.2 SISMOLOGIA	161
2.3.3 DEFORMACION	163
2.3.4 ACTIVIDAD SUPERFICIAL	163
2.3.5 CONCLUSIONES	165

2.4	VOLCAN CUMBAL	166
2.4.1	RED DE VIGILANCIA	166
2.4.2	SISMOLOGIA	169
2.4.3	DEFORMACION	174
2.4.4	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	175
2.4.5	CONCLUSIONES	177
2.5	BIBLIOGRAFIA	179
2.6	PERSONAL PARTICIPANTE	179

## TABLAS

		Pág.
Tabla 2.1.1	Características de algunas de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Galeras durante el primer semestre de 2009.	7
Tabla 2.1.2	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el primer semestre de 2009.	8
Tabla 2.1.3	Características de las estaciones que conforman la red de instrumentos escan-DOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras, las cuales funcionaron durante el primer semestre de 2009.	8
Tabla 2.1.4	Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red de Galeras, durante el primer semestre de 2009.	11
Tabla 2.1.5	Número de sismos volcánicos por tipo, registrados en los periodos indicados.	13
Tabla 2.1.6	sísmica liberada para cada tipo de evento, en los periodos indicados.	14
Tabla 2.1.7	Características principales de los eventos TOR registrados en la estación de corto periodo Anganoy (0.9 km E del cráter activo), antes de la fase eruptiva de abril 24.	45
Tabla 2.1.8	Amplitud en cuentas de la variación inicial de las dos componentes del campo eléctrico y las tres del campo magnético, debido al evento eruptivo del 14 de febrero de 2009.	75
Tabla 2.1.9	Amplitudes de variación de las componentes de la estación de monitoreo del campo eléctrico, para los eventos eruptivos referenciados.	76
Tabla 2.1.10	Eventos eruptivos de Galeras registrados entre febrero y noviembre de 2009, con sus correspondientes volúmenes mínimos de material depositado en la zona de influencia del volcán.	85
Tabla 2.1.11	Fechas de sobrevuelos realizados con las temperaturas máximas obtenidas en ellos, en el primer semestre de 2009.	139
Tabla 2.2.1	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2009.	149
Tabla 2.2.2	Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2009.	151
Tabla 2.2.3	Parámetros de localización de los eventos de fractura registrados en el volcán Doña Juana.	154
Tabla 2.3.1	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante el primer semestre de 2009.	159
Tabla 2.4.1	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2009.	167
Tabla 2.4.2	Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2009.	169

## FIGURAS

	Pág.	
Figura 2.1.1	Mapa de localización de algunas de las estaciones (sismómetros de corto periodo-CP y banda ancha-BA, acelerómetros, acústico, climática y repetidoras) que conformaron la red de monitoreo de Galeras durante el primer semestre de 2009.	6
Figura 2.1.2	Red de monitoreo de la deformación volcánica del Galeras, conformada por cuatro inclinómetros electrónicos, que funcionaron en el primer semestre de 2009.	7
Figura 2.1.3	Mapa de localización de las estaciones telemétricas escan-DOAS del proyecto NOVAC para el monitoreo de emisiones de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ), que funcionaron durante el primer semestre de 2009.	8
Figura 2.1.4	Mapa de localización de la estación para el monitoreo del campo eléctrico y magnético, que funcionó durante el primer semestre de 2009.	9
Figura 2.1.5	Mapa de localización de las cámaras web que funcionaron durante el primer semestre de 2009. Estas cámaras se encuentran instaladas en la sede del OVSP en Pasto y en la Institución Educativa Los Libertadores en el casco urbano del municipio de Consacá.	9
Figura 2.1.6	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2009 (enero a junio de 2009), de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras.	10
Figura 2.1.7	Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo desde julio de 2008 a junio de 2009. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	12
Figura 2.1.8	Relaciones porcentuales de la variación de la sismicidad del segundo semestre del 2008 en comparación con el primer semestre de 2009. Al lado izquierdo, la ocurrencia de sismos y a la derecha, la energía sísmica liberada.	13
Figura 2.1.9	Relaciones porcentuales de conteo (arriba) y energía sísmica liberada (abajo) por tipo de sismos para el segundo semestre de 2008 (izquierda) y el primer semestre de 2009 (derecha).	14
Figura 2.1.10	Histograma de número diario de sismos LP (arriba) y acumulado de sismos LP (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	16
Figura 2.1.11	Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos LP (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el segundo semestre del 2008 y el primero del 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	17
Figura 2.1.12	Histograma de número diario de episodios TRE (arriba) y acumulado de episodios TRE (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	18
Figura 2.1.13	Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos TRE (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el segundo semestre del 2008 y primer semestre del 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	19
Figura 2.1.14	Histograma de número diario de sismos HYB (arriba) y acumulado de sismos HYB (abajo) durante el segundo semestre del 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	20
Figura 2.1.15	Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos HYB (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	21
Figura 2.1.16	Histograma de número diario de sismos VT (arriba) y acumulado de sismos VT (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	22
Figura 2.1.17	Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos VT (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	23
Figura 2.1.18	Hipocentros de sismos VT en la zona de influencia de Galeras durante el primer semestre de 2009. En los cortes norte-sur (derecha) y este-oeste (abajo) cada división equivale a 2 Km.	24

Figura 2.1.19	Relaciones porcentuales por rangos de profundidad (izquierda) y por rangos de magnitud local (derecha) para los sismos VT localizados durante el primer semestre de 2009. A la derecha de cada diagrama se presentan sus convenciones.	24
Figura 2.1.20	Evolución espacio temporal de sismos VT durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2008. En la gráfica superior se muestra las latitudes y en la inferior las longitudes.	25
Figura 2.1.21	Evolución espacio temporal de sismos VT durante el segundo semestre del 2008 y primer semestre de 2009. En la gráfica superior se muestra las profundidades y en la inferior las magnitudes	26
Figura 2.1.22	Sismograma de las últimas dos semanas (febrero 3 al 16 de 2009), donde se observan básicamente siete periodos de actividad, antes mencionados.	29
Figura 2.1.23	Sismogramas y espectros en frecuencia para las estaciones Anganoy, Cufiño banda ancha (componente vertical) y Urcunina (componente norte-sur) del evento de largo periodo de características armónicas, bajo nivel energético y corta duración (alrededor de 15 segundos) registrado el 13 de febrero de 2009 a las 9:50 p.m.	30
Figura 2.1.24	Registro de la estación Anganoy (sismómetro de corto periodo y componente vertical ubicado a 0.9 Km al este del cráter principal) entre el 14 y el 24 de febrero de 2009. Las líneas anaranjadas y los números limitan ocho diferentes episodios o intervalos caracterizados a partir de cambios significativos en la sismicidad.	33
Figura 2.1.25	Sismogramas para las estaciones Anganoy, Cufiño banda ancha (componente vertical) y Calabozo corto periodo (componente vertical) de la fase inicial explosiva del episodio eruptivo registrado el 14 de febrero de 2009 a las 7:10 p.m.	34
Figura 2.1.26	Sismograma y espectrograma para la estación sísmica de corto periodo-componente vertical Anganoy (ubicada a 0.8 km al este del cráter principal) del episodio eruptivo registrado el 14 de febrero de 2009 a las 7:10 p.m. La señal sísmica superó el umbral de detección en amplitud de esta estación, por lo que el registro sísmico quedó saturado.	34
Figura 2.1.27	Registros de las componentes vertical, NS y EW del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo (ubicada a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm), junto con el registro del sensor acústico. El recuadro naranja indica el arribo del tren de ondas acústicas.	35
Figura 2.1.28	Evento eruptivo del 12 de julio de 2006, a las 10:58 a.m. Registro en el sensor de infrasonido (CAMI) y registro en la estación sismológica de banda ancha Cufiño. Las ondas acústicas generadas por la erupción superaron el umbral de saturación del instrumento (aproximadamente 1.4 Pa).	35
Figura 2.1.29	Evento eruptivo del 17 de enero de 2008, a las 8:06 p.m. hora local. Registro sísmico en la componente vertical de la estación sísmica de banda ancha Cufiño y registro acústico en la estación CAMI. La amplitud máxima registrada por CAMI antes de salir de funcionamiento fue de 0.7 Pa.	36
Figura 2.1.30	Sismogramas y espectrogramas para las estaciones: <b>A)</b> Anganoy (corto periodo, componente vertical), <b>B)</b> Cufiño (banda ancha, componente vertical) y <b>C)</b> Calabozo (corto periodo, componente vertical) de la fase explosiva del episodio eruptivo registrado el 20 de febrero de 2009 a las 7:05 a.m.	37
Figura 2.1.31	Frente de onda acústica registrado por el sensor de presión de la estación climatológica ubicada en la estación cráter a 1.5 Km del cráter principal, relacionado con la erupción de febrero 20 de 2009. La amplitud del pulso mayor alcanzó los 10.6 HPa.	38
Figura 2.1.32	Pulso de presión registrado por el sensor de presión de la estación climatológica ubicada en la estación cráter a 1.5 Km del cráter principal, relacionado con la erupción de febrero 20 de 2009. La amplitud del pulso mayor alcanzó los 10.6 HPa.	38
Figura 2.1.33	Registro de la componente vertical del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo (ubicada a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm) junto con el registro del sensor acústico ubicado en la misma estación.	38
Figura 2.1.34	Registro de la estación Anganoy (sismómetro de corto periodo y componente vertical ubicado a 0.9 Km al este del cráter principal) entre el 11 y el 14 de marzo de 2009. Las líneas anaranjadas y los números limitan cuatro diferentes episodios o intervalos caracterizados a	39

	partir de cambios significativos en la sismicidad.	
Figura 2.1.35	Sismogramas y espectrogramas para las estaciones: <b>A)</b> Anganoy (corto periodo, componente vertical), <b>B)</b> Cufiño (banda ancha, componente vertical) y <b>C)</b> Calabozo (corto periodo, componente vertical) de la fase explosiva del episodio eruptivo registrado el 13 de marzo de 2009 a las 3:55 p.m.	41
Figura 2.1.36	Registro de la componente vertical del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo (ubicada a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm) junto con el registro del sensor acústico ubicado en la misma estación, erupción del día 13 de marzo de 2009 a las 3:55 p.m.	41
Figura 2.1.37	Sismograma (superior) y espectrograma (inferior), del episodio de tremor registrado el 13 de marzo a las 4:34 p.m. con una duración de aproximadamente 8 minutos. Evento posterior a la erupción de las 3:55 p.m.	42
Figura 2.1.38	TRE, registrado el 21 de marzo a las 06:26 p.m. En parte superior se muestra el sismograma de la señal, en la parte inferior izquierda se observa un detalle del sismograma y espectro respectivamente, y en la parte inferior derecha se observa una imagen de emisión relacionada al evento.	43
Figura 2.1.39	Evento de tipo TRE armónico, registrado el 21 de marzo a las 0:07 a.m. En parte superior se muestra el espectrograma de la señal total, y le secundan el espectro, el sismograma y un detalle de sismograma con su espectro y espectrograma respectivamente.	43
Figura 2.1.40	Sismograma del 26 de marzo de 2009, a las 7:28 a.m., visto en una ventana de duración de un minuto y 20 segundos, seguido del sismograma en una ventana de aproximadamente 14 segundos de duración, posteriormente su espectro, con frecuencia dominante de 14 Hz, seguido de su espectrograma.	44
Figura 2.1.41	Evento de TRE con características armónicas, registrado el 29 de marzo a las 5:53 a.m. <b>A)</b> Sismograma de todo el evento (aproximadamente, 4 minutos). <b>B)</b> Espectro de la señal completa. <b>C)</b> Sismograma de la parte más energética y con contenido más armónico (1 minuto, 20 segundos). <b>D)</b> Espectro de esta porción de señal.	44
Figura 2.1.42	Registro digital y espectro de Fourier del evento tipo tornillo de abril 24 a las 06:59 a.m.	46
Figura 2.1.43	Registro digital y espectro de Fourier del sismo tornillo de abril 24 a las 11:27 a.m.	46
Figura 2.1.44	Registro digital de la estación de corto periodo Anganoy, entre las 3:40 p.m. y las 4:42 p.m., en donde se puede apreciar el episodio de tremor de abril 21 a las 3:45 p.m.	47
Figura 2.1.45	Detalle de la parte final del tremor de abril 21 a las 3:45 p.m., de características armónicas, con su respectivo espectro de Fourier, entre las 3:51 p.m. y las 4:52 p.m.	48
Figura 2.1.46	Sismograma de la fase eruptiva de abril 24, en donde se pueden apreciar las señales de las dos erupciones más destacadas y los dos aumentos de nivel sísmico relacionados con emisión de material incandescente, en la estación de corto periodo Urcunina.	50
Figura 2.1.47	Señal de la erupción de abril 24 a las 7:32 p.m. en las tres componentes de la estación de banda ancha Cufiño y en el micrófono CAMI y espectro de Fourier de la señal en las tres componentes de la estación Cufiño.	50
Figura 2.1.48	Sismicidad registrada por la estación de Urcunina, durante el 29 de abril de 2009.	51
Figura 2.1.49	Sismogramas para las estaciones Urcunina corto periodo (componente vertical) y Cufiño banda ancha (componente vertical) del episodio eruptivo registrado el 29 de abril de 2009 a las 10:15 a.m.	52
Figura 2.1.50	Registros del evento eruptivo del 29 de abril de 2009 a las 10:15 a.m., en las componentes Vertical, NS y EW del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo (ubicada a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm), junto con el registro del sensor acústico CAMI.	52
Figura 2.1.51	Sismograma registrado por la estación Anganoy entre el 26 de mayo y el 1 de junio de 2009. Las líneas verticales rojas indican que en esos momentos las trazas han alcanzado el nivel de saturación de la estación. El tiempo a la izquierda del sismograma está en hora local y los números bajo el sismograma son una marca de los minutos.	53
Figura 2.1.52	Registro digital de la estación de corto periodo Anganoy del evento de tremor del día 4 de junio a las 4:33 p.m. Se puede apreciar una variedad de frecuencias, resaltando la de 1.2 Hz.	54

Figura 2.1.53	Registro digital de la estación de corto periodo Anganoy del evento de tremor del día 5 de junio entre las 5:33 a.m. y las 5:42 a.m.	55
Figura 2.1.54	Sismogramas iniciando el 5 de junio a las 4:47 a.m. hasta las 9:21 p.m., donde se observa el predominio de sismos asociados al tránsito de material fluido (TRE) con una paulatina disminución en su tamaño después de la 1:30 p.m. Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.	56
Figura 2.1.55	Sismogramas iniciando el 5 de junio a las 9:22 p.m. hasta el 6 de junio a las 4:11 p.m. donde se observa el predominio de poca sismicidad y de poco tamaño especialmente hasta las 12:30 p.m. cuando se comienzan hacer notorios la ocurrencia de algunos sismos de fractura (VT). Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.	57
Figura 2.1.56	Sismogramas iniciando el 6 de junio a las 4:21 p.m. hasta el 7 de junio a las 9:44 a.m. donde se observa básicamente registros de sismos asociados a fracturamiento de material rígido (VT) y cuya tasa de ocurrencia se incrementa especialmente después de las 4:00 a.m. del 7 de junio, aproximadamente tres horas antes de la erupción explosiva de ese día a las 7:18 a.m. Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.	58
Figura 2.1.57	Sismogramas iniciando el 7 de junio a las 9:44 a.m. hasta el 8 de junio a las 5:04 a.m. donde se observa básicamente registros de sismos asociados a fracturamiento de material rígido (VT) y cuya tasa de ocurrencia se incrementa especialmente después de las 2:00 a.m. del 8 de junio, unas cuatro horas y medias antes de la erupción explosiva de ese día a las 6:38 a.m. Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.	59
Figura 2.1.58	Sismogramas iniciando el 8 de junio a las 5:05 a.m. hasta la 1:13 p.m. donde se destaca la señal sísmica de la explosión seguida de un episodio de tremor asociados a la erupción de las 6:38 a.m. Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.	60
Figura 2.1.59	Sismograma registrado por la estación Anganoy entre el 5 y el 7 de junio de 2009. El tiempo a la izquierda del sismograma está en hora local y los números bajo el sismograma son una marca de los minuto.	62
Figura 2.1.60	Registro del evento eruptivo del 7 de junio y el sismo de fractura ocurrido 8 segundos después; este sismo se localizó a unos 3 Km al sur-sureste del cráter de Galeras, a aproximadamente 2 Km de profundidad respecto a la cima y con una magnitud local de 4 en la escala de Richter. Registro de las estaciones Anganoy y su espectrograma (arriba - centro) y sismograma en la estación Cufiño (abajo). La abscisa muestra las horas en tiempo universal (tiempo local más 5 horas).	63
Figura 2.1.61	Registros de la componente vertical del sismómetro de banda ancha en la estación Cufiño, junto con el registro del sensor acústico de la estación Calabozo CAMI. Erupción del 7 de junio de 2009, 7:18 a.m.	63
Figura 2.1.62	Registro del evento eruptivo del 8 de junio y el sismo de fractura ocurrido 6 segundos después Registro de las estaciones Anganoy (arriba) y Cufiño (abajo). La abscisa muestra las horas en tiempo universal (tiempo local más 5 horas).	64
Figura 2.1.63	Registros de la componente vertical del sismómetro de banda ancha en la estación Cufiño (ubicada a 1.9 km al este-noreste del cráter principal), junto con el registro del sensor acústico de la estación Calabozo CAMI. Erupción del 8 de junio de 2009, 8:38 a.m. La abscisa muestra las horas en tiempo universal (tiempo local más 5 horas).	64
Figura 2.1.64	Sismograma registrado por la estación Cufiño entre el 6 y el 8 de junio de 2009. El tiempo en el eje de la izquierda del sismograma está en hora local y los números en la abscisa bajo el sismograma son una marca de los minuto. Se observa la erupción del 7 de junio a las 7:18 a.m. y las dos fases de la del 8 de junio empezando a las 6:38 a.m.	65
Figura 2.1.65	Detalle de la parte armónica del episodio tipo TRE registrado el 16 de junio, a las 10:41 p.m. en nueve estaciones de la red de monitoreo de Galeras (sismograma a la izquierda y espectro a la derecha). Se observa una frecuencia dominante de 4.9 Hz en todas las estaciones, asociada a la fuente sismogénica.	65
Figura 2.1.66	Sismograma del episodio tipo TRE registrado el 17 de junio, a las 2:02 a.m. (7:02 a.m. en la figura), en la estación de referencia Anganoy. Detalle de la parte final del episodio (sismograma, espectro y espectrograma) donde se observa varios armónicos claramente identificables, en un rango de frecuencias entre 0.9 y 15 Hz.	66

Figura 2.1.67	<b>A)</b> Sismograma del episodio tipo TRE registrado el 18 de junio, a las 7:28 a.m. (12:28 p.m., en la figura), en la estación de referencia Anganoy. <b>B)</b> De arriba abajo: sismograma, espectro y espectrograma de la parte final del episodio de TRE de naturaleza armónica, donde se observa una frecuencia monotónica dominante de 1.29 Hz.	66
Figura 2.1.68	<b>A)</b> Sismograma del episodio tipo TRE registrado el 22 de junio, a las 9:24 p.m. <b>B)</b> Detalle de la parte final del episodio (sismograma, espectro y espectrograma) donde se observa varios armónicos claramente identificables en un rango de frecuencias entre 0.9 y 20 Hz.	67
Figura 2.1.69	Comportamiento de la componente tangencial y radial del inclinómetro Cráter.	68
Figura 2.1.70	Comportamiento de la componente tangencial y radial del inclinómetro Peladitos.	69
Figura 2.1.71	Comportamiento de la componente tangencial y radial del inclinómetro Calabozo.	69
Figura 2.1.72	Comportamiento de la componente tangencial y radial del inclinómetro Huairatola.	70
Figura 2.1.73	Comportamiento de la componente tangencial y radial de los inclinómetros Cráter, Peladitos y Huairatola.	70
Figura 2.1.74	Izquierda, vectores resultantes para los inclinómetros Cráter, Peladitos y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2009. El asterisco indica el lugar donde se encuentra la estación. Derecha, Curva que se ajusta a los vectores resultantes obtenidos, utilizando el modelo de Mogi.	71
Figura 2.1.75	Izquierda, vectores resultantes para los inclinómetros Cráter, Peladitos y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2009. El asterisco indica el lugar donde se encuentra la estación. Derecha, Curva que se ajusta a los vectores resultantes obtenidos, utilizando el modelo de Mogi.	72
Figura 2.1.76	Izquierda, vectores resultantes para los inclinómetros Cráter, Peladitos y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2009. El asterisco indica el lugar donde se encuentra la estación. Derecha, Curva que se ajusta a los vectores resultantes obtenidos, utilizando el modelo de Mogi.	72
Figura 2.1.77	Izquierda, vectores resultantes para los inclinómetros Cráter, Peladitos y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2009. El asterisco indica el lugar donde se encuentra la estación. Derecha, Curva que se ajusta a los vectores resultantes obtenidos, utilizando el modelo de Mogi.	73
Figura 2.1.78	Evento eruptivo del 14 de febrero de 2009, a las 07:10 p.m., registrado en la red de monitoreo volcánico de Galeras. Se muestran las estaciones de Anganoy, Cufiño vertical, las estaciones NS y EW de campo eléctrico y las componentes NS, EW y Z del campo magnético.	74
Figura 2.1.79	Comportamiento de las componentes del campo eléctrico previo, durante y después del evento eruptivo del 14 de febrero de 2009.	75
Figura 2.1.80	Evento eruptivo del 14 de febrero de 2009, a las 07:10 p.m., registrado en la estación sismológica de Cufiño y en la componentes NS y EW de la estación de monitoreo de las variaciones del campo eléctrico.	76
Figura 2.1.81	Evento eruptivo del 20 de febrero de 2009, a las 07:04 a.m., registrado en la estación sismológica de Cufiño y en la componentes NS y EW de la estación de monitoreo de variaciones del campo eléctrico.	77
Figura 2.1.82	Evento eruptivo del 20 de febrero de 2009, a las 07:04 a.m., registrado en la red de monitoreo volcánico de Galeras. Se muestran las estaciones de Anganoy, Cufiño vertical, las componentes NS y EW de campo eléctrico y las componentes NS, EW y Z del campo magnético.	78
Figura 2.1.83	Evento eruptivo del 13 de marzo de 2009, a las 03:55 p.m., registrado en las componentes NS y EW de la estación de monitoreo de variaciones del campo eléctrico.	79
Figura 2.1.84	Evento eruptivo del 13 de marzo de 2009, a las 03:55 p.m., registrado en la red de monitoreo volcánico de Galeras. Se muestran las estaciones de Anganoy, Cufiño vertical y las componentes NS y EW.	80
Figura 2.1.85	Flujo de SO <sub>2</sub> de Galeras, medido con estaciones escan-DOAS. Enero a junio de 2009.	82
Figura 2.1.86	Flujo de SO <sub>2</sub> de Galeras medido con móvil-DOAS y su recorrido entre Sandoná y Consacá. Marzo 4 de 2009.	82
Figura 2.1.87	Concentración de SO <sub>2</sub> en la atmósfera a una altura de 5.000 m.s.n.m. Datos OMI, enero a	83

	junio de 2009.	
Figura 2.1.88	Imagen satelital OMI de concentración de SO <sub>2</sub> en la atmósfera, a una altura de 5.000 m.s.n.m. sobre Galeras. Marzo 14 de 2009.	84
Figura 2.1.89	Volumen mínimo emitido por los eventos eruptivos registrados durante el primer semestre de 2009, el 24 de abril se registraron 2 eventos eruptivos.	85
Figura 2.1.90	Sector caseta de Parques Nacionales: a)- Aspecto de la vegetación cubierta por cenizas. Al fondo el volcán Galeras. b)- Flor de Margarita cubierta por material volcánico, Obsérvese el contraste entre el polvo volcánico y algunos fragmentos de tamaño ceniza gruesa. Foto tomada el 17 de febrero de 2009.	86
Figura 2.1.91	Sector San Cayetano bajo: a)- Anden en la escuela. b)- Detalle del depósito, el material habano corresponde a polvo volcánico, el gris a ceniza tamaño medio a grueso. Foto tomada el 17 de febrero de 2009. c y d) Sector de El Encano: Detalle de la caída de cenizas en la zona norte de la Laguna de La Cocha. Fotos tomadas el 15 de febrero de 2009.	87
Figura 2.1.92	Mapa de isópacas mostrando la distribución de las cenizas (en mm) y las de dispersión balística (promedio en cm), generadas por la erupción del 14 de febrero de 2009, de acuerdo a las inspecciones en el campo por parte del personal de INGEOMINAS y reportes por personal de comunicaciones y Fuerzas Armadas. Los puntos corresponden a los sitios de muestreo. Los valores de espesor de cada isópaca se muestran en el extremo de cada isópaca.	88
Figura 2.1.93	Aspecto general del material emitido como proyectiles balísticos en el sector de la base militar situada en el borde de la caldera del Galeras, a 800 m del cráter activo. La mayoría de los fragmentos observados corresponden a trozos de bombas y bloques de mayor tamaño fragmentadas al caer. En el centro de la foto, un bloque de mayor tamaño, fragmentado en tres partes, el tamaño del fragmento más grande es de aproximadamente 50 cm. (Foto cortesía Stec FAC Delgado, tomada el 17 de febrero de 2009).	90
Figura 2.1.94	Muestras de material emitido como proyectiles balísticos, colectados en la parte alta del volcán.	90
Figura 2.1.95	Aspecto de los depósitos de caída de ceniza en: a) Ancuya. b) Vereda Churupamba. c) Vía a Ancuya. d) Vía El Diviso - Túquerres.	92
Figura 2.1.96	Mapa de isópacas mostrando las distribuciones de las cenizas (en mm) y la de dispersión balística (promedio en cm), generadas por la erupción del 20 de febrero de 2009, de acuerdo a las inspecciones en el campo por parte del personal de INGEOMINAS y reportes por personal de comunicaciones y de las Fuerzas Armadas. Los valores de espesor de cada isópaca se muestran en el extremo de cada isópaca.	92
Figura 2.1.97	Detalle del Mapa de isópacas en partes más cercanas al cono activo. Se observa la distribución de las cenizas (en mm) y la de dispersión balística (promedio en cm).	93
Figura 2.1.98	Mapa de Isópletas, mostrando la distribución de los tamaños máximos del material emitido por la erupción de febrero 20 de 2009. Los círculos verdes indican la las distancias y tamaños máximos observados para proyectiles balísticos alrededor del volcán.	93
Figura 2.1.99	Variación de tamaño y componentes de la ceniza de la erupción del 20 de febrero de 2009 con la distancia al volcán y dirección de dispersión de la misma. Las muestras fueron colectadas en diferentes poblaciones del Departamento de Nariño, por personal del OVSP. Los patrones de tamaños de granos son tomados de la tabla de Exploration Logging.	94
Figura 2.1.100	Aspecto de los fragmentos vítreos bajo la lupa binocular. a) Fragmentos translucidos, grises y negros. b) Fragmentos "pumíticos" provenientes del interior de las bombas volcánicas.	96
Figura 2.1.101	Cráter de impacto en la vía Pasto – Cima del volcán Galeras, causado por bomba o bloque emitido durante la erupción de febrero 20 2009. Tómesese como escala el vehículo.	97
Figura 2.1.102	Cráter activo del volcán Galeras, desde la base militar. La toma de la izquierda es de febrero 15 y la de la derecha de febrero 23. En ésta última y teniendo como referencia el cráter de "El Pinta", se observan nuevos bloques emitidos durante la erupción de febrero 20 (círculo pequeño), el cual alcanza diámetros mayores a 5m., el círculo mayor indica un nuevo cráter de impacto dejado por otro bloque en la misma erupción.	97
Figura 2.1.103	Material emitido como proyectiles balísticos. Bloques del domo (superior izquierda) y Fragmentos de bomba corteza de pan (el resto de fotografías). Estas son muestras típicas de	98

	erupciones vulcanianas.	
Figura 2.1.104	Aspecto de los depósitos de caída de ceniza en el sector occidental.	99
Figura 2.1.105	Aspecto de los depósitos de caída de ceniza en el sector NE	99
Figura 2.1.106	Mapa de isópacas que muestra la distribución de ceniza (en mm) y la dispersión balística (promedio en cm), generada por la erupción del 13 de marzo de 2009, de acuerdo a las inspecciones en campo por parte del personal de INGEOMINAS. Los valores de espesor de cada isópaca se muestran en el extremo de cada isópaca.	100
Figura 2.1.107	Variación del tamaño de la ceniza con la distancia al cráter activo del Galeras.	102
Figura 2.1.108	Cenizas depositadas en algunos sectores afectados por la erupción.	103
Figura 2.1.109	Mapa de isópacas correspondiente a la erupción de abril 24 de 2009.	104
Figura 2.1.110	Mapa de distribución de tamaños (Isopletas), del material emitido en la erupción de abril 24 de 2009.	104
Figura 2.1.111	Aspecto bajo la lupa binocular de una de las muestras de ceniza que presenta dos tamaños de ceniza (gruesa y muy fina), posiblemente correspondiente a material mezclado de las dos fases eruptivas del 24 de abril.	105
Figura 2.1.112	Aspecto de fragmentos de vidrio volcánico bajo la lupa binocular. Muestra GA-PP-03-24-04-09.	106
Figura 2.1.113	Cambio del tamaño de la ceniza con la distancia a partir de cráter activo del Galeras. La primera columna corresponde a muestras colectadas en diferentes localidades. La segunda columna corresponde a este material observado bajo lupa binocular.	107
Figura 2.1.114	Erupción del 24 de abril observada desde la ciudad de Pasto y registrada con la cámara web del OVSP.	108
Figura 2.1.115	Imágenes térmicas del sector occidental del cono activo del volcán Galeras.	109
Figura 2.1.116	Imágenes térmicas del cono activo del volcán Galeras en las que se pueden observar acumulación de bloques en varios sectores cerca al cráter principal.	109
Figura 2.1.117	Cenizas depositadas en algunos sectores afectados por la erupción.	110
Figura 2.1.118	Mapa de isopacas correspondiente a la erupción de abril 29 de 2009.	111
Figura 2.1.119	Variación del tamaño de la ceniza con la distancia, como se observa en muestra de mano y bajo lupa binocular (segunda columna).	112
Figura 2.1.120	Panorámicas de emisiones menores de ceniza, subsiguientes a las erupciones del 24 de abril y la del 29 de abril de las 10:15 a.m.	113
Figura 2.1.121	Detalle de la ceniza depositada por la emisión del 4 de mayo de 2009, en las instalaciones del OVSP.	114
Figura 2.1.122	Aspecto bajo la lupa binocular del material emitido durante la emisión de ceniza del 4 de mayo.	114
Figura 2.1.123	Aspecto de la ceniza depositada en algunos sectores afectados por el evento eruptivo en Galeras, del 7 de 2009.	115
Figura 2.1.124	Características de algunas de las muestras analizadas correspondientes al material emitido por la erupción del 7 de junio de 2009 y variación con la distancia.	117
Figura 2.1.125	Mapa de isopacas correspondiente a la erupción de junio 7 de 2009.	118
Figura 2.1.126	Aspecto general de la fracción vítrea bajo lupa binocular. Nótese que mientras los fragmentos vesiculados son subangulares a subredondeados, los otros fragmentos vítreos son angulares a subangulares.	119
Figura 2.1.127	Aspecto bajo la lupa binocular de: A. fragmentos líticos posiblemente arrancados de las paredes del conducto B. cristales: Color verdoso, Piroxenos, translucidos rectangulares, Plagioclasas, anhedrales o habito bipiramidal, Cuarzo.	119
Figura 2.1.128	Mapa de isópacas correspondiente a la erupción de junio 8 de 2009.	120
Figura 2.1.129	Comparación de imágenes del 6 de mayo y del 12 de julio 12, de 2009; para comprobar emisión de proyectiles balísticos en las erupciones de junio. a). Sector NNW, 6 de mayo. b). El mismo sector, 12 de julio. Nótese la acumulación de material, aparentemente solo ceniza adyacente al sector de El Paisita. c). Imagen del sector W tomada el 6 de mayo. d). El mismo sector, imagen tomada el 12 de julio.	122
Figura 2.1.130	A y B Aspecto general del depósito canalizado en los zanjones en el flanco NNW del volcán, tomas el 11 de junio y el 12 de julio, respectivamente. C. Aspecto general del depósito,	123

	fotografía del sobrevuelo del 11 de junio y comparación con D. Imagen térmica tomada el mismo día.	
Figura 2.1.131	Emisiones de gases volcánicos vistas desde la Base Militar Galeras, febrero 17 de 2009, 2:09 p.m. Fotografía por cortesía del STec de la FAC Oscar Delgado.	125
Figura 2.1.132	Detalles de algunos focos de emisión de gases volcánicos, febrero 17 de 2009. Fotografías por cortesía del STec de la FAC Oscar Delgado.	125
Figura 2.1.133	Emisión del 17 de febrero a las 6:07 p.m.	126
Figura 2.1.134	Emisión del 20 de febrero a las 3:29 p.m.	126
Figura 2.1.135	Emisión del 20 de febrero a las 4:56 p.m.	126
Figura 2.1.136	Emisiones de gases volcánicos vistas desde la Base Militar Galeras, febrero 23 de 2009, 02:18 p.m. Fotografía por cortesía del STec de la FAC Oscar Delgado.	126
Figura 2.1.137	Emisión de gases volcánicos observada desde Pasto, el 8 de marzo de 2009, a las 6:45 p.m.	127
Figura 2.1.138	Emisión de gases volcánicos observada desde Pasto, el 9 de marzo de 2009, a las 6:19 p.m.	127
Figura 2.1.139	Reconocimiento terrestre al volcán Galeras, 10 de marzo a las 9:37 a.m.	127
Figura 2.1.140	Reconocimiento terrestre al volcán Galeras, 10 de marzo a las 9:37 a.m.	127
Figura 2.1.141	Emisión del 10 de marzo a las 6:32 p.m.	127
Figura 2.1.142	Emisión del 11 de marzo a las 7:47 p.m.	127
Figura 2.1.143	Emisión vapor de agua y otros gases volcánicos del 14 de marzo a las 6:00 a.m.	128
Figura 2.1.144	Columna de emisión del 28 de marzo a las 6:55 a.m., asociada con evento de Tremor.	128
Figura 2.1.145	Emisión del 29 de marzo a las 6:25 p.m.	128
Figura 2.1.146	Emisiones del 30 de marzo a las 4:40 p.m.	128
Figura 2.1.147	Imágenes fotográficas de emisiones de gases volcánicos representativas del periodo evaluado, como se registraron desde la sede del OVSP.	129
Figura 2.1.148	Morfología del interior del cráter principal, antes y después de los eventos eruptivos de febrero 14 y marzo 13 de 2009; vista desde el sureste. a) 12 de diciembre de 2008. b) 5 de abril de 2009.	130
Figura 2.1.149	5 de abril de 2009, 6:23 a.m. cono volcánico visto en sobrevuelo desde el este del borde calderico. Se observa salida de gases principalmente provenientes de varias zonas de la periferia del cráter principal (Las Deformes, Las Chavas y El Paisita, principalmente).	130
Figura 2.1.150	5 de abril, 6:46 a.m. El cono activo visto desde el sureste. Se observa salida de gases, principalmente provenientes de varias zonas de la periferia del cráter principal. También se observa salida de gases, en menor volumen, del interior del cráter principal. Se destacan cambios morfológicos importantes del domo de lava extruido al interior del cráter principal, a raíz de los eventos eruptivos registrados el 14 y 20 de febrero y el 13 de marzo de 2009.	130
Figura 2.1.151	Imagen capturada en sobrevuelo del día 7 de abril de 2009. A la derecha una ampliación de la zona que muestra incandescencia.	131
Figura 2.1.152	Imagen tomada en sobrevuelo del día 13 de abril de 2009 cerca de la 8:30 a.m. Se observa un cráter de aproximadamente 50 m., de diámetro producto de los eventos eruptivos de febrero y marzo de 2009. A la derecha una ampliación del cráter en cuestión.	132
Figura 2.1.153	Fotografías tomadas desde el SE del cono activo durante el sobrevuelo volcán Galeras, el 13 de abril a las 8:30 a.m. Detalle del cráter de aproximadamente 50 m de diámetro ubicado en el fondo del cráter principal. Este sobrevuelo se realizó con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), en un helicóptero Huey II, equipado con una cámara FLIR de alta resolución.	132
Figura 2.1.154	Imagen de la erupción explosiva de Galeras, ocurrida en abril 24 a las 7:33:08 p.m., (izquierda) y 7:33:17 p.m., (derecha).	133
Figura 2.1.155	Columnas de emisión del volcán Galeras observadas el 7 de mayo a las 6:08 p.m. (foto izquierda) y el 18 de mayo a las 5:46 p.m. (foto de la derecha).	133
Figura 2.1.156	Imágenes tomadas en sobrevuelo del día 6 de mayo de 2009; en el costado Sur y Suroriental del volcán.	134
Figura 2.1.157	Sobrevuelo del 6 de mayo de 2009. a) Imagen en modo normal del cráter principal del volcán. b) Imagen térmica (cámara FLIR de la FAC), detallando el cráter interno, al fondo del cráter principal, denominado "Huey".	134
Figura 2.1.158	Fotografías de emisiones de ceniza volcánica después del evento eruptivo del día 7 de junio	135

	de 2009.	
Figura 2.1.159	Fotografías de emisiones volcánicas representativas del periodo evaluado, tomadas desde la ciudad de Pasto. Emisión del 10 de junio a las 4:50 p.m., (izquierda) y emisión del 11 de junio a las 6:23 a.m. (derecha).	136
Figura 2.1.160	Imagen capturada en sobrevuelo del día 11 de junio de 2009. Vista superior del cono activo (izquierda) y tomada desde el sector suroeste (derecha) del volcán Galeras.	136
Figura 2.1.161	23 de junio de 2009, 6:51 a.m. El cono activo, visto desde el sector noroccidental del edificio volcánico.	137
Figura 2.1.162	24 de junio de 2009, 7:02 a.m. El cono activo, visto desde sector suroeste del edificio volcánico.	137
Figura 2.1.163	23 de junio de 2009, 6:27 a.m. El cono activo, visto desde el este-sureste.	137
Figura 2.1.164	24 de junio de 2009, 6:45 a.m. Cono activo, visto desde el sur.	137
Figura 2.1.165	Imagen térmica del volcán Galeras tomada con la termocámara FLIR.	140
Figura 2.1.166	Imagen térmica del cono activo. Las zonas con temperaturas mayores que 80°C se muestran en color verde (isoterma).	140
Figura 2.1.167	Imagen capturada en sobrevuelo del día 7 de abril de 2009. A la derecha una ampliación de la zona que muestra incandescencia.	140
Figura 2.1.168	Imagen térmica del volcán Galeras tomada con la termocámara FLIR, sobrevolando sobre el cono activo a una altitud de 14000 pies sobre el nivel del mar (unos 220 metros sobre la cima del volcán). De acuerdo con la escala cromática de la derecha, las temperaturas más altas (observadas en zonas al interior del cráter principal), corresponden al color rojo, que indica temperaturas mayores a 170°C. Se destacan otras zonas con anomalías térmicas como Marte Este (97° C), El Paisita (89° C) y Las Deformes (44° C).	141
Figura 2.1.169	Imagen térmica del 17 de abril de 2009 en el área del volcán Galeras, tomada con la termocámara FLIR. El sobrevuelo se realizó en el sector noreste del cono activo, a una altitud de 14500 pies sobre el nivel del mar (unos 370 metros sobre la cima del volcán). De acuerdo con la escala cromática de la derecha, las temperaturas más altas (observadas en zonas al interior del cráter principal) corresponden al color amarillo, que indica temperaturas de hasta 480 °C.	141
Figura 2.1.170	Imagen térmica del volcán Galeras del 6 de mayo de 2009, tomada con la termocámara FLIR, de acuerdo con la escala cromática, se registraron temperaturas de hasta 515° C en el fondo del cráter principal.	142
Figura 2.1.171	Mosaico de imágenes térmicas del cono activo, tomadas con la termocámara FLIR ThermoCAM, el 11 de junio, sobrevolando a una altura de 16500 pies sobre el nivel del mar (~ 979 m., sobre la cima del volcán). Se observa anomalía térmica en un amplio sector del fondo del cráter principal con temperaturas de hasta 125° C.	143
Figura 2.1.172	Imagen térmica de Galeras, sobrevolando el sector suroeste del cono activo el 11 de junio, a una altura de 16000 pies sobre el nivel del mar (~ 827 m., sobre la cima del volcán). De acuerdo con la escala cromática de la derecha, las temperaturas más altas (observadas en zonas del fondo del cráter) corresponden al color blanco, que indican temperaturas de hasta 125 °C.	143
Figura 2.1.173	Imagen térmica del cono activo de Galeras, tomada el 23 de junio de 2009 en horas de la mañana, sobrevolando a una altura de 16500 pies sobre el nivel del mar (~ 980 m., sobre el cráter), empleando la termocámara FLIR. De acuerdo con la escala cromática de la derecha (ajustada para efectos de visualización entre 6 y 83°C), las temperaturas más altas se registraron en el fondo del cráter, con valores de hasta 220° C.	144
Figura 2.2.1	Imagen de la cima del volcán Doña Juana.	146
Figura 2.2.2	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2009.	148
Figura 2.2.3	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2009. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos. Los triángulos rojos representan estaciones sísmicas de corto periodo; el triángulo magenta, una estación sísmica	149

	de corto periodo de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC); el hexágono naranja, una estación sísmica de banda ancha; los círculos verdes, inclinómetros electrónicos; y los cuadros verdes, estaciones repetidoras.	
Figura 2.2.4	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2009, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	149
Figura 2.2.5	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos durante el primer semestre de 2009.	151
Figura 2.2.6	A) Sismogramas y B) espectros en frecuencia para las componentes norte-sur y este-oeste de la estación Lavas y las componentes vertical y norte-sur de la estación Florida. Este sismo se presentó el día 27 de febrero a las 05:32 p.m. El contenido espectral del evento en la estación Lavas muestra frecuencias que dominan alrededor de los 10 Hz, mientras que el espectro de la señal registrada por la estación Florida muestra frecuencias dominantes alrededor de los 5 Hz.	151
Figura 2.2.7	Sismogramas para las componentes norte-sur de la estación Lavas (superior), Florida componente este-oeste (central) y norte-sur (inferior). Este evento ocurrió el día 27 de febrero a las 05:28 p.m. Se puede observar que estos registros se encuentran saturados, esto es, el nivel energético del evento sísmico sobrepasa el rango que la estación puede tolerar.	152
Figura 2.2.8	A) Sismogramas y B) espectros en frecuencia para las componentes vertical, y norte-sur de la estación La Florida. Este evento ocurrió el día 11 de marzo a las 11:41 p.m.	152
Figura 2.2.9	Eventos Volcano-Tectónicos registrados en la estación de la Florida, en el volcán Doña Juana. A) 20 de marzo de 2009 a las 01:08 a.m. B) 21 de marzo de 2009 a las 00:20 a.m.	153
Figura 2.2.10	Registro sismográfico en la Estación Páramo de los sismos VT registrados en mayo 20 y 21 de 2009, así como de la señal sísmica producida por el deslizamiento en el Cerro Montoso.	154
Figura 2.2.11	Componentes de inclinación radial, tangencial, temperatura y voltaje del inclinómetro Páramo, para el periodo comprendido entre el 28 de enero y el 30 de junio de 2009.	155
Figura 2.2.12	Panorámica general del Cerro Montoso desde el suroccidente, tomada el 28 de mayo de 2009 desde el costado suroccidental. Se observa la huella del deslizamiento y de cicatrices de deslizamientos que debieron ocurrir en otras épocas.	156
Figura 2.2.13	Panorámica del deslizamiento registrado en el Cerro Montoso el 20 de mayo de 2009, tomada desde el Suroccidente. La zona afectada verticalmente, puede llegar a los 50 o 60 m por el arrastre del material.	156
Figura 2.3.1	Panorámica de la laguna cratérica del volcán Azufral. Nótese el domo pequeño de color claro en la parte izquierda de la imagen y detrás de la laguna, los grandes domos. Septiembre 4 de 2008, 12:10 p.m.	157
Figura 2.3.2	Imagen tomada de Google Earth en donde se observan algunos volcanes del sur de Colombia y del norte del Ecuador, entre ellos están Doña Juana, Galeras, Azufral y Cumbal, monitoreados por el OVSP - INGEOMINAS.	157
Figura 2.3.3	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el primer semestre de 2009.	159
Figura 2.3.4	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el primer semestre de 2009. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.	159
Figura 2.3.5	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2009, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral.	160
Figura 2.3.6	LP del 10 de junio de 2009 a las 2:43 p.m. en la estación de Banda Ancha Chaitán en sus tres componentes. A la izquierda los registros de velocidad en el dominio del tiempo y a la derecha los registros en el dominio de la frecuencia, con un valor dominante, alrededor de los 10 Hz.	160
Figura 2.3.7	LP del 11 de junio de 2009 a las 2:19 p.m. registrado en la estación de Banda Ancha Chaitán en sus tres componentes. A la izquierda los registros de velocidad en el dominio del tiempo y a la derecha los registros en el dominio de la frecuencia	161
Figura 2.3.8	TRE del 16 de junio de 2009 a las 4:00 p.m. registrado en la estación de Banda Ancha Chaitán en sus tres componentes. A la izquierda los registros de velocidad en el dominio del	161

Figura 2.3.9	tiempo y a la derecha los registros en el dominio de la frecuencia VT del 16 de junio de 2009 a las 8:54 p.m. registrado en la estación de Banda Ancha Chaitán en dos de sus componentes A la izquierda los registros de velocidad en el dominio del tiempo y a la derecha los registros en el dominio de la frecuencia.	161
Figura 2.3.10	Componentes de inclinación radial, tangencial, temperatura y voltaje del inclinómetro Chaitán, para el periodo comprendido entre el 28 de enero y el 30 de junio de 2009.	162
Figura 2.3.11	Panorámica de la laguna craterica del volcán Azufra, nótase el domo pequeño de color claro en la parte izquierda de la imagen y atrás de la laguna, los domos grandes. Septiembre 4 de 2008, 12:10 p.m.	163
Figura 2.3.12	Fotografía tomada durante el sobrevuelo del día 13 de abril de 2009 a las 8:49 a.m.	163
Figura 2.3.13	Observaciones de la Laguna Verde del volcán Azufra correspondientes al día 15 de junio a la 1:29 p.m.	164
Figura 2.3.14	Observaciones de la Laguna Verde del volcán Azufra correspondientes al día 23 de junio a las 8:22 a.m.	164
Figura 2.4.1	Imagen del complejo volcánico Cumbal.	165
Figura 2.4.2	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2009.	167
Figura 2.4.3	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2009. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.	167
Figura 2.4.4	Histograma del porcentaje de funcionamiento, durante el primer semestre de 2009, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal.	168
Figura 2.4.5	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos durante el primer semestre de 2009.	169
Figura 2.4.6	Sismogramas para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La Mesa (inferior). Este evento ocurrió el día 24 de febrero a las 00:28 a.m. Estos registros se encuentran saturados, lo que significa que el nivel energético del evento sísmico sobrepasa el rango de amplitud que la estación puede tolerar.	170
Figura 2.4.7	Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La mesa (inferior) de un evento tipo Tornillo ocurrido el 7 de febrero a las 08:27 p.m. Los espectros muestran un armónico de nivel energético sobresaliente de baja frecuencia. Estas son algunas de las características típicas de los eventos tipo Tornillo.	170
Figura 2.4.8	Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La mesa (inferior) de un evento tipo Tornillo ocurrido el día 22 de febrero a las 10:37 p.m. Los espectros muestran un armónico de nivel energético sobresaliente en las bajas frecuencias.	170
Figura 2.4.9	Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La mesa (inferior) de un evento tipo Tornillo ocurrido el 24 de marzo a las 04:14 a.m.	171
Figura 2.4.10	Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La mesa (inferior), de un evento tipo Tornillo ocurrido el 24 de marzo a las 08:35 a.m.	171
Figura 2.4.11	Sismogramas (superior) y espectro en amplitud (inferior), para las componentes verticales de las estaciones Limones y La Mesa de un evento tipo Tornillo ocurrido el día 17 de abril a las 12:14 a.m. Los espectros muestran un armónico de nivel energético sobresaliente en las bajas frecuencias.	172
Figura 2.4.12	Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para la componente vertical de la estación Limones de un evento tipo LP del volcán Cumbal, registrado el 7 de mayo a las 3:41 p.m.	172
Figura 2.4.13	Número de eventos tipo tornillo ocurridos entre enero y junio de 2009.	173
Figura 2.4.14	Comportamiento de la frecuencia dominante para los eventos tipo tornillo ocurridos entre septiembre de 2008 y junio de 2009.	173

Figura 2.4.15	Componentes de inclinación radial, tangencial, temperatura y voltaje del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 28 de enero y el 30 de junio de 2009.	174
Figura 2.4.16	Componentes de inclinación radial, tangencial, temperatura y voltaje del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 28 de enero y el 30 de junio de 2009.	174
Figura 2.4.17	Imagen del volcán Cumbal, se observa emisión desde las fumarolas El Verde (derecha) y Plazuelas (izquierda). Septiembre 24 de 2008, 07:04 a.m.	175
Figura 2.4.18	Imagen del volcán Cumbal, tomada el día 2 de abril de 2009 a las 9:51 a.m.	175
Figura 2.4.19	Imagen del cráter del volcán Cumbal, tomada el 17 de abril de 2009 a las 6:57 a.m.	176

## RESUMEN

El proceso de reactivación del volcán Galeras que inicio a mediados del 2004, ha mostrado diferentes procesos como: el ascenso y emplazamiento de un primer domo de lava en el fondo del cráter volcánico, evidenciado en enero de 2006, procesos eruptivos posteriores, la extrusión de un segundo domo, evidenciado hacia septiembre de 2008, su posterior proceso de desgasificación y cristalización, al menos de su parte superficial entre los meses de octubre de 2008 y enero de 2009. Dentro de este proceso, a inicios del primer semestre del 2009 se comenzó a evidenciar un proceso de acumulación de presiones al interior del sistema volcánico y su proceso de liberación que desencadenó la ocurrencia de ocho eventos eruptivos en los meses de febrero, marzo, abril y junio de 2009.

Las variaciones en la actividad de Galeras ocasionaron cambios en el nivel de actividad, pasando de **Nivel Amarillo III** ■ “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”, a **Nivel Naranja II** ◆ “Erupción probable en término de días o semanas”, previo a los eventos eruptivos y, posteriormente cambio a **Nivel Rojo I** ▲ “Erupción inminente o en curso”, cuando se dieron los eventos eruptivos.

Estos procesos estuvieron acompañados por sismicidad de tipo fluido, destacándose los registros de Tremor Armónico previos a los eventos eruptivos, que se han asociado con procesos de recarga. De igual manera, la sismicidad anterior a algunos de estos procesos eruptivos mostró enjambres de eventos que involucran microfractura y el paso de este gas confinado, que son los llamados eventos híbridos, los cuales estarían indicando condiciones de sobrepresiones muy superficiales. Adicionalmente, las condiciones de sobrepresión en algunos escenarios estuvieron caracterizadas por la presencia de eventos tipo Tornillo, y finalmente, se han registrado eventos de fluidos tipo LP de fuente transitoria, asociados con procesos de liberación de presiones, que generalmente se dieron posterior a los eventos eruptivos.

Este escenario ha estado acompañado por emisiones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), las cuales mostraron descensos en periodos previos a los eventos eruptivos e incrementos asociados con estos procesos.

Por otra parte, del volumen mínimo del domo emplazado hacia septiembre de 2008, se estimó en 5'000.000 m<sup>3</sup>, y de acuerdo con los cálculos realizados del volumen mínimo emitido durante las ocho erupciones del primer semestre de 2009, este se encuentra alrededor de los 6'000.000 m<sup>3</sup> expulsados en los eventos eruptivos del primer semestre del 2009.

De acuerdo al comportamiento histórico e instrumental de Galeras, la presencia de un cuerpo magmático a manera de domo en el fondo del cráter, incrementa la posibilidad de que en el futuro se puedan generar nuevos eventos eruptivos explosivos.

En cuanto a los volcanes de Doña Juana, Azufra y Cumbal, se ha mantenido el monitoreo de la actividad, lo que ha permitido comenzar a establecer la línea base de la actividad de cada uno de ellos, tanto para conocer el tipo de sismicidad característica en cada volcán, como para plantear sus

posibles escenarios de actividad futura. Por el momento, los tres volcanes mantienen **NIVEL VERDE (IV): "Volcán activo y comportamiento estable"**.

## INTRODUCCIÓN

En el primer semestre de 2009, el Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS mantuvo sus labores de vigilancia de los volcanes activos del territorio colombiano. En este período de tiempo, el instituto, por medio del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), mantuvo el monitoreo continuo de los volcanes Galeras, Doña Juana, Azufral y Cumbal, con redes de monitoreo continuo y en tiempo real de sismología y deformación. Adicionalmente, para el volcán Galeras se implementó el monitoreo continuo de campos electromagnéticos, de muestreos de dióxido de Azufre, monitoreos de actividad superficial y cambios de temperatura en la zona del cráter volcánico, durante sobrevuelos de reconocimiento a la cima del volcán, trabajo realizado con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. Para el desarrollo de este seguimiento aéreo de la actividad superficial, tanto en Galeras como en los volcanes de Doña Juana, Azufral y Cumbal, la FAC tiene a disposición del INGEOMINAS, un helicóptero Hughes 530 y ocasionalmente se ha contado con un helicóptero Huey equipado con una cámara Flir de muy alta tecnología.

Los trabajos de monitoreo, análisis y evaluación de la actividad de los volcanes activos de Nariño, ha permitido mantener informada a la comunidad, a las entidades del Sistema Nacional de Atención y Prevención de Desastres y a las autoridades locales y regionales, sobre la evolución del fenómeno volcánico en el periodo mencionado.

En este boletín de actividad de actividad volcánica se han consignado los resultados obtenidos a partir del monitoreo y seguimiento de la actividad volcánica y la información del funcionamiento de los equipos que conforman las redes de monitoreo utilizados.

Para el trabajo que el OVSP-INGEOMINAS realiza en los volcanes, es importante resaltar el apoyo y colaboración de Instituciones como La Fuerza Aérea Colombiana (FAC), La Policía Nacional de Colombia, el Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) de Alemania, el United States Geological Survey (USGS) de los Estados Unidos y al Proyecto NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change) de la Unión Europea; a quienes INGEOMINAS expresa su agradecimiento.

Los datos y la información contenidos en este boletín son una guía de consulta preliminar que pueden servir como base para el desarrollo de estudios posteriores que requieran mayor detalle y nivel de análisis, pero siempre respetando y citando la fuente primaria. Este boletín se publica en Internet, en la dirección electrónica: [http://intranet.ingeominas.gov.co/pasto/Boletines semestrales](http://intranet.ingeominas.gov.co/pasto/Boletines_semestrales)

A nivel digital, este informe se encuentra disponible en el servidor de archivos del Observatorio identificado como Chapacual, en la siguiente estructura:  
[\\Chapacual\Vigilancia\informes\informes\\_finales\VIGILANCIA\Boletines semestrales\2009\bol\\_I\\_09](\\Chapacual\Vigilancia\informes\informes_finales\VIGILANCIA\Boletines semestrales\2009\bol_I_09)

Con el nombre de BOL\_I\_09\_VOLCANES\_NARIÑO.DOC

## **2. VOLCANES DE VOLCANES**

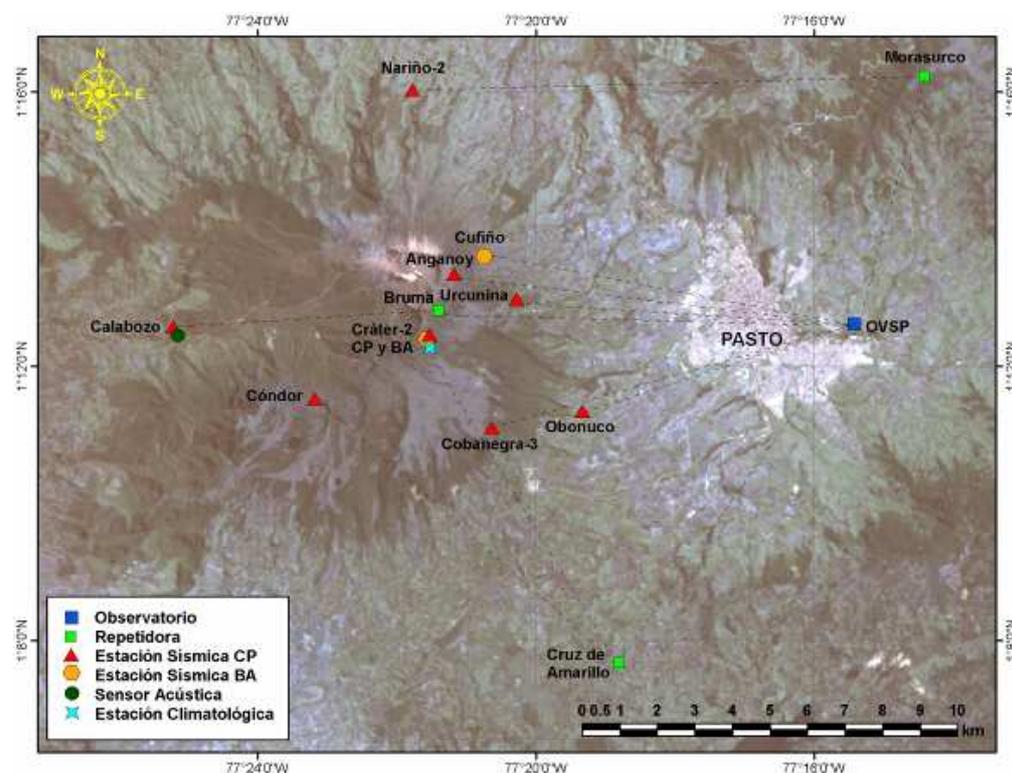
## 2.1 VOLCAN GALERAS

### 2.1.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre de 2009, la red instalada para la vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por las siguientes estaciones:

- Diez estaciones sismológicas telemétricas: ocho de corto periodo (3 triaxiales y 5 de componente vertical) y dos de banda ancha triaxiales (Figura 2.1.1, Tabla 2.1.1). Para recibir la información que detectan estas estaciones en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), se cuenta con una red telemétrica tipo punto a punto, con tres repetidoras instaladas en sitios estratégicos. Las estaciones que usan repetidora para el enlace son: Cráter-2, Cráter-BB y Cóndor (repiten por Cruz de Amarillo); Calabozo (repite por Bruma); y Nariño-2 (repite por Morasurco). En la figura 2.1.1, se muestran los enlaces de radio entre las diferentes estaciones, con las tres repetidoras y con la nueva sede del OVSP.
- Una estación climatológica telemétrica localizada en el sitio de la estación sismológica Cráter-2, que suministra información de: velocidad y dirección del viento, temperatura, pluviometría y presión atmosférica (Figura 2.1.1). Esta estación utiliza el mismo radio-enlace de la estación sísmica Cráter-BB.
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Tabla 2.1.2, Figura 2.1.2). La transmisión de los datos para tres de estos inclinómetros (Cráter, Peladitos y Huairatola) se realiza a través de una red telemétrica tipo punto-multipunto configurada para todos los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño, exceptuando el inclinómetro Calabozo, que emplea el mismo radio-enlace de la estación sísmica y el sensor acústico instalados en el lugar.
- Una red de tres estaciones telemétricas para la detección de emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), que se encuentran localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico. Para recibir la información de estas estaciones en el OVSP se cuenta con una red telemétrica punto a punto conmutable (*switchable*), con dos repetidoras en los cerros Alto de La Palma y Morasurco (Figura 2.1.3, Tabla 2.1.3). Adicionalmente, se dispone de un equipo portátil Mini-DOAS para hacer seguimientos de las emisiones de SO<sub>2</sub>, a través de mediciones efectuadas recorriendo la vía circunvalar al volcán Galeras.
- Un sensor acústico, ubicado en el sector occidental, en el sitio de la estación sismológica de corto periodo Calabozo (Figura 2.1.1). Esta estación utiliza el mismo radio-enlace de la estación de corto período.

- Una estación de campo eléctrico y una estación de campo magnético, instaladas en el flanco nor-nororiental del volcán (Figura 2.1.4).
- Dos cámaras de video para observación y seguimiento de la actividad superficial; una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto y la otra en la institución educativa Los Libertadores, ubicada en el casco urbano del municipio de Consacá (Figura 2.1.5).
- Una cámara térmica FLIR para el monitoreo de anomalías térmicas en la roca, en el área del cono activo, utilizada por el personal del OVSP durante reconocimientos aéreos que se realizan con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).



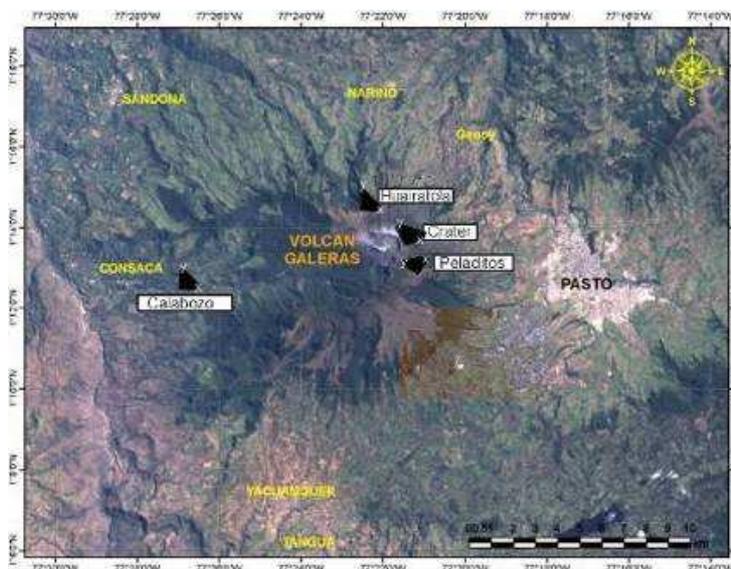
**Figura 2.1.1.** Mapa de localización de algunas de las estaciones (sismómetros de corto periodo-CP y banda ancha-BA, acelerómetros, acústico, climática y repetidoras) que conformaron la red de monitoreo de Galeras durante el primer semestre de 2009.

En este semestre se realizaron en campo los mantenimientos preventivos y

correctivos de las estaciones que conforman las redes de monitoreo volcánico de Galeras; adicionalmente, se hicieron mantenimientos en las repetidoras y equipos de recepción en la sede del Observatorio. La operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 84% con un registro de calidad, lo que permitió garantizar una información confiable para la apropiada evaluación de la actividad volcánica. La Figura 2.1.6 muestra el histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico, climatología, inclinometría electrónica, mediciones de gas SO<sub>2</sub> de Galeras, acústica, campo eléctrico y magnético, video y térmica, durante el primer semestre de 2009.

**Tabla 2.1.1.** Características de algunas de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Galeras durante el primer semestre de 2009.

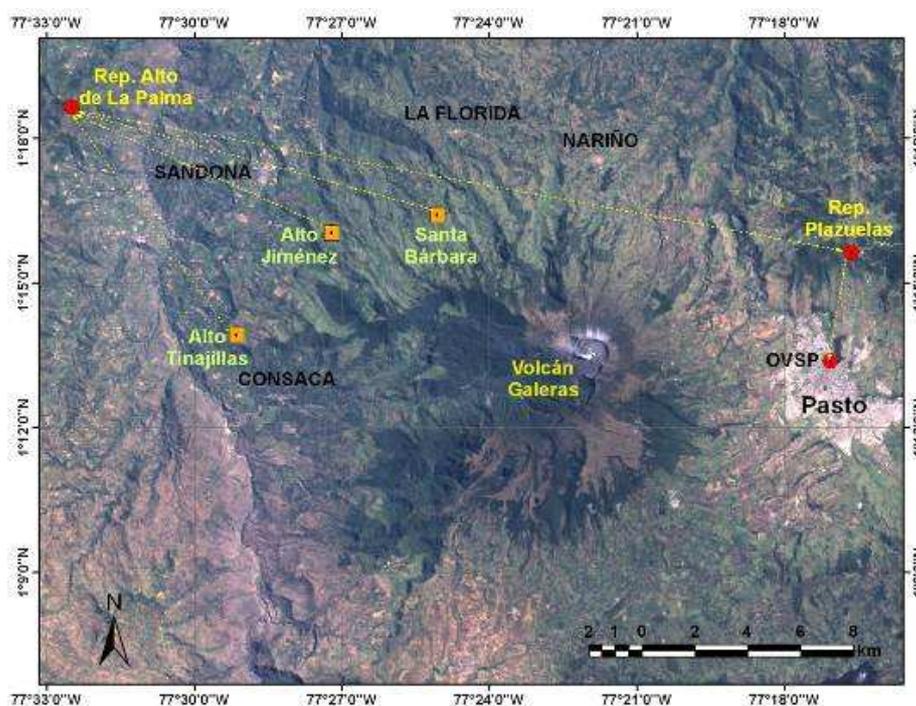
Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al cráter (km)	Dirección respecto al cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	Analógica	Sismómetro Corto Período	Vertical	0.84	ESE	4170
Cráter-2	Digital	Sismómetro Corto Período	Vertical	1.48	S	4048
Cráter-BB	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1.54	S	4052
Cufiño-BB	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1.90	ENE	3800
Urcunina	Analógica	Sismómetro Corto Período	Triaxial	2.26	ESE	3494
Cobanegra-3	Analógica	Sismómetro Corto Período	Vertical	3.94	SSE	3625
Condor	Analógica	Sismómetro Corto Período	Vertical	4.86	SW	3985
Obonuco	Analógica	Sismómetro Corto Período	Triaxial	4.94	SE	3010
Nariño-2	Analógica	Sismómetro Corto Período	Vertical	5.00	NNW	2870
Calabozo	Digital	Sismómetro Corto Período	Triaxial	6.83	SSW	2353
Cami	Digital	Micrófono	Unidireccional	6.83	SSW	2353
Climatología	Digital	Anemómetro, Termómetro, Pluviómetro, Barómetro	No aplica	1.48	S	4048



**Figura 2.1.2.** Red de monitoreo de la deformación volcánica del Galeras, conformada por cuatro inclinómetros electrónicos, que funcionaron en el primer semestre de 2009.

**Tabla 2.1.2.** Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el primer semestre de 2009.

Inclinómetros Electrónicos	Distancia al cráter (km)	Ubicación respecto al cráter principal	Altitud (msnm)
Cráter	0.8	ENE	4060
Peladitos	1.4	SE	3850
Huairatola	1.7	N	3745
Calabozo	7.1	WSW	2350



**Figura 2.1.3.** Mapa de localización de las estaciones telemétricas escan-DOAS del proyecto NOVAC para el monitoreo de emisiones de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ), que funcionaron durante el primer semestre de 2009.

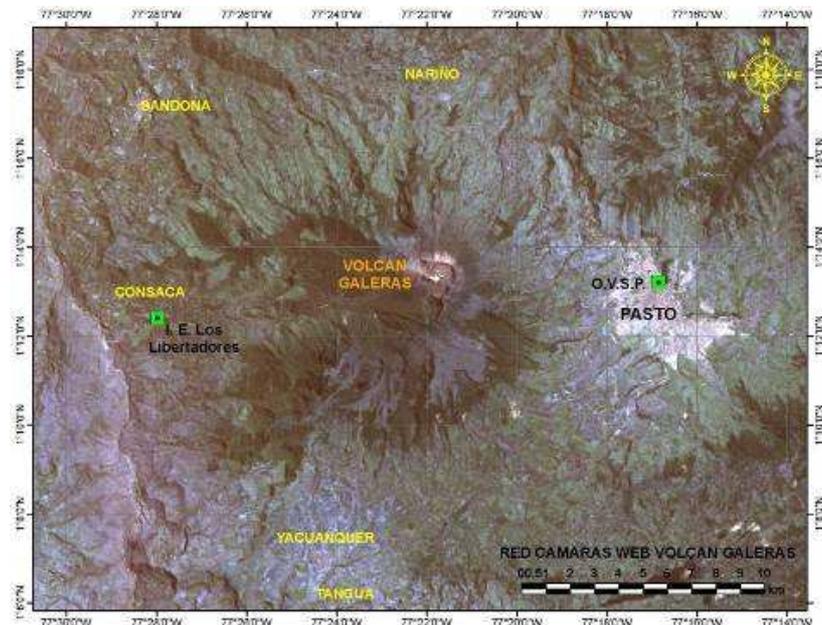
**Tabla 2.1.3.** Características de las estaciones que conforman la red de instrumentos escan-DOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras, las cuales funcionaron durante el primer semestre de 2009.

Estación	Distancia al cráter (km)	ángulo del scan (°)	Altura de referencia de la pluma* (m)	Dirección compás (° contra-azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Santa Bárbara	7.9	60	1600	131	NNW	2600
Alto Jiménez	10.8	90	1800	115	NE	2400
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	W	2100

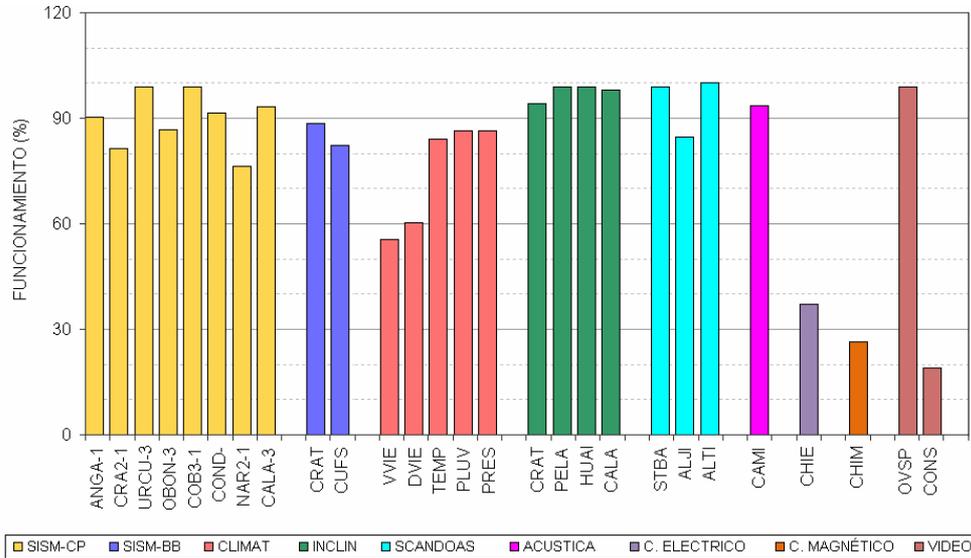
\* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm).



**Figura 2.1.4.** Mapa de localización de la estación para el monitoreo del campo eléctrico y magnético, que funcionó durante el primer semestre de 2009.



**Figura 2.1.5.** Mapa de localización de las cámaras web que funcionaron durante el primer semestre de 2009. Estas cámaras se encuentran instaladas en la sede del OVSP en Pasto y en la Institución Educativa Los Libertadores en el casco urbano del municipio de Consacá.



**Figura 2.1.6.** Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2009 (enero a junio de 2009), de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras.

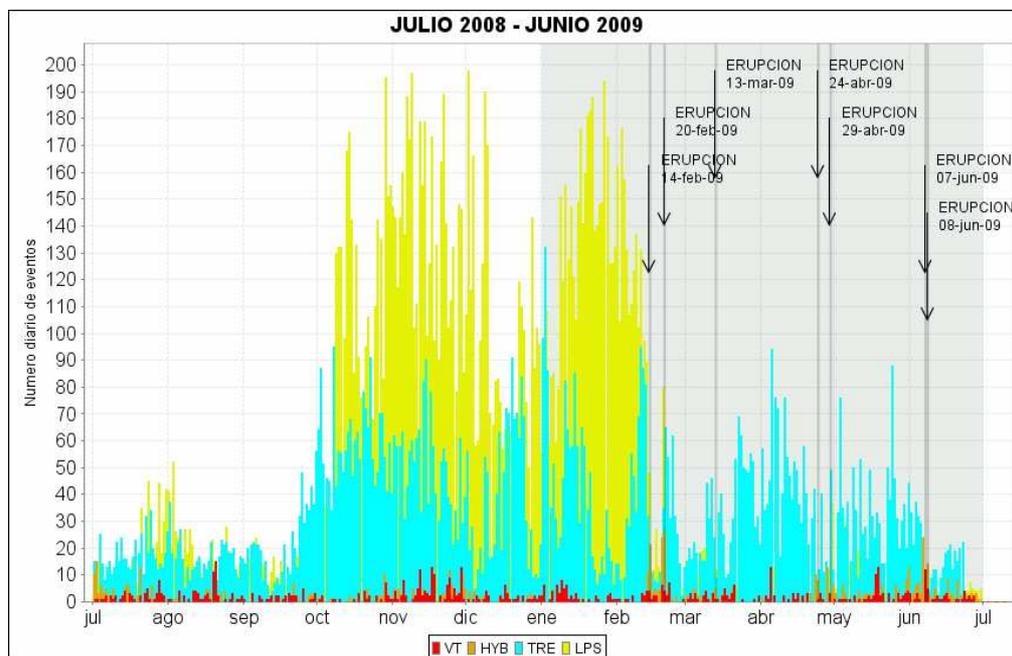
Durante el primer semestre de 2009, se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos tendientes a mejorar la calidad de la información. Los principales problemas presentados estuvieron relacionados con: interferencias en las estaciones de corto período debido a bajo voltaje en las baterías, desacople en la multiplexación de las señales y dificultades en el radio enlace; en las estaciones de transmisión digital hubo momentos en que no llegaron datos falta de alimentación del sistema, por bajo voltaje en las baterías, dificultades en el enlace y daño en algún sensor. En este periodo se hicieron cambios de equipos y nuevas instalaciones en la red de vigilancia del volcán Galeras, los cuales se relacionan en la tabla 2.1.4:

**Tabla 2.1.4.** Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red de Galeras, durante el primer semestre de 2009.

FECHA	ESTACION	DESCRIPCIÓN
Enero	CHIGUACO-EM	Desde finales del 2008 se tuvieron problemas con el digitalizador, por lo tanto fue cambiado en el primer semestre del año 2009.
Enero	VIDEO CONSACÁ	Se presentó problemas con el computador, debido a sobre voltajes en el fluido eléctrico.
Febrero	SCANDOAS ALTO JIMÉNEZ	Se instaló doble haz y se corrigió desviación del espejo.
Marzo	CHIGUACO-EM	El sensor de campo magnético se retiró debido a humedad. Adicionalmente, una tormenta eléctrica dejó fuera de funcionamiento la estación de campo eléctrico el 30 de marzo.
Abril	TODAS LAS ESTACIONES	A finales del mes se realizó el traslado a la nueva sede; por lo tanto, mientras se pasaron los equipos, estos estuvieron fuera de funcionamiento.
Abril	INCLINÓMETRO CRÁTER	Una tormenta eléctrica causó daño en el sensor y en la tarjeta. Estos equipos se remplazaron.
Abril	REPETIDORA MORASURCO 2	Vandalismo, ocasionó daño en el sistema de protección impidiendo la instalación de equipos (repetidora de los datos de los escan-DOAS y de la estación sismológica Nariño-2). Con el cambio de sede, los sitios donde se repetían estos datos perdieron el enlace. Fue necesario hacer un nuevo sistema de protección, y los equipos se instalaron en el mes de mayo.
Abril	VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO	Se retiró el equipo para revisión, el cual no se encontraba funcionando bien.
Mayo	TODOS LOS INCLINÓMETROS	Durante 10 horas no se recibió información de los inclinómetros electrónicos debido a un problema en el sistema de adquisición.

## 2.1.2 SISMOLOGÍA

El primer semestre de 2009 estuvo marcado por el registro de ocho erupciones de carácter explosivo. Es el semestre con mayor actividad eruptiva desde que Galeras se encuentra monitoreado. Los cambios más notorios respecto al segundo semestre de 2008 se dieron con la drástica disminución en la ocurrencia de la sismicidad de Largo Período tipo LP (movimiento de fluidos de carácter transitorio) y en el incremento del tipo de eventos llamado Híbrido, HYB (que involucran tanto fractura de material cortical como movimiento de fluidos). En cuanto al número de episodios de tremor, TRE (movimiento de fluidos de fuente persistente) no se presentó una variación significativa, de la misma forma para los eventos cuya génesis es el fracturamiento de material cortical, VT o Volcano-Tectónicos. (Figura 2.1.7, Figura 2.1.8 y Tabla 2.1.5).

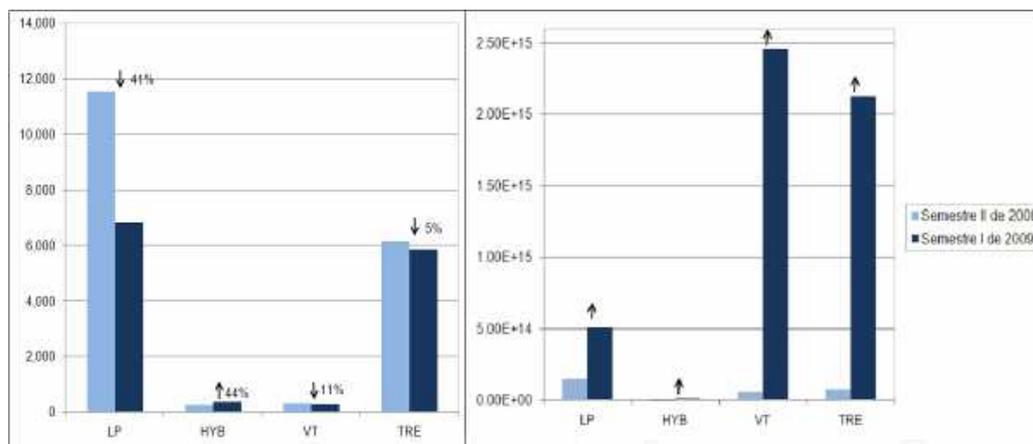


**Figura 2.1.7.** Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde julio de 2008 a junio de 2009. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

En cuanto a la energía sísmica liberada, es interesante notar que para los sismos tipo LP, aunque en ocurrencia mostraron descenso, en energía indicaron ascenso, la causa de esto fue la presencia de eventos LP que liberaron cantidades significativas de energía después de algunas de las fases eruptivas que se presentaron a lo largo del semestre, especialmente las de febrero y abril; de igual manera, para estos periodos, los sismos tipo HYB incrementaron el valor energético liberado, pero en esto es consistente con un incremento en la

ocurrencia de este tipo de sismos. La energía de onda de cuerpo liberada por los sismos tipo TRE se vio notablemente incrementada ya que se involucra la energía liberada por las erupciones, las cuales están incluidas en la clasificación de este tipo de señal. Finalmente, es evidente un notable incremento en la energía liberada por los sismos tipo VT, para este caso es importante resaltar que las erupciones de junio, tienen dentro de la señal sísmica asociada, eventos de fractura embebidos en ellas, uno para cada erupción, estos eventos fueron sentidos por personas en la zona de influencia del volcán y aportan considerablemente al total de energía calculado para el semestre en evaluación. (Figura 2.1.8, y Tabla 2.1.6).

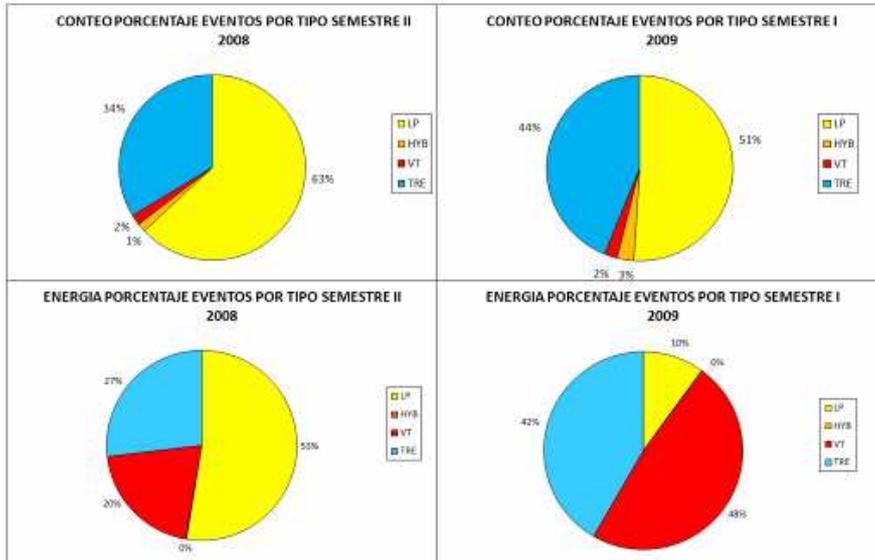
En cuanto a las relaciones porcentuales en ocurrencia, teniendo en cuenta el tipo de sismicidad, se observa un dominio de los tipos TRE y LP, mientras que en energía tuvieron mayor peso los sismos Volcano-Tectónicos (Figura 2.1.9).



**Figura 2.1.8.** Relaciones porcentuales de la variación de la sismicidad del segundo semestre del 2008 en comparación con el primer semestre de 2009. Al lado izquierdo, la ocurrencia de sismos y a la derecha, la energía sísmica liberada.

**Tabla 2.1.5.** Número de sismos volcánicos por tipo, registrados en los periodos indicados.

TIPO DE SISMO	Semestre II de 2008	Semestre I de 2009
Largo Periodo (LP)	11540	6831
Híbrido (HIB)	268	387
Volcano-Tectónico (VT)	338	301
Tremor (TRE)	6164	5867
<b>TOTAL</b>	<b>18310</b>	<b>13386</b>
Sismos no clasificables		



**Figura 2.1.9.** Relaciones porcentuales de conteo (arriba) y energía sísmica liberada (abajo) por tipo de sismos para el segundo semestre de 2008 (izquierda) y el primer semestre de 2009 (derecha).

**Tabla 2.1.6.** Energía sísmica liberada para cada tipo de evento, en los periodos indicados.

TIPO DE SISMO	Semestre II de 2008	Semestre I de 2009
Largo periodo (LP)	1.53E+14	5.09E+14
Híbrido (HIB)	3.57E+11	9.49E+12
Volcano-Tectónico (VT)	5.95E+13	2.46E+15
Tremor (TRE)	7.83E+13	2.13E+15
<b>TOTAL</b>	<b>2.91E+14</b>	<b>5.11E+15</b>

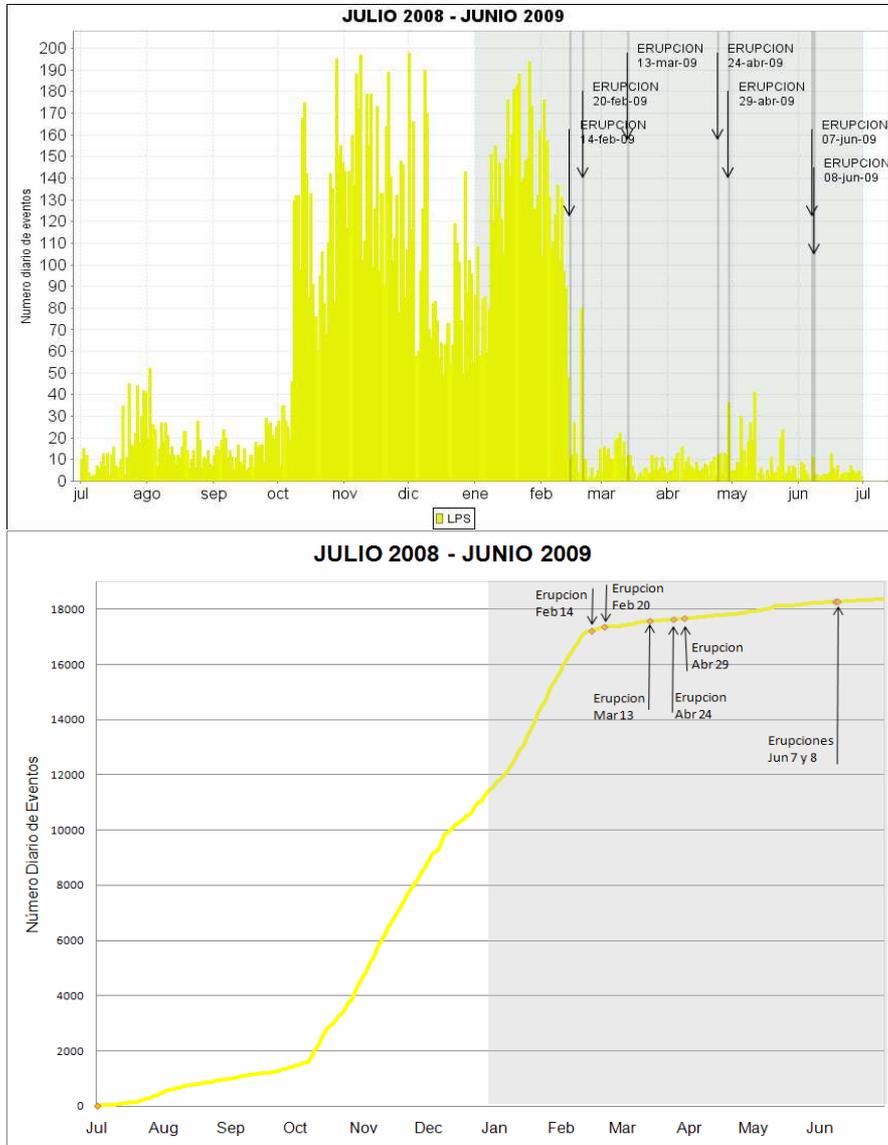
Las erupciones explosivas del semestre no corresponden a eventos aislados ya que se presentan bajo el contexto de la intrusión y emplazamiento de dos domos de lava, el primero de los cuales se detectó instrumentalmente hacia mediados del 2005 (afectado por erupciones del 2006 y 2008) y por el aporte de nuevo material magmático (segundo domo) que incrementó el volumen dómico remanente en el cráter principal, proceso reflejado por la recarga que se evidenció a lo largo del 2007 y 2008 (particularmente por los episodios de julio de 2007 y marzo de 2008).

Se destaca que los procesos pre-eruptivos presentaron similitudes en los cambios de la sismicidad y particularmente, en la relativa rapidez con la que evoluciona el sistema (días a horas). La evolución general de esos procesos eruptivos-explosivos se ajusta a un modelo que refleja un sistema capaz de generar sobrepresiones como consecuencia de material magmático localizado a niveles superficiales, con ciertas propiedades físico-químicas y confinado en el interior del volcán por el sello formado por el domo de lava que impide o reduce significativamente la liberación de fluidos hacia la atmósfera. Este modelo se basa principalmente en el tipo de sismos registrados (eventos tipo Tornillo con

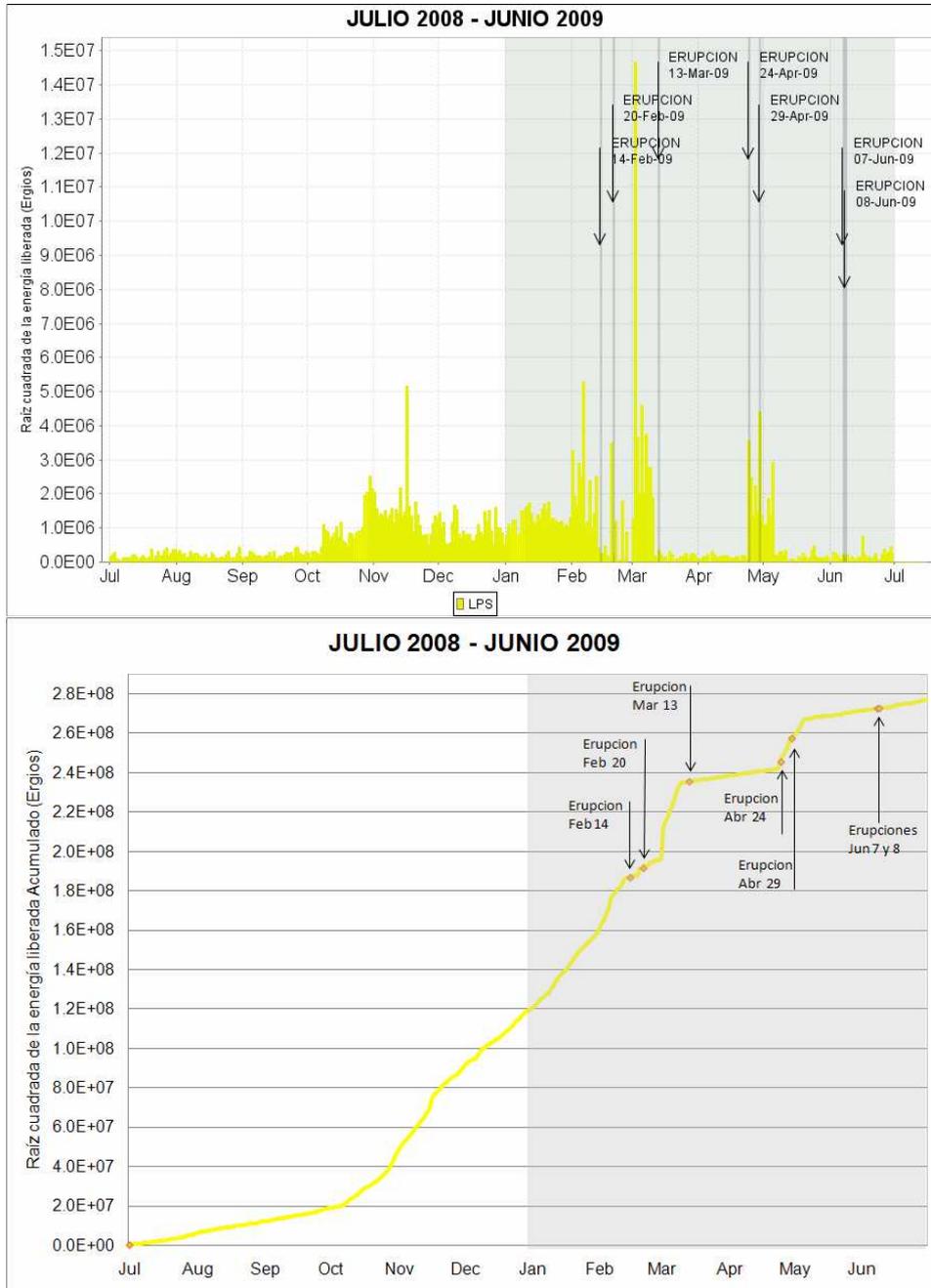
características especiales, fracturas y micro-fracturas generadas a niveles superficiales), el comportamiento del Dióxido de Azufre (fluctuante y con tendencia al descenso), la observación de las manifestaciones de la actividad superficial (emisiones de gases y cenizas), el contexto de domos emplazados en el fondo del cráter principal y con la visión de parámetros que se analizan de manera integral.

De acuerdo con el seguimiento fotográfico al incremento del domo en el 2008 y la aplicación de modelos gráficos, el volumen estimado a diciembre 12 de 2008 fue de aproximadamente cuatro millones quinientos mil metros cúbicos ( $4'500.000 \text{ m}^3$ ) y que antes de los eventos eruptivos de febrero de 2009, pudo haber estado en un valor cercano a los cinco millones quinientos mil metros cúbicos ( $5'500.000 \text{ m}^3$ ), asumiendo una tasa de crecimiento promedio entre quince mil y veinte mil metros cúbicos por día ( $15.000 - 20000 \text{ m}^3/\text{día}$ ), valor estimado de acuerdo a los domos de 1991 y 2006. Con las erupciones del primer semestre de 2009, el material del domo emplazado a finales de 2008 (de acuerdo con los volúmenes estimados), prácticamente fue expulsado; sin embargo, Galeras sigue mostrando evidencias de que puede existir material magmático a niveles superficiales y por otro lado, con base en lo registrado entre 1992 y 1993, el volcán es capaz de seguir presentando procesos eruptivos que involucren mayores volúmenes a los estimados para los domos como tal.

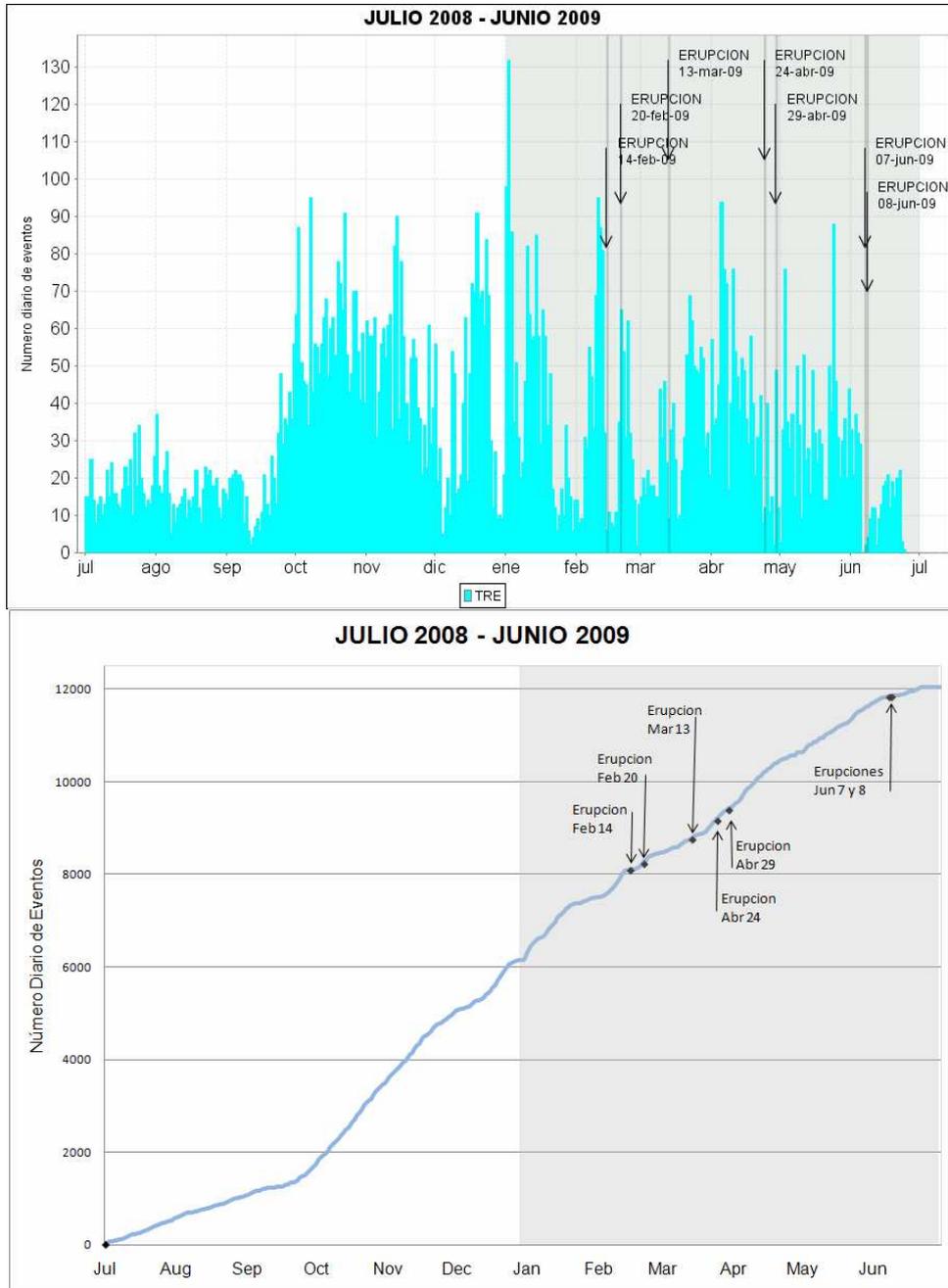
Las figuras 2.1.10 a la 2.1.17 muestran de manera más detallada el comportamiento de la sismicidad en el primer semestre de 2009 en cuanto a su ocurrencia y energía liberada, comparándolas con lo calculado para el segundo semestre de 2008.



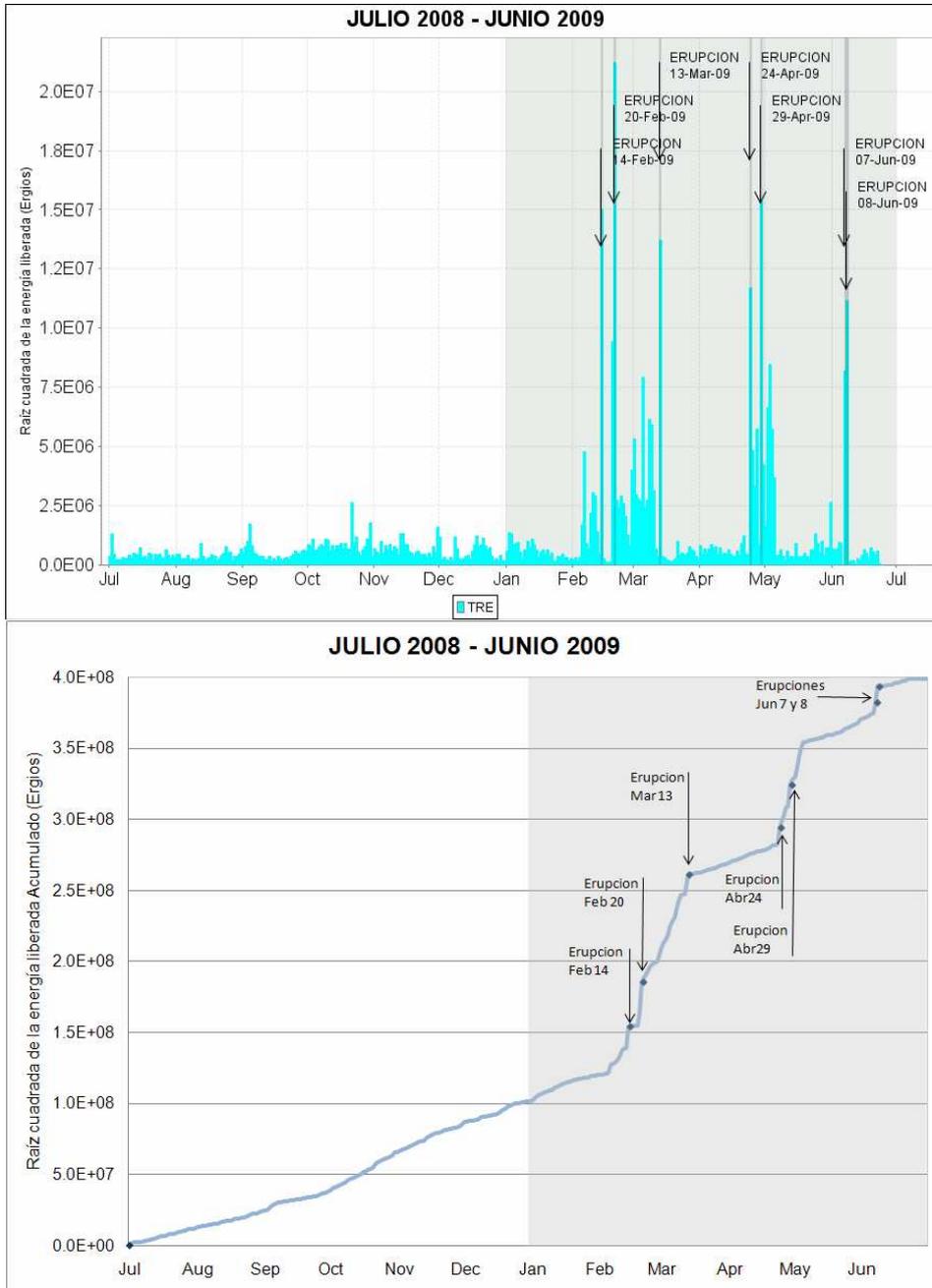
**Figura 2.1.10.** Histograma de número diario de sismos LP (arriba) y acumulado de sismos LP (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.



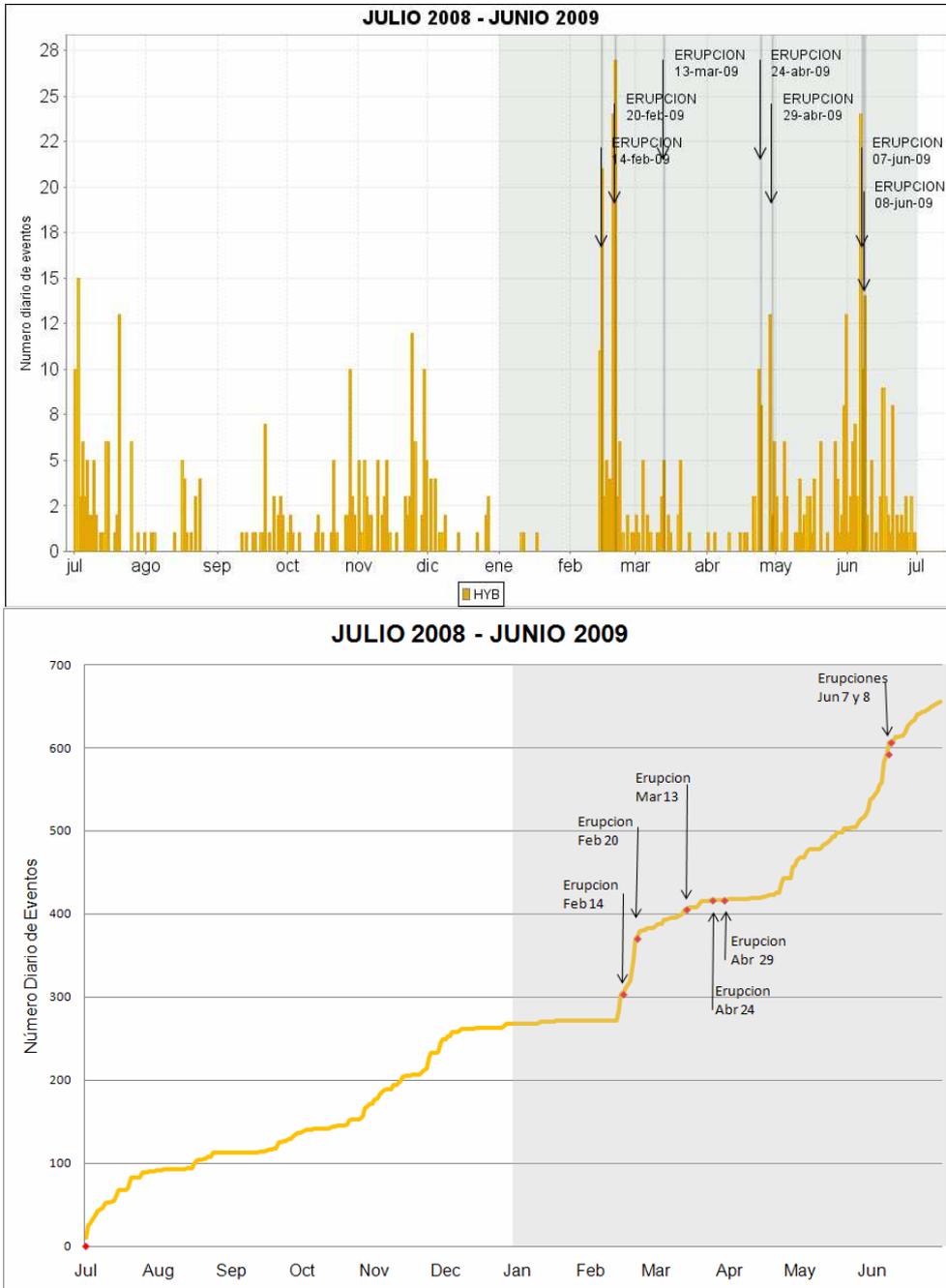
**Figura 2.1.11.** Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos LP (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el segundo semestre del 2008 y el primero del 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.



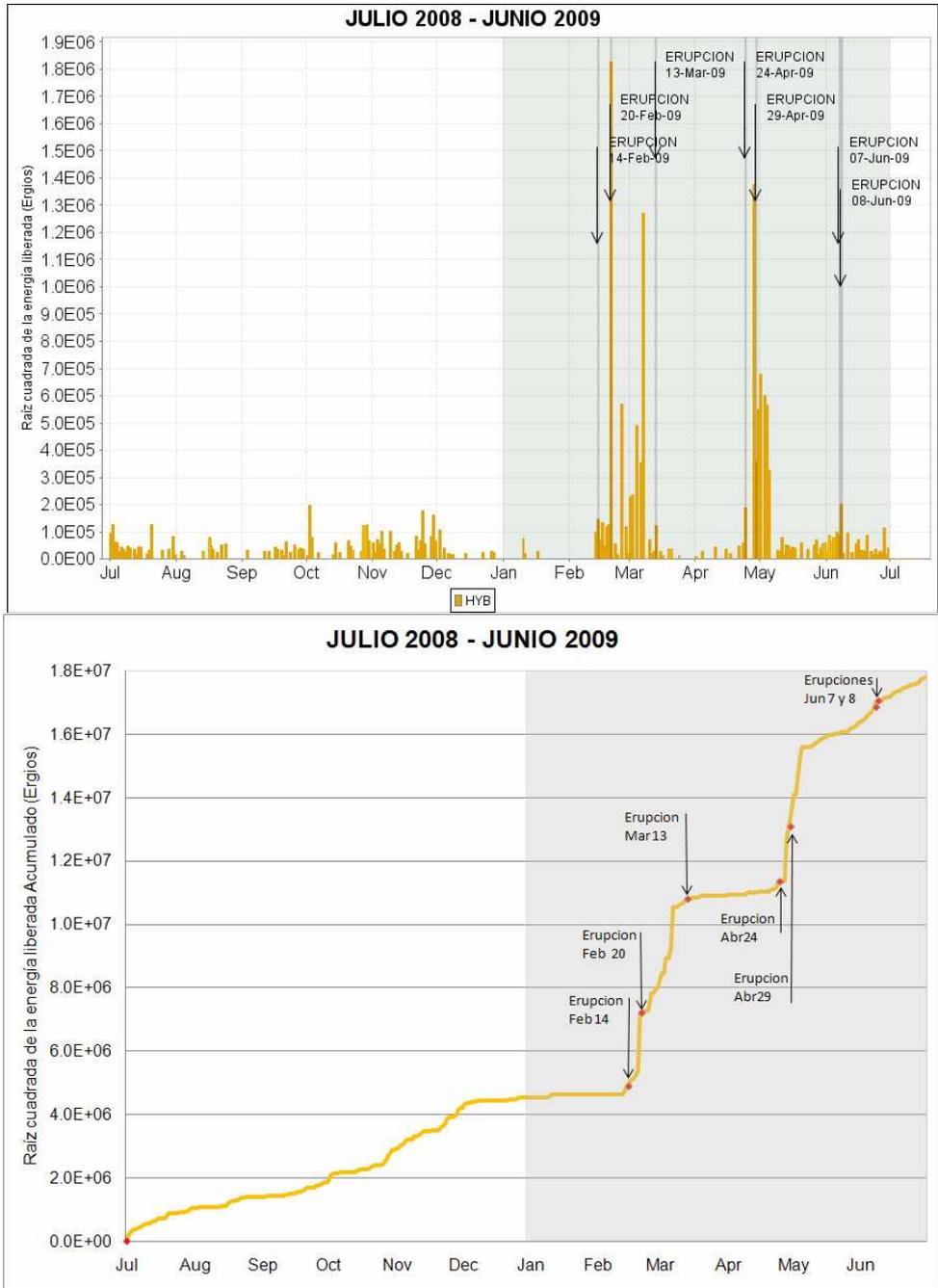
**Figura 2.1.12.** Histograma de número diario de episodios TRE (arriba) y acumulado de episodios TRE (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.



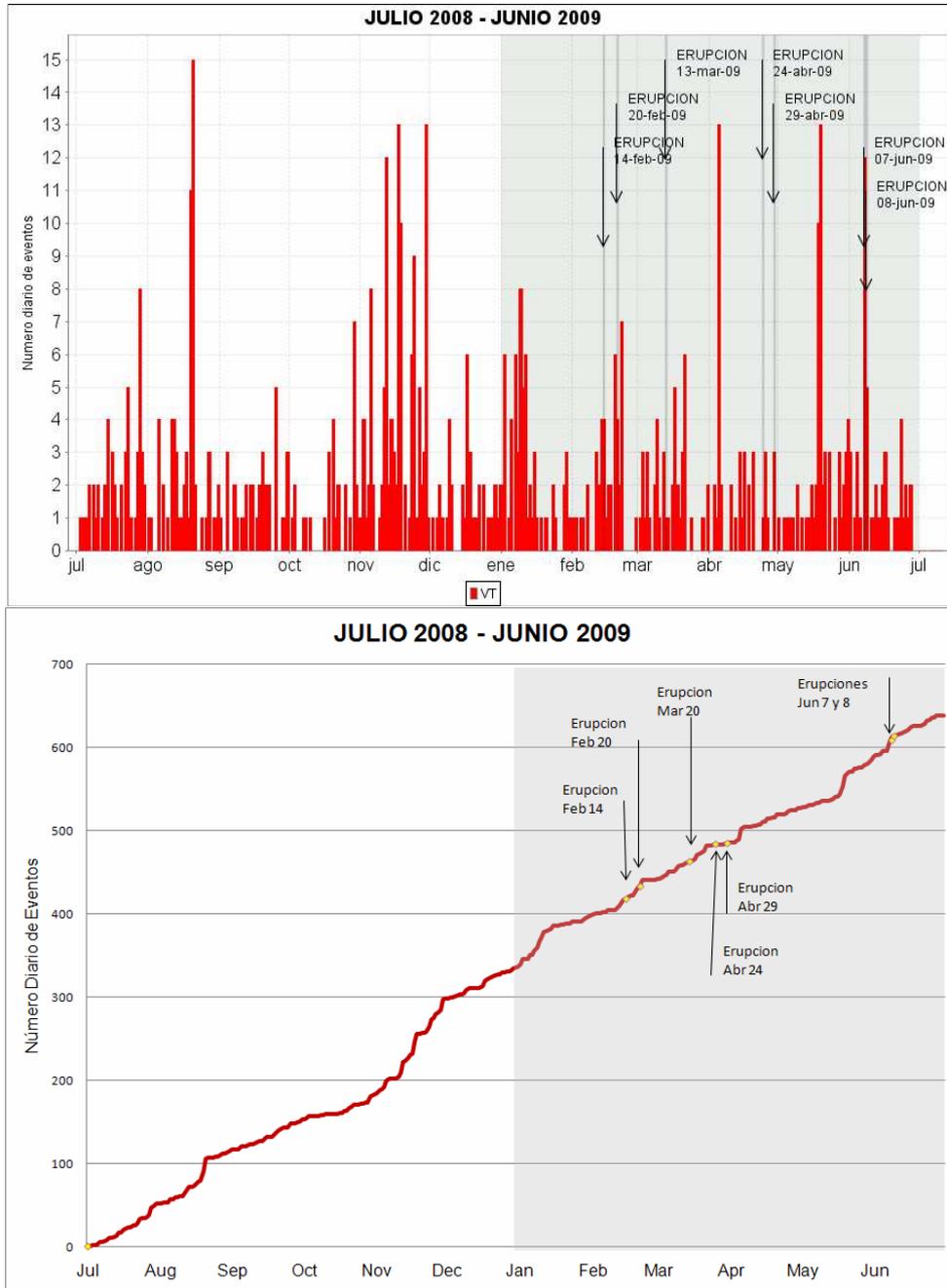
**Figura 2.1.13.** Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos TRE (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el segundo semestre del 2008 y primer semestre del 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.



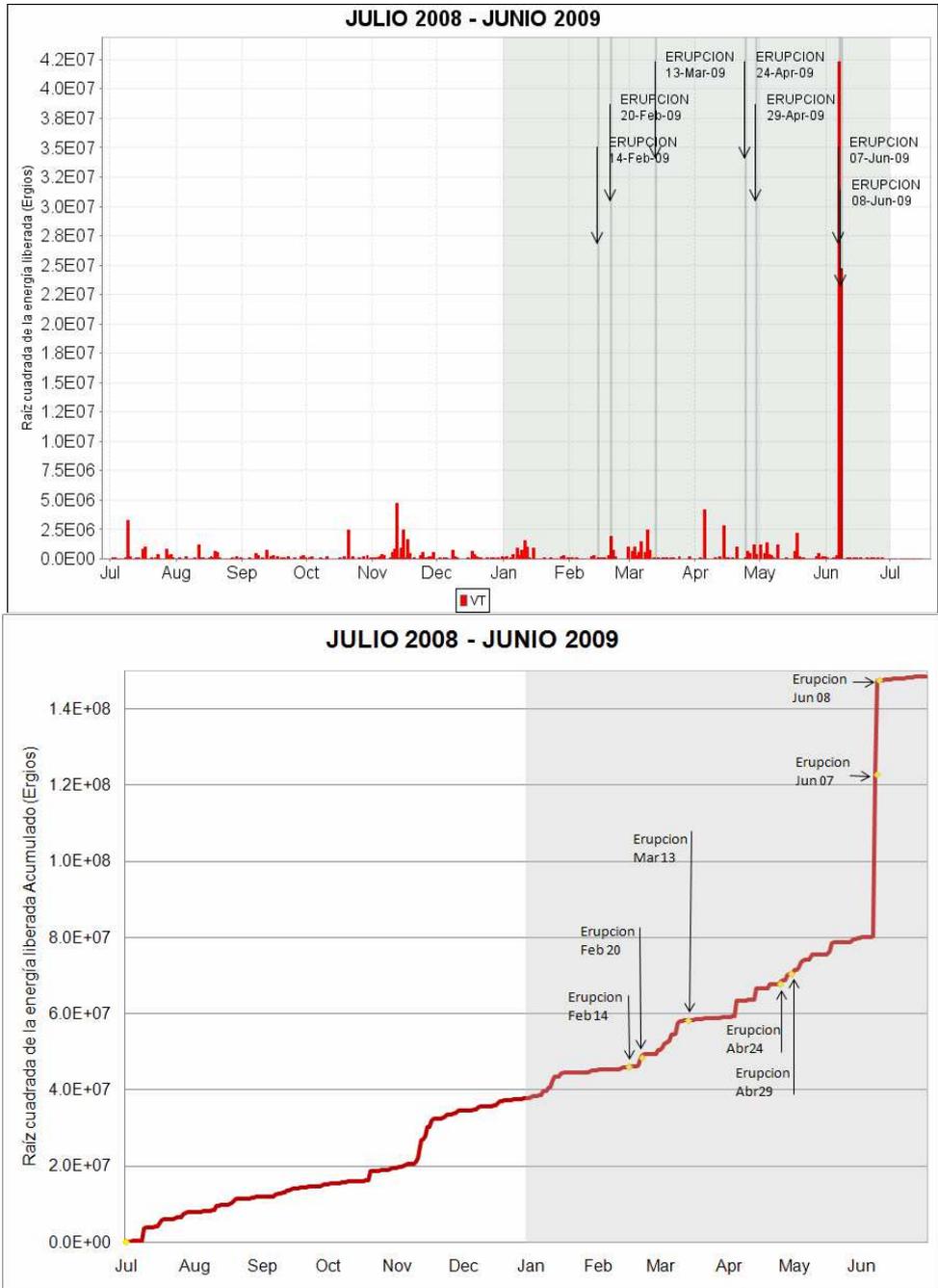
**Figura 2.1.14.** Histograma de número diario de sismos HYB (arriba) y acumulado de sismos HYB (abajo) durante el segundo semestre del 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.



**Figura 2.1.15.** Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos HYB (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

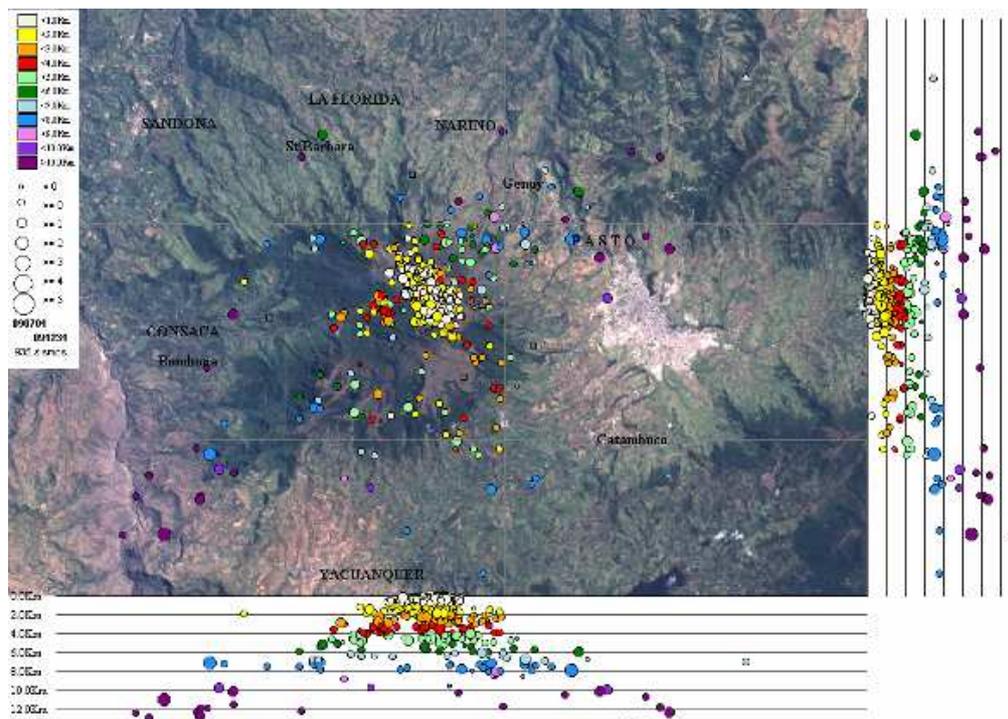


**Figura 2.1.16.** Histograma de número diario de sismos VT (arriba) y acumulado de sismos VT (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

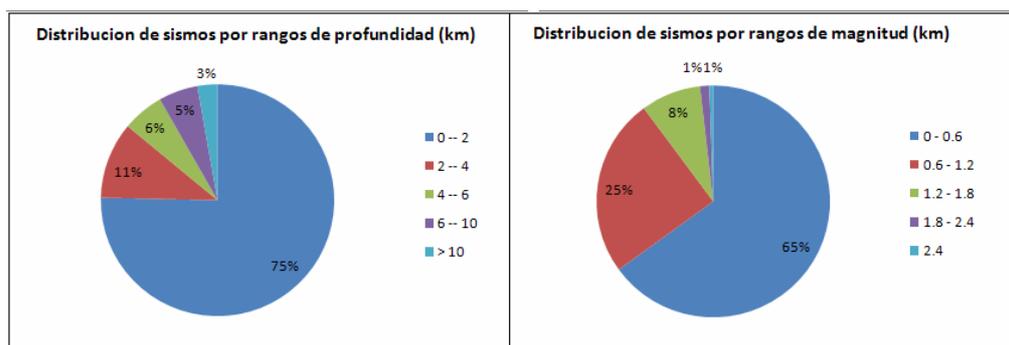


**Figura 2.1.17.** Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos VT (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

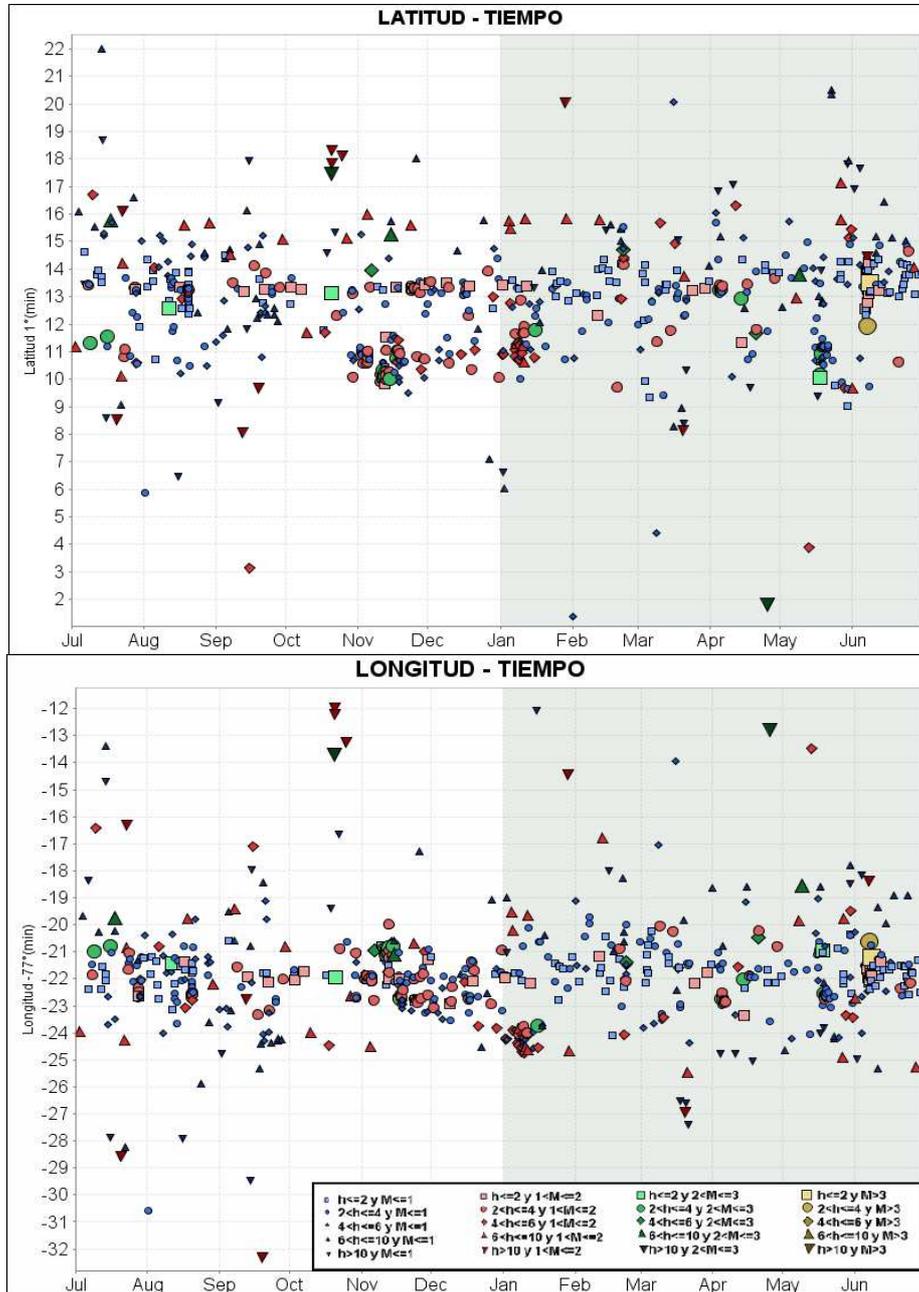
En las gráficas de la 2.1.18 a la 2.1.21 se muestran detalles de parámetros propios de los sismos que involucran únicamente fracturamiento de material cortical y sismos que contienen la mezcla de este fenómeno con movimiento de fluidos.



**Figura 2.1.18.** Hipocentros de sismos VT en la zona de influencia de Galeras durante el primer semestre de 2009. En los cortes norte-sur (derecha) y este-oeste (abajo) cada división equivale a 2 Km.



**Figura 2.1.19.** Relaciones porcentuales por rangos de profundidad (izquierda) y por rangos de magnitud local (derecha) para los sismos VT localizados durante el primer semestre de 2009. A la derecha de cada diagrama se presentan sus convenciones.



**Figura 2.1.20.** Evolución espacio temporal de sismos VT durante el segundo semestre de 2008 y el primer semestre de 2009. En la gráfica superior se muestra las latitudes y en la inferior las longitudes.

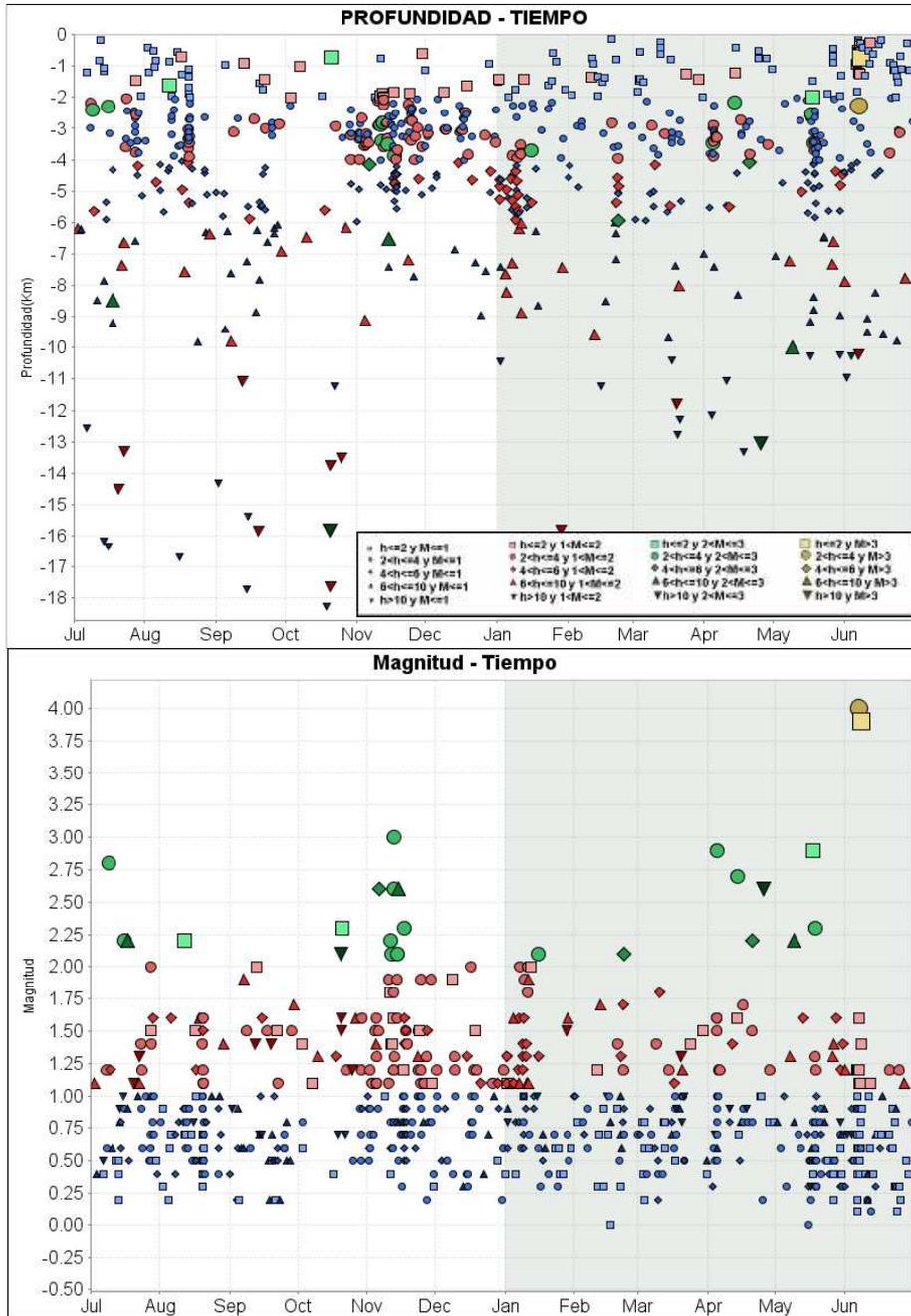


Figura 2.1.21. Evolución espacio temporal de sismos VT durante el segundo semestre del 2008 y primer semestre de 2009. En la gráfica superior se muestra las profundidades y en la inferior las magnitudes

### **2.1.2.1 Episodios eruptivos del primer semestre de 2009**

#### **2.1.2.1.1 Episodio eruptivo del 14 de febrero de 2009**

Durante el mes de febrero el volcán Galeras registró dos eventos eruptivos de carácter explosivo, el primero tuvo lugar a las 07:10 p.m. del 14 de febrero y el segundo a las 07:04 a.m. del 20 de febrero.

Estas erupciones suceden en el marco de la intrusión y emplazamiento de dos domos de lava, el primero detectado hacia mediados de 2005 y que fue recargado con aportes de magma en episodios de 2007 y 2008 (segundo domo). La señal sísmica asociada a la erupción del 20 de febrero fue una de las más energéticas del ciclo eruptivo iniciado en 2004. Justo antes de los eventos eruptivos de 2009 se calculaba un volumen del domo de lava cercano a los cinco millones quinientos mil metros cúbicos ( $5'500.000 \text{ m}^3$ ), teniendo en cuenta tanto material piroclástico como proyectiles balísticos. Durante la erupción del 14 se expulsaron  $285.000 \text{ m}^3$  y en la del 20 de febrero  $1'430.000 \text{ m}^3$ . El material expulsado en las dos erupciones representa entre un 30 a 35 % del total del volumen estimado del domo de lava.

La actividad sísmica durante las semanas comprendidas entre el 3 y el 16 de febrero, puede describirse en siete periodos (Figura 2.1.22):

1. El primero, hasta el 5 de febrero (y siguiendo el comportamiento de las semanas anteriores), con actividad predominante de sismos LP de niveles energéticos considerables y pocos eventos de TRE espasmódico.
2. El segundo periodo, desde el 5 hasta al 9 de febrero, con la aparición de eventos de TRE (principalmente con características armónicas) entremezclados con eventos LP de menores niveles energéticos.
3. El tercero desde el 9 hasta el 12 de febrero, con pocos eventos LP y TRE casi permanente, especialmente el día 10 de febrero, muchos de estos con características armónicas.
4. El cuarto desde el 12 hasta el 13 de febrero, con disminución del TRE armónico y pocos eventos LP de niveles energéticos inferiores a los del primer y el segundo periodo.
5. El quinto, desde el 13 de febrero hasta instantes antes de la erupción, prácticamente sin eventos TRE ni LP y aparición de eventos asociados a fracturamiento de material sólido a niveles muy superficiales, de nivel energético muy bajo (VT-tipo B e HYB, estos últimos se dan por la interacción entre el fluido y la roca encajante). Cualitativamente, se destaca la ocurrencia el 13 de febrero de un evento de fluidos de características armónicas, corta duración, bajo nivel energético y frecuencias dominantes altas (Figura 2.1.23). Los cambios en la actividad en este quinto periodo, sugirieron una condición de

incremento en las sobrepresiones al interior del sistema volcánico, que puede ser el reflejo de una fase más marcada de enfriamiento, cristalización y solidificación del material del domo. El análisis de la actividad volcánica motivó la emisión de un reporte extraordinario de actividad de Galeras el 14 de febrero a las 4:45 p.m. Cabe resaltar que un comportamiento similar se registró previo a la emisión de ceniza del 30 de noviembre de 2008.

6. Sexto, episodio eruptivo-explosivo del 14 de febrero a las 7:10 p.m. (cambio a Nivel I), hasta aproximadamente las 8:30 p.m. del día 15 de febrero, donde luego de presentarse la erupción, la sismicidad mostró bajos niveles de ocurrencia y de energía, similares a los del quinto periodo, pero sin el registro de eventos de fractura.
7. El séptimo, desde aproximadamente las 8:30 p.m., del 15 de febrero, hora a la cual se registró un episodio de TRE espasmódico, con una duración cercana a dos horas y asociado con procesos de liberación de gases, eventos LP de bajo nivel energético, junto con pocos sismos de TRE espasmódico, que igualmente presentaron un nivel energético bajo. Este cambio en la actividad sísmica, sumado a la ocurrencia del evento eruptivo explosivo del 14 de febrero y la observación de columnas de gases, indicó un descenso en las sobrepresiones al interior del sistema volcánico que motivó el cambio de Nivel I a II, el 16 de febrero a las 12:40 p.m.

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

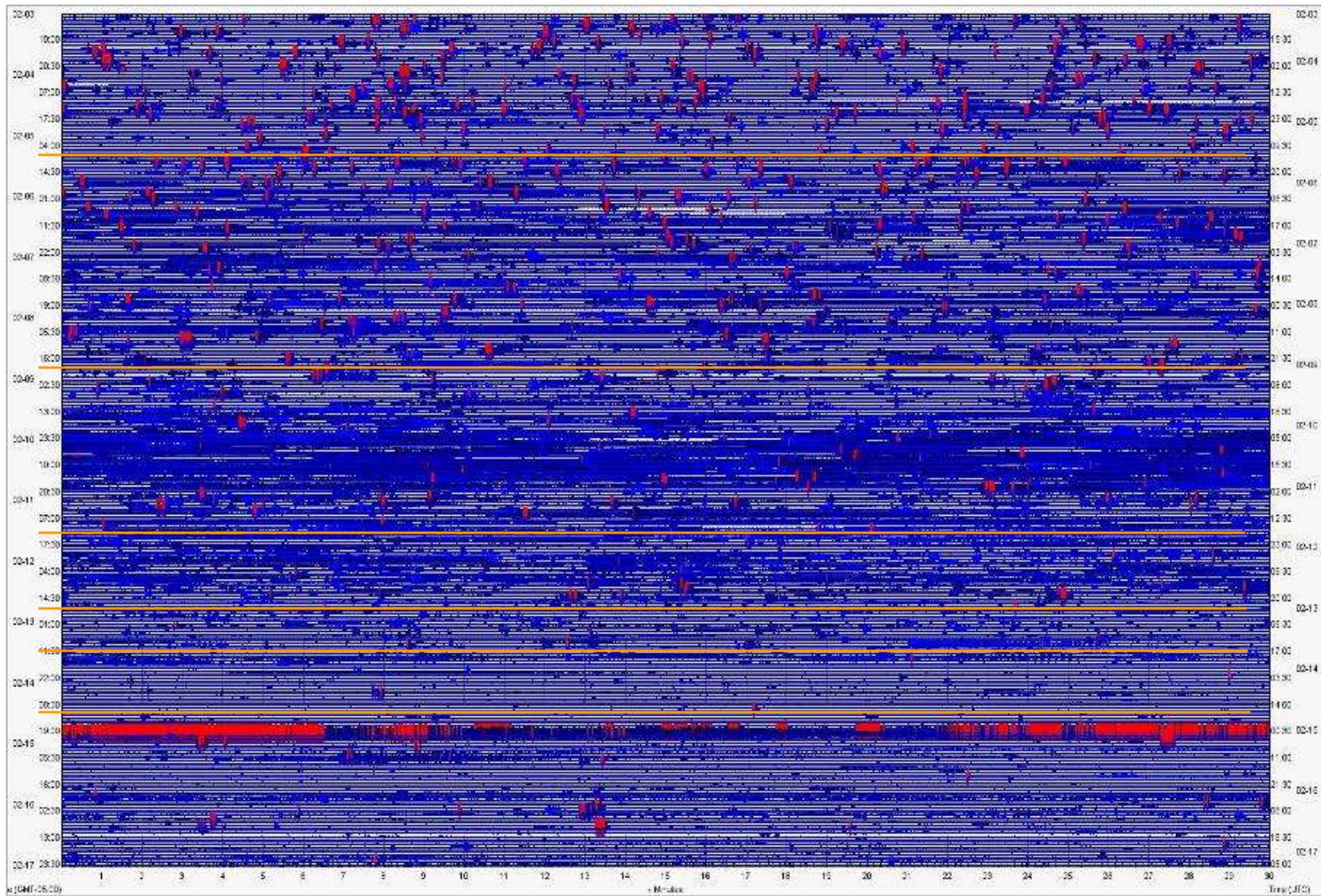
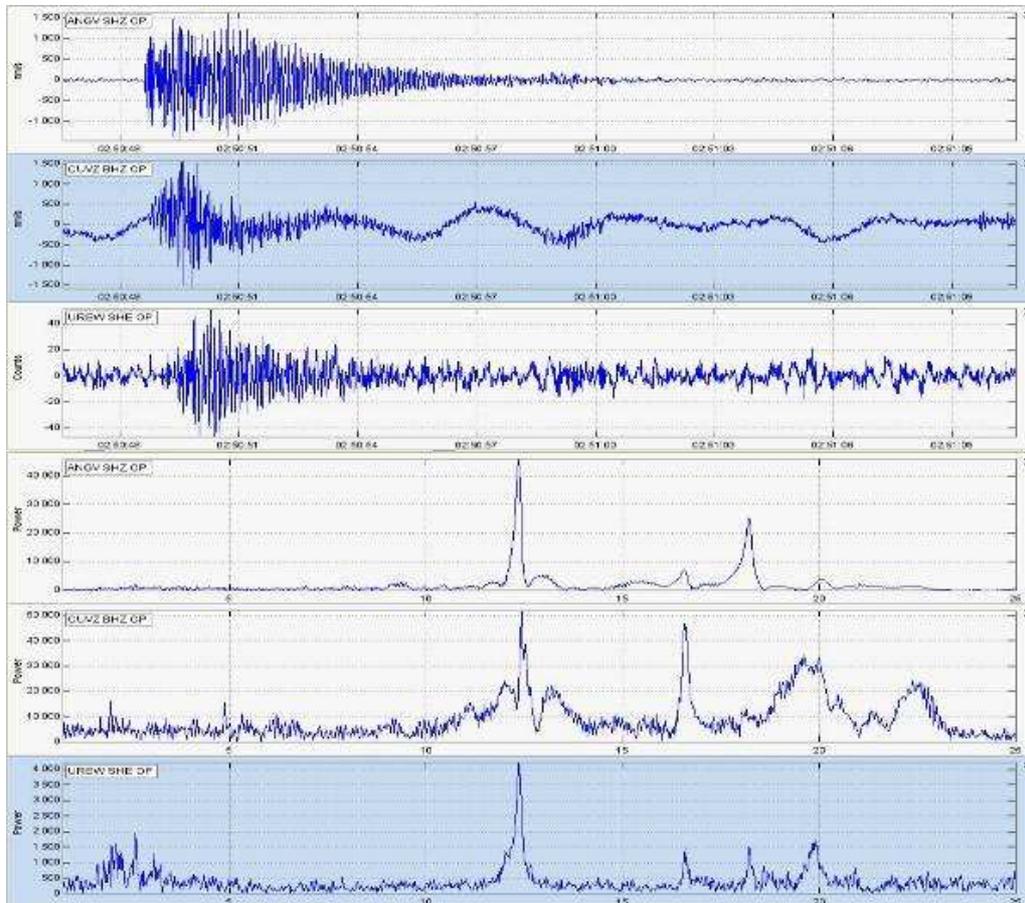


Figura 2.1.22. Sismograma comprendido entre febrero 3 al 16 de 2009, donde se observan básicamente siete periodos de actividad.



**Figura 2.1.23.** Sismogramas y espectros en frecuencia para las estaciones Anganoy, Cufiño banda ancha (componente vertical) y Urcunina (componente norte-sur) del evento de largo periodo de características armónicas, bajo nivel energético y corta duración (alrededor de 15 segundos) registrado el 13 de febrero de 2009 a las 9:50 p.m.

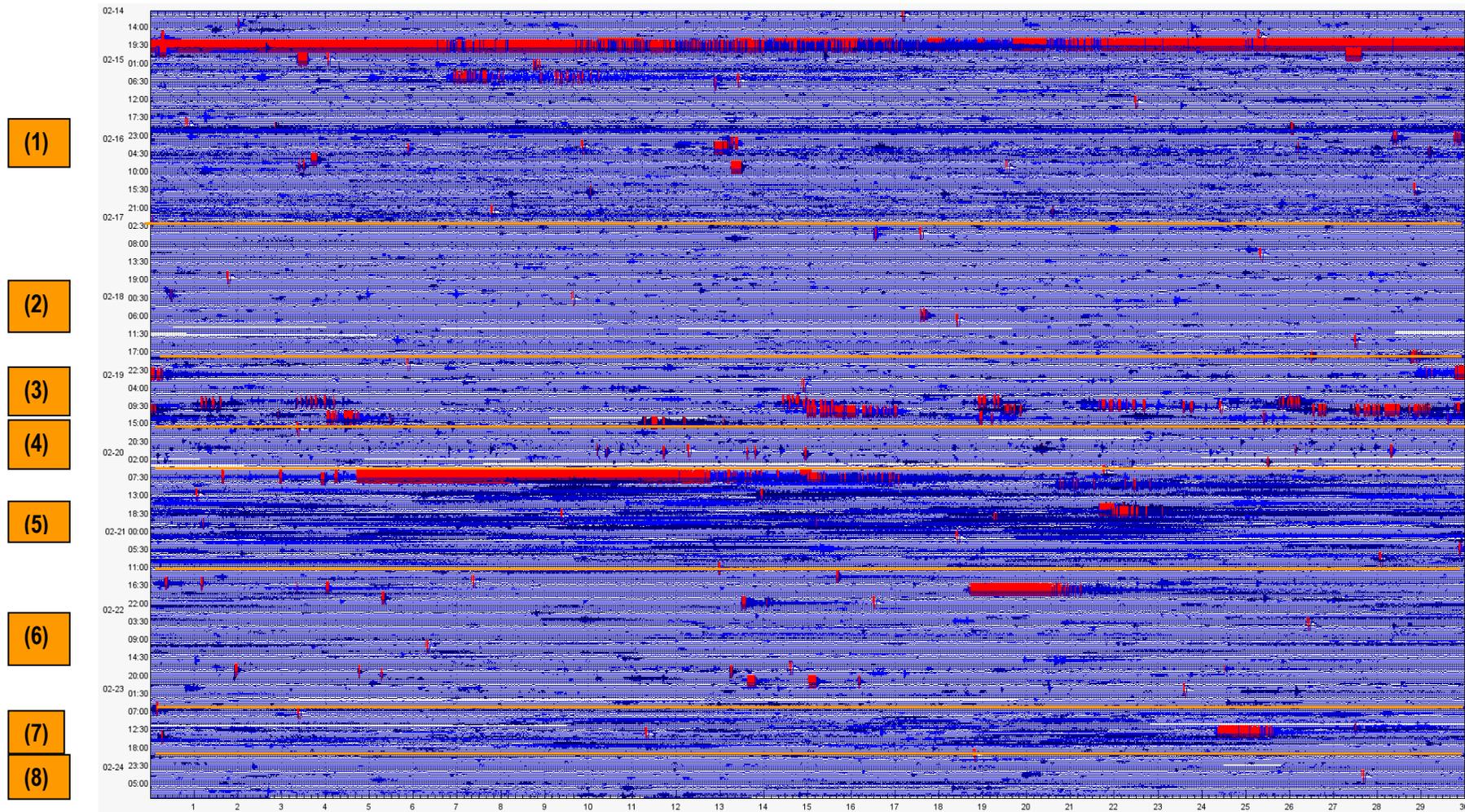
De la misma forma que para el periodo analizado anteriormente, se plantearon ocho periodos caracterizados básicamente por cambios en sismicidad comprendida entre el 17 y el 24 de febrero, que corresponde al evento eruptivo del 20 de febrero (Figura 2.1.24):

1. Un primer periodo que inició después de la erupción del 14 de febrero hasta aproximadamente la media noche del 17 de febrero. En este intervalo se resalta la persistencia de tremor espasmódico y la presencia de un episodio de tremor con duración aproximada de dos horas y asociado con procesos de liberación de gases.

2. En el segundo periodo se nota un marcado descenso en la sismicidad relacionada con dinámica de fluidos de fuente persistente en el tiempo. Aparecen cerca de diez sismos producidos por movimiento de fluidos, de fuente transitoria, con niveles energéticos bajos. Algunos de estos eventos se ubican hacia el costado occidental del cráter activo, con profundidades entre los 4 y 6 Km. Se resalta que es posible observar estos sismos en las estaciones más alejadas al cono activo, lo que indicaría que son generados a niveles relativamente profundos (mayor que 2 Km). Las frecuencias dominantes de estos sismos son menores a 3 Hz. Este periodo termina aproximadamente hacia las 07:30 p.m. del 18 de febrero.
3. El tercer intervalo, se caracteriza por la aparición de sismos que se relacionan con movimiento pulsátil de fluidos. Estos sismos fueron localizados en el sector occidental del cráter volcánico, con profundidades entre 4 y 6 Km. Las características en frecuencia de los primeros eventos de este tipo, muestran una banda dominante menor a los 10 Hz, aunque se registran valores hasta 20 Hz. A medida que esta actividad continúa en el tiempo, la banda espectral cambia, de tal forma que la amplitud del espectro hasta los 10 Hz pierde energía y presenta niveles comparables con los de las frecuencias mayores. La forma de onda de los primeros eventos de este periodo es bastante regular en cuanto a paquetes o pulsos fácilmente distinguibles; a medida que aparecen más eventos, sus formas de onda cambian y los pulsos son menos regulares en el tren de ondas. Los eventos registrados al final de este periodo se correlacionaron con la observación de emisiones de gases volcánicos. La evolución de las características de estos eventos indica que probablemente el material transportado ascendió desde niveles relativamente profundos (4-6 km) y finalmente fue expulsado a la atmósfera en las emisiones que se correlacionan con algunos de los sismos que se presentaron en horas de la tarde del 19 de febrero.
4. Alrededor de las 05:00 p.m. del día 19 de febrero se presentó otro cambio en la sismicidad, desaparece el registro de episodios de tremor y aparece un enjambre de eventos relacionados con fracturamiento de material cortical a niveles superficiales; la gran mayoría de ellos con bajos niveles energéticos.
5. El quinto período inicia con la erupción de las 07:04 a.m. del 20 de febrero y continúa con el registro de tremor espasmódico, que se intercala con episodios de silencio sísmico que se prolongan por lapsos cercanos a una hora en promedio. Este periodo se extiende aproximadamente hasta las 02:00 p.m. del 21 de febrero.
6. El sexto intervalo se caracteriza por una notable disminución en la ocurrencia y energía de los eventos asociados con la dinámica de fluidos, la perturbación de la fuente de los sismos presentes en este periodo se mantiene entre uno y cuatro minutos aproximadamente.
7. El séptimo período inicia cerca de las 07:00 a.m. del día 23 de febrero, donde aparecen episodios de tremor con características armónicas. En algunos

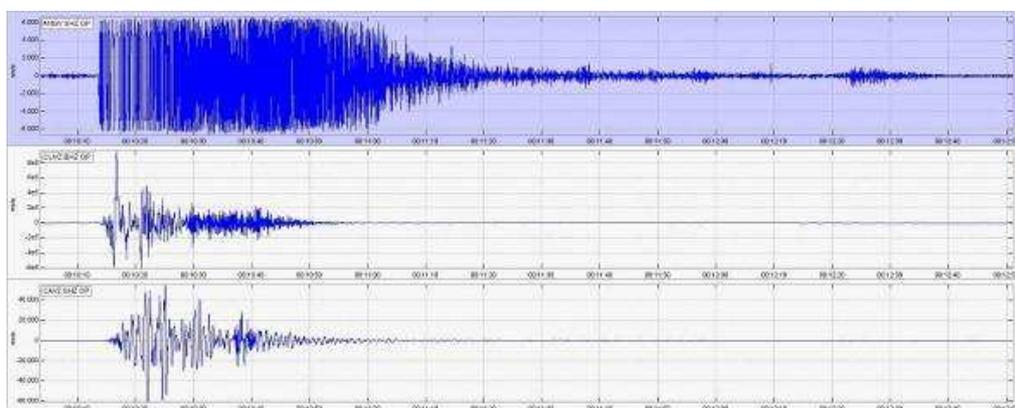
casos, la duración de estos sismos alcanza los quince minutos. Los niveles energéticos son considerados bajos, sin embargo, el hecho de se registren en la totalidad de las estaciones de la red de Galeras es un indicativo de que se trata de sismos relativamente profundos.

8. El octavo intervalo inicia hacia las 06:00 p.m. del 23 de febrero, con un nuevo cambio en la sismicidad; los niveles de ocurrencia y energía disminuyen, la mayor parte de los eventos registrados se asocian a procesos de movimiento de fluidos con fuente transitoria en el tiempo.

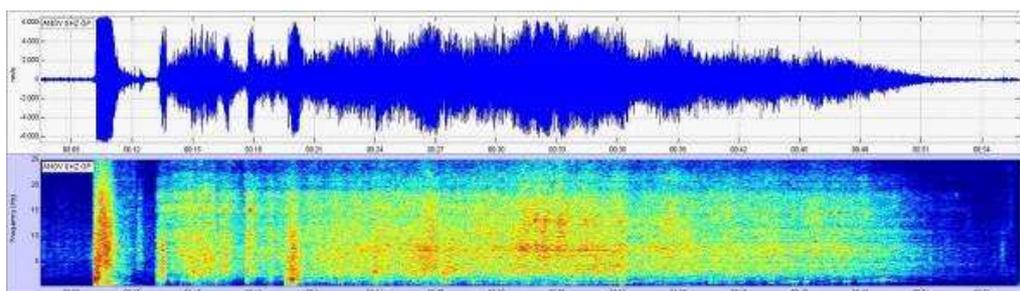


**Figura 2.1.24.** Registro de la estación Anganoy (sismómetro de corto periodo y componente vertical ubicado a 0.9 Km al este del cráter principal) entre el 14 y el 24 de febrero de 2009. Las líneas anaranjadas y los números limitan ocho diferentes episodios o intervalos caracterizados a partir de cambios significativos en la sismicidad.

Como se mencionó anteriormente el 14 de febrero a las 7:10 p.m., hora local, se registró un evento eruptivo que generó una señal sísmica, registrada por las estaciones que conforman la red de monitoreo sísmico de Galeras (Figura 2.1.25 y 2.1.26). La señal inicial, más energética (correspondiente a la fase explosiva de la erupción), duró cerca de dos minutos y liberó una energía de ondas de cuerpo ( $E_{oc}$ ) de  $2.24 \times 10^{14}$  ergios, valores calculados para la componente vertical de la estación Cufiño de banda ancha (ubicada a 1.9 km., al este-noreste del cráter principal). Segundos después, se registró un evento de Tremor Espasmódico que duró aproximadamente 43 minutos (de las 7:13 p.m. a las 7:56 p.m.), y liberó una  $E_{oc}$  de  $2.16 \times 10^{12}$  ergios. Esta señal de Tremor Espasmódico se correlacionó con una emisión de ceniza que por acción del viento se dirigió hacia el costado oriental del edificio volcánico.



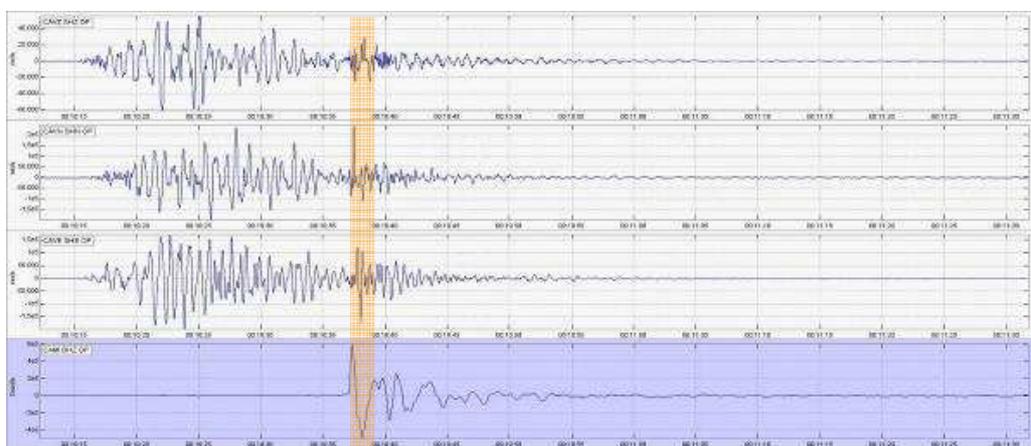
**Figura 2.1.25.** Sismogramas para las estaciones Anganoy, Cufiño banda ancha (componente vertical) y Calabozo corto periodo (componente vertical) de la fase inicial explosiva del episodio eruptivo registrado el 14 de febrero de 2009 a las 7:10 p.m.



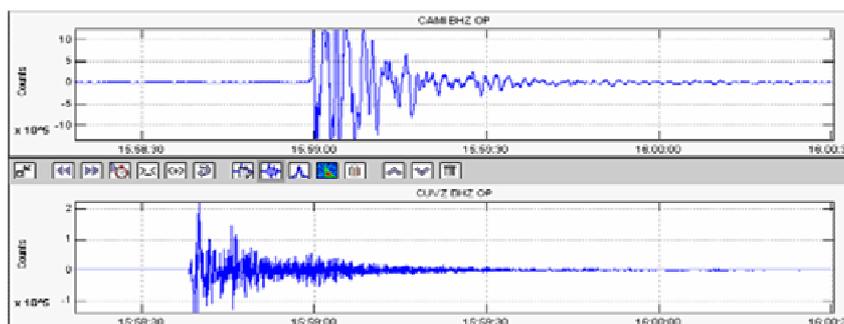
**Figura 2.1.26.** Sismograma y espectrograma para la estación sísmica de corto periodo-componente vertical Anganoy (ubicada a 0.8 km., al este del cráter principal) del episodio eruptivo registrado el 14 de febrero de 2009 a las 7:10 p.m. La señal sísmica superó el umbral de detección en amplitud de esta estación, por lo que el registró sísmico quedó saturado.

La señal sísmica estuvo acompañada por una onda de choque que fue percibida por muchos habitantes del municipio de Pasto, causando principalmente vibración

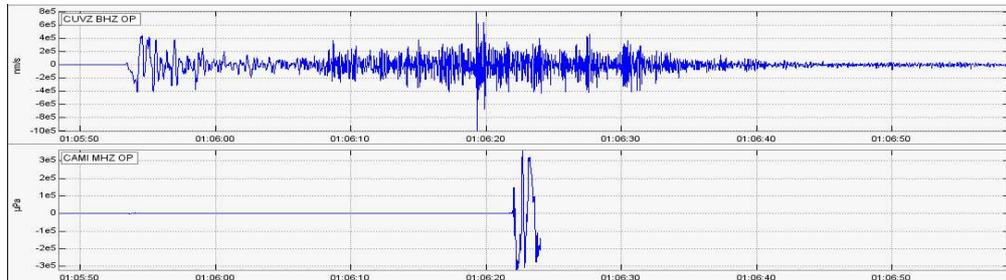
de vidrios; las ondas acústicas propagadas por la atmósfera se registraron en el sensor acústico de la estación Calabozo, CAMI (Figura 2.1.27). La onda de máxima amplitud acústica registrada fue de aproximadamente 1.1 pascales (Pa), con una frecuencia de 0.6 Hz, que corresponde al rango del infrasonido. Como punto de comparación, se recuerda que para la erupción de julio 12 de 2006, la señal acústica superó el nivel de saturación de la estación CAMI, aproximadamente 1.4 Pa (Figura 2.1.28). Para la erupción del 17 de enero de 2008, los bloques emitidos impactaron los equipos de comunicación de la repetidora de CAMI (ubicada a 0.9 km al sur-sureste del cráter principal) y sacaron de funcionamiento la estación; no obstante, CAMI alcanzó a registrar el inicio de la señal acústica de la erupción, llegando a registrar una amplitud máxima de 0.7 Pa (Figura 2.1.29).



**Figura 2.1.27.** Registros de las componentes vertical, NS y EW del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo (ubicada a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm), junto con el registro del sensor acústico. El recuadro naranja indica el arribo del tren de ondas acústicas.



**Figura 2.1.28.** Evento eruptivo del 12 de julio de 2006, a las 10:58 a.m. Registro en el sensor de infrasonido (CAMI) y registro en la estación sismológica de banda ancha Cufiño. Las ondas acústicas generadas por la erupción superaron el umbral de saturación del instrumento (aproximadamente 1.4 Pa).



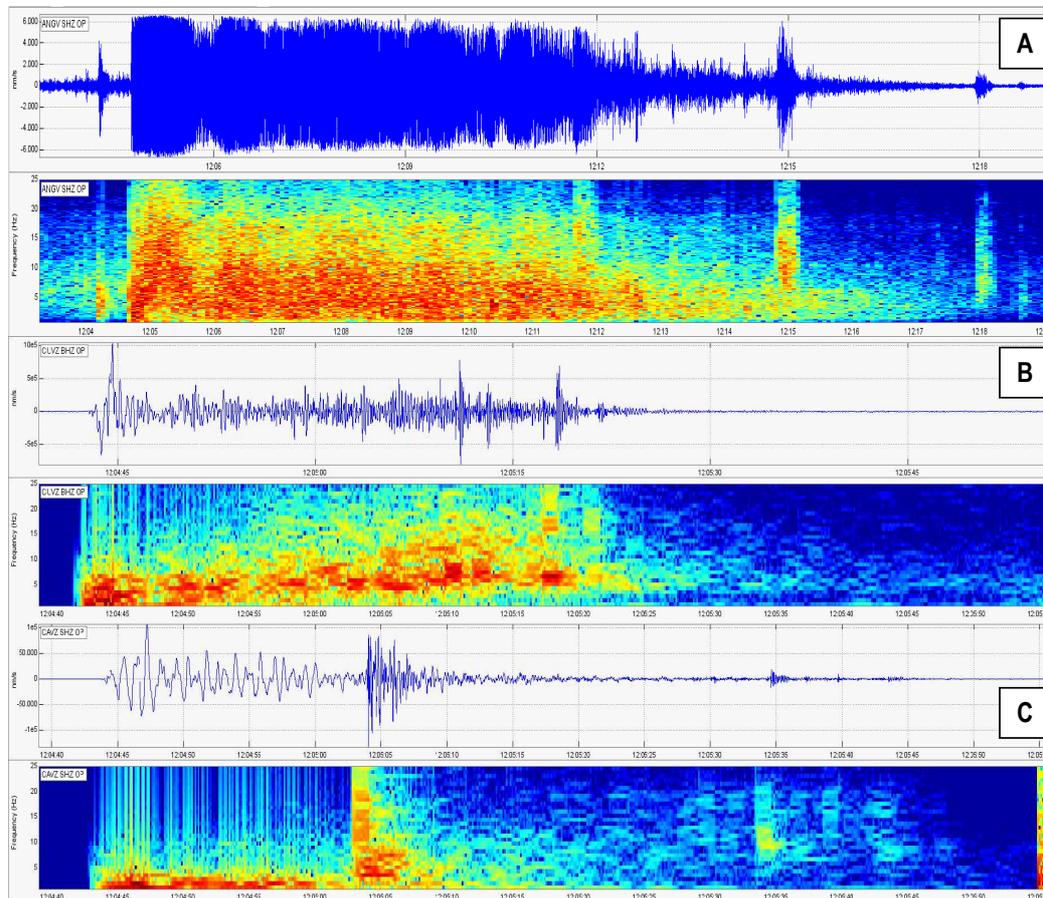
**Figura 2.1.29.** Erupción del 17 de enero de 2008, a las 8:06 p.m. hora local. Registro sísmico en la componente vertical de la estación Cufiño de banda ancha y registro acústico en la estación CAMI. La amplitud máxima registrada por CAMI antes de salir de funcionamiento fue de 0.7 Pa.

Como se mencionó anteriormente, luego del registro de la erupción, la actividad sísmica se caracterizó por el registro de eventos LP de pequeño nivel energético, junto con pocos sismos de TRE espasmódico y algunos sismos HYB y VT, también de pequeño nivel energético. Este cambio en la actividad sísmica, junto con procesos de liberación en superficie, indicaron un descenso en las sobrepresiones al interior del sistema volcánico que motivó el cambio de Nivel I a II, el 16 de febrero de las 12:40 p.m.

#### 2.1.2.1.2 Episodio eruptivo del 20 de febrero de 2009

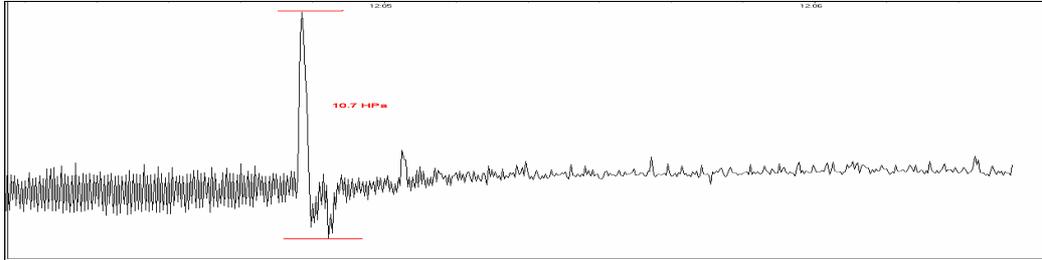
El día 20 de febrero a las 7:04 a.m., hora local, se presentó un evento eruptivo explosivo, que generó una señal sísmica registrada por las estaciones que conforman la red de monitoreo sísmico de Galeras. La señal inicial, más energética tuvo una duración aproximada de un minuto y liberó una energía de ondas de cuerpo ( $E_{oc}$ ) de  $3.17 \times 10^{14}$  ergios, valores calculados para la componente vertical de la estación Cufiño de banda ancha (ubicada a 1.9 km., al este-noreste del cráter principal). De inmediato, se registró un evento de tremor espasmódico que duro aproximadamente 12 minutos desde las 7:06 a.m. a las 7:19 a.m. (Figura 2.1.30).

Parte de la energía liberada por la explosión se manifestó en un tren de ondas acústicas que fue escuchado por varias personas en la zona de influencia del volcán, además se tienen reportes de vibración de vidrios y movimiento de puertas asociados a esta onda explosiva. Se tienen reportes de que la onda explosiva fue sentida en Popayán a más de 150 Km en línea recta del volcán. El cambio súbito en la presión atmosférica fue detectado por el sensor de presión de la estación climatológica ubicada en la estación Cráter, a 1.5 Km., hacia el sur sureste del cráter volcánico. Las figuras 2.1.31 y 2.1.32 muestran los pulsos producidos por la onda explosiva con una presión estimada en 10.7 hPa para la erupción del 20 de febrero, mayor que el ocasionado por la explosión del 14 de febrero que se calculó en 7.6 hPa.

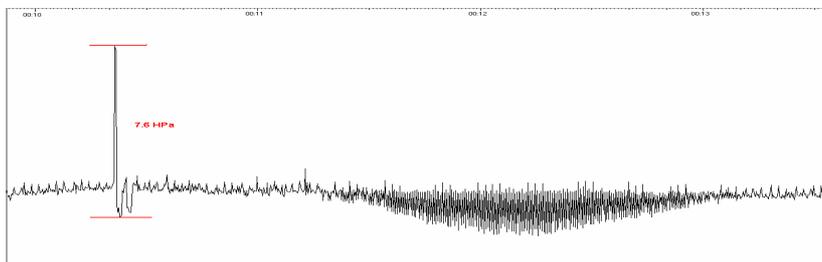


**Figura 2.1.30.** Sismogramas y espectrogramas para las estaciones: **A)** Anganoy (corto periodo, componente vertical), **B)** Cufiño (banda ancha, componente vertical) y **C)** Calabozo (corto periodo, componente vertical) de la fase explosiva del episodio eruptivo registrado el 20 de febrero de 2009 a las 7:05 a.m.

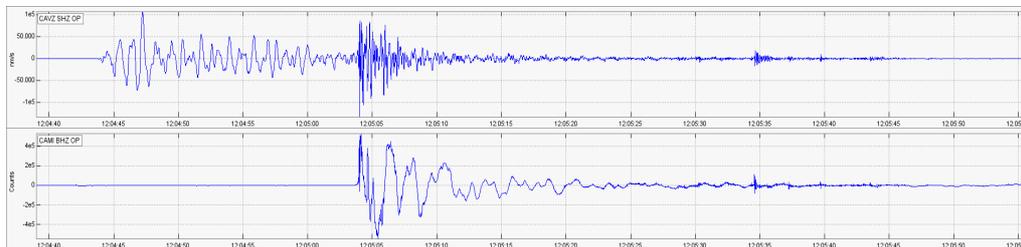
El tren de ondas acústicas alcanzó también los sensores de sonido en la estación CAMI ubicados en la estación Calabozo, a 6.8 km hacia el occidente del cráter. La variación en la presión calculada para ambas erupciones, tanto la del 14 como la del 20 de febrero, fue de 1.1 Pa. La figura 2.1.33 muestra el sismograma y el registro de la fase acústica de la erupción del 20 de febrero, las gráficas están sincronizadas en el tiempo.



**Figura 2.1.31.** Frente de onda acústica registrado por el sensor de presión de la estación climatológica ubicada en la estación cráter a 1.5 Km., del cráter principal, relacionado con la erupción de febrero 20 de 2009. La amplitud del pulso mayor alcanzó los 10.7 hPa.



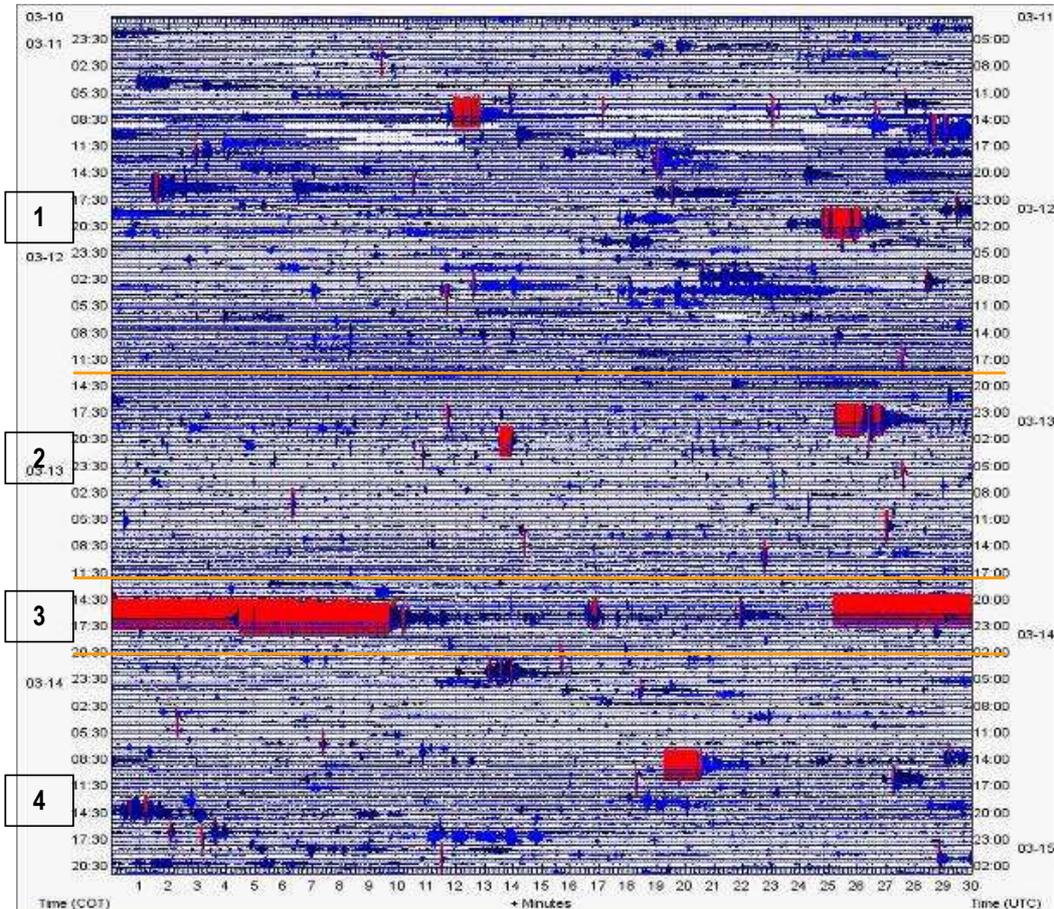
**Figura 2.1.32.** Pulso de presión registrado por el sensor de presión de la estación climatológica ubicada en la estación cráter a 1.5 Km del cráter principal, relacionado con la erupción del 20 de febrero de 2009. La amplitud del pulso mayor alcanzó los 7.6 hPa.



**Figura 2.1.33.** Registro de la componente vertical del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo (ubicada a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm) junto con el registro del sensor acústico ubicado en la misma estación.

### 2.1.2.1.3 Episodio eruptivo del 13 de marzo

El comportamiento en la sismicidad, tanto anterior como posterior a la erupción, fue similar a lo acontecido en las erupciones del 14 y 20 de febrero del presente año. La sismicidad previa, estuvo caracterizada principalmente por un incremento en las señales tipo TRE, seguidas por una rápida disminución en la sismicidad, registro de eventos de fractura y del evento eruptivo y, finalmente baja ocurrencia y poca energía liberada, de eventos tanto tipo LP como TRE. De esta manera se plantean 4 periodos caracterizados básicamente por estos cambios (Figura 2.1.34).



**Figura 2.1.34.** Registro de la estación Anganoy (sismómetro de corto periodo y componente vertical ubicado a 0.9 Km al este del cráter principal) entre el 11 y el 14 de marzo de 2009. Las líneas anaranjadas y los números limitan cuatro diferentes episodios o intervalos caracterizados a partir de cambios significativos en la sismicidad.

1. Un primer periodo que inicia a primeras horas del 11 de marzo hasta aproximadamente el medio día del 12 de marzo de 2009, caracterizado por el continuo registro de tremor espasmódico asociado con procesos de liberación de gases; se presentan también tremores con bajas frecuencias.
2. En el segundo periodo se resalta una notable reducción en la sismicidad (relacionada principalmente con la dinámica de fluidos) y la aparición de sismos poco energéticos asociados a pequeños fracturamientos de material rígido que ocurren a niveles superficiales.
3. El tercer período inicia con la erupción del 13 de marzo de 2009 a las 3:55 p.m., de carácter explosivo, que tuvo una duración en su registro de

aproximadamente 16 minutos; posteriormente se observaron tres pulsos resaltables, a las 4:16, 4:21 y 4:34 p.m., de los cuales el último alcanzó un registro aproximado de 8 minutos.

4. Después del evento eruptivo, la actividad sísmica se caracterizó por el registro de señales sísmicas (episodios de Tremor y eventos LP) que se correlacionaron con procesos de emisión de gases. Se presentaron lapsos de tiempo donde la sismicidad se redujo notablemente.

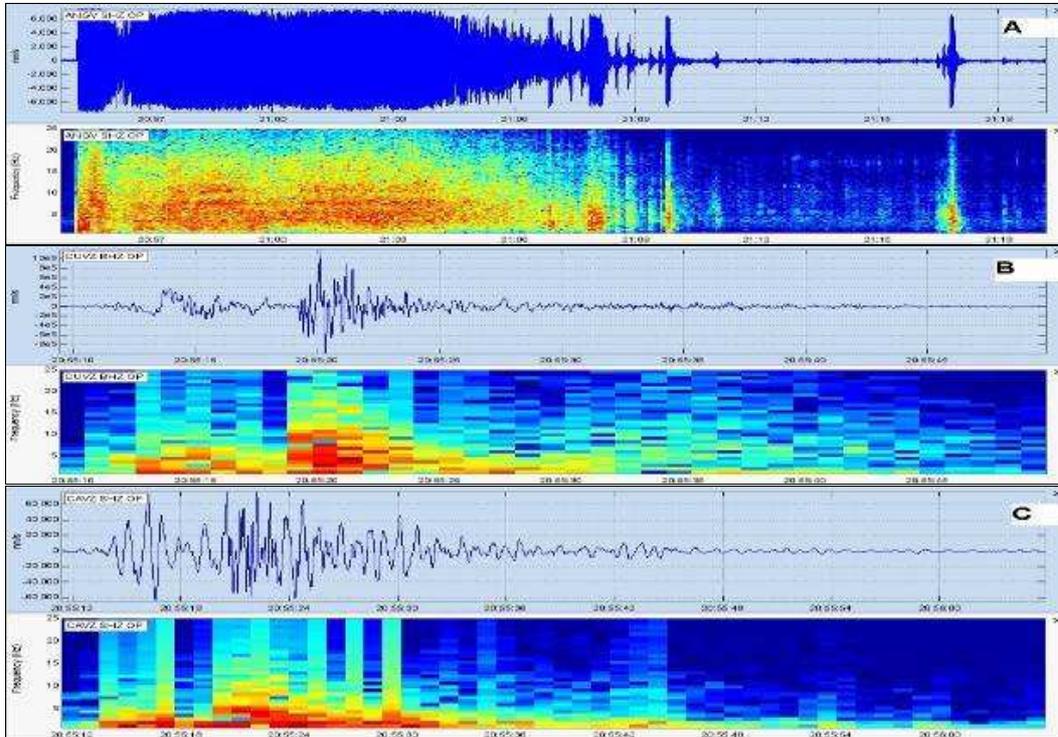
El día 13 de marzo a las 3:55 p.m., hora local, se presentó un evento eruptivo explosivo, que generó una señal sísmica registrada por las estaciones que conforman la red de monitoreo sísmico de Galeras. La señal inicial, más energética tuvo una duración aproximada de 16 minutos y liberó una energía de ondas de cuerpo ( $E_{oc}$ ) de  $1.87 \times 10^{14}$  ergios, valores calculados para la componente vertical de la estación de banda ancha Cufiño (ubicada a 1.9 km., al este-noreste del cráter principal), (Figuras 2.1.35 a 2.1.37).

Se generaron efectos acústicos percibidos en los sectores de San Cayetano, Anganoy (Municipio de Pasto), San José de Bomboná y San Antonio (Municipio de Consacá). Se tienen reportes de caída de ceniza en direcciones diferentes del cráter del volcán. Al oriente: Pasto (sector oriental y norte), Anganoy, San Cayetano y Mapachico; al Nor-noroccidente: Pachindo, Barranco, El Rodeo, casco urbano de La Florida; al Noroccidente: en veredas de la parte alta del municipio de Sandoná. En algunos de esos sectores se ha reportado olores fuertes a gases azufrados.

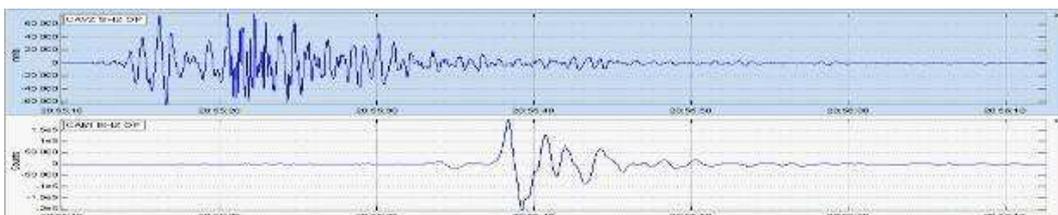
El tren de ondas acústicas alcanzó los sensores de sonido en la estación CAMI ubicados en la estación Calabozo, a 6.8 km hacia el occidente del cráter. La figura 2.1.36, muestra el sismograma y el registro de la fase acústica de la erupción del 13 de marzo, las gráficas están sincronizadas en el tiempo.

En el momento de la erupción, se presentó una fuerte lluvia en la zona, con presencia de nubosidad, lo que impidió observaciones directas hacia el volcán. Sin embargo, un reporte del Volcanic Ash Advisory de Washington de las 05:06 p.m., informó sobre una columna con una altura cercana a los 8 Km sobre la cima del volcán, desplazándose hacia el Noroccidente, aunque de igual manera, se mencionó que la nubosidad impidió una observación más precisa.

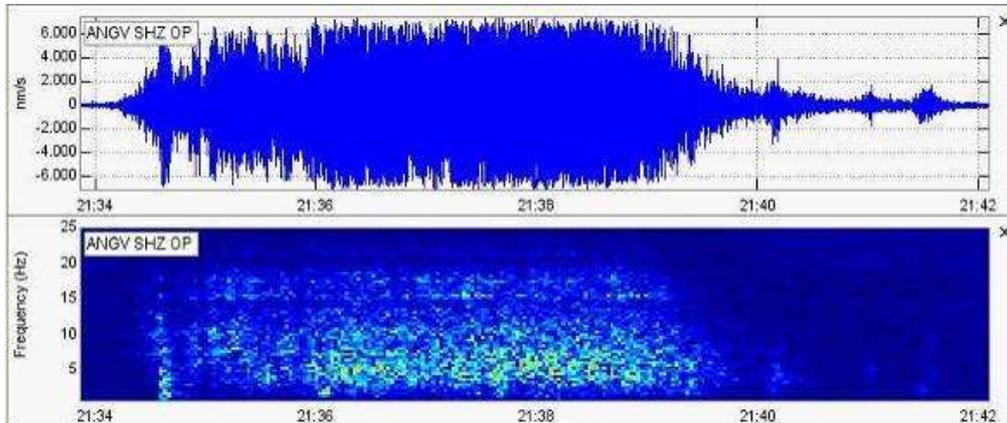
Posteriormente al episodio eruptivo, se observaron tres pulsos resaltables, a las 4:16, 4:21 y 4:34 p.m., de los cuales el último alcanzó un registro de aproximadamente 8 minutos.



**Figura 2.1.35.** Sismogramas y espectrogramas para las estaciones: **A)** Anganoy (corto periodo, componente vertical), **B)** Cufiño (banda ancha, componente vertical) y **C)** Calabozo (corto periodo, componente vertical) de la fase explosiva del episodio eruptivo registrado el 13 de marzo de 2009 a las 3:55 p.m.



**Figura 2.1.36.** Registro de la componente vertical del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo (ubicada a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm) junto con el registro del sensor acústico ubicado en la misma estación, erupción del día 13 de marzo de 2009 a las 3:55 p.m.

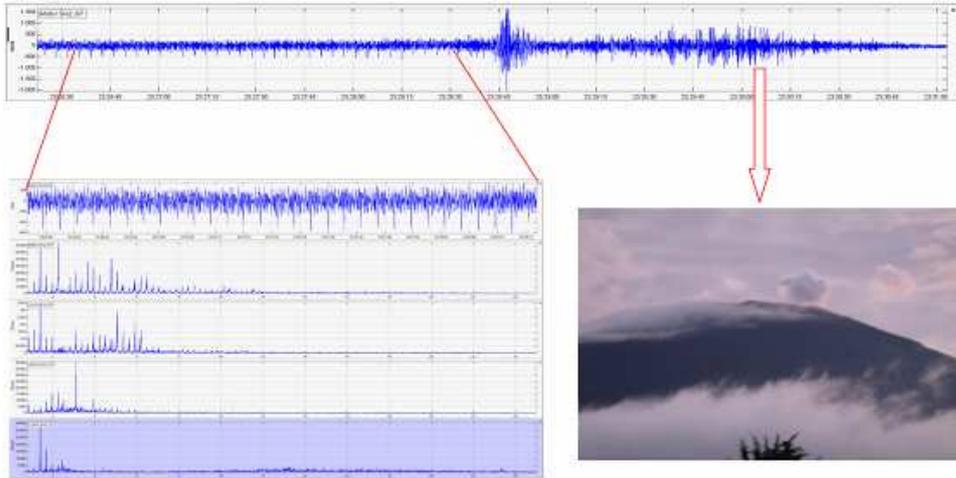


**Figura 2.1.37.** Sismograma (superior) y espectrograma (inferior), del episodio de tremor registrado el 13 de marzo a las 4:34 p.m. con una duración de aproximadamente 8 minutos. Evento posterior a la erupción de las 3:55 p.m.

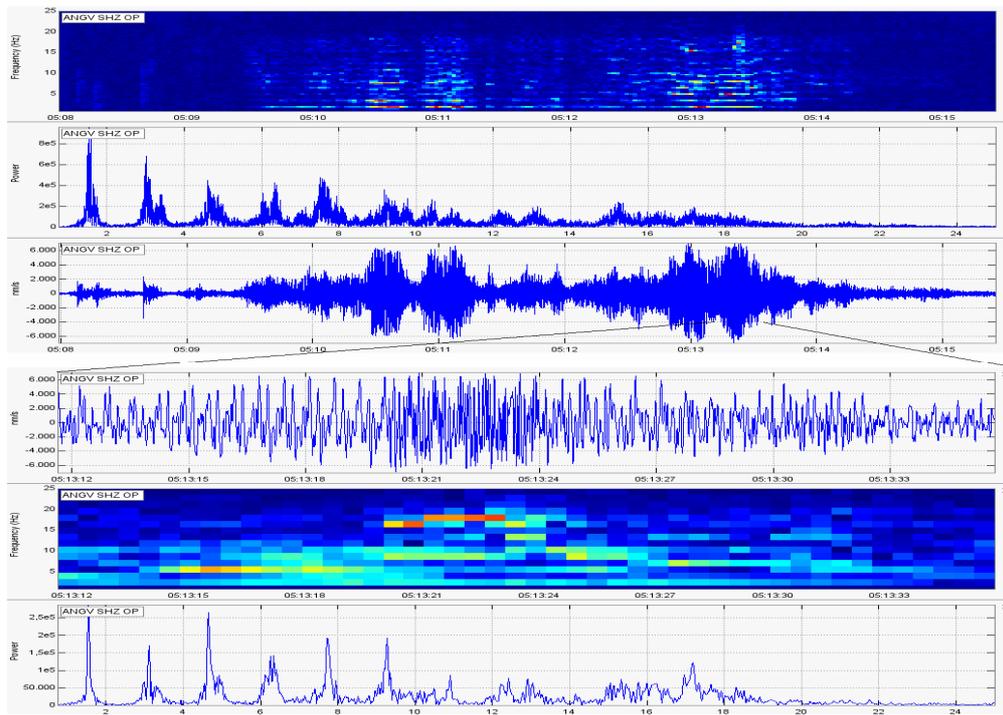
Luego del episodio eruptivo del 13 de marzo, la actividad continuó con el registro de episodios de tremor espasmódico asociados con emisión de gases.

Continuando con la descripción de la sismicidad del mes de marzo se resalta a partir del 21, la ocurrencia de eventos de tipo TRE armónico. La figura 2.1.38 presenta un episodio de TRE, que estuvo asociado con un proceso de emisión de gases. La figura 2.1.39, corresponde al evento TRE, del 21 de marzo a las 00:07 a.m., que se destaca por su nivel energético. Esta señal tuvo una duración aproximada de 12 minutos y su amplitud varía formando pulsos que sobresalen en la señal. El espectro muestra seis armónicos de frecuencias sobresalientes por debajo de los 10 Hz y regularmente espaciadas, bandas espectrales de este tipo son características de tubos resonantes abiertos en ambos extremos.

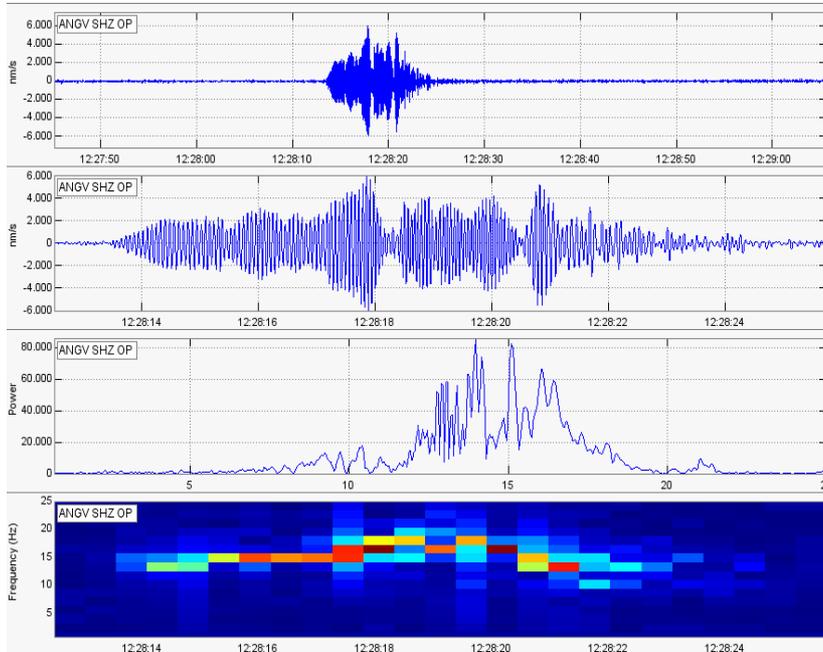
La figura 2.1.40, muestra el evento del 26 de marzo a las 7:28 a.m., con frecuencias dominantes de 14 Hz. Adicionalmente, se destaca el episodio de TRE del 29 de marzo de 2009, registrado a las 5:53 a.m., con características armónicas, con frecuencia inicial aproximada de 1 Hz y armónicos que se pueden reconocer hasta los 13 Hz, espaciados aproximadamente cada 1 Hz. (Figura 2.1.41). Este evento pudo estar asociado con las emisiones que se presentaron durante la mañana del 29 de marzo, con columnas de hasta 1100 m sobre la cima de Galeras.



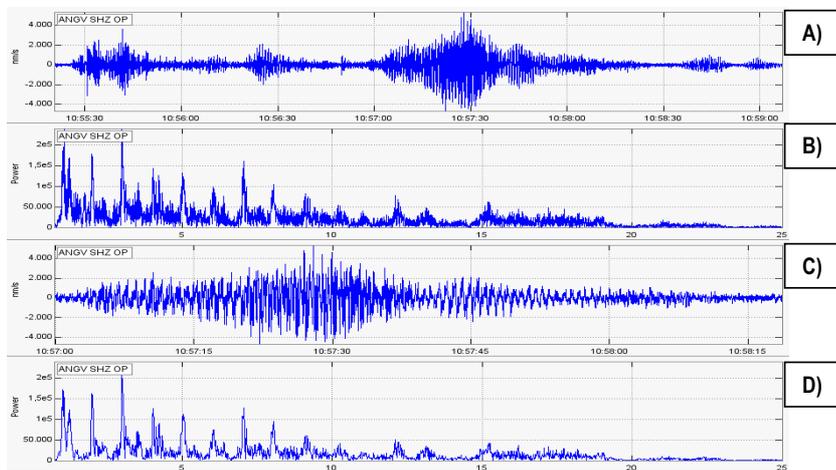
**Figura 2.1.38.** TRE, registrado el 21 de marzo a las 06:26 p.m. En parte superior se muestra el sismograma de la señal, en la parte inferior izquierda se observa un detalle del sismograma y espectro respectivamente, y en la parte inferior derecha se observa una imagen de emisión relacionada al evento.



**Figura 2.1.39.** Evento de tipo TRE armónico, registrado el 21 de marzo a las 0:07 a.m. En parte superior se muestra el espectrograma de la señal total, y le secundan el espectro, el sismograma y un detalle de sismograma con su espectro y espectrograma respectivamente.



**Figura 2.1.40.** Sismograma del 26 de marzo de 2009, a las 7:28 a.m., visto en una ventana de duración de un minuto y 20 segundos, seguido del sismograma en una ventana de aproximadamente 14 segundos de duración, posteriormente su espectro, con frecuencia dominante de 14 Hz, seguido de su espectrograma.



**Figura 2.1.41.** Evento de TRE con características armónicas, registrado el 29 de marzo a las 5:53 a.m. **A)** Sismograma de todo el evento (aproximadamente, 4 minutos). **B)** Espectro de la señal completa. **C)** Sismograma de la parte más energética y con contenido más armónico (1 minuto, 20 segundos). **D)** Espectro de esta porción de señal.

### 2.1.2.1.4 Evento eruptivo de 24 de abril

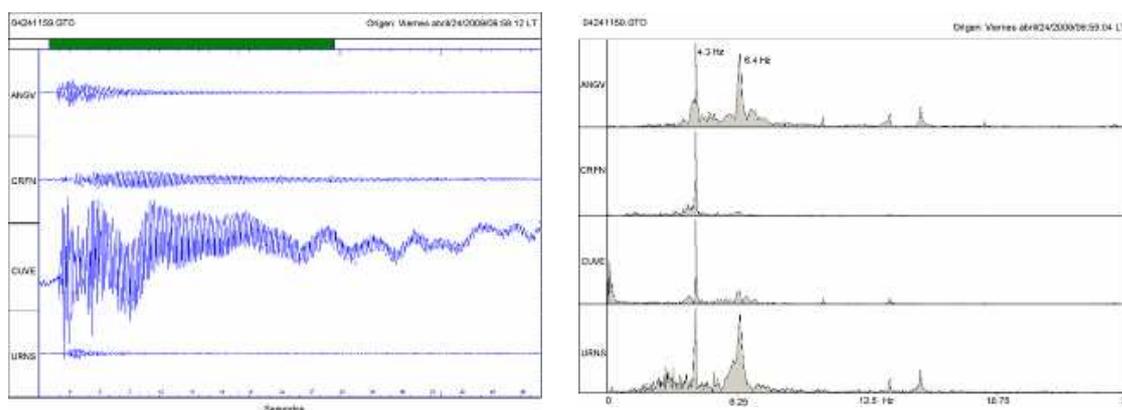
Durante el mes de abril de 2009, el volcán Galeras registró dos episodios eruptivos, uno de los cuales tuvo dos fases, una de carácter explosivo y otra de carácter no explosivo (que para efectos del análisis en el presente informe serán tratadas como dos erupciones), el primer evento explosivo tuvo lugar a las 7:32 p.m. del 24 de abril y su parte emisiva inició a las 8:09 p.m. del mismo día. El segundo episodio eruptivo con características explosivas, en el mes de abril, ocurrió a las 10:15 a.m. del día 29.

El día 24 de abril, antes de la fase eruptiva, se presentaron en total cuatro eventos asociados a la dinámica de fluido, de fuente transitoria, tipo TOR, en un lapso de 7 horas, el primero de ellos de baja energía, se registró 14.5 horas antes de la fase eruptiva, fue clasificado como Pseudo-Tornillo y mostró un pulso de frecuencia dominante alto, de 15.8 Hz. Luego se presentaron tres TOR más, los cuales mostraron descenso rápido en su valor de frecuencia dominante, como se puede apreciar en la tabla 2.1.7. El último evento TOR se registró 3 horas antes de la fase eruptiva, su frecuencia dominante fue baja (1.6 Hz).

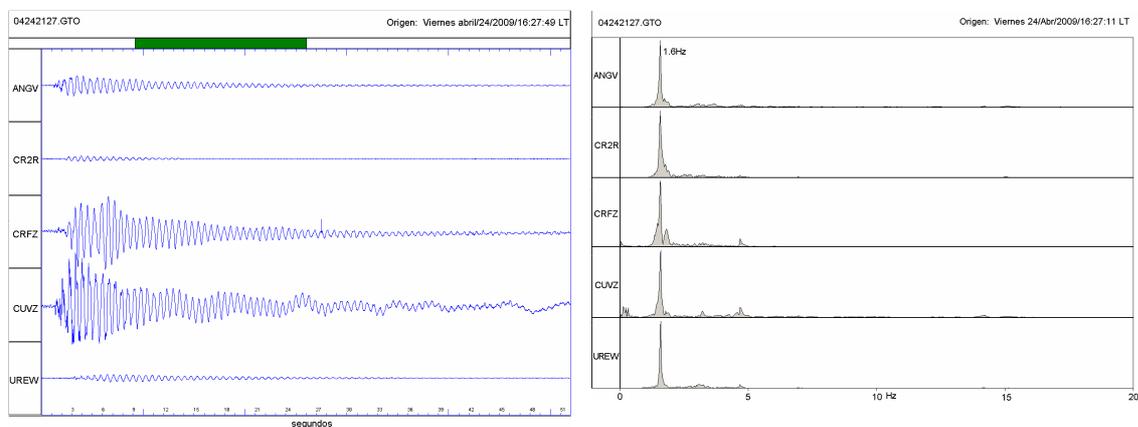
**Tabla 2.1.7.** Características principales de los eventos TOR registrados en la estación de corto período Anganoy (0.9 km E del cráter activo), antes de la fase eruptiva de abril 24.

Tipo	Fecha	Hora Local	Coda (s)	Vel. ( $\mu\text{m/s}$ )	Frec. Dom. (Hz)	F. Subdom. (Hz)
ST	24-abr-09	04:57	24	1.93	15.8	18.3
T	24-abr-09	06:59	90	5.66	4.3	6.4
T	24-abr-09	09:06	41	3.55	3.1	3.8
T	24-abr-09	16:27	72	7.20	1.6	

Las figuras 2.1.42 y 2.1.43 muestran el registro digital y su respectivo espectro de Fourier para los Tornillos de las 06:59 a.m., y 11:27 a.m., del día 24 de abril.



**Figura 2.1.42.** Registro digital y espectro de Fourier del evento tipo tornillo de abril 24 a las 06:59 a.m.

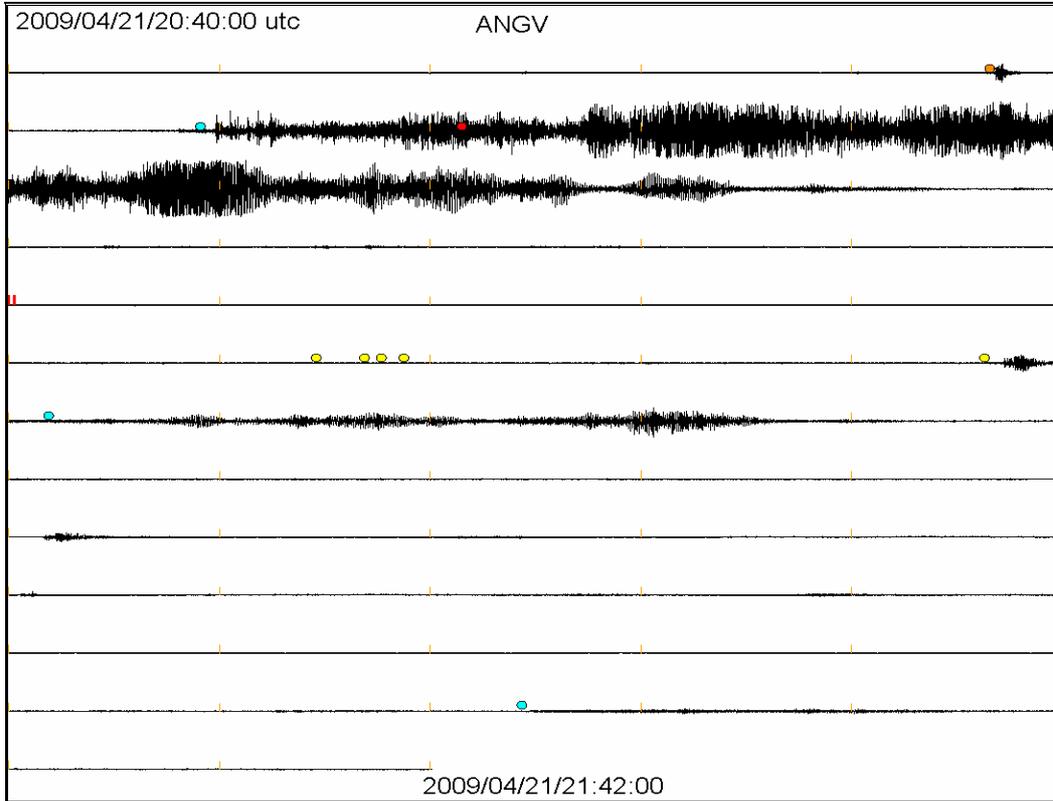


**Figura 2.1.43.** Registro digital y espectro de Fourier del sismo tornillo de abril 24 a las 11:27 a.m.

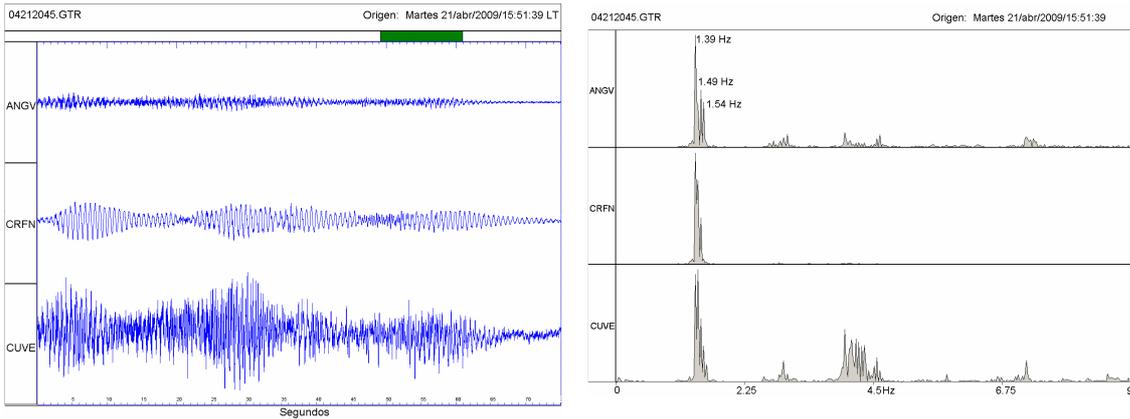
Durante los días previos a la erupción, la actividad se caracterizó por el registro de episodios de tremor, la mayoría de tipo armónico, en general con frecuencias alrededor de 1.0 Hz y algunos picos armónicos en frecuencia muy cercanos a éste valor; algunos episodios de tremor mostraron mezcla de tipo espasmódico y armónico. Antes de los episodios de tremor se registraron enjambres de eventos híbridos de muy baja energía, los cuales no alcanzaron el valor de amplitud requerido para clasificar.

Se destaca el episodio de tremor del 21 de abril a las 3:45 p.m. (hora local), que se asoció con una columna de gases y cenizas observada desde algunos sectores localizados al norte del volcán; desde Pasto se alcanzó a ver parte de la columna, pues la cima en ese momento se encontraba parcialmente cubierta por nubosidad. Este episodio ocasionó caída de ceniza reportada en Santa Rosa, Alto Ingenio y Alto Jiménez. Este Tremor tuvo una duración de 8.2 minutos y su energía fue de  $8.4 \times 10^{11}$  erg. Este evento de Tremor mostró mezcla de tipo espasmódico y armónico, lo cual puede asociarse con procesos de liberación y a la vez movimiento y recarga de material magmático. El espectro de Fourier de este Tremor mostró una banda amplia con picos de frecuencia entre muy bajas, menores de 1.0 Hz y altas hasta 17.5 Hz, entre estos picos se destacaron los de 1.2Hz, 2.8Hz y 7.4Hz.

La figura 2.1.44 se muestra el registro digital de la estación de corto periodo Anganoy, entre las 3:40 p.m. y las 4:42 p.m., en donde se puede apreciar el episodio de tremor de abril 21 a las 3:45 p.m. En la figura 2.1.45 se puede apreciar un detalle de la parte final del tremor, la cual es armónica, con su respectivo espectro de Fourier entre las 3:51 p.m. y las 4:52 p.m. El pico de frecuencia dominante es de 1.39 Hz con dos picos muy cercanos en 1.49 Hz y 1.54 Hz.



**Figura 2.1.44.** Registro digital de la estación de corto periodo Anganoy, entre las 3:40 p.m. y las 4:42 p.m., en donde se puede apreciar el episodio de temblor de abril 21 a las 3:45 p.m.



**Figura 2.1.45.** Detalle de la parte final del temblor de abril 21 a las 3:45 p.m., de características armónicas, con su respectivo espectro de Fourier, entre las 3:51 p.m. y las 4:52 p.m.

En el transcurso del día 22 de abril, las amplitudes de los episodios de tremor se fueron haciendo cada vez menores. En el día 23 de abril se dieron algunos lapsos de horas sin eventos, se registraron sismos de tipo Híbrido, algunos de ellos de muy baja energía (no clasificables) y los Tremores disminuyeron considerablemente su ocurrencia. El día 24, se registraron los eventos tipo Tornillo. Todo este comportamiento de la sismicidad puede asociarse con un sellamiento del sistema que evolucionó muy rápido, conllevando a las sobrepresiones que desataron la fase eruptiva del día 24 de abril. Acorde con este desarrollo, el día 23 de abril a las 8:00 pm, el OVSP emitió un reporte extraordinario, informando sobre los cambios registrados en la sismicidad. El 24 de abril a las 7:30 a.m., se emitió otro comunicado informando el cambio a Nivel II y ese mismo día durante la fase eruptiva se emitieron dos comunicados informando sobre el desarrollo de la misma. El 25 de abril a las 12:10 p.m. se emitió un comunicado informando el retorno al Nivel II, debido a que las condiciones de la actividad mostraban que el proceso volcánico seguía con un comportamiento de sellamiento y presurización.

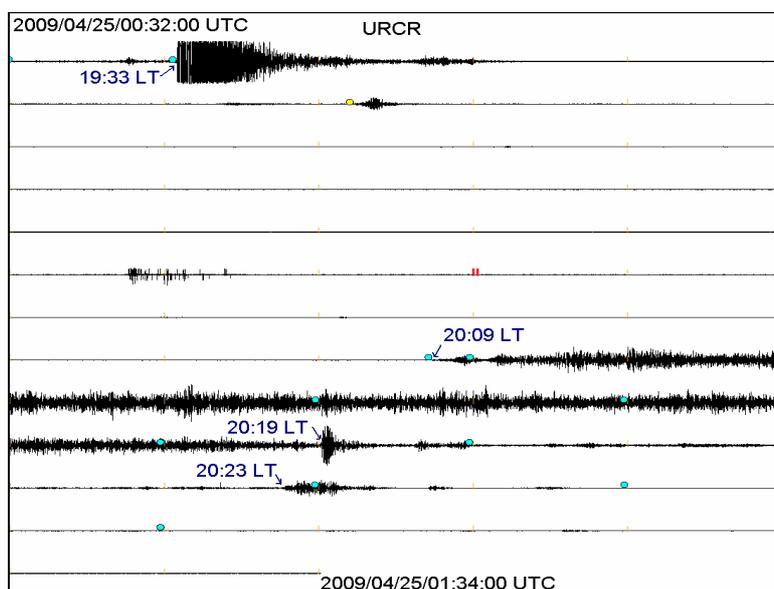
La fase eruptiva se inició a las 7:32 p.m. y se caracterizó por una secuencia de erupciones, destacándose las ocurridas a las 7:33 p.m. y 8:09 p.m., las cuales fueron observadas desde la ciudad de Pasto y desde algunos sectores alrededor de Galeras. A las 8:19 p.m. y 8:23 p.m., se registraron incrementos en la señal sísmica que se asoció con salida de material incandescente y la última, se relacionó además con efectos audibles reportados desde la población de Nariño. La primera erupción fue la más energética, acompañada por una onda de choque que se sintió fuerte en la ciudad de Pasto, algunas personas reportaron que sus oídos se taparon así como también se percibió la vibración de techos y ventanales. La segunda erupción fue más larga en duración pero menos energética que la primera. En la primera erupción, a simple vista el material salía con un color rojo brillante, al parecer fragmentos incandescentes de todos los tamaños que rodaron por las laderas del volcán, especialmente hacia el norte, pero también se observó su disposición hacia el sur y hacia el oriente. En la segunda erupción la salida se vio más suave, fue más bien como una fuente lanzando material incandescente hacia arriba. Poblaciones como Sandoná, Consacá y Ancuya reportaron caída de ceniza. El VAAC (Volcanic Ash Advisory) de Washington reportó una dispersión de la ceniza hacia el noroccidente y una anomalía térmica de la atmósfera al momento de la fase eruptiva, igualmente la altura de la columna fue estimada en 6 Km sobre la cima de Galeras. La onda de choque se registró instrumentalmente y se reportó percibida en Pasto, Genoy, Nariño, La Florida, Linares y Guaitarilla (a 25 Km del volcán).

En los días siguientes a la fase eruptiva, la actividad sísmica se caracterizó por la ocurrencia de eventos de dinámica de fluidos al interior del sistema volcánico, especialmente episodios de tremor que se asociaron con columnas de gases y ceniza que alcanzaron alturas hasta de 1000 m sobre la cima de Galeras. Se destaca también la ausencia de eventos de tipo Híbrido y de Tornillos.

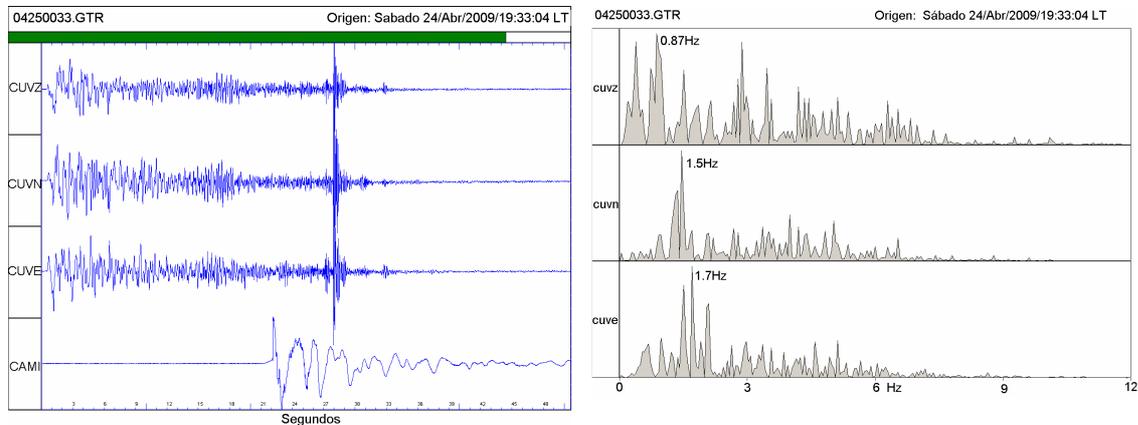
En la mañana del 25 de abril, con el apoyo de Fuerza Aérea Colombiana, se realizó un reconocimiento aéreo a la cima volcánica, observándose tres zonas con huellas de incendios forestales, hacia el costado norte del volcán. En el cono volcánico, especialmente hacia el costado occidental, se registraron anomalías térmicas con temperaturas máximas de 100°C. Desde el cráter principal se observaron emisión gaseosa con fuerte olor a gases azufrados. Las rocas emitidas balísticamente durante las erupciones alcanzaron distancias de hasta 3 Km desde el cráter.

En la figura 2.1.46 se puede apreciar el sismograma digital de la fase eruptiva, registrado en la estación de corto periodo Urcunina (2.3 Km al Este del cráter activo), esto debido a que pocos segundos después de la explosión de las 7:33 p.m., la señal de la estación Anganoy se perdió, posiblemente por daños producidos en los equipos de esta estación, por el material incandescente emitido.

La duración de la señal de la erupción de las 7:32 p.m. fue de 5 minutos y tuvo una energía de  $1.81 \times 10^{14}$  erg, calculada en la estación de banda ancha Cufiño (1.9 Km al Este del cráter activo). La señal audible se registró en el micrófono de la estación Calabozo (7 km al Oeste del cráter activo) unos 21 segundos después de comenzar la señal de la erupción (Figura 2.1.47).



**Figura 2.1.46.** Sismograma de la fase eruptiva de abril 24, en donde se pueden apreciar las señales de las dos erupciones más destacadas y los dos aumentos de nivel sísmico relacionados con emisión de material incandescente, en la estación de corto periodo Urcunina.

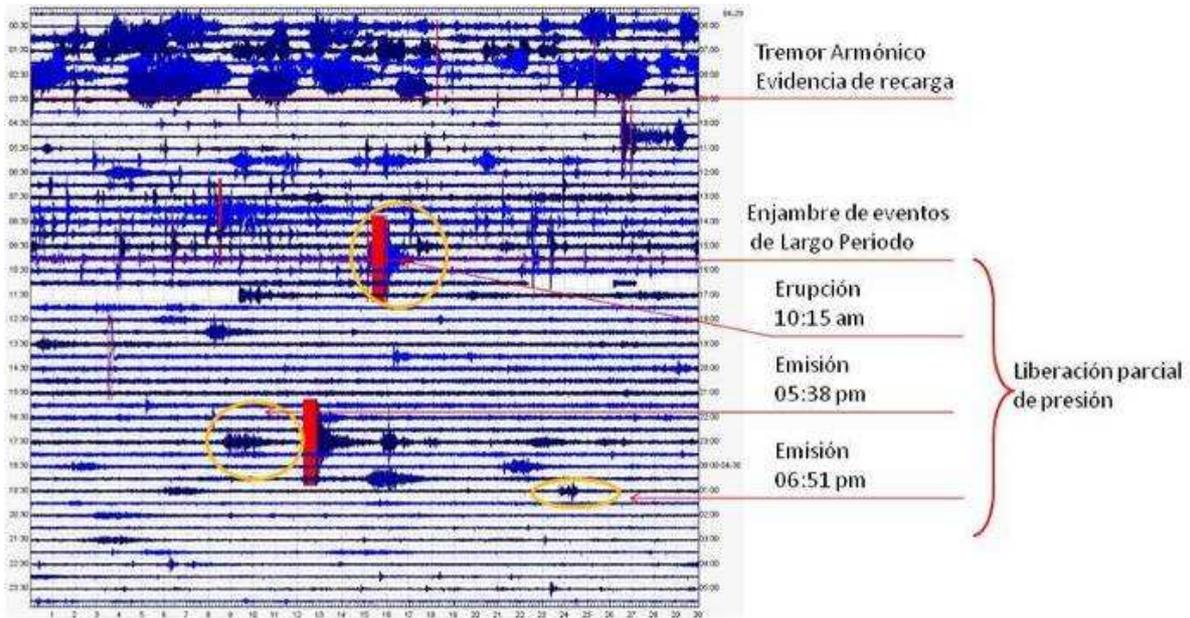


**Figura 2.1.47.** Señal de la erupción del 23 de abril a las 7:32 p.m. en las tres componentes de la estación de banda ancha Cufiño y en el micrófono CAMI y espectro de Fourier de la señal en las tres componentes de la estación Cufiño.

La duración de la señal de la erupción de las 8:09 p.m. fue de 15 minutos incluyendo las señales de las 8:19 p.m. y las 8:23 p.m. La energía de este tremor fue de  $7.41 \times 10^{12}$  ergios, calculada en la estación Cufiño. Para ésta erupción no es clara la señal audible en el micrófono CAMI. Este episodio mostró una banda más amplia de frecuencias en su espectro de Fourier, entre 0.1 Hz y 17 Hz, siendo más resaltable el intervalo entre 3 Hz y 7 Hz.

#### 2.1.2.1.5 Evento eruptivo del 29 de abril

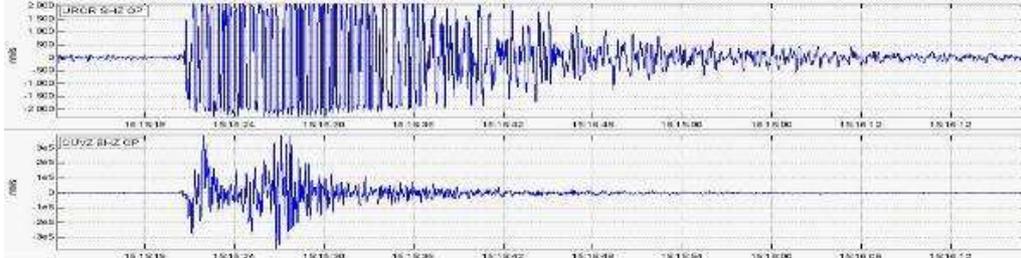
Durante el 28 y 29 de abril, la actividad de Galeras mostró diferentes comportamientos, entre los que se tuvo el registro de eventos tipo híbrido, tremor armónico, enjambre de LP, indicando que en su interior probablemente, se estaban gestando las condiciones necesarias de recarga y sobrepresiones que permitieron la ocurrencia de una erupción y las siguientes emisiones de ceniza, con una consecuente relajación parcial de esfuerzos (Figura 2.1.48).



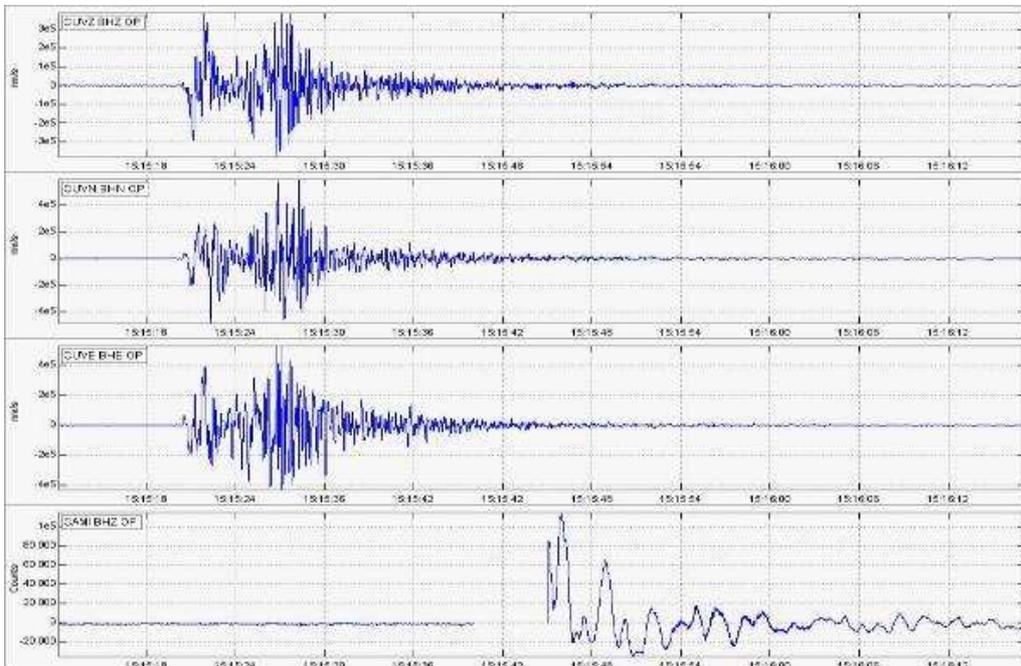
**Figura 2.1.48.** Sismicidad registrada por la estación de Urcunina, durante el 29 de abril de 2009.

Como se mencionó, el 29 de abril, a las 10:15 a.m., hora local, se registró un evento eruptivo que generó una señal sísmica y que fue registrada por la red sísmica de Galeras (Figura 2.1.49). Esta señal tuvo una duración de unos dos minutos y liberó una energía de ondas de cuerpo (Eoc) de  $5.14 \text{ E}+13$  Ergios, con un desplazamiento reducido de ondas de cuerpo (DRoc) de  $232 \text{ cm}^2$ , valores que fueron calculados con los registros de la estación sismológica de Cufinó. La señal sísmica estuvo acompañada de una onda de choque que fue percibida por habitantes del municipio de Nariño y fue registrada por el sensor acústico de la estación Calabozo, CAMI (Figura 2.1.50). La onda de máxima amplitud acústica registrada fue de aproximadamente  $0.14$  pascales (Pa).

Por las condiciones del clima, la columna de emisión fue observada desde el costado norte y noroccidente, por pobladores de los municipios de Nariño, Sandoná y Chachagüí. Por acción de los vientos la ceniza se dispersó en dirección noroccidental y se tuvieron reportes de caída de ceniza en Genoy, Nariño, Santa Bárbara, Tinajillas, sectores de los municipios de Sandoná y Samaniego, alcanzando distancias cercanas a  $35 \text{ km}$  en línea recta desde el cráter volcánico y cubriendo un área mínima de  $326 \text{ km}^2$ . En el momento de la emisión se obtuvo una medición de flujo de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), gas típicamente de origen volcánico, que mostró un leve incremento asociado con la salida de gases y cenizas.



**Figura 2.1.49.** Sismogramas para las estaciones Urcunina corto periodo (componente vertical) y Cufiño banda ancha (componente vertical) del episodio eruptivo registrado el 29 de abril de 2009 a las 10:15 a.m.



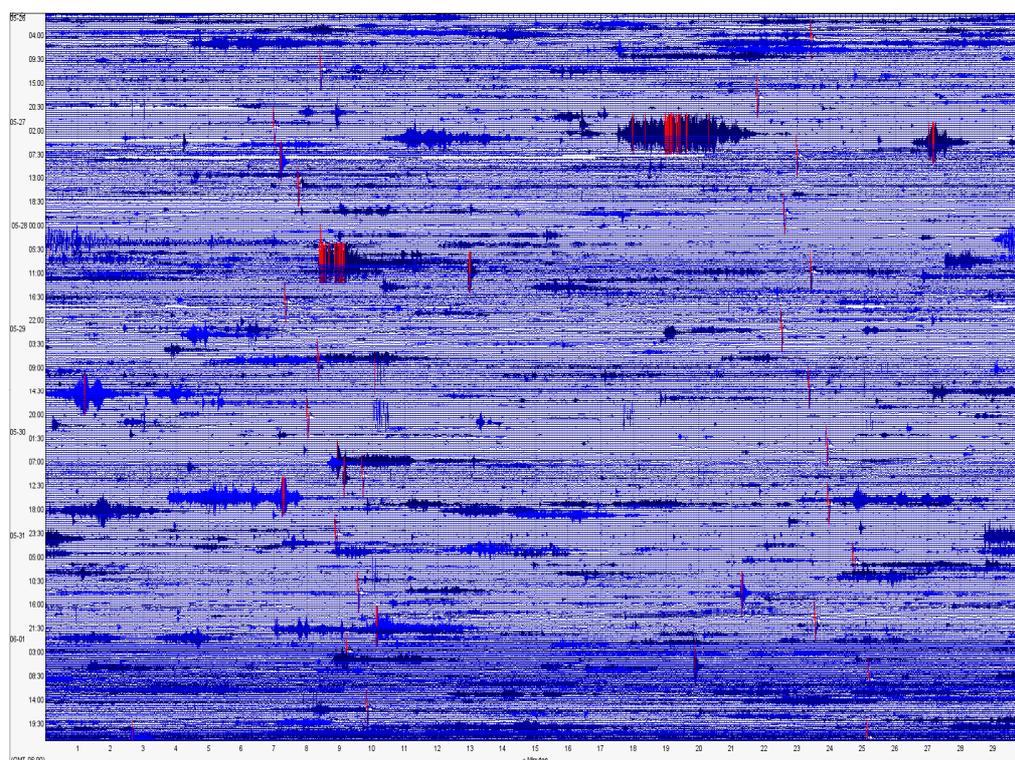
**Figura 2.1.50.** Registros del evento eruptivo del 29 de abril de 2009 a las 10:15 a.m., en las componentes Vertical, NS y EW del sismómetro de corto periodo de la estación Calabozo (ubicada a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm), junto con el registro del sensor acústico CAMI.

### 2.1.2.1.6 Episodios eruptivos del 7 y 8 de junio de 2009

Desde inicios del mes de mayo, se observó un cambio en el comportamiento de la actividad volcánica evidenciado por una disminución en los procesos de liberación de presiones al interior del sistema volcánico, caracterizados por el cambio brusco en la pendiente de ocurrencia de los eventos tipo Tremor, y especialmente durante la última semana del mes de junio, por la ausencia de eventos de este tipo. Además, se mantuvo la ocurrencia de eventos no clasificables, asociados con

procesos a niveles superficiales, pero de una manera pasiva y con un leve cambio en la pendiente.

El primer día del mes de junio, la amplitud del tremor de fondo se incrementó y su registro fue continuo a lo largo del día y en varios periodos se presentaron características armónicas con el contenido de entre 8 y 10 armónicos dominantes entre los 1 y los 10 Hz. En los días previos de mayo, la sismicidad predominante fue la ocurrencia de episodios de tremor espasmódico (Figura 2.1.51).

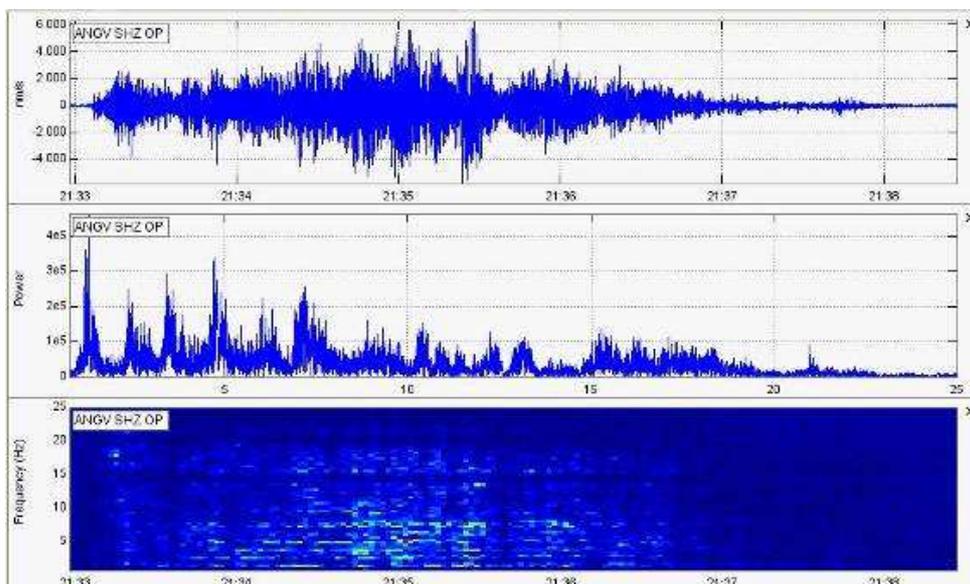


**Figura 2.1.51.** Sismograma de la estación Anganoy entre el 26 de mayo y el 1 de junio de 2009. Las líneas verticales rojas indican que en esos momentos las trazas han alcanzado el nivel de saturación de la estación. El tiempo a la izquierda del sismograma está en hora local y los números bajo el sismograma son una marca de los minutos.

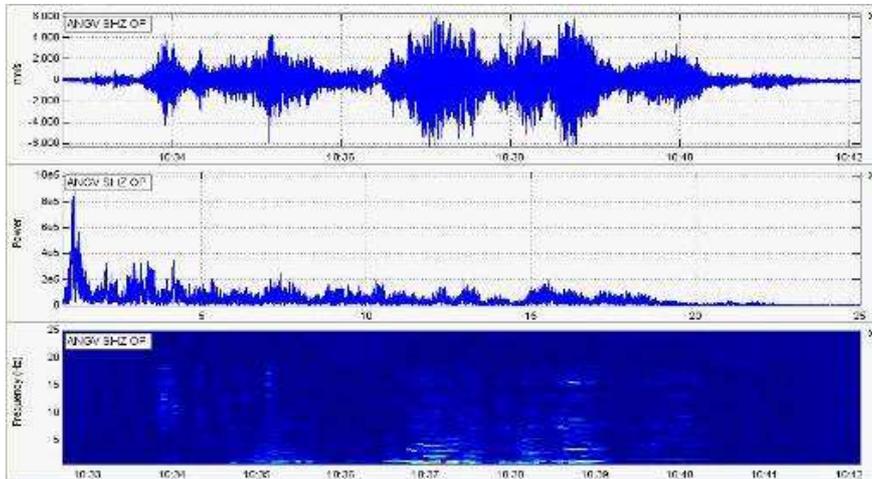
Entre las 08:00 p.m. del día 29 y las 07:00 a.m. del 30 de mayo la sismicidad descendió notablemente, y luego se registró un episodio de tremor que probablemente estuvo relacionado con una emisión, lo cual hasta ese entonces permitía la liberación de presiones acumuladas, produciendo la relajación parcial del sistema. Los cinco primeros días de junio, la sismicidad continuó caracterizada por el registro de episodios de tremor, con duraciones entre los dos y los diez minutos, en general los niveles energéticos de estos eventos no rebasa

el nivel de saturación para la estación base de clasificación Anganoy, la mayoría de tipo armónico. Este periodo se extiende hasta aproximadamente las 1:30 p.m. del 5 de junio.

Por sus características energéticas se destacan dos episodios de tremor el 4 de junio a las 4:33 p.m. (Figura 2.1.52) y el 5 de junio a las 5:33 a.m. (Figura 2.1.53), los cuales exhiben una amplia banda de frecuencias pudiendo distinguirse algunos armónicos especialmente en la primera señal.

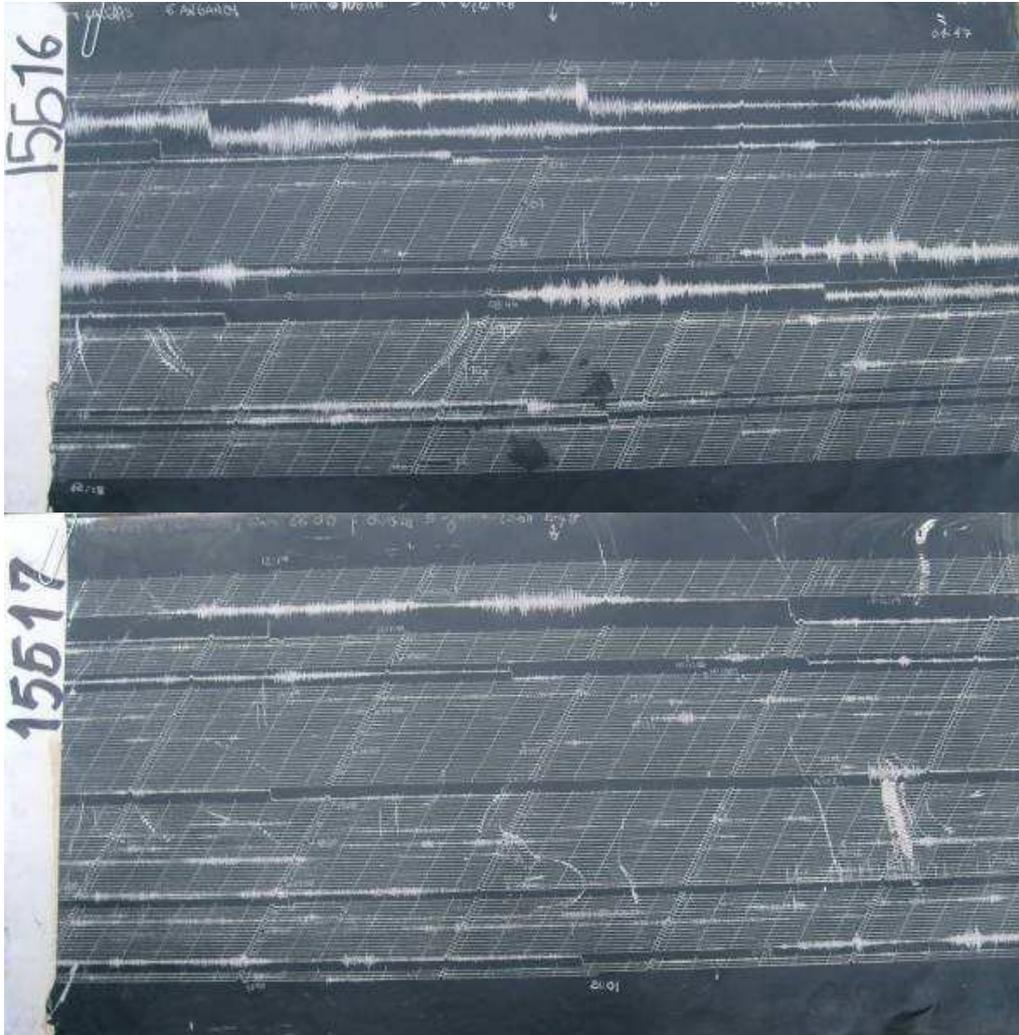


**Figura 2.1.52.** Registro digital de la estación de corto periodo Anganoy del evento de tremor del día 4 de junio a las 4:33 p.m. Se puede apreciar una variedad de frecuencias, resaltando la de 1.2 Hz.



**Figura 2.1.53.** Registro digital de la estación de corto periodo Anganoy del evento de tremor del día 5 de junio entre las 5:33 a.m. y las 5:42 a.m.

En las figuras 2.1.54 a 2.1.58 se muestran los sismogramas desde el 5 de junio a las 4:47 a.m. hasta el 8 de junio a las 1:23 p.m. y en las leyendas se describe ligeramente la evolución del comportamiento sísmico, destacando en este periodo la ocurrencia de las erupciones del 7 y 8 de junio. Estas erupciones explosivas, sísmicamente mostraron un patrón similar a las que se suscitaron en los meses de febrero, marzo y abril de 2009. Aunque es difícil establecer precursores que puedan anticipar este tipo erupciones, en Galeras, después del emplazamiento de domos, y tal como ocurrió antes de las erupciones de junio, los sismos asociados a movimiento de fluidos empiezan a disminuir y luego se da un periodo relativamente de baja sismicidad dando paso posteriormente a la aparición de pequeñas fracturas muy localizadas en la región del cráter y a niveles superficiales.



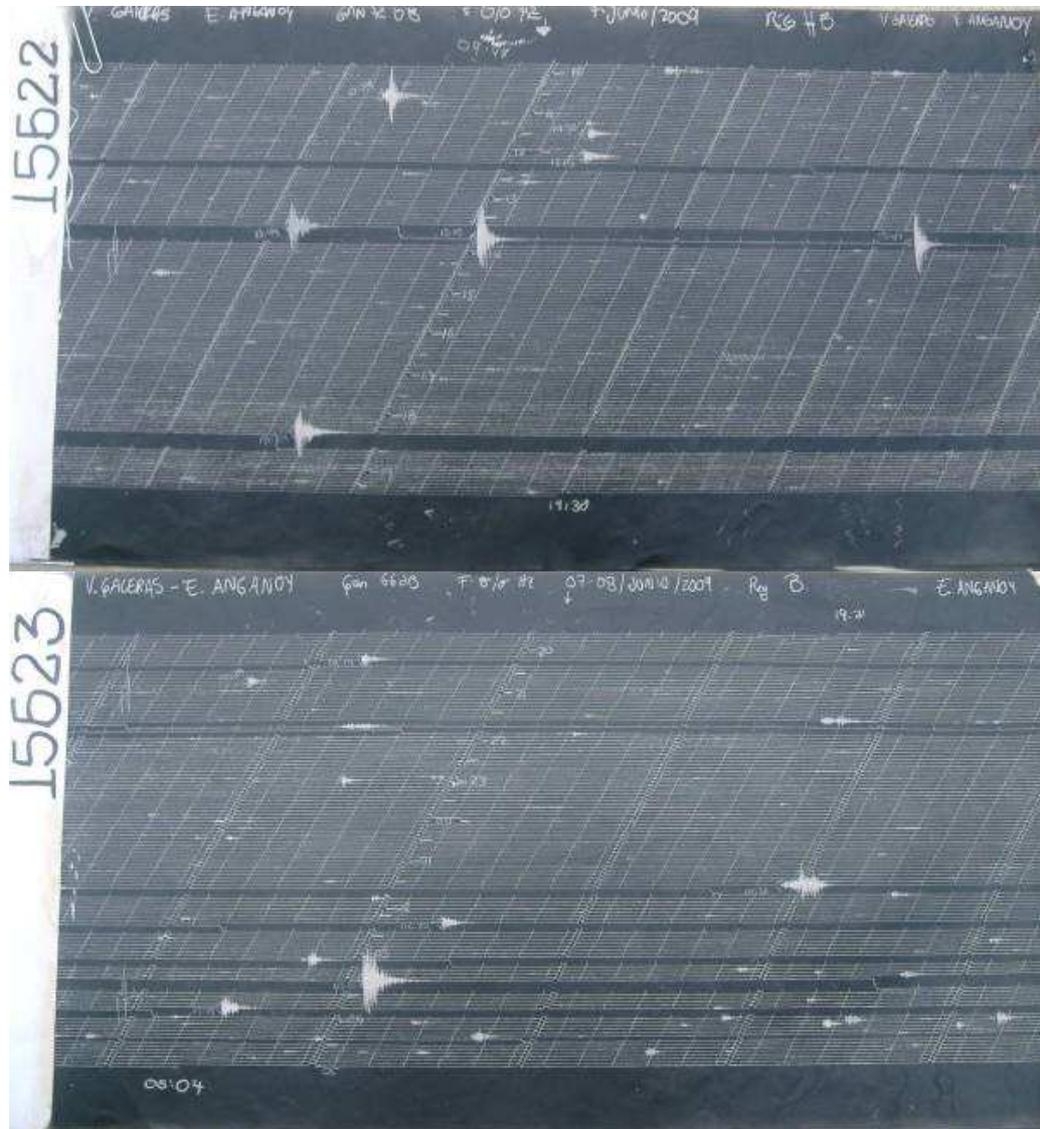
**Figura 2.1.54.** Sismogramas iniciando el 5 de junio a las 4:47 a.m. hasta las 9:21 p.m., donde se observa el predominio de sismos asociados al tránsito de material fluido (TRE) con una paulatina disminución en su tamaño después de la 1:30 p.m. Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.



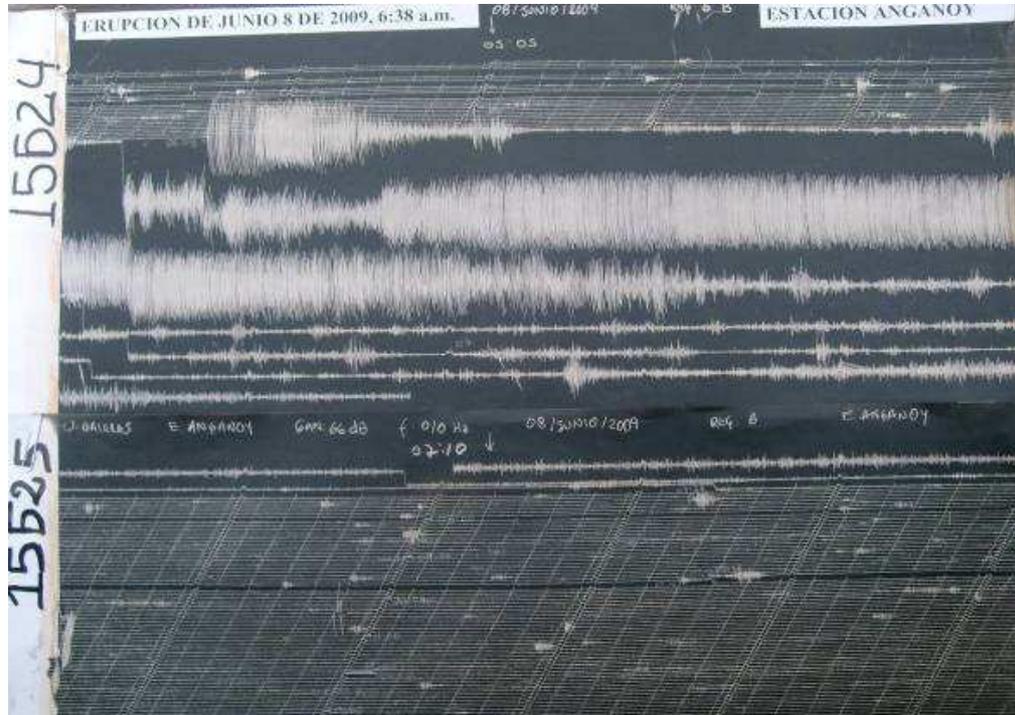
**Figura 2.1.55.** Sismogramas iniciando el 5 de junio a las 9:22 p.m. hasta el 6 de junio a las 4:11 p.m., donde se observa el predominio de poca sismicidad y de poco tamaño especialmente hasta las 12:30 p.m. cuando se comienzan hacer notorios la ocurrencia de algunos sismos de fractura (VT). Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.



**Figura 2.1.56.** Sismogramas iniciando el 6 de junio a las 4:21 p.m. hasta el 7 de junio a las 9:44 a.m donde se observa básicamente registros de sismos asociados a fracturamiento de material rígido (VT) y cuya tasa de ocurrencia se incrementa especialmente después de las 4:00 a.m. del 7 de junio, aproximadamente tres horas antes de la erupción explosiva de ese día a las 7:18 a.m. Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.



**Figura 2.1.57.** Sismogramas iniciando el 7 de junio a las 9:44 a.m. hasta el 8 de junio a las 5:04 a.m donde se observa básicamente registros de sismos asociados a fracturamiento de material rígido (VT) y cuya tasa de ocurrencia se incrementa especialmente después de las 2:00 a.m. del 8 de junio, unas cuatro horas y medias antes de la erupción explosiva de ese día a las 6:38 a.m. Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.



**Figura 2.1.58.** Sismogramas iniciando el 8 de junio a las 5:05 a.m. hasta la 1:13 p.m. donde se destaca la señal sísmica de la explosión seguida de un episodio de tremor asociados a la erupción de las 6:38 a.m. Cada traza horizontal corresponden a 5 minutos de duración.

En la noche del 5 de junio, inicia un periodo donde se destaca un drástico descenso en la sismicidad asociada a movimiento de fluidos, y empiezan a registrarse sismos de fracturamiento de material rígido de bajos niveles energéticos y relativamente superficiales (2.1.59-B)

Entre las 5:00 a.m. y la 12:00 p.m. del 6 de junio, se observa un incremento en el nivel energético de la traza sísmica (ruido de fondo). Es posible que esta señal obedezca a las condiciones climáticas, particularmente a viento, sin embargo, no se descarta que sea de origen volcánico (Figura 2.1.59-C). Aproximadamente a las 12:00 p.m. del 6 de junio y por un lapso 12 horas, reaparecen sismos relacionados con procesos de fractura y ligeramente con un mayor nivel energético (Figura 2.1.59-D)

A partir de las 2:30 a.m. del 7 de junio se acelera la tasa de ocurrencia de sismos asociados con fracturas superficiales a manera de enjambre destacándose unos pocos sismos por tener un mayor nivel energético hasta el momento del registro de la erupción explosiva de las 07:18 a.m. del 7 de junio (Figura 2.1.59-E).

La señal asociada a la erupción (Figura 2.1.60) tuvo una duración de 3.8 minutos y liberó una energía de ondas de cuerpo (Eoc) de  $6.74 \times 10^{13}$  Ergios, valores que fueron calculados en la estación de banda ancha Cufiño. La señal que inicia con un episodio de tremor dado por el paso de un fluido acompañado de eventos híbridos evidenciando algunas rupturas, evoluciona con el desarrollo de una señal de gran amplitud que parece tener una componente muy impulsiva que podría reflejar una fractura con mecanismo de dipolo, lo que podría interpretarse como una tensión alrededor del conducto o grieta de salida de material. La señal sísmica estuvo acompañada de una onda de choque que fue percibida en el albergue El Vergel municipio de Pasto ubicado a unos 8 Km del volcán y fue registrada por el sensor acústico de la estación Calabozo, CAMI (Figura 2.1.61). La fase de máxima amplitud acústica registrada fue de aproximadamente 0.8 pascales (Pa).

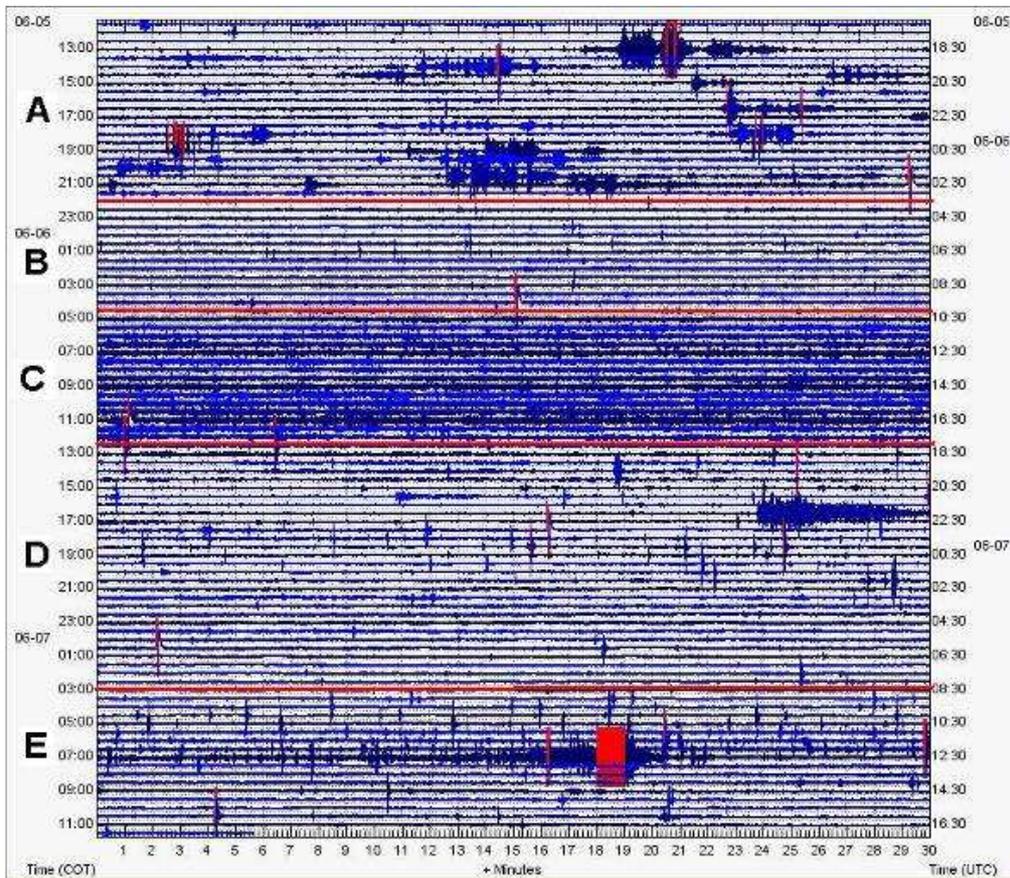
Después de la erupción del 7 de junio, la actividad sísmica presentó disminución caracterizada por la presencia de pocos eventos de bajo nivel energético asociados principalmente con fracturamiento de material rígido. Este periodo dura aproximadamente 18 horas.

A partir de la 1:30 a.m. del 8 de junio, la tasa de ocurrencia de los sismos con fase de fractura se vuelve a incrementar hasta que se da inicio a la segunda erupción explosiva a las 6:38 a.m (Figura 2.1.62). Esta señal que empieza súbitamente, se caracteriza por mostrar en su inicio una señal que corresponde a la fase explosiva, seguida de un evento de mayor amplitud que también parece reflejar una fractura con mecanismo de dipolo de 3.9 grados de magnitud en la escala de Richter, y luego, hacia las 6:43 a.m. se da lugar a una señal de tremor que se prolongó cerca de 45 minutos (Figuras 2.1.54 y 2.1.58), y estuvo asociada a emisión de gases y ceniza. Esta señal liberó una energía de ondas de cuerpo (Eoc) de  $1.24 \times 10^{14}$  Ergios, valores que fueron calculados en la estación de banda ancha Cufiño (ubicada a 1.9 km al este-noreste del cráter principal). La señal sísmica estuvo acompañada de una onda de choque que fue registrada por el sensor acústico de la estación Calabozo, CAMI (Figura 2.1.63). La onda de máxima amplitud acústica registrada fue de aproximadamente 1.0 pascal (Pa). Se tuvieron reportes de la explosión en la población de San Roque en cercanías al volcán Azufral, a unos 45 Km al suroccidente de Galeras y desde luego, en varios sectores en la zona de influencia de Galeras.

La figura 2.1.64, integra los registros sísmicos desde el 6 al 8 de junio, dejando apreciar la sísmica asociada con las erupciones del 7 y 8 de junio de 2009, permitiendo tener un panorama de las principales diferencias de estas dos erupciones descritas anteriormente y donde se destaca que la del día 8 fue seguida de un episodio de tremor asociado a un mayor flujo de emisión respecto a lo acontecido el día inmediatamente anterior. Adicionalmente, similar a lo sucedido el día 7 de junio, se resalta que a los 6 segundos de iniciada la primera fase eruptiva del 8 de junio, el evento sísmico relacionado con el proceso de

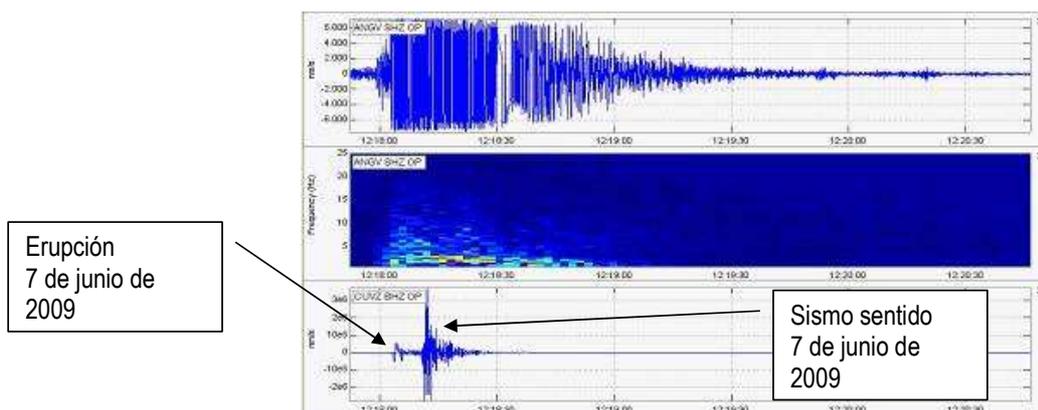
fracturamiento de material en el edificio volcánico, éste fue sentido por algunos pobladores de la zona de influencia (Figuras 2.1.54, 2.1.63 y 2.1.64). Este sismo se localizó aproximadamente a 1 Km al Este del cráter de Galeras, alrededor de 2 Km de profundidad respecto a la cima y con una magnitud local de 3,9 en la escala de Richter.

Comparativamente, la energía sísmica liberada en los procesos eruptivos del 8 de junio fue mayor la del día 7 de junio, lo que también está conforme con la cantidad de material emitido en estas erupciones; sin embargo, la energía total de la erupción del 8 de junio es comparable con la del primer episodio del 24 de abril de 2009 y mucho menor a las del 13 de marzo y aun más del 20 de febrero aunque la del 8 junio depositó el mayor volumen de material (2.214.000 m<sup>3</sup>).

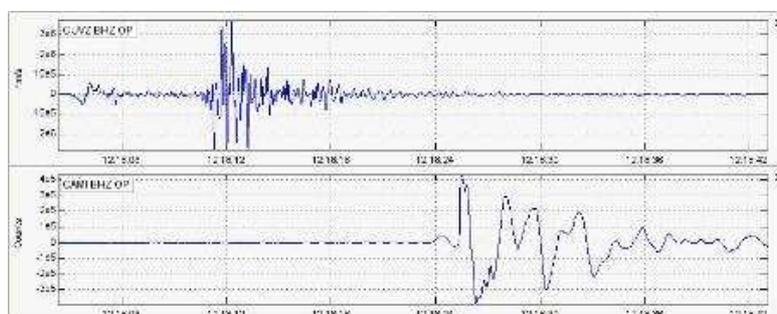


**Figura 2.1.59.** Sismograma registrado por la estación Anganoy entre el 5 y el 7 de junio de 2009. El tiempo a la izquierda del sismograma está en hora local y los números bajo el sismograma son una marca de los minuto.

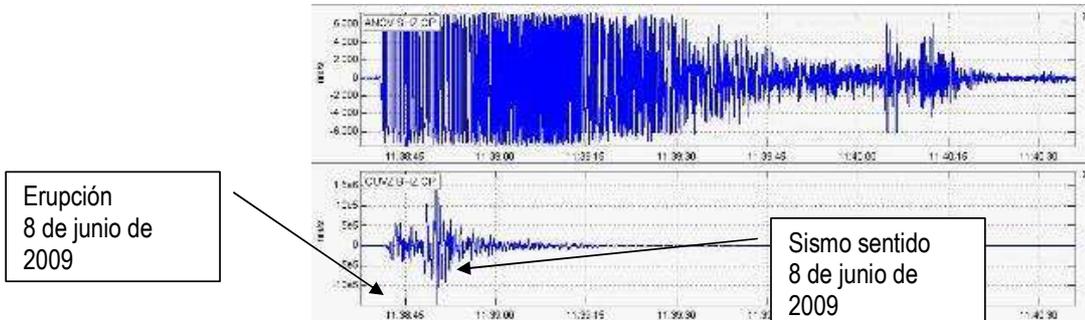
Después de la erupción del 8 de junio, la sismicidad se caracterizó por los niveles bajos de ocurrencia como en energía sísmica liberada, predominando los eventos relacionados con la dinámica de fluidos en el sistema volcánico, especialmente los asociados con excitación continua de la fuente (TRE).



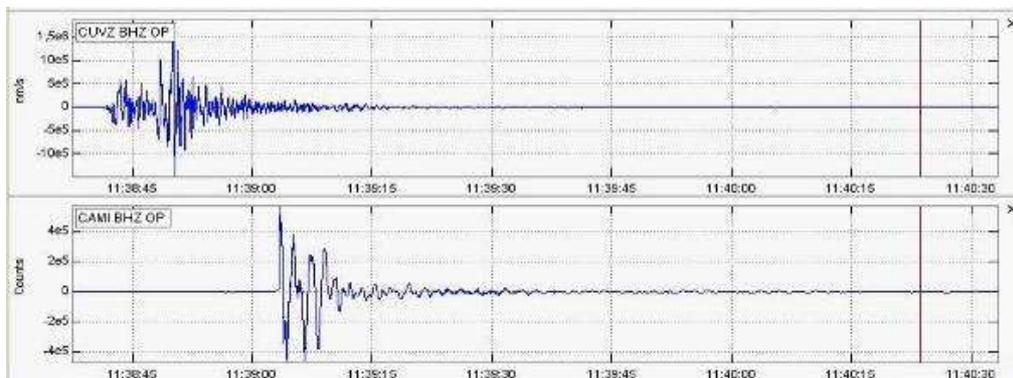
**Figura 2.1.60.** Registro del evento eruptivo del 7 de junio y el sismo de fractura ocurrido 8 segundos después; este sismo se localizó a unos 3 Km al sur-sureste del cráter de Galeras, a aproximadamente 2 Km de profundidad respecto a la cima y con una magnitud local de 4 en la escala de Richter. Registro de las estaciones Anganoy y su espectrograma (arriba - centro) y sismograma en la estación Cufiño (abajo). La abscisa muestra las horas en tiempo universal (tiempo local más 5 horas).



**Figura 2.1.61.** Registros de la componente vertical del sismómetro de banda ancha en la estación Cufiño, junto con el registro del sensor acústico de la estación Calabozo CAMI. Erupción del 7 de junio de 2009, 7:18 a.m.



**Figura 2.1.62.** Registro del evento eruptivo del 8 de junio y el sismo de fractura ocurrido 6 segundos después Registro de las estaciones Anganoy (arriba) y Cufiño (abajo). La abscisa muestra las horas en tiempo universal (tiempo local más 5 horas).



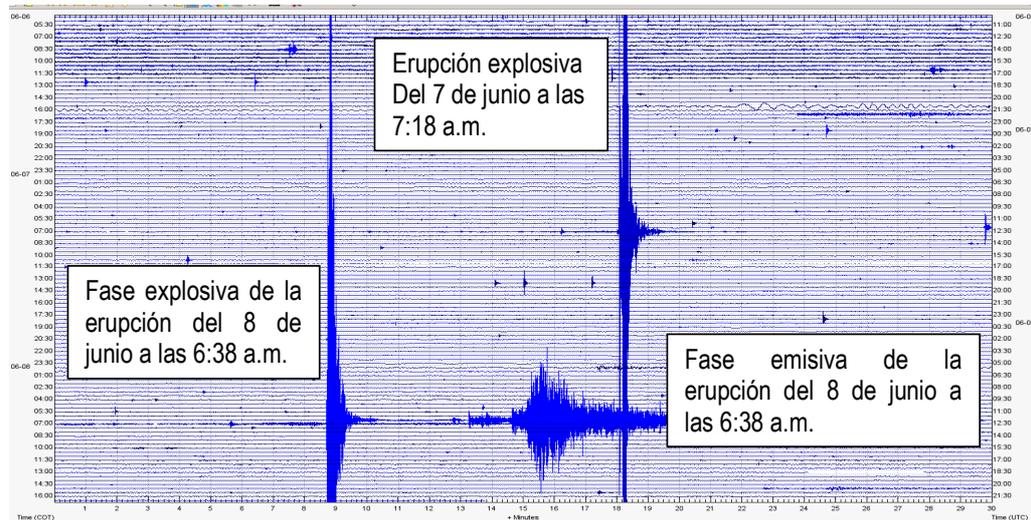
**Figura 2.1.63.** Registros de la componente vertical del sismómetro de banda ancha en la estación Cufiño (ubicada a 1.9 km al este-noreste del cráter principal), junto con el registro del sensor acústico de la estación Calabozo CAMI. Erupción del 8 de junio de 2009, 8:38 a.m. La abscisa muestra las horas en tiempo universal (tiempo local más 5 horas).

El 16 de junio a las 10:41 p.m. se registró un TRE con una duración aproximada de 290 segundos y un desplazamiento reducido para ondas de cuerpo de  $23.72 \text{ cm}^2$ ; en su mayor parte esta señal fue de tipo espasmódico, sin embargo, durante 15 segundos presentó características armónicas con una frecuencia dominante en todas las estaciones de 4.9 Hz (Figura 2.1.65).

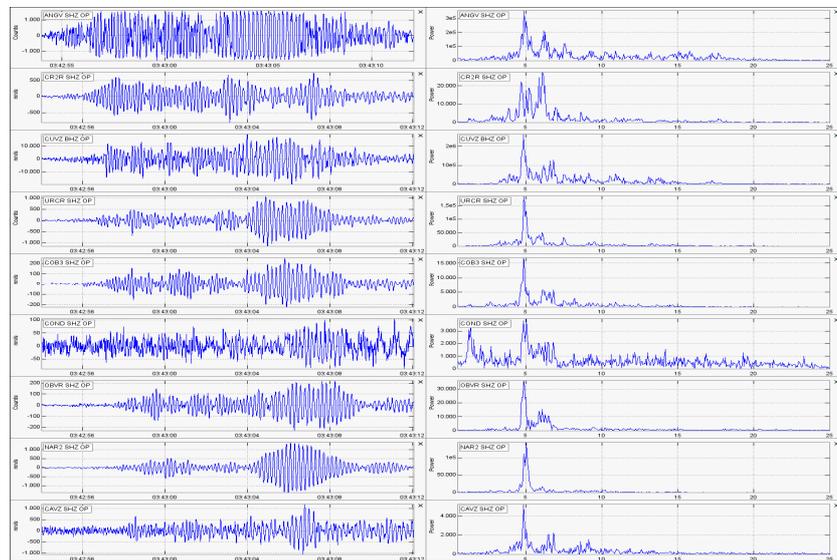
Algunos episodios de tremor como los registrados el 17 de junio a las 2:02 a.m y 18 de junio a las 7:28 a.m presentaron al menos 20 armónicos identificables en su espectro en frecuencia, espaciados entre cada 0,5 y 1.2 Hz aproximadamente y distribuidos entre 0.9 y 20 Hz (Figuras 2.1.66 y 2.1.67).

El 22 de junio a las 9:24 p.m. se registró otro TRE que tuvo una duración de aproximada de 700 segundos y un desplazamiento reducido para ondas de cuerpo de  $10 \text{ cm}^2$ ; este episodio presentó características armónicas en todo el registro,

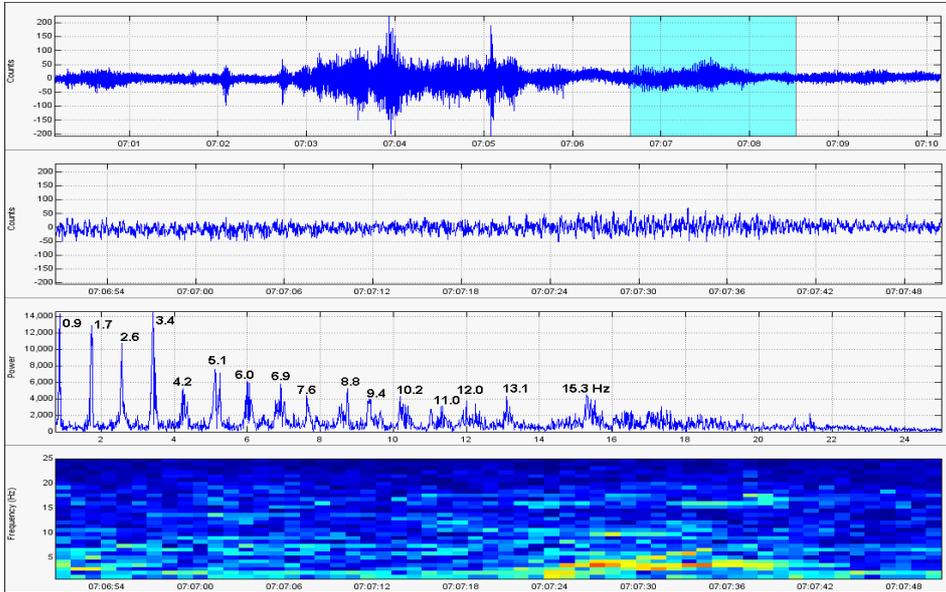
mostrando cerca de 20 armónicos identificables en su espectro y una frecuencia dominante de 1.8 Hz (Figura 2.1.68).



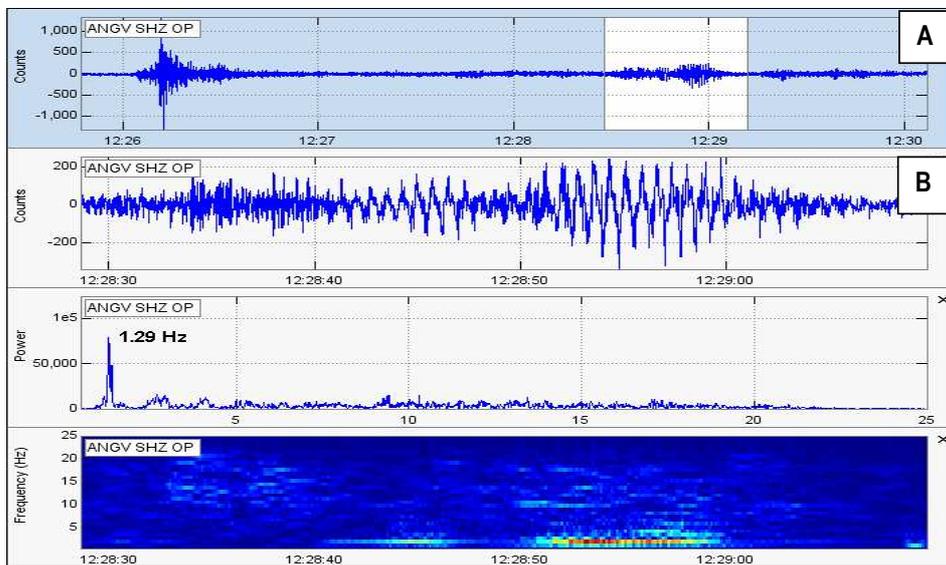
**Figura 2.1.64.** Sismograma registrado por la estación Cufiño entre el 6 y el 8 de junio de 2009. El tiempo en el eje de la izquierda del sismograma está en hora local y los números en la abscisa bajo el sismograma son una marca de los minutos. Se observa la erupción del 7 de junio a las 7:18 a.m. y las dos fases de la del 8 de junio empezando a las 6:38 a.m.



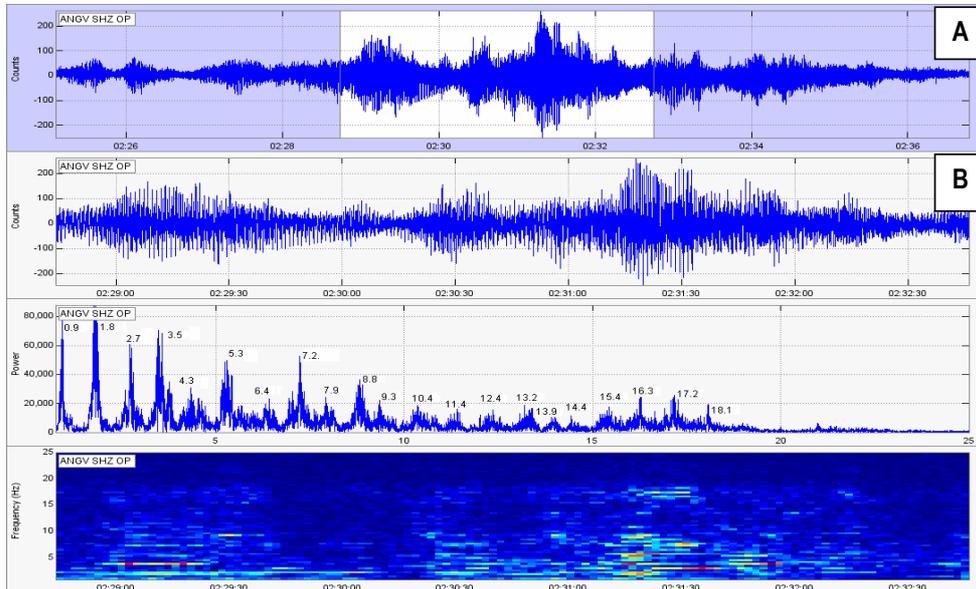
**Figura 2.1.65.** Detalle de la parte armónica del episodio tipo TRE registrado el 16 de junio, a las 10:41 p.m. en nueve estaciones de la red de monitoreo de Galeras (sismograma a la izquierda y espectro a la derecha). Se observa una frecuencia dominante de 4.9 Hz en todas las estaciones, asociada a la fuente sismogénica.



**Figura 2.1.66.** Sismograma del episodio tipo TRE registrado el 17 de junio, a las 2:02 a.m. (7:02 a.m. en la figura), en la estación de referencia Anganoy. Detalle de la parte final del episodio (sismograma, espectro y espectrograma) donde se observa varios armónicos claramente identificables, en un rango de frecuencias entre 0.9 y 15 Hz.



**Figura 2.1.67. A)** Sismograma del episodio tipo TRE registrado el 18 de junio, a las 7:28 a.m. (12:28 p.m., en la figura), en la estación de referencia Anganoy. **B)** De arriba abajo: sismograma, espectro y espectrograma de la parte final del episodio de TRE de naturaleza armónica, donde se observa una frecuencia monotónica dominante de 1.29 Hz.



**Figura 2.1.68. A)** Sismograma del episodio tipo TRE registrado el 22 de junio, a las 9:24 p.m. **B)** Detalle de la parte final del episodio (sismograma, espectro y espectrograma) donde se observa varios armónicos claramente identificables en un rango de frecuencias entre 0.9 y 20 Hz.

### 2.1.3 DEFORMACION

La red de deformación para el primer semestre del 2009, estuvo conformada por cuatro inclinómetros: Cráter (0,9 km al este del cráter), Peladitos (1,4 km al sureste de cráter), Calabozo (a 7 Km al oeste del cráter principal) y Huairatola (1.7 km al norte, 3745 msnm). El inclinómetro Cráter salió de funcionamiento entre el 14 al 20 de abril por problemas asociados a una tormenta eléctrica. El inclinómetro Calabozo, entre el 27 de febrero hasta 10 de marzo de 2010, salió de funcionamiento por caída de ceniza en la repetidora.

En septiembre de 2008, el inclinómetro Cráter (Figura 2.1.69), tuvo un cambio en el comportamiento de sus componentes tangencial y radial, de un periodo de estabilidad a una tendencia ascendente hasta finales de diciembre de 2008, acumulando cada una de sus componentes 40  $\mu$ radianes. Posteriormente y hasta mediados de marzo del 2009, la componente tangencial tuvo un cambio mostrando una tendencia descendente de 110  $\mu$ radianes; para este periodo la componente radial se mantuvo estable. Desde abril y hasta finales de junio de 2009 las dos componentes mostraron una tendencia levemente ascendente con un cambio cercano a los 10  $\mu$ radianes para cada componente.

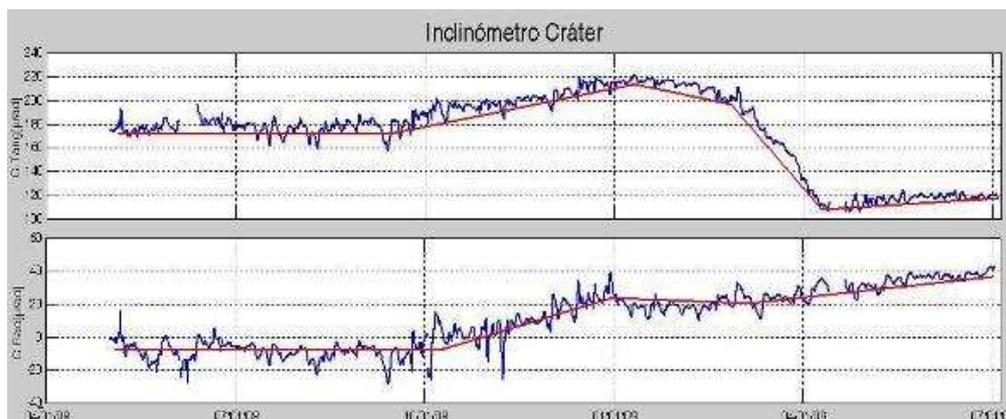
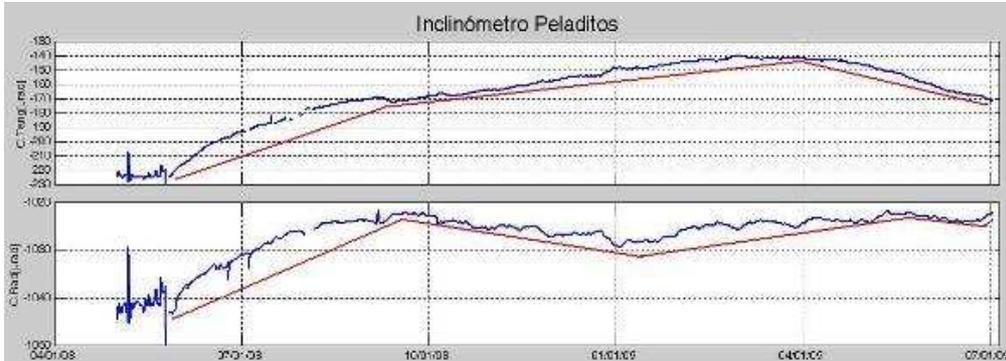


Figura 2.1.69. Comportamiento de la componente tangencial y radial del inclinómetro Cráter.

La componente tangencial del inclinómetro Peladitos, a partir de junio de 2008, y hasta abril de 2009 mostró una tendencia ascendente, acumulando cerca de 85  $\mu$ radianes. La componente radial, entre mayo de 2008 y junio de 2009, tuvo variaciones que se pueden enmarcar en tres periodos: entre mayo y octubre de 2008, un comportamiento ascendente con un cambio de 25  $\mu$ radianes, posteriormente cambió su tendencia a descendente, la cual se mantuvo hasta enero de 2009, con menos de 10  $\mu$ radianes; hasta junio de 2009 nuevamente cambio de tendencia a ascendente, acumulando cerca de 8  $\mu$ radianes (Figura 2.1.70).



**Figura 2.1.70.** Comportamiento de la componente tangencial y radial del inclinómetro Peladitos.

El inclinómetro Calabozo hasta octubre de 2008, tuvo un comportamiento estable en sus componentes. Posteriormente, la componente tangencial hasta abril de 2009 mostró un comportamiento ascendente acumulando 100  $\mu$ radianes y hasta junio cambio de tendencia a descendente, acumulando cerca de 40  $\mu$ radianes. Por su parte la componente radial, después de octubre y hasta mediados de mayo de 2009 tuvo un comportamiento ascendente acumulando 60  $\mu$ radianes. Posteriormente y hasta junio de 2009, esta componente muestra una tendencia estable. (Figura 2.1.71).



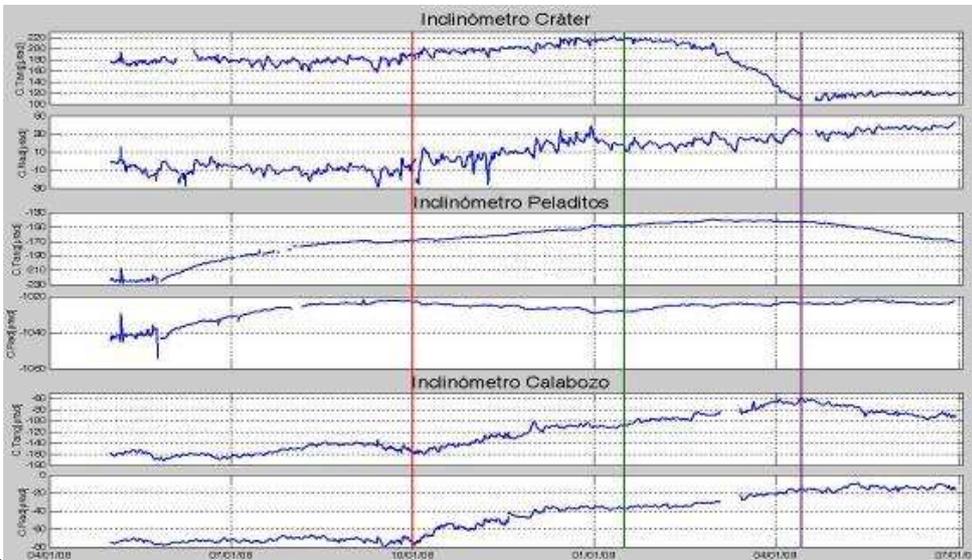
**Figura 2.1.71.** Comportamiento de la componente tangencial y radial del inclinómetro Calabozo.

El inclinómetro Huairatola, desde su reinstalación, a principios del año, ha mostrado un comportamiento ligeramente ascendente en su componente tangencial con un cambio de menos de 5  $\mu$ radianes mientras que su componente radial tuvo un comportamiento estable. (Figura 2.1.72).



**Figura 2.1.72.** Comportamiento de la componente tangencial y radial del inclinómetro Huairatola.

Teniendo en cuenta la variación de los inclinómetros, Cráter, Peladitos y Calabozo, se definieron cuatro periodos en los cuales se trató de hacer coincidir los principales cambios de alguno de los inclinómetros, definidos así: primer periodo, entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2008, segundo periodo, 1 de octubre de 2008 a 22 de enero de 2009; tercer periodo, 23 de enero al 21 de abril de 2009, cuarto periodo 22 de abril de 2009 a 30 de junio de 2009 (Figura 2.1.73). Para estos periodos se calcularon los vectores resultantes (Figura 2.1.74). Se resalta que el segundo periodo e inicios del tercer periodo, pudo estar asociado con la mayor actividad de fluidos registrada en el 2008 y 2009; adicionalmente se nota que la dirección de los vectores coincide con la localización de eventos de fractura registrados en noviembre de 2008 (Figuras 2.1.7 y 2.1.18).



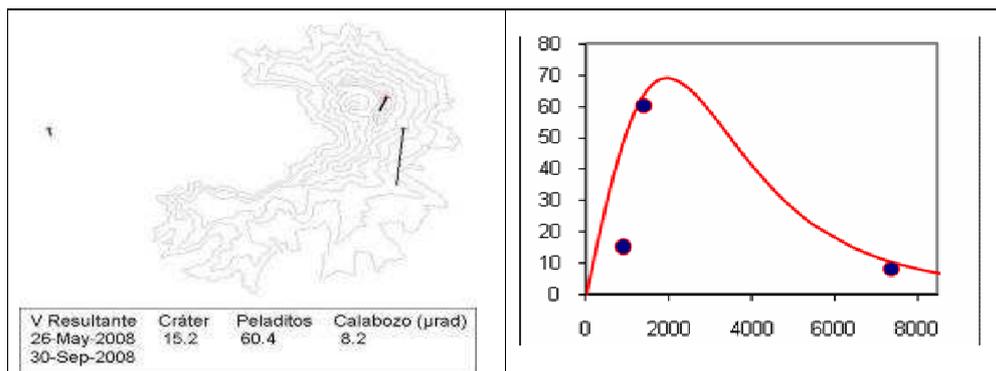
**Figura 2.1.73.** Comportamiento de la componente tangencial y radial de los inclinómetros Cráter, Peladitos y Huairatola.

Para el primer periodo, la mayor deformación la mostró el inclinómetro Peladitos, seguida por Cráter y Calabozo, con valores de 60.4, 15.2, y 8.2  $\mu$ radianes, respectivamente. Utilizando estos valores y el modelo de Mogi, se obtuvo que posiblemente la deformación se originó a una profundidad entre 3 a 4 km, con un volumen de alrededor de 10.000.000 m<sup>3</sup> (Figura 2.1.74).

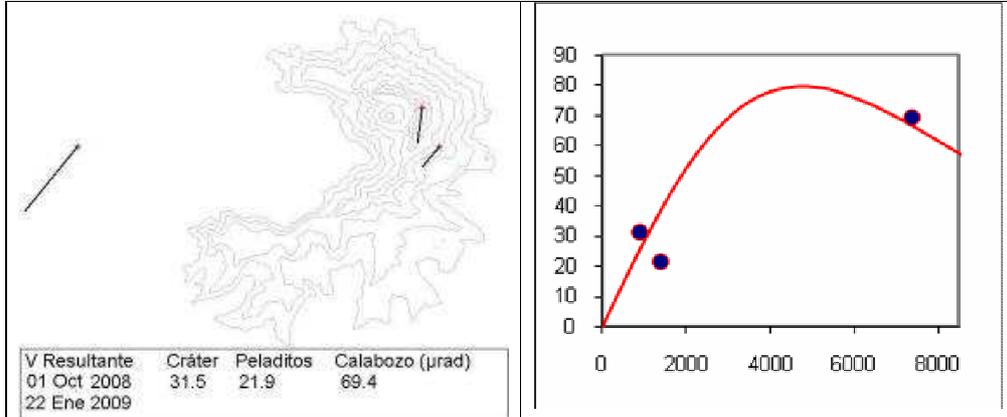
En el segundo periodo, Calabozo mostró la mayor deformación, con 69  $\mu$ radianes; esto puede indicar que la fuente que provocó este cambio es más profunda, lo cual concuerda con el modelo de Mogi. Al utilizar las variaciones de Calabozo, Peladitos y Cráter se obtuvo que la deformación se originó a una profundidad cercana a los 9 km, con un volumen mayor en un orden al del periodo anterior (Figura 2.1.75).

Para el tercer periodo, tanto Peladitos como Calabozo continuaron mostrando la tendencia que traían desde el periodo anterior, mientras que la componente tangencial de Cráter cambio su tendencia, acumulando 109  $\mu$ radianes. Realizando cálculos con el modelo de Mogi, y utilizando el mismo volumen del periodo anterior (del orden de 1E+8), la profundidad de la fuente que motivó esta variación fue más superficial, alrededor de 4 km (Figura 2.1.76). Lo cual se puede relacionar con la actividad de esta época, teniendo en cuenta que se presentaron seis erupciones (14 y 20 de febrero, 13 de marzo, 24 de abril (dos eventos eruptivos), 29 de abril y 7 y 8 de junio de 2009).

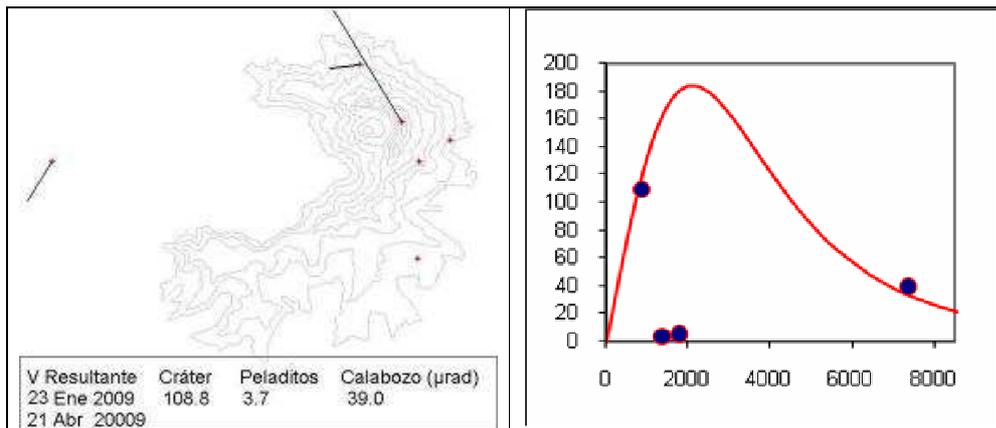
En el cuarto periodo, las componentes tangenciales de los inclinómetros Peladitos y Calabozo, cambiaron de dirección. El cálculo de los vectores resultantes de los tres inclinómetros fueron similares, menores de 26  $\mu$ radianes. Con esta información y siguiendo con el volumen que se trabajó en el periodo anterior, se observa que la fuente que originó esta deformación es más profunda, cercana a los 7 km (Figura 2.1.77)



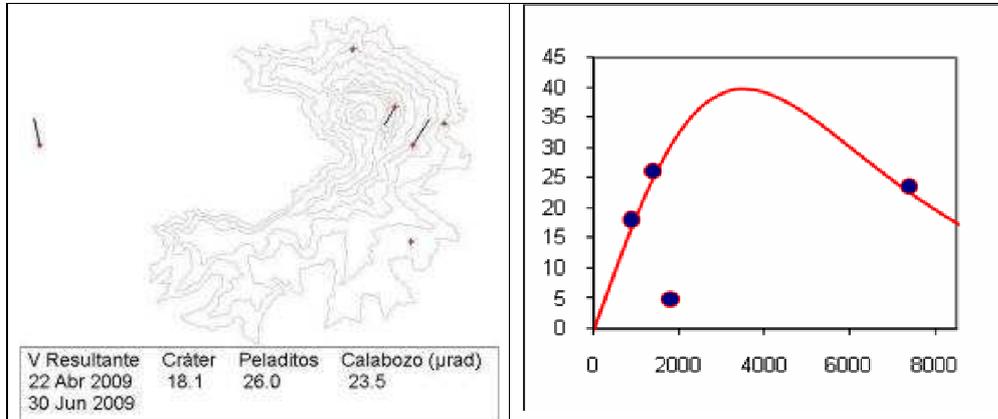
**Figura 2.1.74.** Izquierda, vectores resultantes para los inclinómetros Cráter, Peladitos y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2009. El asterisco indica el lugar donde se encuentra la estación. Derecha, Curva que se ajusta a los vectores resultantes obtenidos, utilizando el modelo de Mogi.



**Figura 2.1.75.** Izquierda, vectores resultantes para los inclinómetros Cráter, Peladitos y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2009. El asterisco indica el lugar donde se encuentra la estación. Derecha, Curva que se ajusta a los vectores resultantes obtenidos, utilizando el modelo de Mogi.



**Figura 2.1.76.** Izquierda, vectores resultantes para los inclinómetros Cráter, Peladitos y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2009. El asterisco indica el lugar donde se encuentra la estación. Derecha, Curva que se ajusta a los vectores resultantes obtenidos, utilizando el modelo de Mogi.



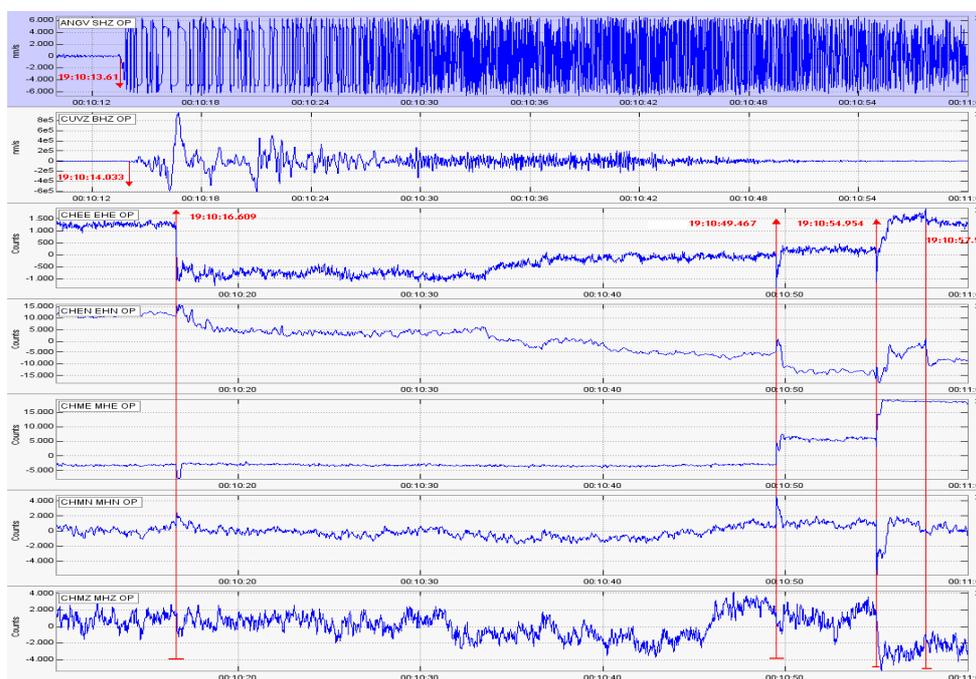
**Figura 2.1.77.** Izquierda, vectores resultantes para los inclinómetros Cráter, Peladitos y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 26 de mayo y el 30 de septiembre de 2009. El asterisco indica el lugar donde se encuentra la estación. Derecha, Curva que se ajusta a los vectores resultantes obtenidos, utilizando el modelo de Mogi.

## 2.1.4 ELECTROMAGNETISMO

En el primer semestre de 2009, las estaciones para el monitoreo de las variaciones del campo eléctrico y magnético, ubicadas en el sector conocido como Chiguaco, aproximadamente a 2.3 km al NNE del cono volcánico, registraron los eventos eruptivos ocurridos en el mes de febrero y marzo de 2009.

### 2.1.4.1 Erupción: febrero 14 de 2009

Posterior al registro sísmológico del evento eruptivo del 14 de febrero de 2009, ocurrido a las 07:10:13 p.m., en la estación de Anganoy, ubicada a 840 m., del cono volcánico; aproximadamente, tres segundos después se presentó un pulso tanto en las dos componentes de monitoreo de las variaciones del campo eléctrico como en las tres componentes de monitoreo de variaciones del campo magnético. En los registros eléctricos, la componente NS mostró la amplitud máxima, siendo un poco más del doble de la componente EW (Figura 2.1.78, Tabla 2.1.8). En los registros magnéticos, por las condiciones del nivel base de la señal, solo la componente EW muestra una clara variación, que corresponde casi al doble de la que se registra en las otras dos componentes, que por su nivel de ruido base, el pulso de variación es menos evidente (Figura 2.1.78, Tabla 2.1.8).

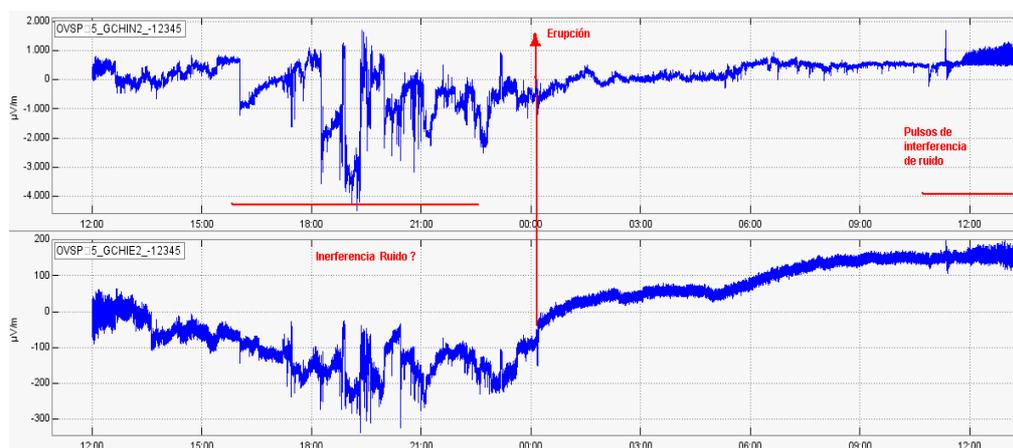


**Figura 2.1.78.** Evento eruptivo del 14 de febrero de 2009, a las 07:10 p.m., registrado en la red de monitoreo volcánico de Galeras. Se muestran las estaciones de Anganoy, Cufiño vertical, las estaciones NS y EW de campo eléctrico y las componentes NS, EW y Z del campo magnético.

**Tabla 2.1.8.** Amplitud en cuentas de la variación inicial de las dos componentes del campo eléctrico y las tres del campo magnético, debido al evento eruptivo del 14 de febrero de 2009.

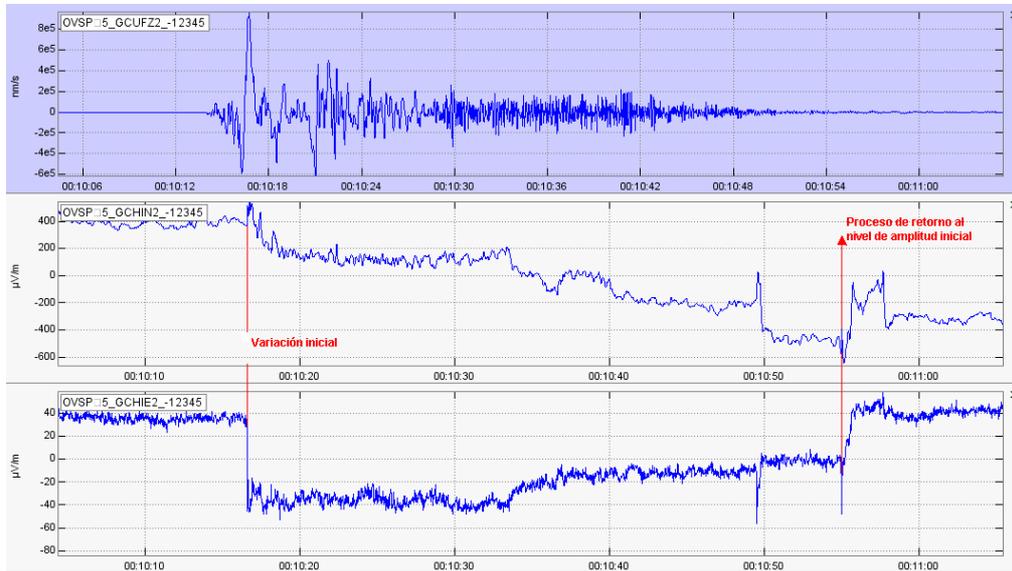
Estación	Hora inicial (hh:mm:ss)	Amplitud (cuentas)
ANGV	19:10:13	
CHI-EE	19:10:16	1940.719
CHI-EN	19:10:16	4272.079
CHI-ME	19:10:16	3977.379
CHI-MN	19:10:16	2080.217
CHI-MZ	19:10:16	2345.025

Previo al evento eruptivo, las componentes del campo eléctrico mostraron un nivel de ruido bastante alto que enmascaraba la variación generada por el registro eruptivo. Sin embargo, se logra identificar el salto que se produjo en las componentes del campo eléctrico, debido al movimiento de material volcánico al momento de la erupción (Figura 2.1.79).



**Figura 2.1.79.** Comportamiento de las componentes del campo eléctrico previo, durante y después del evento eruptivo del 14 de febrero de 2009.

Tres segundos después de iniciar el registro del evento eruptivo del 14 de febrero en Galeras, en las estaciones sismológicas, las componentes de la estación eléctrica mostraron variaciones asociadas con este proceso. De acuerdo con estos registros, la componente NS tuvo un primer pulso que va incrementando de manera paulatina por aproximadamente 40 segundos, hasta llegar a una variación máxima, para posteriormente comenzar a retomar a su nivel original (Figura 2.1.80, Tabla 2.1.9). En cuanto a la componente EW, esta presenta una variación inicial máxima y de ahí comienza a retornar levemente a su nivel original el cual se obtiene en aproximadamente un minuto después de iniciado el proceso (Figura 2.1.80, Tabla 2.1.9).



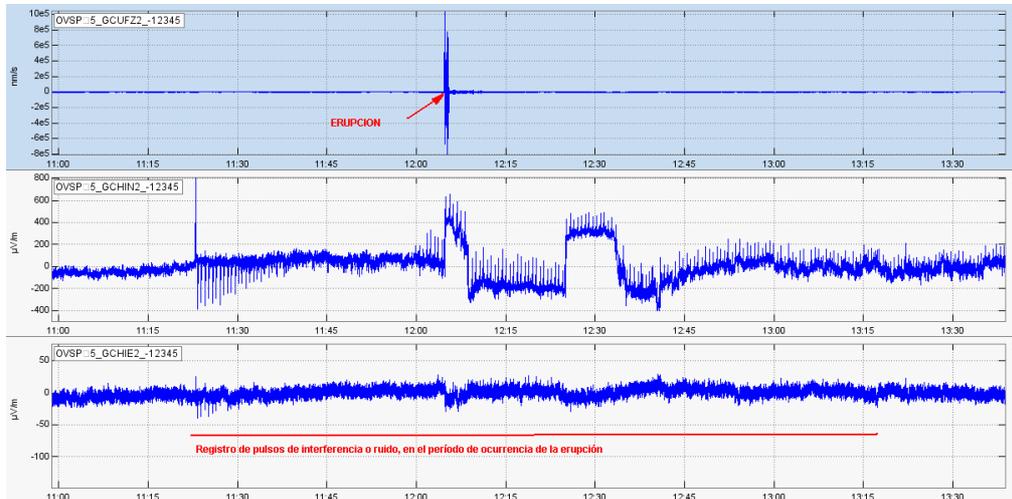
**Figura 2.1.80.** Evento eruptivo del 14 de febrero de 2009, a las 07:10 p.m., registrado en la estación sismológica de Cufiño y en la componentes NS y EW de la estación de monitoreo de las variaciones del campo eléctrico.

**Tabla 2.1.9.** Amplitudes de variación de las componentes de la estación de monitoreo del campo eléctrico, para los eventos eruptivos referenciados.

Fecha	ANGV t ini	tdiff (seg) con ANGV	Pulso	Amp. Max. ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )	
				CHEE-EHE	CHEN-EHN
14-Feb-09	19:10:13	3	1	81	148
20-Feb-09	07:04:42	5.8	1	30	499
13-Mar-09	15:55:08	21.8	1	35	312
		28.8	2	94	1123
			1+2	129	1435
			3	119	1388
			4	269	1359

#### 2.1.4.2 Erupción: febrero 20 de 2009

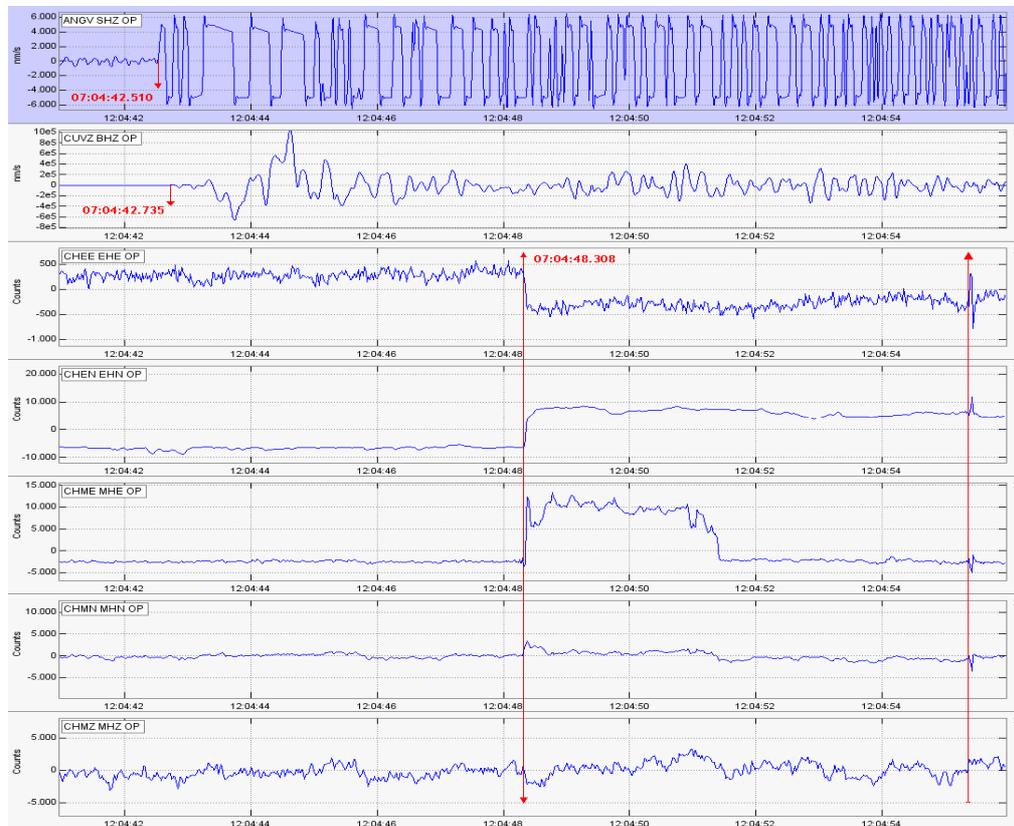
La erupción del 20 de febrero de 2009 a las 07:04 a.m., en el volcán Galeras, fue registrada por las dos componentes de monitoreo eléctrico. En el lapso de tiempo correspondiente al evento eruptivo, la componente NS muestra unos pulsos de interferencia; sin embargo, es posible identificar la variación en el comportamiento, tanto de esta componente como de la componente EW, asociadas con el movimiento de material volcánico, producto del evento eruptivo, con propiedades eléctricas (Figura 2.1.81).



**Figura 2.1.81.** Evento eruptivo del 20 de febrero de 2009, a las 07:04 a.m., registrado en la estación sismológica de Cufiño y en la componentes NS y EW de la estación de monitoreo de variaciones del campo eléctrico.

De acuerdo con los registros obtenidos de la red de vigilancia volcánica de Galeras, tanto las dos componentes de monitoreo de las variaciones del campo eléctrico como las tres componentes de monitoreo de las variaciones del campo magnético registraron el evento eruptivo, aproximadamente 6 segundos después del registro inicial en la estación sismológica de Anganoy. La máxima variación del campo eléctrico, asociada con el evento eruptivo se obtuvo en la componente NS con un valor de  $499 \mu\text{V/m}$ , en tanto que la variación registrada en la componente EW fue de  $30 \mu\text{V/m}$ , la máxima variación en el campo eléctrico se encontró en la componente NS (Tabla 2.1.9).

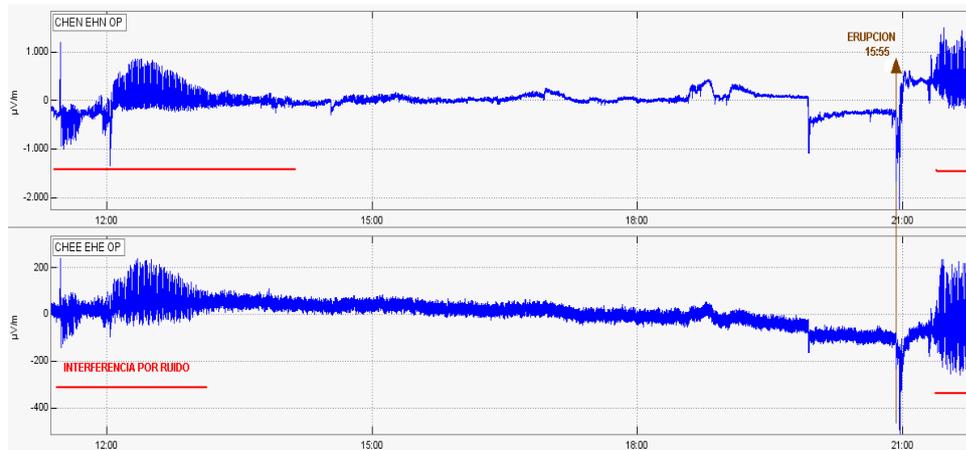
La figura 2.1.82 muestra el registro del evento eruptivo del 20 de febrero a las 07:04 a.m.; donde se identifica la variación ocasionada por la ocurrencia del evento eruptivo tanto en la estación sismológica de banda ancha Cufiño, como en las componentes de las estaciones eléctrica y magnética. De acuerdo con el tiempo de registro, se determina que las variaciones en las componentes del campo eléctrico y magnético inician seis segundos después del inicio en la estación sismológica de Cufiño.



**Figura 2.1.82.** Evento eruptivo del 20 de febrero de 2009, a las 07:04 a.m., registrado en la red de monitoreo volcánico de Galeras. Se muestran las estaciones de Anganoy, Cufiño vertical, las componentes NS y EW de campo eléctrico y las componentes NS, EW y Z del campo magnético.

### 2.1.4.3 Erupción: marzo 13 de 2009

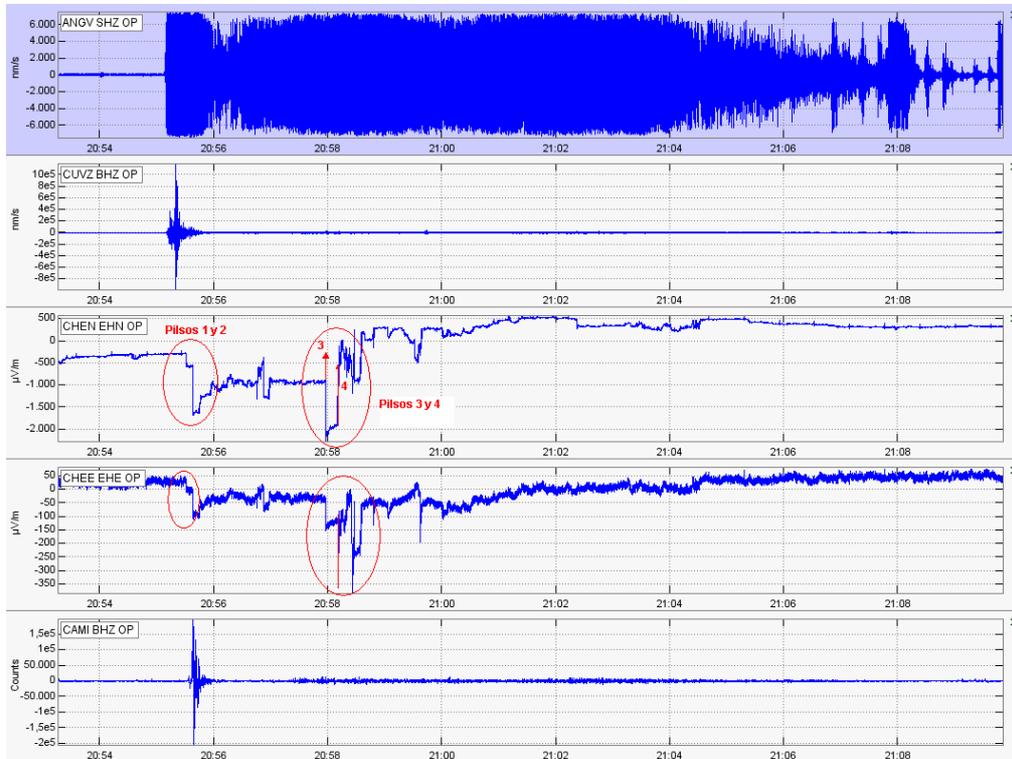
El evento eruptivo del 13 de marzo a las 03:55 p.m., por problemas en el sensor de campo magnético, tuvo registro solamente de la estación eléctrica. Aun cuando las dos componentes del campo eléctrico mostraban pulsos de interferencia, previo y posteriormente a la ocurrencia del evento eruptivo, en el lapso de tiempo de la erupción es posible identificar la variación del campo eléctrico debido a este proceso (Figura 2.1.83).



**Figura 2.1.83.** Evento eruptivo del 13 de marzo de 2009, a las 03:55 p.m., registrado en las componentes NS y EW de la estación de monitoreo de variaciones del campo eléctrico.

De acuerdo con los registros obtenidos por la red de monitoreo volcánico, para el evento eruptivo del 13 de marzo, las componentes del campo eléctrico registraron este evento aproximadamente 22 segundos después de su inicio en la estación sismológica de Anganoy. Las dos componentes del campo eléctrico muestran cuatro pulsos de variaciones bien definidas, posteriormente la señal va recuperando su nivel inicial en aproximadamente seis minutos después del pico inicial (Figura 2.1.84).

La amplitud de la variación eléctrica se ha tomado considerando los dos primeros pulsos que se presentan con un desfase de aproximadamente 7 segundos, ya que inicialmente se asumiría como parte del mismo proceso. La amplitud máxima de la suma de las dos variaciones es mucho mayor en la componente NS con 1435  $\mu\text{V/m}$ , mientras que en la componente EW es de 129  $\mu\text{V/m}$ . Los pulsos 3 y 4, corresponderían a pulsos de restitución del nivel original, por lo que se mantienen en valores del mismo orden de la variación inicial (Tabla 2.1.19).



**Figura 2.1.84.** Evento eruptivo del 13 de marzo de 2009, a las 03:55 p.m., registrado en la red de monitoreo volcánico de Galeras. Se muestran las estaciones de Anganoy, Cufiño vertical y las componentes NS y EW.

De acuerdo con los registros obtenidos, previos y posteriores a los eventos eruptivos, podemos inferir que las grandes variaciones registradas tanto en los sensores de campo eléctrico como del campo magnético generados segundos después de iniciar los procesos eruptivos pueden estar muy relacionados con el movimiento del material volcánico, con propiedades eléctricas y magnéticas, expulsado durante estos procesos, y aquellos que comienzan a moverse al interior del sistema, como compensación del material que ha sido lanzado al exterior por el volcán. Donde se destacaría el movimiento del material hacia el exterior, que sería el que genera los mayores cambios en los registros electromagnéticos, ya que las mayores variaciones se presentan posteriores al registro sísmológico del evento eruptivo, es decir, cuando el material ha salido o se ha depositado en inmediaciones del sitio de la estación.

### 2.1.5 FISICOQUIMICA

Durante el primer semestre de 2009, se realizaron mediciones del flujo de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) emitido por Galeras a la atmósfera. Para medir el  $\text{SO}_2$  se utilizaron las estaciones telemétricas permanentes tipo escan-DOAS<sup>1</sup> y el instrumento movilDOAS del Proyecto NOVAC<sup>2</sup> de la Unión Europea del cual INGEOMINAS es partícipe. Las estaciones se localizan en el cuadrante noroccidental de Galeras (Figura 2.1.3) debido a que el viento se dirige hacia ese sector durante la mayor parte del año. Los datos de dirección y velocidad del viento para calcular el flujo de  $\text{SO}_2$  se obtienen de la estación climática ubicada en la cima volcánica y cuando ésta presenta problemas de funcionamiento se usa la información de este parámetro suministrada por el IDEAM<sup>3</sup>. El movilDOAS se usa para hacer medidas móviles en la carretera Circunvalar a Galeras. Además se utilizó la información de las imágenes satelitales OMI<sup>4</sup> que monitorea la presencia de algunos gases en la atmósfera, entre ellos el  $\text{SO}_2$ .

Entre enero y junio de 2009, lo más destacable del monitoreo del flujo de  $\text{SO}_2$ , fueron los procesos de emisión, asociados con los eventos eruptivos ocurridos en este periodo. En los ocho episodios eruptivos del volcán Galeras se observaron procesos de descenso rápido de los valores de flujo antes de las erupciones (Figura 2.1.85) y valores altos de flujo después de las erupciones; teniendo en cuenta que en algunos casos la erupción ocurrió durante la noche, cuando es imposible medir el  $\text{SO}_2$  con los instrumentos disponibles y la medida se hizo varias horas después.

Durante el primer semestre de 2009 el flujo de  $\text{SO}_2$  fluctuó en un rango de valores entre 1 y 5647 toneladas diarias, valores considerados cualitativamente como muy bajo y muy alto para Galeras. El máximo valor fue medido en marzo 9 a la 8:19 a.m. con velocidad del viento de 8,8 m/s y dirección hacia la estación de Santa Bárbara. Este máximo valor del semestre se midió cuatro días antes de la erupción del 13 de marzo a las 3:55 p.m. y se nota que en los días siguientes hay una caída abrupta en los valores de flujo, tan es así, que el mismo día de la erupción se hizo una medida móvil entre las 10 de la mañana y las 2 de la tarde y no se registró columna, tampoco se registró columna en las estaciones escan-DOAS. En la gráfica se puede notar que los máximos valores se registraron en la primera mitad del semestre (Figura 2.1.85). De las 232 medidas obtenidas en el primer semestre de 2009, el 75% se hizo en las estaciones escan-DOAS y el 25% se hizo con el móvil-DOAS. En cuanto a los escan-DOAS, el 19% de los valores máximos del flujo de  $\text{SO}_2$  fueron medidos en la estación de Alto Jiménez, un 26% en la estación de Alto Tinajillas y el 30% fueron leídas en Santa Bárbara.

---

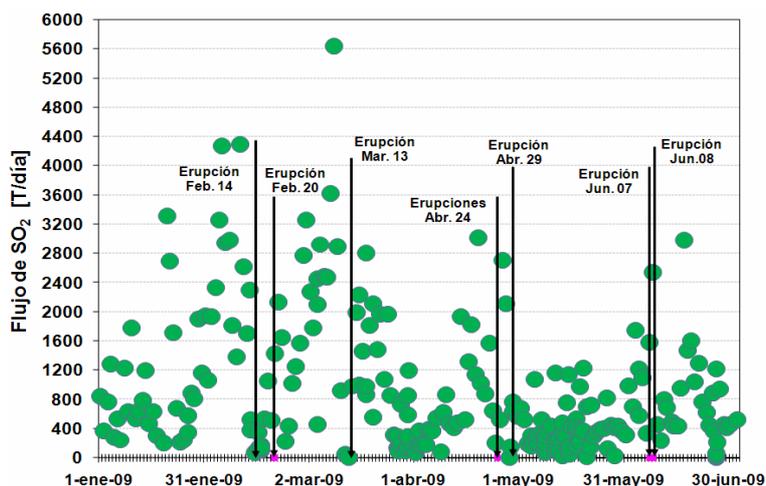
<sup>1</sup> DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy – Espectroscopia Diferencial de Absorción Óptica

<sup>2</sup> Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change; <http://www.novac-project.eu>

<sup>3</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia; <http://www.ideam.gov.co>

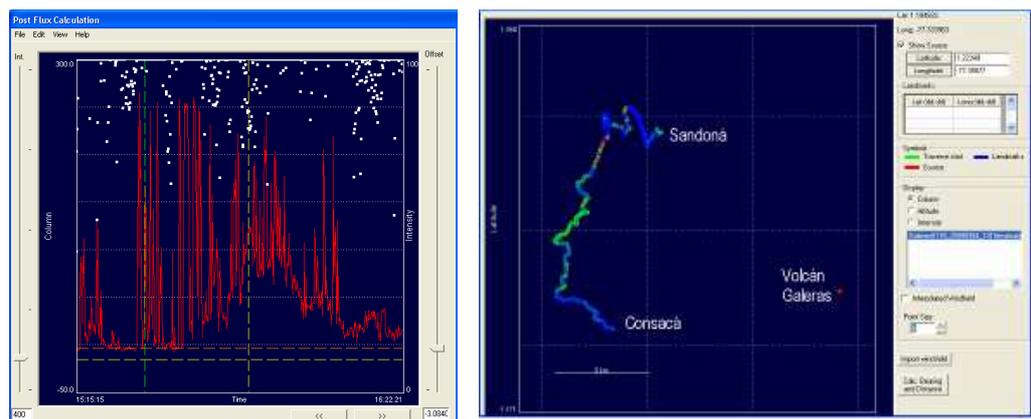
<sup>4</sup> OMI (Ozone Monitoring Instrument); <http://so2.umbc.edu/omi>

Solamente 3 días no tuvieron dato, el 13 de marzo y el 28 de abril, por que la medida se hizo antes de las erupciones y el del 18 de enero muy probablemente se debió a que el viento cambió la dirección de la pluma y no fue captada por las estaciones, ó por que las condiciones atmosféricas no permitieron la medida.



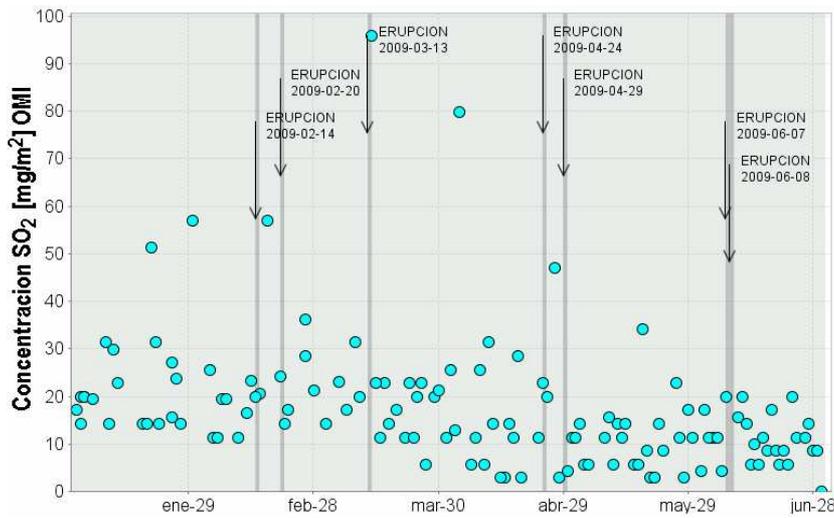
**Figura 2.1.85.** Flujo de SO<sub>2</sub> de Galeras, medido con estaciones escan-DOAS. Enero a junio de 2009.

El máximo valor de flujo de SO<sub>2</sub> medido con el móvil-DOAS fue de 2099 T/día, con un viento de 10,2 m/s en un trayecto entre Sandoná y Consacá, recorriendo el cuadrante noroccidente a occidente de la zona de influencia de Galeras por la carretera Circunvalar, el día 4 de marzo, entre las 11 y las 12 del día. En la figura 2.1.86 se puede apreciar la imagen de la medición de marzo 4 y su recorrido.



**Figura 2.1.86.** Flujo de SO<sub>2</sub> de Galeras medido con móvil-DOAS y su recorrido entre Sandoná y Consacá. Marzo 4 de 2009.

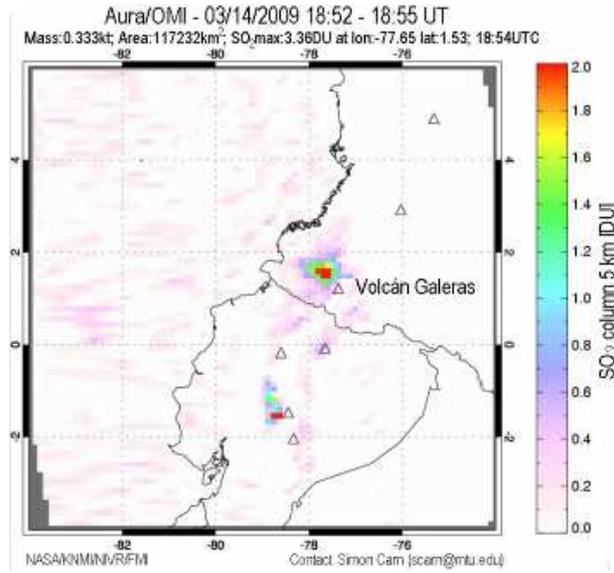
Los datos de sensor OMI acoplado al satélite Aura<sup>5</sup> (NASA<sup>6</sup>), mostraron valores de concentración en la atmósfera entre cero y 95 mg/m<sup>2</sup> a una altura de 5.000 m.s.n.m. (Figura 2.1.87). El máximo valor se registró el 14 de marzo entre las 1:52 y las 1:55 p.m., un día después de la erupción del 13 de marzo de 2009 (Figura 2.1.87). Los datos de OMI y NOVAC no son concordantes ya que OMI mide concentración de SO<sub>2</sub> en la atmósfera a una altura de 5.000 m.s.n.m y los instrumentos en tierra miden flujo de SO<sub>2</sub> , además las horas de medición son diferentes. En la figura 2.1.88 se muestra la imagen de marzo 14.



**Figura 2.1.87.** Concentración de SO<sub>2</sub> en la atmósfera a una altura de 5.000 m.s.n.m. Datos OMI, enero a junio de 2009.

<sup>5</sup> Aura es el tercer satélite del Sistema de Observación Terrestre (Earth Observing System) de la NASA

<sup>6</sup> NASA (National Aeronautics and Space Administration); <http://aura.gsfc.nasa.gov/index.html>



**Figura 2.1.88.** Imagen satelital OMI de concentración de SO<sub>2</sub> en la atmósfera, a una altura de 5.000 m.s.n.m. sobre Galeras. Marzo 14 de 2009.

## 2.1.6 GEOLOGIA

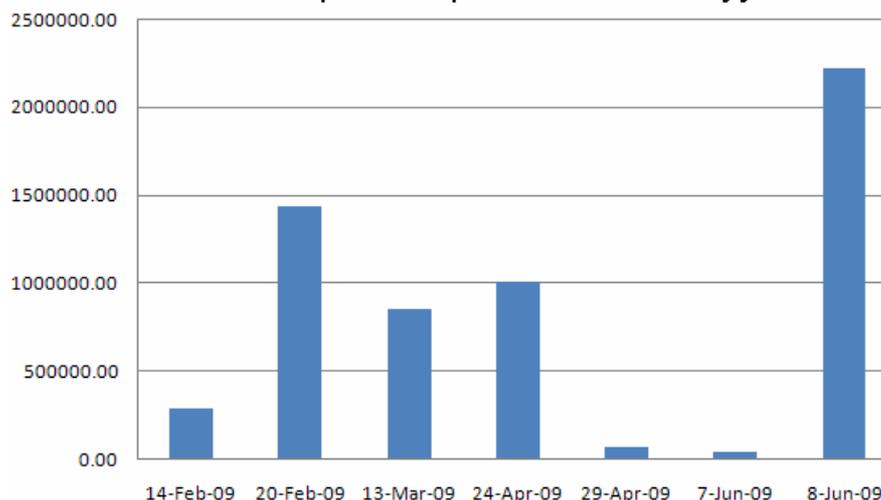
En el primer semestre de 2009 se registraron ocho eventos eruptivos que en total acumularon un volumen mínimo de material depositado de 5'880.000 m<sup>3</sup>, siendo la erupción del 8 de junio la de mayor volumen, calculado en 2'214.000 m<sup>3</sup>, y la erupción del 7 de junio la de menor volumen calculado en 35.000 m<sup>3</sup> (tabla 2.1.10, Figura 2.1.89).

**Tabla 2.1.10.** Eventos eruptivos de Galeras registrados entre febrero y junio de 2009, con sus correspondientes volúmenes mínimos de material depositado en la zona de influencia del volcán.

Erupciones explosivas Volcán Galeras 2009		
Fecha (dd-mmm-aa)	Hora local (hh:mm)	Volumen mínimo calculado [m <sup>3</sup> ]
14-Feb-09	07:10 p.m.	285.000
20-Feb-09	07:04 a.m.	1'431.000
13-Mar-09	03:55 p.m.	852.000
24-Apr-09 (*)	07:32 p.m. / 08:09 p.m.	1'000.000
29-Apr-09	10:15 a.m.	63.000
7-Jun-09	07:18 a.m.	35.000
8-Jun-09	06:38 a.m.	2'214.000
<b>Total volumen mínimo emitido por erupciones 2009</b>		<b>8'347.000</b>

(\*) En esta fecha se presentaron dos episodios eruptivos

**Volumen mínimo emitido por las erupciones entre febrero y junio de 2009**



**Figura 2.1.89.** Volumen mínimo emitido por los eventos eruptivos registrados durante el primer semestre de 2009, el 24 de abril se registraron 2 eventos eruptivos.

### 2.1.6.1. Evento eruptivo del 14 de febrero de 2009

El material generado en la erupción consistió en bloques y bombas que alcanzaron distancias reportadas de hasta 1.5 Km., los cuales afectaron principalmente la base militar ubicada en el borde del sector del anfiteatro de Galeras, y ceniza distribuida preferencialmente en dirección E a SE, incluyendo la parte norte de la laguna de La Cocha, a una distancia de 27 Km a partir del cráter activo, afectando principalmente la ciudad de Pasto. En el momento de la erupción estaba nublado y lloviendo en el sector oriental del volcán, lo cual impidió la visualización del fenómeno desde la ciudad de Pasto.

#### Cenizas

Durante la verificación de los efectos en campo, el día 15 de febrero, se confirmó caída de ceniza en el municipio de Pasto, en un corredor localizado principalmente hacia el costado oriental del volcán, que involucró la mayor parte del casco urbano de Pasto y otros sectores rurales hasta distancias máximas de 25 Km con respecto al cráter de Galeras (Figuras 2.1.90 y 2.1.91). En los sitios más alejados (San Pedro a unos 18 Km - La Cocha a 25 Km, Cabrera – En Encano a 27 Km), los depósitos de ceniza fueron mínimos.

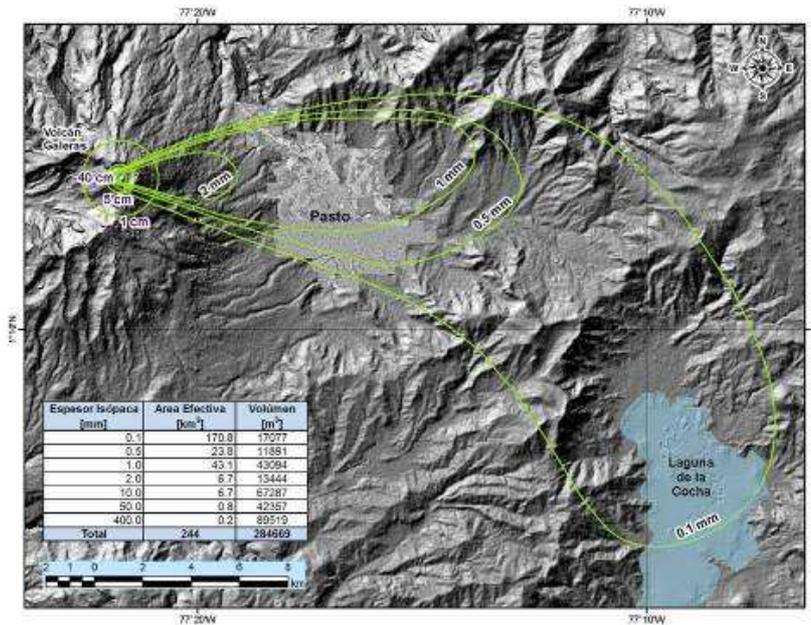


**Figura 2.1.90.** Sector caseta de Parques Nacionales: a)- Aspecto de la vegetación cubierta por cenizas. Al fondo el volcán Galeras. b)- Flor de Margarita cubierta por material volcánico, Obsérvese el contraste entre el polvo volcánico y algunos fragmentos de tamaño ceniza gruesa. Foto tomada el 17 de febrero de 2009.



**Figura 2.1.91.** Sector San Cayetano bajo: a)- Anden en la escuela. b)- Detalle del depósito, el material habano corresponde a polvo volcánico, el gris a ceniza tamaño medio a grueso. Foto tomada el 17 de febrero de 2009. c y d) Sector de El Encano: Detalle de la caída de cenizas en la zona norte de la Laguna de La Cocha. Fotos tomadas el 15 de febrero de 2009.

El mapa de isópacas (Figura 2.1.92), muestra la dirección de dispersión de la ceniza y la variación del espesor de depósito de acuerdo con la distancia al cráter activo.



**Figura 2.1.92.** Mapa de isópacas mostrando la distribución de las cenizas (en mm) y las de dispersión balística (promedio en cm), generadas por la erupción del 14 de febrero de 2009, de acuerdo a las inspecciones en el campo por parte del personal de INGEOMINAS y reportes por personal de comunicaciones y Fuerzas Armadas. Los puntos corresponden a los sitios de muestreo. Los valores de espesor de cada isópaca se muestran en el extremo de cada isópaca.

El análisis, bajo lupa binocular, de las muestras de ceniza colectadas en la zona de dispersión de los piroclastos, permite clasificar el material emitido como ceniza vítrea. Una característica de esta erupción consiste en que, aunque en términos generales el tamaño de la ceniza emitida varía de ceniza muy gruesa a fina a medida que se aleja de la fuente, los depósitos de este material en toda la zona presentan un alto porcentaje (promedio de 60%), de polvo volcánico vítreo, hecho que se atribuye a la baja velocidad del viento (2Km./h) y a la lluvia que se presentaba en el momento de la erupción lo que explicaría la dispersión más restringida de las cenizas en el área.

De una manera general, el material emitido en la erupción en forma de ceniza y polvo volcánico es de color gris a gris habano, está constituido en un 90%-95% por vidrio volcánico, el cual se presenta como fragmentos angulares a subangulares de color gris claro semitranslúcido, translucido y negro, algunos de los cuales presentan pequeños cristales de plagioclasa. Entre los fragmentos negros se presenta un alto porcentaje de ellos vesiculados y otros afectados por oxidación. Adicionalmente, en baja proporción, se encuentran fragmentos de color gris muy claro a blanco, vítreos con textura sacaroides, que podrían corresponder a fragmentos del interior de las bombas.

## **Bombas y Bloques**

No fue posible llevar a cabo una evaluación detallada del material emitido en las partes más altas del volcán correspondientes a los bloques y bombas emitidos como proyectiles balísticos, debido a las restricciones de acceso a la parte alta del volcán, por razones de seguridad; la información y muestras obtenidas y consignados en este informe, fueron aportados por personal que labora en el mantenimiento de las repetidoras de comunicaciones y canales de televisión y de la base de comunicaciones de las Fuerzas Armadas de Colombia, quienes realizaron una inspección, al día siguiente de la erupción, con el fin de evaluar los daños causados por la misma.

Teniendo en cuenta la información obtenida se deduce que el material emitido como proyectiles balísticos se concentró principalmente alrededor del cráter activo y el borde del anfiteatro (Figura 2.1.93), en éste último sector se reportaron algunos bloques con diámetros hasta 80 cm; igualmente se tiene información sobre bloques y bombas que alcanzaron distancias de hasta aproximadamente 1.5 Km., en línea recta al cráter, con diámetros máximos de 25 cm., aunque no hay evidencias de una densidad importante en el área.

Las muestras colectadas por parte de personal de las Fuerzas Armadas y comunicaciones, corresponden, en su mayoría, a rocas de color gris oscuro a negro, de aspecto escoriáceo, subredondeadas a subangulares, porfiríticas fino a medio con contenido en fenocristales que varía entre el 10 y 20%, principalmente de plagioclasas subhedrales a euhedrales, y piroxenos. La matriz es vítrea, de color gris oscuro a negro. En general las muestras presentan vesiculación, media a alta. Uno de estos bloques presenta oxidación dándole una coloración rojiza a la muestra.

Fragmentos de roca correspondientes a la corteza de bombas, son angulares, de color gris claro, no vesiculadas, con un alto contenido de fenocristales (aproximadamente 50%) principalmente de plagioclasa, y en menor cantidad piroxenos y anfíboles, en una matriz afanítica vítrea. El interior de las bombas es de color más claro, vítreas (vidrio translucido), microvesiculadas con textura sacaroidal, con cristales de tamaño fino a medio de plagioclasa, piroxenos y microcristales de opacos.



**Figura 2.1.93.** Aspecto general del material emitido como proyectiles balísticos en el sector de la base militar situada en el borde de la caldera del Galeras, a 800 m del cráter activo. La mayoría de los fragmentos observados corresponden a trozos de bombas y bloques de mayor tamaño fragmentadas al caer. En el centro de la foto, un bloque de mayor tamaño, fragmentado en tres partes, el tamaño del fragmento más grande es de aproximadamente 50 cm. (Foto cortesía Stec FAC Delgado, tomada el 17 de febrero de 2009).

La figura 2.1.94 corresponde a una foto de las muestras colectadas, de bloques y bombas emitidos durante la erupción.



**Figura 2.1.94.** Muestras de material emitido como proyectiles balísticos, colectados en la parte alta del volcán.

### **2.1.6.2 Evento eruptivo del 20 de febrero.**

El material generado en la erupción del 20 de febrero de 2009 a las 07:04 a.m., fueron bloques y bombas que alcanzaron distancias, reportadas, de hasta 2.3 Km. (Sector de la estación sismológica de Urcunina) los cuales afectaron de nuevo la base militar ubicada en el borde de la Caldera del Galeras, causando importantes daños en los sectores de las antenas repetidoras de televisión y en la carretera que lleva a la cima del volcán Galeras. También se registró caída de Ceniza, la cual se distribuyó en dirección occidente-noroccidente, obteniéndose reportes de caída de este material hasta distancias mayores a 100 Km (Carretera hacia el Pacífico entre El Diviso, y La Guayacana), y afectando localidades como Consacá, Bomboná, Ancuya entre otros.

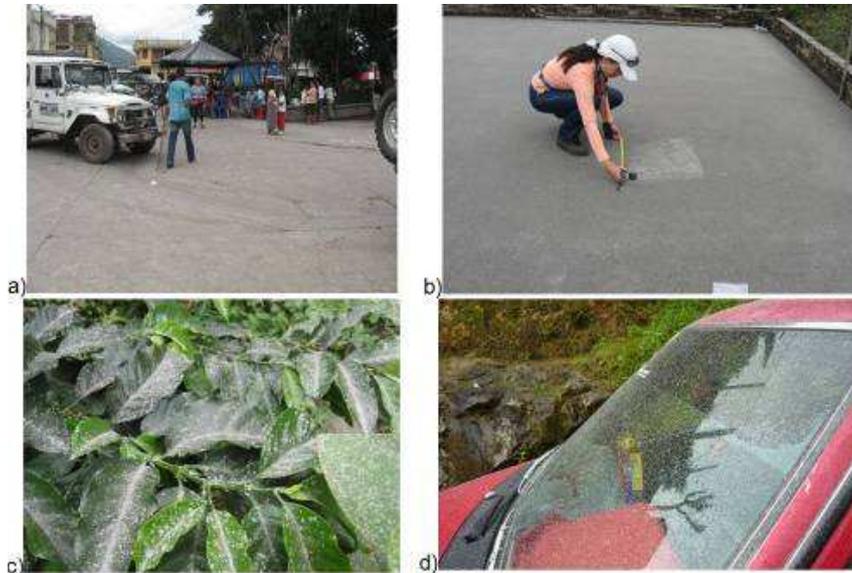
En el sector occidental del volcán se reportaron tanto la explosión como ruidos en el volcán, y en sitios como Popayán y sector del volcán Puracé igualmente se reportó una explosión. El fenómeno no fue visible desde la ciudad de Pasto, debido a las condiciones meteorológicas adversas.

#### **Cenizas.**

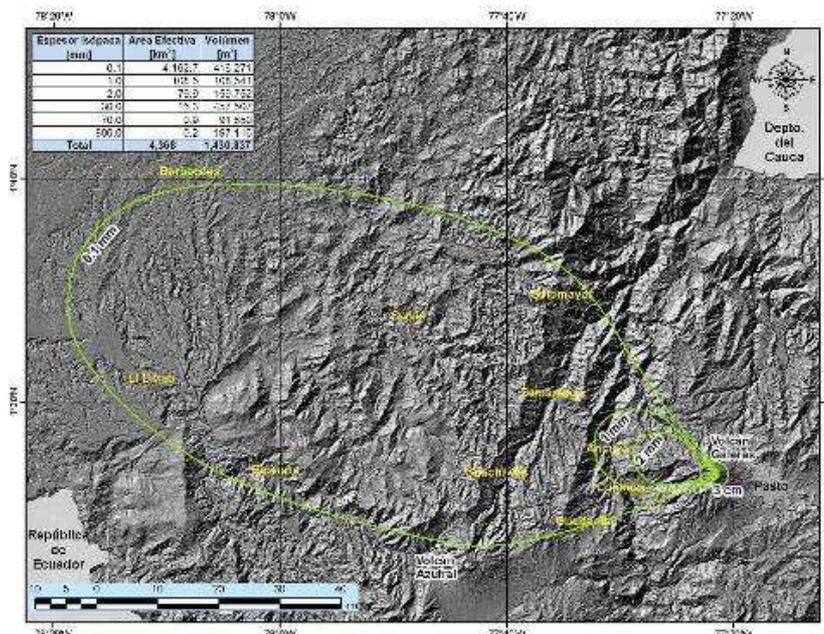
El evento eruptivo del 20 de febrero de 2009, arrojó cenizas que se dispersó por los vientos, en una dirección occidente-noroccidente, a partir del cráter activo. Se tienen reportes de caída de ceniza en los sectores de Cariaco, Bomboná, Consacá, Alto Jiménez, Culantro, Guaitarilla, Ancuya, Túquerres, Sapuyes, Linares, Samaniego, Cartagena, Guachavés, La Llanada, Ricaurte, Sotomayor, El Vergel, Altaquer, El Diviso, San Miguel y Barbacoas; lugares que están entre unos pocos kilómetros y cerca de 110 Km de distancia en línea recta del cráter de Galeras. (Figura 2.1.95).

El mapa de isópacas (Figura 2.1.96 y 2.1.97), muestra la dirección de dispersión de la ceniza y la variación del espesor de depositación de acuerdo con la distancia al cráter activo.

A partir de este mapa se realizó el cálculo del volumen mínimo emitido durante la erupción del 20 de febrero de 2009, siendo este de 1'430.000 m<sup>3</sup>, correspondientes a 685.000 m<sup>3</sup> por caída de cenizas y 745.000 m<sup>3</sup> a proyectiles balístico. El total del material emitido durante las erupciones del 14 y 20 de febrero corresponde entonces aproximadamente a 1'750.000 m<sup>3</sup>. La Figura 2.1.98 corresponde al mapa de isópletas, que evalúa la variación del tamaño máximo de fragmentos emitidos con respecto a la distancia. Se destaca que el material correspondiente a tamaño bloque se concentra hacia las partes altas del volcán a distancias mayores de 2 Km, mientras que el material más fino es distribuido según la dirección de dispersión hasta más de 100 Km de distancia.



**Figura 2.1.95.** Aspecto de los depósitos de caída de ceniza en: a) Ancuya. b) Vereda Churupamba. c) Vía a Ancuya. d) Vía El Diviso - Túquerres.



**Figura 2.1.96.** Mapa de isópacas mostrando las distribuciones de las cenizas (en mm) y la de dispersión balística (promedio en cm), generadas por la erupción del 20 de febrero de 2009, de acuerdo a las inspecciones en el campo por parte del personal de INGEOMINAS y reportes por personal de comunicaciones y de las Fuerzas Armadas. Los valores de espesor de cada isópaca se muestran en el extremo de cada isópaca.

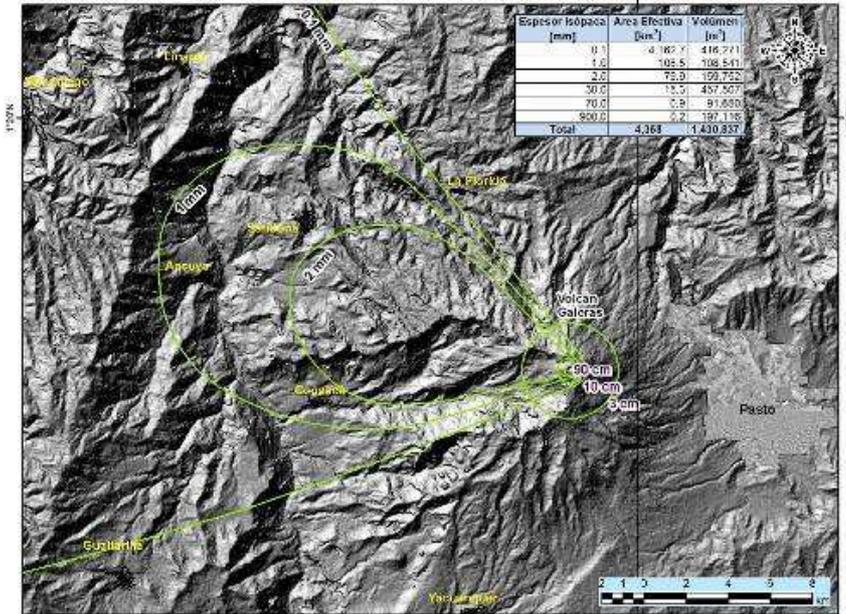


Figura 2.1.97. Detalle del Mapa de isópacas en partes más cercanas al cono activo. Se observa la distribución de las cenizas (en mm) y la de dispersión balística (promedio en cm).

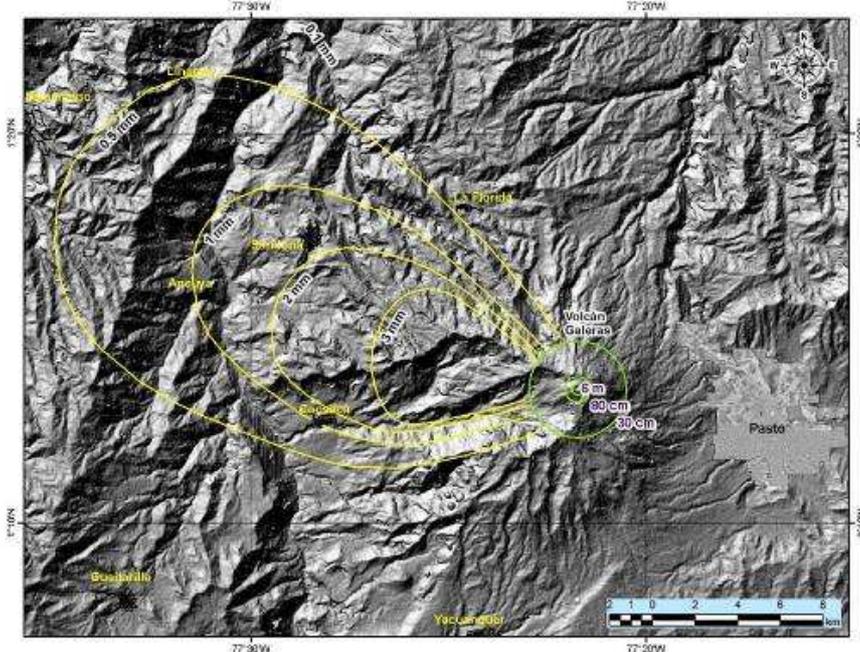
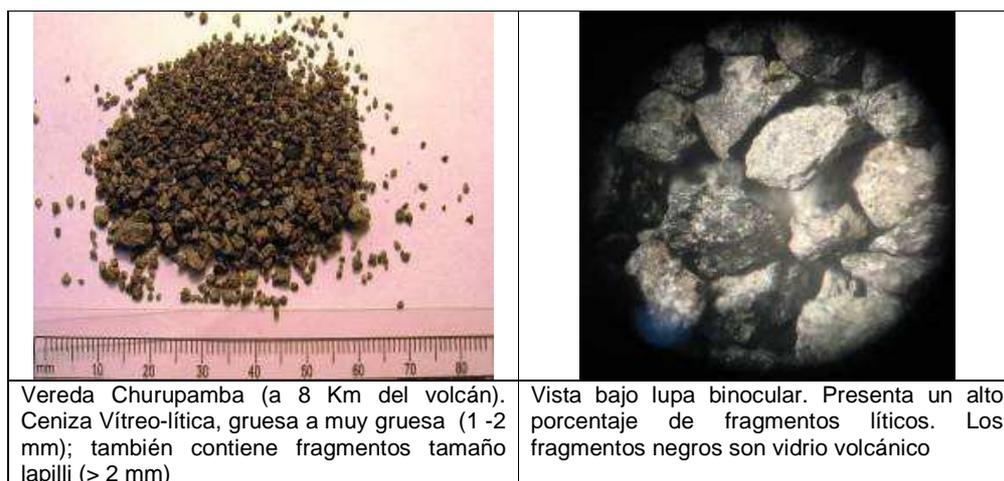


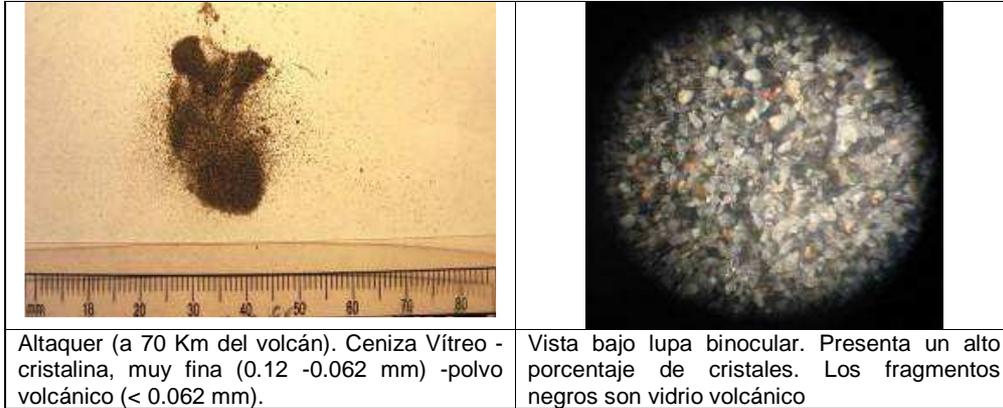
Figura 2.1.98. Mapa de Isópletas, mostrando la distribución de los tamaños máximos del material emitido por la erupción del 20 de febrero de 2009. Los círculos verdes indican la las distancias y tamaños máximos observados para proyectiles balísticos alrededor del volcán.

A diferencia del material piroclástico distribuido eólicamente durante el evento eruptivo del 14 de febrero, el cual es esencialmente vítreo, el análisis, bajo lupa binocular, de las muestras de ceniza colectadas en la zona de dispersión de los piroclastos de la erupción del 20 de febrero, permite clasificar el material emitido como ceniza lítica vítreo a vítreo cristalina; la variación en los componentes, al igual que el tamaño, se da a medida que la ceniza es de tamaño más fino (Figura 2.1.99).

De una manera general, el material emitido en la erupción, en forma de ceniza, es de color gris a gris habano; aunque es predominantemente vítreo, en la fracción más gruesa (ceniza muy gruesa a lapilli), los fragmentos líticos grises porfíricos o afaníticos son muy comunes. Los fragmentos vítreos (Figura 2.1.100) se presentan como fragmentos angulares a subangulares de color gris claro semitranslúcido, translúcido y negro, algunos de los cuales presentan pequeños cristales de plagioclasa y máficos; entre los fragmento translúcidos se destacan, aunque en bajo porcentaje, fragmentos muy vesiculados, igualmente se encuentran fragmentos de color gris muy claro a blanco, vítreos con textura sacaroides y aspecto púmítico, estos dos últimos tipo de fragmentos parecen corresponder a material del interior de las bombas volcánicas. La fracción más fina presenta un mayor contenido en cristales subhedrales a anhedrales, principalmente de Plagioclasa, y en menor cantidad Cuarzo, piroxenos y anfíboles, xenocristales de biotita subhedral color dorado, plagioclasas y cuarzos con tintes amarillos y rojizos están presentes en muy baja proporción. Los fragmentos líticos alterados y accidentales, entre ellos, blancos porfíricos con fenocristales de plagioclasa, cuarzo piroxeno, anfíbol y biotita, otros son porfíricos finos de color ladrillo, rosado y grises rojizos (oxidación) y blancos de aspecto terroso se encuentran en baja proporción en todas las fracciones.



	
<p>Alto Jiménez (a 10 Km del volcán). Ceniza Vítreo-lítica, gruesa (1 -0.5 mm).</p>	<p>Vista bajo lupa binocular. Los fragmentos líticos disminuyen.</p>
	
<p>Vía Ancuya-Consacá (a 11 Km del volcán). Ceniza Vítreo media (0.50-0.25 mm).</p>	<p>Vista bajo lupa binocular. La mayoría de fragmentos son vítreos, en menor porcentaje se presentan fragmentos líticos y cristales.</p>
	
<p>San Francisco Linares (a 25 Km del volcán). Ceniza Vítreo, fina (0.25 – 0.125 mm).</p>	<p>Vista bajo lupa binocular. La mayoría de fragmentos son vítreos, Los fragmentos cristalinos aumentan en porcentaje.</p>



**Figura 2.1.99.** Variación de tamaño y componentes de la ceniza de la erupción del 20 de febrero de 2009 con la distancia al volcán y dirección de dispersión de la misma. Las muestras fueron colectadas en diferentes poblaciones del Departamento de Nariño, por personal del OVSP. Los patrones de tamaños de granos son tomados de la tabla de Exploration Logging.



**Figura 2.1.100.** Aspecto de los fragmentos vítreos bajo la lupa binocular. a) Fragmentos translucidos, grises y negros. b) Fragmentos “pumiticos” provenientes del interior de las bombas volcánicas.

### Bombas y Bloques

La información y muestras obtenidas para la elaboración del presente informe fueron aportadas por personal que labora en el mantenimiento de las repetidoras de comunicaciones y canales de televisión y de la base de comunicaciones de las Fuerzas Armadas de Colombia, quienes realizaron una inspección, con el fin de evaluar los daños causados por la misma. Por restricciones para el acceso a la parte alta del volcán por razones de seguridad, debido a la actividad del volcán no fue posible realizar una evaluación detallada del material emitido en las partes más altas del mismo, por lo cual la información es de carácter preliminar y podrá ser reevaluada.

Teniendo en cuenta la información obtenida, se deduce que el material emitido como proyectiles balísticos alcanzaron distancias de hasta 2.3 Km, donde se reportan bloques de tamaños hasta de 30 cm; en cercanías al sector de la carretera hacia el volcán, conocida como la curva de Cufiño, se encontraron cráteres de impacto con diámetros mayores a 3 m. (Figura 2.1.101), igualmente se reporta gran cantidad de bloques a lo largo de la carretera desde el sector conocido como La Y hasta la estación del ejercito, donde los daños evaluados fueron de mayor magnitud que los ocurridos por la erupción del 14 de febrero. Los bloques de mayor tamaño (posiblemente mayores a 5 m) se concentran alrededor de la parte alta del cráter volcanico (Figura 2.1.102).



**Figura 2.1.101.** Cráter de impacto en la vía Pasto – Cima del volcán Galeras, causado por bomba o bloque emitido durante la erupción del 20 de febrero de 2009. Tómese como escala el vehículo.



**Figura 2.1.102.** Cráter activo del volcán Galeras, desde la base militar. La toma de la izquierda es del 15 de febrero y la de la derecha del 23 de febrero. En ésta última y teniendo como referencia el cráter de “El Pinta”, se observan nuevos bloques emitidos durante la erupción del 20 de febrero (circulo pequeño), el cual alcanza diámetros mayores a 5m., el circulo mayor indica un nuevo cráter de impacto dejado por otro bloque en la misma erupción.

Las muestras de este material obtenidas, al igual que las de la erupción del 14 de febrero fueron colectadas por parte de personal de las Fuerzas Armadas y personal de comunicaciones, estas corresponden a fragmentos de rocas, al parecer provenientes del domo cristalizado, de color gris algo vesiculadas 10%-15%), porfiríticas medias con contenido en fenocristales que varía entre el 20% y 30%, principalmente de plagioclasas subhedrales a euhedrales, Qz y piroxenos en una matriz vítrea, de color gris a marrón, (Figura 2.1.103a). Fragmento de roca correspondientes a bombas corteza de pan, son esencialmente pumíticas, de color habano a blanco, muy, vítreas (vidrio translucido), con un alto porcentaje de microvesículas y con textura sacaroidal, con algunos pequeños cristales de plagioclasa, piroxenos y microcristales de opacos; La corteza de esta bomba solo alcanza 2 mm de espesor, es de color gris porfiríticas, contenido de fenocristales de aproximadamente el 40%, principalmente de plagioclasa, y en menor cantidad piroxenos y anfíboles, en una matriz afanítica vítrea (Figura 2.1.103b). Según los datos obtenidos hasta el momento, tanto los fragmentos del domo como las bombas corteza de pan son los fragmentos predominantes eyectados como proyectiles balísticos durante esta erupción.



**Figura 2.1.103.** Material emitido como proyectiles balísticos. Bloques del domo (superior izquierda) y Fragmentos de bomba corteza de pan (el resto de fotografías). Estas son muestras típicas de erupciones vulcanianas.

### 2.1.6.3 Evento eruptivo del 13 de marzo.

#### Cenizas.

El evento eruptivo del 13 de marzo de 2009, arrojó ceniza que se dispersó por la dirección de los vientos, hacia el nor-noroccidente (Figura 2.1.104) y nor-noriente (Figura 2.1.105) del cráter activo de Galeras.

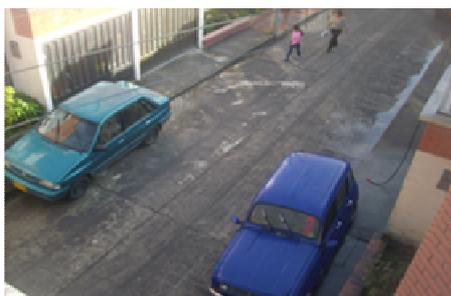


A. La Llanada (37 Km. NW del volcán).



B. Colegio municipio la florida.

**Figura 2.1.104.** Aspecto de los depósitos de caída de ceniza en el sector occidental.



A. Villa Campestre, sector Norte de la ciudad de Pasto.



B. San Juan de Anganoy (Al este de Galeras)



C. Vía panamericana, al NNE del volcán.

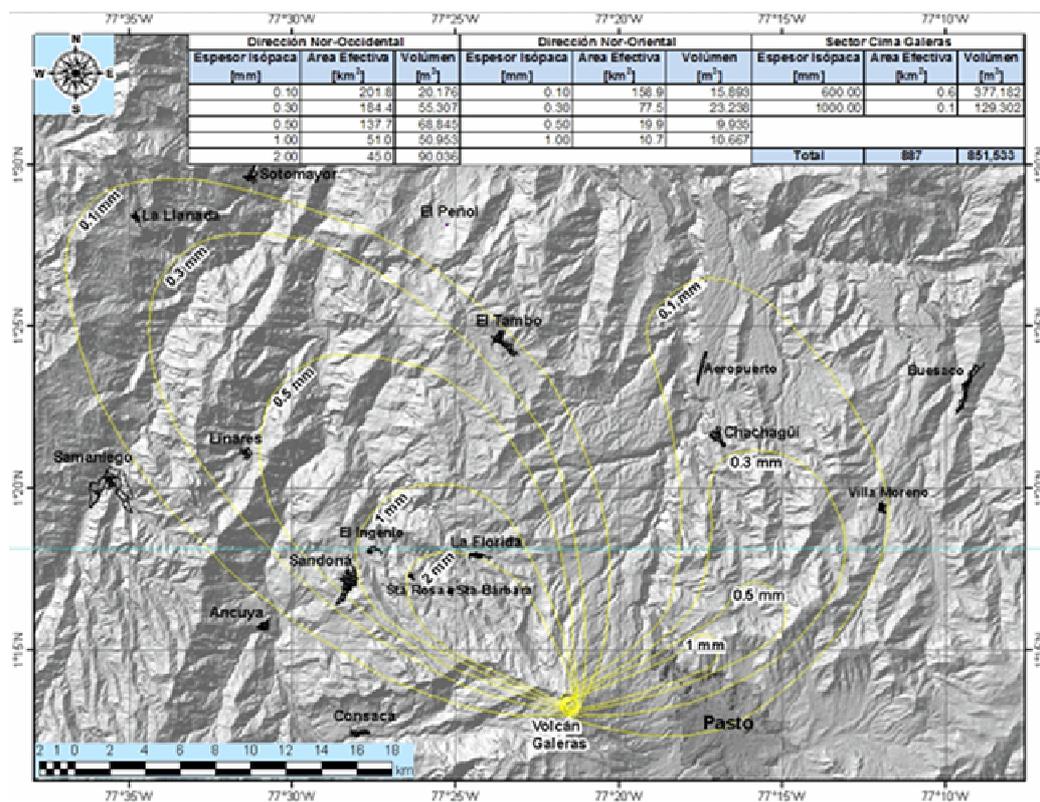


D. Municipio de Nariño, Al norte de Galeras.

**Figura 2.1.105.** Aspecto de los depósitos de caída de ceniza en el sector NE.

Las Figuras 2.1.106, muestra el mapa de isópacas indicando la dirección de dispersión de la ceniza, la variación del espesor de depositación y el tamaño, de

acuerdo con la distancia al cráter activo. A partir del mapa de isópacas se realizó el cálculo del volumen mínimo emitido durante ésta erupción obteniendo un valor de 851.633 m<sup>3</sup>.



**Figura 2.1.106.** Mapa de isópacas que muestra la distribución de ceniza (en mm) y la dispersión balística (promedio en cm), generada por la erupción del 13 de marzo de 2009, de acuerdo a las inspecciones en campo por parte del personal de INGEOMINAS. Los valores de espesor de cada isópaca se muestran en el extremo de cada isópaca.

El análisis, bajo lupa binocular, de las muestras de ceniza colectadas en la zona de dispersión de los piroclastos, permite clasificar el material emitido como ceniza vítrea a vitro cristalina, dependiendo del tamaño y la distancia a la fuente. Es de anotar que no hay diferencias en la composición del material emitido en las dos fases eruptivas de este día. Se nota, en algunas de las fracciones del material emitido hacia el NNE que, independiente de la distancia al cráter, hay un alto porcentaje de polvo volcánico que se explica, al igual que para la erupción del 20 de febrero, por la presencia de fuertes lluvias en el momento de la erupción que ayuda a precipitar este material a distancias más cercanas.

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

La fracción cristalina del material emitido en la erupción se encuentra en mediana proporción, constituyendo del 30% al 5%, dependiendo del tamaño de la fracción y corresponde a cristales euhedrales a subhedrales, predominantemente de plagioclasa semitranslucida; en menor proporción se encuentran piroxenos euhedrales a subhedrales de color café amarillento y verdoso, cuarzo, generalmente anhedral y magnetita. Xenocristales de biotita subhedral color dorado, anfíboles, piroxenos negros y plagioclasas y cuarzos con tintes naranjas y rojizos están presentes en baja proporción.

En un promedio del 8% se encuentran fragmentos líticos alterados y accidentales, entre ellos, hay masivos de color ladrillo, porfiríticos finos de color rojizo y grises rojizos (oxidación), blancos opacos y fragmentos de ópalo. Fragmentos líticos color gris porfiríticos con fenocristales de Plagioclasa y piroxenos opacos solo se observaron ocasionalmente.

La figura 2.1.107. Muestra la variación del tamaño del material emitido eólicamente a partir del cráter del volcán Galeras para la erupción del 13 de marzo 2009 a las 3:55 p.m. La ceniza se dispersó en dirección norte-noroccidente.

Del análisis preliminar del material emitido por la erupción del 13 de marzo de 2009, se concluye que aproximadamente el 15% corresponde a material accidental y el 80 % correspondería a material juvenil, que debido a la rapidez del evento eruptivo, fue emitido en su mayoría como material vítreo.

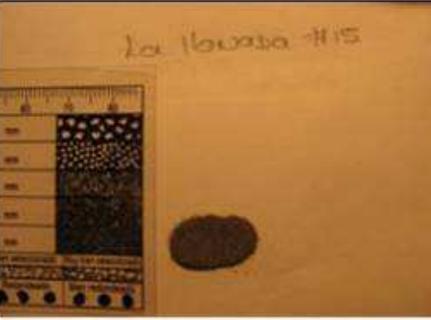
	<p>Ceniza media. Colegio Santa Bárbara. 9.7 Km. de distancia al cráter.</p>
	<p>Ceniza fina. Sector Ingenio. 13.8 Km. de distancia al cráter.</p>
	<p>Ceniza muy fina, sector Tambillo de Acosta. 25.4 Km. de distancia al cráter.</p>
	<p>Polvo volcánico. La Llanada. 37.3 Km. de distancia al cráter.</p>

Figura 2.1.107. Variación del tamaño de la ceniza con la distancia al cráter activo del Galeras.

#### 2.1.6.4 Evento eruptivo del 24 de abril.

##### Ceniza

La ceniza, en las dos fases eruptivas, fue distribuida por el viento en dirección general N68°W. El material más fino alcanzó distancias verificadas de 37 Km, cubriendo un área mínima de 375 Km<sup>2</sup>, en la cual se encuentran poblaciones como Sandoná, Ancuya, Consacá y Samaniego. (Figura 2.1.108).



**Figura 2.1.108.** Cenizas depositadas en algunos sectores afectados por la erupción.

El volumen mínimo de material depositado eólicamente, calculado a partir del mapa de isópacas (Figura 2.1.109), fue de 99.612 m<sup>3</sup>. La figura 2.1.110, corresponde al mapa de isópletas, donde se observa la distribución del tamaño de partículas a partir del cono activo y su variación con la distancia.

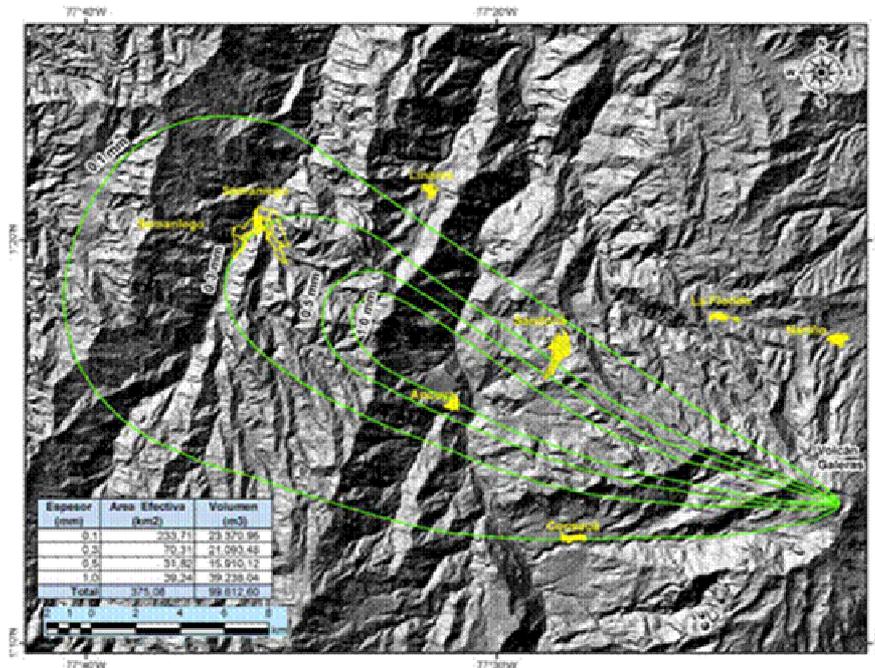


Figura 2.1.109. Mapa de isópacas correspondiente a la erupción del 24 de abril de 2009.

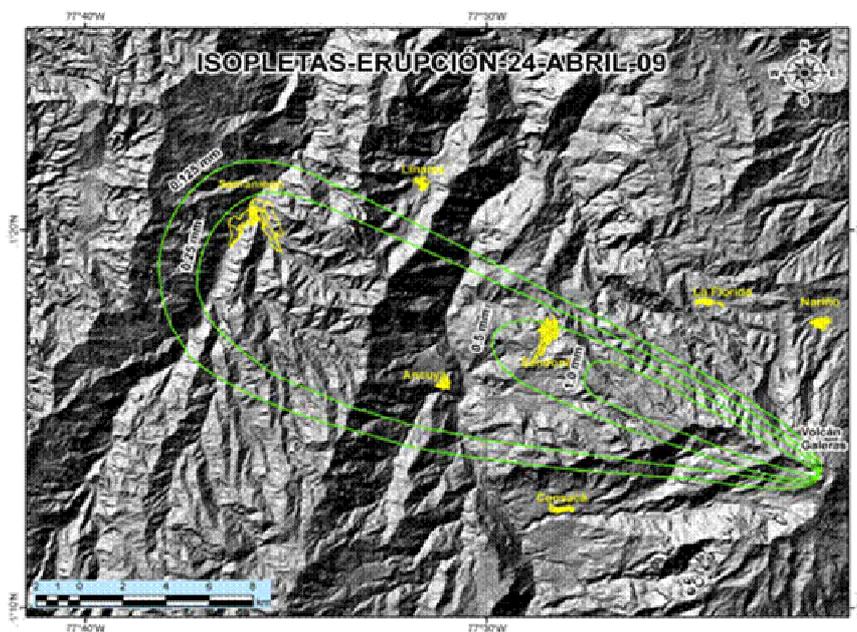


Figura 2.1.110. Mapa de distribución de tamaños (Isopletas), del material emitido en la erupción del 24 de abril de 2009.

El análisis preliminar bajo lupa binocular (Bausch and Lomb X 10, 1X-2X), de las muestras de ceniza colectadas en la zona de dispersión, permite clasificar el material emitido como ceniza vítrea. Se debe anotar, que al tener las dos fases eruptivas de este evento, la misma dirección de dispersión, las muestras colectadas pueden contener material de estas dos fases, como se observa en algunas muestras que presentan dos tipos de tamaños sin presentar transición entre ellos (Figura 2.1.111).



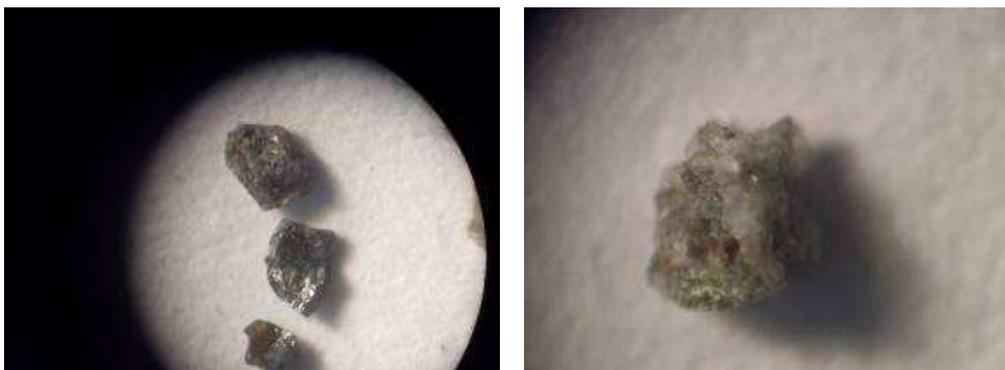
**Figura 2.1.111.** Aspecto bajo la lupa binocular de una de las muestras de ceniza que presenta dos tamaños de ceniza (gruesa y muy fina), posiblemente correspondiente a material mezclado de las dos fases eruptivas del 24 de abril.

De una manera general, el material emitido en la erupción en forma de ceniza y polvo volcánico es de color gris a gris habano, está constituido en un 75%-95%, por vidrio volcánico, cristales en un 5% al 15%, encontrándose los valores más altos en la fracción de tamaño de ceniza fina y, líticos accidentales en baja proporción (5% promedio).

El material juvenil vítreo (Figura 2.1.112), más o menos en la misma proporción, se presenta como:

- Fragmentos angulares a subangulares de color gris claro semitranslucido, algunos presentando pequeños cristales de plagioclasa y opacos;
- Vidrio translucido y semitranslucido con microinclusiones de opacos y
- Vidrio negro, el cual generalmente presenta fractura concoide, algunos presentan microcristales de Pg y algunos fragmentos se encuentran afectados por una patina rojiza de oxidación en uno de sus lados. En baja proporción se

encuentra vidrio negro microvesiculado, estos fragmentos son subredondeados; igualmente es común encontrar fragmentos de vidrio negro a café semitranslucido, mientras que fragmentos de color gris muy claro o blanco, vítreos con textura sacaroide y microvesículas, se encuentra solo esporádicamente en algunas de las muestras analizadas.



**Figura 2.1.112.** Aspecto de fragmentos de vidrio volcánico bajo la lupa binocular. Muestra GA-PP-03-24-04-09.

La fracción cristalina corresponde a cristales subhedrales, predominantemente de plagioclasa maclada, semitranslucida; los fragmentos de piroxenos subhedrales de color verde y ámbar son comunes; cristales con brillo metálico azulado de magnetita son comunes y en baja proporción se presenta cuarzo, generalmente anhedral. Xenocristales de biotita subhedral a euhedral color dorado, plagioclasas y cuarzos con tintes naranjas y rojizos están presentes en baja proporción.

En menor proporción se encuentran fragmentos líticos subangulares, alterados y accidentales, entre ellos hay masivos de color ladrillo, porfiríticos finos de color rojizo y grises, son comunes fragmentos blancos proveniente de material con alteración hidrotermal.

La figura 2.1.113 muestra la variación del tamaño de ceniza con la distancia.

		<p>Alto ingenio: 5.6 Km del cráter principal. Ceniza gruesa a media</p>
		<p>Puente Quebrada Honda: 7.7 Km del cráter principal. Ceniza media</p>
		<p>Samaniego: 15.5 Km del cráter principal. Ceniza fina</p>
		<p>Cartagena (Samaniego): 15.9 Km del cráter principal. Ceniza muy fina.</p>
		<p>Santa rosa (Guachavez): 17.9 Km del cráter principal. Polvo volcánico.</p>

**Figura 2.1.113.** Cambio del tamaño de la ceniza con la distancia a partir de cráter activo del Galeras. La primera columna corresponde a muestras colectadas en diferentes localidades. La segunda columna corresponde a este material observado bajo lupa binocular.

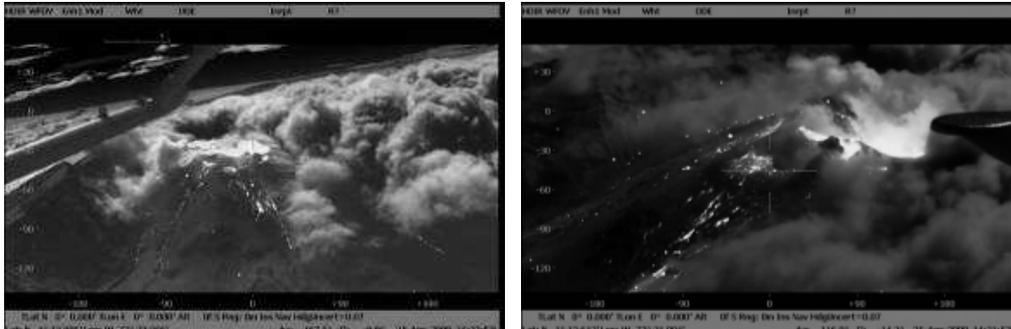
## Bloques

La erupción de las 7:32 p.m., fue observada desde la ciudad de Pasto y captada por cámara web instalada en el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP). Este evento se caracterizó por la generación de material piroclástico incandescente proyectado balísticamente desde el cráter principal del volcán Galeras (Figura 2.1.114), hasta distancias de aproximadamente 3 km., sobre el flanco noreste del Complejo Volcánico del Galeras (edificio Urcunina) y el flanco occidental del cono volcánico, hasta su base; como fue observado en el sobrevuelo realizado la mañana del 25 de abril de 2009 (Figura 2.1.115).

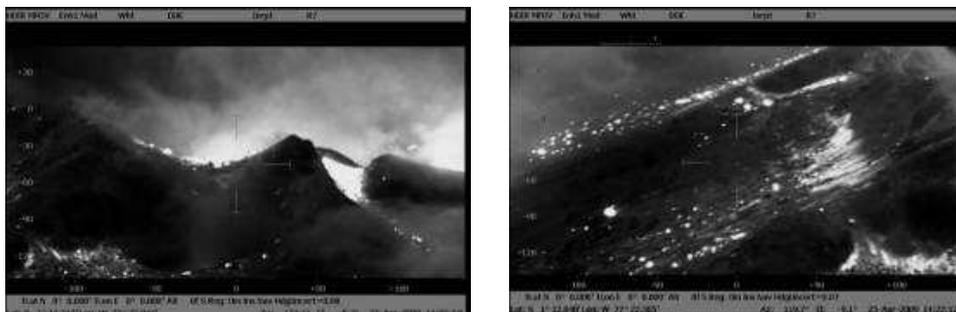
Las imágenes captadas haciendo uso de la termocámara del Helicóptero Huey II con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) permitieron reconocer material aun caliente después de doce horas de haber sido emitido, apreciándose acumulaciones de bloques en varios sectores cerca al cráter principal: planicie (terrace) cerca a la grieta novedad, , al cráter secundario Las Chavas. Igualmente se observan franjas de acumulación siguiendo la pendiente del cono activo, correspondientes a líneas o trayectorias de proyección balística y posiblemente también a bloques rodados desde las zonas de acumulación (Figura 2.1.116). Según observación general fueron proyectados balísticamente, centenares de bloques y bombas hasta de orden métrico. proyectiles balísticos descritos como “piedras rojas” fueron observados también desde poblaciones ubicadas a más de 24 kKm al occidente del volcán (Ej: Guaitarilla).



**Figura 2.1.114.** Erupción del 24 de abril observada desde la ciudad de Pasto y registrada con la cámara web del OVSP.



**Figura 2.1.115.** Imágenes térmicas del sector occidental del cono activo del volcán Galeras.



**Figura 2.1.116.** Imágenes térmicas del cono activo del volcán Galeras en las que se pueden observar acumulación de bloques en varios sectores cerca al cráter principal.

El material emitido en forma de bloques, evidencia que la erupción tuvo un pulso inicial que seguramente contribuyó de manera importante al proceso de apertura del sistema.

#### **2.1.6.5 Evento eruptivo del 29 de abril.**

En la madrugada del 29 de abril por un lapso cercano de tres horas, la actividad sísmica mostró un incremento, asociada con procesos de dinámica de fluidos que fue interpretado como recarga de material magmático en el sistema volcánico. En el sobrevuelo realizado con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana, a las 6 a.m., se observó salida de gas de coloración blanca sin percibir olores azufrados. Adicionalmente, hacia el fondo del cráter se identificaron zonas incandescentes en el mismo sector que se han venido observando desde el pasado 6 de abril; de acuerdo con las imágenes térmicas, estas regiones presentaron temperaturas mayores a 180°C.

Horas después, a las 10:15 a.m., del día 29 de abril de 2009, se registró una señal sísmica que se relacionó con un evento eruptivo observado desde los municipios de Nariño, Sandoná y Chachagüí. Este evento estuvo acompañado de una señal acústica y similar, en términos de energía sísmica total, a las erupciones del 11 de

agosto de 2004 y el 12 de julio de 2006 y, correspondió al evento más pequeño en comparación con los procesos eruptivos explosivos registrados entre el 17 de enero de 2008 y el 24 de abril de 2009, tanto en energía sísmica como en onda acústica.

### Ceniza

La ceniza fue distribuida por el viento en dirección general N68°W cubriendo un área mínima de 325,45 km<sup>2</sup>, en la cual se encuentran poblaciones como Sandoná y Samaniego (Figura 2.1.117), donde el material más fino alcanzó distancias de aproximadamente 35 kKm, similar a la erupción del 24 de abril aunque más restringida lateralmente.



Figura 2.1.117. Cenizas depositadas en algunos sectores afectados por la erupción.

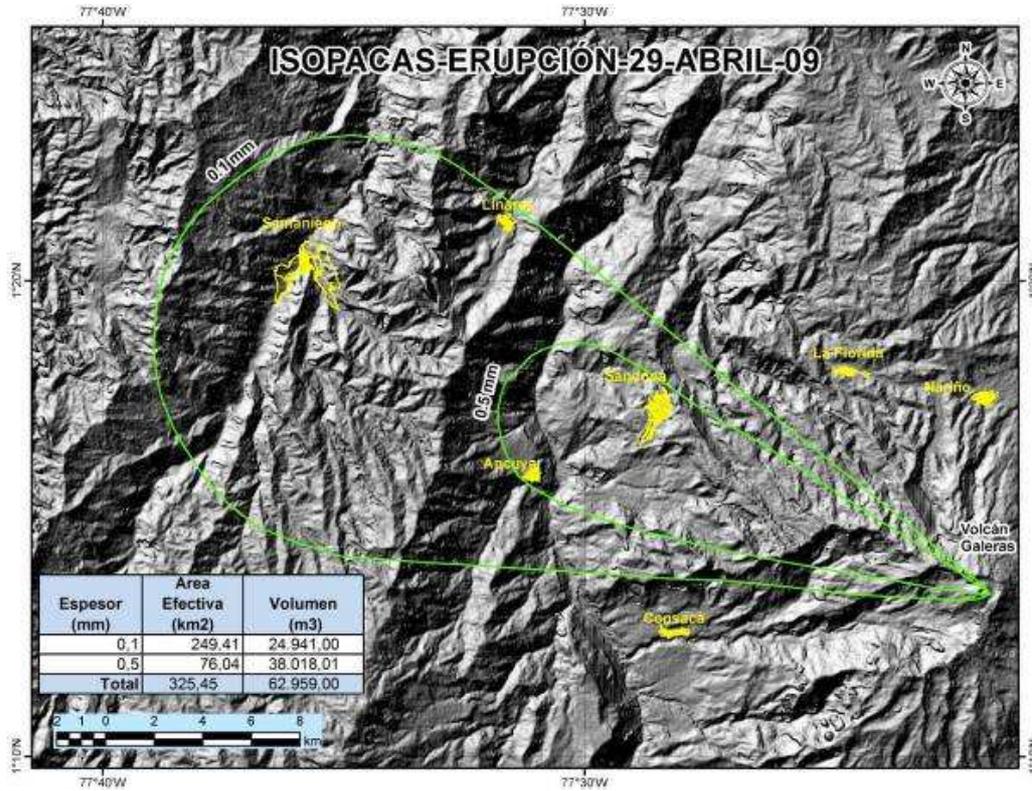
De una manera general, el material emitido en la erupción en forma de ceniza y polvo volcánico es de color gris a gris habano, está constituido en un 60%-90% por vidrio volcánico, siendo el más común el vidrio gris semitranslucido, el cual se presenta como fragmentos angulares a subangulares de color gris claro; fragmentos de vidrio translucido y blanco semitranslucido con microinclusiones de opacos son comunes mientras que los fragmentos semitranslucidos microvesiculados y con textura sacaroide están en muy baja proporción.

Fragmentos de vidrio negro, con fractura concoide a veces presentan microcristales de Plagioclasa.

La fracción cristalina del material emitido está en un promedio de 10% aunque en algunas muestras alcanza hasta 35% en la fracción de tamaño fino, correspondiente a fragmentos de cristales subhedrales, predominantemente de plagioclasa semitranslucida; fragmentos de piroxenos subhedrales de color verde y ámbar son comunes; cristales con brillo metálico azulado de magnetita son comunes y en baja proporción se presenta cuarzo, generalmente subhedral y habito bipiramidal. Xenocristales de biotita subhedral a euhedral color dorado, plagioclasas y cuarzos con tintes naranjas y rojizos están presentes en baja proporción.

En baja proporción, 3% promedio, se encuentran fragmentos subangulares de líticos alterados y accidentales, entre ellos, son comunes los fragmentos oxidados, porfiríticos finos y fragmentos blancos mate, fragmentos grises accidentales son esporádicos.

El volumen mínimo de material depositado como ceniza, calculado a partir del mapa de isópacas, fue de 62.959 m<sup>3</sup>, distribuido en un área de 325.45 Km<sup>2</sup>. (Figura 2.1.118).



**Figura 2.1.118.** Mapa de isopacas correspondiente a la erupción de abril 29 de 2009. La figura 2.1.119, muestra la variación del tamaño del material emitido eólicamente a partir del cráter del volcán Galeras para la erupción del 29 de abril de 2009.

		<p>Vereda Ataguara: 7.4 Km del volcán. Ceniza media a polvo volcánico.</p>
		<p>Sandona: 7.6 Km del volcán. Ceniza fina</p>
		<p>Vereda caracol: 7.7 Km. del volcán. Ceniza fina a muy fina</p>
		<p>Alto Jiménez: 5.9 Km del volcán. Ceniza fina a polvo volcánico.</p>

**Figura 2.1.119.** Variación del tamaño de la ceniza con la distancia, como se observa en muestra de mano y bajo lupa binocular (segunda columna).

### Emisiones de ceniza

Después de las erupciones del 24 y 29 de abril de 2009, se han registrado algunos eventos de emisión de cenizas asociados con sismicidad típica de dinámica de fluidos (Figura 2.1.120) entre las que se encuentran las emisiones del 25 de abril ocurridas a las 07:02 a.m., 07:20 a.m. y 07:45 a.m. con columnas de gases y cenizas con alturas de hasta 1000 m sobre la cima del Galeras, las emisiones del 29 de abril entre las 5:30 y 5:40 p.m., con altura aproximada de 1500 m., y la de las 6:51 p.m. con altura de 800 m. La emisión del 1 de mayo a las 8:01 a.m., con

una altura máxima de 550 m., las emisiones de los días 4 y 5 de mayo que depositaron ceniza en algunos sectores de la ciudad de Pasto como Anganoy, Villa Vergel, Mariluz, Briceño, en el CAI Simón Bolívar de la Policía y en la sede del OVSP.



Emisión de ceniza del 25 de abril a las 7:45 a.m.

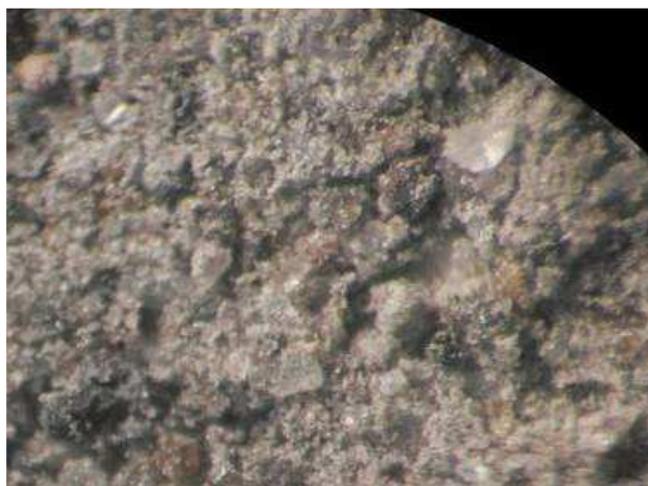
Emisión de ceniza del 29 de abril a las 5:30 p.m

**Figura 2.1.120.** Panorámicas de emisiones menores de ceniza, subsiguientes a las erupciones del 24 de abril y la del 29 de abril de las 10:15 a.m.

Muestras de ceniza depositada por la emisión del 4 de mayo fueron tomadas en la nueva sede del Observatorio Vulcanológico de Pasto (INGEOMINAS), ubicado a 11.5 Km., en línea recta del volcán (Figura 2.1.121), y por personal de la Cruz Roja de Pasto en sus instalaciones, en el centro de la ciudad. Se trata de ceniza muy fina a polvo volcánico que cubrió parcialmente el área. El análisis preliminar bajo lupa binocular permite clasificar esta como ceniza vítrea (Figura 2.1.122), correspondiente aproximadamente a 70% de polvo volcánico vítreo y 30% a ceniza de tamaño muy fino; esta fracción está constituida principalmente por vidrio volcánico translucido a gris claro semitranslucido, en menor proporción vidrio negro con fractura concoide. Tanto los fragmentos de cristales (Pg, Px y xenocristales de QZ y Pg con tinte rosado), como los líticos (fragmentos subangulares oxidados y blancos principalmente) se encuentran en baja proporción).



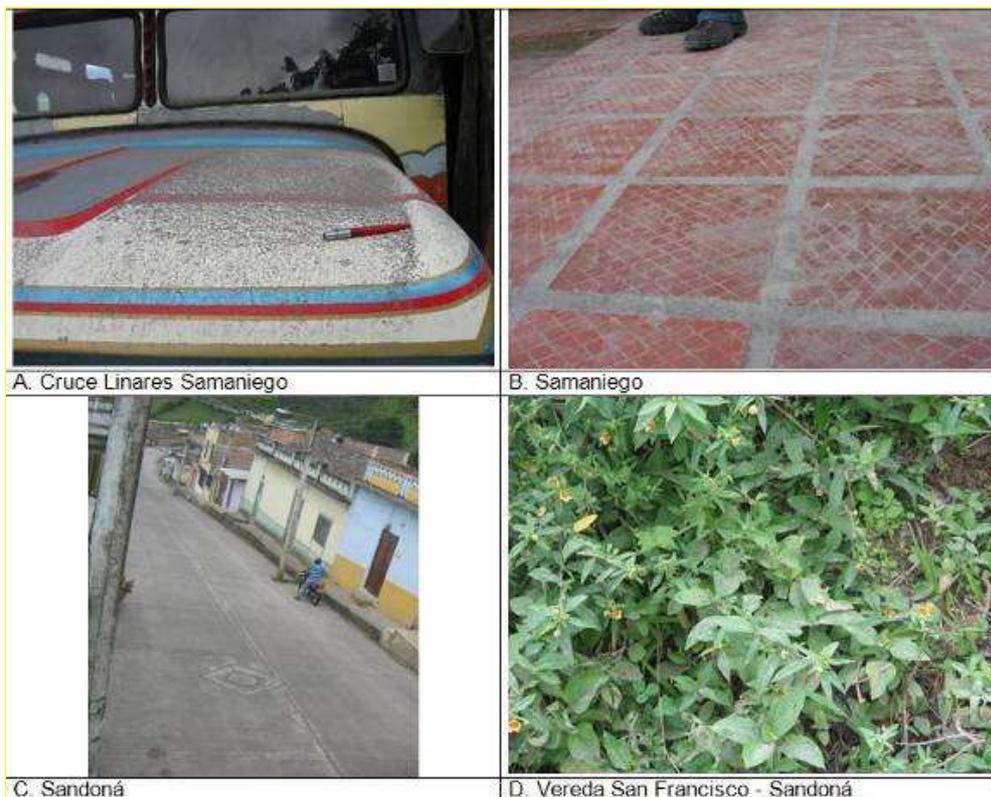
**Figura 2.1.121.** Detalle de la ceniza depositada por la emisión del 4 de mayo de 2009, en las instalaciones del OVSP.



**Figura 2.1.122.** Aspecto bajo la lupa binocular del material emitido durante la emisión de ceniza del 4 de mayo.

#### **2.1.6.6 Evento eruptivo del 7 de junio.**

Las cenizas, emitidas durante la erupción del 7 de junio a las 7:18 p.m., fueron distribuidas por el viento en una franja delgada con dirección norte-occidente, alcanzando distancias de 32 kKm., y cubriendo un área mínima de 135 Km<sup>2</sup>, en la cual se encuentran poblaciones como Sandoná y Samaniego. (Figura 2.1.123).



**Figura 2.1.123.** Aspecto de la ceniza depositada en algunos sectores afectados por el evento eruptivo en Galeras, del 7 de 2009.

El análisis preliminar bajo lupa binocular (Bausch and Lomb X 10, 1X-2X), de las muestras de ceniza colectadas en la zona de dispersión, permite clasificar el material emitido como ceniza vítrea, el cual es de color gris y está constituido en un 75% a 90%, por vidrio volcánico, cristales en un 5% a 10%, encontrándose los valores más altos en la fracción de tamaño de ceniza fina, y líticos accidentales en un 7% a 15%).

El material vítreo se presenta como:

- Fragmentos de color negro (40% promedio); subangulares a subredondeados con fractura concoide; algunos presentan microcristales de Pg; en menor proporción se encuentra vidrio negro microvesiculado, (5% de vesículas); igualmente es común encontrar fragmentos de vidrio negro a café semitranslucido
- Fragmentos de color gris claro (35% promedio), semitranslucido, angulares a subangulares, presentan pequeños cristales de plagioclasa piroxenos y opacos;

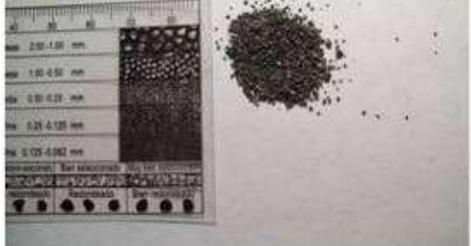
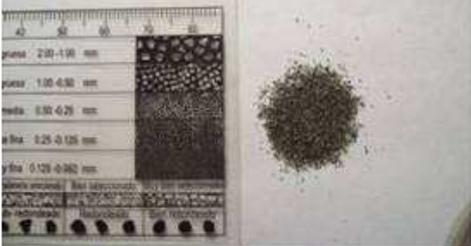
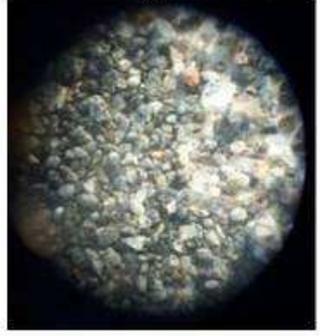
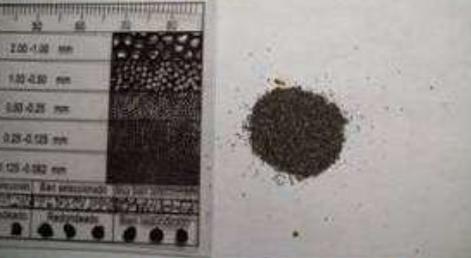
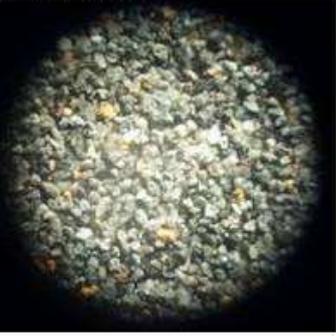
- Fragmentos vítreos angulares a subangulares translucidos a semitranslucidos (7% promedio) con microinclusiones de opacos,
- Fragmentos vítreos translucidos microvesiculados, se encuentran esporádicamente (promedio 2%).

Los fragmentos líticos son subangulares, a angulares; corresponden a fragmentos:

- Grises afaníticos a porfiriticos finos,
- Grises muy claros a blancos con apariencia granular y fenocristales de plagioclasa,
- Porfiriticos finos color rojo por oxidación,
- De alteración hidrotermal, blancos terrosos, amarillentos y rosados.

La fracción cristalina corresponde predominantemente a plagioclasas subhedrales a euhedrales maclada, translucida; fragmentos de piroxenos subhedrales de color verde y ambar y cristales con brillo metálico azulado de magnetita. Cuarzo, subhedral, con habito bipiramidal, translucido, es muy común y podrían corresponder a xenocristales al igual que plagioclasas y cuarzos con tintes naranjas y rojizos, fragmentos verdes semitranslucidos anhedrales y biotita subhedral rojiza; estos últimos presentes en baja proporción. La figura 2.1.124, corresponde a algunas de las muestras analizadas bajo lupa binocular y su variación en tamaño según su distancia al cráter.

El volumen mínimo de material depositado eólicamente, calculado a partir del mapa de isópacas (Figura 2.1.125), fue de 35.292 m<sup>3</sup>.

<p>GA-TC-004-07-06-09 ALTO JIMENEZ (PANEL EST. DORS)</p> 	
<p>GA-TC-001-07-06-09 CABECERA SANDONÁ</p> 	
<p>GA-TC-006-07-06-09 ALTO INGENIO</p> 	

**Figura 2.1.124:** Características de algunas de las muestras analizadas correspondientes al material emitido por la erupción del 7 de junio de 2009 y variación con la distancia.

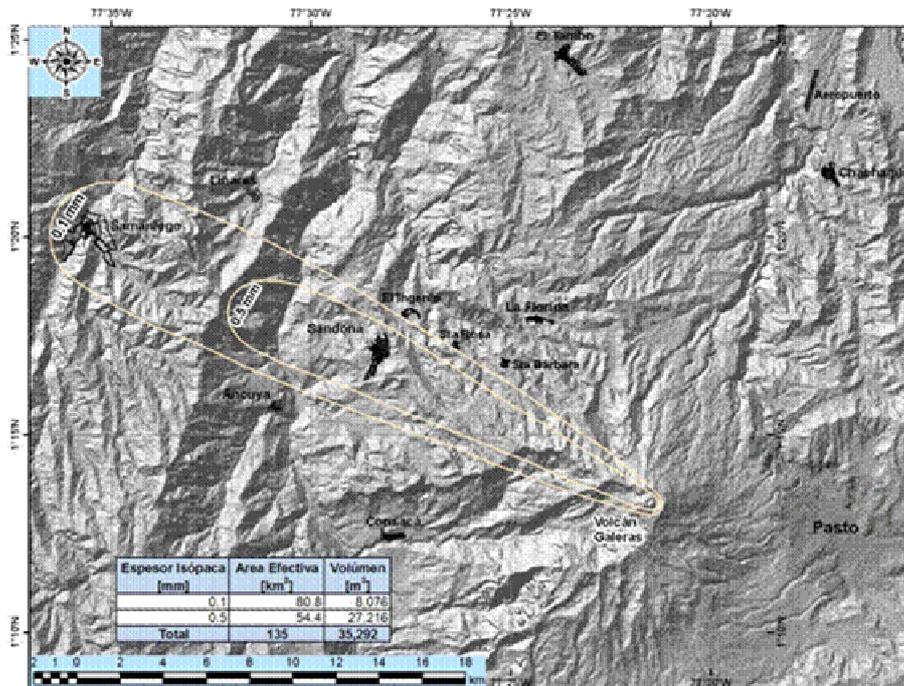


Figura 2.1.125. Mapa de isopacas correspondiente a la erupción del 7 de junio de 2009.

### 2.1.6.7 Evento eruptivo del 8 de junio.

#### Ceniza

Las cenizas, emitidas durante la erupción del 8 de junio a las 6:38 a.m., fueron distribuidas por el viento en dirección norte-occidente y fueron reportadas a distancias de hasta 150 km., respecto al cráter volcánico, cubriendo un área mínima de 3950 Km<sup>2</sup>, dentro de la cual se encuentran poblaciones como Consacá, La Florida, Sandoná, Ancuya, Linares, Barbacoas, Roberto Payan, y Pizarro en la costa Pacífica.

El análisis preliminar bajo lupa binocular (Bausch and Lomb X 10, 1X-2X), de las muestras de ceniza colectadas en la zona de dispersión, permite clasificar el material emitido como ceniza vítrea, el cual es de color gris y está constituido en un 90%, promedio, por vidrio volcánico; cristales en un 4% promedio encontrándose los valores más altos en la fracción de tamaño de ceniza fina, y líticos en un 6% promedio.

Los fragmentos vítreos (figura 2.1.126) se presentan como fragmentos:

- translucidos subangulares a subredondeados vesiculados con fenocristales de plagioclasa y piroxenos;

- gris claro semitranslucido, con cristales de plagioclasa, piroxenos y magnetita;
- negro, subangular a angular, algunos de los cuales presentan pequeños cristales de plagioclasa, entre estos algunos presentan microvesículas (5%-10%);
- vidrio semitranslucido no vesiculado con inclusiones de opacos.

Los fragmentos líticos (figura 2.1.127a) se encuentran en baja proporción, son subangulares a angulares, entre ellos, grises porfiriticos muy finos, con fenocristales de plagioclasa, algunos recubiertos parcialmente, por material blanco de alteración hidrotermal; otros son grises porfiriticos muy finos a afaníticos, o grises afaníticos algo oxidados; rosados compuestos por microcristales rosados y grises y fragmentos de material de alteración hidrotermal de color blanco y rosado. La fracción cristalina (figura 2.1.127b) está compuesta por cristales y xenocristales subhedrales a anhedrales, principalmente de Plagioclasa translucida, y semitranslucida maclada, y en menor cantidad piroxenos color verde a café ámbar y cuarzo translucido; xenocristales de plagioclasa y cuarzo con tintes amarillos y rojizos están presentes en muy baja proporción.



A- Vidrio blanco translucido vesiculado. B- Vidrio gris semitranslucido con microcristales. C- Vidrio negro.

**Figura 2.1.126.** Aspecto general de la fracción vítrea bajo lupa binocular. Nótese que mientras los fragmentos vesiculados son subangulares a subredondeados, los otros fragmentos vítreos son angulares a subangulares.



A- Líticos. B- Cristales

**Figura 2.1.127.** Aspecto bajo la lupa binocular de: A. fragmentos líticos posiblemente arrancados de las paredes del conducto B. cristales: Color verdoso, Piroxenos, translucidos rectangulares, Plagioclasas, anhedrales o habito bipiramidal, Cuarzo.

El volumen mínimo de material depositado, calculado a partir del mapa de isópacas (Figura 2.1.128), fue de 2.213.604 m<sup>3</sup>, constituyéndose en el mayor volumen distribuido eólicamente por una erupción de Galeras.

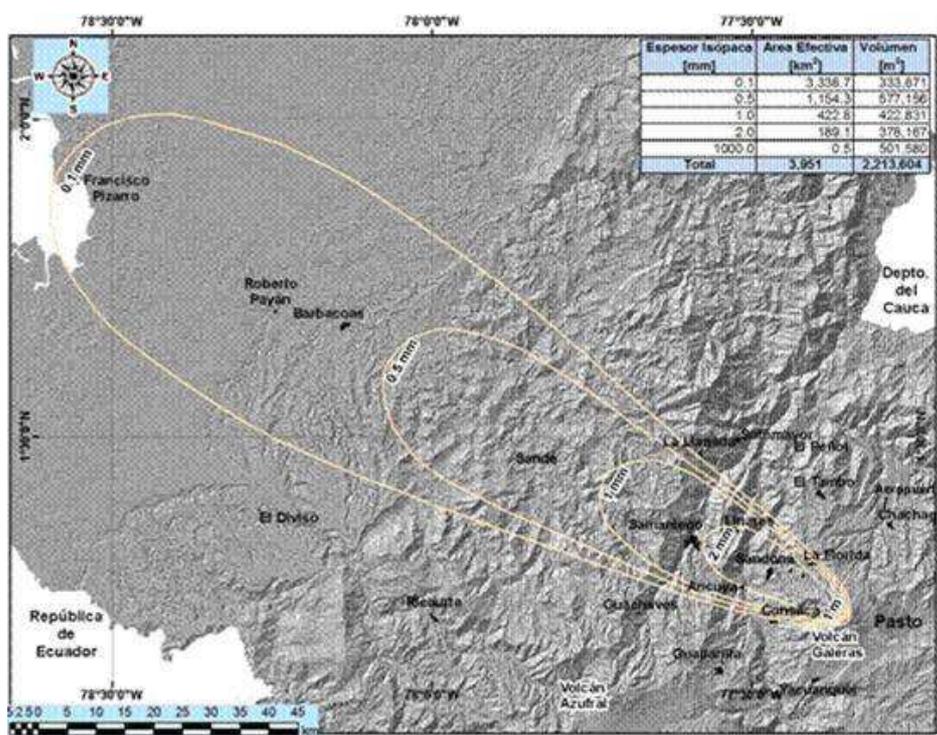


Figura 2.1.128. Mapa de isópacas correspondiente a la erupción del 8 de junio de 2009.

### Otras anotaciones

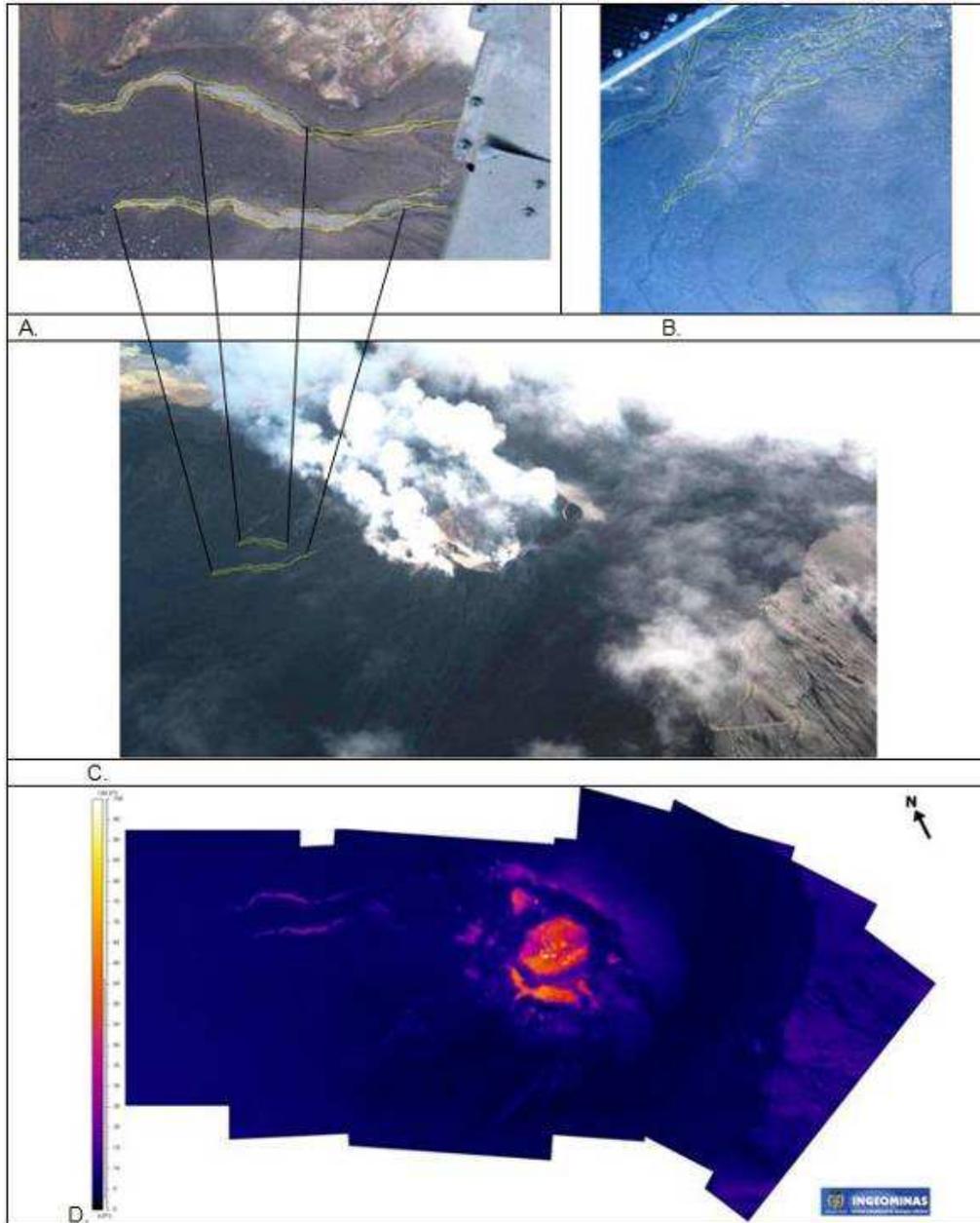
Generalmente las erupciones del Galeras, desde su reactivación en 1988, han emitido tanto cenizas como bombas y bloques eyectados balísticamente; como se anotó anteriormente, no fue posible comprobar la emisión de este último material durante las erupciones del 7 y 8 de junio puesto que, además del hecho de que estas erupciones ocurrieron durante el día, lo que hace más difícil la apreciación de la emisión de los bloques, éstas no fueron visibles desde la ciudad de Pasto, así como tampoco desde los sitios desde los cuales pudieron haberse observado, no ha sido reportado ni la caída de bloques incandescentes o la ocurrencia de pequeños incendios, que nos indiquen la generación de estos productos. Por otra parte, el comportamiento del volcán después de las erupciones ha hecho necesario el mantener el nivel II, lo que impide el acceso a la parte alta del volcán con el fin de llevar a cabo observaciones directas para conocer las características de los depósitos en inmediaciones o zonas cercanas al cráter.

Con los datos obtenidos en el sobrevuelo realizado el 11 de junio de 2009, y la comparación de las imágenes con otras obtenidas después de la erupción de abril 29, no es clara la presencia de nuevo material de bloques y bombas que pudiera haber sido emitido durante las erupciones de junio (Figura 2.1.129); sin embargo, el volumen emitido como ceniza es uno de los mayores emitidos durante una erupción del Galeras, lo que haría suponer también una gran cantidad de material de bloques y bombas. Lo que se observó en éste y en sobrevuelos posteriores fue, en el sector nor-noroccidental del cráter, hacia el sector de El Paisita, una mayor acumulación de material (al parecer ceniza) y un poco más abajo, rellenando dos pequeños zanjones hacia el sector noroccidental, un pequeño depósito de aproximadamente 1 Km., de longitud que podría haberse generado durante la erupción del 8 de junio (Figuras 2.1.130). Estos depósitos son claramente distinguibles en las imágenes térmicas obtenidas el 11 de junio, resaltados por una leve anomalía térmica un poco superior a los 30°C (Figura 2.1.130 D).

Mientras no haya control de campo es muy difícil dilucidar de que tipo de depósito se trata. Con las observaciones desde el helicóptero se puede pensar en una removilización inmediatamente después de la erupción, correspondiente al material de ceniza acumulado en el borde del cráter, posiblemente por lluvias, que haya permitido la conservación de cierta temperatura a tres días de la erupción donde el depósito presenta un aparente mayor espesor. En la parte más pendiente del cono, no se observa depósito, mientras que mas abajo en un sector más plano, se observan "parches irregulares de material" canalizados por los dos zanjones del sector occidental.



**Figura 2.1.129:** Comparación de imágenes del 6 de mayo y del 12 de julio 12, de 2009; para comprobar emisión de proyectiles balísticos en las erupciones de junio. a). Sector NNW, 6 de mayo. b). El mismo sector, 12 de julio. Nótese la acumulación de material, aparentemente solo ceniza adyacente al sector de El Paisita. c). Imagen del sector W tomada el 6 de mayo. d). El mismo sector, imagen tomada el 12 de julio.



**Figura 2.1.130.** A y B Aspecto general del depósito canalizado en los zanjones en el flanco NNW del volcán, tomas el 11 de junio y el 12 de julio, respectivamente. C. Aspecto general del depósito, fotografía del sobrevuelo del 11 de junio y comparación con D. Imagen térmica tomada el mismo día.

### **2.1.7 ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS MORFOLOGICOS**

Las manifestaciones en superficie de la actividad del volcán se documentan mediante las observaciones directas hacia la cima volcánica desde la sede del OVSP, por reportes de las comisiones de personal en campo, por reportes de la comunidad o las autoridades civiles y militares, así como también por sobrevuelos efectuados por personal del observatorio en el helicóptero Hughes de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

El sitio web del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto es, URL: <http://intranet.ingominas.gov.co/pasto>. Este sitio cuenta con una galería de imágenes y videos seleccionados que están a disposición del público en general, el uso de este material debe estar acorde a los términos de uso consignados en la siguiente página institucional:  
[http://intranet.ingominas.gov.co/pasto/Pasto:T%C3%A9rminos\\_de\\_Uso](http://intranet.ingominas.gov.co/pasto/Pasto:T%C3%A9rminos_de_Uso)

Las principales observaciones del primer semestre de 2009 se relacionaron con las seis erupciones registradas los días 14 y 20 de febrero, 13 de marzo, 24 de abril y 7 y 8 de junio de 2009. En algunos casos, gran parte de la población de la ciudad de Pasto y de algunos de los pueblos que tienen visual hacia Galeras, pudieron percibir el evento eruptivo, desde la onda explosiva, el resplandor inicial, así como el desarrollo mismo de la erupción, cuando las condiciones climáticas lo permitió.

En el primer semestre de 2009 se realizaron 11 sobrevuelos, los días 5, 6, 7, 13, 14 y 17 de abril, 6, y 17 de mayo, 11, 23 y 24 de junio de 2009; en ocho de ellos (6, 7, 13, 17 de abril, 6, 17 de mayo, 11 y 23 de junio) se tomaron imágenes térmicas que permitieron observar la variación de las condiciones de temperatura del material rocoso en el cono volcánico. En la mayoría de visitas de reconocimiento, orientadas a realizar el seguimiento de la información de la actividad superficial, ya sea desde tierra o desde aire, se observó la columna de gases de color blanco, tendida hacia el costado occidental. Los principales focos de emisión fueron el cráter principal y los cráteres secundarios denominados como El Paisita y Las Chavas. En algunos casos, la columna de emisión de ceniza fina cayó en sectores altos del edificio volcánico y en poblaciones cercanas, estos eventos ocasionalmente se asociaron con actividad sísmica, registrando señales de Tremor.

El día 17 de febrero, personal del Ejército subió a la Base Militar Galeras para inspeccionar y evaluar los posibles daños ocasionados a sus instalaciones por la erupción ocurrida el 14 de febrero. Efectivamente, bloques de material volcánico (eyectados a manera de proyectiles balísticos) impactaron la base militar ocasionando algunos daños en puertas metálicas, muros, planchas y estructuras metálicas de las torres de comunicación. También se reportó la observación de cráteres de impacto en diferentes sitios de la parte alta del volcán, desde la Base

Militar Galeras hasta el sector conocido como La Y (ubicado a 1 km al sur-sureste del cráter principal), así como ruidos similares al aterrizaje de aviones en un aeropuerto.

Por cortesía del STec de la FAC Oscar Delgado, se obtuvieron fotografías del cono activo tomadas desde la base militar. Se observa salida de gases desde varios focos de emisión tanto de la periferia como del interior del cráter principal, es importante señalar que estas imágenes no muestran evidencias de cambios geomorfológicos en la periferia del cráter principal (Figuras 2.1.131 y 2.1.132).



**Figura 2.1.131** Emisiones de gases volcánicos vistas desde la Base Militar Galeras, 17 de febrero de 2009, 2:09 p.m. Fotografía por cortesía del STec de la FAC Oscar Delgado.



**Figura 2.1.132.** Detalles de algunos focos de emisión de gases volcánicos, 17 de febrero de 2009. Fotografías por cortesía del STec de la FAC Oscar Delgado.

El día 20 de febrero, después del evento eruptivo se observó la expulsión tanto de gases volcánicos como ceniza. Este tipo de procesos de emisión se detectaron de manera fluctuante, antes y después del evento eruptivo. Los siguientes registros fotográficos (Figuras 2.1.133 a 2.1.136) ilustran estas observaciones.

En el momento en el cual ocurrió el evento eruptivo del 20 de febrero (7:04 a.m.) la cima volcánica se encontraba cubierta por nubes. Este evento eruptivo arrojó ceniza que, debido a la acción de los vientos, se dispersó en dirección occidente-noroccidente, respecto del cráter volcánico.

Adicionalmente se tienen reportes de haber escuchado sonidos asociados con la onda explosiva de la erupción, desde los sectores como: Genoy, Barranco, Santa Bárbara, Santa Rosa, Alto Ingenio y Alto Jiménez, poblaciones localizadas en la vía circunvalar al volcán Galeras, a distancias menores de 10 Km.



**Figura 2.1.133.** Emisión del 17 de febrero a las 6:07 p.m.



**Figura 2.1.134.** Emisión del 20 de febrero a las 3:29 p.m.



**Figura 2.1.135.** Emisión del 20 de febrero a las 4:56 p.m.



**Figura 2.1.136.** Emisiones de gases volcánicos vistas desde la Base Militar Galeras, 23 de febrero de 2009, 02:18 p.m. Fotografía por cortesía del STec de la FAC Oscar Delgado.

El 23 de febrero, personal del Ejército subió a la Base Militar Galeras para inspeccionar y evaluar los posibles daños ocasionados a sus instalaciones por la erupción ocurrida. Observaron que bloques de material volcánico impactaron la base militar ocasionando múltiples daños en puertas metálicas, muros, planchas y estructuras metálicas de las torres de comunicación. También se encontraron cráteres de impacto en diferentes sitios de la parte alta del volcán, desde la Base Militar Galeras hasta el sector de La Y (ubicado a cerca de 1.5 km al sur-sureste del cráter principal).

Cuando las condiciones climáticas lo permitieron, se observaron columnas de emisión de gases (principalmente vapor de agua de origen magmático e hidrotermal), que en ocasiones expulsaron volúmenes pequeños de material sólido (partículas de tamaño ceniza y más finas), con diferentes direcciones de dispersión debido a la dirección del viento. La altura de columna estuvo entre 200

y 2300 m., sobre la cima del volcán. Las figuras 2.1.137 – 2.1.146, ilustran las observaciones de actividad superficial realizadas durante marzo de 2009.



**Figura 2.1.137.** Emisión de gases volcánicos observada desde Pasto, el 8 de marzo de 2009, a las 6:45 p.m.



**Figura 2.1.138.** Emisión de gases volcánicos observada desde Pasto, el 9 de marzo de 2009, a las 6:19 p.m.



**Figura 2.1.139.** Reconocimiento terrestre al volcán Galeras, 10 de marzo a las 9:37 a.m.



**Figura 2.1.140.** Reconocimiento terrestre al volcán Galeras, 10 de marzo a las 9:37 a.m.



**Figura 2.1.141.** Emisión del 10 de marzo a las 6:32 p.m.



**Figura 2.1.142.** Emisión del 11 de marzo a las 7:47 p.m.



**Figura 2.1.143.** Emisión vapor de agua y otros gases volcánicos del 14 de marzo a las 6:00 a.m.



**Figura 2.1.144.** Columna de emisión del 28 de marzo a las 6:55 a.m., asociada con evento de Tremor.



**Figura 2.1.145.** Emisión del 29 de marzo a las 6:25 p.m.



**Figura 2.1.146.** Emisiones del 30 de marzo a las 4:40 p.m.

En el momento en el cual ocurrió el evento eruptivo del 13 de marzo (3:55 p.m.) la cima volcánica se encontraba cubierta por nubes. Este evento eruptivo arrojó ceniza que, por efecto de los vientos, se dispersó en dirección noroccidente y norte, respecto del cráter de Galeras. Se recibieron reportes de caída de ceniza en los sectores de Plazuelas, La Llanada, Sandoná, el Tambo, en el sector Valle de Atríz del municipio de Pasto, hasta el Km 6 en la salida al norte; desde algunos sectores del corregimiento de Cimarrones Municipio de Chachagüí y la torre de control del aeropuerto Antonio Nariño. Estos lugares estuvieron en un radio de 40 Kilómetros desde el cráter de Galeras.

Durante el mes de abril, se observaron columnas de emisión de gases volcánicos, de coloración principalmente blanquecina, pero que en ocasiones mostraron tonalidades grisáceas que se interpretaron como contenido de partículas sólidas

de tamaño muy pequeño (polvo volcánico a ceniza) en dichas emisiones. La dirección de dispersión de estas columnas de emisión fue preferencialmente vertical, alcanzando altitudes de hasta 1700 m., sobre la cima (4 de abril alrededor de las 7:58 a.m.), y que en algunas ocasiones, por acción de los vientos, se tendió hacia el costado norte del edificio volcánico (3, 4 y 5 de abril). La Figura 2.1.147 muestra el registro fotográfico de las emisiones más representativas del periodo evaluado en el presente informe. Algunas de estas columnas de emisión estuvieron asociadas con eventos de Tremor volcánico.



Emisión del 3 de abril a las 7:59 a.m., columna de 1500 m sobre la cima.

Emisiones del 5 de abril a las 9:05 a.m., columna de 900 m sobre la cima.

Emisión del 12 de abril a las 6:06 a.m.

Emisión del 13 de abril a las 8:42 a.m.

Emisión del 25 de abril a las 7:51 a.m.

Emisión del 29 de abril a las 5:40 p.m.

**Figura 2.1.147.** Imágenes fotográficas de emisiones de gases volcánicos representativas del periodo evaluado, como se registraron desde la sede del OVSP.

Los días 5 y 6 de abril, las condiciones climáticas permitieron llevar a cabo, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana, sobrevuelos de reconocimiento a Galeras, en los cuales se observaron cambios morfológicos importantes del domo de lava emplazado al interior del cráter principal.

En general, respecto a la actividad superficial registrada en los sobrevuelos, se observó salida de gases principalmente provenientes de varias zonas de la periferia del cráter principal como Las Deformes, Las Chavas, Marte Este y El Paisita (Figuras 2.1.148, 2.1.149 y 2.1.150).



a)



b)

**Figura 2.1.148.** Morfología del interior del cráter principal, antes y después de los eventos eruptivos de febrero 14 y 20 y marzo 13 de 2009; vista desde el sureste. a) 12 de diciembre de 2008. b) 5 de abril de 2009.



**Figura 2.1.149.** 5 de abril de 2009, 6:23 a.m. cono volcánico visto en sobrevuelo desde el este del borde calderico. Se observa salida de gases principalmente provenientes de varias zonas de la periferia del cráter principal (Las Deformes, Las Chavas y El Paisita, principalmente).



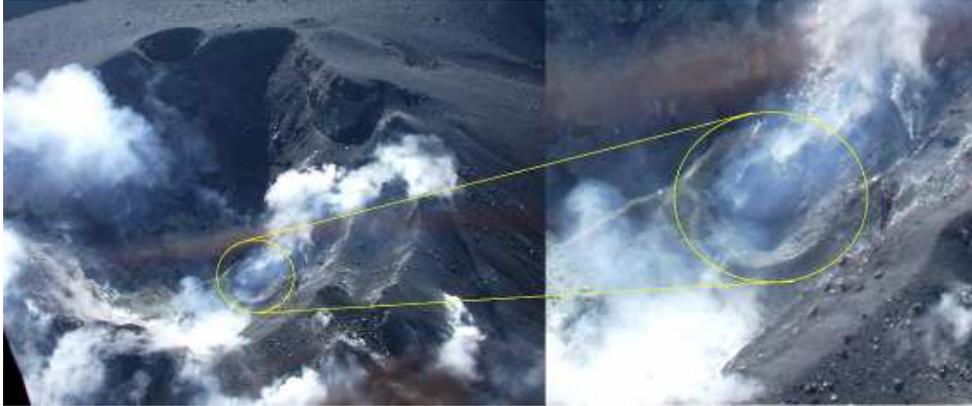
**Figura 2.1.150.** 5 de abril, 6:46 a.m. El cono activo visto desde el sureste. Se observa salida de gases, principalmente provenientes de varias zonas de la periferia del cráter principal. También se observa salida de gases, en menor volumen, del interior del cráter principal. Se destacan cambios morfológicos importantes del domo de lava extruido al interior del cráter principal, a raíz de los eventos eruptivos registrados el 14 y 20 de febrero y el 13 de marzo de 2009.

Los días 7 y 13 de abril, las condiciones climáticas permitieron llevar a cabo, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana - FAC, sobrevuelos de reconocimiento a Galeras y Azufra. En Galeras se observaron cambios morfológicos ocasionados por las erupciones explosivas de febrero y marzo de 2009 y que expulsaron gran parte del material dómico observado a finales del 2008. Durante el sobrevuelo realizado el 7 de abril se observó incandescencia en un sector del interior del cráter principal (Figura 2.1.151), y que para el caso de magmas andesíticos, como el de Galeras, implicaría valores de temperatura superiores a 500 °C.

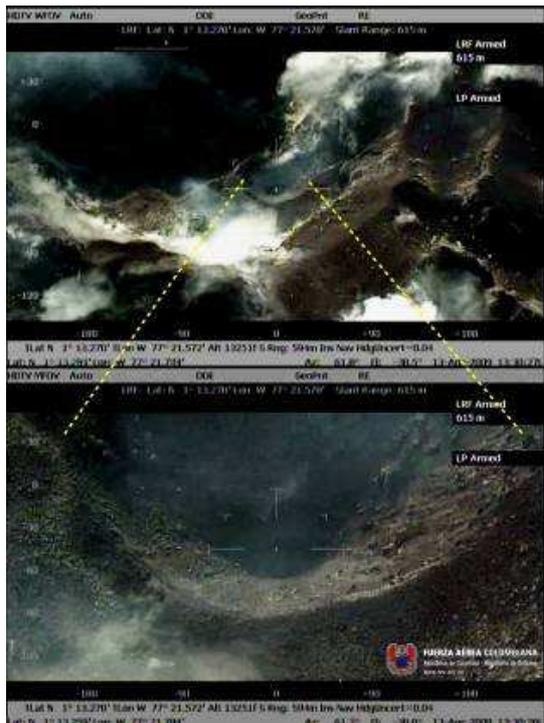


**Figura 2.1.151.** Imagen capturada en sobrevuelo del día 7 de abril de 2009. A la derecha una ampliación de la zona que muestra incandescencia.

Las figuras 2.1.152 y 2.1.153 muestran detalles del cráter formado al interior del cráter principal a raíz de las erupciones de este año. Este rasgo morfológico, su gran simetría y la forma cónica pueden ser vistos como evidencias de que este cráter fue protagonista de alguno o varios de los eventos eruptivos recientes, a tal punto que pudo ser la “válvula” de descompresión del sistema, cuando éste llegó a niveles críticos de sobrepresión. También es posible pensar que la explosión se gestó a niveles superficiales, lo que concuerda con el modelo eruptivo de Galeras en el cual, la sobrepresión se acumula justamente por debajo del domo de lava.



**Figura 2.1.152.** Imagen tomada en sobrevuelo del día 13 de abril de 2009 cerca de la 8:30 a.m. Se observa un cráter de aproximadamente 50 m., de diámetro producto de los eventos eruptivos de febrero y marzo de 2009. A la derecha una ampliación del cráter en cuestión.



**Figura 2.1.153.** Fotografías tomadas desde el SE del cono activo durante el sobrevuelo volcán Galeras, el 13 de abril a las 8:30 a.m. Detalle del cráter de aproximadamente 50 m de diámetro ubicado en el fondo del cráter principal. Este sobrevuelo se realizó con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), en un helicóptero Huey II, equipado con una cámara FLIR de alta resolución.

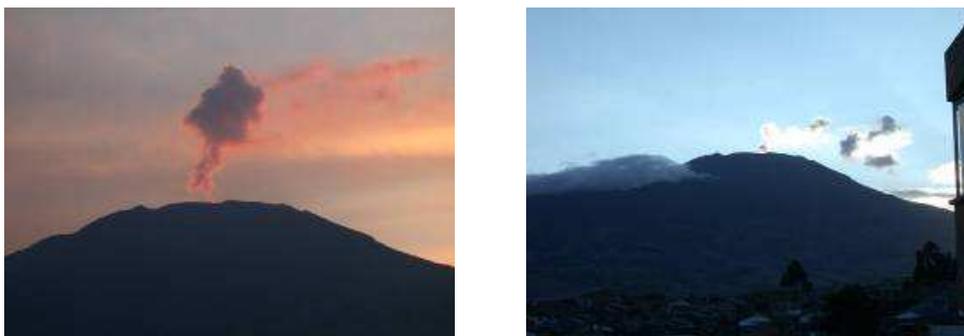
La figura 2.1.154 presenta imágenes fotográficas de la erupción explosiva de Galeras, ocurrida el día 24 de abril de 2009 a las 7:32 p.m.



**Figura 2.1.154.** Imagen de la erupción explosiva de Galeras, ocurrida en abril 24 a las 7:33:08 p.m., (izquierda) y 7:33:17 p.m., (derecha).

El día 4 de mayo, se reportó caída de ceniza en las primeras horas de la mañana en varios sectores de la ciudad de Pasto como: sede del OVSP, SENA, Policía Nacional (CAI Simón Bolívar, donde además se informó que percibieron olor a gases azufrados) y en los barrios Briseño, Villa Vergel, Mariluz y Anganoy.

Cuando las condiciones climáticas lo permitieron, se observaron columnas de emisión de gases (principalmente vapor de agua de origen magmático e hidrotermal), saliendo generalmente de manera pulsátil, que en ocasiones expulsaron volúmenes pequeños de material sólido (partículas de tamaño ceniza y más finas), especialmente a inicios del mes, con diferentes direcciones de dispersión debido a la dirección del viento. Estas observaciones se efectuaron los días 4, 7, 8, 12, 16, 17, 18 y 20 de mayo, cuando se presentaron columnas de emisión de poca altura, generalmente menores de 500 m., sobre la cima (Figura 2.1.155).



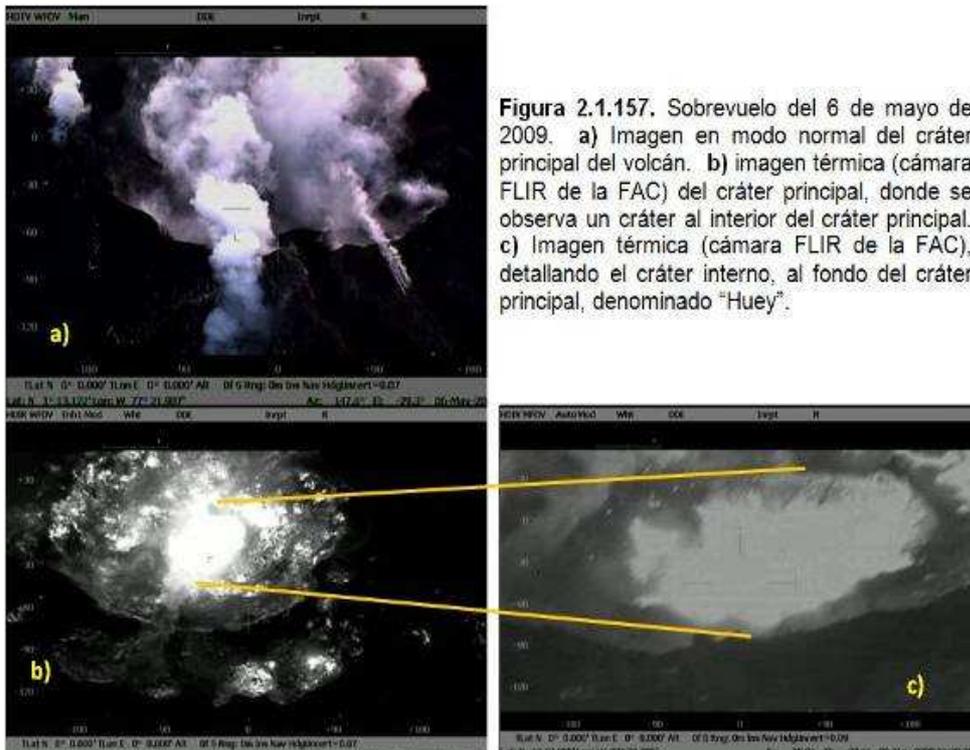
**Figura 2.1.155.** Columnas de emisión del volcán Galeras observadas el 7 de mayo a las 6:08 p.m. (foto izquierda) y el 18 de mayo a las 5:46 p.m. (foto de la derecha).

Durante sobrevuelo efectuado el día 6 de mayo, en las imágenes tomadas en el costado Sur y Sureste del volcán (Figuras 2.1.156 y 2.1.157), se detectó la presencia de bloques de gran tamaño (entre 9 y 13 m., de diámetro), que

correspondieron a remanente del domo de 2008 y que se piensa fueron expulsados principalmente durante la erupción del 24 de abril de 2009. Los registros fílmicos y fotográficos muestran también, salida de gas desde diferentes sectores al interior del cráter y desde su periferia, con tonalidad principalmente blanca.



**Figura 2.1.156.** Imágenes tomadas en sobrevuelo del día 6 de mayo de 2009; en el costado Sur y Suroriental del volcán.



**Figura 2.1.157.** Sobrevuelo del 6 de mayo de 2009. **a)** Imagen en modo normal del cráter principal del volcán. **b)** imagen térmica (cámara FLIR de la FAC) del cráter principal, donde se observa un cráter al interior del cráter principal. **c)** Imagen térmica (cámara FLIR de la FAC), detallando el cráter interno, al fondo del cráter principal, denominado "Huey".

La erupción del 7 de junio de 2009 ocurrió a las 7:18 a.m. y como las anteriores se trató de un evento explosivo de tipo Vulcaniano, que estuvo acompañado por ondas acústicas, sin que se generaran efectos vibratorios notables en las poblaciones localizadas en la zona de influencia del volcán Galeras. Con base en los videos registrados por la cámara dispuesta en el Observatorio Vulcanológico, se estimó en 2,5 Km., la altura de la columna eruptiva, antes que las cenizas emitidas se dispersaran nuevamente hacia el noroccidente del volcán y se depositaran en los municipios de Sandoná y Samaniego (Figura 2.1.158). No existe evidencia sobre la generación de proyectiles balísticos.



Imagen cortesía del señor John Jairo Lozada, tomada desde el municipio de La Llanada el día 7 de junio de 2009 (Aproximadamente a 37 Km al nor-occidente del volcán Galeras)

Imagen tomada desde el Observatorio Vulcanológico de Pasto el día 7 de junio de 2009 a las 7:22 a.m.

**Figura 2.1.158.** Fotografías de emisiones de ceniza volcánica después del evento eruptivo del día 7 de junio de 2009.

En cuanto a la erupción del 8 de junio, ésta fue de tipo vulcaniano, caracterizada por el registro de dos fases explosivas, la primera de ellas a las 6:38 a.m., y la segunda a las 6:43 a.m. Las ondas de choque asociadas con la erupción fueron percibidas en varios sectores en la zona de influencia de Galeras e inclusive existen reportes de la explosión a unos 45 Km., al suroccidente de Galeras en el sector de San Roque, cerca al volcán Azufral. La columna eruptiva se dispersó hacia el noroccidente del volcán, reportándose caída de ceniza en los municipios de Sandoná, Ancuya, Linares, Samaniego, Barbacoas, Roberto Payán y Pizarro, a distancias máximas cercanas a los 180 Km., en línea recta de Galeras y en una franja de dispersión estrecha.

El 10 y 11 de junio, se observaron columnas de emisión de gases de color blanco alcanzando alturas de 400 m., sobre la cima (Figura 2.1.159). El mismo 11 de junio, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana - FAC, se realizó un sobrevuelo de reconocimiento a Galeras, toda vez que las condiciones climáticas fueron favorables. En las imágenes capturadas se observa una emisión de gas de

color blanco desde el fondo del cráter principal y campos fumarólicos aledaños, el Paisita, Deformes, Chavas (Figura 2.1.160 y 2.1.161). Durante el sobrevuelo realizado también se capturaron imágenes térmicas del cono activo haciendo uso de la termocámara FLIR. En las imágenes se observan anomalías térmicas en algunas zonas en el interior del cráter principal que registraron temperaturas de hasta 125° C mostrando una variación considerable con respecto a las temperaturas de hasta 515°C, observadas en imágenes térmicas tomadas el 6 de mayo de 2009.



**Figura 2.1.159.** Fotografías de emisiones volcánicas representativas del periodo evaluado, tomadas desde la ciudad de Pasto. Emisión del 10 de junio a las 4:50 p.m., (izquierda) y emisión del 11 de junio a las 6:23 a.m. (derecha).



**Figura 2.1.160.** Imagen capturada en sobrevuelo del día 11 de junio de 2009. Vista superior del cono activo (izquierda) y tomada desde el sector suroeste (derecha) del volcán Galeras.

Hasta el día 23 de junio en horas de la mañana, se observaron columnas de emisión de coloración blanquecina a grisácea, alcanzando alturas de hasta 500 m., sobre la cima, antes de dispersarse por acción de los vientos. Los días siguientes, cuando las condiciones climáticas lo permitieron también se observaron emisiones en lapsos cortos de tiempo, los días el 24, 25 y 26 de junio, en horas de la mañana.

Los días 23 y 24 de junio, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), se efectuaron nuevamente sobrevuelos en los cuales se registró salida de gases volcánicos desde varios focos de emisión, principalmente de la periferia del cráter principal (Figuras 2.1.161 y 2.1.162). Se destaca al fondo de cráter una notoria concavidad, evidenciando los cambios morfológicos resultantes de los más recientes eventos eruptivos, que conllevaron a la destrucción del domo de lava que se hallaba emplazado al interior del cráter (Figuras 2.1.163).



**Figura 2.1.161.** 23 de junio de 2009, 6:51 a.m. El cono activo, visto desde el sector noroccidental del edificio volcánico.



**Figura 2.1.162.** 24 de junio de 2009, 7:02 a.m. El cono activo, visto desde sector suroeste del edificio volcánico.

Se destaca al fondo de cráter una notoria concavidad, evidenciando los cambios morfológicos resultantes de los más recientes eventos eruptivos, que conllevaron a la destrucción del domo de lava que se hallaba emplazado al interior del cráter (figura 2.1.164).



**Figura 2.1.163.** 23 de junio de 2009, 6:27 a.m. El cono activo, visto desde el este-sureste.



**Figura 2.1.164.** 24 de junio de 2009, 6:45 a.m. Cono activo, visto desde el sur.

Adicionalmente, el 23 de junio se tomaron imágenes térmicas del cono activo, en las que se registraron temperaturas de hasta 45°C en zonas de la periferia del cráter principal; y en general, entre 60 y 105°C a l interior del mismo, exceptuando una pequeña zona al fondo del cráter que registró un máximo de 220°C.

### 2.1.8 IMÁGENES TERMICAS

En los sobrevuelos realizados los días 6, 7, 13 y 17 de abril; 6 y 17 de mayo; 11 y 23 de junio de 2009, en los cuales participó personal de INGEOMINAS-OVSP con la colaboración la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) en un helicóptero Huhes, se tomaron imágenes térmicas con el fin de hacer el seguimiento de la evolución de las temperaturas de la roca en diferentes puntos del cono activo de Galeras, lo que permitió establecer un aumento paulatino de la temperatura durante el primer semestre de 2009, alcanzando temperaturas de hasta 550 y 400°C. Las imágenes también se encuentran disponibles en la página web del observatorio, en la URL: <http://intranet.ingeominas.gov.co/pasto>.

En la Tabla 2.11 listan las temperaturas máximas registradas con la cámara FLIR en diferentes puntos del cono activo del volcán Galeras, durante sobrevuelos realizados entre enero y junio de 2009. La cámara térmica, tiene dos rangos de operación; rango bajo de -20 °C a 180 °C, usado par a observar detalle de zonas con anomalías térmicas consideradas como bajas; rango alto de 80 °C hasta 550 °C usado para observar un rango amplio de temperatu ras en zonas de anomalías térmicas consideradas como altas.

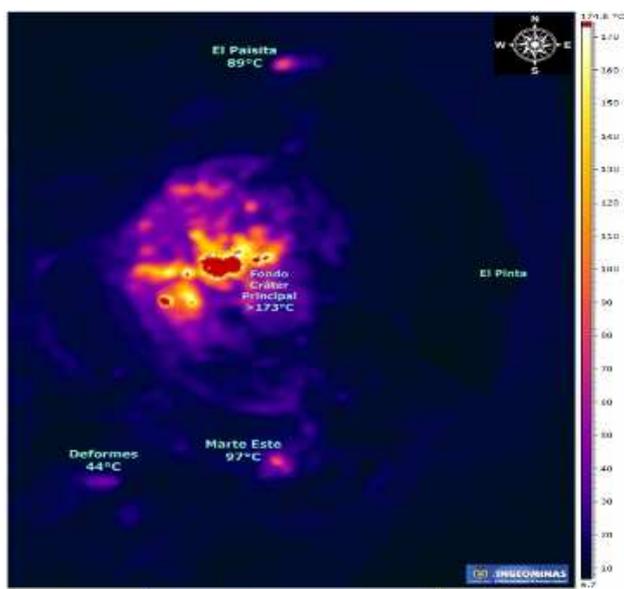
**Tabla 2.1.11.** Fechas de sobrevuelos realizados con las temperaturas máximas obtenidas en ellos, en el primer semestre de 2009.

Sobrevuelo	Temperatura máxima
6 de abril	>180 °C (saturado)
7 de abril	230 °C
13 de abril	> 180 °C (saturado)
17 de abril	480 °C
6 de mayo	515 °C
17 de mayo	> 180 °C (saturado)
11 de junio	125 °C
23 de junio	220 °C

En el sobrevuelo del 6 de abril se tomaron imágenes térmicas del cono activo con la termocámara FLIR ThermaCAM PM595PAL (Convenio INGEOMINAS - BGR de Alemania), configurada en su rango bajo de detección, sobrevolando el sector sureste del cono activo, a una altitud de 14800 pies sobre el nivel del mar (unos 500 m., sobre la cima del volcán). De acuerdo con la escala cromática de la derecha, las temperaturas más altas (observadas en zonas al interior del cráter principal), corresponde al color rojo, que indica temperaturas mayores al rango bajo de detección de la cámara (superiores a 180°C). Algunos puntos, al interior

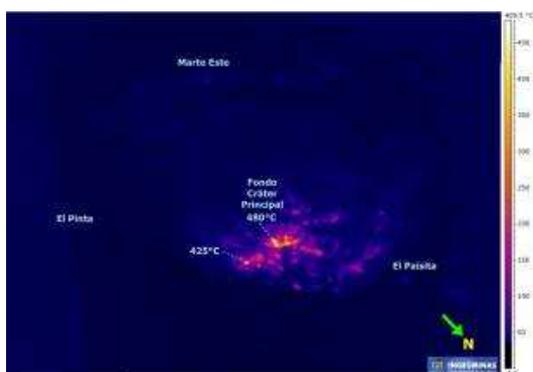


En el sobrevuelo del 13 de abril la termocámara fue configurada en su rango bajo de detección, algunas zonas en el fondo del cráter principal registraron temperaturas por encima de 170°C (Figura 2.1.168).



**Figura 2.1.168.** Imagen térmica del volcán Galeras tomada con la termocámara FLIR, sobrevolando sobre el cono activo a una altitud de 14000 pies sobre el nivel del mar (unos 220 metros sobre la cima del volcán). De acuerdo con la escala cromática de la derecha, las temperaturas más altas (observadas en zonas al interior del cráter principal), corresponden al color rojo, que indica temperaturas mayores a 170°C. Se destacan otras zonas con anomalías térmicas como Marte Este (97° C), El Paisita (89° C) y Las Deformes (44°C).

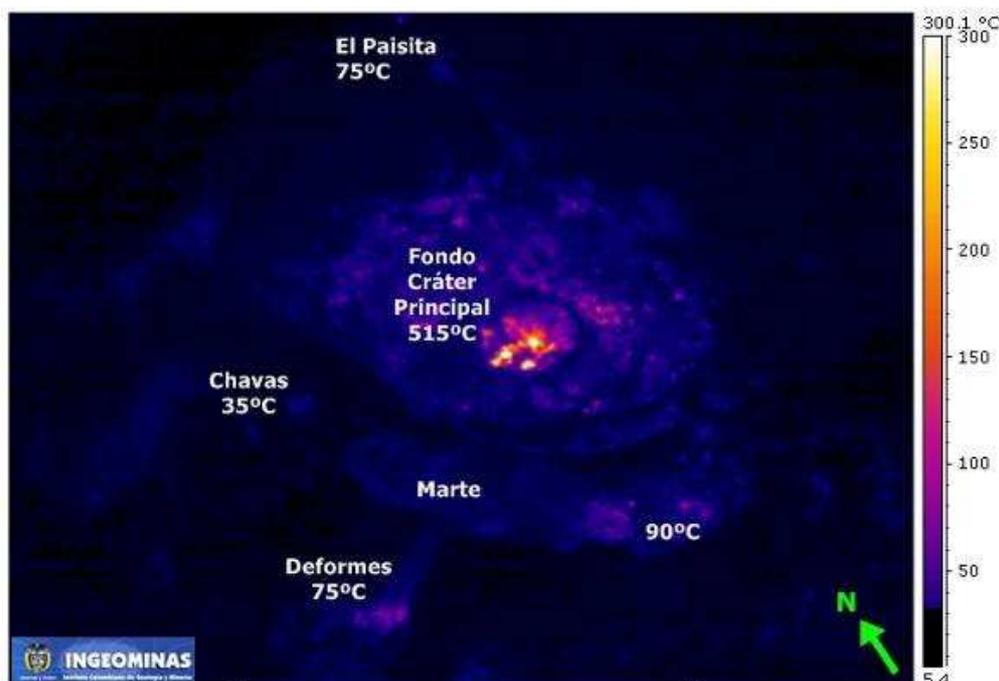
El día 17 de abril, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana - FAC, se realizó un sobrevuelo de reconocimiento a Galeras, aprovechando las favorables condiciones climáticas. Durante el sobrevuelo se tomaron imágenes térmicas del cono volcánico haciendo uso de la termocámara FLIR; en la imagen se observa que algunas zonas, en el fondo del cráter volcánico, registraron temperaturas altas de hasta 480°C (Figura 2.1.169)



**Figura 2.1.169.** Imagen térmica del el 17 de abril de 2009 en el área del volcán Galeras, tomada con la termocámara FLIR. El sobrevuelo se realizó en el sector noreste del cono activo, a una altitud de 14500 pies sobre el nivel del mar (unos 370 metros sobre la cima del volcán). De acuerdo con la escala cromática de la derecha, las temperaturas más altas (observadas en zonas al interior del cráter principal) corresponden al color amarillo, que indica temperaturas de hasta 480 °C.

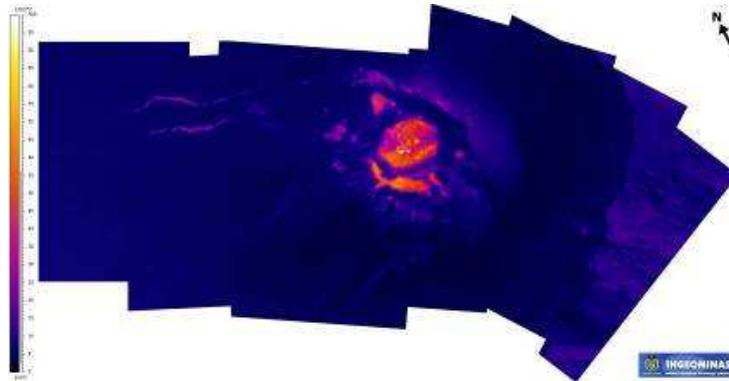
Igualmente, los días 6 y 17 de mayo se efectuaron sobrevuelos al volcán. En el sobrevuelo realizado el 6 de mayo, se observó salida de gas de coloración blanca

sin percibir olores azufrados. Utilizando la termocámara FLIR, se registraron imágenes térmicas del cono activo, donde se observa que algunas zonas en el interior del cráter principal registraron temperaturas de hasta 515°C, coincidentes con una geoforma a manera de cráter, dentro del cráter principal, con un diámetro entre 90 a 100 m., al que se le denominó como “Huey” (Figura 2.1.170).

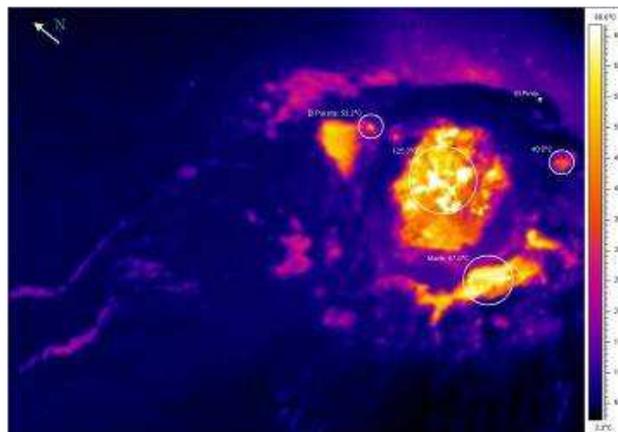


**Figura 2.1.170.** Imagen térmica del volcán Galeras del 6 de mayo de 2009, tomada con la termocámara FLIR, de acuerdo con la escala cromática, se registraron temperaturas de hasta 515° C en el fondo del cráter principal.

El 10 y 11 de junio, se observaron columnas de emisión de gases de color blanco alcanzando alturas de 400 m., sobre la cima. Este día se realizó un sobrevuelo de reconocimiento a Galeras. En el sobrevuelo se observó emisión de gas de color blanco desde el fondo del cráter principal y campos fumarólicos aledaños, el Paisita, Deformes, Chavas. Se tomaron imágenes térmicas del cono activo haciendo uso de la termocámara FLIR; en las imágenes se observan anomalías térmicas en algunas zonas del fondo del cráter volcánico que registraron temperaturas de hasta 125° C (Figura 2.1.171), mostrando una variación considerable con respecto a las temperaturas de hasta 515° C, estimadas en imágenes térmicas del 6 de mayo de 2009. Además se observa actividad térmica en las zonas de Marte con temperaturas de hasta 67° C y El Paisita, con temperaturas de hasta 53°C (Figura 2.1.172).

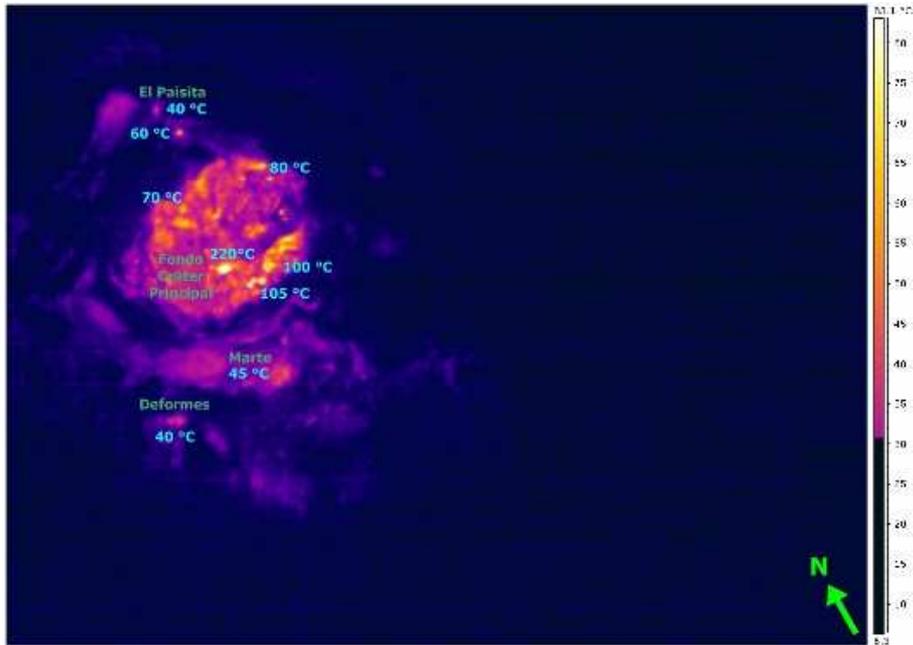


**Figura 2.1.171.** Mosaico de imágenes térmicas del cono activo, tomadas con la termocámara FLIR ThermoCAM, el 11 de junio, sobrevolando a una altura de 16500 pies sobre el nivel del mar (~979 m., sobre la cima del volcán). Se observa anomalía térmica en un amplio sector del fondo del cráter principal con temperaturas de hasta 125°C.



**Figura 2.1.172.** Imagen térmica de Galeras, sobrevolando el sector suroeste del cono activo el 11 de junio, a una altura de 16000 pies sobre el nivel del mar (~ 827 m., sobre la cima del volcán). De acuerdo con la escala cromática de la derecha, las temperaturas más altas (observadas en zonas del fondo del cráter) corresponden al color blanco, que indican temperaturas de hasta 125 °C.

Adicionalmente, el 23 de junio se tomaron imágenes térmicas del cono volcánico, en las que se registraron temperaturas de hasta 45° C, en zonas de la periferia del cráter y en general, entre 60 y 105° C al interior del mismo, exceptuando una pequeña zona al fondo del cráter que registró un máximo de 220° C (Figura 2.1.173).



**Figura 2.1.173.** Imagen térmica del cono activo de Galeras, tomada el 23 de junio de 2009 en horas de la mañana, sobrevolando a una altura de 16500 pies sobre el nivel del mar (~ 980 m., sobre el cráter), empleando la termocámara FLIR. De acuerdo con la escala cromática de la derecha (ajustada para efectos de visualización entre 6 y 83°C), las temperaturas más altas se registraron en el fondo del cráter, con valores de hasta 220°C.

← - - - Con formato: Derecha

## 2.1.9 CONCLUSIONES

- La evolución general de esos procesos eruptivos explosivos se ajusta a un modelo, que refleja un sistema capaz de generar sobrepresiones como consecuencia de material magmático localizado a niveles superficiales, con ciertas propiedades físico-químicas que pueden impedir o reducir significativamente la liberación de fluidos hacia la atmósfera. En las ocho erupciones registradas en el primer semestre de 2009, los procesos pre-eruptivos, han presentado similitudes en los cambios de la sismicidad y particularmente, en la relativa rapidez con la que evoluciona el sistema (días a horas). La evolución general de esos procesos eruptivos explosivos se ajusta a un modelo, que refleja un sistema capaz de generar sobrepresiones como consecuencia de material magmático localizado en niveles superficiales, con ciertas propiedades físico-químicas que pueden impedir o reducir significativamente la liberación de fluidos hacia la atmósfera. Este modelo se basa principalmente en los tipos de sismos registrados (eventos tipo Tornillo con ciertas características especiales, fracturas y microfracturas que se registran a niveles superficiales), el comportamiento del Dióxido de Azufre (fluctuante y con tendencia al descenso) y la observación de las manifestaciones de la actividad superficial (emisiones de gases y cenizas), en el contexto de domos emplazados en el fondo del cráter principal y con la visión de parámetros que se analizan de manera integral.
- De acuerdo con los valores de deformación, en los inclinómetros electrónicos de Cráter, Peladitos y Calabozo y aplicando el modelo de Mogi, se estimó que la deformación ocasionada entre mayo y septiembre de 2008 se generó a una profundidad entre 3 y 4 km, lo que implicaría que el volumen de material involucrado sería de aproximadamente 10.000.000 m<sup>3</sup>.
- En tanto que para el período entre octubre de 2008 y enero de 2009 estaría indicando que la fuente de deformación fue más profunda, ubicándose aproximadamente a 9 km, donde el volumen involucrado incrementaría en un orden de magnitud al período anterior.
- Entre finales de enero y finales de abril de 2009, utilizando el volumen considerado en el período anterior, se estimó la profundidad de la fuente de deformación aproximadamente a 4 km, lo que se puede relacionar con la actividad de este período, donde se presentaron seis erupciones.
- Finalmente, entre finales de abril y finales de junio de 2009, considerando el volumen del periodo anterior, se observa que la fuente que originó esta deformación es más profunda, cercana a los 7 km.

- La información obtenida a partir de los registros electromagnéticos previos y posteriores a los eventos eruptivos, permitieron evidenciar que las variaciones del campo eléctrico y del campo magnético, asociadas con la actividad volcánica, se relacionan principalmente con el movimiento del material producto de la erupción de tres maneras: material que es eruptado por el volcán hacia el exterior, el material que comienza a movilizarse al interior del sistema, como compensación de aquel que ha sido lanzado al exterior y, al material que se deposita en inmediaciones del lugar de las estaciones de monitoreo electromagnético. Estas observaciones se realizan de acuerdo con los registros obtenidos, ya que los cambios mas significativos se evidencian segundo después de iniciar el registro en las estaciones de monitoreo sísmológico y se mantienen por espacio de pocos minutos.
- En el área de fisicoquímica se destaca el descenso abrupto del flujo de  $\text{SO}_2$  antes de las erupciones, constatándose el sello que impide la salida de gases y que presuriza el sistema interno del volcán. Adicionalmente, Después de las erupciones se observó el aumento del flujo de  $\text{SO}_2$ , obviamente porque el sistema queda abierto.

## 2.2. ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA

El Volcán Doña Juana se localiza en la Cordillera Central en el sector nor-oriental del Departamento de Nariño (Figura 1) con coordenadas 1°30,31' N y 76°56,17' W y una altura de 4250 msnm en el dominio de los municipios de La Cruz, San Bernardo, Tablón de Gómez en Nariño y los municipios de Bolívar y Santa Rosa en el Cauca.

Es considerado como un estrato volcán andesítico, con un cráter de diámetro, cercano a 4 Km, sin glaciares y en el cual se encuentran varios domos de lava (Figura 2.2.1).



**Figura 2.2.1.** Imagen de la cima del volcán Doña Juana.

Sus depósitos son asociados con flujos de lava, flujos piroclásticos y cenizas. La amenaza que la actividad de este volcán puede acarrear, se relaciona con la ocurrencia de flujos piroclásticos, flujos de lodo o lahares y caídas de ceniza.

### 2.2.1. RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre de 2009, la red de vigilancia de Doña Juana estuvo conformada por:

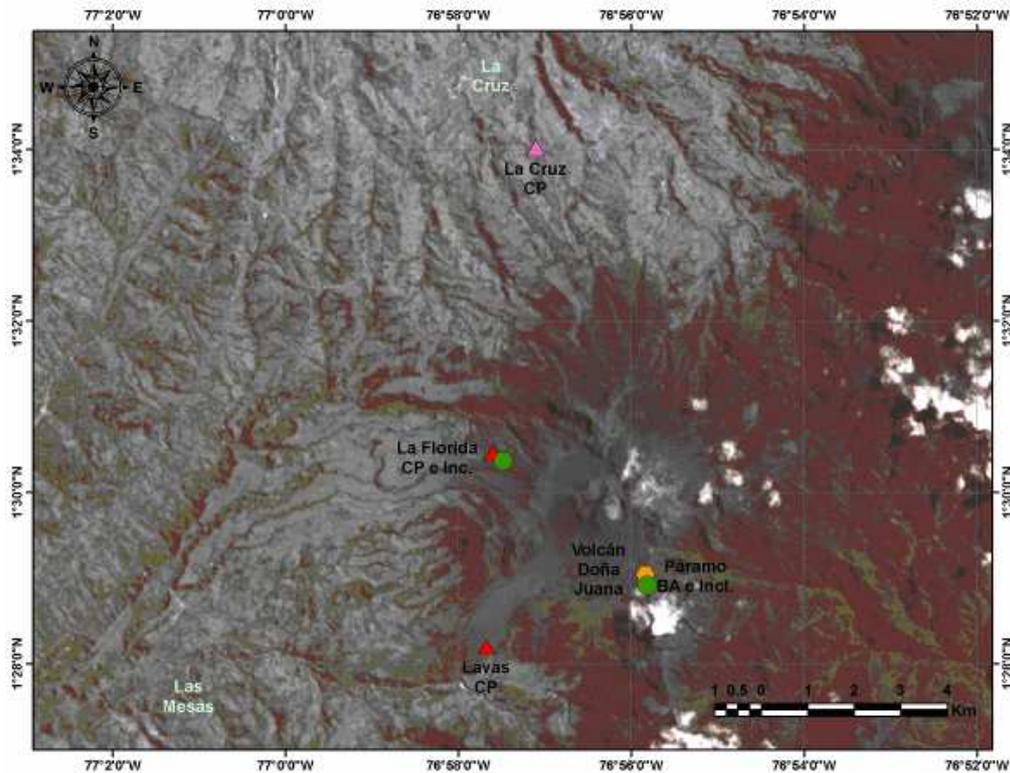
- Tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de Corto Periodo y una de Banda Ancha (Tabla 2.2.1, Figura 2.2.2). La recepción de la información que detectan estas estaciones en la sede del OVSP, se realiza a través de una red telemétrica tipo punto a punto con dos repetidoras instaladas en los cerros Morasurco y Cruz de Amarillo (Figura 2.2.3). La información de las estaciones

de banda ancha tanto de este volcán como de los volcanes Cumbal y Azufral se concentra en la Repetidora Cruz de Amarillo, mediante una unidad DCM, la cual optimiza el uso de equipo para radio telemetría.

- Dos inclinómetros electrónicos telemétricos (Tabla 2.2.1, Figura 2.2.2). La transmisión de los datos se realiza usando una red telemétrica tipo punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño.

Las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvieron un funcionamiento total del 77% (Figura 2.2.4). No se tuvo un 100% de funcionamiento, debido principalmente a los problemas presentados en las estaciones Páramo y Lavas. A continuación se relaciona el funcionamiento de cada estación:

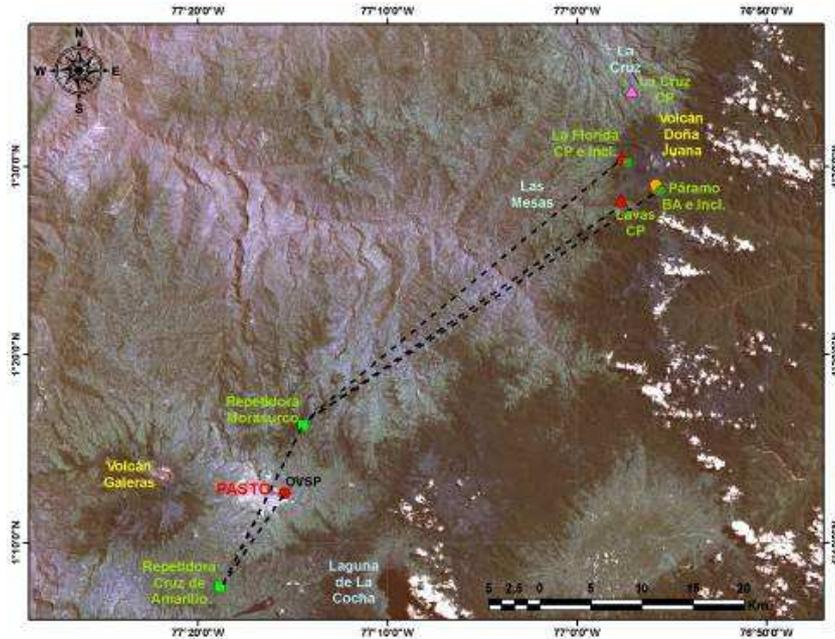
- La estación de corto período Lavas, la mayor parte del tiempo, envió la información en forma permanente; sin embargo, su porcentaje de operación llegó al 69% debido a interferencias que afectaron la calidad de la señal a causa de problemas de radio-enlace.
- La estación Florida, que tiene instalado un sismómetro de corto período, tuvo un porcentaje de funcionamiento del 78%; las horas que no funcionó fue debido a descarga de la batería del sistema de alimentación y a interferencias que afectaron la calidad de la señal.
- La estación sismológica de banda ancha Páramo fue la estación que tuvo el más bajo porcentaje de funcionamiento (47%) debido a problemas con el radio-enlace.
- El porcentaje de funcionamiento de los inclinómetros electrónicos Páramo y Florida fue del 89 y 100% respectivamente. Por problemas de radio-enlace y descarga de las baterías, algunas horas no se tuvo información.
- A finales del mes de abril se realizó el traslado a la nueva sede del Observatorio; por lo tanto, las estaciones estuvieron fuera de funcionamiento mientras se pasaron e instalaron los equipos.



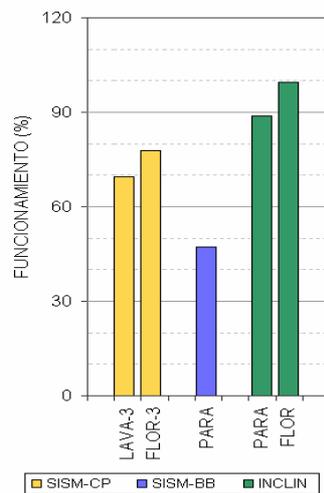
**Figura 2.2.2.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2009.

**Tabla 2.2.1.** Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2009.

Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a los domos (km)	Dirección respecto al cráter	Altitud (msnm)
Lavas	Analógica	Sismómetro Corto Período	Triaxial	4.10	SW	2954
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2.10	SE	3533
Florida	Analógica	Sismómetro Corto Período	Triaxial	2.30	W	3154
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2.10	SE	3533
I. Florida	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2.30	W	3154



**Figura 2.2.3.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2009. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos. Los triángulos rojos representan estaciones sísmicas de corto periodo; el triángulo magenta, una estación sísmica de corto periodo de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC); el hexágono naranja, una estación sísmica de banda ancha; los círculos verdes, inclinómetros electrónicos; y los cuadros verdes, estaciones repetidoras.



**Figura 2.2.4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2009, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

## 2.2.2 SISMOLOGÍA

Desde la puesta en funcionamiento de las estaciones sísmicas, los registros se han almacenado de manera continua en el tiempo, estas trazas se someten a una revisión que tiene por finalidad distinguir información relacionada con actividad sísmica de los tipos volcánica y tectónica. Puesto que la red de estaciones es relativamente nueva, es necesario generar una línea base de información y luego de analizar un volumen suficiente de registros proceder a caracterizarlos por tipos de sismicidad volcánica; por ahora, gracias a la información de la red sísmica de Galeras, Cumbal y la RSNC (Red Sismológica Nacional de Colombia), su nomenclatura hace referencia a los siguientes tipos:

Largo Periodo (LP).- sismos asociados a movimiento de fluidos en los que la fuente actúa de manera transitoria en el tiempo.

Tremor (TRE).- sismos asociados a movimiento de fluidos en los que la fuente actúa de manera persistente en el tiempo.

Tornillo (TOR).- sismos asociados con movimiento de fluidos en los cuales la geometría de la cavidad reúne condiciones especiales de tal manera que se comportan como cavidades resonantes o las condiciones de impedancia entre la parte solida o cavidad y la parte fluida (gas o magma), mantienen un contraste de impedancia tal que permite la resonancia de dicho fluido.

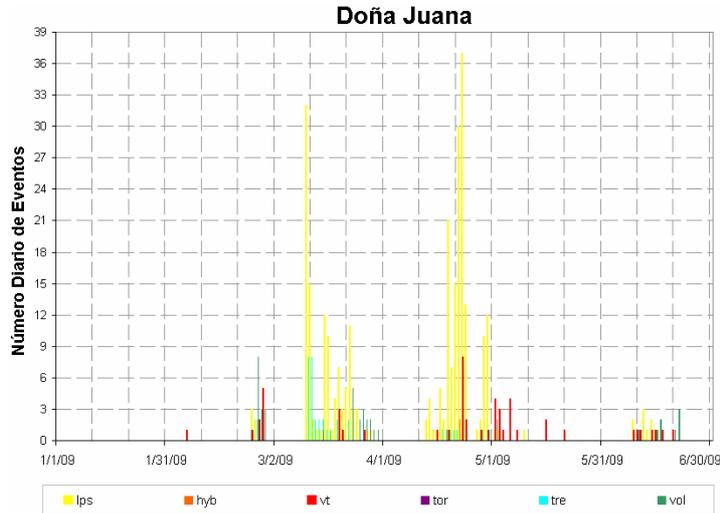
Volcano-Tectónico (VT).- sismos asociados con fracturamiento de material cortical.

Volcánico sin clasificar (VC).- sismos con génesis en procesos volcánicos, que no es fácil catalogarlos dentro de alguno de los grupos antes mencionados. Estos sismos serán analizados con mayor detalle cuando se demarque una línea base suficientemente amplia.

Gracias a la red de monitoreo sismológico que tiene el OVSP en la región del Volcán Doña Juana, se logró observar eventos sísmicos que muy seguramente están relacionados con la actividad volcánica, de los cuales aún falta caracterizar su naturaleza pero que caben dentro de sismos volcánicos (Tabla 2.2.2, Figura2.2.5).

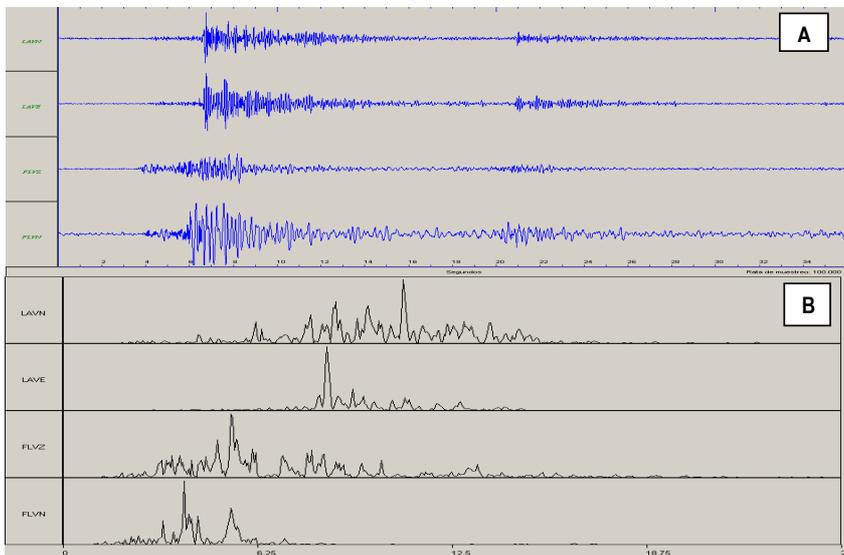
**Tabla 2.2.2.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2009.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						
	LPS	HYB	VT	TOR	TRE	VC	TOTAL
01-Ene-09 a 31-Ene-09	0	0	0	0	0	0	0
01-Feb-09 a 29-Feb-09	5	0	9	0	2	15	31
01-Mar-09 a 31-Mar-09	113	0	5	0	28	17	163
01-Abr-09 a 30-Abr-09	163	4	14	0	6	1	188
01-May-09 a 31-May-09	3	0	16	0	0	2	21
01-Jun-09 a 30-Jun-09	9	0	7	0	0	8	24

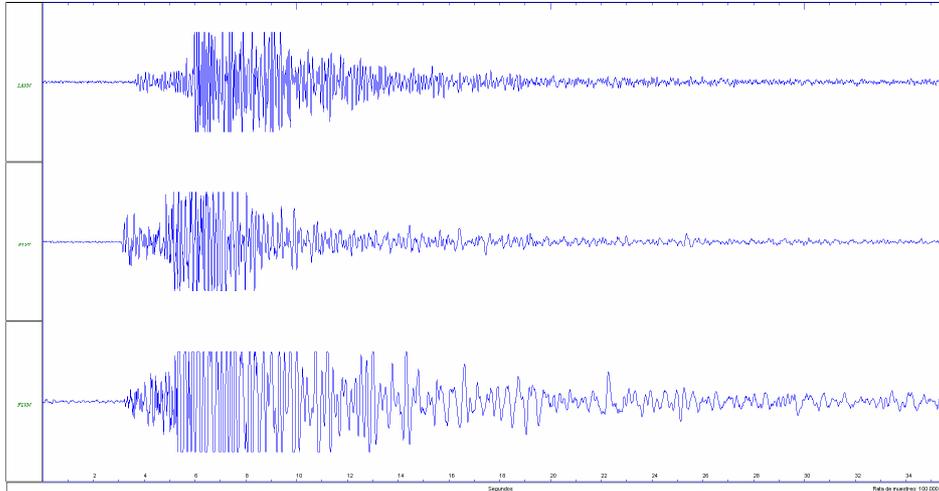


**Figura 2.2.5.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos durante el primer semestre de 2009.

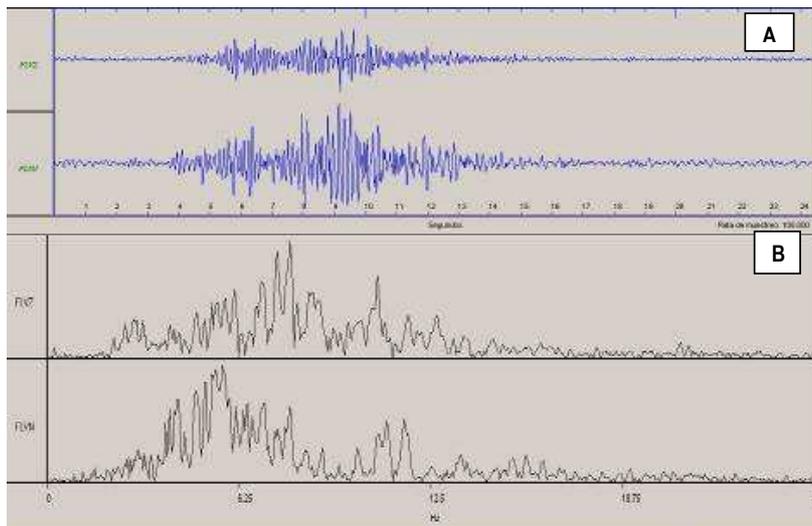
Teniendo en cuenta, la anterior aclaración, en las figuras de la 2.2.6 a 2.2.9 se muestra registros que probablemente están asociados con actividad volcánica.



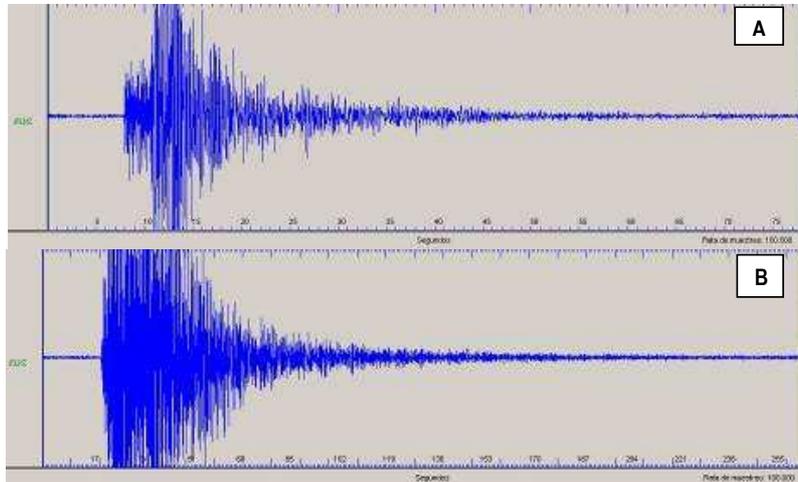
**Figura 2.2.6.** A) Sismogramas y B) espectros en frecuencia para las componentes norte-sur y este-oeste de la estación Lavas y las componentes vertical y norte-sur de la estación Florida. Este sismo se presentó el día 27 de febrero a las 05:32 p.m. El contenido espectral del evento en la estación Lavas muestra frecuencias que dominan alrededor de los 10 Hz, mientras que el espectro de la señal registrada por la estación Florida muestra frecuencias dominantes alrededor de los 5 Hz.



**Figura 2.2.7.** Sismogramas para las componentes norte-sur de la estación Lavas (superior), Florida componente este-oeste (central) y norte-sur (inferior). Este evento ocurrió el día 27 de febrero a las 05:28 p.m. Se puede observar que estos registros se encuentran saturados, esto es, el nivel energético del evento sísmico sobrepasa el rango que la estación puede tolerar.



**Figura 2.2.8.** A) Sismogramas y B) espectros en frecuencia para las componentes vertical, y norte-sur de la estación La Florida. Este evento ocurrió el día 11 de marzo a las 11:41 p.m.



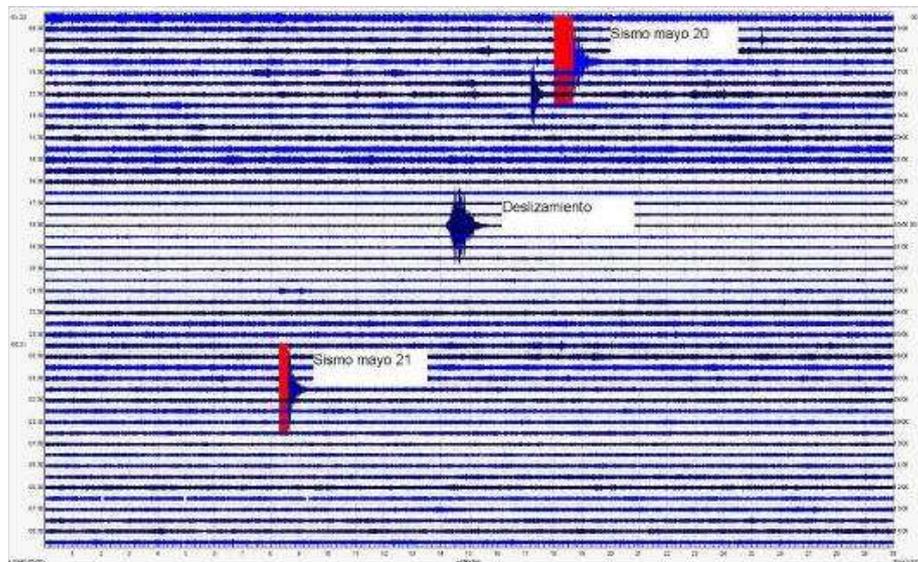
**Figura 2.2.9.** Eventos Volcano-Tectónicos registrados en la estación de la Florida, en el volcán Doña Juana. A) 20 de marzo de 2009 a las 01:08 a.m. B) 21 de marzo de 2009 a las 00:20 a.m.

Además, se destacan los eventos tipo VT, sismos relacionados con procesos de fracturamiento del material cortical, los cuales fueron reportados como sentidos por algunos habitantes de la región, al igual que se informó sobre la presencia de algunos deslizamientos coincidentes con estos eventos. Las características de las localizaciones de estos eventos de fractura se presentan en la tabla 2.2.3.

**Tabla 2.2.3.** Parámetros de localización de los eventos de fractura registrados en el volcán Doña Juana.

Fecha	Hora	Latitud N	Longitud W	Profundidad Km	Magnitud Local	Distancia a los domos
20/may/2009	11:19:59	1°30.82'	76°54.23'	6.5	2.8	4
20/may/2009	02:08:17	1°31,06'	76°54,18'	5,8	2,7	4

La figura 2.2.10, presenta el registro de las señales sísmicas relacionadas con los eventos tipo Volcano-Tectónicos del 20 y 21 de mayo, así como también la señal sísmica asociada con el deslizamiento en el sector del Cerro Montoso, de acuerdo a los registros obtenidos en la estación Páramo localizada a unos 3 km al sur-orientado de dicho cerro.



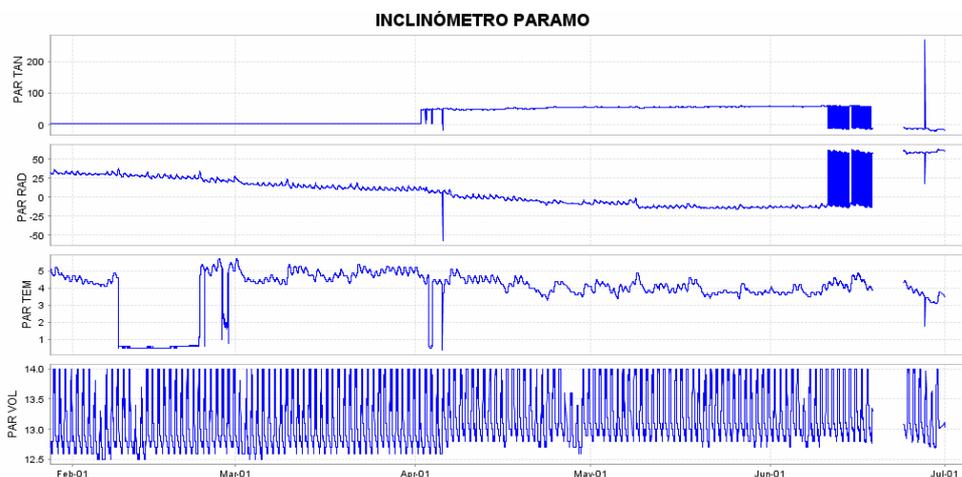
**Figura 2.2.10.** Registro sismográfico en la Estación Páramo de los sismos VT registrados en mayo 20 y 21 de 2009, así como de la señal sísmica producida por el deslizamiento en el Cerro Montoso.

Estos sismos se ubicaron hacia el sector nororiente de los domos del volcán, aproximadamente a 4 km en línea recta.

### 2.2.3 DEFORMACION

En la figura 2.2.11 se muestra el comportamiento de las componentes tangencial y radial del inclinómetro Páramo, así como también los valores de temperatura y voltaje registrados desde que se instaló el equipo. Se observa que la componente radial mostró inicialmente un comportamiento descendente que inicia a partir de los primeros días del mes de febrero y que en marzo logró estabilizarse. La componente tangencial no funcionó adecuadamente desde que se instaló. El sensor de temperatura mostró variaciones que están dentro de un comportamiento normal.

De igual forma que con la información sismológica de este volcán, es necesario tener el registro de un nivel base de actividad, con datos suficientes para realizar el análisis del fenómeno que nos permita identificar las variaciones asociadas a la actividad volcánica.



**Figura 2.2.11.** Componentes de inclinación radial, tangencial, temperatura y voltaje del inclinómetro Páramo, para el periodo comprendido entre el 28 de enero y el 30 de junio de 2009.

## 2.2.4 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Como se mencionó, muy probablemente asociado a la ocurrencia de los sismos del 20 y 21 de mayo, particularmente el primero; se registraron varios deslizamientos pequeños de tierra en la zona, resaltándose el ocurrido el 20 de mayo de 2009, en el Cerro Montoso, lugar localizado a unos 3 km al occidente-suroccidente de los domos del volcán Doña Juana.

Se visitó la zona del Cerro Montoso y se registró evidentemente la zona donde ocurrió un deslizamiento relativamente pequeño, que se originó en la parte alta, del costado occidental de dicho cerro. De acuerdo con los pobladores de la zona, se estima que el inicio de este deslizamiento se presentó hacia las 6:40 p.m. del 20 de mayo y se prolongó, de acuerdo con los sonidos escuchados por los pobladores, hasta aproximadamente las 9 de la noche. Cabe resaltar que a raíz de la sismicidad mencionada y los procesos de deslizamientos, se realizó una visita, generando un informe técnico que fue entregado a las autoridades y que puede consultarse en la página web del observatorio Vulcanológico en el siguiente enlace: [http://intranet.ingeminas.gov.co/pasto/Otros\\_Informes](http://intranet.ingeminas.gov.co/pasto/Otros_Informes).

Las figuras 2.2.12 y 2.2.13 muestran la situación del Cerro Montoso después de la ocurrencia del proceso de remoción en masa de mayo 20 de 2009.



**Figura 2.2.12.** Panorámica general del Cerro Montoso desde el suroccidente, tomada el 28 de mayo de 2009 desde el costado suroccidental. Se observa la huella del deslizamiento y de cicatrices de deslizamientos que debieron ocurrir en otras épocas.



**Figura 2.2.13.** Panorámica del deslizamiento registrado en el Cerro Montoso el 20 de mayo de 2009, tomada desde el Suroccidente. La zona afectada verticalmente, puede llegar a los 50 o 60 m por el arrastre del material.

### 2.1.5. CONCLUSIONES

- Las estaciones instaladas en el volcán Doña Juana, permiten obtener el registro de señales que se pueden catalogar como volcánicas. La mayor parte de estos sismos corresponden a eventos asociados con movimiento de fluidos. Se resalta la ocurrencia de eventos asociados con fracturamiento de material cortical que fueron reportados como sentidos por algunos pobladores en la zona.
- La evaluación de los parámetros monitoreados durante el primer semestre de 2009, han mostrado que existe actividad volcánica con un comportamiento relativamente estable, lo que permite establecer el **NIVEL VERDE (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

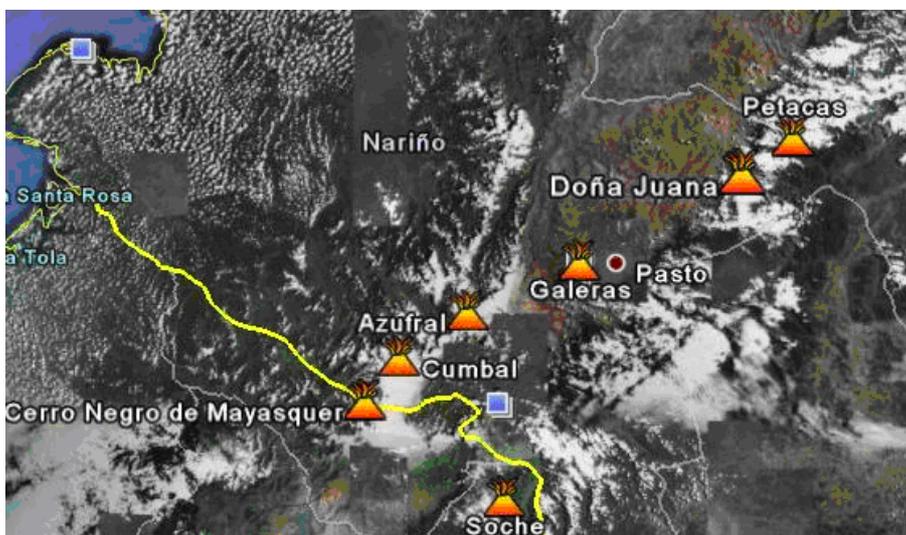
### 2.3 VOLCAN AZUFRAL

Azufral es un estrato-volcán, con un cráter de diámetro estimado en 3 Km., donde se encuentra una laguna cratérica llamada Laguna Verde (Figura 2.3.1), no registra la presencia de glaciares y sus depósitos están asociados con flujos de lava, flujos piroclásticos de gran magnitud y depósitos de caída (cenizas y pumitas). Este volcán nariñense es considerado como uno de los de mayor explosividad en el territorio Colombiano, resaltándose el potencial que tienen sus depósitos en términos de flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas.

El volcán Azufral se localiza en la cordillera Occidental, al suroriente del Departamento de Nariño (Figura 2.3.2), con una altura máxima de 4070 msnm, en los dominios de los municipios de Túquerres, Sapuyes, Mallama y Santa Cruz.



**Figura 2.3.1.** Panorámica de la laguna cratérica del volcán Azufral. Nótese el domo pequeño de color claro en la parte izquierda de la imagen y detrás de la laguna, los grandes domos. Septiembre 4 de 2008, 12:10 p.m.



**Figura 2.3.2.** Imagen tomada de Google Earth en donde se observan algunos volcanes del sur de Colombia y del norte del Ecuador, entre ellos están Doña Juana, Galeras, Azufral y Cumbal, monitoreados por el OVSP - INGEOMINAS.

### 2.3.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre de 2009, la red de vigilancia del volcán Azufral estuvo conformada por:

- Una estación sísmica telemétrica triaxial de Banda Ancha (Tabla 2.3.1, Figura 2.3.3). A través de una red telemétrica tipo punto a punto se recibe la información suministrada por esta estación en la sede del OVSP, usando una repetidora instalada en el cerro Cruz de Amarillo (Figura 2.3.4). La información de la estación de Banda Ancha Chaitán se concentra en la Repetidora Cruz de Amarillo mediante una unidad DCM, la cual optimiza el uso de equipo de telemetría.
- Un inclinómetro electrónico telemétrico (Tabla 2.3.1, Figura 2.3.3). La transmisión de los datos se realiza usando una red telemétrica tipo punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño.

Durante el primer semestre de 2009, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Azufral tuvieron un funcionamiento total del 54% (Figura 2.3.5). No se tuvo un porcentaje de funcionamiento del 100% debido básicamente a problemas del radio-enlace, principalmente en la estación sismológica. A continuación se relaciona el funcionamiento de cada estación:

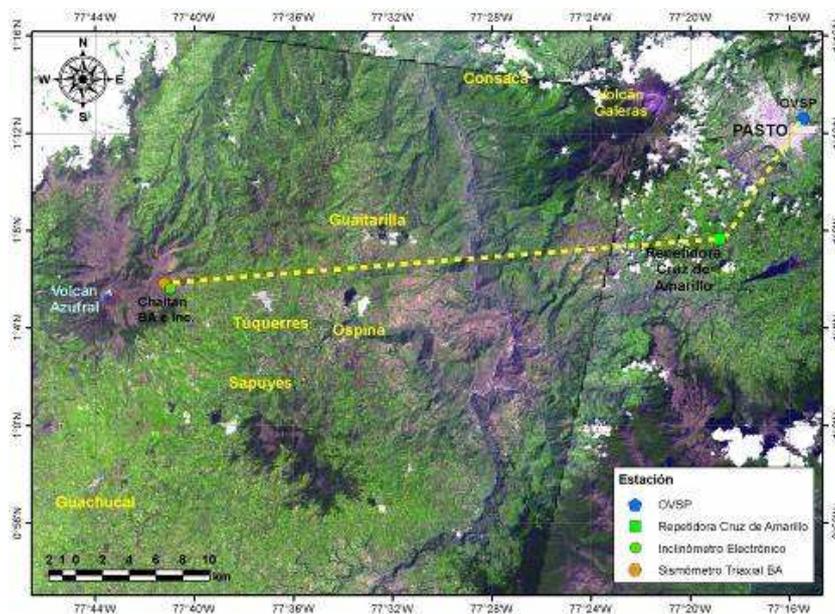
- La estación sismológica Chaitán inicialmente estuvo conformada por un sismómetro de corto período de componente vertical, pero por los problemas de radio-enlace presentados debido a la baja potencia de los radios fue necesario cambiar los equipos, y se instaló un sismómetro de banda ancha en el mes de junio, fecha a partir de la cual se considera un funcionamiento óptimo de la estación, considerándose para el semestre un funcionamiento del 16% (Figura 2.3.5).
- El porcentaje de funcionamiento del inclinómetro electrónico Chaitán fue del 92%. Esta estación no tuvo un porcentaje de funcionamiento del 100% debido principalmente a problemas de radio-enlace (Figura 2.3.5).

**Tabla 2.3.1.** Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante el primer semestre de 2009.

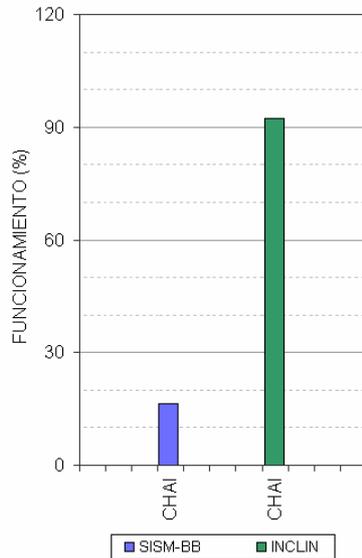
Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a la laguna cratérica (km)	Ubicación respecto a la laguna cratérica	Altitud (msnm)
Chaitan	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4.30	ENE	3730
Chaitan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4.30	ENE	3730



**Figura 2.3.3.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufra durante el primer semestre de 2009.



**Figura 2.3.4.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufra durante el primer semestre de 2009. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.

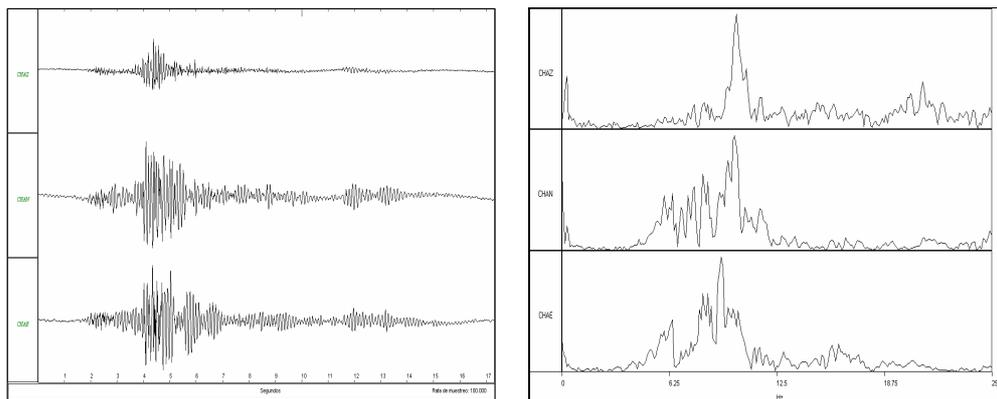


**Figura 2.3.5.** Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2009, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral.

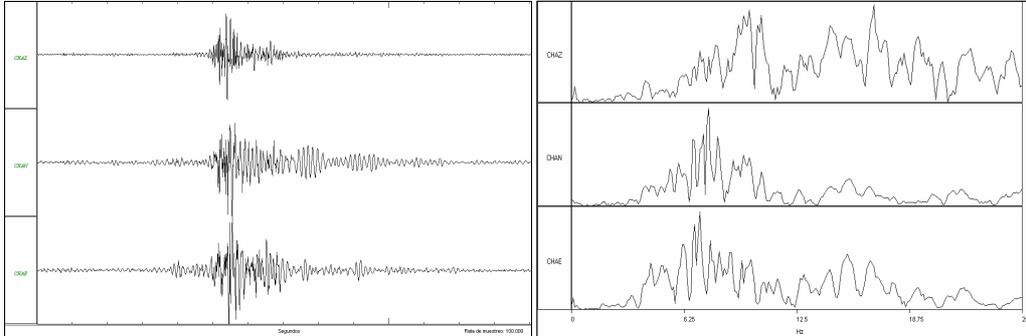
### 2.3.2 SISMOLOGÍA

Ya que la estación sismológica Chaitán no funcionó correctamente un gran porcentaje durante este primer semestre de 2009, por problemas de enlace de los radios, no fue posible hacer el respectivo análisis de comportamiento sísmico.

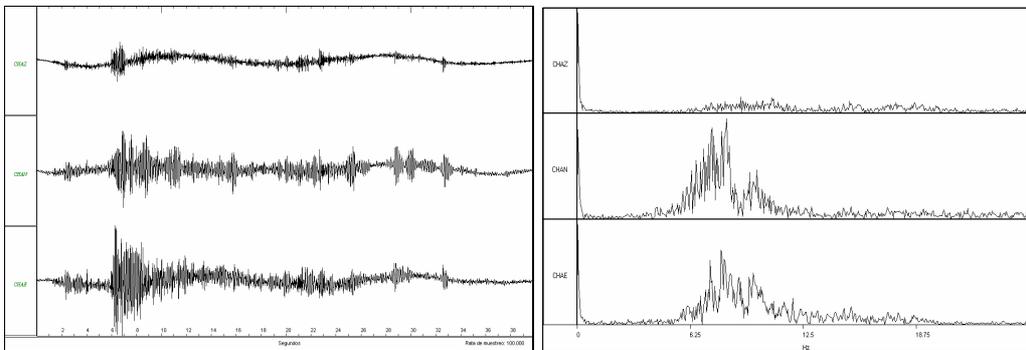
Las figuras de la 2.3.6 a 2.3.9 presentan algunas señales características, obtenidas por las estaciones sismológicas, de la red de vigilancia de Azufral.



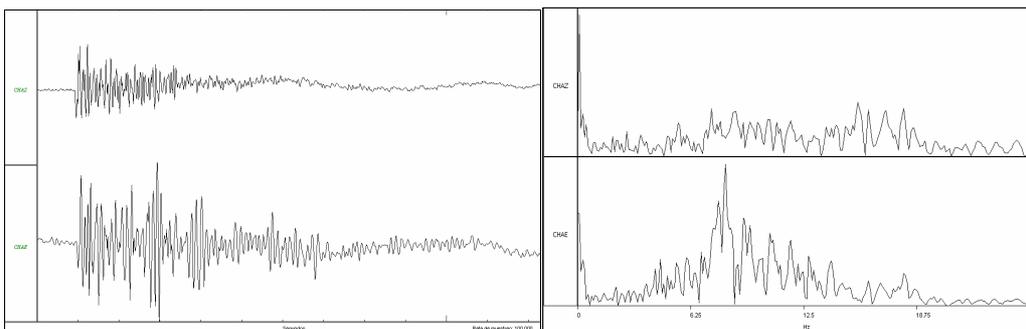
**Figura 2.3.6.** LP del 10 de junio de 2009 a las 2:43 p.m. en la estación de Banda Ancha Chaitán en sus tres componentes. A la izquierda los registros de velocidad en el dominio del tiempo y a la derecha los registros en el dominio de la frecuencia, con un valor dominante, alrededor de los 10 Hz.



**Figura 2.3.7.** LP del 11 de junio de 2009 a las 2:19 p.m. registrado en la estación de Banda Ancha Chaitán en sus tres componentes. A la izquierda los registros de velocidad en el dominio del tiempo y a la derecha los registros en el dominio de la frecuencia.



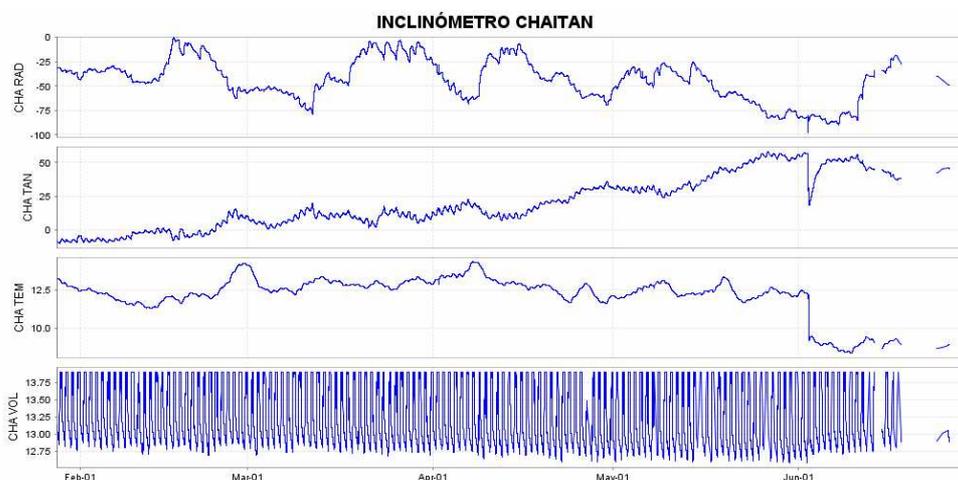
**Figura 2.3.8.** TRE del 16 de junio de 2009 a las 4:00 p.m. registrado en la estación de Banda Ancha Chaitán en sus tres componentes. A la izquierda los registros de velocidad en el dominio del tiempo y a la derecha los registros en el dominio de la frecuencia.



**Figura 2.3.9.** VT del 16 de junio de 2009 a las 8:54 p.m. registrado en la estación de Banda Ancha Chaitán en dos de sus componentes. A la izquierda los registros de velocidad en el dominio del tiempo y a la derecha los registros en el dominio de la frecuencia.

### 2.3.3 DEFORMACION

La figura 2.3.10 presenta la información de las componentes radial (orientación EW) y tangencial (orientación NS) del inclinómetro electrónico Chaitán. En su componente tangencial mantuvo una tendencia ascendente desde su instalación, además se observa que a mediados de febrero tendía a estabilizarse; mientras que su componente radial, mantuvo un comportamiento fluctuante. Sin embargo, es importante continuar con las observaciones hasta obtener una línea base que nos permita identificar las variaciones que pueden asociarse a la actividad volcánica.



**Figura 2.3.10.** Componentes de inclinación radial, tangencial, temperatura y voltaje del inclinómetro Chaitán, para el periodo comprendido entre el 28 de enero y el 30 de junio de 2009.

### 2.3.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante la campaña geofísica realizada por INGEOMINAS en el volcán Azufral en el transcurso de 2008, se pudo observar la actividad fumarólica en uno de sus domos. La zona de actividad fumarólica del domo no tiene vegetación y por el contenido de azufre emanado, presenta un color amarillo verdoso (Figura 2.3.11). También se pudo constatar que desde el fondo de la laguna salen burbujas de gas que alcanzan la superficie. Además, el olor a gases azufrados es permanente en la cima.



**Figura 2.3.11.** Panorámica de la laguna cratérica del volcán Azufraal, nótese el domo pequeño de color claro en la parte izquierda de la imagen y atrás de la laguna, los domos grandes. Septiembre 4 de 2008, 12:10 p.m.

De los días 13 de abril, 15 y 23 de junio de 2009 se tienen algunos registros fotográficos, donde se puede observar que la actividad fumarólica es relativamente baja (Figuras 2.3.12, 2.3.13 y 2.3.14).



**Figura 2.3.12.** Fotografía tomada durante el sobrevuelo del día 13 de abril de 2009 a las 8:49 a.m.



**Figura 2.3.13.** Observaciones de la Laguna Verde del volcán Azufra correspondientes al día 15 de junio de 2009 a la 1:29 p.m.



**Figura 2.3.14.** Observaciones de la Laguna Verde del volcán Azufra correspondientes al día 23 de junio de 2009 a las 8:22 a.m.

### **2.3.5. CONCLUSIONES**

- La evaluación de los parámetros monitoreados durante el primer semestre de 2009, han mostrado que existe actividad volcánica con un comportamiento relativamente estable, lo que permite establecer el **NIVEL VERDE (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 2.4 VOLCAN CUMBAL

El Complejo volcánico de Cumbal está conformado por dos estrato-volcanes andesíticos activos, conocidos como Mundo Nuevo y Plazuelas, y al menos tres pequeños cráteres adventicios. El complejo volcánico es activo, se localiza en la Cordillera Occidental, al suroriente del Departamento de Nariño (Figura 2.4.1), Plazuelas en las coordenadas de latitud norte: 0°57'21,31", longitud occidente: 77°53'13,49" y altura máxima de 4764 msnm y, Mundo Nuevo en las coordenadas de latitud norte: 0°57'3,52", longitud occidente: 77°53'50,12" y altura de 4700 msnm.



Figura 2.4.1. Imagen del complejo volcánico Cumbal.

El Cumbal se ubica en los dominios del municipio del mismo nombre a 12 km., al NW de la cabecera municipal de Cumbal. Sus depósitos son flujos de lava superpuestos, escóreas en bloques y masivos, flujos piroclásticos (de ceniza y escoria, de ceniza y pómez, de ceniza) y flujos de escombros y piroclastos de caída que recubren toda el área.

### 2.4.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre de 2009, la red de vigilancia del volcán Cumbal estuvo conformada por:

- Dos estaciones sísmicas telemétricas: una triaxial de Banda Ancha y una de corto período de componente vertical (Tabla 2.4.1, Figura 2.4.2). Hasta el mes de mayo la estación sismológica Limones era una estación de corto período de componente vertical, pero a partir del mes de junio se cambió el equipo y se instaló un sismómetro de banda ancha; adicionalmente, la estación La Mesa presentó problemas en el radio y al finalizar el semestre no estuvo en funcionamiento por falta de equipo para transmitir la señal hasta la sede del

Observatorio. La recepción de la información que detectan estas estaciones en la sede del OVSP, se realiza a través de una red telemétrica tipo punto a punto con una repetidora instalada en el cerro Cruz de Amarillo (Figura 2.4.3). La información de la estación de Banda Ancha Limones se concentra en la Repetidora Cruz de amarillo mediante una unidad DCM (*Güralp Systems Ltd.*), la cual optimiza el uso de equipo de telemetría.

- Dos inclinómetros electrónicos telemétricos (Tabla 2.4.1, Figura 2.4.2). La transmisión de los datos se realiza usando una red telemétrica tipo punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño.

En este semestre, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Cumbal tuvieron un funcionamiento total del 78% (Figura 2.4.4). No se tuvo un porcentaje de funcionamiento del 100% debido básicamente a problemas en la estación La Mesa, la cual no se ha podido reinstalar por falta de radios para la telemetría. A continuación se relaciona el funcionamiento de cada estación:

- La estación Limones estuvo conformada por un sismómetro de corto período de componente vertical hasta inicios del mes de mayo. Esta estación dejó de enviar información desde el 8 de mayo debido a un daño ocurrido en los equipos (VCO y radio) ocasionado por una tormenta eléctrica. En el mes de junio se instaló un sismómetro de banda ancha y desde su instalación no presentó problemas en su funcionamiento.
- La estación de corto período La Mesa, no estuvo funcionando desde el mes de mayo debido a daño presentado en el radio. Al finalizar el primer semestre de 2009 no se contó con una pareja de radios para reinstalar la estación.
- El porcentaje de funcionamiento de los inclinómetros electrónicos Limones y La Mesa fue del 86 y 99%. La tormenta eléctrica ocurrida el 8 de mayo también causó daño en la tarjeta y sensor del inclinómetro Limones. A comienzos del mes de junio se instaló equipo nuevo.

**Tabla 2.4.1.** Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2009.

Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al cráter Mundo Nuevo (km)	Ubicación respecto al cráter mundo nuevo	Altitud (msnm)
La Mesa	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2.50	ESE	4270
La Mesa	Analógica	Sismómetro Corto Período	Triaxial	2.50	ESE	4270
Limones	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2.00	SE	4232
Limones	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2.00	SE	4232

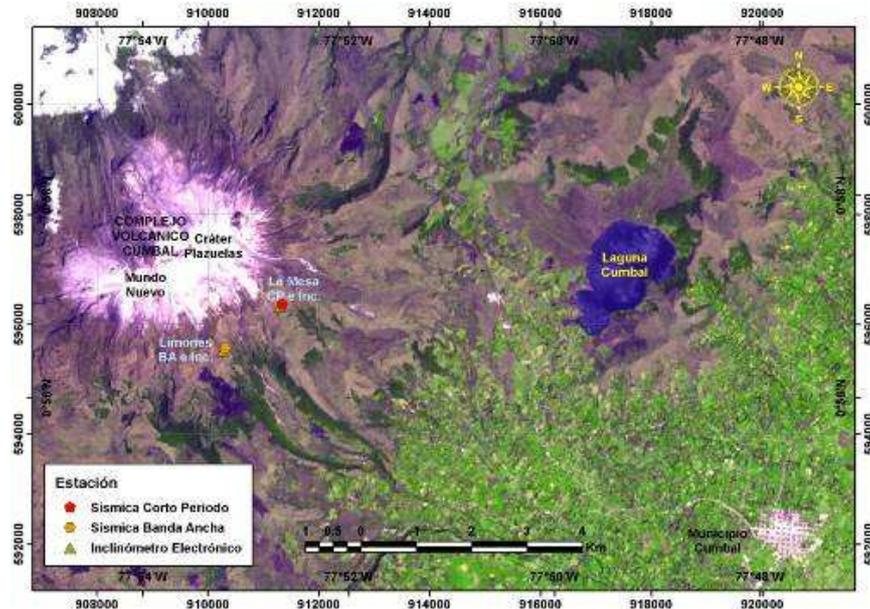


Figura 2.4.2. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2009.

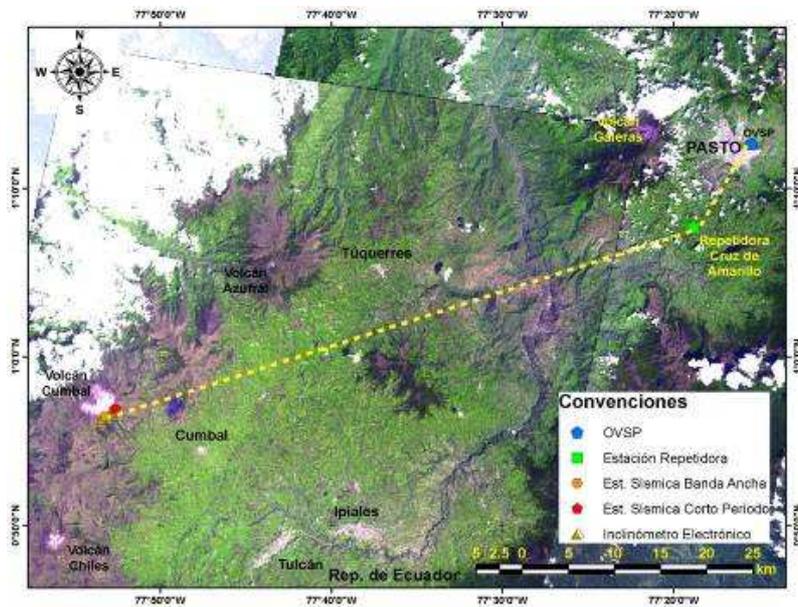
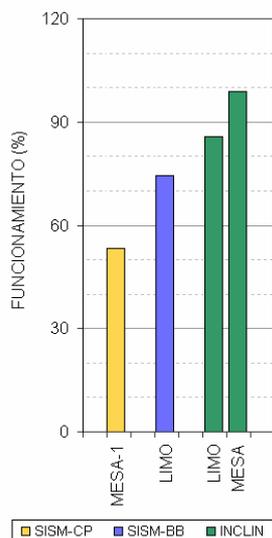


Figura 2.4.3. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2009. Las líneas punteadas muestran los enlaces telemáticos utilizados para la transmisión de los datos.



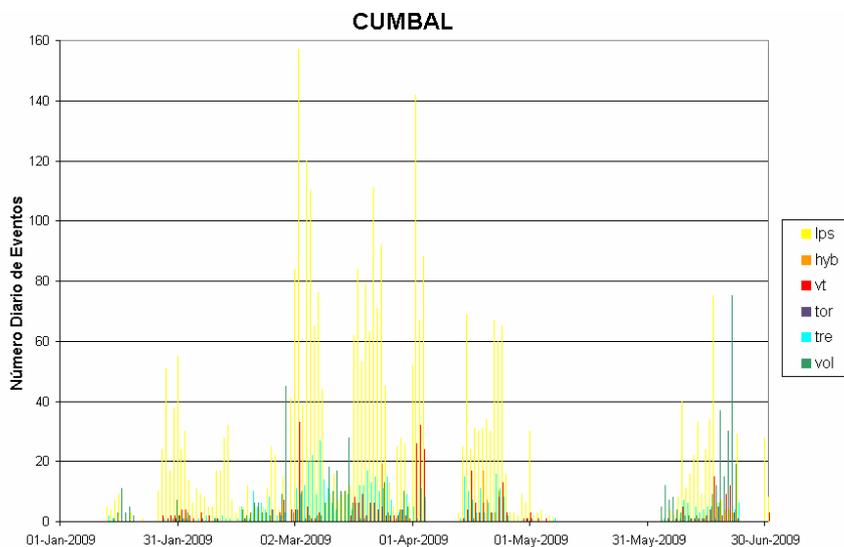
**Figura 2.4.4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento, durante el primer semestre de 2009, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal.

## 2.4.2. SISMOLOGIA

La sismicidad registrada en Cumbal, desde su instrumentación, ha permitido distinguir los diferentes tipos de eventos volcánicos, aun cuando por el momento existen registros para los cuales no es posible precisar el tipo de fuente asociada. En el primer semestre del 2009 se presentaron eventos relacionados con movimiento de fluidos y también con fracturamiento de material cortical (Tabla 2.4.2, Figura 2.4.5).

**Tabla 2.4.2.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2009.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL
	LPS	HYB	VT	TOR	TRE	VC	
01-Ene-09 a 31-Ene-09	224	0	8	4	4	35	275
01-Feb-09 a 29-Feb-09	332	0	32	5	63	88	520
01-Mar-09 a 31-Mar-09	1568	24	114	16	292	167	2181
01-Abr-09 a 30-Abr-09	857	68	148	13	121	1	1208
01-May-09 a 31-May-09	42	0	5	2	1	0	50
01-Jun-09 a 30-Jun-09	360	0	62	8	55	243	728



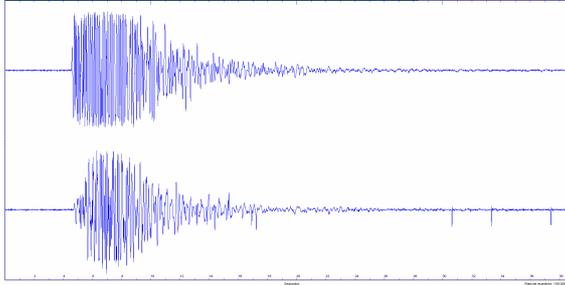
**Figura 2.4.5.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos durante el primer semestre de 2009.

Por otra parte, es importante anotar que los eventos catalogados como volcánicos sin clasificar (VC), han disminuido paulatinamente su registro, en la medida en que se va conociendo el tipo de sismicidad que se está presentando en el volcán Cumbal (Tabla 2.4.2, Figura 2.4.5).

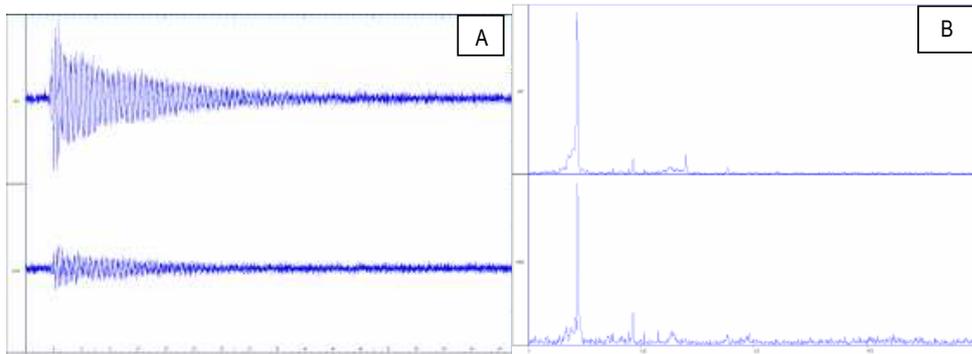
En las figuras de la 2.4.6 a 2.4.12 se presentan señales obtenidas por las estaciones sismológicas de Cumbal.

Es interesante el registro de eventos tipo Tornillo, varios de ellos con características monocromáticas, donde se observa que la coda del evento decae lentamente en amplitud y en los espectros un armónico de nivel energético sobresaliente. La frecuencia dominante para la mayoría de eventos está entre 1 y 4 Hz (Figuras 2.4.13 y 2.4.14). Estos eventos se observan en las dos estaciones instaladas: Limones y La Mesa, y su comportamiento en frecuencia evidencia la similitud en el proceso de fuente.

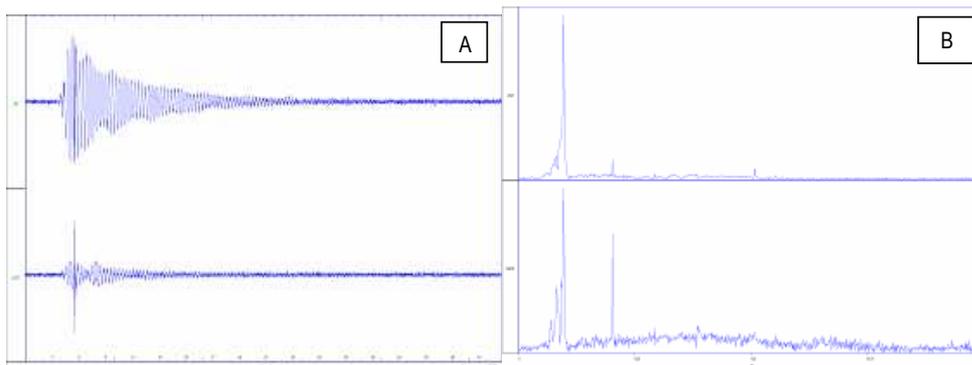
Los eventos tipo LP se caracterizaron por exhibir una banda de frecuencias relativamente angosta, con pulsos bien definidos, donde la dominante muestra valores bajos (por debajo de los 2 Hz) y que en algunos casos se observan armónicos.



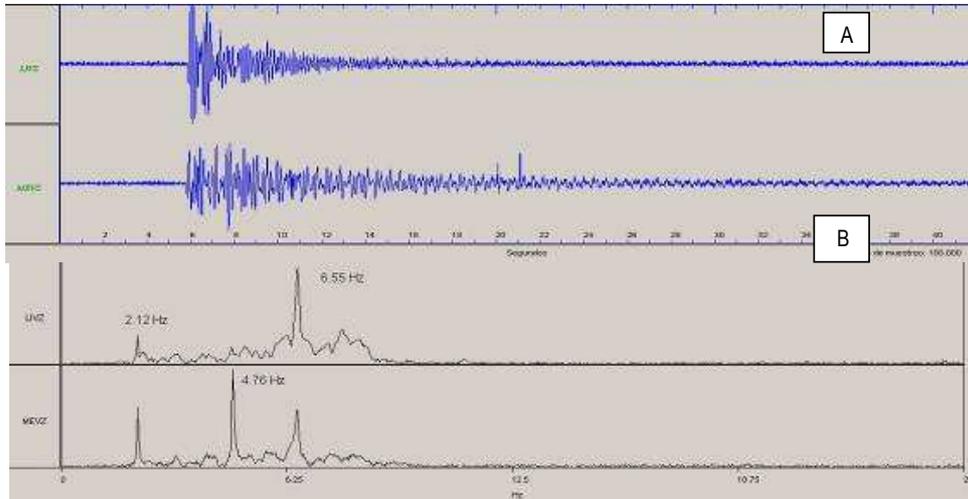
**Figura 2.4.6.** Sismogramas para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La Mesa (inferior). Este evento ocurrió el día 24 de febrero a las 00:28 a.m. Estos registros se encuentran saturados, lo que significa que el nivel energético del evento sísmico sobrepasa el rango de amplitud que la estación puede tolerar.



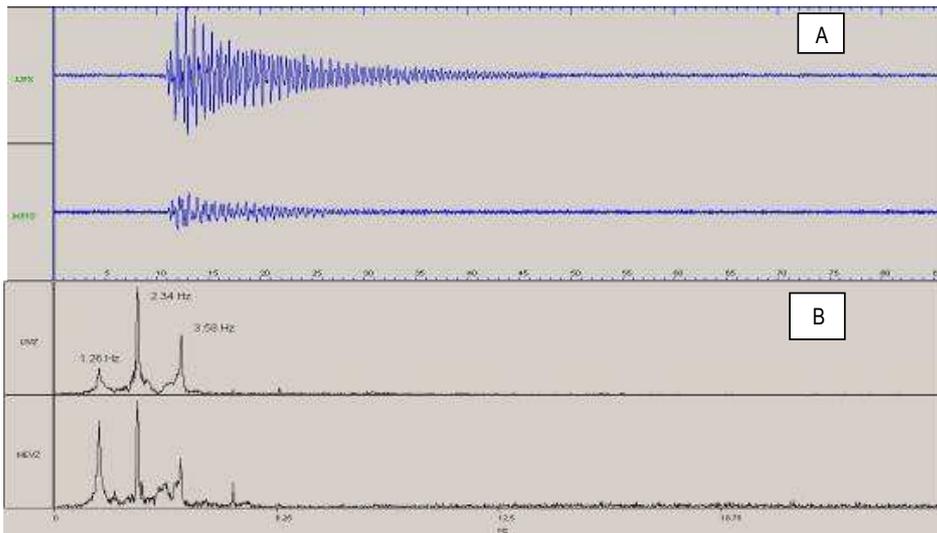
**Figura 2.4.7.** Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La mesa (inferior) de un evento tipo Tornillo ocurrido el 7 de febrero a las 08:27 p.m. Los espectros muestran un armónico de nivel energético sobresaliente de baja frecuencia. Estas son algunas de las características típicas de los eventos tipo Tornillo.



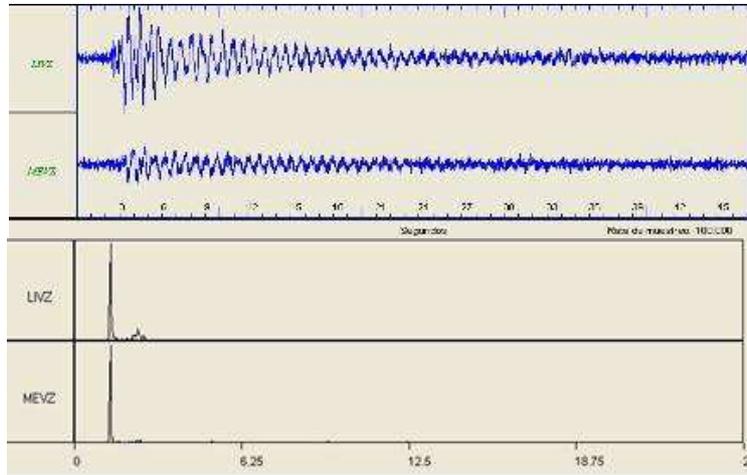
**Figura 2.4.8.** Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La mesa (inferior) de un evento tipo Tornillo ocurrido el día 22 de febrero a las 10:37 p.m. Los espectros muestran un armónico de nivel energético sobresaliente en las bajas frecuencias.



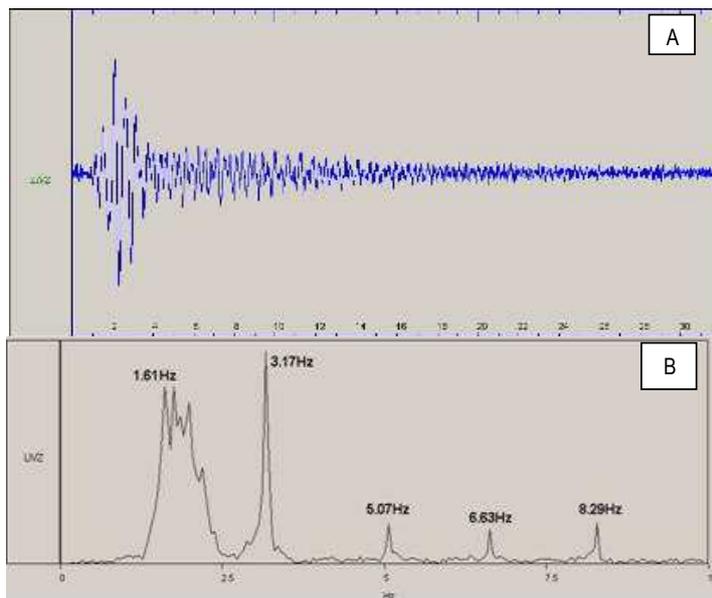
**Figura 2.4.9.** Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La mesa (inferior) de un evento tipo Tornillo ocurrido el 24 de marzo a las 04:14 a.m.



**Figura 2.4.10.** Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para las componentes verticales de las estaciones Limones (superior) y La mesa (inferior), de un evento tipo Tornillo ocurrido el 24 de marzo a las 08:35 a.m.



**Figura 2.4.11.** Sismogramas (superior) y espectro en amplitud (inferior), para las componentes verticales de las estaciones Limones y La Mesa de un evento tipo Tornillo ocurrido el día 17 de abril a las 12:14 a.m. Los espectros muestran un armónico de nivel energético sobresaliente en las bajas frecuencias.



**Figura 2.4.12.** Sismogramas (A) y espectro en amplitud (B), para la componente vertical de las estación Limones de un evento tipo LP del volcán Cumbal, registrado el 7 de mayo a las 3:41 p.m.

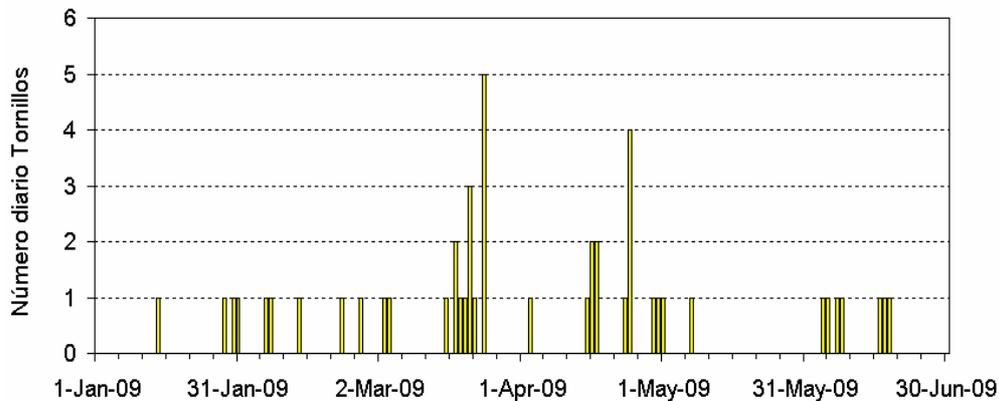


Figura 2.4.13. Número de eventos tipo tornillo ocurridos entre enero y junio de 2009.

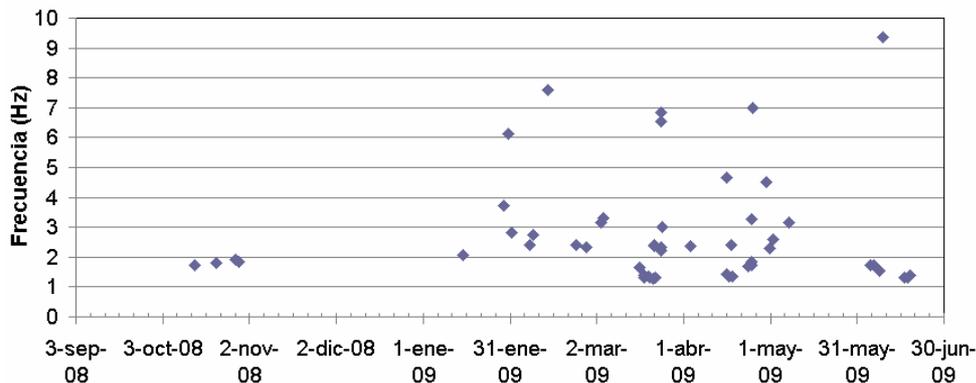


Figura 2.4.14. Comportamiento de la frecuencia dominante para los eventos tipo tornillo ocurridos entre septiembre de 2008 y junio de 2009.

### 2.4.3 DEFORMACION

En cuanto a los fenómenos de deformación del edificio volcánico, la información de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico La Mesa continuaron con una tendencia ascendente en su componente radial y en su componente tangencial mostró un comportamiento fluctuante. Por otra parte, la componente tangencial del inclinómetro Limones mostró que la tendencia ascendente con que venía desde diciembre de 2008, luego al parecer presenta un comportamiento estable a partir del mes de junio; la componente radial presentó problemas técnicos en su registro.

En las figuras 2.4.15 y 2.4.16 se presentan las componentes Radial y Tangencial de los inclinómetros electrónicos La Mesa y Limones respectivamente.

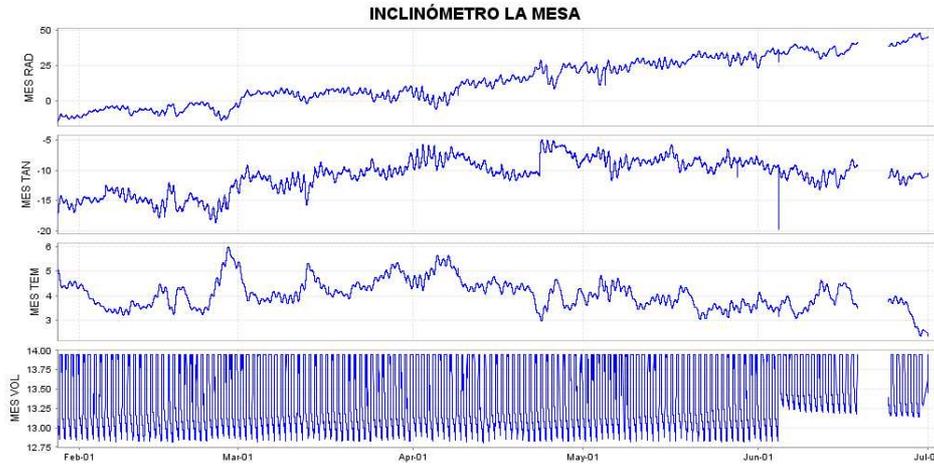


Figura 2.4.15. Componentes de inclinación radial, tangencial, temperatura y voltaje del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 28 de enero y el 30 de junio de 2009.

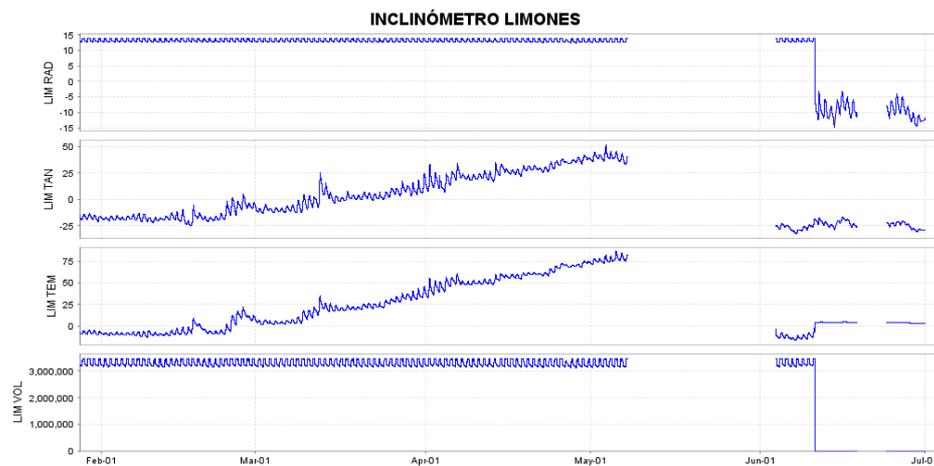


Figura 2.4.16. Componentes de inclinación radial, tangencial, temperatura y voltaje del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 28 de enero y el 30 de junio de 2009.

#### 2.4.4 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante la instalación de las estaciones de monitoreo, fue posible observar las emisiones de gases desde las fumarolas El verde y Plazuelas, como se muestra en la figura 2.4.17. En la imagen las columnas por acción del viento se tienden hacia el suroccidente.



**Figura 2.4.17.** Imagen del volcán Cumbal, se observa emisión desde las fumarolas El Verde (derecha) y Plazuelas (izquierda). Septiembre 24 de 2008, 07:04 a.m.

En las figuras 2.4.18 y 2.4.19 se muestran emisiones registradas durante el mes de abril.



**Figura 2.4.18.** Imagen del volcán Cumbal, tomada el día 2 de abril de 2009 a las 9:51 a.m.



**Figura 2.4.19.** Imagen del cráter del volcán Cumbal, tomada el 17 de abril de 2009 a las 6:57 a.m.

#### **2.4.5. CONCLUSIONES**

- Las estaciones instaladas en el volcán Cumbal, permiten obtener el registro de señales que se pueden catalogar como volcánicas. La sismicidad del complejo volcánico indica que su actividad, en su gran mayoría, se debe a la dinámica de fluidos en el sistema, que cuenta con fuentes cuya excitación es principalmente de carácter transitoria en el tiempo. Además, existen condiciones de conductos o cavidades que junto a la forma de excitación de la fuente y el material involucrado, generan eventos tipo Tornillo. La acumulación de esfuerzos, que probablemente se debe a la dinámica interna del volcán, es tal que genera fracturamiento de material cortical con la consecuente propagación de ondas sísmicas que en el sismograma se clasifican como eventos volcano-tectónicos (VT). Es importante mencionar que de acuerdo con las investigaciones relacionadas, los eventos tipo Tornillo han ocurrido en volcanes de tipo andesítico y en diferentes fases de la actividad, que pueden ser pre-eruptivos, post-eruptivos o en condiciones de actividad normal.
- La sismicidad del volcán ha presentado fluctuaciones, resaltándose en los meses de marzo y abril incremento en la ocurrencia de eventos relacionados con dinámica de fluidos.
- Se resalta la ocurrencia de eventos asociados con fracturamiento de material cortical que fueron reportados como sentidos por algunos pobladores y que al parecer influenciaron la ocurrencia de algunos deslizamientos pequeños en la zona.
- Se recuerda que este volcán tiene la presencia de varios campos fumarólicos que presentan fluctuaciones en las tasas de emisión y que prácticamente se han evidenciado desde el año 1988.

- La evaluación de los parámetros monitoreados durante el primer semestre de 2009, han mostrado que existe actividad volcánica con un comportamiento relativamente estable, lo que permite establecer el **NIVEL VERDE (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 2.5. BIBLIOGRAFÍA

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Reportes Mensuales de Actividad del Volcán Galeras. Meses de julio a diciembre de 2008 y entre enero a junio de 2009. Varios autores. Informes inéditos. Pasto. 2008, 2009.

Información complementaria puede ser consultada en la página web del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto en: <http://intranet.ingominas.gov.co/pasto/>

## 2.6 PERSONAL PARTICIPANTE

A continuación se hace referencia al personal del grupo técnico que han participado de diferente manera en el análisis, procesamiento e interpretación de la información que se genera a partir de los diferentes parámetros de monitoreo del Volcán Galeras en el segundo semestre del 2008.

Personal INGEOMINAS Observatorio Vulcanológico de Pasto	
Diego Mauricio Gómez Martínez	Adriana Micaela Ortega Estupiñán
Oscar Ernesto Cadena	Anita Patricia Ponce Villarreal
Carlos Andrés Laverde Castaño	Betty Silva Parra
Jhon Meneses	Roberto Armando Torres Corredor
Richard Andrés Mier	Dario Arcos
Lourdes Narváez Medina	Grupo de Estudiantes

