

INGEOMINAS – OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE PASTO

San Juan de Pasto, 16 de enero de 2010

A partir de la evaluación de los diferentes parámetros del monitoreo volcánico de Galeras, en el período comprendido entre el 5 y el 11 de enero de 2010, se consideró mantener el nivel de actividad en Naranja ■ (II : “*Erupción probable en término de días o semanas*”).

Dentro de la semana que se evalúa en este informe se destacan los eventos Volcano-tectónicos (VT) ocurridos entre el 6 y el 8 de enero, cuatro de los cuales fueron sentidos por personas en el área de influencia de Galeras. En total fueron 12 sismos con magnitudes de hasta 2.7 grados en la escala de Richter, estos eventos se localizaron a unos 5 Km hacia el noreste del cráter principal a profundidades entre los 6 y 8 Km. Se recibieron reportes de que los eventos fueron sentidos en sectores rurales y urbanos del municipio de Pasto tales como Postobón, Villacampestre, Maridiaz, Parque Infantil, Aranda y Briceño. La Figura 1 muestra la localización de dichos sismos.

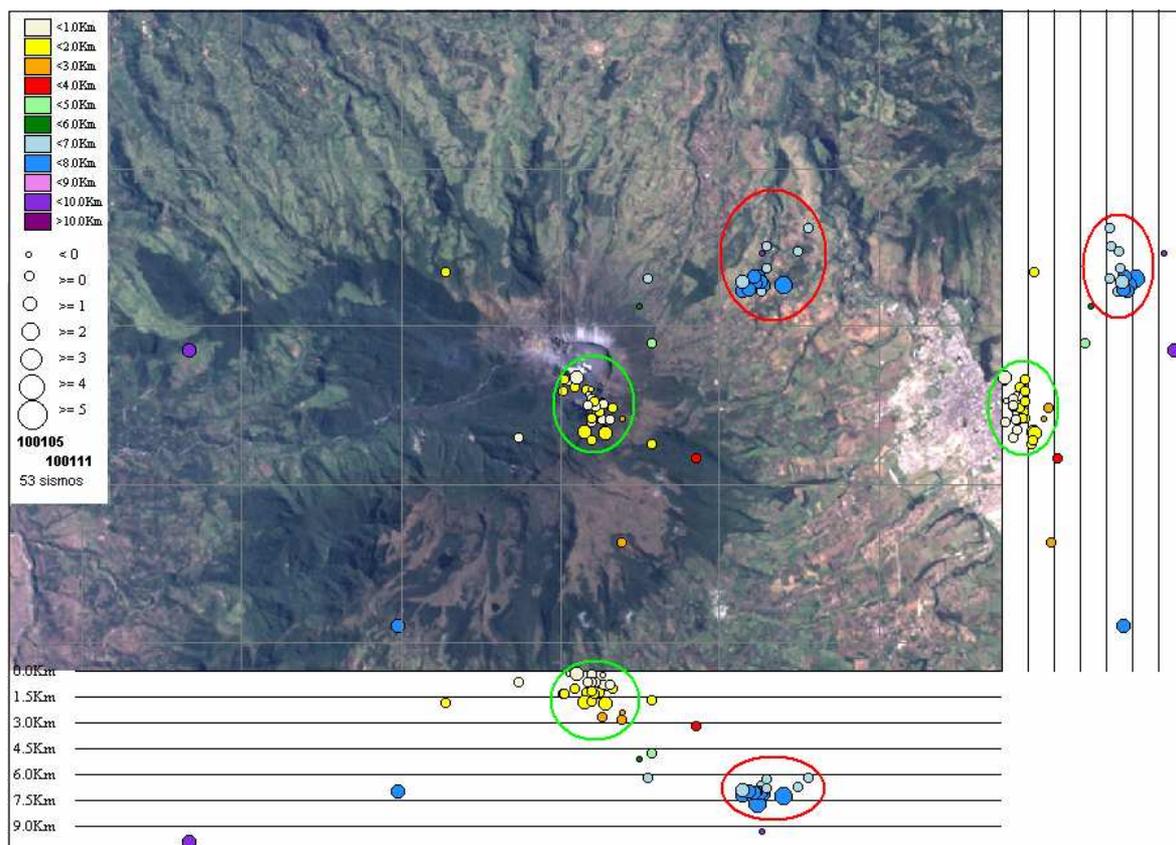


Figura 1. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura e híbridos registrados entre el 5 y el 11 de enero de 2010, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1.5 km de profundidad, el tamaño de los círculos que representan los sismos depende de su M_L y el color se relaciona con su profundidad de acuerdo con las convenciones ubicadas en la parte superior izquierda de la figura. Los círculos rojos encierran los sismos entre los que se encuentran aquellos que fueron sentidos por personas de diferentes sectores del área de influencia de Galeras. Los círculos verdes encierran la sismicidad compuesta especialmente de eventos tipo Híbrido (mezcla de procesos de fractura y movimiento de fluidos).



En la figura 2 se muestra el sismograma con las señales correspondientes a los eventos VT reportados como sentidos, hay que resaltar que el cuarto sismo sentido (sentido 4) registrado el 8 de enero a las 2:36 p.m. que fue el menor en magnitud, 1.5 grados, sin embargo, fue sentido por personas en el barrio Briseño, al noroccidente de la ciudad de Pasto.

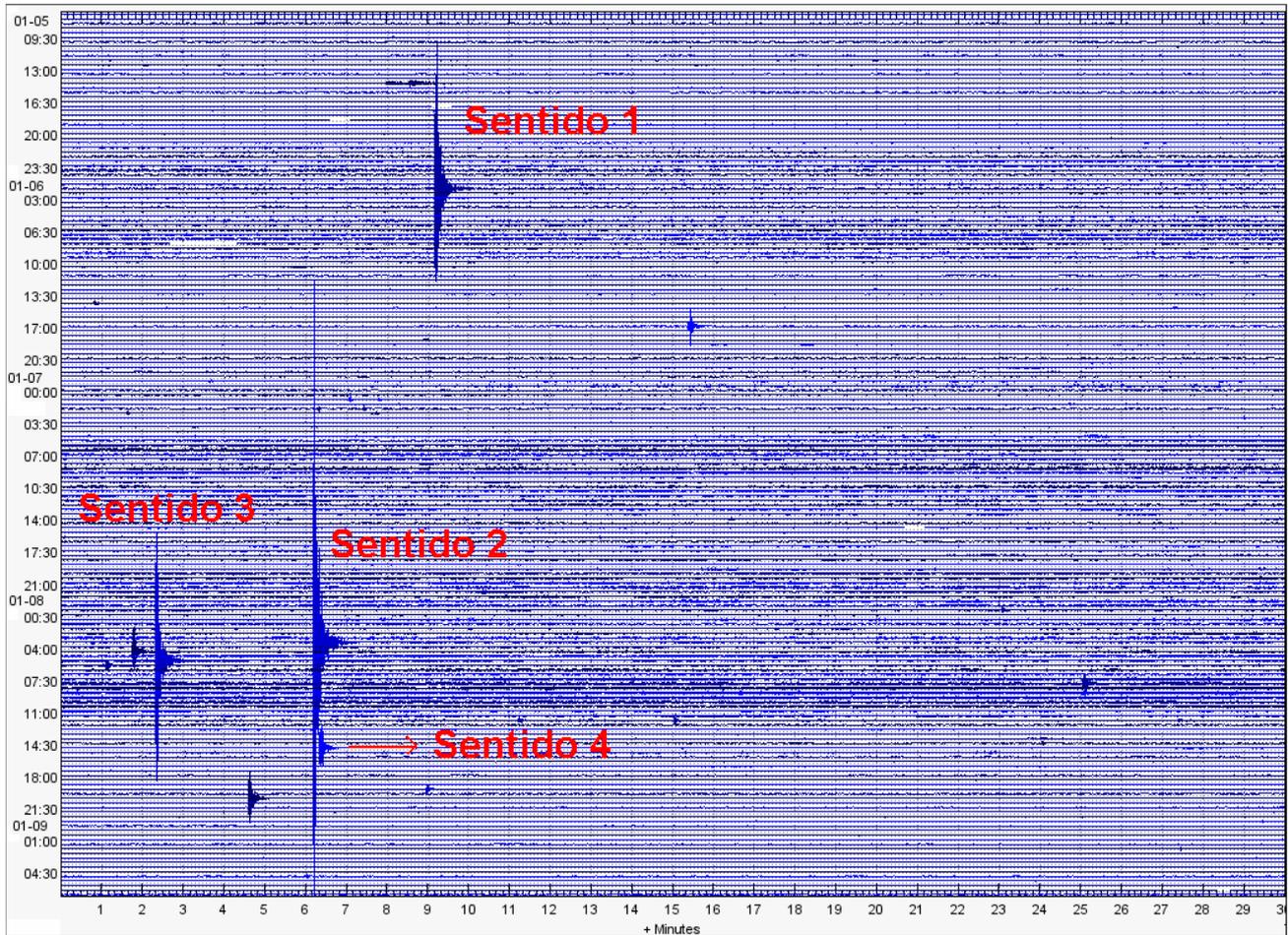


Figura 2. Sismograma digital para el periodo comprendido entre el 5 y el 9 de enero de 2010 para la estación Cráter (ubicada a 1.5 Km del cráter principal) que contiene el registro de los sismos VT sentidos en el municipio de Pasto. El orden cronológico de los eventos es Sentido 1: enero 6 a la 1:39 a.m.; Sentido 2: enero 8 a las 3:06 a.m.; Sentido 3: enero 8 a las 5:02 a.m.; Sentido 4: enero 8 a las 2:36 p.m.

Aún cuando se han presentado algunos sismos de manera dispersa alrededor del edificio volcánico, a niveles relativamente profundos de hasta 10 Km, la mayor parte de la sismicidad se localizó en las inmediaciones del cono volcánico y hacia el sector suroriente del mismo, a distancias epicentrales entre 0.2 a 2.5 km del cráter (círculos verdes en la Figura 1). Los eventos superficiales se localizan a profundidades menores de 2.5 km, respecto de la cima volcánica. La magnitud máxima de estos eventos se calculó en uno en la escala de Richter (Tabla 1). La localización de esta sismicidad es muy similar a la que aconteció en etapas previas a las erupciones del 30 de septiembre de 2009, 20 de noviembre de 2009 y 2 de enero de 2010. De acuerdo con el desarrollo de la actividad volcánica de Galeras, estos eventos son muy probablemente evidencia de dinámica de fluidos que en su desplazamiento a niveles más superficiales, rompen material cortical debido a las altas presiones que causa su movimiento.



Tabla 1. Parámetros de las localizaciones efectuadas a los sismos asociados a fracturamiento de material cortical e híbridos, registrados entre el 5 y el 11 de enero de 2010.

Fecha	Hora	Tipo	Latitud 1°N (minutos)	Longitud 77°W (minutos)	Profundidad (Km)	Mg Local	Mg Coda	N° Fases	Gap	RMS	ERH	ERZ	Calidad
1/5/2010	02:54 AM	VA	14.26	21	5.1	-0.3	0.6	10	173	0.1	0.3	0.5	B1
1/6/2010	01:39 AM	VA	14.54	19.48	7.1	2.3	2.3	14	119	0.1	0.4	0.2	B1
1/6/2010	04:53 AM	HD	13.8	20.86	4.8	0	1.1	8	166	0.1	0.9	0.6	B1
1/6/2010	02:00 PM	VA	14.46	19.49	6.6	0.5	1.3	12	232	0.1	0.4	0.3	C1
1/6/2010	04:45 PM	VA	13.69	26.65	10.0	1.6	1.8	19	174	0.2	1	0.9	C1
1/7/2010	12:37 AM	HD	12.33	20.3	3.2	0.7	0.2	10	132	0	0.1	0.1	B1
1/8/2010	12:07 AM	VA	14.97	19.03	6.7	0.1	1.6	6	271	0	0.7	0.3	C1
1/8/2010	03:06 AM	VA	14.62	19.53	7.7	2.7	2.4	9	234	0	0.3	0.1	C1
1/8/2010	04:01 AM	VA	14.58	19.49	7.1	1.6	2.4	10	235	0.1	0.6	0.5	C1
1/8/2010	05:02 AM	VA	14.54	19.21	7.3	2.3	2.2	11	242	0.1	0.4	0.4	C1
1/8/2010	05:31 AM	VA	14.56	19.53	7.0	0.7	2.3	10	233	0	0.2	0.3	C1
1/8/2010	06:06 AM	HD	12.83	21.24	2.5	-0.1	0.3	8	222	0.1	0.3	0.3	C1
1/8/2010	07:54 AM	VA	14.65	19.56	7.1	1	1.4	12	234	0.1	0.3	0.2	C1
1/8/2010	11:41 AM	VA	15.03	19.42	6.3	0.5	1.5	7	310	0	0.2	0.2	C1
1/8/2010	11:44 AM	VA	11.28	21.25	2.8	0.5	0.7	12	172	0.1	0.3	0.4	B1
1/8/2010	11:57 AM	VA	15.26	18.9	6.2	0.3	1.7	6	278	0	1.1	0.7	C1
1/8/2010	02:36 PM	VA	14.47	19.72	7.3	1.5	1.8	13	226	0.1	0.3	0.3	C1
1/8/2010	04:19 PM	VA	14.94	19.47	9.4	-0.1	-0.1	10	242	0.1	1.4	1.2	C1
1/8/2010	08:04 PM	VA	14.48	19.64	7.0	1.6	2.1	12	228	0.1	0.2	0.2	C1
1/9/2010	11:42 AM	HD	12.67	21.71	1.9	1.1	1.3	7	214	0.1	0.5	0.5	C1
1/9/2010	12:03 PM	HD	12.85	21.54	1.3	0.4	1.1	6	177	0	0.1	0.2	B1
1/9/2010	02:16 PM	HD	13.24	21.84	1.0	0.2	0.8	5	301	0	0.3	0.3	C1
1/9/2010	08:21 PM	HD	13.13	21.65	0.9	-0.1	0.6	5	286	0	0.1	0.1	C1
1/9/2010	09:33 PM	HD	12.83	21.49	0.9	0.7	1.7	7	169	0	0.2	0.3	B1
1/10/2010	04:38 AM	HD	13.05	21.47	0.3	-0.3	-0.3	6	267	0	0.2	0.5	C1
1/10/2010	08:04 AM	HD	13.19	21.99	1.3	0	-0.2	6	309	0	0.1	0.1	C1
1/10/2010	10:39 AM	HD	14.71	23.45	1.9	0.5	0.6	6	336	0	0.2	0.5	C1
1/10/2010	10:42 AM	HD	12.6	22.54	0.6	0.4	0.6	6	313	0	0.1	0.3	C1
1/10/2010	12:49 PM	HD	12.7	21.46	0.9	0.4	1.0	8	157	0.1	0.4	0.5	B1
1/10/2010	01:54 PM	VA	5.66	28.87	11.1	0.5	0.9	17	212	0.2	1.9	3.8	C1
1/10/2010	02:26 PM	HD	12.51	20.85	1.7	0.4	0.2	6	144	0	0.2	0.4	B1
1/10/2010	11:51 PM	VA	14.63	20.9	6.2	0.6	0.7	14	186	0.1	0.3	0.3	C1
1/11/2010	12:45 AM	HD	12.91	21.56	0.9	0	0.0	8	180	0.1	0.2	0.3	B1
1/11/2010	02:08 AM	HD	12.92	21.53	1.3	0.2	1.1	8	176	0.1	0.3	0.3	B1
1/11/2010	04:14 AM	HD	12.79	21.62	0.2	0.2	0.6	7	193	0.1	0.4	1.7	C1
1/11/2010	05:25 AM	HD	13.03	21.48	0.8	0.3	0.4	7	170	0.1	0.2	0.5	B1
1/11/2010	05:56 AM	VA	14.57	19.71	7.0	1.1	1.2	12	228	0.1	0.4	0.4	C1
1/11/2010	06:44 AM	HD	12.97	21.36	1.0	0.3	0.4	8	153	0	0.1	0.2	B1
1/11/2010	08:05 AM	HD	12.99	21.58	0.6	0.5	0.5	7	181	0	0.1	0.3	C1
1/11/2010	12:08 PM	VA	14.75	19.42	6.8	0.1	0.6	7	240	0	0.4	0.3	C1
1/11/2010	12:26 PM	HD	13.35	21.81	0.2		1.4	6	301	0	0.1	0.7	C1
1/11/2010	03:03 PM	HD	12.64	21.45	1.9	1	1.7	8	117	0.1	0.4	0.5	B1
1/11/2010	07:50 PM	HD	13.09	21.63	0.6	0.2	0.8	8	187	0.1	0.2	0.6	C1
1/11/2010	08:28 PM	HD	12.57	21.63	1.8	0.6	1.0	8	212	0.1	0.7	0.6	C1
1/11/2010	08:37 PM	VA	10.21	24.05	7.0		1.2	10	259	0.1	0.3	0.3	C1
1/11/2010	08:50 PM	HD	13.05	21.59	1.3	0.2	1.1	8	182	0.1	0.4	0.5	C1
1/11/2010	09:01 PM	HD	12.84	21.63	1.2	0.1	0.0	8	192	0	0.2	0.3	C1
1/11/2010	09:33 PM	HD	12.83	21.39	0.8	0.1	0.1	8	152	0.1	0.3	0.4	B1
1/11/2010	11:26 PM	HD	13.01	21.67	0.7	0.3	0.1	11	98	0.1	0.1	0.5	B1



En cuanto a la actividad asociada con dinámica de fluidos, la sismicidad dominante en términos de ocurrencia fue la de tipo LP, sismos en los que el movimiento de fluidos es transitorio en el tiempo. Del total de eventos registrados, el 60 % correspondió a este tipo de sismicidad (Figura 3).

Cabe resaltar que justo después de la erupción del 2 de enero de 2010, predominaron los lapsos de tiempo en los que no se presentaba sismicidad; sin embargo después de la ocurrencia de los eventos de fractura antes mencionados y particularmente a partir del 9 de enero, empiezan a registrarse sismos LP de bajo nivel energético y la ocurrencia de estos eventos se incrementa paulatinamente hasta el cierre de este informe (Figura 4). En la tabla 4 se observa que la cantidad de eventos tipo LP disminuyó respecto a la semana anterior, sin embargo, hay que resaltar que casi la totalidad de sismos que se contabilizaron para esta semana han ocurrido en los dos últimos días y adicionalmente, se presentan varios sismos que no alcanzan los niveles de energía como para considerarse clasificables.

Los sismos que tienen por fuente movimiento persistente de fluidos (episodios de tremor - TRE), se han mantenido con niveles bastante bajos en cuanto a ocurrencia y energía (Tablas 2 y 3; Figuras 3 y 4), no se tiene registro de episodios de tremor armónico (tremor en el que sobresalen energéticamente algunos de sus componentes armónicos), que corresponden a eventos que se relacionan muy probablemente con aportes de material fluido hacia niveles más superficiales. Los pocos episodios de tremor espasmódico registrados en esta semana no han estado asociados con emisiones de gases o ceniza hacia la atmósfera, como suele ocurrir con la presencia de estos eventos en otras ocasiones.

La cuarta parte de la sismicidad registrada está asociada con eventos que tienen una fase de fractura de material cortical y otra fase de movimiento de fluidos (sismos tipo Híbrido - HYB); los cuales registraron incremento en su ocurrencia durante los días 10 y 11 de enero. Este tipo de sismicidad se relaciona con la presión que ejercen los fluidos sobre las paredes de la roca encajante, fracturando pequeñas zonas de ésta, por donde luego transita el fluido.

Respecto a la energía de onda de cuerpo liberada por la sismicidad a lo largo de la semana, el mayor aporte se presentó por los VT ocurridos entre el 6 y el 8 de enero. Este tipo de sismos liberaron el 82 % del total de energía liberada en la semana. La Tabla 3 y las Figuras 5 y 6 muestran algunos datos que evidencian los hechos mencionados.

Cabe resaltar que los eventos tipo LP registrados en este periodo, tienen características espectrales similares a los que se registraron antes de la erupción de enero 2 de 2010, pero muestran niveles energéticos mucho menores.

Tabla 2. Número de sismos volcánicos por tipo, registrados entre el 5 y el 11 de enero de 2010, contabilizados por periodos semanales.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	LPS	HYB	VT	TRE	TOTAL	NO CLASIFICABLES
15-Dec-09 a 21-Dec-09	632	87	6	1	726	395
22-Dec-09 a 28-Dec-09	612	65	9	0	686	230
29-Dec-09 a 04-Jan-10	184	55	11	5	255	150
05-Jan-10 a 11-Jan-10	111	46	20	5	186	322

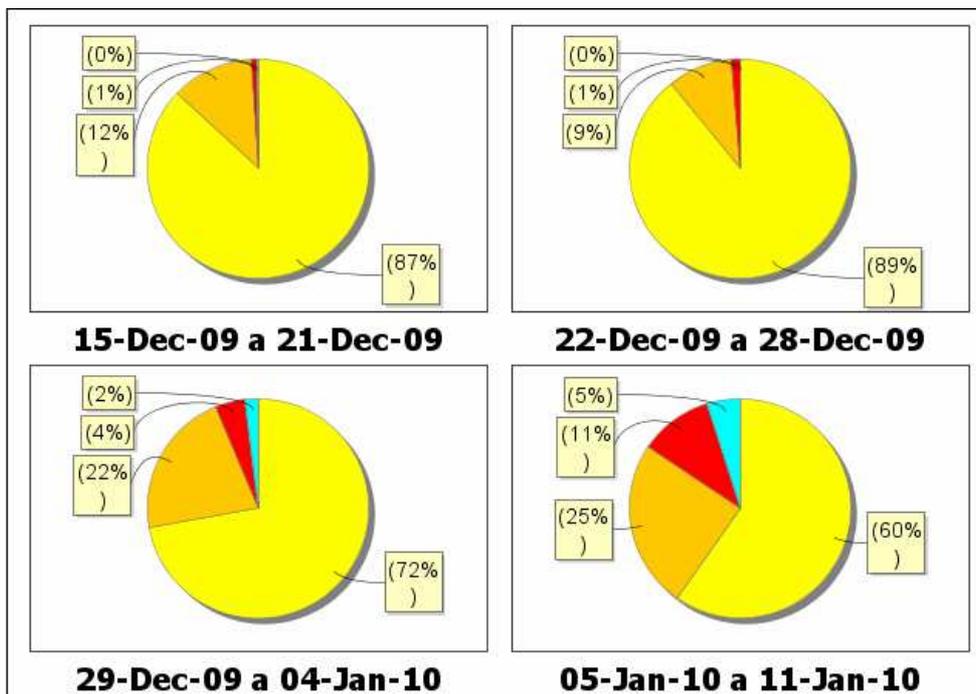


Figura 3. Relaciones porcentuales de ocurrencia sísmica por tipo de evento, para los últimos cuatro periodos semanales, incluyendo el evaluado en este informe.

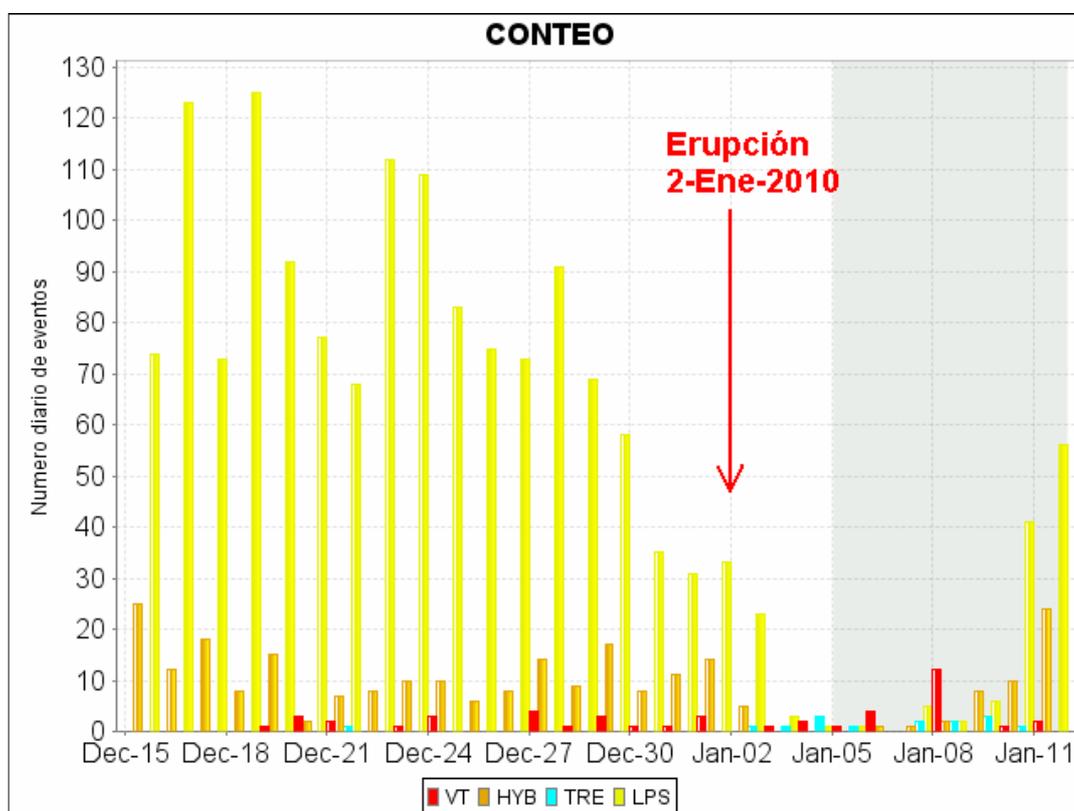


Figura 4. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, registrados entre el 15 de diciembre de 2009 y el 11 de enero de 2010. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

Tabla 3. Energía liberada de sismos volcánicos por tipo, registrada entre el 5 y el 11 de enero de 2010, contabilizada por periodos semanales.

Periodo Evaluado	Energía [ergios] por tipo				
	LP	HYB	VT	TRE	TOTAL
15-Dec-09 a 21-Dec-09	6.70E+13	2.26E+12	2.64E+12	1.80E+10	7.19E+13
22-Dec-09 a 28-Dec-09	5.57E+13	1.62E+12	4.98E+13	0	1.07E+14
29-Dec-09 a 04-Jan-10	4.64E+13	1.66E+12	6.61E+11	1.01E+15	1.06E+15
05-Jan-10 a 11-Jan-10	7.06E+11	2.15E+11	6.09E+13	6.71E+09	6.18E+13

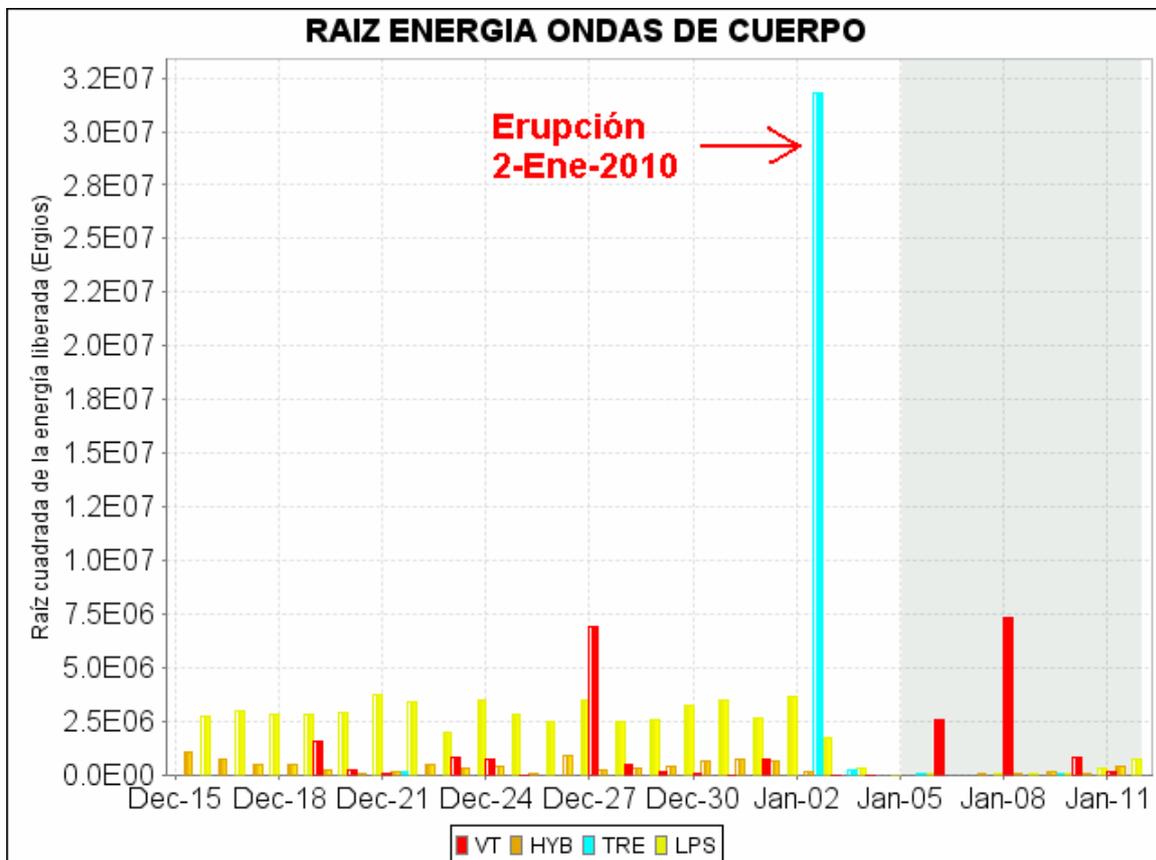


Figura 5. Histograma de la energía liberada de eventos volcánicos por tipo (expresada en términos de su raíz cuadrada), registrada entre el 15 de diciembre de 2009 y el 11 de enero de 2010. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

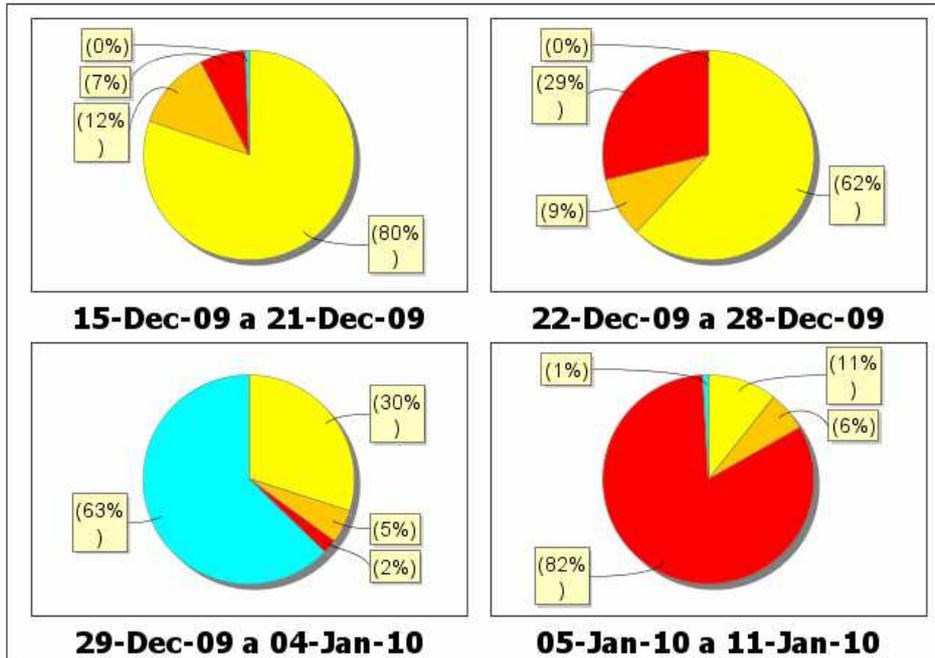


Figura 6. Relaciones porcentuales de energía sísmica liberada por cada tipo de evento, para los últimos cuatro periodos semanales, incluyendo el evaluado en este informe.

Dentro de los sismos tipo LP se resalta la presencia de varios eventos especiales por sus características espectrales y sus codas que decaen relativamente lento. Estos eventos se registraron entre el 8 y el 11 de enero, se totalizaron 11 y el ocurrido el día 10 a las 12:04 p.m. fue clasificado como “pseudo-tornillo” (Figura 7). En las Figuras 8 y 9 se muestran dos eventos representativos de estos sismos con características especiales.

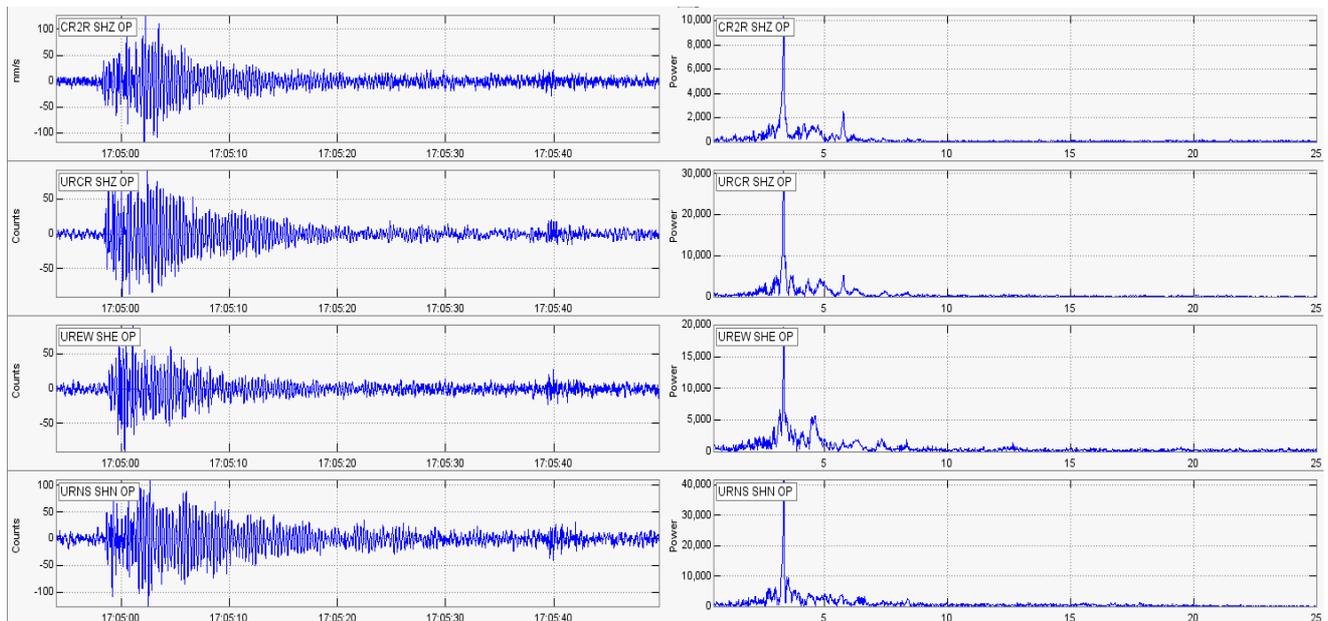


Figura 7. Registro de cuatro de las estaciones que conforman la red sísmica de Galeras del evento tipo “pseudo-tornillo” registrado el 10 de enero a las 12:04 p.m. Las gráficas de la izquierda corresponden a los sismogramas y las de la derecha a sus correspondientes espectros. En la parte espectral se observa el dominio de un armónico en particular de 3.34 Hz.

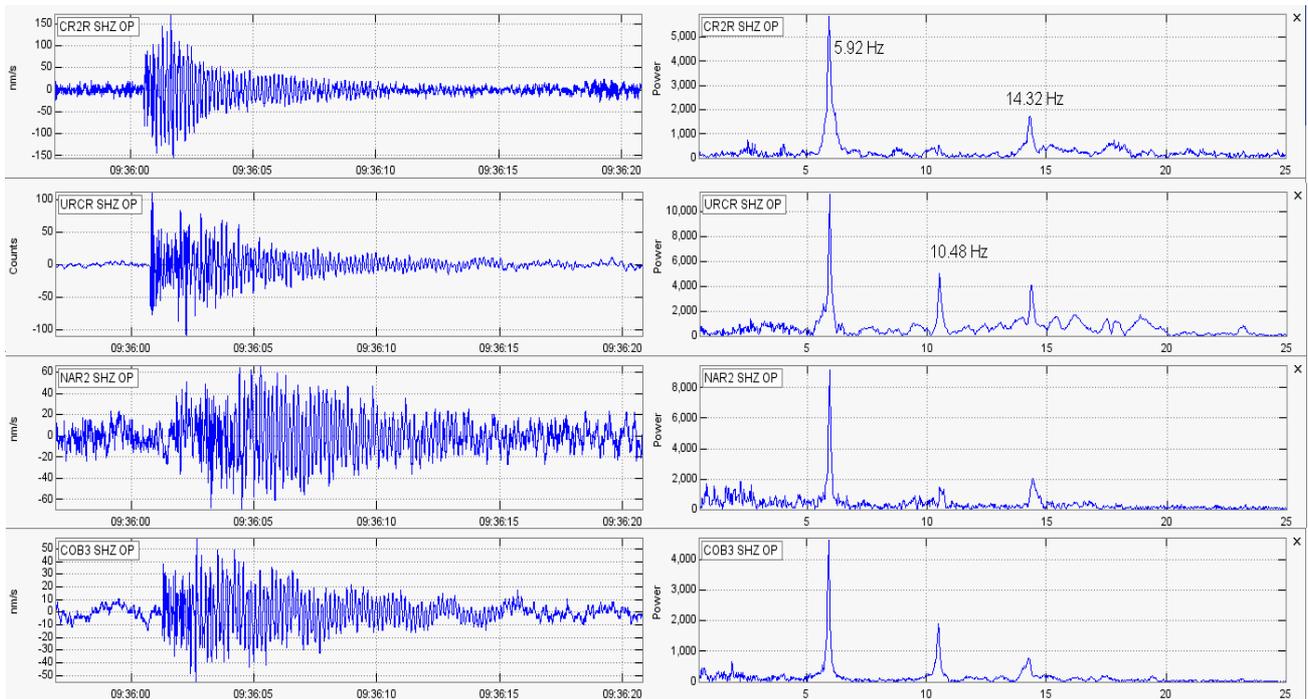


Figura 8. Registro de cuatro de las estaciones que conforman la red sísmica de Galeras del evento tipo LP ocurrido el 9 de enero a las 4:36 a.m. Las gráficas de la izquierda corresponden a los sismogramas y las de la derecha a sus correspondientes espectros.

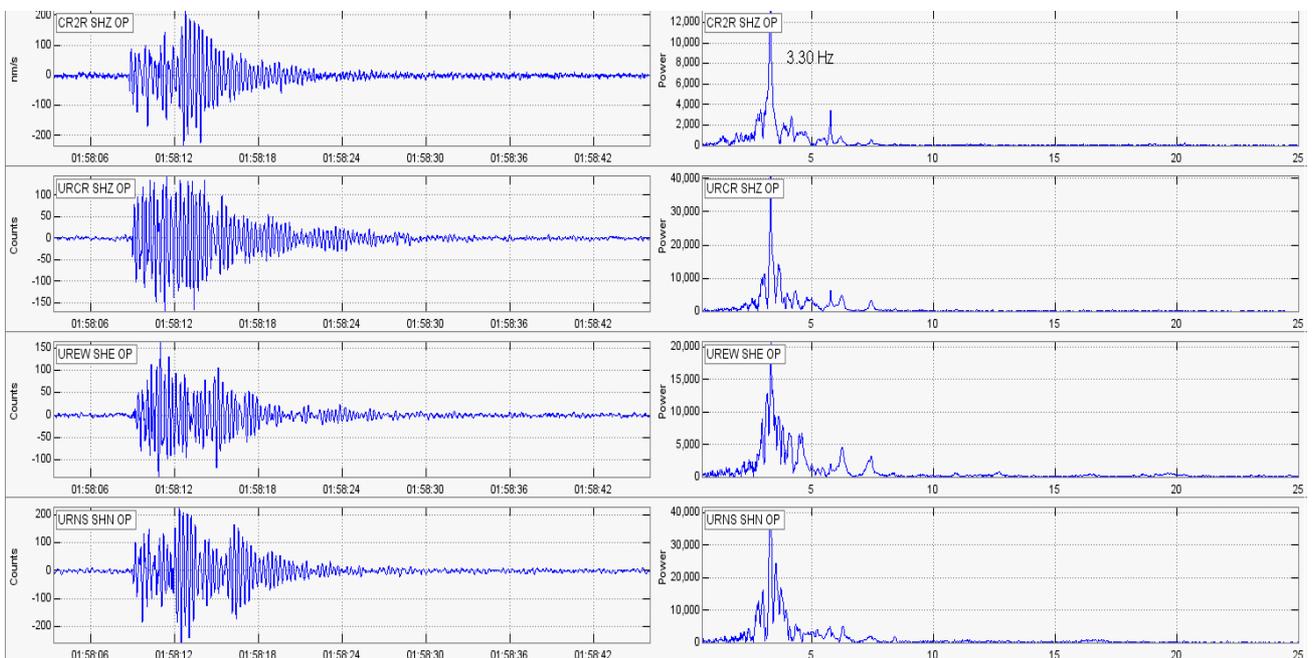


Figura 9. Registro de cuatro de las estaciones que conforman la red sísmica de Galeras del evento tipo LP ocurrido el 10 de enero a las 8:58 p.m. Las gráficas de la izquierda corresponden a los sismogramas y las de la derecha a sus correspondientes espectros.

El comportamiento espectral en el tiempo de los sismos mencionados, también ha sido especial ya que a medida en que ocurren, la frecuencia dominante tiende a ser más baja, de acuerdo a modelos que se manejan para este tipo de eventos, este hecho se relaciona con la cantidad de gas o fracción de gas en el fluido que se mueve dentro de cavidades con características resonantes. A mayor fracción gaseosa la frecuencia tiene a disminuir.

La Figura 10 es una gráfica en la que se muestran la frecuencia dominante de los sismos LP con características cuasi-monocromáticas ocurridos hasta el cierre de este informe.

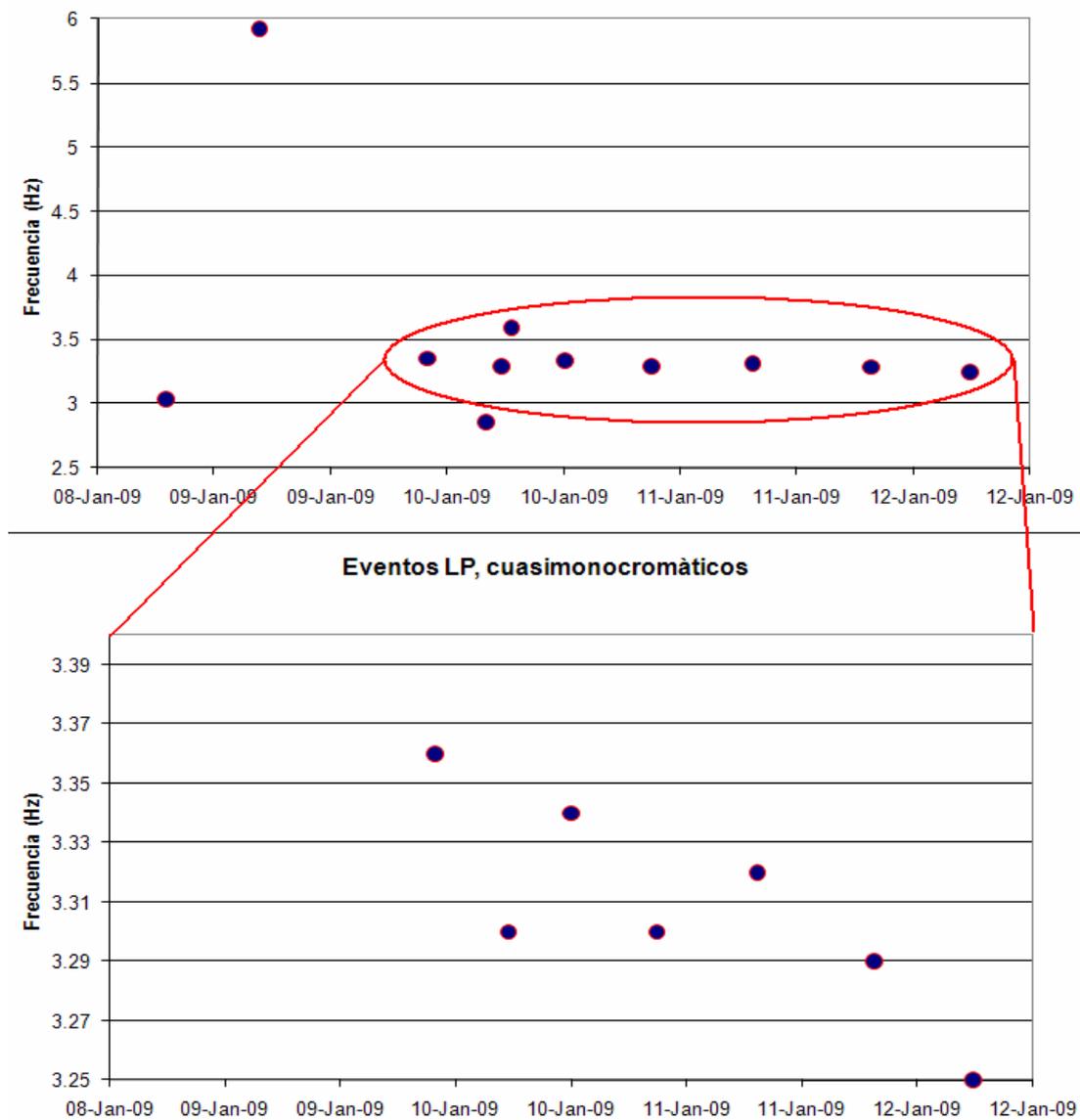


Figura 10. Frecuencia dominante de los eventos tipo LP cuasi-monocromáticos, registrados entre el 8 y el 11 de enero de 2010 en la estación Urcunina. La gráfica inferior es un detalle de los puntos encerrados en el óvalo rojo, que permite observar la tendencia descendente de las frecuencias con el tiempo.

Con relación a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos de deformación del edificio volcánico, se pueden resaltar los siguientes aspectos:

Para el inclinómetro Peladitos (1.4 km al sureste del cráter principal, 3850 msnm), mientras que la componente tangencial muestra una tendencia estable, la componente radial mostró un comportamiento ascendente para esta semana, después de que a inicios del mes de enero tuviera una tendencia descendente (Figura 11).

Las dos componentes del inclinómetro Huairatola (1.7 km al norte del cráter, 3745 msnm), no muestran variaciones que puedan considerarse producto de la deformación del edificio volcánico; sin embargo, se detectan algunos pequeños cambios relacionados con variaciones de temperatura en los cambios día-noche (Figura 12).

Las componentes radial y tangencial del inclinómetro Calabozo (ubicado a 6.8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm) que traían una tendencia ascendente hasta finales del 2009 muestran aparentemente estabilidad a partir de los primeros días del presente año (Figura 13).

El inclinómetro Cráter (ubicado a 0.8 km al este-noreste del cráter principal, 4060 msnm) tuvo problemas con la carga de las baterías de alimentación, por tanto la información suministrada por este equipo, durante la semana en evaluación no será incluida en este informe.

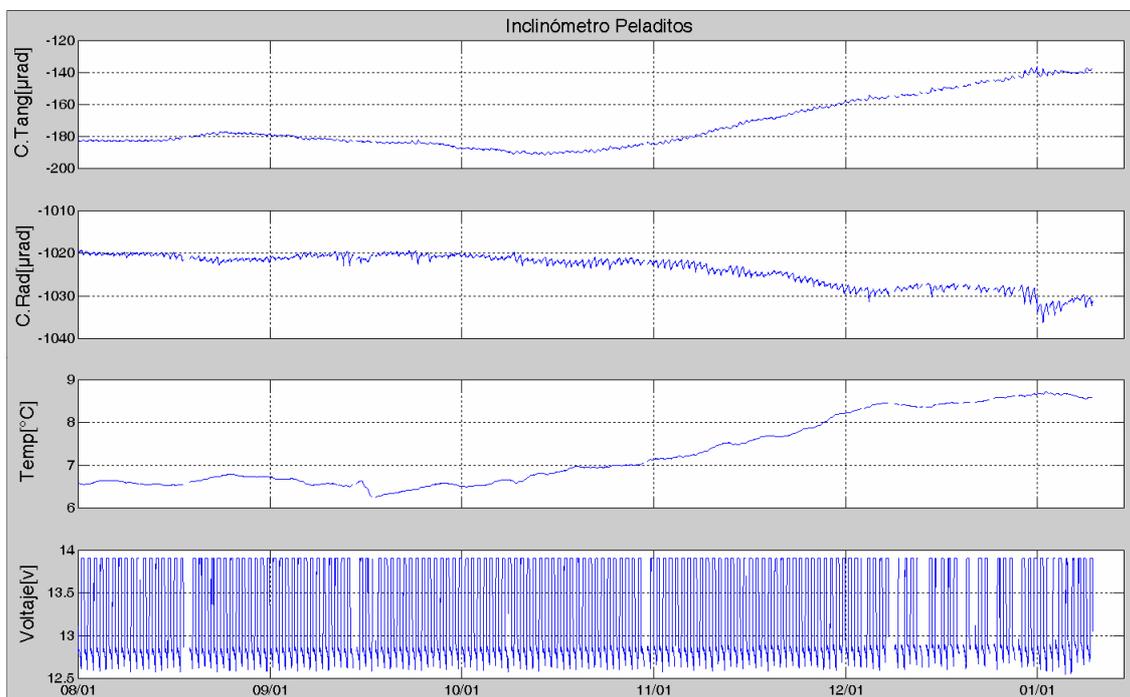


Figura 11. Componentes de inclinación radial (Y) y tangencial (X), junto con los datos del canal de temperatura y voltaje del sistema de alimentación del inclinómetro Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2009 y el 11 de enero de 2010.

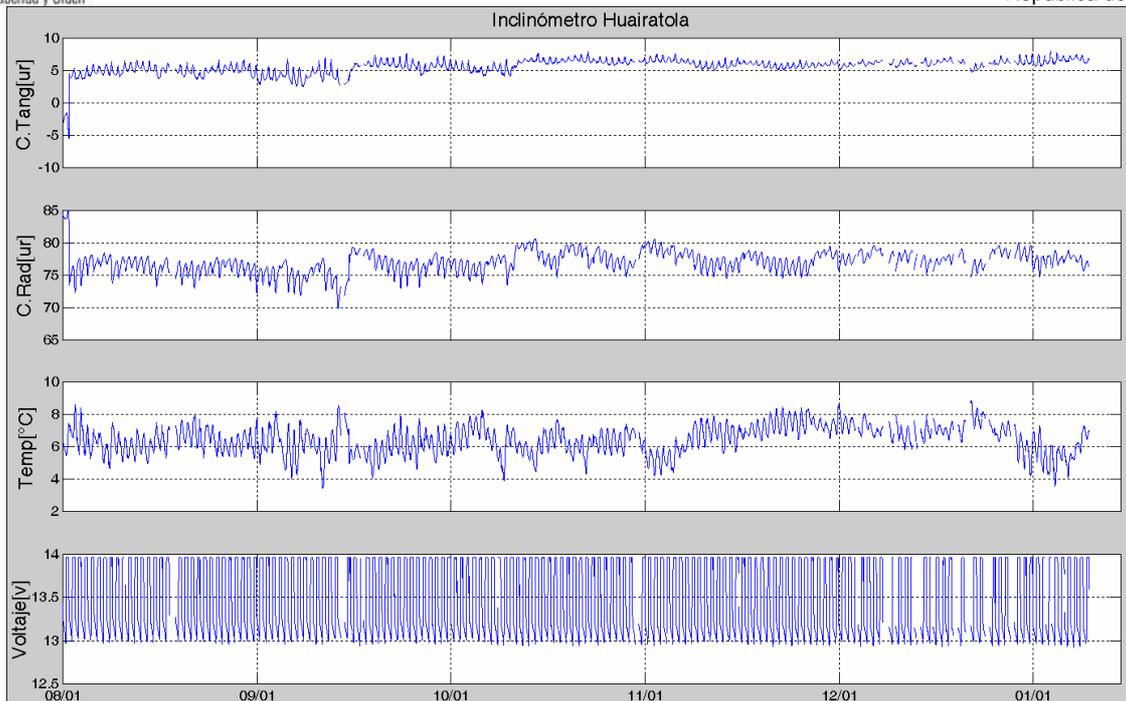


Figura 12. Componentes de inclinación radial (Y) y tangencial (X), junto con los datos del canal de temperatura y voltaje del sistema de alimentación inclinómetro Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2009 y 11 de enero de 2010.

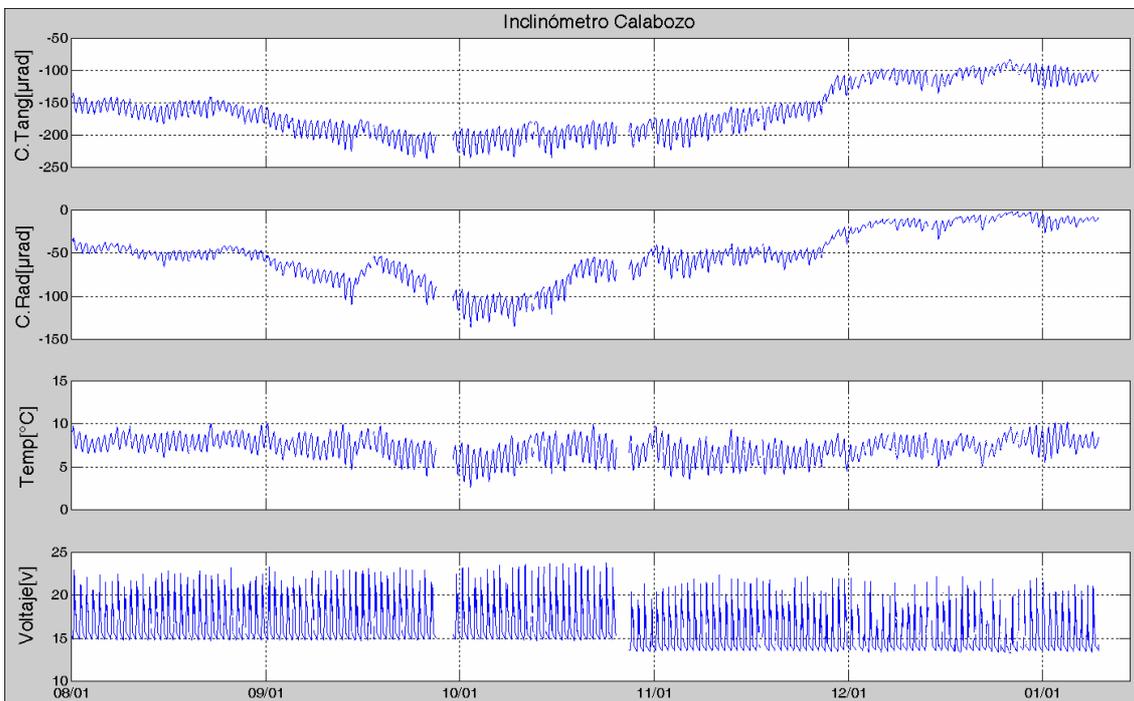


Figura 13. Componentes de inclinación radial (X) y tangencial (Y), junto con los datos del canal de temperatura y voltaje del sistema de alimentación del inclinómetro Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2009 y el 11 de enero de 2010.



Durante el transcurso del periodo evaluado, las estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS (ubicadas al noroccidente del cono activo) del proyecto NOVAC (<http://129.16.35.206/index-es.html>) en Galeras no registraron escaneos para hacer la valoración, lo que se considera relacionado con bajas tasas de emisión de Dióxido de Azufre, concordante con un escenario de presencia de sellos en los conductos del sistema volcánico, que impiden la libre salida de los gases.

A partir de imágenes del sensor OMI (*Ozone Monitoring Instrument*), acoplado al satélite Aura de la NASA, se obtuvieron reportes de registro de concentración de SO₂ emitido por Galeras, durante los días 5, 6 y 7 de enero con valores entre 5 y 16 mg/m² (Tabla 4, Figura 14). Se resalta que la tendencia en los tres datos de esta semana ha sido descendente.

Tabla 4. Parámetros de evaluación del flujo de SO₂ a la atmósfera, a partir de las imágenes del sensor OMI, para los días 5, 6 y 7 de enero de 2010.

FECHA	HORA LOCAL MEDICION	Max SO2 [DU]	Max SO2 [mg/m2]
05-Jan-10	01:43 PM	0.6	15.7
06-Jan-10	02:27 PM	0.4	11.4
07-Jan-10	01:32 PM	0.2	5.7

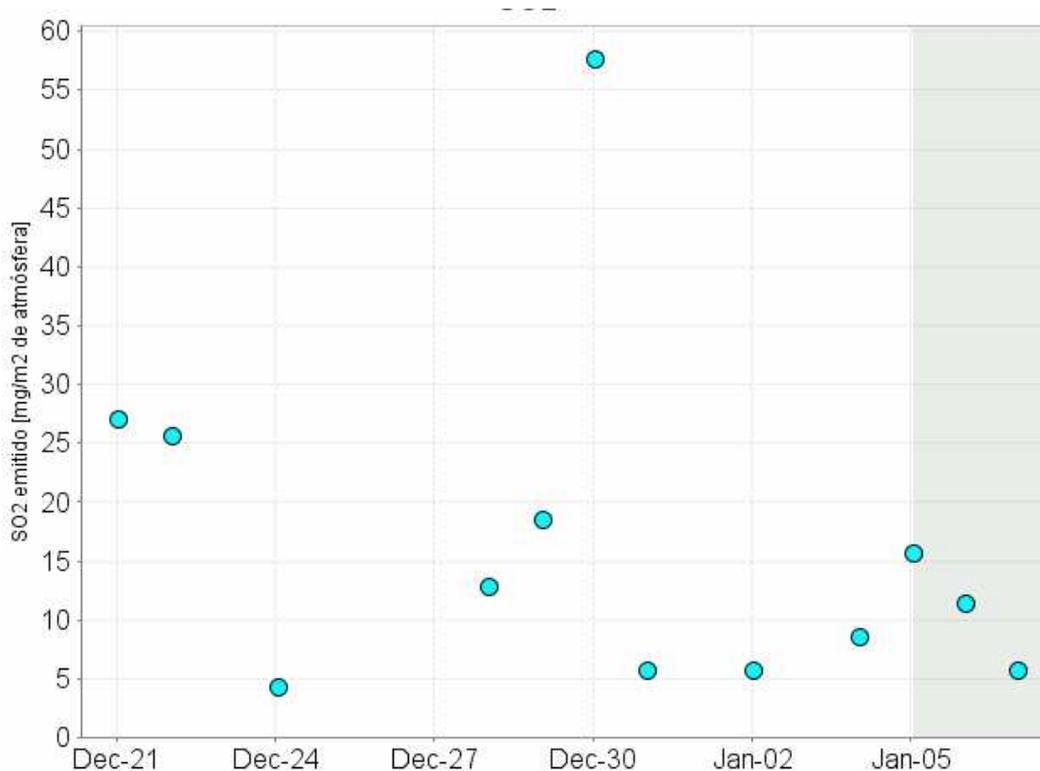


Figura 14. Flujo de SO₂ del volcán Galeras registrado por las imágenes del satélite Aura de la Nasa, para el periodo entre el 21 de diciembre de 2009 y el 11 de enero de 2010.

En general las condiciones climáticas sobre la cima de galeras fueron buenas a lo largo de la semana, sin embargo desde la sede del OVSP no se observaron emisiones de gases o cenizas. Para los días 6 y 10 de enero se recibieron reportes desde la población de Consacá en los que se describen emisiones de gas color blanco en columnas de muy baja altura.



CONCLUSIONES

- Para los sismos Volcano-tectónicos ocurridos entre el 6 y el 8 de enero se tienen hipótesis sobre la causa que los originó: la primera sugiere que pueden obedecer a la gestación de un proceso de intrusión de material magmático desde niveles más profundos. La segunda radica en el hecho de que después de las erupciones recientes, especialmente la del 2 de enero de 2010, el edificio volcánico se encuentre en un proceso de “reacomodo” a nivel cortical, lo que produciría relajación de esfuerzos acumulados liberando energía de manera súbita a través de la ocurrencia de estos sismos. Es necesario esperar algún tiempo para tener mayor información y soportes que permitan definir alguna de estas hipótesis; sin embargo, por el comportamiento sísmico posterior al registro de las fracturas, aparentemente, se trata de un nuevo proceso de intrusión.
- El incremento en la ocurrencia de la sismicidad relacionada con dinámica de fluidos, que en ocasiones produce fracturamiento de material cortical, es evidencia de que la dinámica interna del sistema continúa evolucionando, el hecho de que no se refleje en superficie, con emisiones de gases por ejemplo, es un claro indicio de que el sistema se encuentra cerrado, para reforzar esta tesis se cuenta con el registro de sismos monocromáticos y al menos uno denominado como “seudo-tornillo”, que se relacionan con fluidos que se mueven en cavidades con ciertas características resonantes, produciendo eventos especiales particularmente en cuanto a su información espectral.
- Otro factor que refuerza lo dicho anteriormente es que la red de ScanDOAS no ha detectado flujo de Dióxido de azufre durante la semana evaluada y adicionalmente, está la observación prácticamente nula de actividad fumarólica.
- Con base en los aspectos analizados en este informe, se considera que pese a la reciente ocurrencia del evento eruptivo explosivo del 2 de enero de 2010, el sistema volcánico de Galeras presenta una condición inestable, por lo que se amerita mantener el nivel de actividad en Naranja (II – erupción probable en término de días o semanas).