



## INGEOMINAS – OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE PASTO

San Juan de Pasto, 21 de enero de 2010

A partir de la evaluación de los diferentes parámetros del monitoreo volcánico de Galeras, en el período comprendido entre el 12 y el 18 de enero de 2010, se consideró mantener el nivel de actividad en Naranja ♦ (II : “*Erupción probable en término de días o semanas*”).

En la semana evaluada, la actividad volcánica de Galeras, mostró un claro dominio en la ocurrencia de eventos asociados con la dinámica de fluidos al interior del sistema volcánico, conocidos como eventos de largo periodo, LP (Tabla 1, Figuras 1 y 2). Dentro de este tipo de eventos se destaca la ocurrencia de los que se han denominado tipo Tornillo. Como se ha mencionado en otros informes, la importancia de este tipo de eventos está en que en la mayoría de las veces, se registraron en etapas previas a la ocurrencia de las erupciones de 1992 y 1993, así como también en algunos de los episodios eruptivos entre 2004 y 2009. Se destaca también que algunos de los eventos LP mostraron en la parte final del registro del evento, un decaimiento lento de su amplitud.

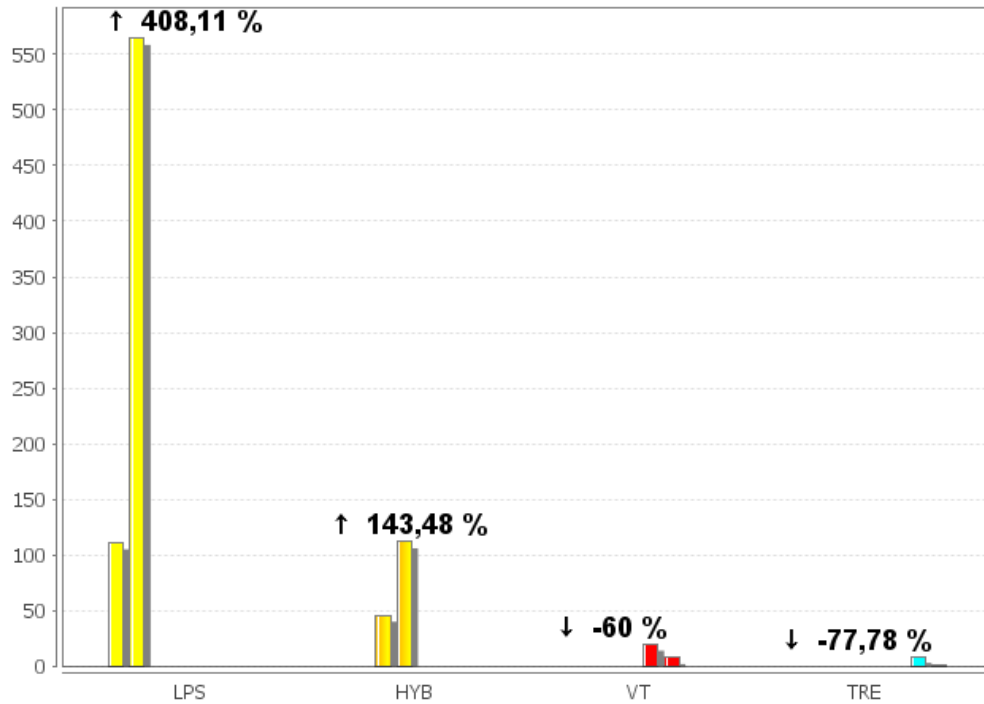
En general, el número de eventos volcánicos registrados en el período evaluado, en comparación con los de la semana anterior, muestra un aumento considerable. De acuerdo con las estadísticas, comparando las cuatro últimas semanas se observa que proporcionalmente, los eventos más representativos de la actividad volcánica, corresponden a los asociados con los procesos de fluidos, específicamente a los eventos tipo LP, que para la semana evaluada representan el 82% de la actividad total (Tabla 1, Figuras 1, 2). De otro lado, los eventos tipo HYB, que involucran tanto procesos de dinámica de fluidos como de fracturamiento de material cortical, continuaron registrándose en la semana evaluada, representando el 16% de la ocurrencia total de la sismicidad, para el período evaluado en este informe (Tabla 1, Figuras 1 y 2).

Llama la atención el comportamiento sísmico similar de los eventos de esta semana con aquellos registrados en la etapa previa a la erupción de enero 2 de 2010 aunque los actuales registran niveles energéticos menores.

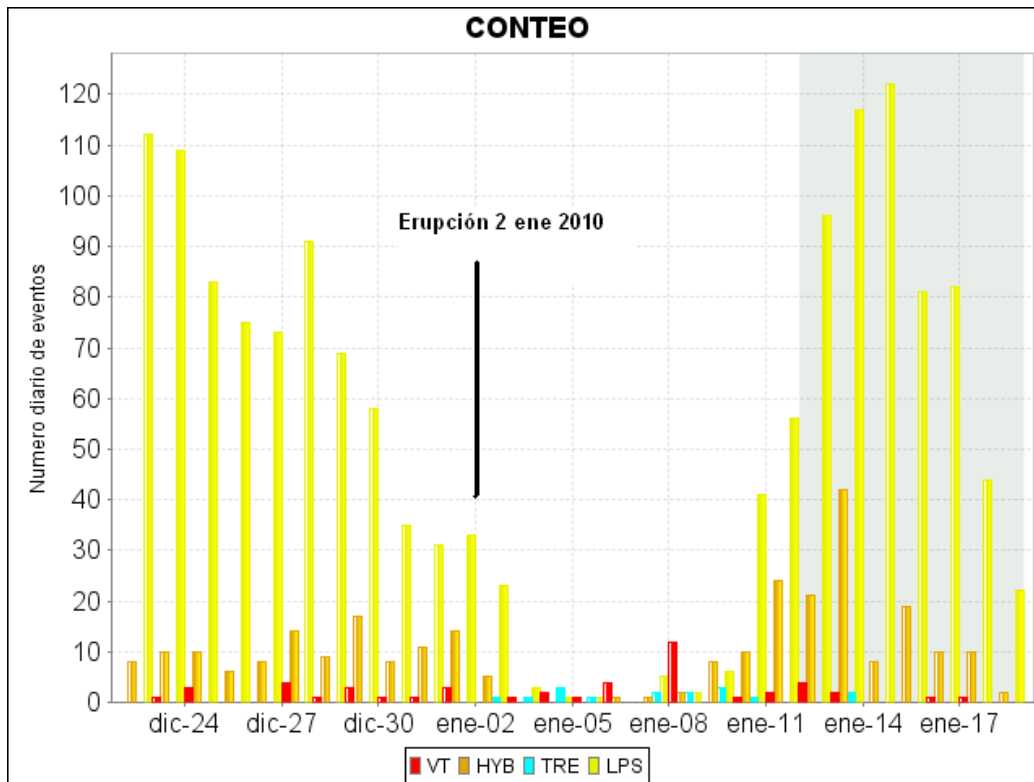
**Tabla 1.** Número de sismos volcánicos por tipo, registrados entre el 22 de diciembre de 2009 y el 18 de enero de 2010, contabilizados por periodos semanales.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	LPS	HYB	VT	TRE	TOTAL	NO CLASIFICABLES
22-Dic-2009 a 28-Dic-2009	612	65	9	0	686	230
29-Dic-2009 a 04-Ene-2010	184	55	11	5	255	150
05-Ene-2010 a 11-Ene-2010	111	46	20	9	186	322
12-Ene-2010 a 18-Ene-2010	564	112	8	2	686	599

### Comparación Semanal



**Figura 1.** Comparación de ocurrencia sísmica por tipo de evento, para los dos últimos periodos semanales, incluyendo el evaluado en este informe.

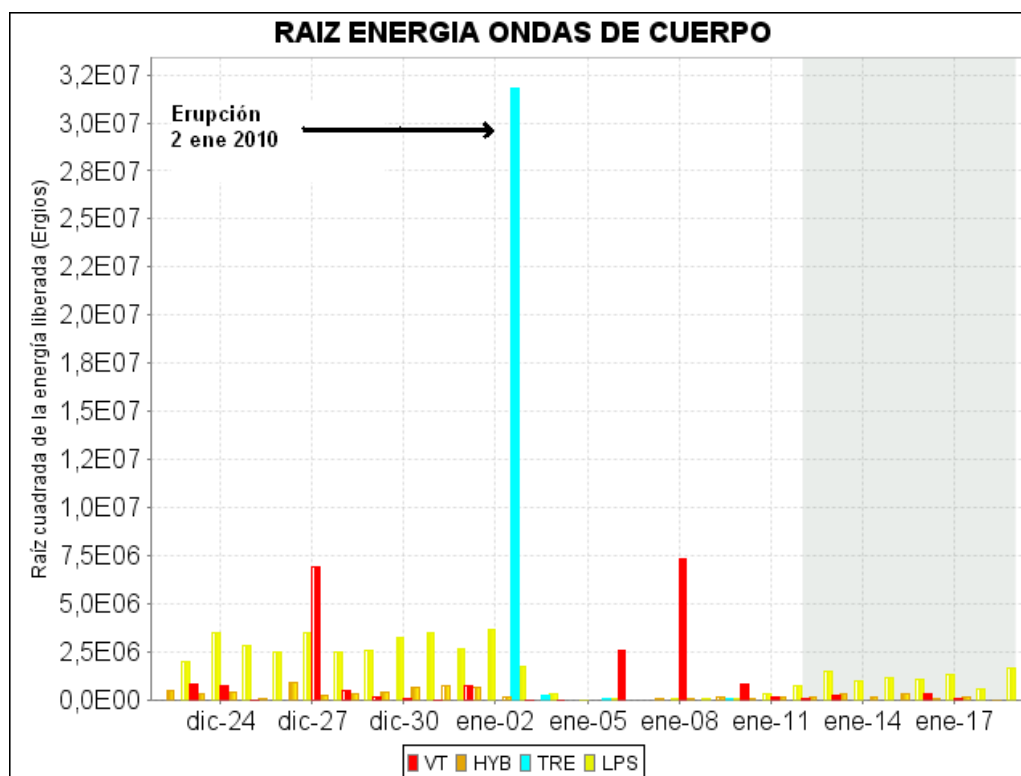


**Figura 2.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre el 22 de diciembre de 2009 y el 18 de enero de 2010. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

En cuanto a los niveles de energía sísmica liberada, la sismicidad asociada con dinámica de fluidos dominó durante el periodo evaluado, alcanzando un 95% del total de energía liberada por los diferentes tipos de eventos. Este hecho está relacionado con el incremento en la ocurrencia de la sismicidad que tiene como fuente movimiento transitorio de fluidos. Además, en general, los eventos registrados tuvieron amplitud destacable y otros saturaron (excedieron los niveles energéticos que la estación puede detectar) en la estación base de clasificación Urcunina (Tabla 2, Figuras 3 y 4).

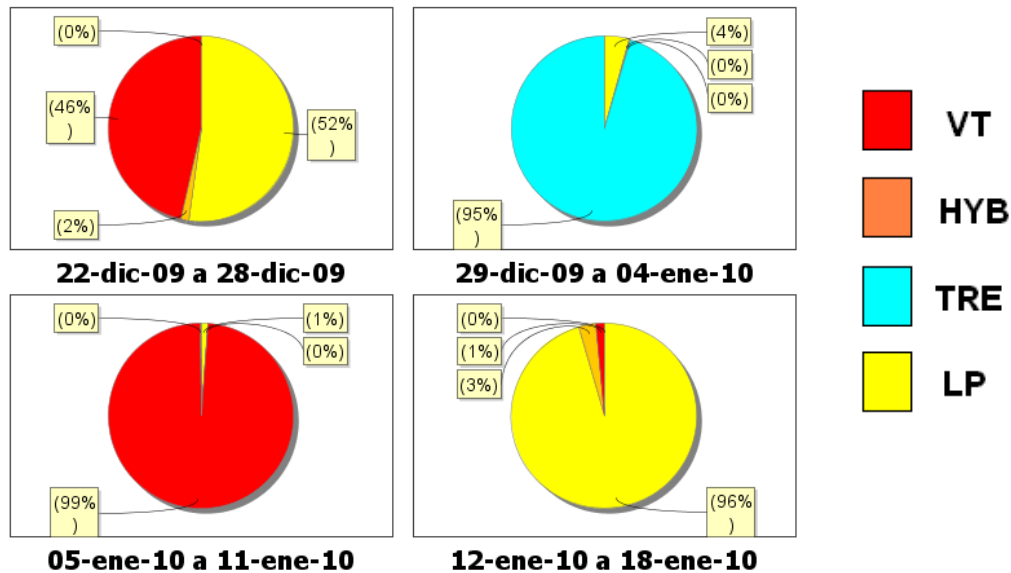
**Tabla 2.** Energía liberada de sismos volcánicos por tipo, registrada entre el 22 de diciembre de 2009 y el 18 de enero de 2010, contabilizada por periodos semanales.

Periodo Evaluado	Energía [ergios] por tipo				
	LP	HYB	VT	TRE	TOTAL
22-Dic20-09 a 28-Dic-2009	5.57E+13	1.62E+12	4.98E+13	0	1.07E+14
29-Dic-2009 a 04-Ene-2010	4.64E+13	1.66E+12	6.61E+11	1.01E+15	1.06E+15
05-Ene-2010 a 11-Ene-2010	7.06E+11	8.20E+10	6.09E+13	6.71E+09	6.17E+13
12-Ene-2010 a 18-Ene-2010	1.08E+13	3.46E+11	1.62E+11	0.0	1.13E+13



**Figura 3.** Histograma de la energía liberada de eventos volcánicos por tipo (expresada en términos de su raíz cuadrada), registrada entre el 22 de diciembre de 2009 y el 18 de enero de 2010. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

### Estadística Semanal



**Figura 4.** Porcentajes de Energía sísmica liberada por cada tipo de evento, para los últimos cuatro periodos semanales, incluyendo el evaluado en este informe.

Como hecho resaltable, en la semana evaluada se registraron ocho eventos tipo Tornillo y 1 evento Pseudo tornillo (Tabla 3).

**Tabla 3.** Eventos tipo Tornillo (T) y Pseudo tornillo (ST), registrados entre el 12 y el 18 de enero de 2010, con algunos de los parámetros evaluados en la estación base de clasificación, Urcunina.

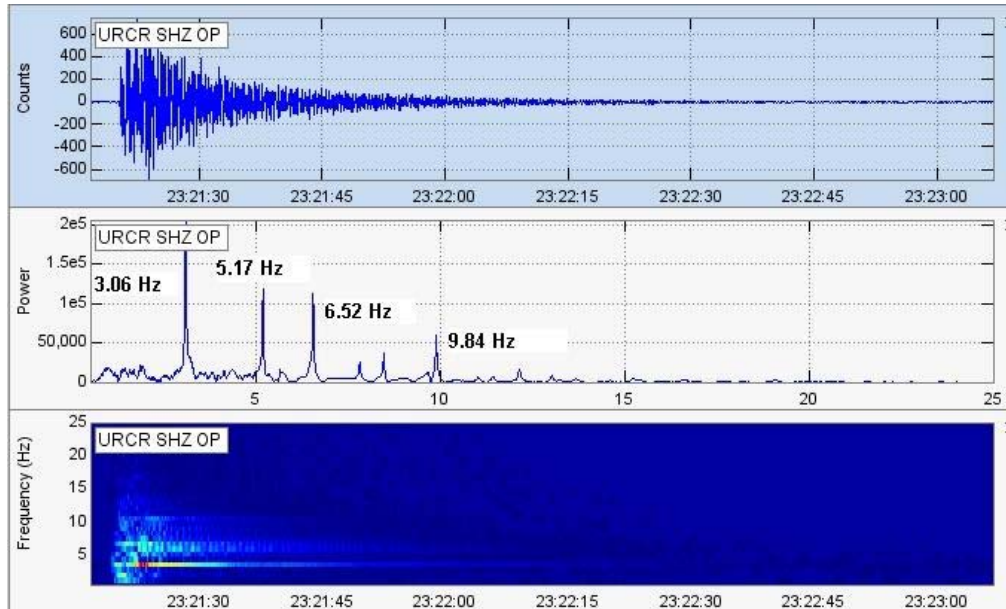
No.	Tipo	Fecha	Hora Local	Coda Análoga (seg)	Amplitud pp Análoga (mmpp)	Frecuencia Dominante (Hz)	Frecuencia Sub- Dominante (Hz)
1	ST	15-ene-2010	03:06	20	4.5	3.15	5.61
2	T	15-ene-2010	21:35	50	13.2	3.09	-
3	T	16-ene-2010	06:25	64	12.8	3.09	-
4	T	16-ene-2010	15:52	70	57	3.09	5.34
5	T	17-ene-2010	01:37	55	38.5	3.09	1.96
6	T	17-ene-2010	18:21	55	23.5	3.06	5.16
7	T	18-ene-2010	07:56	65	61	3.06	5.16
8	T	18-ene-2010	16:19	65	54	3.04	5.09
9	T	18-ene-2010	23:21	65	39	3.02	5.06

Como se mencionó, la relevancia de los eventos tipo tornillo radica en que se han registrado en etapas previas a las erupciones de Galeras entre 1992 y 2010. En las figuras 5, 6 y 7 se muestran tres sismos tipo tornillo que se registraron entre el 15 y el 18 de enero de 2010.

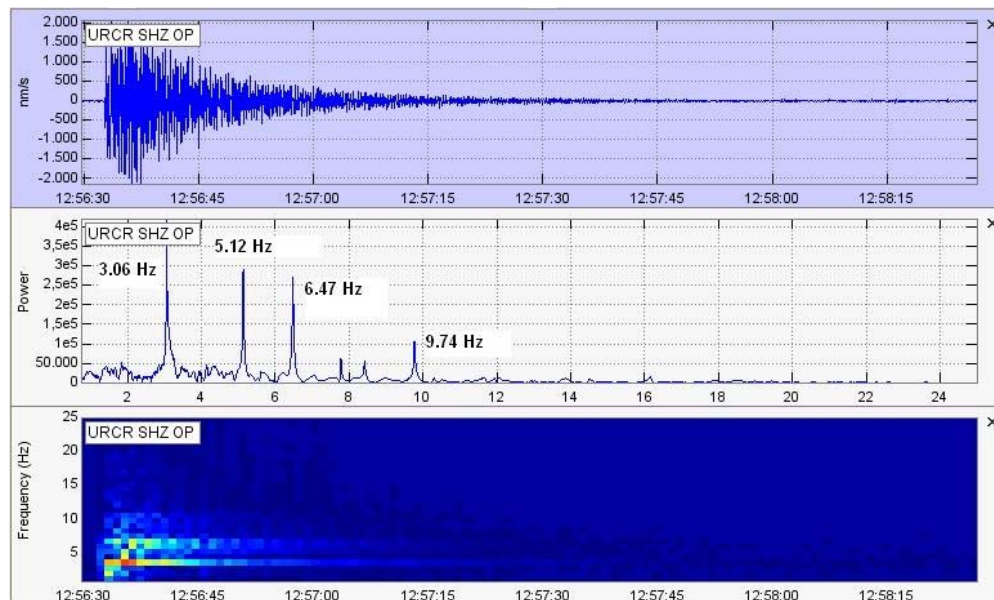
Adicionalmente, a lo largo de la semana se presentaron eventos tipo LP con características especiales en su espectro, caracterizado por presentar una banda muy angosta de armónicos componentes y en algunos casos eran cuasi-monocromáticos. Un seguimiento de la frecuencia fundamental de estos sismos muestra una tendencia gradual descendente (Figura 8).

Seguido a la ocurrencia de esta sismicidad se presentaron 8 Tornillos y un pseudo-tornillo, su comportamiento en frecuencia también mostró descenso en los armónicos energéticamente

destacados (Figura 8). De acuerdo a las hipótesis y modelamientos realizados, estos cambios en sus características frecuenciales son un reflejo de que el sistema está involucrando fracciones gaseosas mayores, esto a la vez produce un descenso en la densidad promedio del fluido que se mueve y por consiguiente el contraste de impedancias entre la roca encajante y dicho fluido aumenta produciendo que las duraciones de los eventos aumente.



**Figura 5.** Sismograma, espectro y espectrograma del evento tipo Tornillo, registrado el día 17 de enero de 2010 a las 6:21 p.m.



**Figura 6.** Sismograma, espectro y espectrograma del evento tipo Tornillo, registrado el día 18 de enero a las 7:56 a.m.

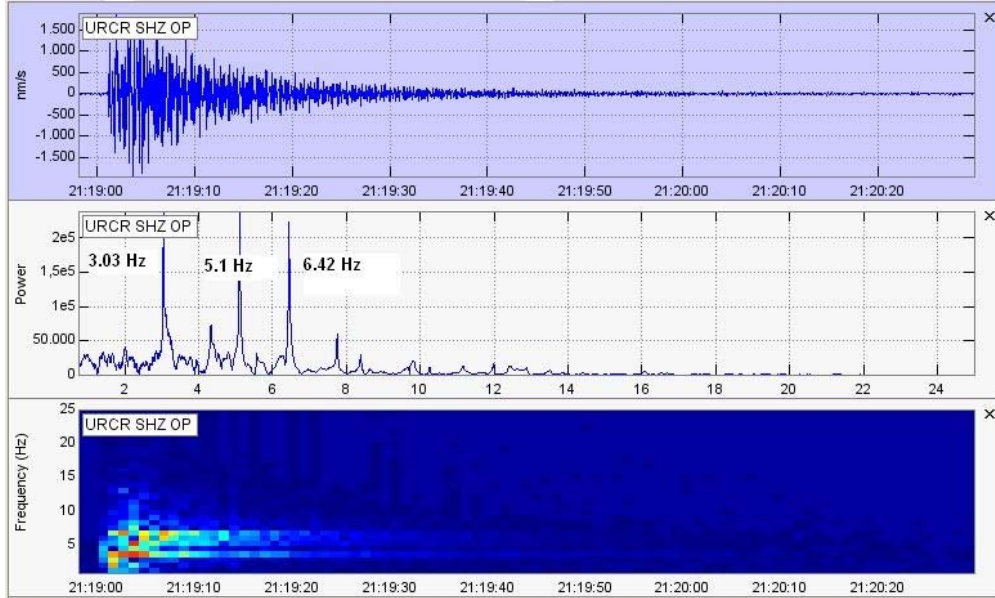


Figura 7. Detalle del sismograma, espectro y espectrograma del evento tipo Tornillo, registrado el día 18 de enero de 2010 a las 4:19 p.m.

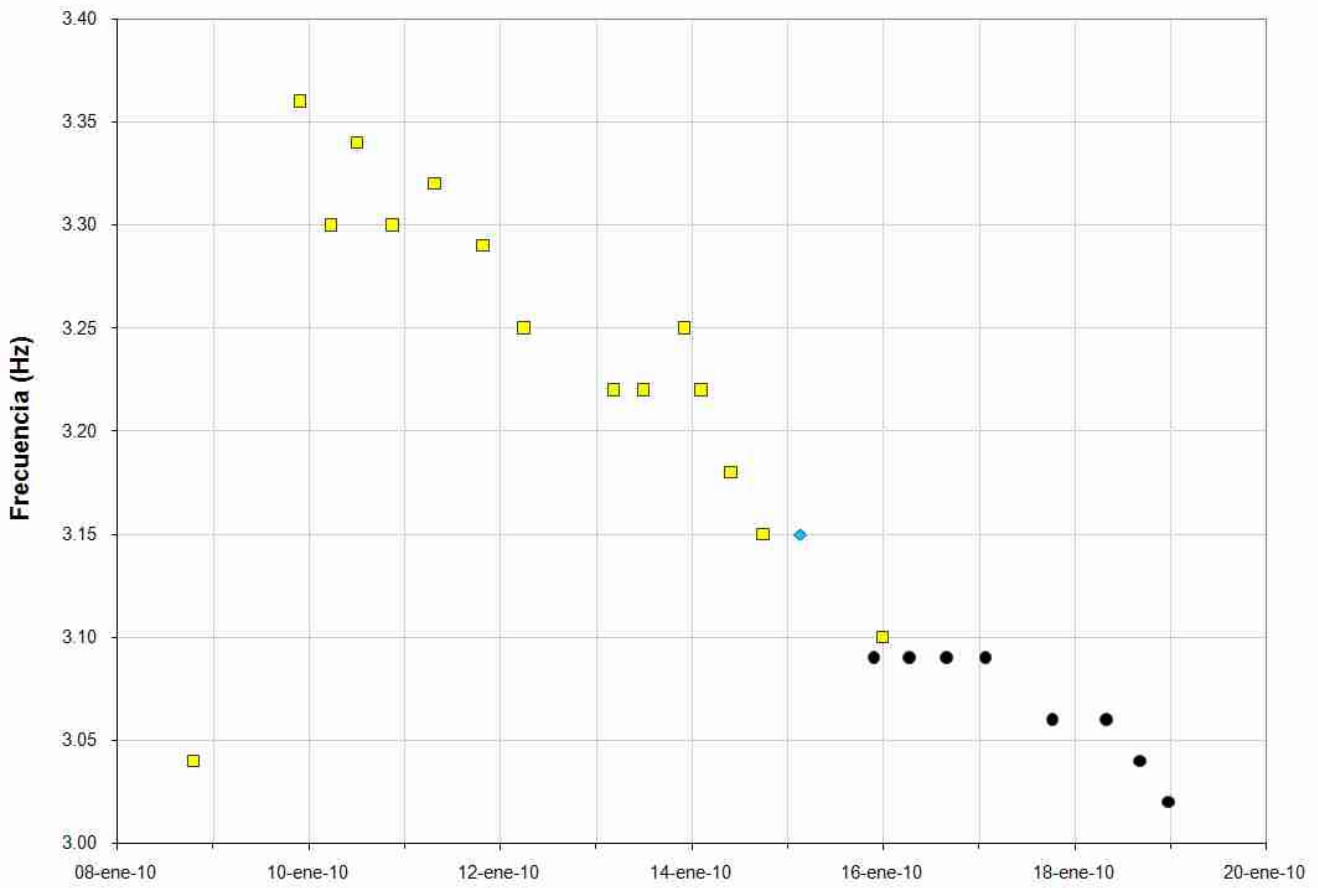
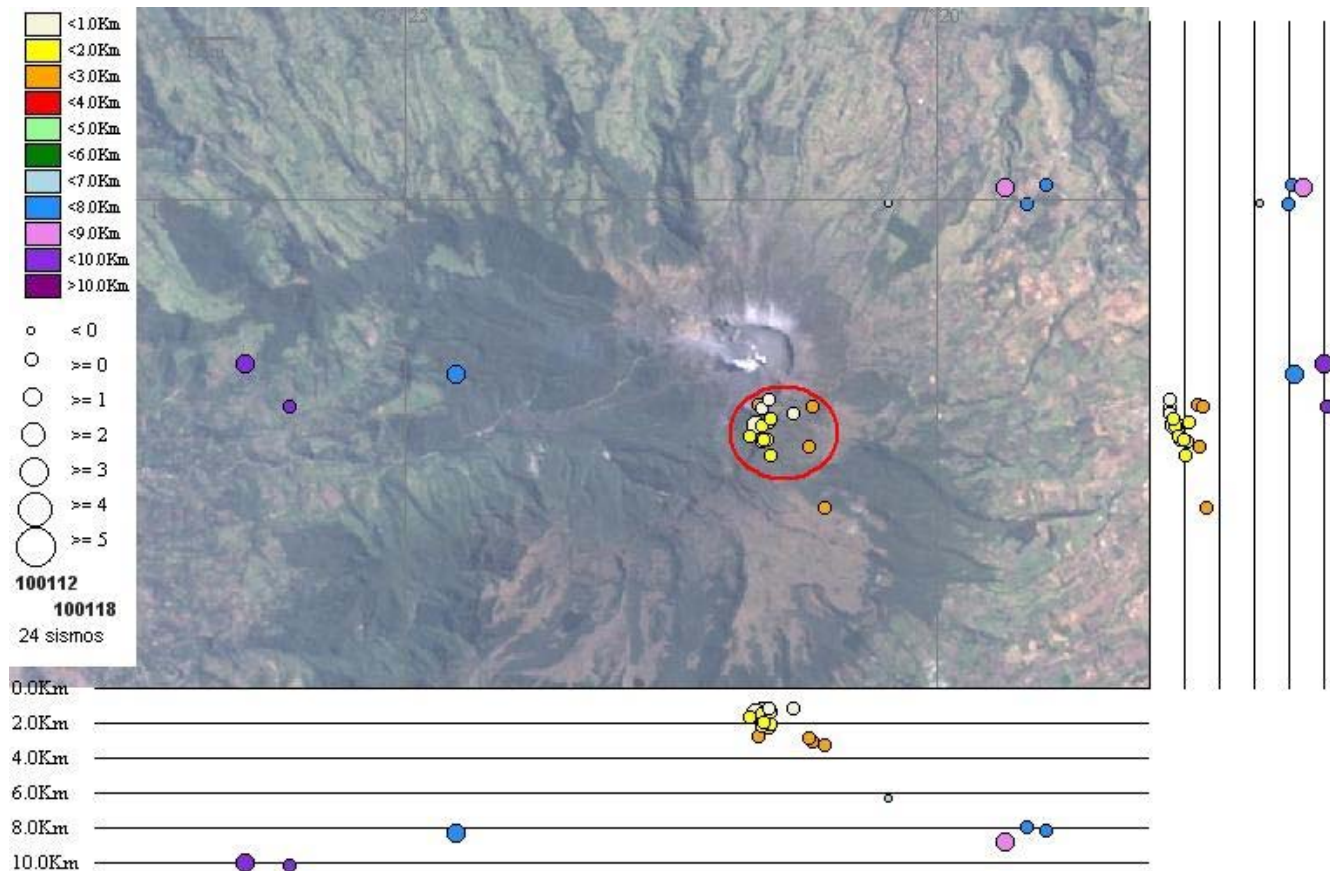


Figura 8. Frecuencia dominante evaluadas en la estación sismológica de corto período Urcunina, de los eventos tipo Tornillo (círculo negro) y Pseudo tornillo (rombo azul) y LP monocromático (cuadrado amarillo), registrados entre el 8 y el 18 de enero de 2010 para la estación sismológica Urcunina.

En cuanto a los eventos tipo HYB, que involucran tanto procesos de dinámica de fluidos como fracturamiento de material cortical, registraron un aumento considerable en comparación con el número de eventos de la semana anterior.

Para 24 eventos, tanto tipo HYB como VT, fue posible obtener una solución de localización, con base en el tiempo de arribo de las ondas P y S a las estaciones de monitoreo volcánico en Galeras y, aplicando el algoritmo de Geigger, utilizando el programa HYPO71 (Figura 9).

Los resultados obtenidos a partir de las localizaciones muestran que, aun cuando se han presentado algunos sismos de manera dispersa alrededor del edificio volcánico, a niveles relativamente profundos de hasta 10 km, la gran mayoría de la actividad se ha localizado en las inmediaciones del cráter volcánico, hacia el sector suroriente de éste, a distancias epicentrales entre 0.5 y 9 km del cráter. Las magnitudes de los eventos localizados se calcularon en un rango entre 0.1 y 1.9 en la escala de Richter (Figura 9, Tabla 4). El evento más energético se presentó el día 16 de enero, a la 4:20 a.m., el cual fue localizado hacia el sector sur del volcán a una profundidad aproximada de 10 km respecto a la cima volcánica.



**Figura 9.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura e híbridos registrados entre el 12 y el 18 de enero de 2010, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad, el tamaño de los círculos que representan los sismos depende de su  $M_L$  y el color de su profundidad, de acuerdo con las convenciones ubicadas en la parte superior izquierda de la figura.



**Tabla 4.** Parámetros de las localizaciones de sismos asociados a fracturamiento de material cortical e híbridos, registrados entre el 12 y el 18 de enero de 2010.

Fecha-Hora local (Tiempo en el origen)	Latitud		Longitud		Prof. (Km)	Dist.al cráter (Km)	Mag. dura- ción	Mag. Loc.	#Fa- ses	# Esta- ciones	gap	Dist. mín.	RMS	Error Hori.	Error Vert.	Cali- dad	Tipo
	°	'	°	'													
12/Ene/10 7:03 a.1./p.1.	1	12.80	77	21.65	1.4	1.2	1.3	0.4	8	4	198	0.6	0.04	0.2	0.3	C1	HD
12/Ene/10 7:15 a.1./p.1.	1	12.91	77	21.72	1.3	1.0	0.1	0.1	8	4	203	0.9	0.04	0.2	0.2	C1	HD
12/Ene/10 9:50 a.1./p.1.	1	13.13	77	21.74	2.5	0.6	1.1	0.4	6	3	293	1.3	0.05	0.6	0.5	C1	HD
12/Ene/10 22:04 a.1./p.1.	1	15.19	77	19.03	7.9	5.9	1.1	0.5	13	7	257	4.7	0.06	0.4	0.1	C1	VA
12/Ene/10 22:04 a.1./p.1.	1	15.01	77	19.21	7.7	5.5	0.6	0.5	14	7	250	4.2	0.07	0.5	0.1	C1	VA
13/Ene/10 2:20 a.1./p.1.	1	15.19	77	19.44	8.3	5.3	1.7	1.1	13	7	248	4.3	0.06	0.4	0.4	C1	VA
13/Ene/10 4:25 a.1./p.1.	1	15.00	77	20.48	6.1	3.7	0.1	0.2	11	6	225	3.1	0.08	0.4	0.5	C1	VA
13/Ene/10 22:35 a.1./p.1.	1	12.15	77	21.11	3.0	2.6	0.7	0.6	6	4	152	1.0	0.05	0.5	0.8	B1	HD
14/Ene/10 2:40 a.1./p.1.	1	13.09	77	21.70	0.9	0.6	0.7	0.9	8	5	192	1.2	0.03	0.2	0.3	C1	HD
14/Ene/10 3:57 a.1./p.1.	1	12.96	77	21.63	1.9	0.9	0.9	0.9	8	4	189	0.9	0.07	0.4	0.4	C1	HD
14/Ene/10 4:14 a.1./p.1.	1	13.04	77	21.40	0.8	0.9	0.6	0.3	9	5	160	1.1	0.06	0.2	0.4	B1	HD
14/Ene/10 19:33 a.1./p.1.	1	13.11	77	21.23	2.8	1.1	0.8	0.3	5	3	252	1.3	0.02	0.3	0.2	C1	HD
15/Ene/10 4:17 a.1./p.1.	1	12.73	77	21.26	2.5	1.6	0.4	0.8	8	4	125	0.7	0.08	0.4	0.4	B1	HD
15/Ene/10 23:10 a.1./p.1.	1	12.97	77	21.80	0.9	0.9	0.8	1.0	11	6	111	1.1	0.06	0.2	0.5	B1	HD
15/Ene/10 23:29 a.1./p.1.	1	12.93	77	21.69	1.2	0.9	0.7	0.9	12	6	104	0.9	0.04	0.1	0.2	B1	HD
16/Ene/10 0:17 a.1./p.1.	1	12.66	77	21.61	1.7	1.5	0.6	0.7	7	4	112	0.4	0.04	0.3	0.3	B1	HD
16/Ene/10 0:19 a.1./p.1.	1	12.84	77	21.83	1.4	1.1	0.1	0.6	9	6	120	0.9	0.09	0.3	0.7	B1	HD
16/Ene/10 4:20 a.1./p.1.	1	13.53	77	26.59	9.6	9.0	2.1	1.9	12	7	298	3.1	0.07	0.8	0.7	C1	VA
16/Ene/10 4:20 a.1./p.1.	1	13.43	77	24.61	7.8	5.4	2.2	1.8	7	5	265	4.4	0.07	1.1	0.3	C1	VA
16/Ene/10 8:41 a.1./p.1.	1	13.00	77	21.62	1.0	0.8	0.6	0.8	8	5	94	1.0	0.04	0.2	0.4	B1	HD
17/Ene/10 0:13 a.1./p.1.	1	12.78	77	21.70	1.8	1.2	0.4	0.7	11	6	116	0.7	0.10	0.3	0.5	B1	HD
17/Ene/10 10:27 a.1./p.1.	1	13.17	77	21.63	0.9	0.5	0.1	0.6	6	3	286	1.3	0.03	0.2	0.3	C1	HD
17/Ene/10 11:46 a.1./p.1.	1	12.80	77	21.68	1.7	1.2	0.3	0.8	8	5	111	0.7	0.05	0.2	0.3	B1	HD

<b>Máx</b>	9.6	9.0	2.2	1.9	14	7	298	4.7	0.10	1.1	0.8
<b>Mín</b>	0.8	0.5	0.1	0.1	5	3	94	0.4	0.02	0.1	0.1
<b>Pro</b>	3.3	2.3	0.8	0.7	9	5	190	1.7	0.06	0.4	0.4

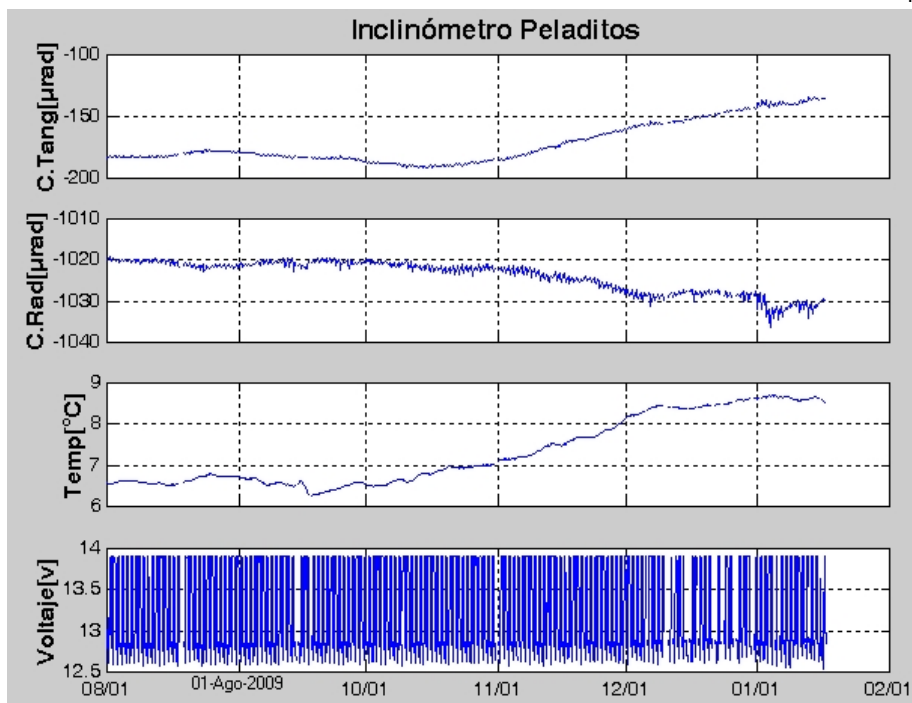
Por otro lado, con relación a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos de deformación del edificio volcánico, se encontró lo siguiente:

Para el inclinómetro Peladitos (1.4 km al sureste del cráter principal, 3850 msnm), mientras que la componente tangencial muestra una tendencia ascendente, asociada con el comportamiento de la de temperatura, la componente radial mostró para esta semana un comportamiento estable (Figura 10).

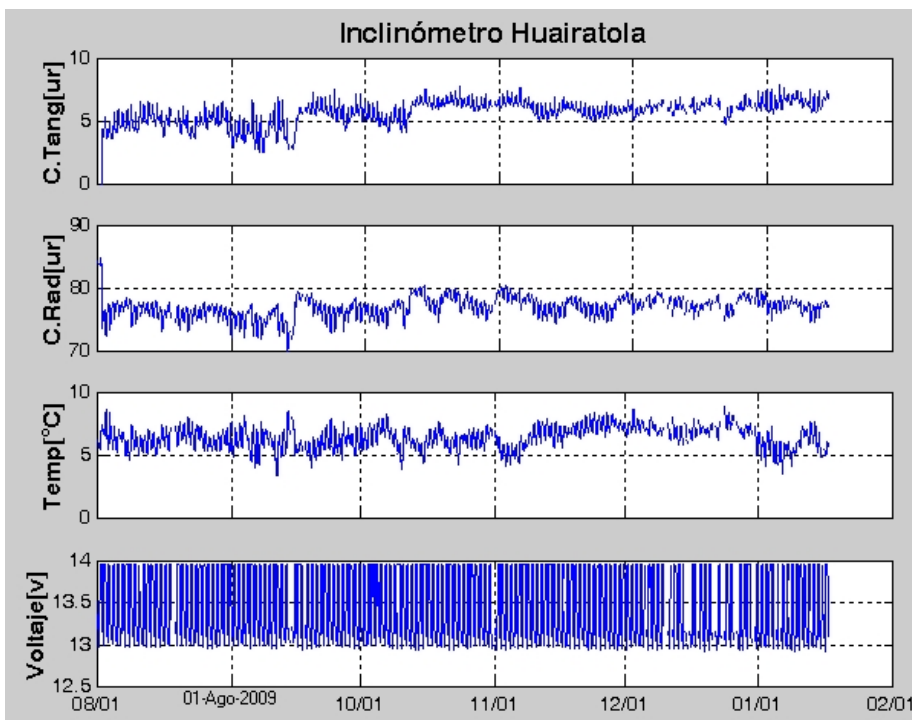
Las dos componentes del inclinómetro Huairatola (1.7 km al norte del cráter, 3745 msnm), no muestran variaciones que puedan considerarse producto de la deformación del edificio volcánico; sin embargo, se detectan algunos pequeños cambios relacionados con variaciones de temperatura (Figura 11).

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 12).

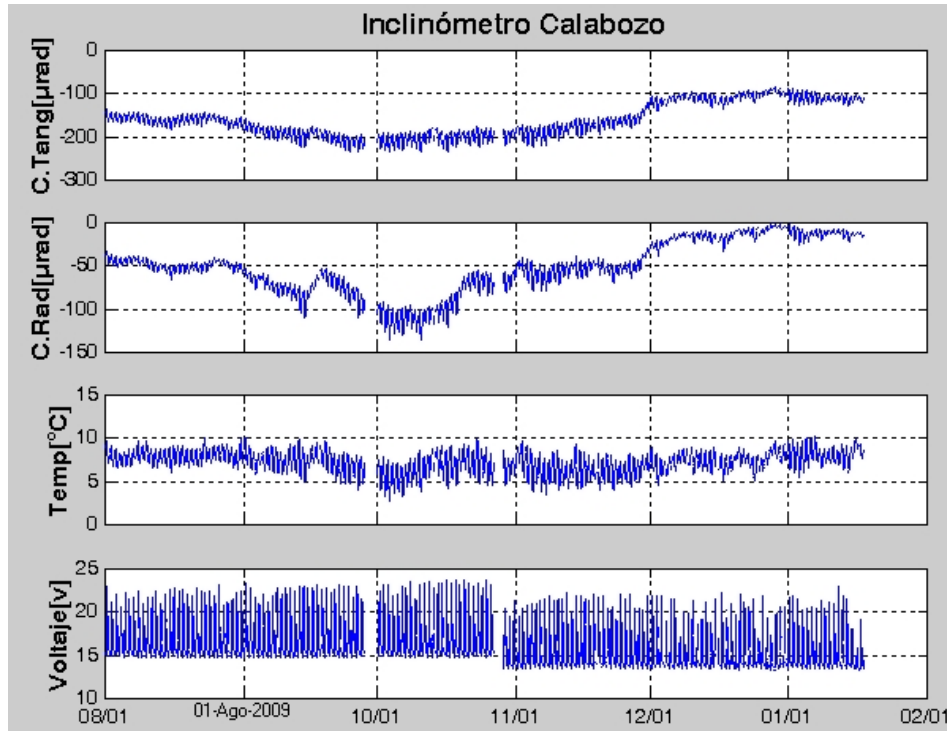




**Figura 10.** Componentes de inclinación radial (Y) y tangencial (X), junto con los datos del canal de temperatura y voltaje del sistema de alimentación del inclinómetro Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2009 y el 18 de enero de 2010.



**Figura 11.** 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 el 18 de enero de 2010.



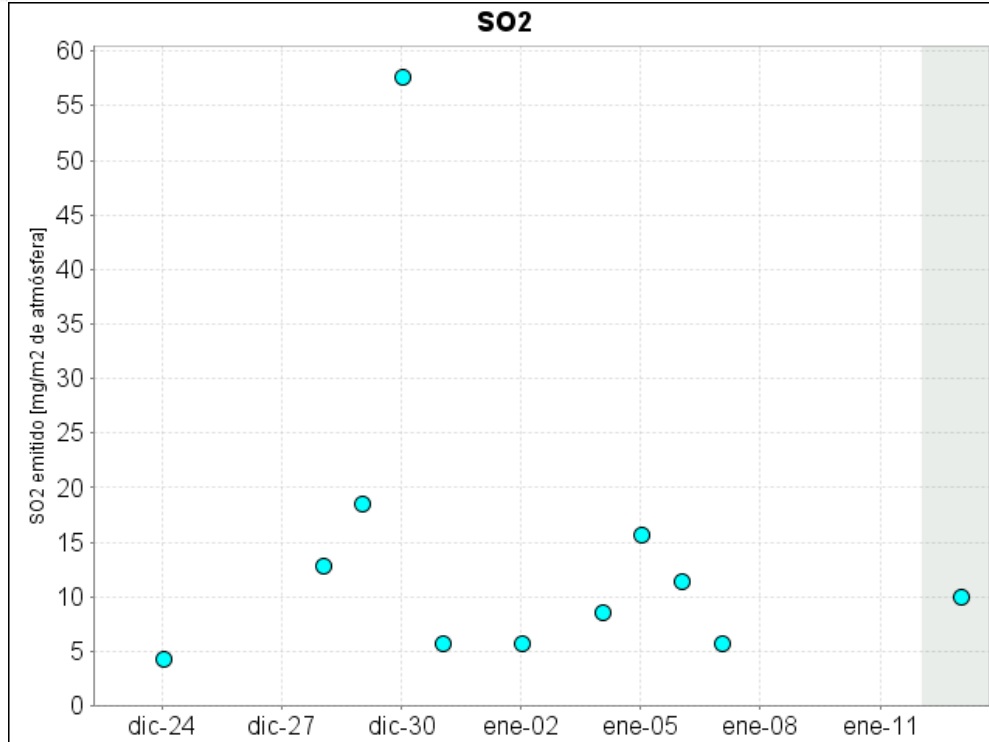
**Figura 12.** Componentes de inclinación radial (X) y tangencial (Y), junto con los datos del canal de temperatura y voltaje del sistema de alimentación del inclinómetro Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2009 y el 18 de enero de 2010.

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://www.novac-project.eu/>) en Galeras no registraron escaneos válidos para hacer su valoración, así como tampoco fue posible realizar mediciones con el instrumento Movildoas (haciendo recorridos a través de la vía circunvalar a Galeras).

A partir de las imágenes del sensor OMI (*Ozone Monitoring Instrument*), acoplado al satélite Aura de la NASA, se obtuvo reporte de registro de concentración de SO<sub>2</sub> emitido por Galeras, durante el día 13 de enero con un valor de 9.9 mg/m<sup>2</sup> (Tabla 5, Figura 13).

**Tabla 5.** Parámetros de evaluación del flujo de SO<sub>2</sub> a la atmósfera, a partir de las imágenes del sensor OMI, para el periodo comprendido entre el 22 de diciembre de 2009 y el 18 de enero de 2010.

FECHA	HORA LOCAL MEDICION	Max SO2 [DU]	Max SO2 [mg/m <sup>2</sup> ]
13-ene-10	02:33 PM	0.35	9.975



**Figura 13.** Flujo de SO<sub>2</sub> del volcán Galeras registrado por las imágenes satelitales, del satélite Aura de la Nasa, para el período entre el 22 de diciembre de 2009 y el 18 de enero de 2010.

Durante el transcurso de la semana evaluada las condiciones climáticas en la cima de Galeras, en la mayor parte del tiempo impidieron la observación de actividad superficial, sin embargo en algunas horas del día en el que había visual a la cima, no se observó ningún tipo de actividad superficial.

## CONCLUSIONES

- Hasta la culminación de este informe, se han totalizado ocho sismos tipo Tornillo y un Pseudo-Tornillo. De acuerdo con el análisis de la información, estos eventos muestran una leve tendencia descendente en su frecuencia dominante, lo que de acuerdo con los análisis, modelamientos e hipótesis planteadas, podría estar indicando que las condiciones de contraste de impedancia entre el medio y el fluido o gas al interior del sistema volcánico estarían incrementando, lo que de acuerdo con el conocimiento de Galeras y el comportamiento del volcán en los últimos 20 años, podría favorecer la ocurrencia de una erupción en el corto plazo. La importancia de esta clase de señales sísmicas radica en que han precedido la mayoría de las erupciones explosivas de Galeras, registradas entre 1992 y 2010.
- Las mediciones de Dióxido de Azufre continúan con valores considerados como bajos. Para la semana no se contó con información óptima, a partir de la red de instrumentos ScanDOAS, se obtuvo información a partir del sensor OMI del satélite Aura de la NASA, obteniendo valores de hasta 10 mg/m<sup>2</sup>.



Los bajos niveles en la emisiones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), e incluso la ausencia de datos de medición (sea por la ausencia de gases en la atmósfera o por la dispersión de la columna de gases hacia sectores diferentes de aquellos donde se encuentran instalados los equipos de medición), junto con la ocurrencia de eventos tipo Tornillo, en el contexto de un sistema volcánico con la presencia de material magmático a nivel del conducto principal, sugieren un sistema sellado e inestable que acumula presiones, posibilitando la ocurrencia de un evento eruptivo explosivo.

Teniendo como base lo anteriormente expuesto, el nivel de actividad durante el periodo evaluado se mantuvo en nivel naranja.