



INGEOMINAS – OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE PASTO

San Juan de Pasto, 24 de febrero de 2010

A partir de la evaluación de los diferentes parámetros del monitoreo volcánico de Galeras, para el período comprendido entre el 16 y el 22 de febrero de 2010, se decide continuar con el nivel de actividad en Amarillo (III: “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”).

Durante la semana evaluada, la actividad de Galeras presentó una disminución considerable en cuanto al número de ocurrencia de eventos sísmicos tipo HYB (eventos relacionados con fracturamiento de material y posterior movimiento de fluido), aumento en la presencia de eventos sísmicos tipo LP y VT (eventos relacionados con movimiento de fluido y fracturamiento de material cortical, respectivamente), y una leve disminución en el registro de eventos tipo TRE (eventos asociados a movimiento de fluidos de fuente persistente en el tiempo); por otra parte la energía sísmica liberada por los diferentes tipos de eventos, en general, presentó una disminución, excepto para los eventos tipo LP. En cuanto a la ocurrencia, el mayor aporte se dio por parte de los eventos tipo LP, seguido de los eventos tipo TRE, la tabla 1 y las figuras 1, 2 y 3 muestran las relaciones descritas hasta aquí.

Tabla 1. Número de sismos volcánicos por tipo, registrados entre el 26 de enero y el 22 de febrero de 2010, contabilizados por periodos semanales.

Periodo Evaluado	Número de Eventos por Tipo					Duración TRE. Min	
	LPS	HYB	VT	TRE	TOTAL		
26-Jan-10 a 01-Feb-10	22	6	13	12	53	124	9.83
02-Feb-10 a 08-Feb-10	86	47	19	17	169	217	39.57
09-Feb-10 a 15-Feb-10	37	20	6	24	87	150	52.27
16-Feb-10 a 22-Feb-10	41	13	9	22	85	159	53.02

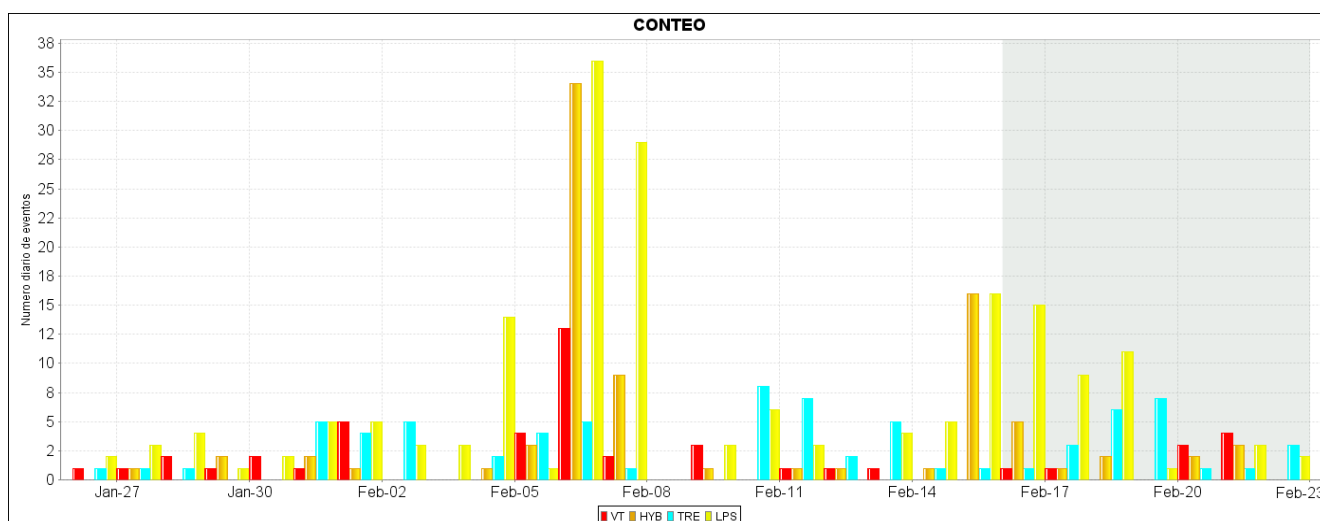


Figura 1. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos entre el 26 de enero de 2010 y el 22 de febrero de 2010. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

ESTADÍSTICA SEMANAL CONTEO

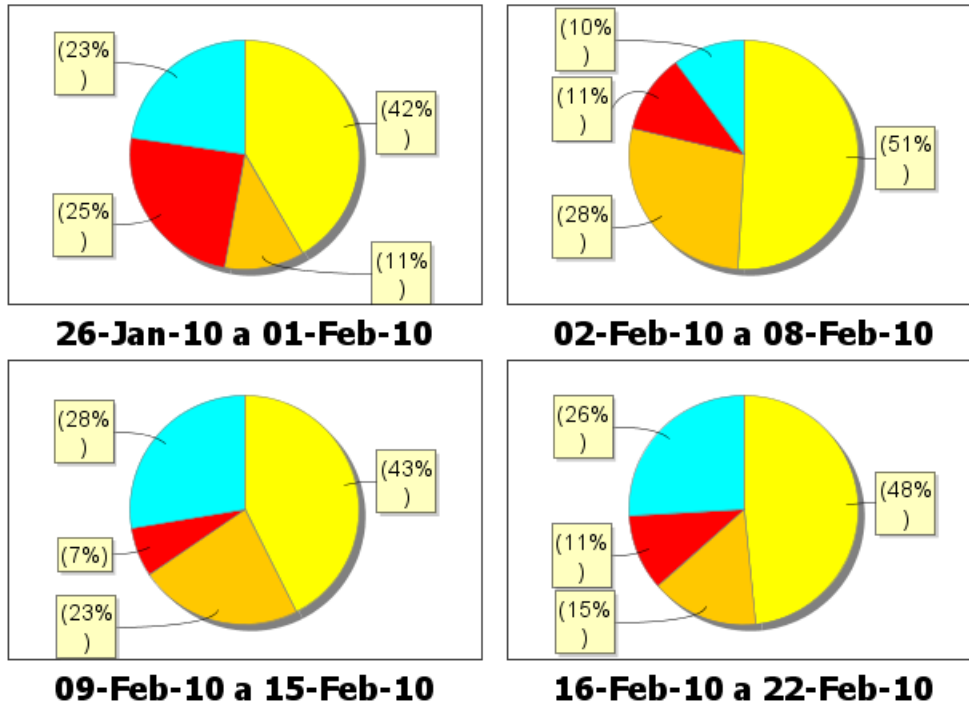


Figura 2. Porcentajes del número de eventos por cada tipo para los últimos cuatro periodos semanales, incluyendo el evaluado en este informe.

COMPARACIÓN SEMANAL CONTEO

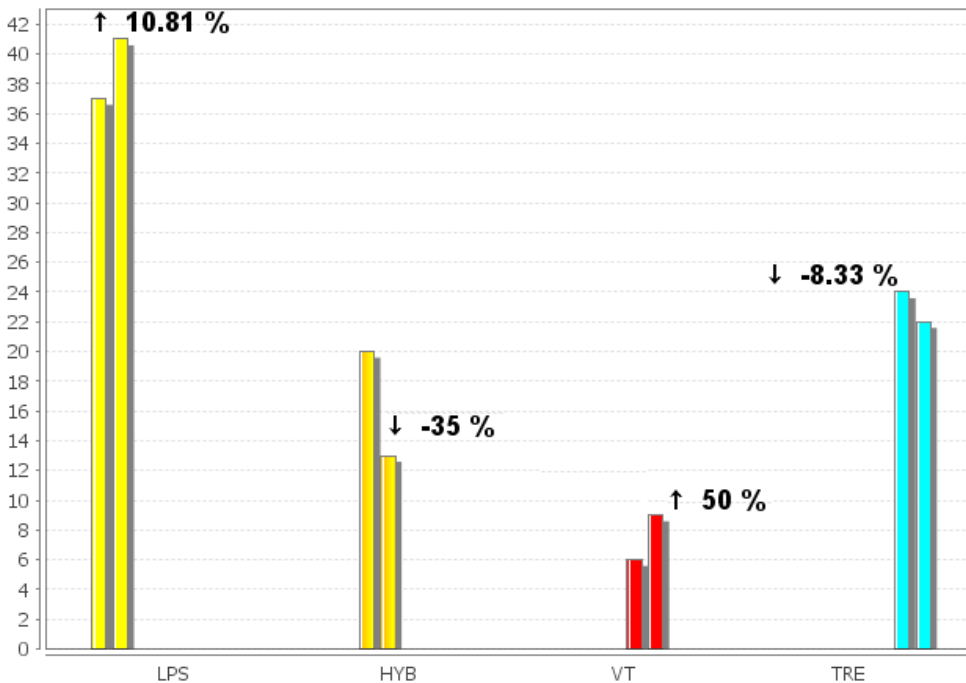


Figura 3. Comparación, entre las dos últimas semanas, en cuanto a ocurrencia sísmica por tipo de evento, para los dos últimos periodos semanales.



Como se mencionó anteriormente, respecto a la semana comprendida entre el 9 y el 15 de febrero, los niveles de energía sísmica liberada, registraron una disminución en los eventos tipo VT e HYB, un aumento considerable para los eventos tipo LP y para los eventos tipo TRE no fue posible cuantificar la energía sísmica liberada para el periodo objeto de evaluación, debido a que no se tiene cálculo de respuesta instrumental para la estación Urcunina, ya que no se ha podido acceder a la estación para realizar las pruebas pertinentes, ver Tabla 2, Figura 4. Cabe resaltar que a pesar de que el número de ocurrencia de los eventos tipo VT aumentó, el valor total de energía no lo hizo. Los eventos que aportaron la mayor parte de energía liberada fueron de tipo LP, seguidos por los de tipo VT (Tabla 2, Figura 5, Figura 6).

Tabla 2. Energía liberada de sismos volcánicos por tipo, registrada entre el 19 de enero de 2010 y el 15 de febrero de 2010, contabilizados por periodos semanales.

Periodo Evaluado	ENERGÍA (ergios) POR TIPO DE EVENTO				
	LP	HYB	VT	TRE	TOTAL
26-Jan-10 a 01-Feb-10	3.07E+11	2.80E+09	3.52E+14	1.14E+10	3.52E+14
02-Feb-10 a 08-Feb-10	2.89E+12	3.22E+11	1.15E+12	3.06E+11	4.66E+12
09-Feb-10 a 15-Feb-10	2.15E+11	8.36E+09	7.00E+11	1.71E+09	9.25E+11
16-Feb-10 a 22-Feb-10	2.87E+11	3.41E+09	6.87E+10	0	3.59E+11

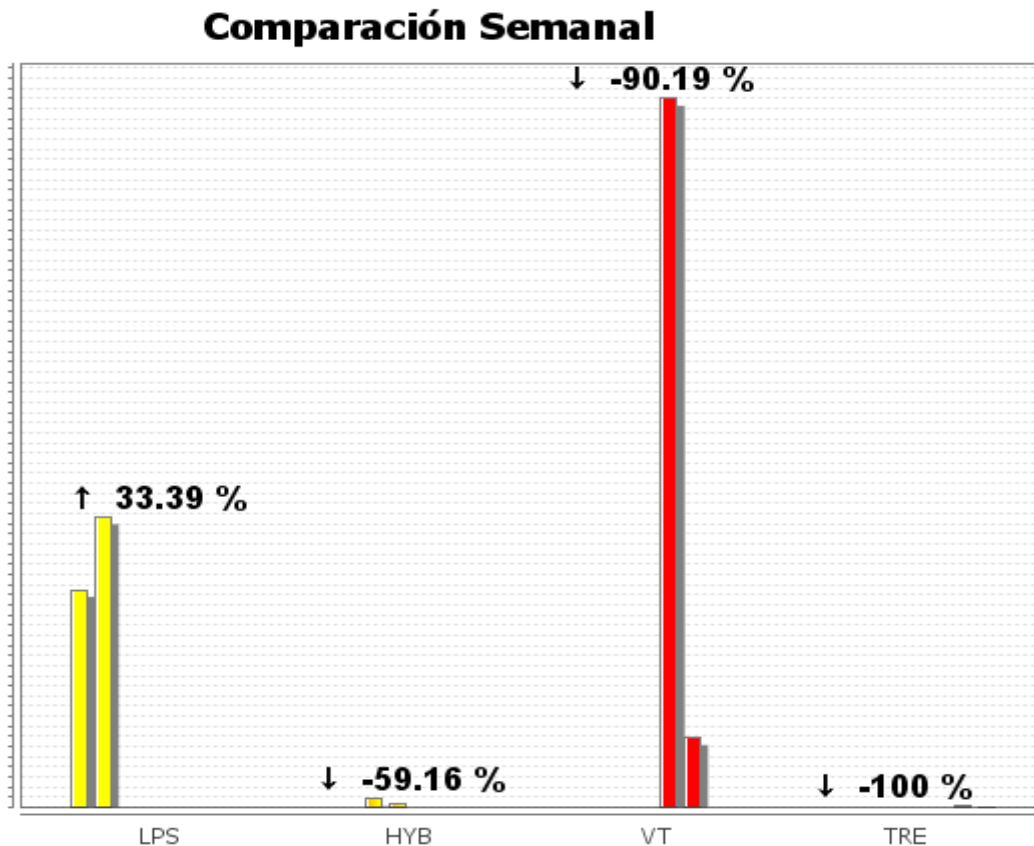


Figura 4. Comparación, entre las dos últimas semanas, de energía sísmica liberada por cada tipo de evento.

ESTADÍSTICA SEMANAL RAÍZ ENERGÍA OC

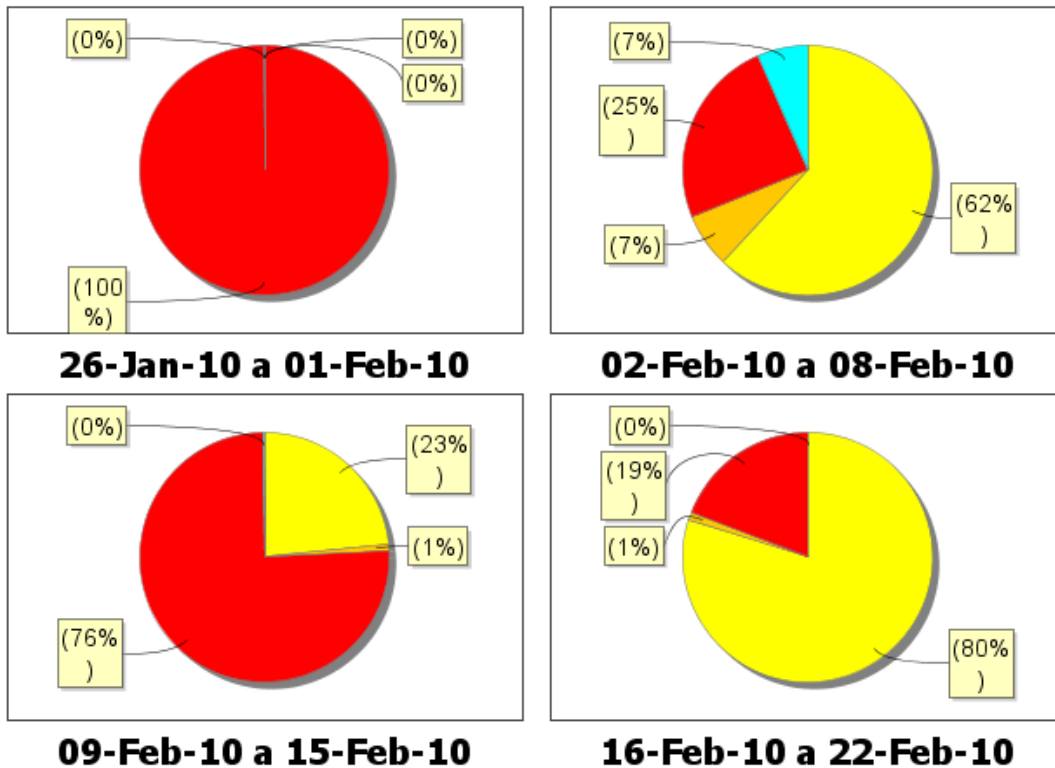


Figura 5. Porcentajes de la energía sísmica liberada por cada tipo de evento para los últimos cuatro periodos semanales, incluyendo el evaluado en este informe.

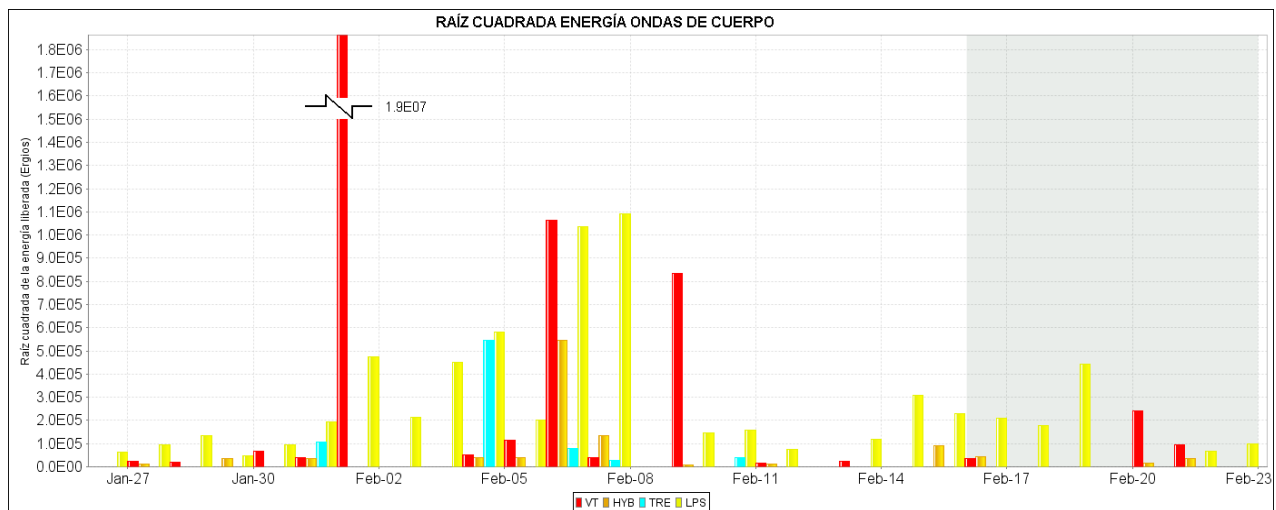


Figura 6. Histograma de la energía liberada de eventos volcánicos por tipo, (expresada en términos de su raíz cuadrada), registrada entre el 26 de febrero y el 22 de febrero de 2010. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

En cuanto a los eventos tipo LP se destaca el registrado el 21 de febrero a las 10:50 a.m., el cual posee la característica de ser cuasi-monocromático y se considera dentro de los eventos relacionados con movimientos de fluido como especiales, pues en su espectro se logra evidenciar claramente el predominio de un pico de frecuencia cercano a los 3.54 Hz en la mayoría de las estaciones en las que se tuvo registro (Figura 7).

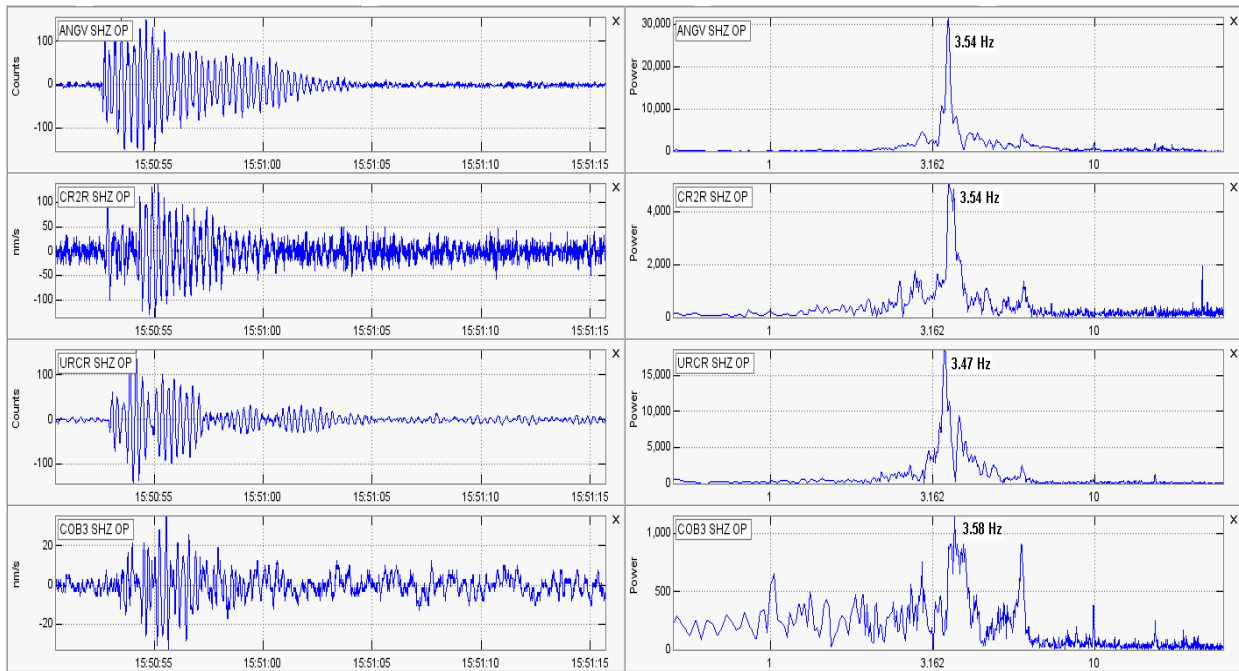


Figura 7. Evento tipo LP registrado el 21 de febrero de 2010 a las 10:50 a.m.

Por otra parte es importante mencionar la ocurrencia de eventos tipo tremor ya que esto puede propiciar una relajación parcial de esfuerzos en el sistema. Entre los eventos más destacados de este tipo durante el periodo evaluado para este informe se encuentra el del día 20 de febrero a las 10:28 a.m., cuya amplitud de registro en la estación Urcunina fue de aproximadamente cuatro veces la amplitud umbral de clasificación para los eventos sísmicos de este tipo (Figura 8).

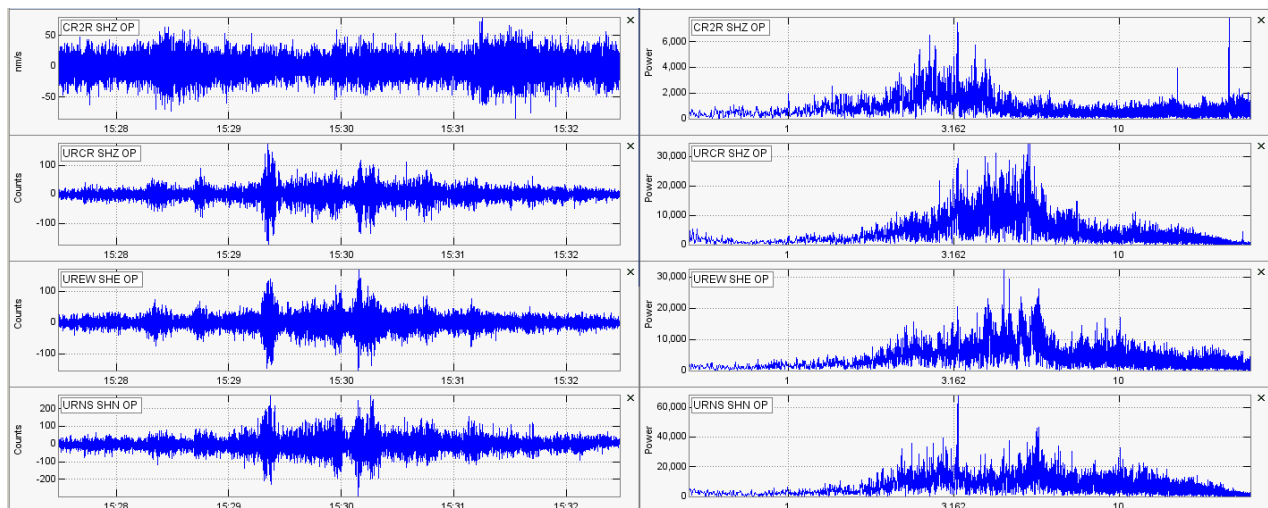


Figura 8. Evento tipo TRE registrado el 20 de febrero de 2010 a las 10:28 a.m.

Durante el periodo evaluado se destaca también la disminución en la ocurrencia de eventos tipo HYB, que aunque su aporte energético fue mínimo, son importantes para la determinación de una posible fuente sísmica.

En cuanto a los eventos relacionados con fracturamiento de material cortical, se destacan los eventos tipo VT registrados los días 20 y 21 de febrero a las 2:13 a.m. y 11:02 a.m., con valores de magnitud local 1.1 y 0.9 respectivamente. Para ambos eventos se tiene un registro claro en las estaciones sísmicas como Anganoy (ANGV, ubicada en el sector este del cráter principal a 0.84 km), Crater2 (CR2R, ubicada en el sector sur a 1.5 km), Urcunina (URCR, ubicada en el sector sur-oriental a 2.3 km), Cobanegra (COB3, ubicada a 3.9 km al suroriente) y Obonuco (OBVR, ubicada al sur-este del cráter principal a 4.94 Km), (figura 9, figura 10).

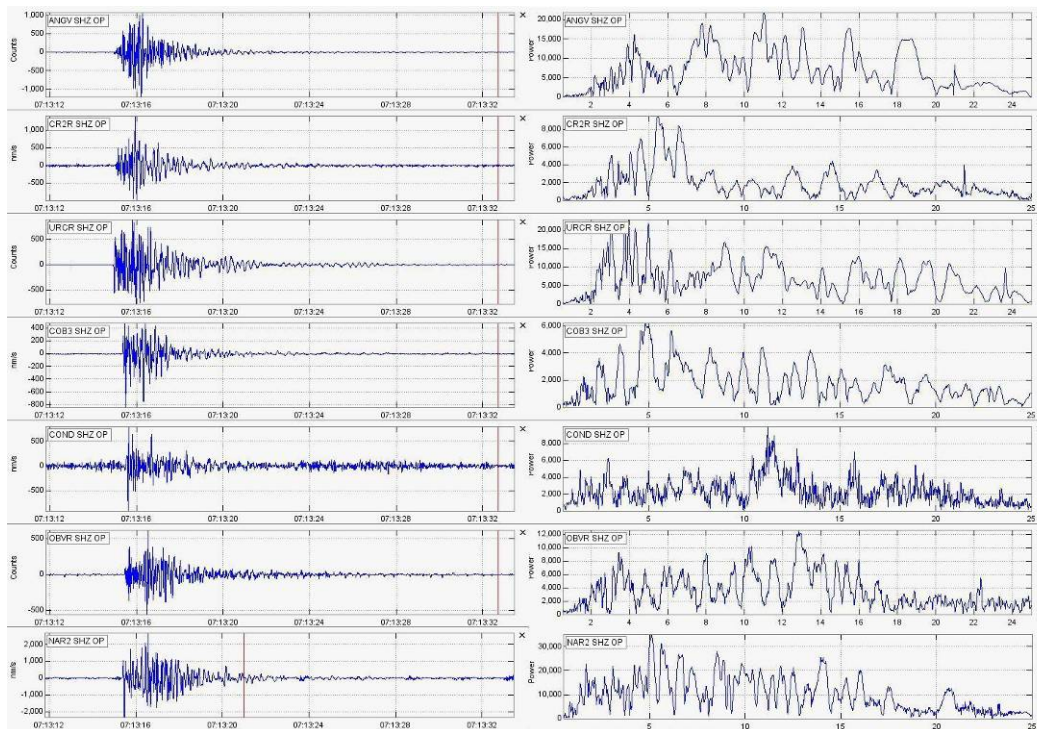


Figura 9. Evento tipo VT registrado el 20 de febrero de 2010 a las 2:13 a.m.

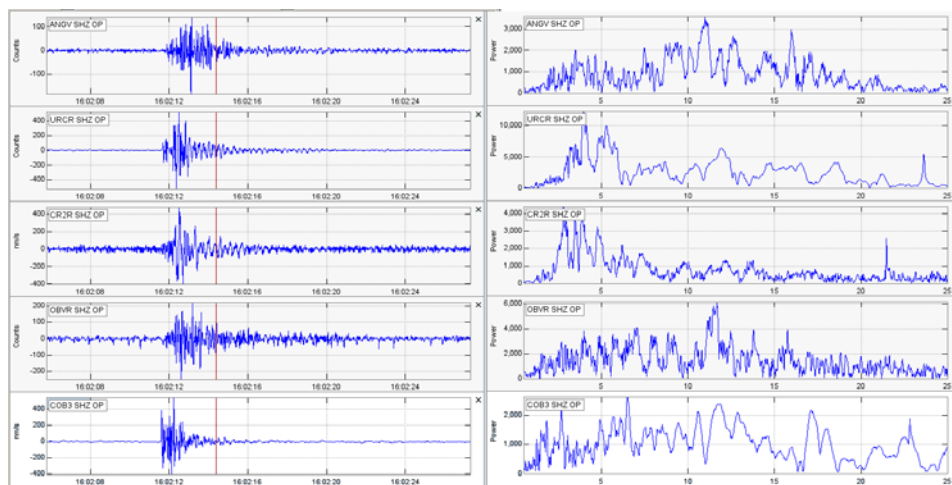


Figura 10. Evento tipo VT registrado el 21 de febrero de 2010 a las 11:02 a.m.

De esta manera y con base al tiempo de arribo de las ondas P y S a las estaciones de monitoreo volcánico en Galeras, aplicando el algoritmo de Geigger utilizado por el programa

HYPO71 fue posible obtener la localización de 5 eventos tipo HYB y de 8 sismos asociados al fracturamiento de material cortical. La tabla 3 y la figura 11 muestran que los resultados obtenidos a partir de las localizaciones no indican una fuente predominante, en su mayoría los eventos se localizaron de manera dispersa a profundidades que oscilan entre 1 y 4 Km. Las magnitudes de los eventos localizados se calcularon en un rango entre - 0.1y 1.1 grados en la escala de Richter.

Tabla 3. Parámetros de las localizaciones de sismos asociados a fracturamiento de material cortical e híbridos, registrados entre el 16 y el 22 de febrero de 2010.

FECHA	HORA	LAT °	LAT '	LON °	LON '	PROFUNDIDAD	MAGNITUD CODA	MAGNITUD LOCAL	#FASES	GAP	Dist-Min	RMS	ERH	ERZ	CALIDAD	TIPO
2010-02-16	01:07:17	1	12.86	77	21.61	1.34	1.57	0.4	9	189	0.7	0.08	0.4	0.5	C1	GVA
2010-02-16	01:37:35	1	12.96	77	21.53	0.99	0.8	0.1	6	176	0.9	0.03	0.2	0.3	B1	GHD
2010-02-17	12:03:56	1	14.03	77	22.43	1.37	2.58	0.1	5	326	3.3	0.06	1.6	2.9	C1	GVA
2010-02-17	20:00:47	1	12.1	77	24.03	3.47	-0.13	0	7	186	2.4	0.07	1.2	1	C1	GHD
2010-02-18	00:30:36	1	13.33	77	21.79	1.52	0.23	0.1	5	300	1.7	0.03	0.4	0.7	C1	GHD
2010-02-18	20:36:07	1	14.4	77	20.08	6.4	1.19	0.3	7	234	2.6	0.02	0.1	0.1	C1	GHD
2010-02-20	02:13:13	1	13.23	77	21.6	3.16	0.95	1.1	14	97	0.8	0.05	0.1	0.2	B1	GVA
2010-02-20	08:51:00	1	16.76	77	19.67	10.28	0.54	0.3	9	298	4.1	0.03	0.4	0.2	C1	GVA
2010-02-20	20:39:05	1	10.69	77	23.74	5.81	1.22	0.9	15	240	1.9	0.06	0.2	0.3	C1	GVA
2010-02-21	11:02:10	1	11.89	77	21.11	2.18	0.43	0.9	10	175	1.3	0.07	0.3	0.3	B1	GVA
2010-02-21	16:44:31	1	12.04	77	20.92	1.82	0.76	0.6	12	95	1.4	0.08	0.2	0.3	B1	GVA
2010-02-21	18:29:23	1	13.37	77	21.88	1.09	1.25	-0.1	7	293	1.3	0.02	0.2	0.2	C1	GHD
2010-02-21	19:31:44	1	13.51	77	22.04	1.62	1.22	0	8	307	1.6	0.07	0.5	0.5	C1	GVA

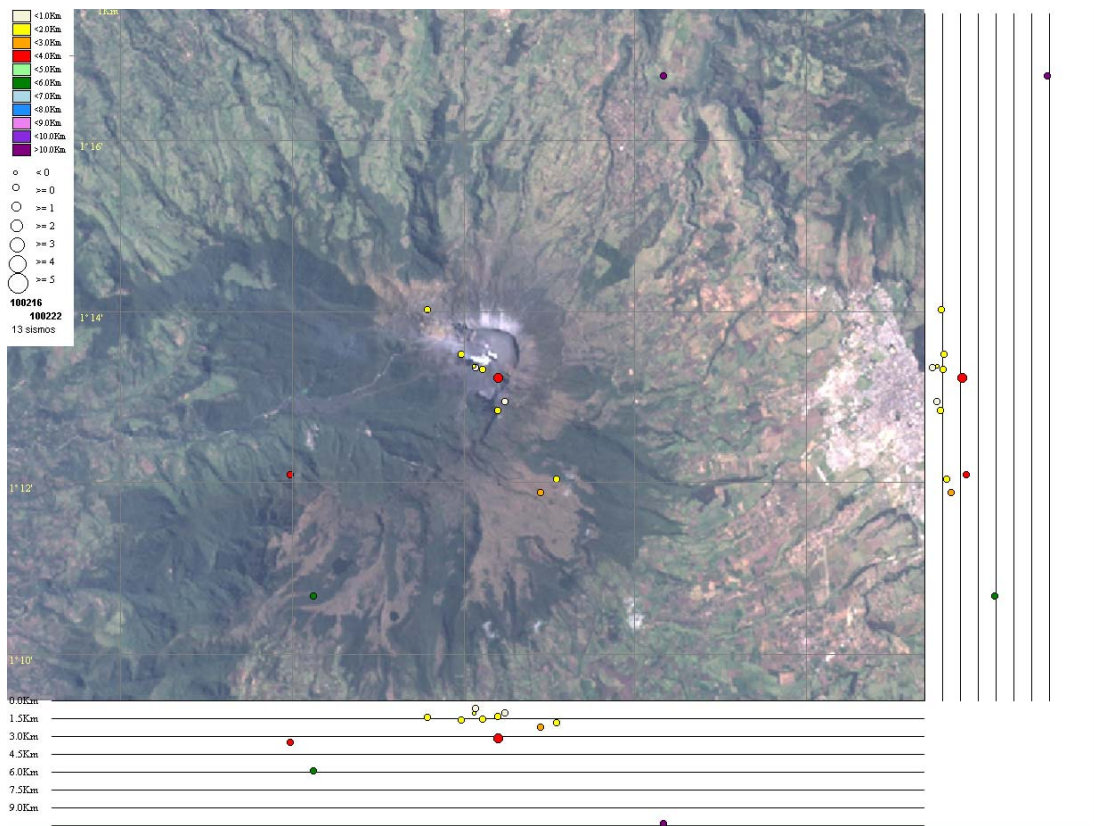


Figura 11. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura e híbridos registrados entre el 16 y el 22 de febrero de 2010, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1 Km de profundidad, el tamaño de los círculos que representan los sismos depende de su M_L y el color su profundidad, de acuerdo con las convenciones ubicadas en la parte superior izquierda de la figura.

Por su parte, los inclinómetros electrónicos localizados en el edificio volcánico, los cuales nos brindan información sobre los procesos de deformación de Galeras, mostraron lo siguiente:

Para el inclinómetro peladitos continúa una tendencia ascendente en su componente tangencial, probablemente asociada con la actividad volcánica; mientras que la componente radial, presenta variaciones (Figura 12).

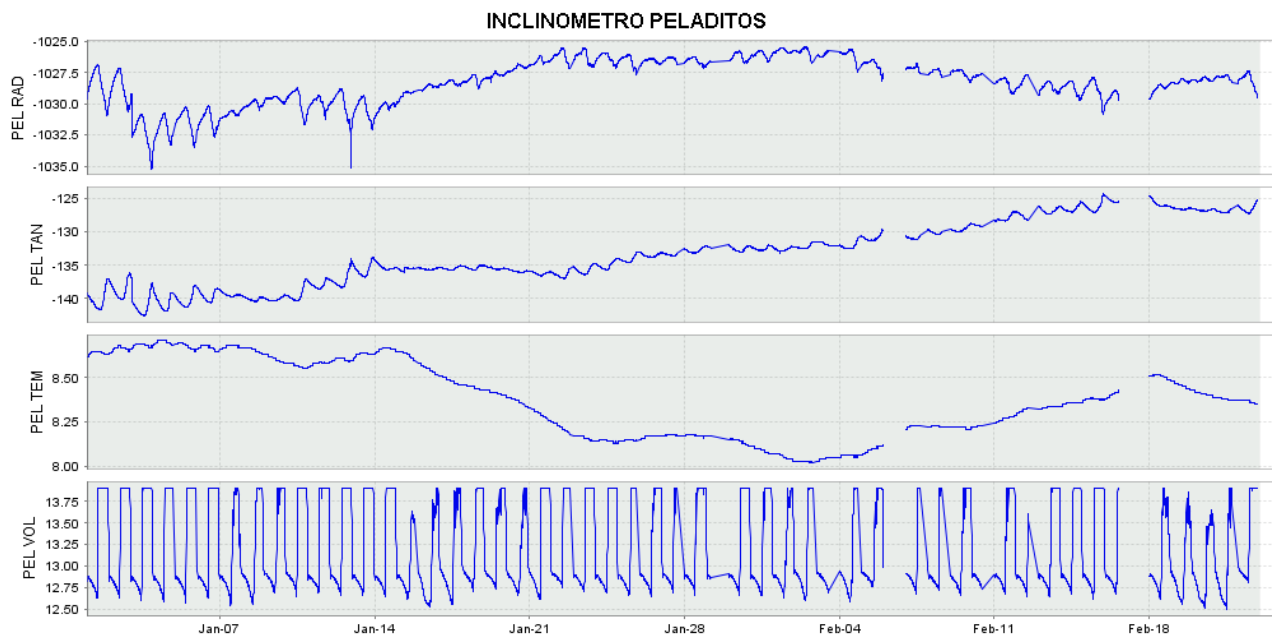


Figura 12. Componentes de inclinación radial (Y) y tangencial (X), junto con los datos del canal de temperatura y voltaje del sistema de alimentación del inclinómetro Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 22 de febrero de 2010.

Para el inclinómetro Calabozo, a partir del 1 de enero de 2010, tanto la componente radial como la tangencial continúan con una tendencia descendente hasta el 17 de febrero de 2010, punto de inflexión en donde ambas componentes presentan un cambio de tendencia con un acumulado hasta 12 y 17 μ radianes respectivamente (Figura 13).

Las componentes tangencial y radial del inclinómetro Huairatola presentan una tendencia prácticamente estable, con variaciones muy pequeñas como se menciona en el informe anterior (Figura 14).

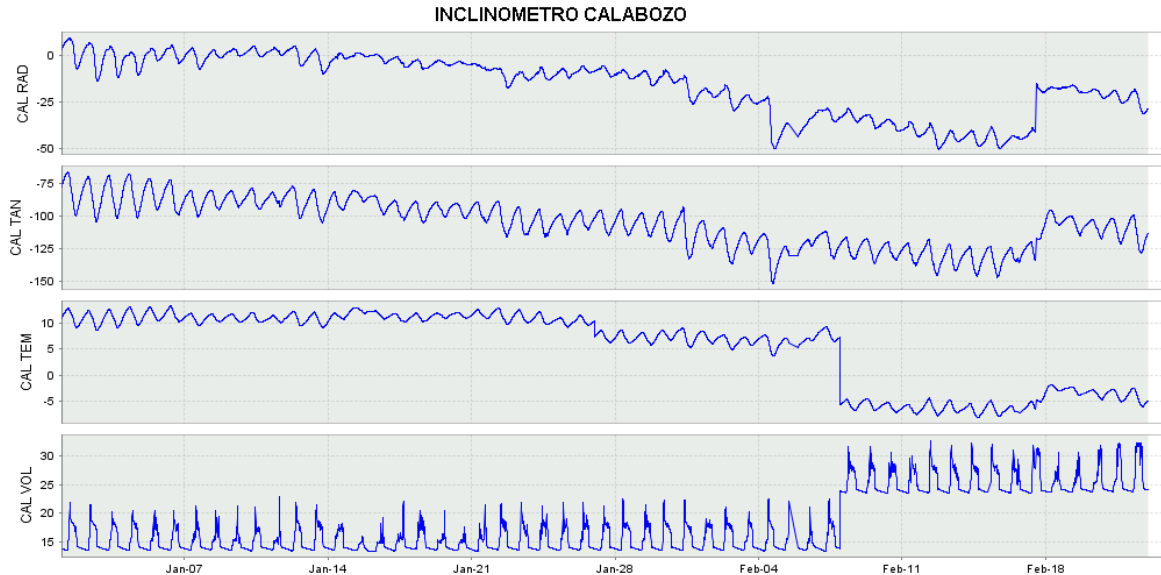


Figura 13. Componentes de inclinación radial (X) y tangencial (Y), junto con los datos del canal de temperatura y voltaje del sistema de alimentación del inclinómetro Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 22 de febrero de 2010.

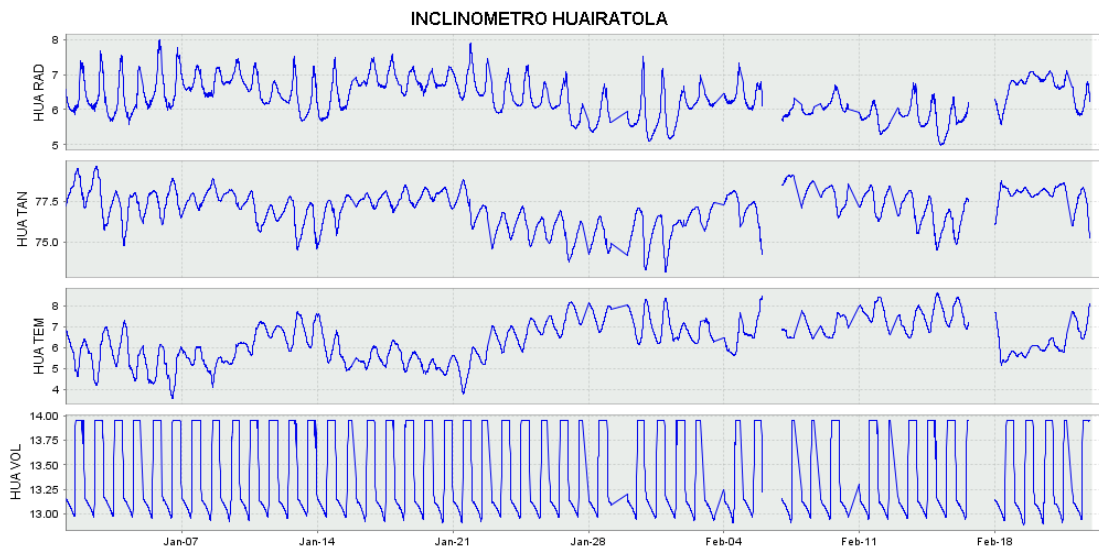


Figura 14. Componentes de inclinación radial (Y) y tangencial (X), junto con los datos del canal de temperatura y voltaje del sistema de alimentación del inclinómetro Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 22 de febrero de 2010.

Respecto al monitoreo de las emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2) a la atmósfera, provenientes del volcán, las estaciones que conforman la red telemétrica de instrumentos *ScanDOAS* (ubicadas en el sector nor-occidental del edificio volcánico) del proyecto NOVAC (<http://www.novac-project.eu/>) en Galeras no registraron datos con flujo de SO_2 . El día 16 de febrero se obtuvo registro de SO_2 mediante el uso del equipo portátil *MovilDOAS*, realizando el recorrido comprendido entre las poblaciones de Genoy y La Florida, alcanzando un valor de 303 ton/día, valor que para Galeras es considerado como bajo (Figura 15).

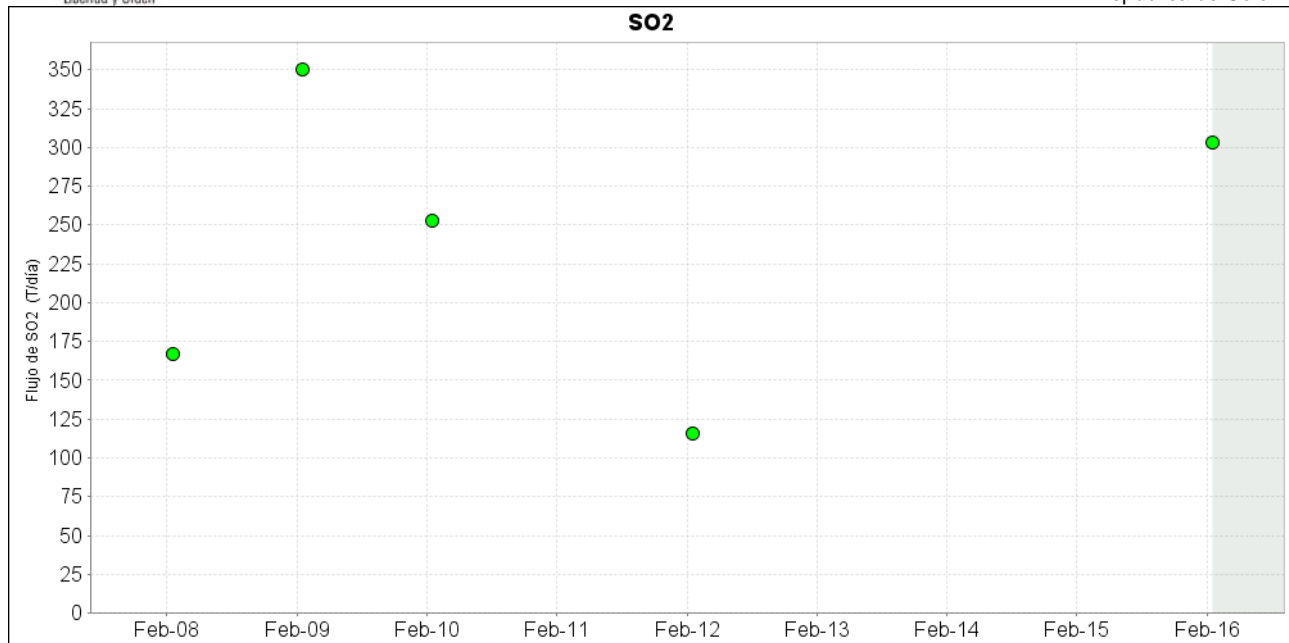




Figura 15. Flujo de SO₂ del volcán Galeras censado por las estaciones ScanDOAS, ubicadas al noroccidente, registrada entre el 7 de febrero de 2010 y el 22 de febrero de 2010. El recuadro gris indica el periodo evaluado.

Mediante reconocimiento de la cima de Galeras, realizado el 17 de febrero, ya que hasta el 9 de febrero el nivel de actividad del volcán Galeras estuvo en **Nivel Naranja II** , nivel en el cual el personal del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto no puede desplazarse hasta zonas de amenaza alta, por el riesgo que implica permanecer expuesto a la posible ocurrencia de un evento eruptivo en esta zona. El 9 de febrero, luego de la evaluación en el comportamiento de la actividad volcánica en Galeras se retornó a **Nivel Amarillo III** . Entre el 9 y el 16 de febrero se observó la evolución de la actividad del volcán y se realizaron los planes de trabajo para restablecer las diferentes estaciones ubicadas en las zonas de amenaza alta y media de Galeras.

En estas condiciones el OVSP organizó una comisión conformada por cuatro funcionarios del INGEOMINAS (John Meneses, Adriana Ortega, Carlos Estrada y Byron Gámez) y una persona de apoyo, con pago de jornal (Carlos Botina), para realizar este trabajo de reconocimiento en la cima de Galeras.

1. ESTADO DE LA CARRETERA

En términos generales, se evidencia que la carretera fue afectada por los productos volcánicos emitidos en la erupción del 2 de enero de 2010. Sin embargo, estos efectos no fueron tan dañinos como en episodios eruptivos anteriores, donde no fue posible subir hasta la cima. En esta ocasión, quitando solamente las rocas de mayor tamaño (~1m de diámetro) y unas pocas de menor tamaño fue posible acceder a la parte más alta del volcán, por medio de la carretera (Figura 16).

Claro está que previo a nuestra visita, el 7 de enero de 2010, personal del Consorcio que se encarga del manejo de los equipos de Telecom subió hasta ese sector donde se encuentran instalados los equipos de telecomunicaciones y removieron algunas de las rocas que

obstruían el camino, taparon algunos de los cráteres de impacto generados por las mismas, adicionalmente tomaron imágenes de los efectos que identificaron, tanto en la carretera como en el sector de Telecom (Figuras 17,18 y 19).



Figura 16. Efectos de los impactos de roca en la parte externa de las instalaciones de la empresa de telecomunicaciones.



Figura 17. Efectos identificados en la carretera, en la vía a la cima de Galeras.



Figura 18. Efectos en el sector externo de la empresa de telecomunicaciones debido a impactos de roca.



Figura 19. Efectos de los impactos de roca en la parte externa de las instalaciones, así como en la parte interna de las instalaciones de la empresa de telecomunicaciones.

2. EFECTOS GENERALES DE LA ERUPCION

En general se ve que las rocas que cayeron fueron de tamaño mediano, aproximadamente menores a 40 cm. Eventualmente se encontraron rocas grandes o los impactos correspondientes a estas. En estos lugares se tomaron puntos de GPS e imágenes para tener una referencia de la distancia que alcanzaron estas rocas y de los efectos que generaron (Tabla 4, Figuras 20,21, 22).

Tabla 4. Puntos de referencia donde se identificaron las rocas de mayor tamaño expulsadas por el evento eruptivo del 2 de enero de 2010.

Punto	Latitud N		Longitud		Altura (m)	Observaciones		
	grad	min	sec	grad			min	sec
A01	1	12	46.3	77	21	12.3	3796.9	Subiendo el sector de la Y
A02	1	12	50.4	77	21	16.9	3908.4	Subiendo el sector de la Y
A03	1	12	53.7	77	21	20.5	4039.4	Subiendo el sector de la Y, muestra de roca de ~ 90x60 cm de diámetro
A04	1	12	55.8	77	21	16.9	4082.6	Subiendo el sector de la Y, muestra de roca de ~ 70 cm de diámetro
A05	1	12	57.7	77	21	15.4	4110.7	Proyectil de aproximadamente 60 cm de diámetro.
A06	1	13	13.7	77	21	11.6	4202.5	Impactos en la caldera vía a Angany.
A07	1	13	17.6	77	21	11.1	4236.7	
A08	1	12	50.1	77	21	22.1	4132.1	Proyectil en la carretera de alrededor de 70x40 cm.
A09	1	12	49.4	77	21	23.2	4133.1	Proyectil en la carretera de alrededor de 170 cm de diámetro.
A10	1	12	49.4	77	21	24.7	4149.7	Subiendo a la repetidora de Cala, cráter de impacto de alrededor de 230 cm de diámetro.
A11	1	12	49.4	77	21	25.8	4155.4	Subiendo a la repetidora de Cala, cráter de impacto de alrededor de 220 cm de diámetro.
A12	1	12	49.0	77	21	26.3	4155.9	Alrededor de 20 m de la repetidora de Cala, proyectil de alrededor de 1 m de diámetro y cráter de impacto de 450 cm de diámetro.
A13	1	12	29.1	77	21	31.7	4042.5	Vía a la estación de Cráter, cráter de impacto de 90 cm de diámetro, 80 cm de alto, aproximadamente a 15 m de la estación.
A14	1	12	31.2	77	21	29.5	4036.0	Vía a la estación de Cráter, cráter de impacto de 80 cm de diámetro y 50 cm de alto, aproximadamente a 15 m de la estación.

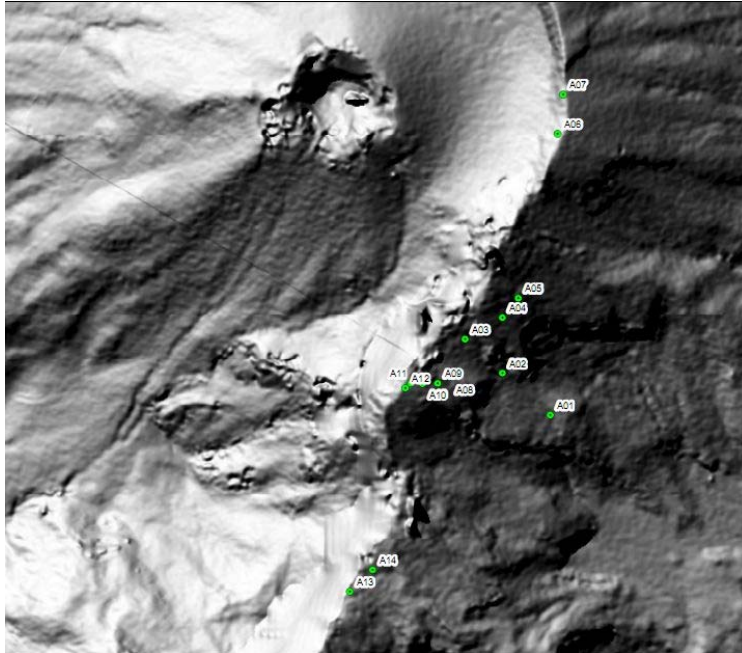


Figura 20. Ubicación de los puntos muestreados en el mapa de sombras elaborado por la NASA con un modelo de elevación del terreno de 1 m.



Figura 21. Imagen de la roca descrita en el punto A04 (izquierda). Imagen del Cráter de impacto descrito en el punto A09 (derecha).



Figura 22. Imagen del Cráter de impacto descrito en el punto A10 (izquierda). Imagen del Cráter de impacto descrito en el punto A12 (derecha), el de mayor diámetro (4.5 m) observado para este evento eruptivo.

En el sector de la cima de Galeras, el primer efecto fue en la base del reflector que se encontraba ubicado a pocos metros de la base militar (Figura 23) y daños varios en el sector de la base militar, de los cuales no podemos afirmar que fueron generados todos en este evento eruptivo pero lo que sí se puede decir es que aportó en la destrucción del edificio militar que años atrás (hasta 2005) presentaba unas condiciones óptimas para ser habitada por personal de las fuerzas armadas (Figura 24).



Figura 23. Imagen del reflector ubicado a pocos metros de la base militar afectado por el material emitido por el evento eruptivo del 2 de enero.



Figura 24. Efectos de los procesos eruptivos en el sector de la base militar ubicada en la cima de Galeras.

3. CONDICIONES DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO

Se visitaron tres sitios donde se encuentran ubicados equipos de monitoreo volcánico de Galeras. Primero fue el sector de la estación sismológica de corto período Anganoy, donde se encontraron rotos los paneles solares y los cables de conexión de estos a las baterías de alimentación de los equipos, de igual manera se encontró roto el cable de la antena y el codo de PVC por el cual entran los cables de antena y paneles a dicha caseta (Figura 25).

En el inclinómetro electrónico Cráter se encontró roto el panel solar y el cable de conexión a la batería. La antena al parecer recibió un impacto que cortó tres de sus 17 elementos y quedó torcida y caída (Figura 26). En el inclinómetro se levantó la antena y se realizó cambio de batería con lo que el equipo quedó registrando correctamente.

En el sector de la repetidora de la estación sismológica de corto período Calabozo no se encontraron daños (Figura 27), pese a que el mayor de los cráteres de impacto se encontró aproximadamente a 20 m de esta. En este sitio se realizó cambio de batería, mientras que una segunda comisión realizaba mantenimiento preventivo y correctivo en el sector de la estación, ubicada al occidente del cráter volcánico. La estación quedó funcionando adecuadamente.

En el sector de la estación de corto período de Cráter no se encontraron efectos mayores, al parecer rocas muy pequeñas impactaron los paneles pero sin generarles graves problemas, por lo que continuaron funcionando adecuadamente, generando el voltaje de carga de las baterías que alimentan el sistema. En este sector, pese a que no se observan claramente cráteres importantes, la visión general es que hay mayor presencia de material volcánico (roca) de menores dimensiones distribuidas aleatoriamente (Figura 28).



Figura 25. Daño de paneles solares (izquierda). Impacto de roca sobre el cable de la antena de la estación de Anganoy (derecha).



Figura 26. Daño de panel solar (izquierda). Daño en la antena de transmisión de datos del inclinómetro electrónico Cráter (derecha).



Figura 27. Estado de los paneles solares de la repetidora de la estación Calabozo (izquierda). Condiciones de funcionamiento de la repetidora de la estación de corto período Calabozo (derecha).



Figura 28. Estado de los paneles solares en la estación de Cráter (izquierda). Distribución de material volcánico de menor tamaño en el sector de la estación Cráter (derecha).

CONCLUSIONES

- Se mantienen niveles bajos de sismicidad, similares a los reportados para la semana anterior. Continúa el registro de eventos que se relacionan con procesos de emisión de gases volcánicos, indicando una posible relajación de esfuerzos del sistema, a través de la liberación de continúas presiones. Cabe mencionar que este fenómeno inició hace cuatro semanas y presenta pequeñas variaciones.
- En general, se observa que la carretera de vía de acceso a la cima del volcán no tuvo mayores daños. Aun cuando se vieron cráteres de impacto, en el sector de la carretera de hasta 2.3 metros, y proyectiles balísticos de hasta 1 metro de diámetro, el acceso fue posible ubicando este material hacia los extremos de la carretera. Aun cuando los efectos de las erupciones recientes sobre la carretera no son mayores, es importante resaltar que el sector entre el punto conocido como La Y y la cima del volcán (Base Militar) genera un alto grado de riesgo a las comisiones que cumplen sus funciones en el sector de la cima ya que el material esparcido de manera arbitraria por los diferentes eventos eruptivos crea condiciones de inestabilidad en el vehículo, en diferentes trayectos de ascenso hasta la cima.

Debido a que los efectos de la erupción ocurrida el 2 de enero de 2010 no fueron tan nocivos para la integridad física de los equipos que se emplean en el monitoreo volcánico y gracias a la baja sismicidad registrada durante el periodo evaluado para este informe fue posible recuperar la estación sismológica base de clasificación Anganoy y el inclinómetro cráter, que se encuentran en adecuado funcionamiento.

- Si bien la actividad actual en Galeras continúa mostrando un desarrollo inestable, el comportamiento registrado permite prever la posibilidad de que se requiera algún tiempo para que se generen nuevas condiciones de sobrepresión.

De acuerdo a lo anterior el nivel de actividad de Galeras continúa en nivel III ■ (“Cambios en el Comportamiento de la Actividad Volcánica”)