

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO
IDENTIFICACIÓN		
Información de la citación		
CITACIÓN		
Nombre del responsable	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano
Tipo de responsable	Autor Corporativo	Autor corporativo
Nombre del responsable		Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto.
Tipo de responsable	Autor intelectual. Si hay varios autores hay que escribirlo cada uno.	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto.
Nombre del responsable		
Tipo de responsable	Procesador: persona encargada de recibir y organizar la información	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto.
Nombre del responsable		Edgar Antonio Muñoz Hidalgo
Fecha	De publicación/disposición tres primeras letras del mes/año	Abr/2014
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Animas, Chiles y Cerro Negro. Marzo de 2013.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
<b>Identificador</b>	<b>En proceso de definición</b>	
Descripción	Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados	Presentación de resultados y análisis de los datos obtenidos del monitoreo continuo a la actividad del volcán Galeras en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Presentación de datos obtenidos del monitoreo continuo de la actividad de los volcanes Doña Juana, Cumbal y Azufral. Se utiliza gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones específicas donde el conjunto de datos ha sido o se está utilizando. Incluye opcionalmente lista de anexos, fuentes y documentos relacionados con el conjunto de datos.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales.(Investigación, plan, programa, proyecto)	Proyecto

Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	Investigación y Monitoreo de la Actividad Volcánica (AME13-06).
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos	Marzo de 2014
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km <sup>2</sup>	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral. Zona de influencia del Volcán Las Animas. Zona de influencia de los volcanes

		Chiles y Cerro Negro.
Coordenadas /limites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptores		
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptores primarios: -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación Electromagnetismo -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios	- Zona de influencia del Volcán Galeras, cono activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Cumbal - Zona de influencia del Volcán Doña Juana - Zona de influencia del Volcán Azufral - Zona de influencia del Volcán Las Ánimas - Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro
Código temático		Capas de información
Restricción de acceso	Limitaciones para acceso al conjunto de datos incluye restricciones que aseguren protección de privacidad o propiedad intelectual o limitaciones en obtención del conjunto de datos.	Derechos de propiedad intelectual. Prohibida su reproducción total o parcial con fines comerciales. Incluye información básica para documentos e investigación.
Muestra gráfica	Ilustración gráfica del conjunto de datos. Se especifica la dirección del computador, trayectoria, nombre y extensión del archivo.	Los datos se encuentran en el Servidor de Archivos Principal en el directorio: \\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_mensuales\2014\mar
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido, normatividad	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y sísmica en la zona de influencia de los Volcanes Galeras, Cumbal, Doña Juana y Azufral para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos. Se establece el monitoreo permanente de la actividad de los volcanes Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, para establecer una línea base, tendiente a un mayor conocimiento de los mismos.
Distribución		
Distribuidor		
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa, imagen satelital, informe técnico	Informe Técnico
Proceso estándar de pedido		
Productos impresos	Identificación que tipo de producto impreso. Ej. mapa impreso a color	No aplica.
Forma digital		

Formato	Nombre, versión del formato. Ejm: PDF.- Si no se encuentra en forma digital se escribe "No disponible"	El informe se encuentra en formato DOC y PDF
Opción de transferencia digital		
Dirección en línea	Dirección electrónica donde se puede obtener el conjunto de datos	<a href="http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2013.aspx">http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2013.aspx</a>
Medio digital/Ubicación	Opciones del medio digital en el cual puede ser entregado el conjunto de datos y su ubicación física. Disquete de 3-1/2; CD-ROM	CDROM
Contacto		
Organización	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano.
Cargo/persona	Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos	John Makario Londoño, Jefe de Proyecto Ame09-42
Sede		Bogotá
Dirección		Diag. 53 No. 34-53
Ciudad		Bogotá, D.C.
Departamento		Cundinamarca
País		Colombia
Teléfono		(57+1)2 20 02 00 - 2 20 01 00 - 2 22 18 11 (57+1) 01-8000-110842
Fax		(57+1) 222 07 97
Correo electrónico		<a href="mailto:cliente@sgc.gov.co">cliente@sgc.gov.co</a>



**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL,  
LAS ÁNIMAS CHILES Y CERRO NEGRO  
MARZO 2014**

Edición:

**GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO**

**San Juan de Pasto, abril de 2014**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	9
INTRODUCCION	11
1. ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – MARZO DE 2014	12
1.1. RED DE VIGILANCIA	12
1.2. SISMOLOGÍA	18
1.3. DEFORMACIÓN	24
1.3.1. Estaciones de Inclínometría Electrónica	24
1.4. GEOQUÍMICA	29
1.4.1. Mediciones de flujo de emisión de SO <sub>2</sub> con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS	29
1.4.2. Mediciones del isótopo de gas Radón 222 – (Rn <sub>222</sub> )	31
1.4.3. Trampa alcalina-volcán Galeras	35
1.4.4. Muestreo de aguas en fuentes termales.	37
1.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	44
1.6. CONCLUSIONES	48
2. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL, LAS ÁNIMAS, CHILES Y CERRO NEGRO – MARZO DE 2014	49
2.1. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL	50
2.1.1. Red de vigilancia	50
2.1.2. Sismología	51
2.1.3. Deformación	57
2.1.4. Actividad Superficial	60
2.1.5. Conclusiones	61
2.2. ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	62
2.2.1. Red de vigilancia	62
2.2.2. Sismología	63
2.2.3. Deformación	65
2.2.4. Actividad Superficial	66
2.2.5. Conclusiones	66
2.3. ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	67
2.3.1. Red de vigilancia	67
2.3.2. Sismología	69
2.3.3. Deformación	71
2.3.3.1. Inclínometría Electrónica	71
2.3.3.2. Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	72
2.3.4. Geoquímica	72
2.3.4.1. Muestreo de aguas en Fuentes Termales	72
2.3.5. Actividad Superficial	76
2.3.6. Conclusiones	78
2.4. ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	79
2.4.1. Ubicación Geográfica	79
2.4.2. Red de Vigilancia	79
2.4.3. Sismología	81
2.4.4. Deformación	82
2.4.5. Actividad Superficial	84
2.4.6. Conclusión	84
2.5. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO	85
2.5.1. Ubicación Geográfica	85
2.5.2. Red de Vigilancia	85

2.5.3	Sismología	87
2.5.4	Deformación	88
2.5.5	Actividad Superficial	90
2.5.4	Conclusión	90

## FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante marzo de 2014.	13
Figura 2.	Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de marzo de 2014.	14
Figura 3.	Localización y orientación de las estaciones de inclinometría electrónica instaladas en Galeras. Los catetos de los triángulos muestran las direcciones de las componentes de cada sensor.	15
Figura 4.	Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, detectores de flujos de lodos, ScanDOAS, climática y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante marzo de 2014.	16
Figura 5.	Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.	17
Figura 6.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2014.	18
Figura 7.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014.	19
Figura 8.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	20
Figura 9.	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).	20
Figura 10.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	21
Figura 11.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para marzo de 2014 (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).	22
Figura 12.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde diciembre de 2013 a marzo de 2014.	22
Figura 13.	Sismograma en la estación sísmica Anganoy de enjambre de eventos sísmicos registrado el 8 de marzo entre las 2:00 a.m. y 4:50 a.m.	23
Figura 14.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4200 msnm).	24
Figura 15.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	25
Figura 16.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	25
Figura 17.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de la componente de inclinación Radial del inclinómetro electrónico Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	26
Figura 18.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	27

Figura 19.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu$ rad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	27
Figura 20.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu$ rad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	28
Figura 21.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu$ rad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Cóndor para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	28
Figura 22.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu$ rad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	29
Figura 23.	Flujo de emisión de SO <sub>2</sub> registrado entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014 por los equipos ScanDOAS instalados en Galeras.	30
Figura 24.	Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y marzo de 2014.	31
Figura 25.	Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Barranco para el periodo comprendido entre los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014.	32
Figura 26.	Flujo de gas radón en la línea Galeras para el periodo comprendido entre los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014.	32
Figura 27.	Flujo de SO <sub>2</sub> , eventos sísmico tipo VT y el flujo de radón noviembre 2013 a marzo 2014.	35
Figura 28.	Mapa de localización estaciones trampa alcalina volcán Galeras.	36
Figura 29.	Toma de muestras- estaciones Trampa Alcalina-Cima volcán Galeras marzo de 2014.	37
Figura 30.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.	37
Figura 31.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras en marzo de 2014.	39
Figura 32.	Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras-marzo 2014.	40
Figura 33.	Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras-marzo 2014.	41
Figura 34.	Variación de la concentración de Bicarbonato y el pH de las FT de Volcán Galeras- marzo 2014.	42
Figura 35.	Variación del pH y ORP de las FT de Volcán Galeras-febrero 2014.	43
Figura 36.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma los días 1 (Izquierda) y 3 (Derecha) de marzo de 2014 a las 6:02 a.m. y 6 :03 p.m. respectivamente.	44
Figura 37.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el OVSP (Arriba), Barranco (Abajo Izq.) y Bruma (Abajo Der.) el 4 de marzo de 2014 a las 6:38 a.m., 6:42 a.m. y a las 7:15 a.m. respectivamente.	45
Figura 38.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Arriba) y desde Bruma (Abajo) el 7 de marzo de 2014 en horas de la mañana.	45
Figura 39.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda), Consacá (Centro) y Barranco (Izquierda) el 11 de marzo a las 6:06 a.m., 6:07 a.m. y 7:09 a.m. respectivamente.	46
Figura 40.	Registro fotográfico de la emisión de gases y ceniza observada desde la cámara ubicada en Bruma el 12 de marzo a las 5:55 y 6:38 a.m.	46
Figura 41.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámaras ubicada en Barranco el 15 de marzo a las 5:54 p.m..	46
Figura 42.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma (Arriba), Barranco (Abajo Izq.) y Consacá (Abajo Der.) el 16 de marzo a las 6:15 a.m., 6:16 a.m. y a las 6:29 a.m. respectivamente.	47
Figura 43.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras Web ubicadas en Bruma (Izquierda) y en Barranco (Derecha) el 24 de marzo a las 6:18 p.m. y a las 6:30 p.m. respectivamente.	47

Figura 44.	Registro fotográfico de la emisión de gases y ceniza observada por la cámara ubicada en Barranco Alto el 29 de marzo a las 9:32 a.m.	48
Figura 45.	Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles Y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.	49
Figura 46.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2014.	50
Figura 47.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2014.	51
Figura 48.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre de diciembre de 2013 y marzo de 2014. En la figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	52
Figura 49.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	52
Figura 50.	Energía sísmica diaria liberada en términos de su raíz cuadrada para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal por los eventos volcánicos según su tipo registrados entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	53
Figura 51.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento TOR, registrado el 7 de marzo de 2014 a las 2:52 a.m.	54
Figura 52.	Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de marzo de 2014.	55
Figura 53.	Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de marzo de 2014.	55
Figura 54.	Sismograma de la estación La Mesa del enjambre de eventos sísmicos registrados entre las 12:00 p.m. y 4:00 p.m. del 24 de marzo de 2014.	56
Figura 55.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).	57
Figura 56.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	58
Figura 57.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	58
Figura 58.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	59
Figura 59.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	59
Figura 60.	Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 14 y 15 de marzo a las 6:44 a.m. y a las 6:03 p.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	60
Figura 61.	Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 28 y 29 de marzo a las 9:02 a.m. y a las 7:26 a.m. respectivamente, desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	60
Figura 62.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.	62
Figura 63.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de marzo de 2013.	63
Figura 64.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Doña Juana entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	64
Figura 65.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas estaciones de la red de monitoreo de Doña Juana, en el mes de marzo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km. de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	64



Figura 66.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	65
Figura 67.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	66
Figura 68.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2014.	67
Figura 69.	Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Azufral. Los triángulos de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2, 3 y 4, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.	68
Figura 70.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2014.	69
Figura 71.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	70
Figura 72.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas de estaciones de la red de monitoreo de Azufral, en el mes de marzo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	70
Figura 73.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	71
Figura 74.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	72
Figura 75.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	73
Figura 76.	Variación de temperatura y Conductividad eléctrica de las FT de Volcán Azufral- marzo 2014.	74
Figura 77.	Variación de la concentración de Bicarbonato y el pH de las FT de Volcán Azufral- marzo 2014.	75
Figura 78.	Variación del pH y ORP de las FT de Volcán Azufral-marzo 2014.	76
Figura 79.	Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 1 de marzo a las 6:53 a.m. (Izquierda) y el 7 de marzo a las 9:08 a.m. (Derecha).	76
Figura 80.	Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas en visita realizada por personal del OVSP el 13 de marzo de 2014. En la imagen se observa el domo Mallama.	77
Figura 81.	Proceso de desgasificación en la Laguna Verde del Volcán Azufral – Marzo 13 de 2014.	77
Figura 82.	Fotografías zonas de burbujeo Laguna Verde – Marzo 13 de 2014.	78
Figura 83.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	79
Figura 84.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de marzo de 2014. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	80
Figura 85.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante marzo de 2014.	81
Figura 86.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas de estaciones de la red de monitoreo de Las Ánimas, en el mes de marzo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	82
Figura 87.	Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) y Temperatura del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo	83

	comprendido entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	
Figura 88.	Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) y Temperatura del inclinómetro Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	83
Figura 89.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	84
Figura 90.	Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.	85
Figura 91.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante marzo de 2014.	86
Figura 92.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2013.	87
Figura 93.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de marzo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	87
Figura 94.	Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre noviembre de 2013 y marzo de 2014.	88
Figura 95.	Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) del inclinómetro El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre noviembre de 2013 y marzo de 2014.	89
Figura 96.	Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) y Temperatura del inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y marzo de 2014.	89

## TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y de sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras durante marzo de 2014.	14
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante marzo de 2014.	15
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de marzo de 2014.	15
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en marzo de 2014.	16
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	16
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).	17
Tabla 7.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas en el sector denominado Barranco (Línea Barranco).	18
Tabla 8.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	19
Tabla 9.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014 resaltando en color verde el mes evaluado.	21
Tabla 10.	Flujo de SO <sub>2</sub> del volcán Galeras registrado en noviembre de 2013 por las estaciones ScanDOAS.	30
Tabla 11.	Flujo del isótopo Rn <sub>222</sub> en suelo en las estaciones de la línea Barranco en marzo de 2014.	33
Tabla 12.	Flujo del isótopo Rn <sub>222</sub> en suelo en las estaciones de la línea Galeras en marzo de 2014.	34
Tabla 13.	Ubicación geográfica estaciones Trampa Alcalina en Volcán Galeras.	36
Tabla 14.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras – Marzo de 2014.	38
Tabla 15.	Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Galeras.	38
Tabla 16.	Datos de parámetros fisicoquímicos FT Volcán Galeras - marzo de 2014.	39
Tabla 17.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	40
Tabla 18.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante marzo de 2014.	51
Tabla 19.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo (resaltado en color verde) de 2014.	52
Tabla 20.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal, entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo (resaltado en color verde) de 2014.	53
Tabla 21.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana durante marzo de 2014.	63
Tabla 22.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014, donde el último mes objeto de evaluación es resaltado en color verde para el volcán Doña Juana.	63
Tabla 23.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante marzo de 2014.	68
Tabla 24.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014. Resaltado en verde se tiene el último mes objeto de evaluación.	69

Tabla 25.	Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Azufral.	73
Tabla 26.	Datos de parámetros fisicoquímicos FT Volcán Azufral – Marzo de 2014.	74
Tabla 27	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante noviembre de 2013.	80
Tabla 28.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014. Resaltado en verde se tiene el últimos mes objeto de evaluación.	81
Tabla 29.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante marzo de 2014.	85
Tabla 30	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.	86

## RESUMEN

Durante el mes de marzo de 2014, la actividad sísmica en el volcán Galeras presentó un descenso en la ocurrencia y la energía sísmica liberada respecto a los valores registrados en febrero de 2014. Los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente (eventos tipo tremor, TRE) fueron los que aportaron el mayor número y los asociados a fracturamiento de material cortical (eventos Volcano-Tectónicos, VT) aportaron la mayor fracción de energía liberada. Algunos de los sismos TRE estuvieron asociados con procesos de emisión de gases que fueron observados desde diversos sectores de la zona de influencia del volcán.

Respecto a la localización de sismos tipo VT, algunos se ubicaron en inmediaciones del cráter principal a profundidades superficiales (menores a 1 km respecto a la cima volcánica). Varios de los eventos se localizaron hacia el sector Noreste de Galeras, a distancias mayores a 1,5 km y menores a 10 km respecto al cono y profundidades entre los 4 y 8 km respecto a la cima. Otros de los eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a distancias menores a los 15 km y profundidades menores a los 13 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 2,6 en la escala de Richter

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, varios de los inclinómetros muestran variaciones que pueden estar asociadas con la actividad de Galeras, sin embargo la mayoría muestran relativa estabilidad. En cuanto a la actividad superficial con base en la información que aportan imágenes capturadas del cráter activo y reportes por personal del OVSP, fue posible evidenciar emisiones de gases, en su mayoría de coloración blanca; los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental de la cima del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos y con alturas menores a 1km sobre sus centros de emisión.

El análisis de los diferentes parámetros para el monitoreo volcánico permitió mantener el nivel de actividad en **AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

Con relación al monitoreo del Complejo volcánico de Cumbal, la evaluación de los registros sísmicos en la estaciones instaladas en este volcán muestran que la mayoría de eventos ocurridos se asocian con movimiento de fluidos de fuente transitoria (eventos tipo LPS) en el interior de la estructura volcánica. Comparando la actividad sísmica del mes en consideración con la del mes anterior, se observó una disminución del 30%.

La energía sísmica liberada aumentó en 12 veces en comparación al mes anterior, siendo los eventos tipo HYB los que aportaron la mayor energía.

En relación con la sismicidad asociada con fracturamiento de material cortical al interior del Complejo Volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado fue posible localizar 50 sismos, notándose dos fuentes, una en inmediaciones de cráter La Plazuela del Volcán Cumbal a menos de 1 km de

distancia y profundidades menores a 0,5 km. La segunda fuente se ubicó al norte del complejo volcánico Cumbal a 2 km de distancia y a una profundidad alrededor de los 5 km. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 3 en la escala de Richter.

El análisis de los diferentes parámetros para el monitoreo del complejo volcánico Cumbal permitió mantener el nivel de actividad en AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

Las redes de monitoreo sísmico y de deformación, instaladas en los volcanes Doña Juana y Azufral durante el mes de marzo de 2014 evidenciaron algunas señales de actividad manteniendo su comportamiento. En el volcán Doña Juana se resalta que la actividad sísmica estuvo asociada con fracturamiento de material cortical, VT, de bajo nivel energético y, comparada con el mes anterior permaneció casi estable. Para el volcán Azufral, aunque en bajo número, predominó la sismicidad asociada con procesos de fractura de material cortical, tipo VT, con magnitudes menores a 3,3 en la escala de Richter. Se resalta el sismo registrado el 5 de marzo a las 10:16 p.m. que tuvo una magnitud de 3,3 en la escala de Richter y que fue reportado como sentido por habitantes de municipio de Túquerres.

Cuando las condiciones del clima lo permitieron, durante gran parte del mes, se observó mediante la cámara instalada en el costado suroccidental de la cima volcánica, emisiones de gas de color blanco de baja altura, provenientes principalmente de uno de los domos ubicados al nororiente de la Laguna Verde.

Con base en el análisis de la información suministrada por las redes de vigilancia, instaladas alrededor de los volcanes monitoreados, se concluye que el nivel de actividad de los volcanes Doña Juana y Azufral, se mantiene en **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

Con respecto al volcán Las Ánimas, se concluye que el nivel de actividad se mantiene en **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**, debido a que la ocurrencia sísmica en este periodo fue nula.

La actividad de complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en marzo de 2014 aumentó en 12 veces respecto a la ocurrencia en febrero de 2014, registrándose un total de 11091 sismos tipo VT, de los cuales se localizaron 259, notándose dos fuentes, una de ellas ubicada a 2,5 km al suroccidente de Chiles (4,5 al suroriente de Cerro Negro), con profundidades de hasta 4 km respecto a la cima volcánica. La segunda fuente se ubicó a 3,5 km al noroccidente de Chiles (3 km al nororiente de Cerro Negro) y con profundidades entre los 5 y 7 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 2,6 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica de Chiles y Cerro Negro durante el mes de marzo de 2014 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## INTRODUCCION

Durante el mes de marzo de 2014, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro mediante el monitoreo en forma continua y en tiempo real durante las 24 horas del día. Esto permitió evaluar el estado de actividad de cada uno de estos volcanes.

El estado y características de un volcán pueden variar a través del tiempo y es por ello que surge el monitoreo volcánico, el cual consiste en la vigilancia y estudio de los cambios ocurridos en diferentes fases de un volcán, mediante la aplicación de una serie de disciplinas geofísicas y geoquímicas. Cambios en el comportamiento de la actividad son el reflejo de distintos procesos al interior del sistema volcánico y que pueden ser provocados por procesos hidrotermales o magmáticos que conllevan a variaciones de presión-temperatura en el sistema volcánico, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza, movimiento de material fluido (magma, volátiles o gases) desde niveles más profundos a reservorios más someros o a la superficie misma.

El análisis presentado en este informe corresponde a los resultados preliminares derivados a partir del procesamiento de los datos instrumentales y de las observaciones directas de algunas manifestaciones de la actividad volcánica. Se realiza también una recopilación del funcionamiento de los equipos que conforman la red de monitoreo volcánico en sus diferentes áreas.

## 1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – MARZO DE 2014

### 1.1. RED DE VIGILANCIA

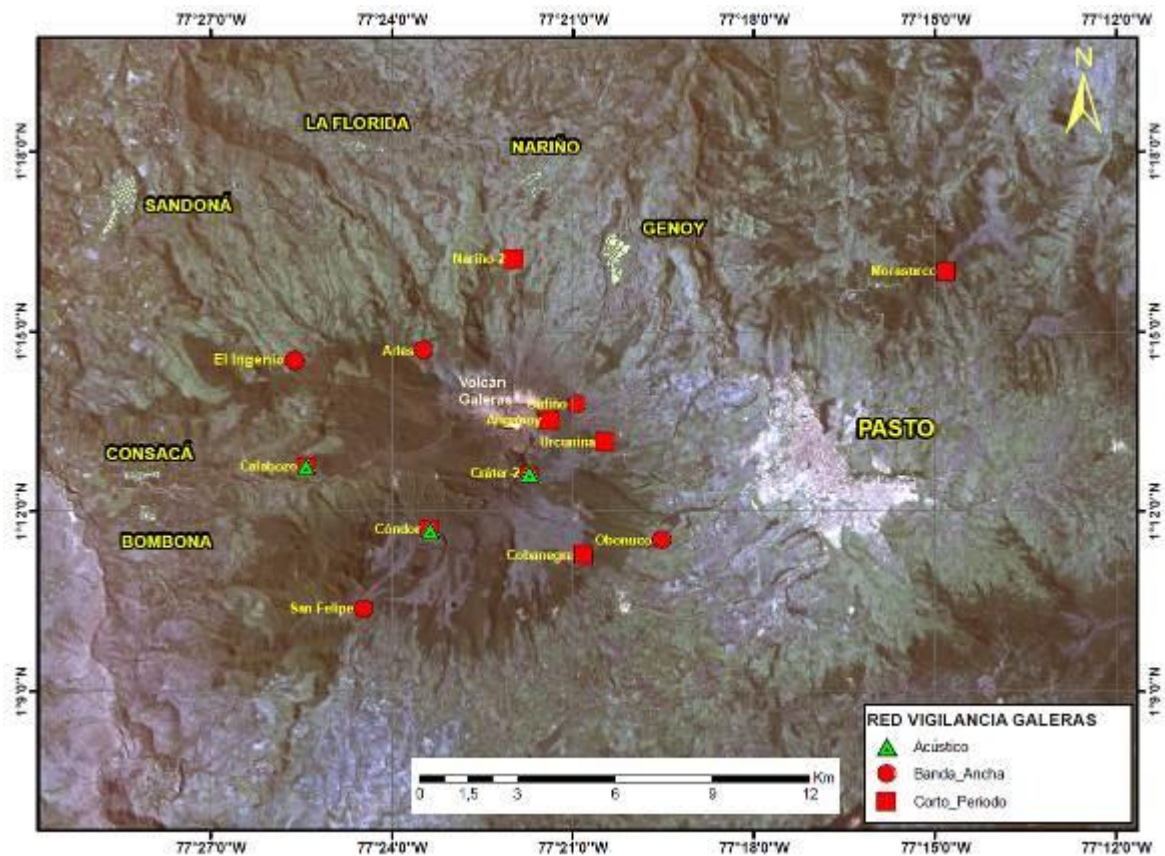
En marzo de 2014 la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Trece estaciones sísmicas telemétricas: siete de corto periodo (cuatro triaxiales y tres de componente vertical) y seis de banda ancha triaxiales (Figura 1, Tabla 1), la última de ellas instalada el 18 de marzo a 7 km al costado WNW respecto al cráter de Galeras y denominada “El Ingenio”.
- Tres sensores de presión acústicos, uno ubicado en el sector occidental en el sitio de la estación sísmica de corto periodo Calabozo, otro en el sitio de la estación sísmica de banda ancha Cráter-2 y el último ubicado en el sitio de la estación sísmica Cóndor (Figura 1, Tabla 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica. Seis ubicados con las estaciones sísmicas de Cóndor, Calabozo, Anganoy, Arlés, Cobanegra-3 y Urcunina y los otros dos restantes en Peladitos al Este y Huaratola al Norte (Figuras 2 y 3, Tabla 2).
- Cinco estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas en el sitio de la estación sísmica Cráter-2, sector de Barranco Alto, San Felipe al noroccidente, otro hacia el sector de San Cayetano hacia el oriente de Galeras y el último instalado en el sector de la estación sismológica El Ingenio (Figura 2, Tabla 3).
- Tres estaciones de detección de emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) con transmisión telemétrica localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 4, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de la variación del campo Magnético, la estación EM-Frailejón que posee también un sistema de medición de variación del campo Eléctrico, la Estación EM-Barranco también con sistema de medición de variación de campo Eléctrico, y la estación de campo Magnético Cráter (Figura 4, Tabla 5).
- Cuatro cámaras de video permanentes para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, otra en el municipio de Consacá, otra instalada en el flanco norte de la cima de Galeras, en el sitio denominado Barranco Alto y la última Bruma, hacia el sector suroccidental del cono (Figura 4).
- Dos estaciones para monitoreo constante de flujos de lodos, con transmisión telemétrica, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo (Figura 4).
- Un anemómetro telemétrico, para medición de la velocidad y dirección del viento, emplazado en el sitio de la estación sísmica Cráter-2 (Figura 4).



- Veinte estaciones para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón ( $Rn-222$ ) proveniente del suelo, distribuidas en dos líneas, una hacia el sector oriental del volcán, por la vía de acceso a la cima del volcán y la segunda hacia el sector norte del volcán (Figura 5, Tablas 6 y 7).

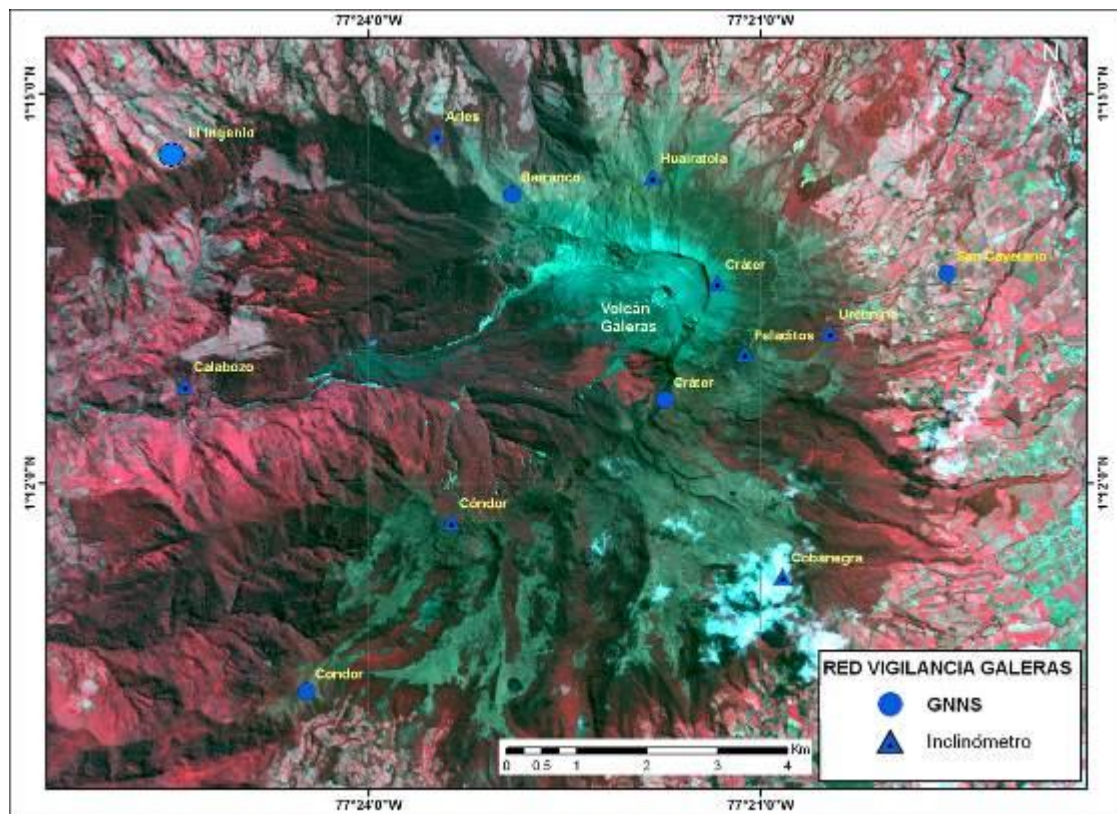
Durante marzo de 2014, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 96,3 %, garantizando la obtención de información confiable para la evaluación de la actividad volcánica. La Figura 6, muestra el histograma con el porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo volcánico. La estación de campo magnético Cráter se encuentra fuera de funcionamiento debido a problemas en el funcionamiento de la tarjeta digitalizadora Gamatec. Por su parte la estación sismológica El Ingenio presenta un bajo porcentaje de funcionamiento debido a problemas en el radioenlace, los cuales se deben solucionar directamente en campo.



**Figura 1.** Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante marzo de 2014.

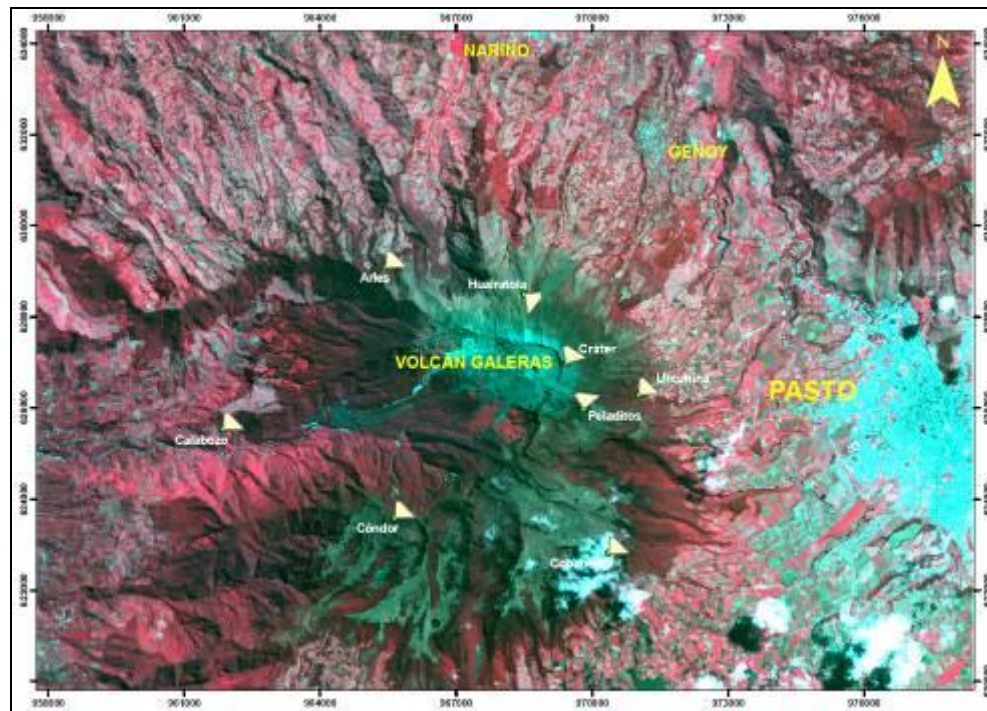
**Tabla 1.** Estaciones sísmicas y de sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras durante marzo de 2014.

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGV	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Vertical	0.8	E	4170
Cráter-2	CR2R	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño-BB	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.9	ENE	3800
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	2.3	ESE	3494
Cobanegra-3	COB3	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Vertical	3.9	SSE	3625
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.0	NW	3450
Condor	COND	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	4.9	SW	3985
Obonuco	OBVR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.9	SE	3010
Nariño-2	NAR2	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Vertical	5.0	N	2870
Calabozo	CAVZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	6.8	WSW	2353
El Ingenio	INGZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.0	WNW	2907
San Felipe	SNFZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.6	SW	3491
Morasurco	MORA	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	13.7	NE	3504
Cráter Acústico	CRAC	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	1.5	S	4048
Condor Acústico	CONA	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	4.9	SW	3985
Calabozo Acústico	CAMI	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	6.8	WSW	2353



**Figura 2.** Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclínómetros y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de marzo de 2014.





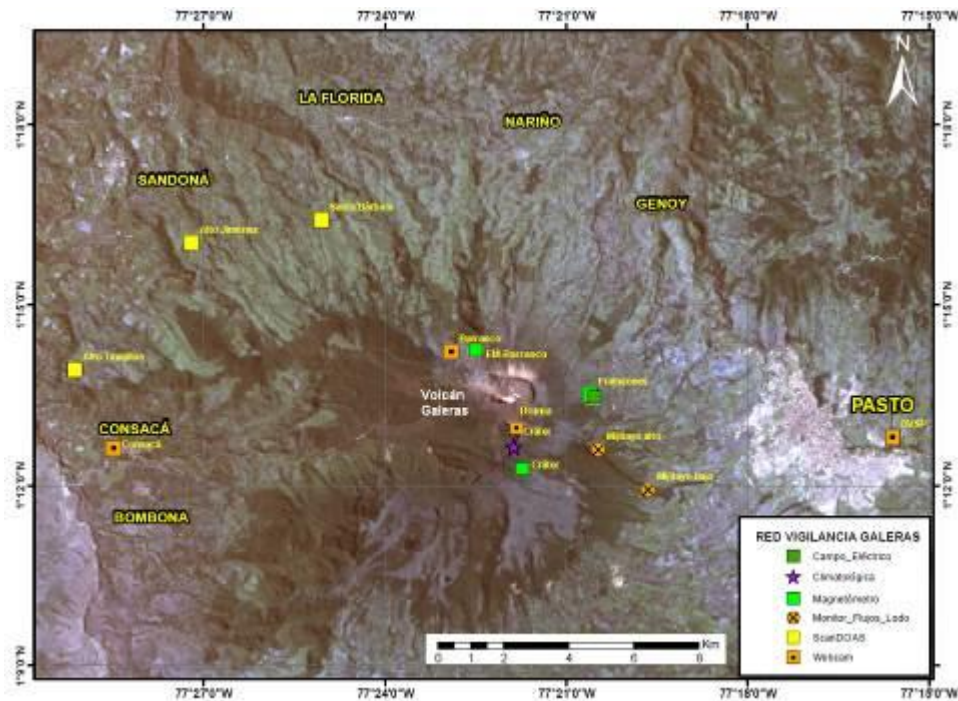
**Figura 3.** Localización y orientación de las estaciones de inclinometría electrónica instaladas en Galeras. Los catetos de los triángulos muestran las direcciones de las componentes de cada sensor.

**Tabla 2.** Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante marzo de 2014.

Inclinómetros Electrónicos	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Cráter	0,8	E	4060
Peladitos	1,4	SE	3850
Huairatola	1,7	N	3745
Urcunina	2,3	ESE	3494
Cobanegra	3,9	SSE	3625
Arlés	4,0	NW	3450
Condor	4,9	SW	3985
Calabozo	7,1	WSW	2350

**Tabla 3.** Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de marzo de 2014.

Estaciones GNSS	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Cráter	1,5	S	4048
Barranco	2,6	NW	3904
San Cayetano	4,1	E	3035
El Ingenio	7,0	WNW	2907
Cóndor	7,6	SW	3520



**Figura 4.** Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, detectores de flujos de lodos, ScanDOAS, climática y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante marzo de 2014.

**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en marzo de 2014.

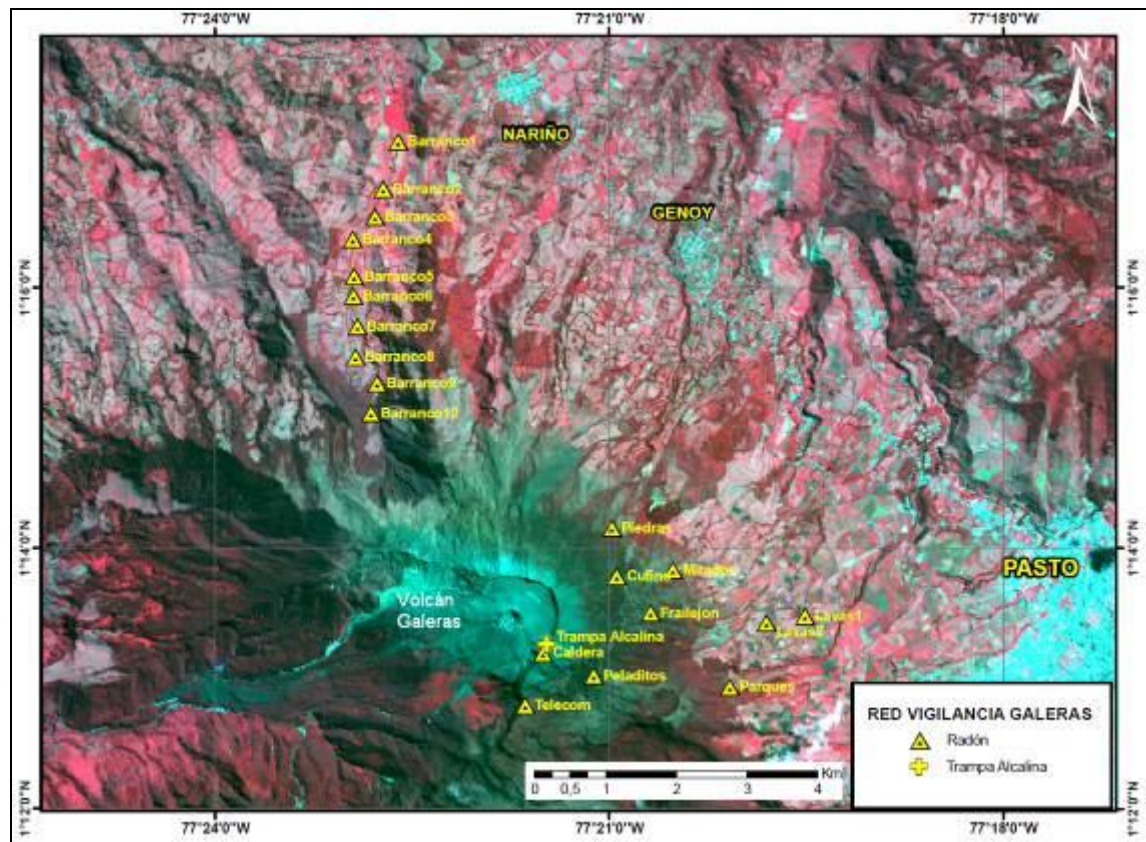
Estación	Distancia al cráter (km)	angulo del scan (°)	Altura de referencia de la pluma* (m)	Dirección compás (° contra-azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Santa Bárbara	7.9	60	1600	131	NNW	2600
Alto Jiménez	10.8	90	1800	115	NW	2400
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	W	2100

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

**Tabla 5.** Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.

Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Frailejón	Digital	Eléctrico	Biaxial	2,7	E	3727
Frailejón	Digital	Magnético	Triaxial	2,7	E	3727
Barranco	Digital	Eléctrico	Biaxial	2.0	NW	3800
Barranco	Digital	Magnético	Triaxial	2.0	NW	3800
Cráter	Digital	Magnético	Triaxial	1,9	SSE	4001





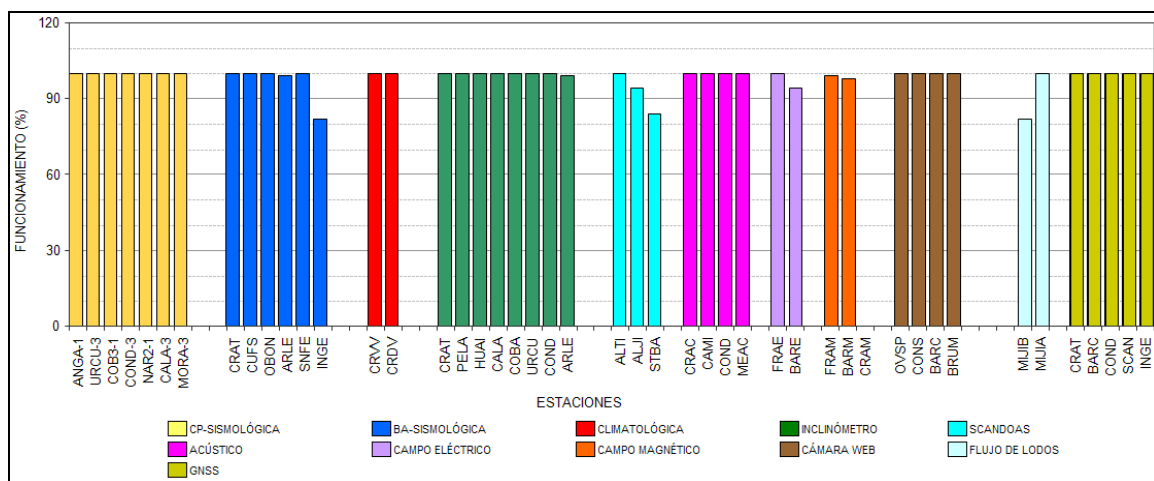
**Figura 5.** Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.

**Tabla 6.** Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Caldera	1,1	SE	4238
telecom	1,6	SSE	4051
peladitos	1,9	SE	3927
Cufiño	1,9	ENE	3809
Frailejón	2,3	E	3730
Piedras	2,0	NE	3590
Mirador	2,7	ENE	3510
Parques	3,6	ESE	3358
Lava2	4,0	E	3166
Lava1	4,5	E	3000

**Tabla 7.** Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas en el sector denominado Barranco (Línea Barranco).

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
BAR01	6,6	NNW	2318
BAR02	6,0	NNW	2504
BAR03	5,7	NNW	2599
BAR04	5,5	NNW	2669
BAR05	5,0	NNW	2644
BAR06	4,7	NNW	2516
BAR07	4,3	NNW	2646
BAR08	3,5	NNW	2947
BAR09	3,1	NNW	2966
BAR10	2,3	NNW	3180



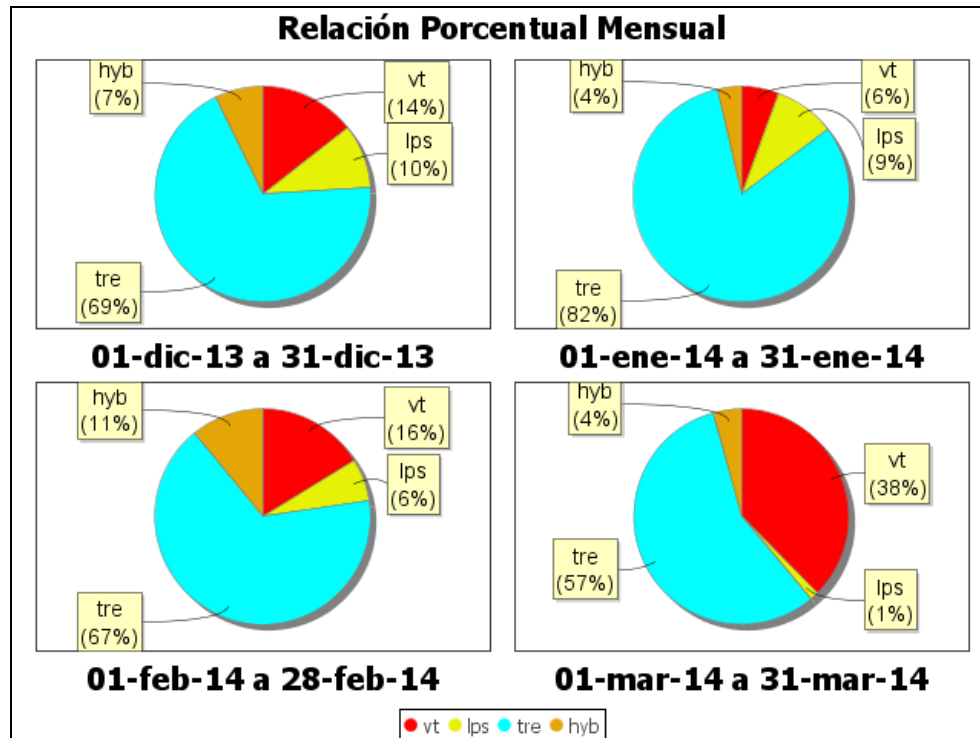
**Figura 6.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2014.

## 1.2. SISMOLOGIA

En el transcurso de marzo, la actividad sísmica de Galeras presentó una disminución del 35,1% (pasando de 111 a 72 sismos) con relación al mes anterior. La sismicidad se caracterizó por el predominio de eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE), aportando con el 56,9% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de ocurrencia por eventos asociados a fracturamiento de roca al interior de la estructura volcánica (sismos tipo VT) con un 37,5%. Los sismos asociados a fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (sismos tipo HYB) y los asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (eventos tipo LP) aportaron con el 4,2 y 1,4% respectivamente. La Figura 7 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos.

En comparación con el mes anterior se evidencia que los eventos TRE disminuyeron en un 44,6%, los sismos VT aumentaron en un 50%, los LPS disminuyeron en un 85,7% y los sismos tipo HYB disminuyeron en un 75%. De igual manera, en la evaluación de la actividad se observó que sismos de muy bajo nivel energético presentaron un aumento del 88,9% (Tabla 8, Figuras 8 y 9).

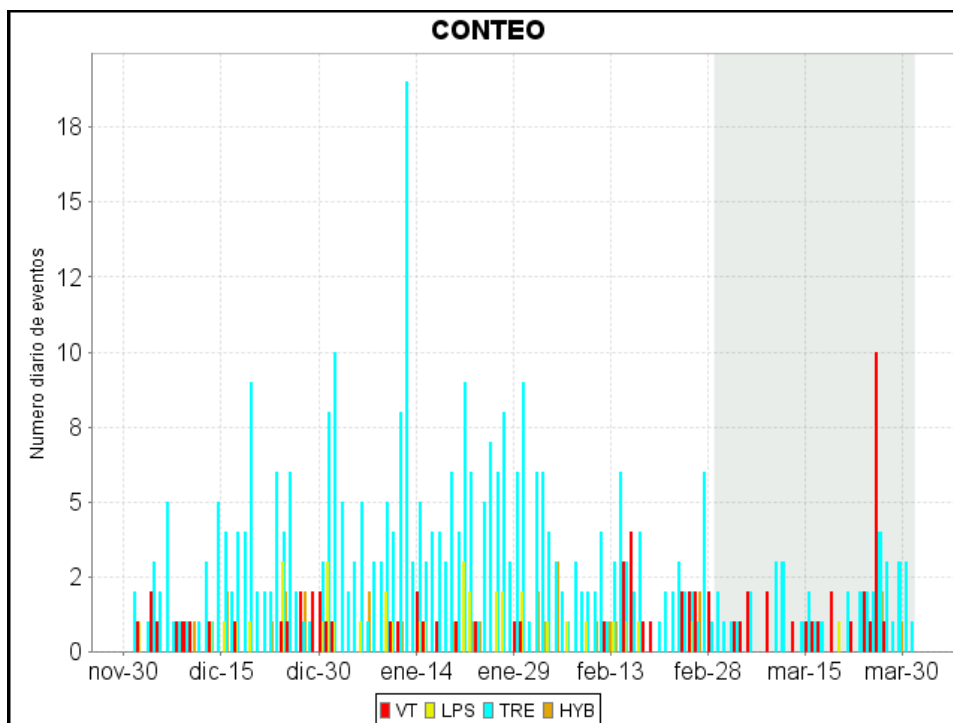
En este mes se registraron 41 episodios de tremor espasmódico, es decir, presentaron banda espectral en frecuencias amplia, con valores por debajo de los 20 Hz, y que totalizaron una duración de 159 minutos.



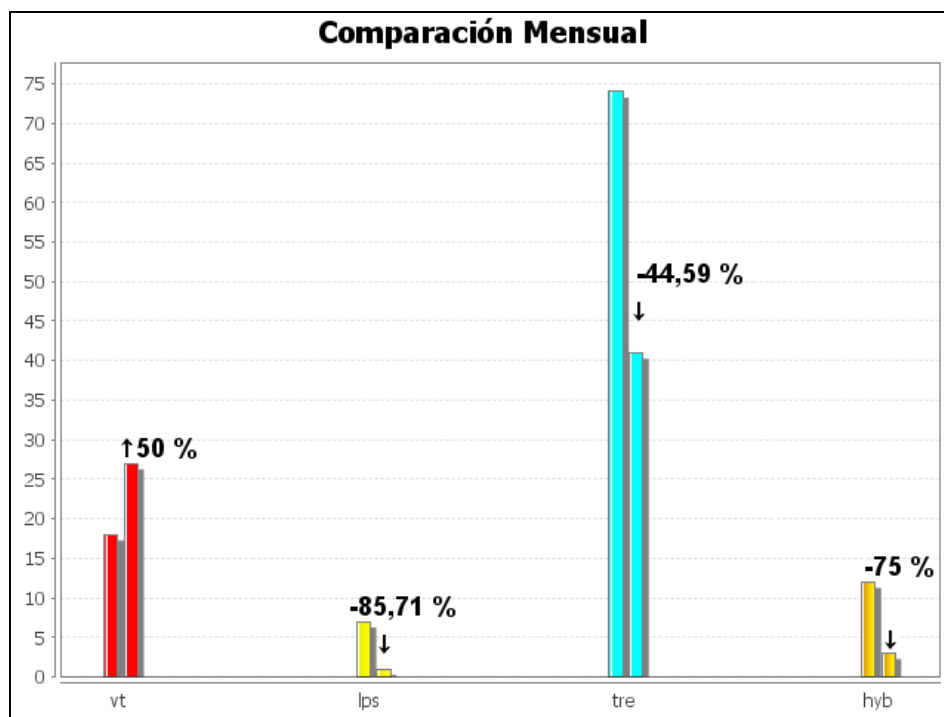
**Figura 7.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014.

**Tabla 8.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						Duración TREMOR (min)
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL	NO CLASIFICABLES	
01-dic-13 a 31-dic-13	18	12	86	9	125	962	331
01-ene-14 a 31-ene-14	11	18	161	7	197	1203	765
01-feb-14 a 28-feb-14	18	7	74	12	111	1157	270
01-mar-14 a 31-mar-14	27	1	41	3	72	2185	159



**Figura 8.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.



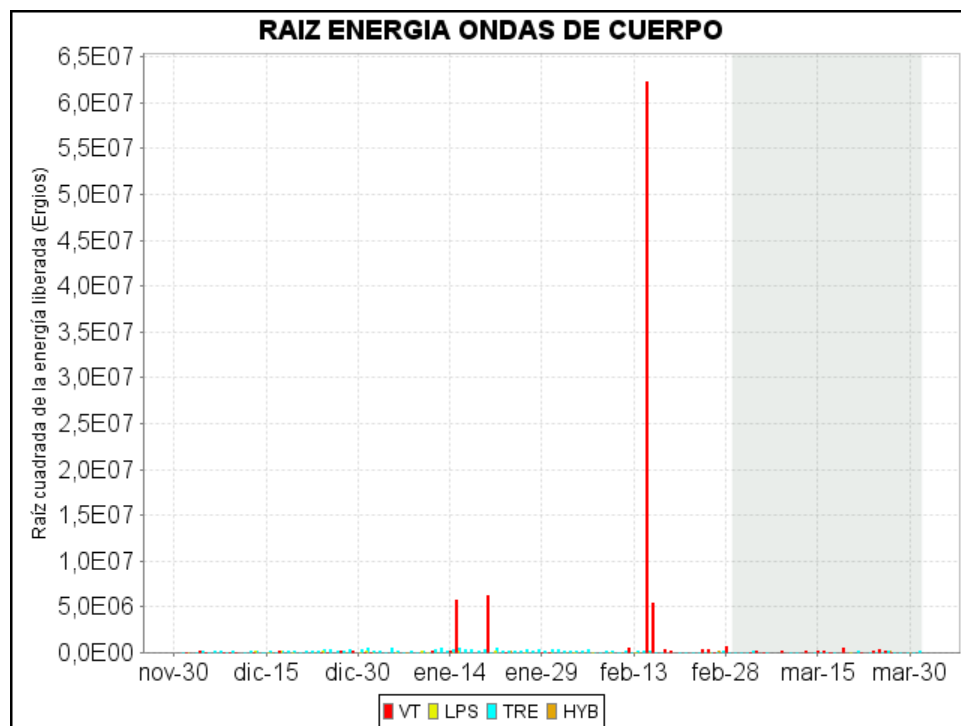
**Figura 9.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).



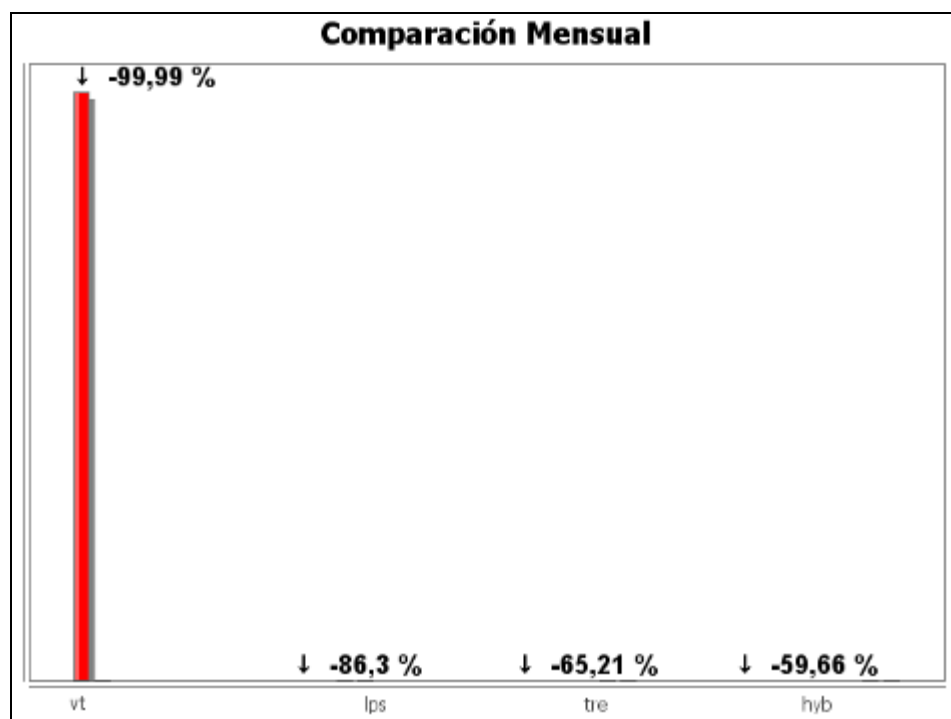
Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada disminuyó en cuatro órdenes de magnitud en comparación a lo registrado en febrero de 2013, pasando de  $3,90 \times 10^{15}$  ergios a  $6,04 \times 10^{11}$  ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos VT con un 78,47%, seguidos por los eventos tipo TRE con un 19,31%, mientras que los eventos tipo HYB y LPS aportaron con el 1,85% y 0,38% (Tabla 9, Figuras 10, 11 y 12).

**Tabla 9.** Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014 resaltando en color verde el mes evaluado.

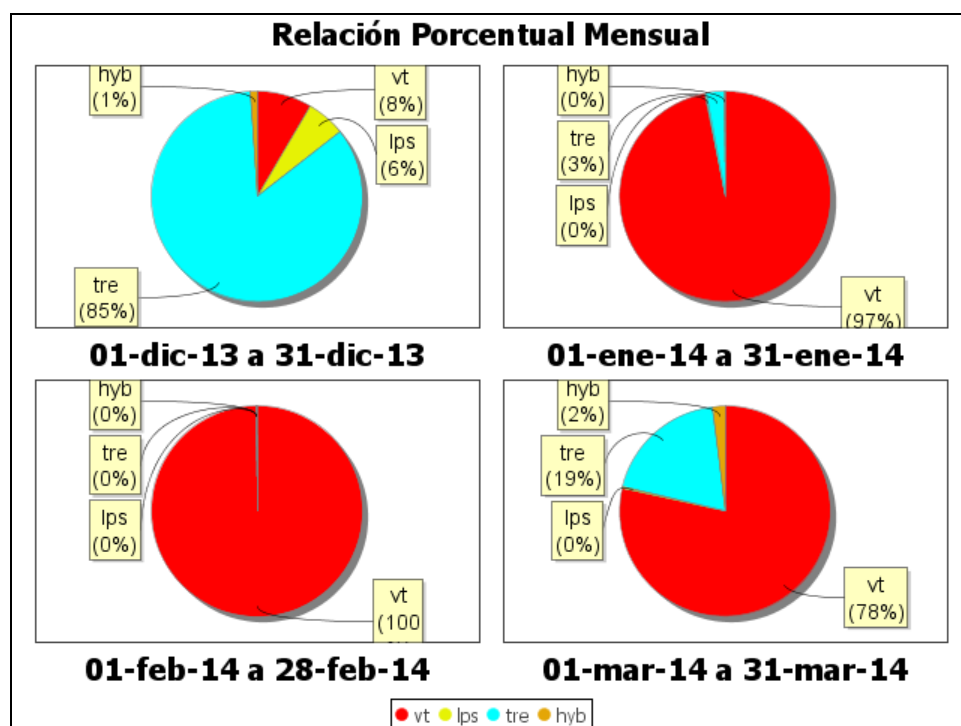
Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-dic-13 a 31-dic-13	1.08E+11	7.60E+10	1.08E+12	1.27E+10	1.28E+12
01-ene-14 a 31-ene-14	7.02E+13	4.75E+10	2.11E+12	2.71E+10	7.24E+13
01-feb-14 a 28-feb-14	3.90E+15	1.66E+10	3.35E+11	2.76E+10	3.90E+15
01-mar-14 a 31-mar-14	4.74E+11	2.28E+09	1.17E+11	1.11E+10	6.04E+11



**Figura 10.** Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

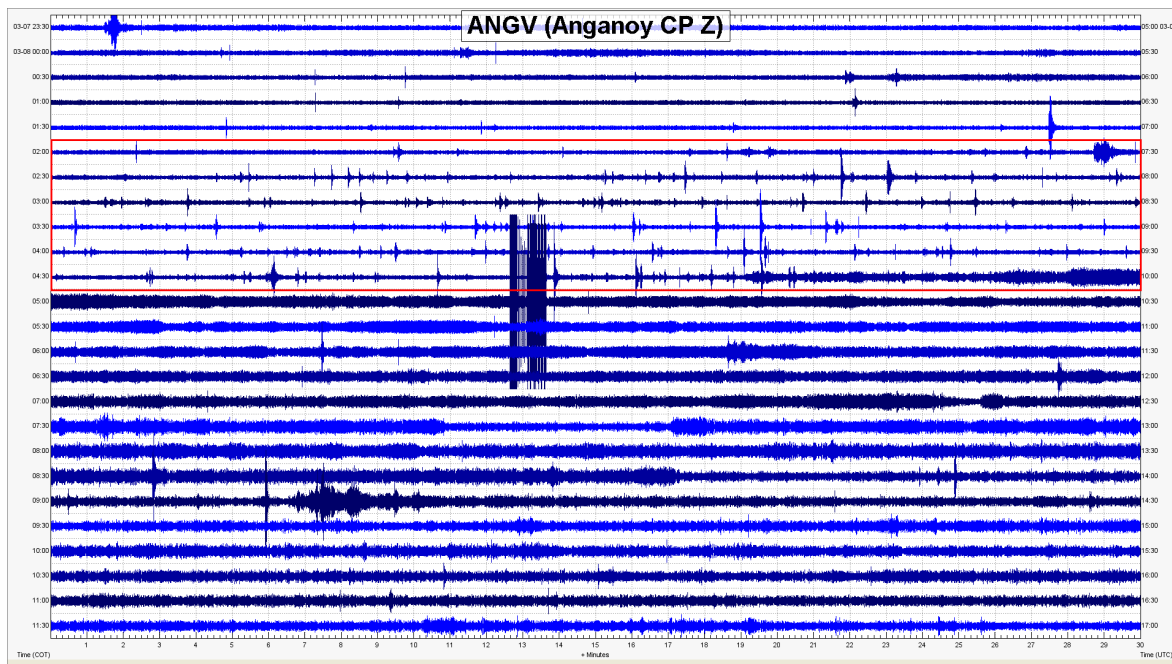


**Figura 11.** Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para marzo de 2014 (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).



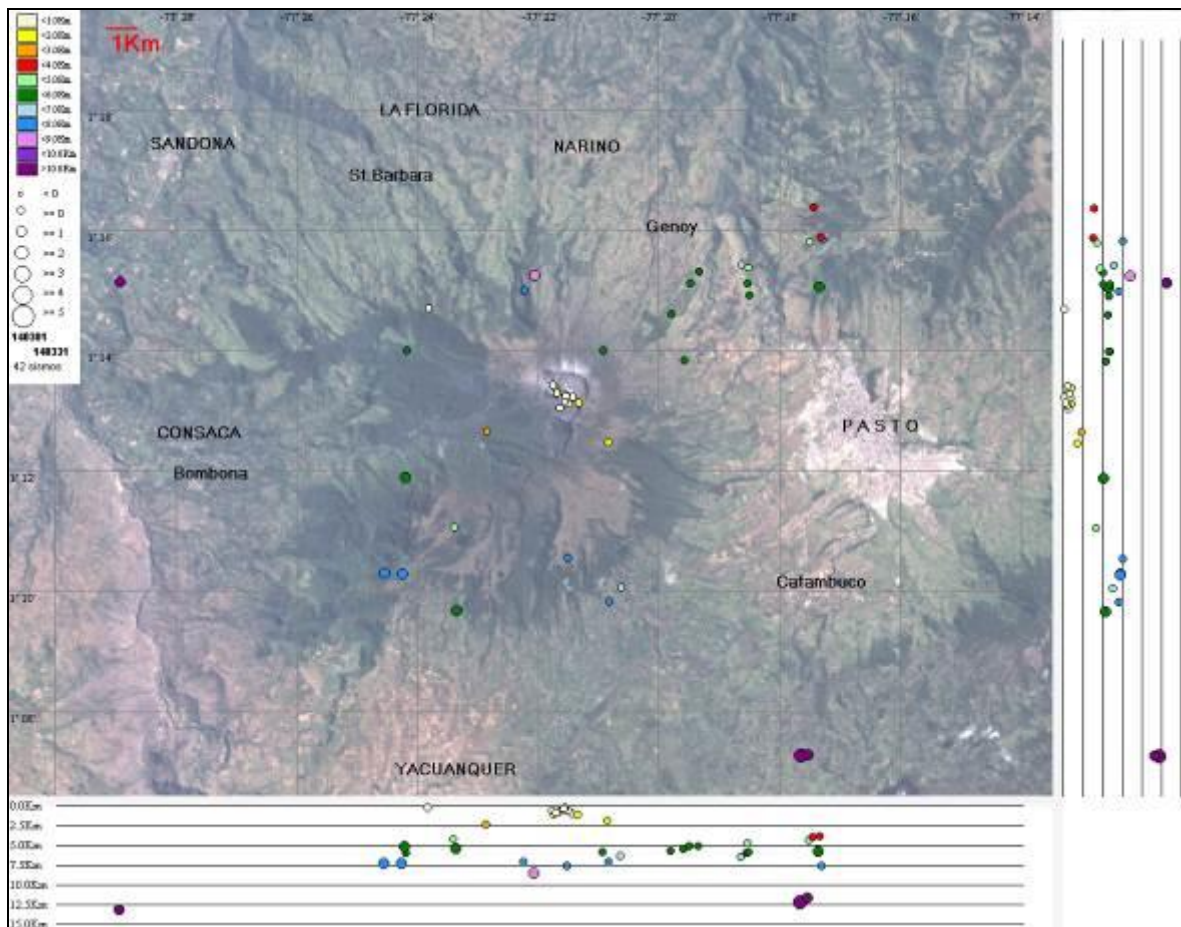
**Figura 12.** Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde diciembre de 2013 a marzo de 2014.

En la Figuras 13 se observa el enjambre sísmico de bajo nivel energético (recuadro rojo) ocurrido entre las 2:00 a.m. y las 4:50 a.m. del 8 de marzo de 2014, contabilizándose un total de 130 eventos no clasificables, la mayoría de ellos tipo VTA.



**Figura 13.** Sismograma en la estación sísmica Anganoy de enjambre de eventos sísmicos registrado el 8 de marzo entre las 2:00 a.m. y 4:50 a.m.

La sismicidad asociada con fracturamiento de material cortical al interior del edificio volcánico fue localizada utilizando la minimización de los residuales de tiempos de arribo de las ondas P y S en las estaciones de monitoreo volcánico de la red de Galeras. Fue posible estimar la localización de 42 sismos, 40 de ellos tipo VT y 2 HYB, notándose que algunos de los sismos se ubicaron en inmediaciones del cráter principal a profundidades superficiales (menores a 1 km respecto a la cima volcánica). Varios de los eventos se localizaron hacia el sector Noreste de Galeras, a distancias mayores a 1,5 km y menores a 10 km respecto al cono y profundidades entre los 4 y 8 km respecto a la cima. Otros de los eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a distancias menores a los 15 km y profundidades menores a los 13 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 2,6 en la escala de Richter (Figura 14).



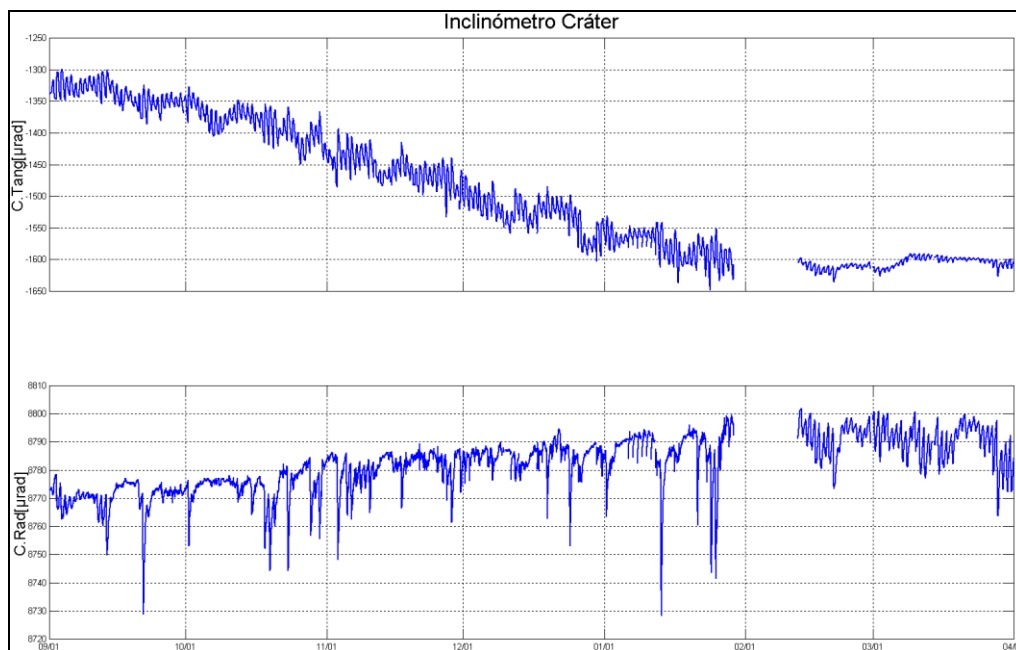
**Figura 14.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4200 msnm).

### 1.3. DEFORMACIÓN

#### 1.3.1. Estaciones de Inclínometría Electrónica

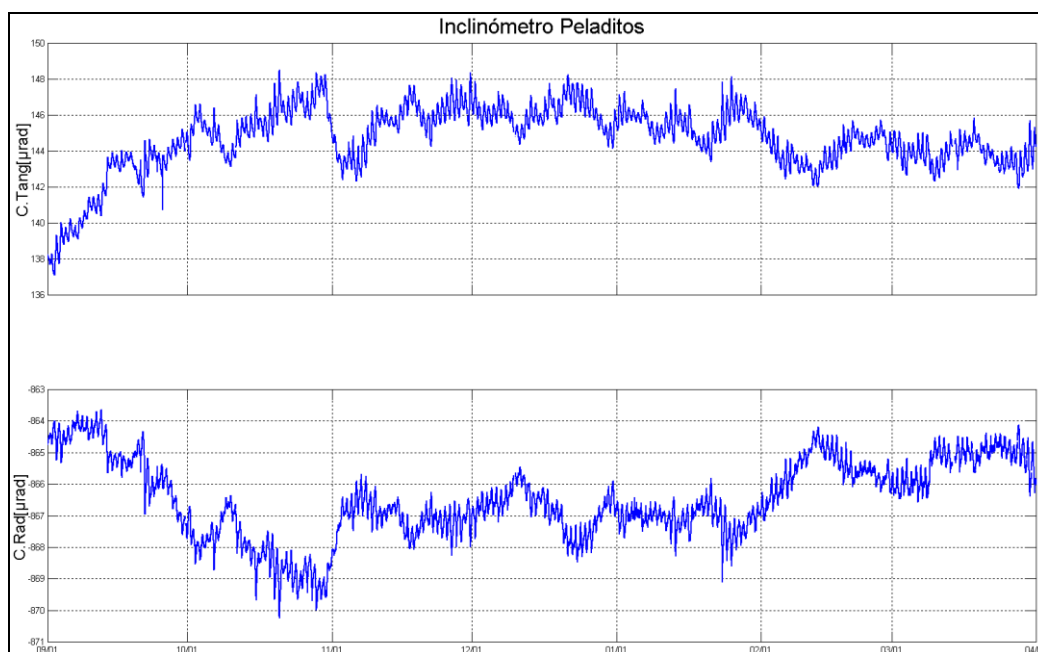
De los procesos de deformación del edificio volcánico, con base en la evaluación de la información obtenida por medio de la red de inclinómetros electrónicos de Galeras, en marzo de 2014 se resalta:

La componente tangencial del inclinómetro Cráter (ubicado a 0,8 km al este del cráter principal y 4060 msnm), mostró un comportamiento estable en el mes de marzo, con variaciones menores a los 15  $\mu$ rad, mientras que la componente radial mostró un comportamiento levemente descendente con una variación aproximada de 20  $\mu$ rad (Figura 15).



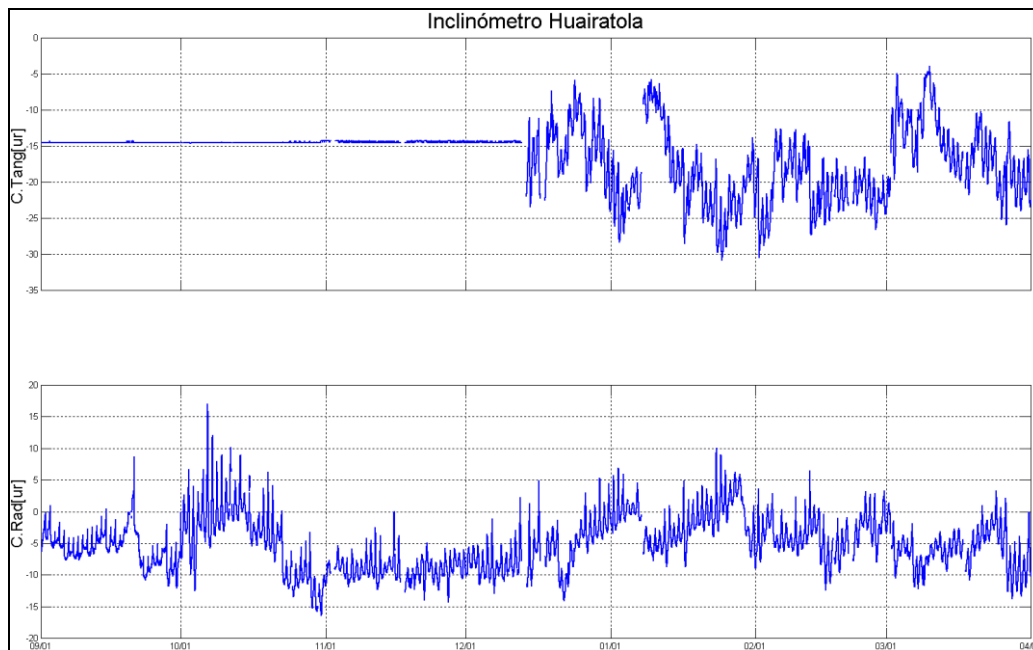
**Figura 15.** Inclínación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

El inclinómetro Peladitos (1,4 km al sureste del cráter principal, 3850 msnm.) continuó registrando pequeñas variaciones, por tanto su comportamiento se considera relativamente estable (Figura 16).



**Figura 16.** Inclínación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

Las componentes tangencial y radial del inclinómetro Huairatola (1,7 km al norte del cráter principal, 3745 msnm.), mostró fluctuaciones en un rango muy bajo por lo que también su comportamiento se considera estable (Figura 17).

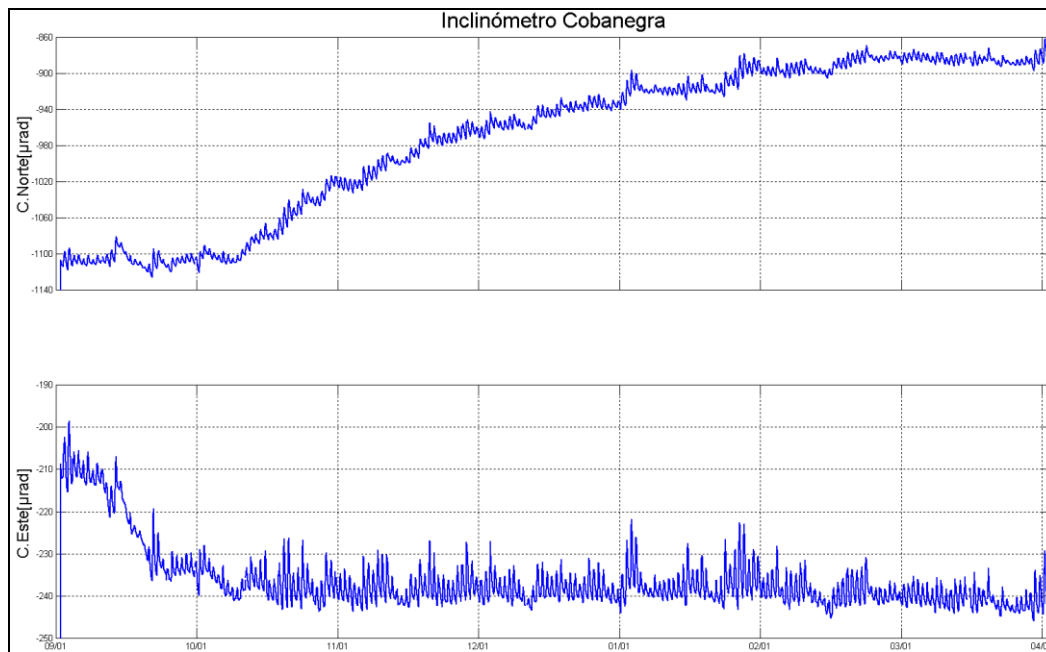


**Figura 17.** Inclínación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de la componente de inclinación Radial del inclinómetro electrónico Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

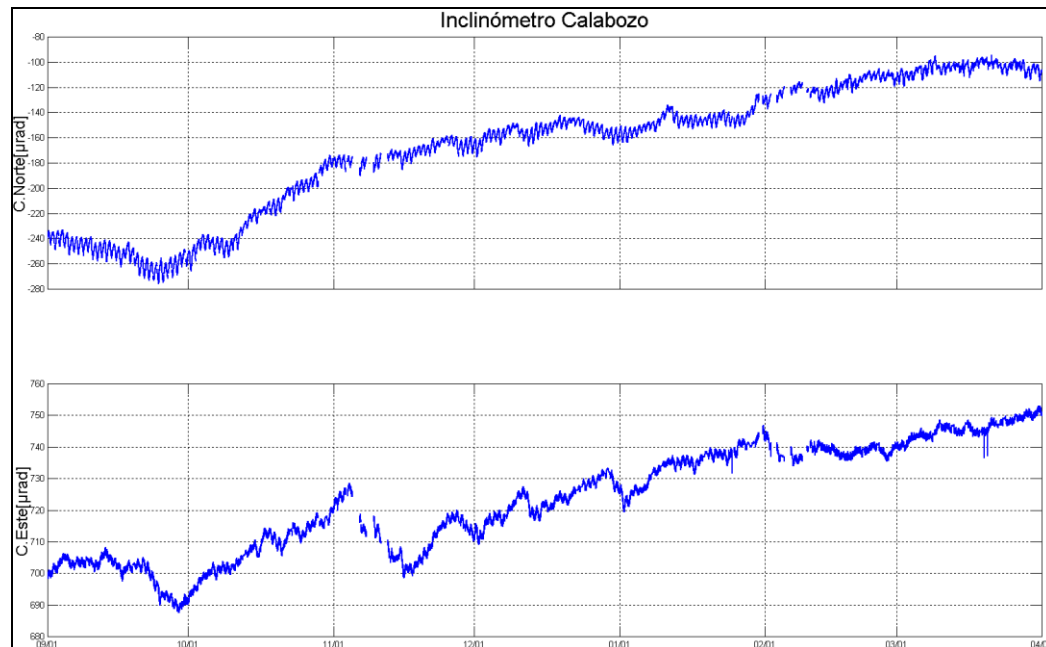
La componente Norte del inclinómetro Cobanegra (situado a 3,9 km al sur-sureste del cráter principal, a 3610 m.s.n.m.) luego de mostrar un comportamiento ascendente desde el pasado 5 de octubre de 2013, muestra desde la última semana de febrero un comportamiento estable con variaciones por debajo de los 10  $\mu\text{rad}$ . Por su parte la componente Este, en los últimos seis meses registra un comportamiento estable (Figura 18).

Las componentes Norte y Este del inclinómetro Calabozo (localizado a 6,8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 m.s.n.m.), registra desde el pasado 24 de septiembre de 2013 un comportamiento ascendente, acumulando hasta el 31 de marzo de 2014 variaciones de 160 y 64  $\mu\text{rad}$  respectivamente (Figura 19).



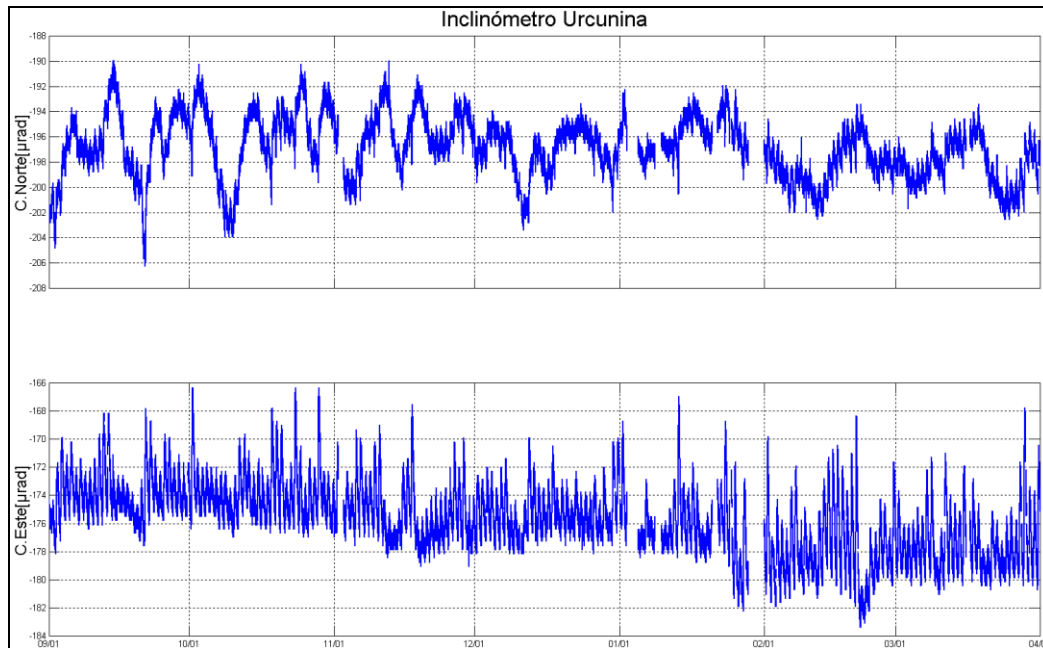


**Figura 18.** Inclínación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.



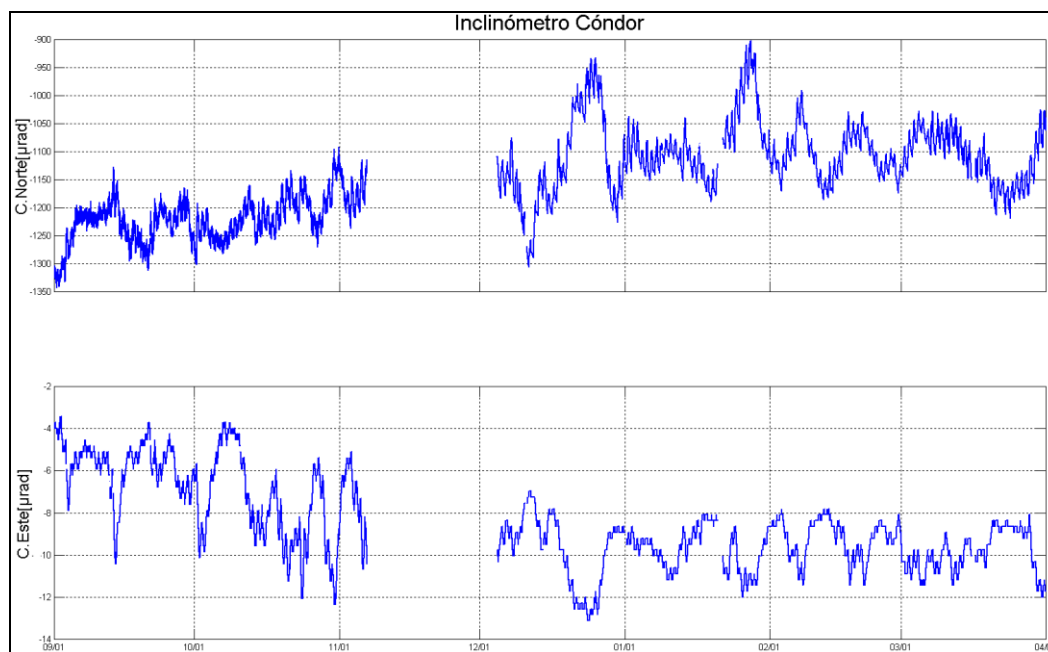
**Figura 19.** Inclínación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

Respecto al inclinómetro Urcunina (2,26 Km al este-sureste del cráter principal, 3494 msnm), se observa que las variaciones en la componente Radial y Tangencial continúan por debajo de los 10  $\mu\text{rad}$  considerándose como tendencia estable (Figura 20).



**Figura 20.** Inclínación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

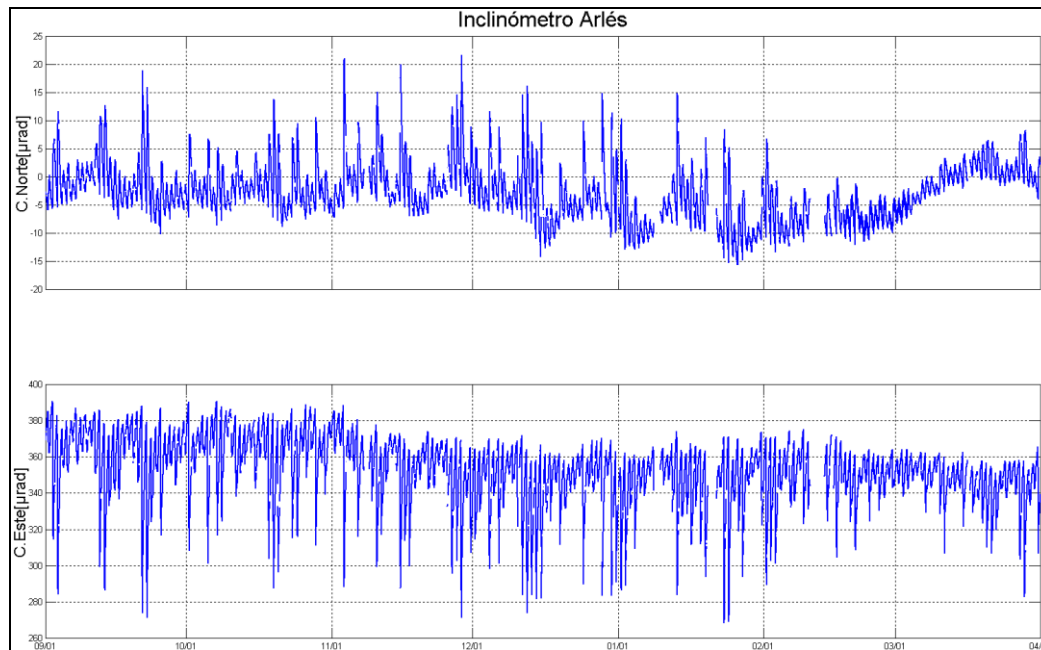
En cuanto a las componentes Norte y Este del inclinómetro Cónдор (4,9 Km al suroeste del cráter principal, 3985 msnm), continúan mostrando un comportamiento estable (Figura 21).



**Figura 21.** Inclínación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Cónдор para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.



Las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés (4,0 km al noroeste del cráter principal, 3450 msnm), para el periodo evaluado, mostraron un comportamiento estable, con variaciones por debajo de los 20  $\mu\text{rad}$  (Figura 22).



**Figura 22.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

## 1.4. GEOQUIMICA

### 1.4.1. Mediciones de flujo de emisión de $\text{SO}_2$ con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS

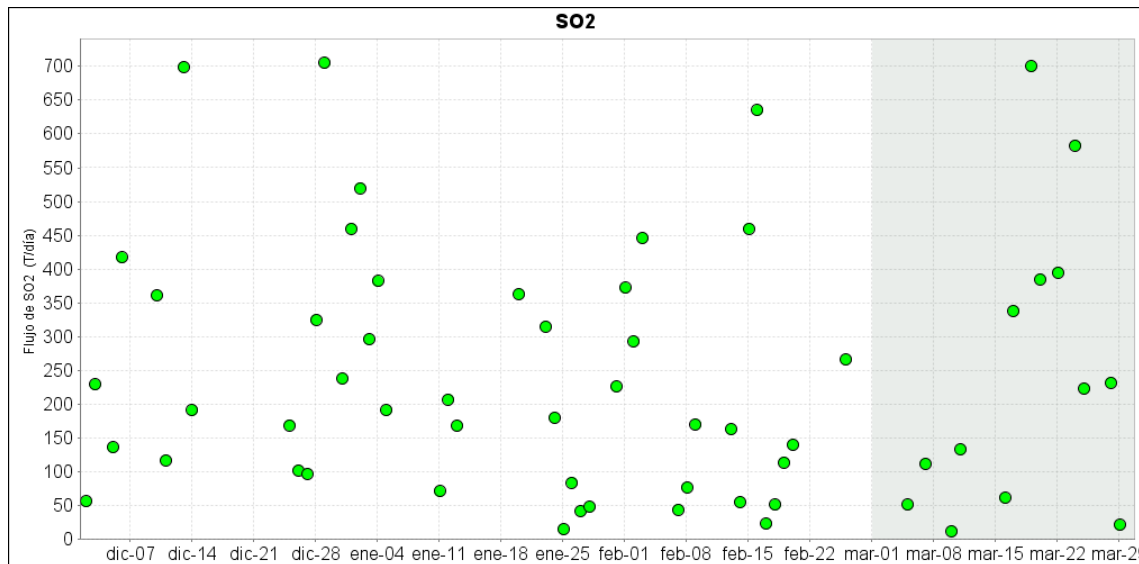
La intrusión de nuevos cuerpos de magma o ascenso del mismo, afecta el flujo de  $\text{SO}_2$  hacia la superficie. Los valores estimados de flujo de Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) de Galeras, corresponden a los escaneos de tres estaciones telemétricas permanentes ScanDOAS, (Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara) localizadas en el cuadrante noroccidental de Galeras). Mediante un equipo mini-DOAS, su funcionamiento parte de detectar la luz Ultravioleta (UV) dispersa, a través de un telescopio acoplado a una fibra óptica de cuarzo que transfiere la luz a un espectrómetro (OceanOptics S2000) y lo compara con un espectro de referencia dentro de una longitud de onda específica entre 280 a 420 nm con una resolución de 0,6 nm. Un filtro en el telescopio bloquea la luz visible con longitudes de onda mayores a 360 nm, reduciendo efectivamente la luz difusa (Galle et al., 2002). Cada uno de los espectros obtenidos se traducen en escaneos que permiten conocer la absorbencia de la pluma de  $\text{SO}_2$  en tiempo real (Euripides et al., 2012). Para el cálculo de flujo de  $\text{SO}_2$  se tiene en cuenta los valores de velocidad del viento medidos por la estación climática instalada en la cima del volcán, los cuales se ajustan a la zona donde se genera la columna. A partir de los escaneos de  $\text{SO}_2$ , de las estaciones fijas, diariamente se realiza la evaluación de cada uno de ellos y se reporta el valor máximo del día y la estación donde se registró.

Durante marzo de 2014 se registraron escaneos en todos los días del mes y solamente para 13 de ellos fue posible evidenciar y calcular la pluma de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) proveniente del volcán, con valores que fluctuaron entre 12 y 700 Ton/día, el máximo valor se registró en la estación Santa Bárbara el 19 de marzo y se encuentra dentro del rango de emisiones consideradas como moderadas para Galeras, indicando que el proceso de desgasificación del volcán aún continúa y se hace evidente en sus manifestaciones de actividad superficial (Tabla 10, Figuras 23 y 24).

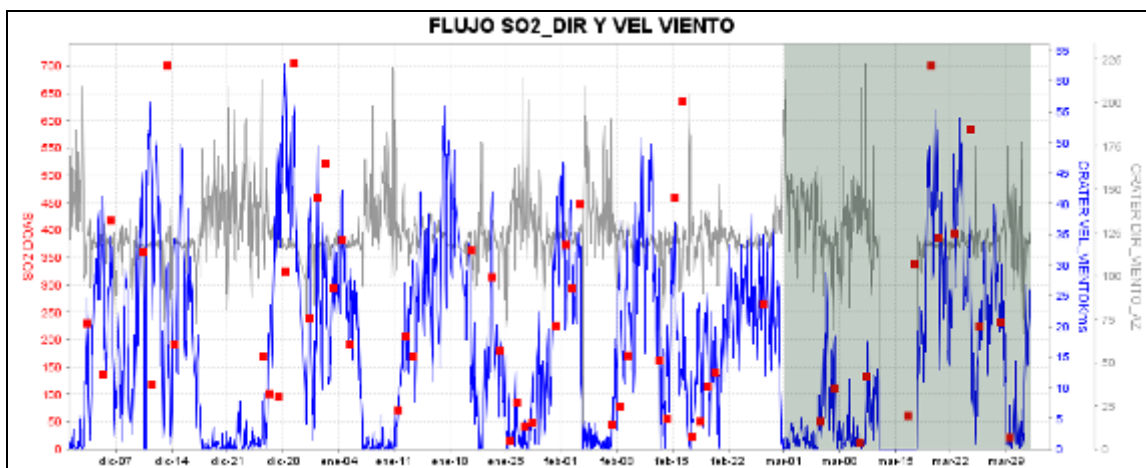
**Tabla 10.** Flujo de  $\text{SO}_2$  del volcán Galeras registrado en noviembre de 2013 por las estaciones ScanDOAS.

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo $\text{SO}_2$ diario [Ton/día]	Estación de registro o recorrido	Equipo
05-mar-14	03:42 PM	2.6	1.4	51	Santa Barbara	SCANDOAS
07-mar-14	12:03 PM	294.1	2.57	112	Santa Barbara	SCANDOAS
10-mar-14	11:09 AM	227.2	0.44	12	Alto Jimenez	SCANDOAS
11-mar-14	08:10 AM	355.1	2.3	133	Santa Barbara	SCANDOAS
16-mar-14	02:48 PM	295	4.3	61.3	Santa Barbara	SCANDOAS
17-mar-14	11:16 AM	297.8	7.2	338	Santa Barbara	SCANDOAS
19-mar-14	01:53 PM	272.1	10.1	700	Alto Jimenez	SCANDOAS
20-mar-14	08:46 AM	257.7	13.2	385	Alto Jimenez	SCANDOAS
22-mar-14	12:49 PM	299.3	7.3	395	Alto Jimenez	SCANDOAS
24-mar-14	09:41 AM	251.5	9.19	583	Alto Jimenez	SCANDOAS
25-mar-14	01:34 PM	292.3	6.2	223	Santa Barbara	SCANDOAS
28-mar-14	07:51 AM	296.8	8.4	232	Santa Barbara	SCANDOAS
29-mar-14	10:14 AM	287.8	0.8	21	Santa Barbara	SCANDOAS

\* Flujo de emisión de  $\text{SO}_2$  [Toneladas/día]. Bajo:  $\leq 500$ ; moderado:  $> 500$  y  $\leq 1000$ ; alto:  $> 1000$  y  $\leq 3000$ ; muy alto:  $> 3000$ .



**Figura 23.** Flujo de emisión de  $\text{SO}_2$  registrado entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014 por los equipos ScanDOAS instalados en Galeras.



**Figura 24.** Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y marzo de 2014.

#### 1.4.2. Mediciones del isótopo de gas Radón $Rn_{222}$

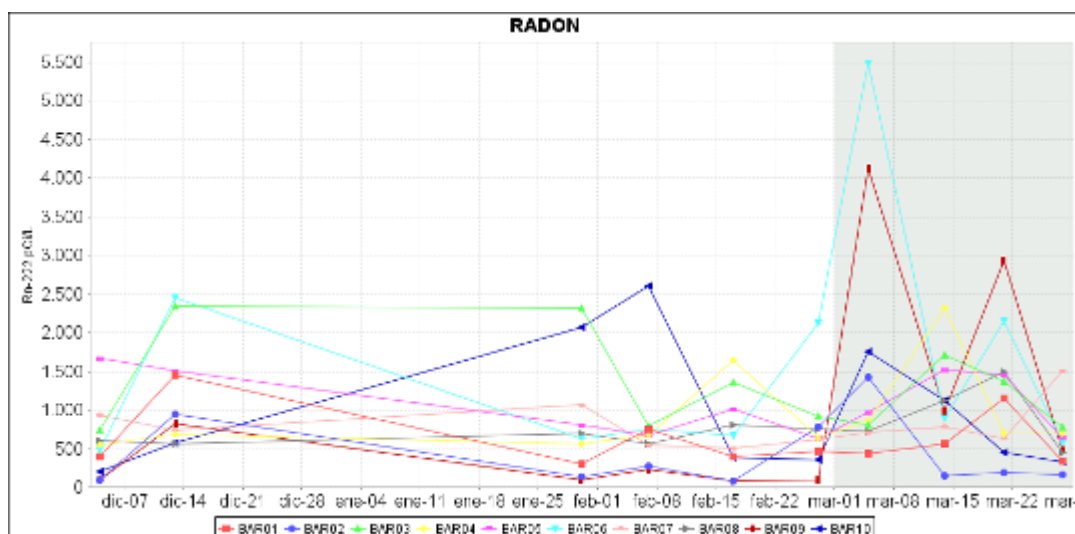
Probablemente la principal fuente de generación de gas  $Rn_{222}$  en el sistema volcánico Galeras es la desgasificación de radón que sufre el magma o indirectamente puede deberse a la removilización de los radionúclidos ( $U_{238}$ ,  $Rn_{226}$ ) (Flexser et al., 1987; Wollenberg et al., 1984/85), como también puede estar implicando un aumento de la temperatura del sistema hidrotermal. El flujo depende de la heterogeneidad de la permeabilidad de las rocas en niveles cercanos a la superficie (por etapas de deformación), colapso de poro (King (1979; 1986), microfracturación de rocas (Thomas et al., 1986) o el aumento del flujo térmico y descargas de vapor (Cox, 1980 ; Cox et al., 1980 ; De la Cruz Reina, 1985). Cada uno de estos procesos puede estar contribuyendo a incrementar la concentración de  $Rn_{222}$  en el suelo durante la corta duración de los episodios volcánicos (Connor et al., 1996, Gasparini et al., 1984).

Una vez liberado por emanación e incorporado al fluido intersticial (líquido o gas) que ocupa los poros y grietas de la roca, es susceptible de ser transportado sin reaccionar con el medio. El incremento del nivel de radón se produce en zonas de intensa fracturación e inyección filoniana (dorsales) y en áreas con emisiones de  $CO_2$ , coincidentes a su vez con las zonas de vulcanismo reciente.

El monitoreo se realizó con el sistema E-PERM canalizando el gas en tubos de Cloruro de Polivinilo (PVC), en cuyo interior se encuentra un sensor llamado "Electret" con un potencial conocido y acoplado a una cámara de volumen también conocido. El análisis de la concentración de  $Rn_{222}$  se fundamenta en la capacidad que tiene el isótopo para desintegrarse, produciendo partículas alfa, las cuales ionizan el aire de la cámara de medición, bombardean el sensor y lo descargan. La concentración de  $Rn_{222}$  es directamente proporcional a la diferencia de potencial para el sensor e inversamente proporcional al tiempo de análisis.

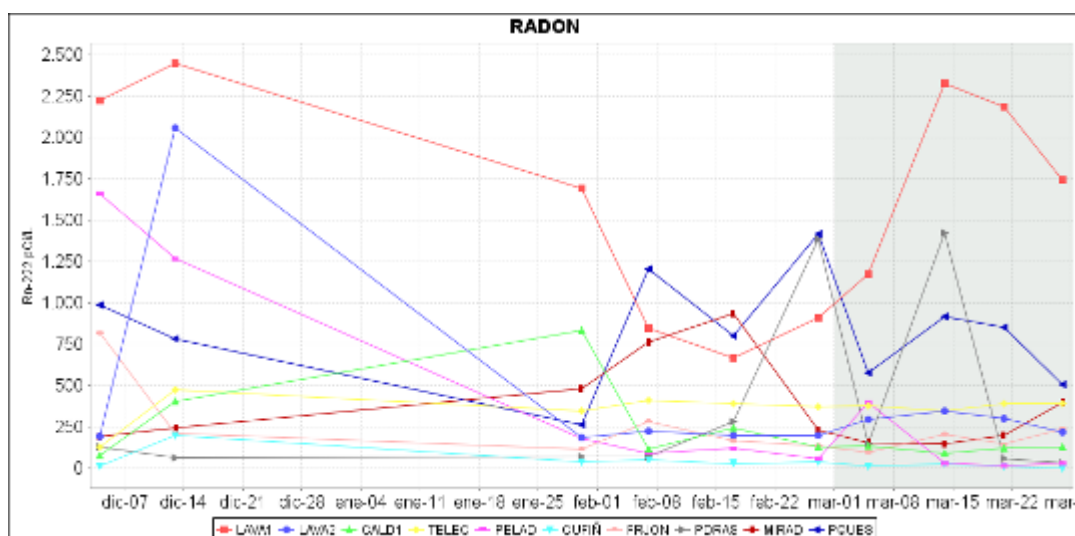
En las Figuras 25 y 26 y las Tablas 11 y 12 se observa las variaciones del flujo de  $Rn_{222}$  en las líneas Barranco y Galeras respecto a meses anteriores.

En las estaciones ubicadas en la línea Barranco (Figura 25), se observa un pico máximo notable de 5481 pCi/L para el periodo comprendido entre el 27 de febrero y 5 de marzo en la estación BAR 06, como también para la estación BAR 09 con una concentración de 4125 para el mismo periodo. Sin embargo se observa que para la mayoría de las estaciones el flujo decae a finales del mes.



**Figura 25.** Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Barranco para el periodo comprendido entre los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014.

En cuanto a la línea Galeras (Figura 26), el valor del flujo de Rn 222 se incrementa notablemente en las estaciones: LAVAS 1 y PIEDRAS (2328 pCi/L y de 1422 pCi/L entre el 5 y 14 de marzo respectivamente), sin embargo para el resto de estaciones observa un similar comportamiento con respecto a meses anteriores.



**Figura 26.** Flujo de gas radón en la línea Galeras para el periodo comprendido entre los meses de diciembre de 2013 y marzo de 2014.

Tabla 11. Flujo del isótopo  $Rn_{222}$  en suelo en las estaciones de la línea Barranco en marzo de 2014.

LÍNEA BARRANCO			
PERÍODO DE MUESTREO		Estación	Concentración (pCi/L)
Inicial	final		
27-feb-14	05-mar-14	BAR01	438
05-mar-14	14-mar-14		567
14-mar-14	21-mar-14		1156
21-mar-14	28-mar-14		341
27-feb-14	05-mar-14	BAR02	1427
05-mar-14	14-mar-14		146
14-mar-14	21-mar-14		187
21-mar-14	28-mar-14		164
27-feb-14	05-mar-14	BAR03	808
05-mar-14	14-mar-14		1707
14-mar-14	21-mar-14		1365
21-mar-14	28-mar-14		781
27-feb-14	05-mar-14	BAR04	860
05-mar-14	14-mar-14		2316
14-mar-14	21-mar-14		705
21-mar-14	28-mar-14		703
27-feb-14	05-mar-14	BAR05	967
05-mar-14	14-mar-14		1520
14-mar-14	21-mar-14		1451
21-mar-14	28-mar-14		641
27-feb-14	05-mar-14	BAR06	5481
05-mar-14	14-mar-14		896
14-mar-14	21-mar-14		2152
21-mar-14	28-mar-14		581
27-feb-14	05-mar-14	BAR07	711
05-mar-14	14-mar-14		783
14-mar-14	21-mar-14		631
21-mar-14	28-mar-14		1503
27-feb-14	05-mar-14	BAR08	725
05-mar-14	14-mar-14		1119
14-mar-14	21-mar-14		1495
21-mar-14	28-mar-14		448
27-feb-14	05-mar-14	BAR09	4125
05-mar-14	14-mar-14		981
14-mar-14	21-mar-14		2934
21-mar-14	28-mar-14		479
27-feb-14	05-mar-14	BAR10	1757
05-mar-14	14-mar-14		1129
14-mar-14	21-mar-14		451
21-mar-14	28-mar-14		334

\*Valores de flujo del gas isótopo radón-222 para Galeras: Bajo ( $0 < 1400$  pCi/L); Moderados ( $> 1400 < 4000$  pCi/L); Alto ( $> 4000 < 5000$  pCi/L); Muy alto ( $> 5000$  pCi/L).

Tabla 12. Flujo del isótopo Rn<sub>222</sub> en suelo en las estaciones de la línea Galeras en marzo de 2014.

LÍNEA GALERAS			
PERÍODO DE MUESTREO		Estación	Concentración (pCi/L)
Inicial	final		
27-feb-14	05-mar-14	CALD1	132
05-mar-14	14-mar-14		91
14-mar-14	21-mar-14		123
21-mar-14	28-mar-14		126
27-feb-14	05-mar-14	CUFIÑ	9
05-mar-14	14-mar-14		25
14-mar-14	21-mar-14		15
21-mar-14	28-mar-14		0
27-feb-14	05-mar-14	FRJON	98
05-mar-14	14-mar-14		206
14-mar-14	21-mar-14		144
21-mar-14	28-mar-14		237
27-feb-14	05-mar-14	LAVA1	1174
05-mar-14	14-mar-14		2328
14-mar-14	21-mar-14		2185
21-mar-14	28-mar-14		1742
27-feb-14	05-mar-14	LAVA2	295
05-mar-14	14-mar-14		343
14-mar-14	21-mar-14		298
21-mar-14	28-mar-14		220
27-feb-14	05-mar-14	MIRAD	154
05-mar-14	14-mar-14		148
14-mar-14	21-mar-14		200
21-mar-14	28-mar-14		395
27-feb-14	05-mar-14	PDRAS	146
05-mar-14	14-mar-14		1422
14-mar-14	21-mar-14		59
21-mar-14	28-mar-14		31
27-feb-14	05-mar-14	PELAD	398
05-mar-14	14-mar-14		30
14-mar-14	21-mar-14		15
21-mar-14	28-mar-14		31
27-feb-14	05-mar-14	PQUES	576
05-mar-14	14-mar-14		979
14-mar-14	21-mar-14		850
21-mar-14	28-mar-14		508
27-feb-14	05-mar-14	TELEC	378
05-mar-14	14-mar-14		348
14-mar-14	21-mar-14		391
21-mar-14	28-mar-14		392

\*Valores de flujo del gas isótopo radón-222 para Galeras: Bajo (0<1400 pCi/L); Moderados (>1400<4000 pCi/L); Alto (>4000<5000 pCi/L); Muy alto (>5000 pCi/L).



A continuación se presenta una relación entre el flujo de  $\text{SO}_2$ , eventos sísmico tipo VT y el flujo de radón a partir del mes de noviembre de 2013 hasta el mes de marzo del presente año para el volcán Galeras (Figura 27).

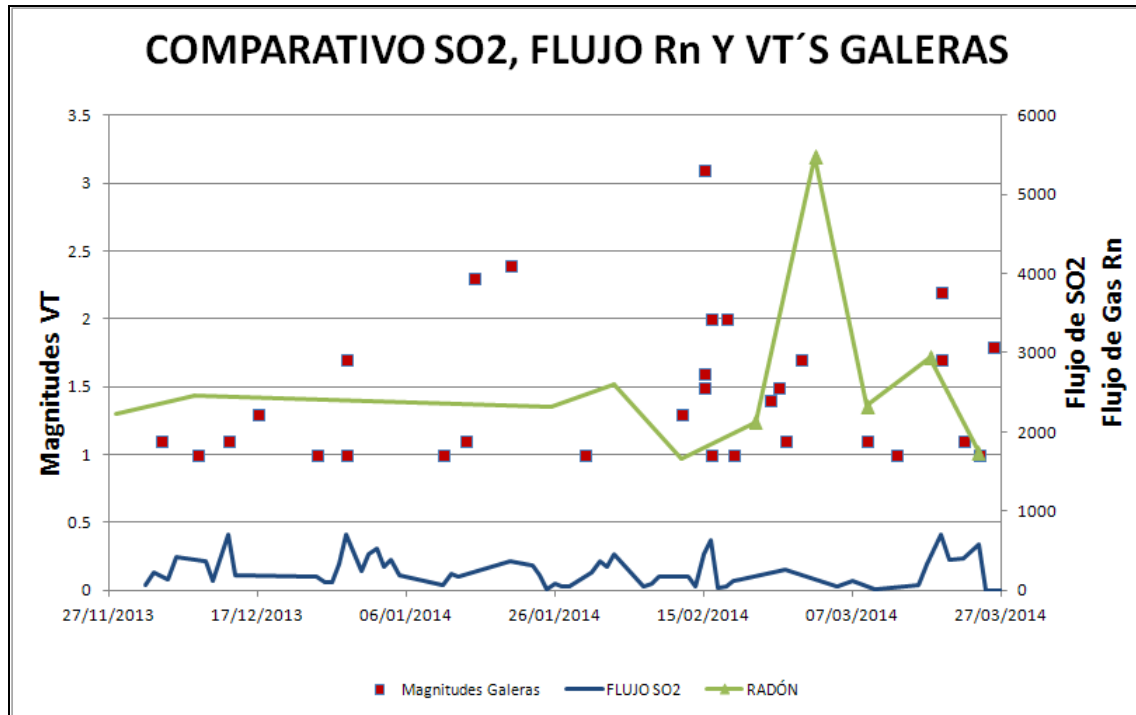


Figura 27. Flujo de  $\text{SO}_2$ , eventos sísmico tipo VT y el flujo de radón noviembre 2013 a marzo 2014.

Se puede observar un comportamiento variable en el flujo de radón en suelo a partir del mes de noviembre de 2013 hasta marzo del presente año, presentando valores entre 1652 y 5481 pCi/L (flujos  $>2000$  pCi/L considerados como anomalías de radón para Galeras). En cuanto a la desgasificación de  $\text{SO}_2$ , el sistema mantiene hasta el momento niveles bajos a moderados de flujo ( $>0 < 1000$  Ton/día para Galeras) entre 12 y 705 Ton/d. La poca salida de  $\text{SO}_2$  puede sugerir un sistema parcialmente abierto que permite un cierto nivel de despresurización en el sistema, pero también puede ser indicio de acumulación de esfuerzos en el sistema, sin embargo estos niveles bajos a moderados también podrían indicar que este gas se encuentra solubilizado en el magma. En cuanto a los niveles de radón, éste indica que el proceso de difusión del gas en el suelo de Galeras sigue presentándose, pero que además el sistema de fracturas, micro fracturas y porosidad de las rocas se encuentran abiertas y dinámicas.

### 1.4.3 Trampa alcalina-volcán Galeras

En el mes de marzo se realizó el primer muestreo de gases condensables del año 2014 de los sistemas de trampa alcalina en la cima de Galeras, que permitirá analizar moléculas de los gases condensables emitidos por el volcán (Azufre total ( $\text{S}_t$ ), Cloruro de hidrógeno (HCl) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )). Los resultados se darán a conocer en el próximo mes.

En el volcán Galeras se encuentran ubicadas dos estaciones no telemétricas de Trampa Alcalina (Figura 28, Tabla 13): Trampa Alcalina-Base Militar y Trampa Alcalina-Mirador.

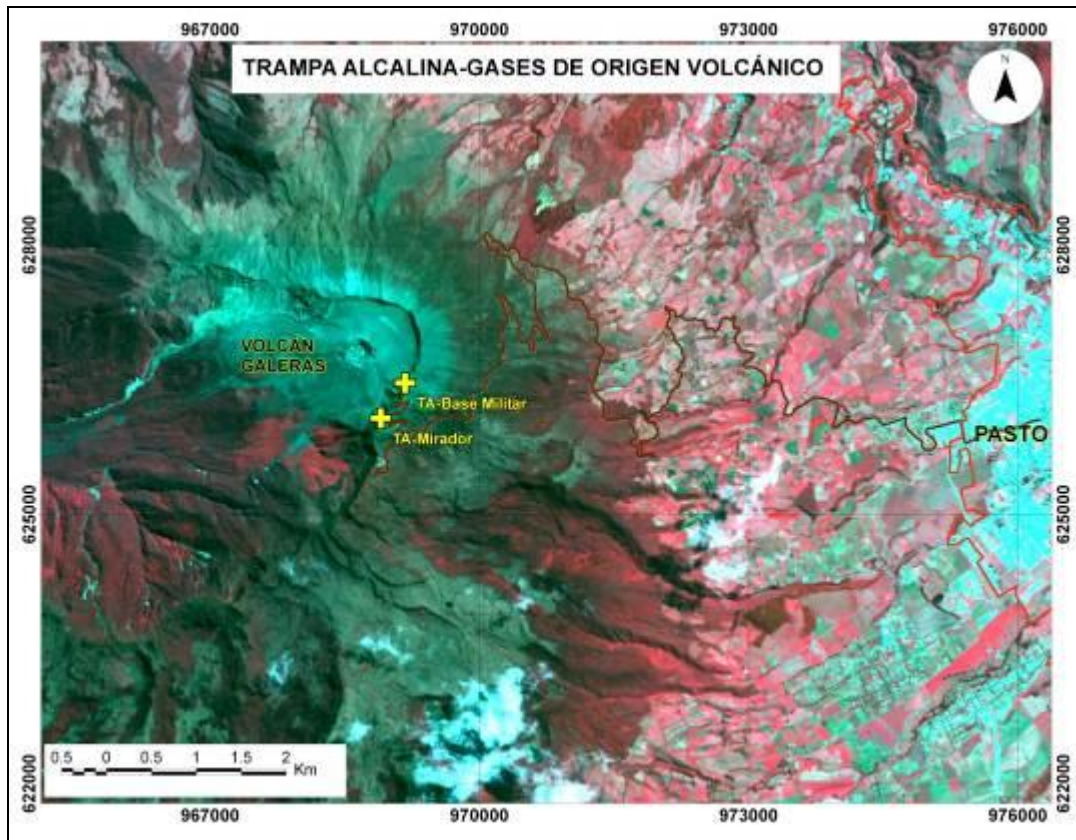


Figura 28. Mapa de localización estaciones trampa alcalina volcán Galeras.

Tabla 13. Ubicación geográfica estaciones Trampa Alcalina en Volcán Galeras

Nombre Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
TA-Base Militar	Telemétrica	1° 13' 05.6"	77° 21' 16.2"	4248
TA-Mirador	Telemétrica	1° 12' 52.6"	77° 21' 25.3"	4156

La trampa alcalina consiste en utilizar un montaje (Figura 10), en el cual se encuentra un recipiente con aproximadamente 100ml de una solución alcalina (KOH 6N), esto permitirá atrapar gases de origen volcánico (gases ácidos) y sobre ella debe colocarse un tipo de balde plástico invertido al nivel del suelo que permita la circulación de gases por la trampa. Este montaje debe estar situado de ser posible en el borde del cráter y/o en puntos cercanos a fumarolas y la solución debe cambiarse periódicamente antes de la saturación. En la figura 29 se observa la toma de muestras de las dos estaciones de trampa alcalina instaladas en volcán Galeras para el mes de marzo.





Figura 29. Toma de muestras- estaciones Trampa Alcalina-Cima volcán Galeras marzo de 2014.

#### 1.4.4 Muestreo de aguas en fuentes termales

El volcán Galeras cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Río Pasto (A), FT Cehani (B), FT Aguas Agrías (C), FT Agua Blanca (D) y FT Licamancha (E) (Figura 30, tablas 14 y 15).

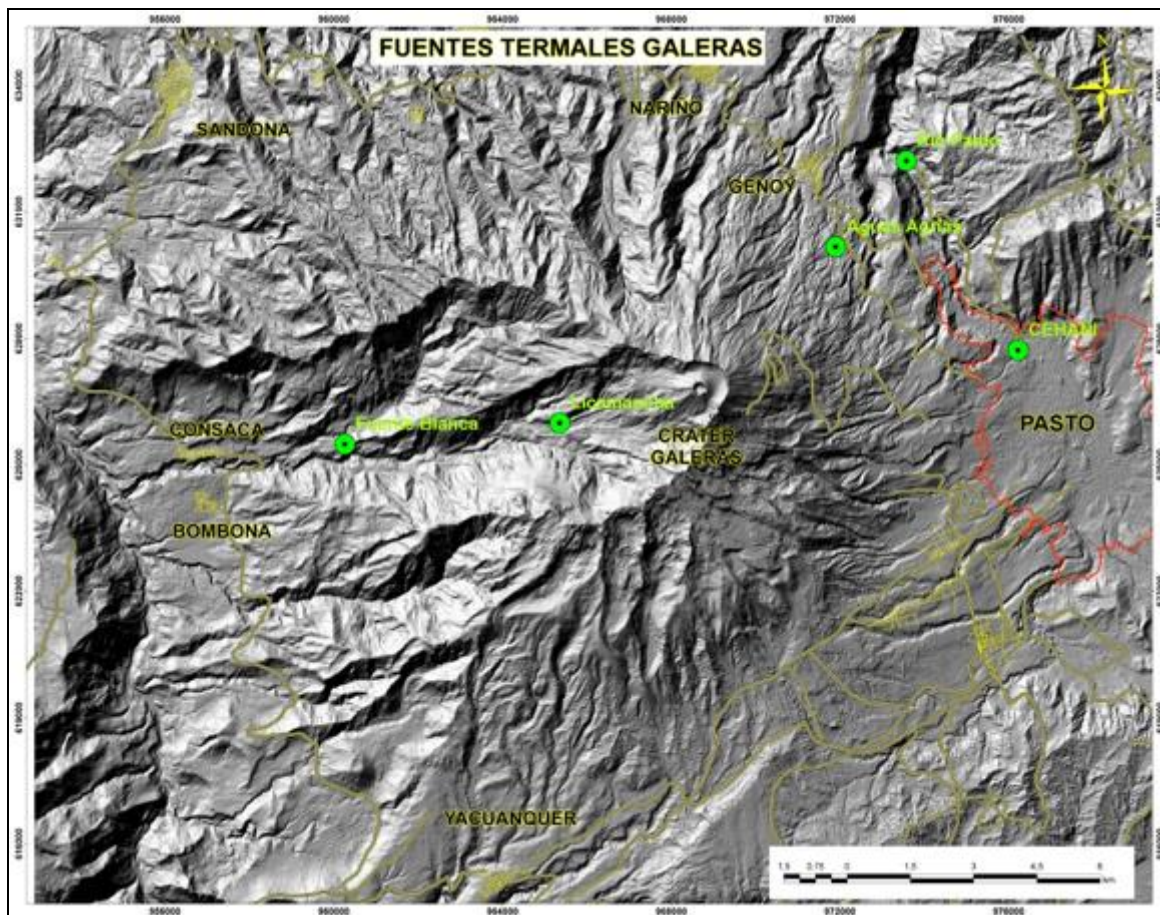


Figura 30. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

**Tabla 14.** Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras – Marzo de 2014.



**Tabla 15.** Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Galeras.

FUENTES TERMALES VOLCÁN GALERAS	Nombre Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
	Cehani	No telemétrica	01°13'46.3"	77° 17' 28.6"	2502
	Aguas Agrias	No telemétrica	01° 15' 6.2"	77° 19' 48.4"	2227
	Río Pasto	No telemétrica	01°16'12.6"	77° 18' 54.3"	2146
	Fuente Blanca	No telemétrica	01°12'33.6"	77° 26' 4.8"	2432
	Licamancha	No telemétrica	01° 12' 50"	77° 23' 20"	2702

En el mes de marzo, el trabajo de muestreo en campo para la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos se realizó en las fuentes termales Río Pasto, Cehani y Aguas Agrias pertenecientes a la zona de influencia del volcán Galeras.

Con respecto a la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos en las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del volcán Galeras, se utilizan los siguientes equipos:

-Equipo multiparámetro (pH metro, T y ORP) SCHOTT (pH11/12): permite medir el potencial de hidrógeno, temperatura y potencial de óxido reducción en fuentes termales.

-Conductímetro: permite hacer mediciones de conductividad eléctrica en aguas.

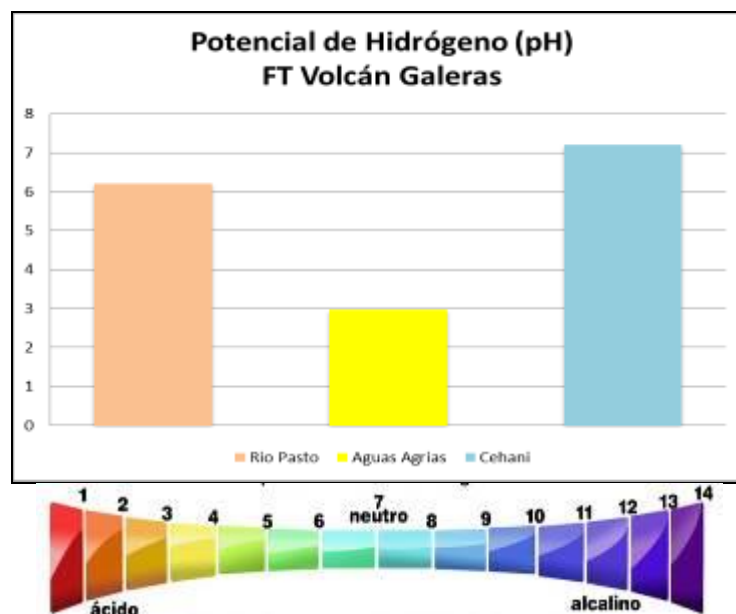
-Termómetro: permite hacer mediciones de temperatura.

En la tabla 16 se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos durante trabajo en campo en el mes de marzo de 2014.

**Tabla 16.** Datos de parámetros fisicoquímicos FT Volcán Galeras - marzo de 2014.

VOLCÁN	Muestra	Fecha	pH	T (°C)	ORP (mV)	CE (mS/cm)
GALERAS	RIO PASTO	28/03/2014	6.2	42.7	15.8	2.78
	AGUAS AGRIAS	28/03/2014	2,98	27.1	207.7	3,69
	CEHANI	28/03/2014	7.2	36.2	-41.5	2,39

En la figura 31 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de marzo para las FT de la zona de influencia del volcán Galeras. Los colores en la gráfica indican el estado de acidez o basicidad de el manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para pH.



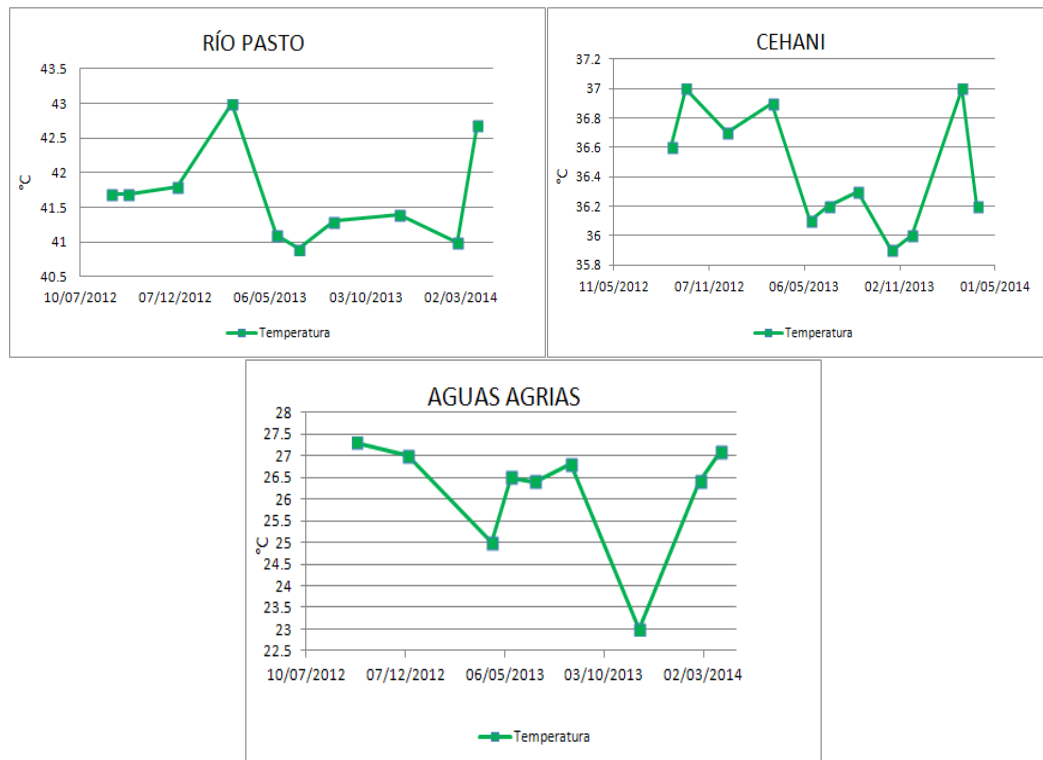
**Figura 31.** Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras en marzo de 2014.



De acuerdo a la gráfica anterior, las fuentes termales de Galeras presentan durante el mes de marzo potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2.98 (ácida) y 7.2 (neutra) correspondientes a las FT Aguas Agrias y Cehani respectivamente.

En las figuras 32 y 33 se puede observar las variaciones de temperatura y conductividad eléctrica en el tiempo con respecto a meses anteriores, correspondientes a las FT de la zona de influencia del volcán Galeras registradas en trabajo de campo del mes de marzo de 2014.

Más adelante en las figuras 34 y 35, se puede observar las relaciones de parámetros como el pH con la presencia de bicarbonato en los manantiales y con el potencial de óxido-reducción (ORP).



**Figura 32.** Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras-marzo 2014.

Las fuentes termales pueden clasificarse de acuerdo a la temperatura registrada en campo. En la tabla 17 se encuentra la clasificación de fuentes termales.

**Tabla 17.** Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.

TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN
20 - 35°C	Aguas hipotermas
35 - 45°C	Aguas mesotermas
45 - 100°C	Aguas hipotermas
100 - 150°C	Aguas supertermas

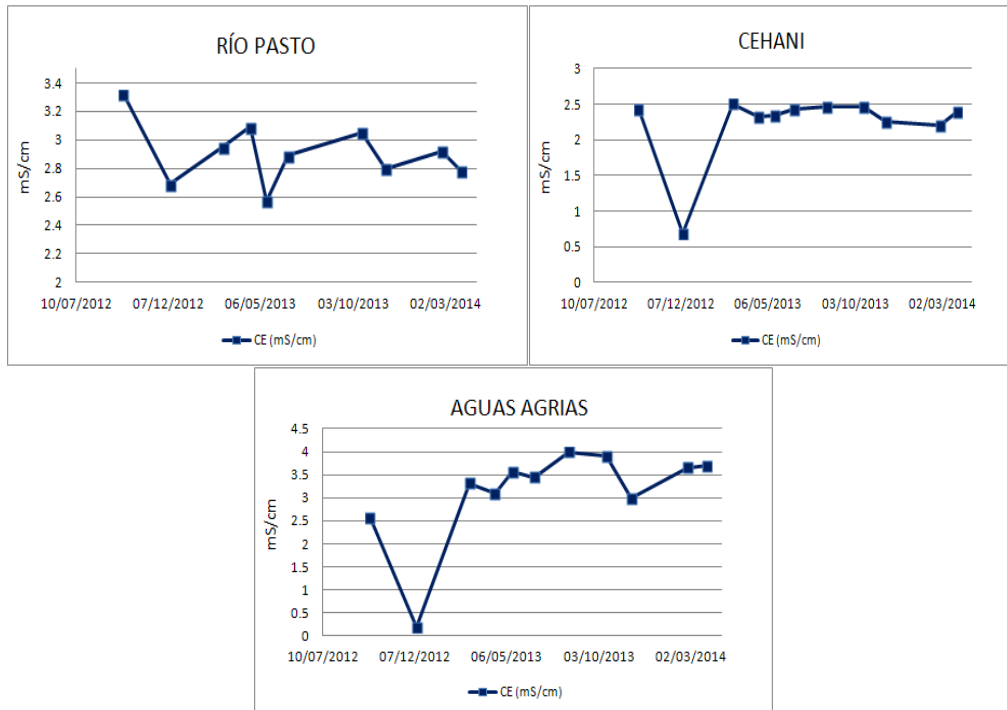


Figura 33. Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras-marzo 2014.

- Fuente termal Río Pasto**

Temperatura superficial: 42.7° C (Temperatura registrada en marzo 2014).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 35°C y 45°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.78 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 27.1° C. (Temperatura registrada en marzo 2014)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 30°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 3.69 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

- Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 36.2° C. (Temperatura registrada en marzo 2014)

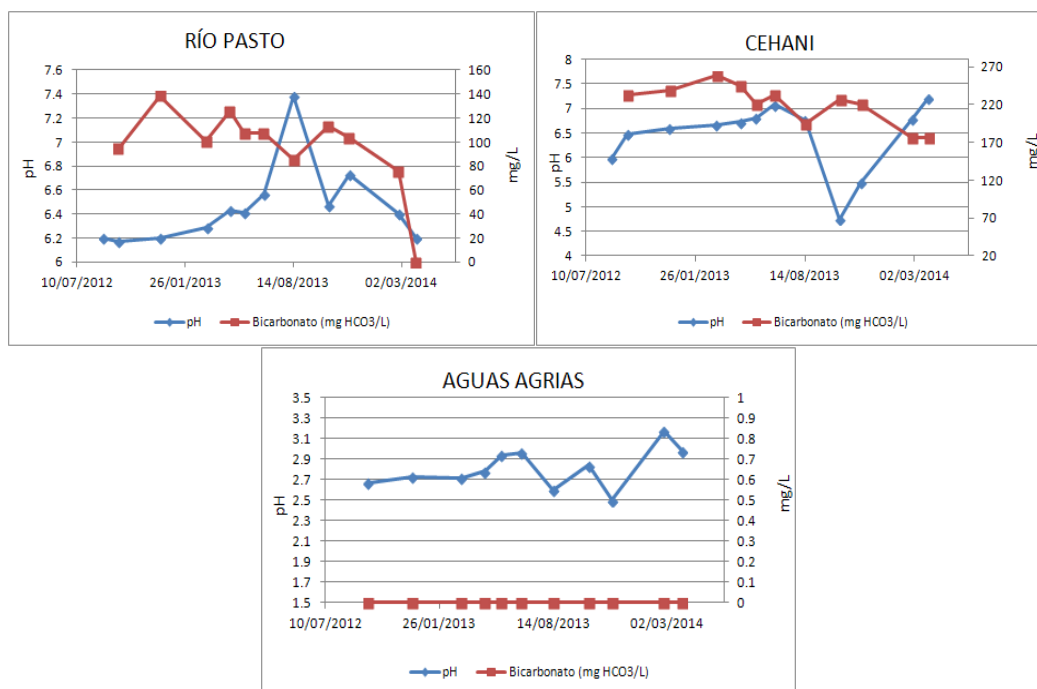
Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Las temperaturas de las manifestaciones termales se encuentran entre los 35°C y 45°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.39 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

Con respecto al comportamiento de las FT de Galeras con respecto a parámetros como la temperatura se observa que para el mes de marzo, en la FT Cehani disminuye levemente su valor en menos de una unidad, mientras que para las FT Río Pasto y Aguas Agrías se presenta un leve incremento con respecto al mes anterior.

Sobre la conductividad eléctrica, para el mes de marzo la FT Río Pasto presenta un leve descenso, mientras que para las FT Cehani y Aguas Agrías se observa un comportamiento similar al del mes anterior.

En la figura 35 se presenta la relación entre la presencia del ión bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en el medio y su influencia en la variación del pH para el mes de marzo.



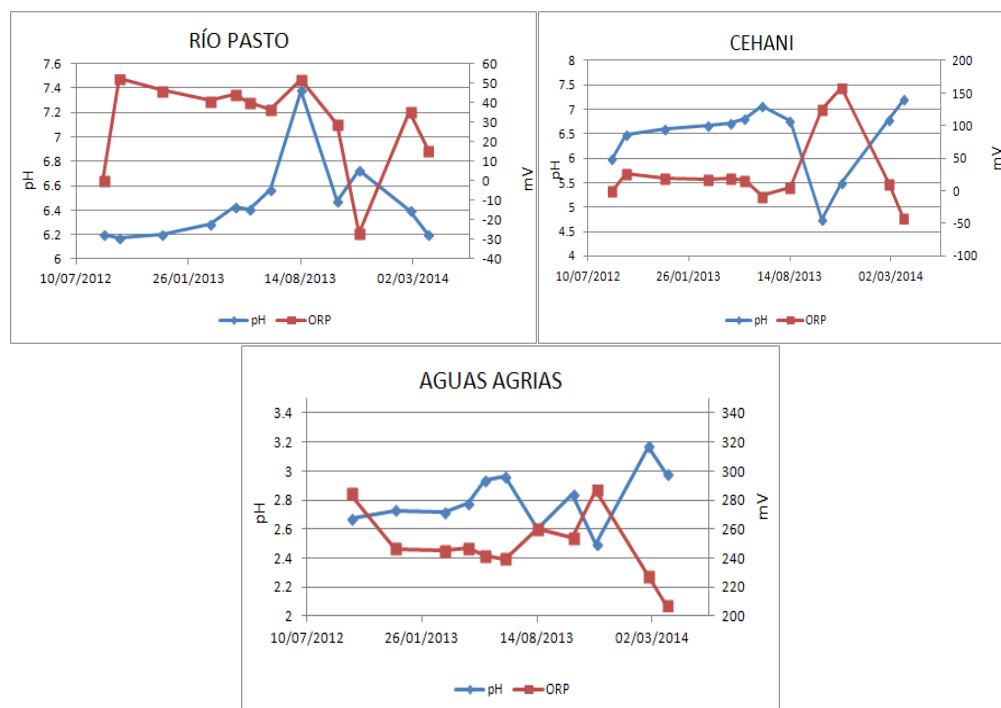
**Figura 34.** Variación de la concentración de Bicarbonato y el pH de las FT de Volcán Galeras- marzo 2014.

Se puede observar claramente (Figura 35) que continua la disminución en la concentración del ion  $\text{HCO}_3^-$  y el pH en la FT Río Pasto para el mes de marzo, sin embargo para el caso de las FT Cehani se mantiene la concentración de este ión pero se registra un aumento de pH, en cuanto a la FT Aguas Agrías el pH se ve disminuido y en ausencia del ión bicarbonato, probablemente a la rápida liberación del gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ), que no permitió la formación del bicarbonato y por lo tanto especies como el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) sería más influyente en el medio para afectar esta

disminución. Por el contrario en la FT Cehani se observa un leve ascenso del pH, que puede deberse a la presencia del  $\text{CO}_2$  en el medio, actuando como un ácido receptor de protones.

En la FT Aguas Agrías no hay presencia del ion  $\text{HCO}_3^-$ , por lo tanto esta variable no afecta en la variación del pH de este manantial, pero si la presencia de especies iónicas en la misma, como lo indica la conductividad eléctrica (Figura 34), además por ser altamente sulfatada, en la cual podrían estar ocurriendo procesos continuos de oxidación del sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), del azufre nativo ( $\text{SO}_4$ ) o del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

En la figura 36 se encuentra representada la relación entre los parámetros pH y ORP (potencial de óxido reducción) de las FT de Galeras para el mes de febrero.



**Figura 35.** Variación del pH y ORP de las FT de Volcán Galeras-febrero 2014.

Para el mes de marzo mientras el pH aumenta, el índice de óxido-reducción disminuye en la FT Cehani mostrando una posible y continua capacidad de movilización de los componentes en este medio. Es así como los valores positivos altos en las gráficas anteriores como en el caso de la FT Aguas Agrías y Cehani, indica un ambiente totalmente oxidante, en caso contrario para la FT Río Pasto en las que se registraron valores positivos muy bajos y negativos altos de ORP, indican ambientes reductores, lo cual implica un cambio importante en el pH consecuentemente con la aceptación o donación de protones.

Lo anterior depende de la estabilidad de las especies en este medio, ya que especies con mayor capacidad de oxidación o reducción dominaran el comportamiento y dinámica del sistema.

La mayoría de las fuentes termales de Galeras se mostraron transparentes e inodoras, esto debido a su alto contenido en carbonatos y bajo contenido en azufre.

## 1.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas a la cima de Galeras desde la sede del OVSP, con base en los reportes obtenidos del personal en campo en sectores aledaños a la cima volcánica; por reportes de la comunidad o autoridades y por videos e imágenes de las cámaras Web instaladas en la sede del OVSP en Pasto (SE del volcán), en Consacá (W del volcán) y en la cima de Galeras en el sector denominado Barranco Alto y Bruma (NW del cono activo y S respectivamente). Condiciones de clima favorables permitieron observar emisiones de gases y cenizas durante todo el mes. Se resalta las emisiones de los días 11 y 16 que alcanzaron alturas cercanas a 1 km sobre la cima volcánica. La dispersión de las columnas de gases fue variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, sector norte y occidente de la parte alta del cono volcánico.

En las figuras 36 a 44 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en marzo de 2014.

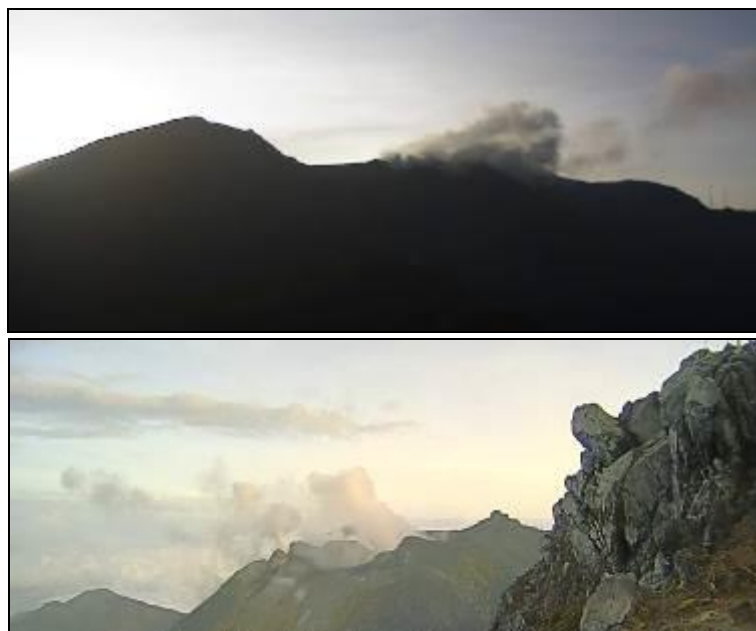


**Figura 36.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma los días 1 (Izquierda) y 3 (Derecha) de marzo de 2014 a las 6:02 a.m. y 6 :03 p.m. respectivamente.





**Figura 37.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el OVSP (Arriba), Barranco (Abajo Izq.) y Bruma (Abajo Der.) el 4 de marzo de 2014 a las 6:38 a.m., 6:42 a.m. y a las 7:15 a.m. respectivamente.



**Figura 38.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Arriba) y desde Bruma (Abajo) el 7 de marzo de 2014 en horas de la mañana.



**Figura 39.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda), Consacá (Centro) y Barranco (Izquierda) el 11 de marzo a las 6:06 a.m., 6:07 a.m. y 7:09 a.m. respectivamente.



**Figura 40.** Registro fotográfico de la emisión de gases y ceniza observada desde la cámara ubicada en Bruma el 12 de marzo a las 5:55 y 6:38 a.m.



**Figura 41.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámaras ubicada en Barranco el 15 de marzo a las 5:54 p.m..



**Figura 42.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma (Arriba), Barranco (Abajo Izq.) y Consacá (Abajo Der.) el 16 de marzo a las 6:15 a.m., 6:16 a.m. y a las 6:29 a.m. respectivamente.



**Figura 43.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras Web ubicadas en Bruma (Izquierda) y en Barranco (Derecha) el 24 de marzo a las 6:18 p.m. y a las 6:30 p.m. respectivamente.



**Figura 44.** Registro fotográfico de la emisión de gases y ceniza observada por la cámara ubicada en Barranco Alto el 29 de marzo a las 9:32 a.m.

## 1.6. CONCLUSIONES

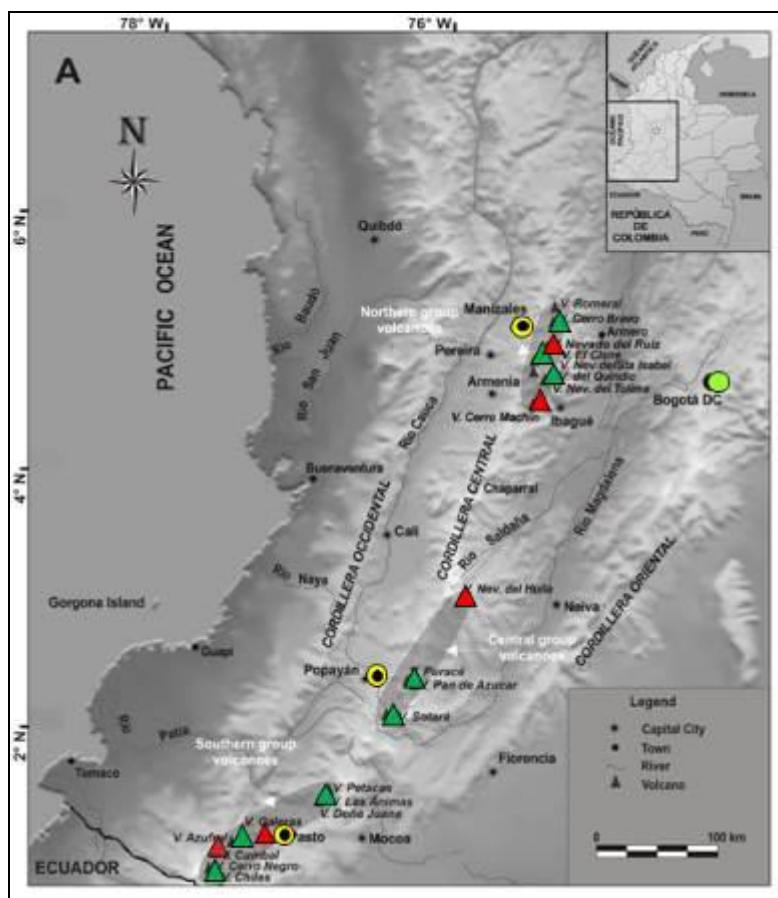
- En general, se continúa observando cambios en el comportamiento de la actividad del volcán, reflejados en las fluctuaciones de la actividad sísmica, siendo la sismicidad dominante aquella asociada con movimiento de fluidos dentro de la estructura volcánica.
- Los registros de flujo de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) reflejan valores que se encuentran en rangos que van desde bajo hasta moderados considerados para la actividad de Galeras.
- Por medio de la red de cámaras de video del OVSP y gracias a las condiciones climáticas, durante todo el mes se evidenció emisiones de gases con columnas que alcanzaron hasta 1 km sobre la cima de Galeras, las cuales se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos. Los principales focos de emisión continúan siendo el Cráter principal y los cráteres secundarios ubicados en el sector norte y occidente de la cima del cono volcánico.

El análisis de los diferentes parámetros para el monitoreo del volcán Galeras permitió que el nivel de actividad continúe en **AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

## 2. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL, LAS ÁNIMAS, CHILES Y CERRO NEGRO – MARZO DE 2014

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas Chiles y Cerro Negro (Figura 45).

Las estaciones materializadas hasta el momento cuentan con un sistema de telemetría de datos en manera análoga o digital con registro continuo y en tiempo real de la información proveniente de estos volcanes.



**Figura 45.** Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles Y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.

La información obtenida por los diferentes métodos geofísicos y geoquímicos de vigilancia, se viene analizando de manera periódica con el propósito de obtener un conocimiento básico del fenómeno volcánico e identificar de manera oportuna un posible cambio en la actividad y realizar el diagnóstico del nivel de actividad.



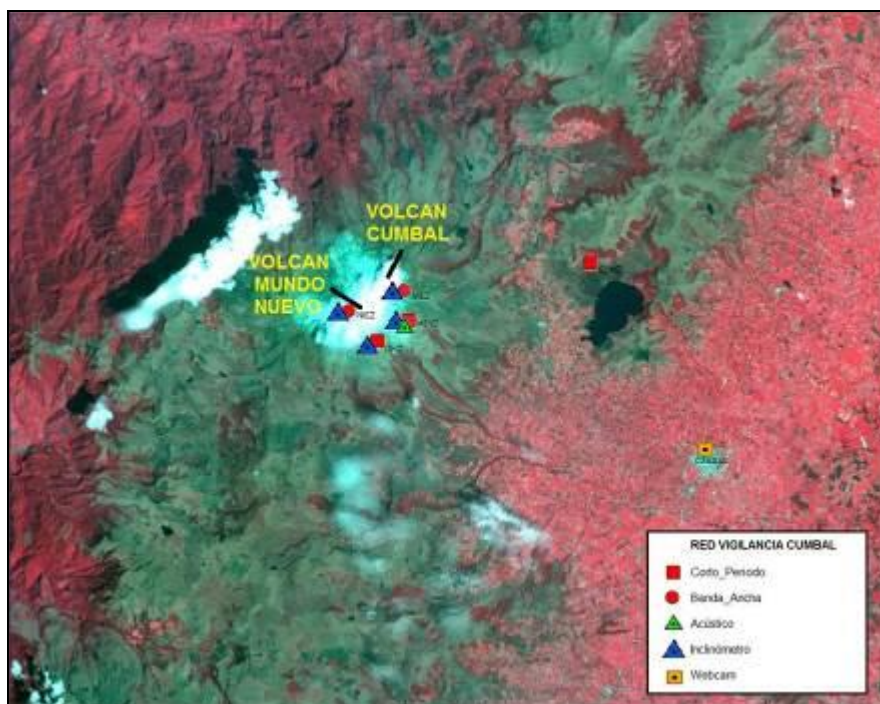
## 2.1. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL

### 2.1.1. Red de vigilancia

En marzo de 2014 la red de vigilancia del complejo volcánico de Cumbal estuvo conformada por:

- Cuatro estaciones sísmicas telemétricas: Dos de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 46, Tabla 18).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 46, Tabla 18).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 48).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 46).

Para este periodo las estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica y la cámara web tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 89,8% (Figura 47). La estación sísmica y de deformación Nieve tuvo un porcentaje de funcionamiento equivalente al 50% ya que no se le ha podido realizar mantenimientos correctivo o preventivo debido a que desde el 15 de abril, las comunidades indígenas de la parte alta de Cumbal, optaron por impedir al personal del OVSP el acceso al volcán.

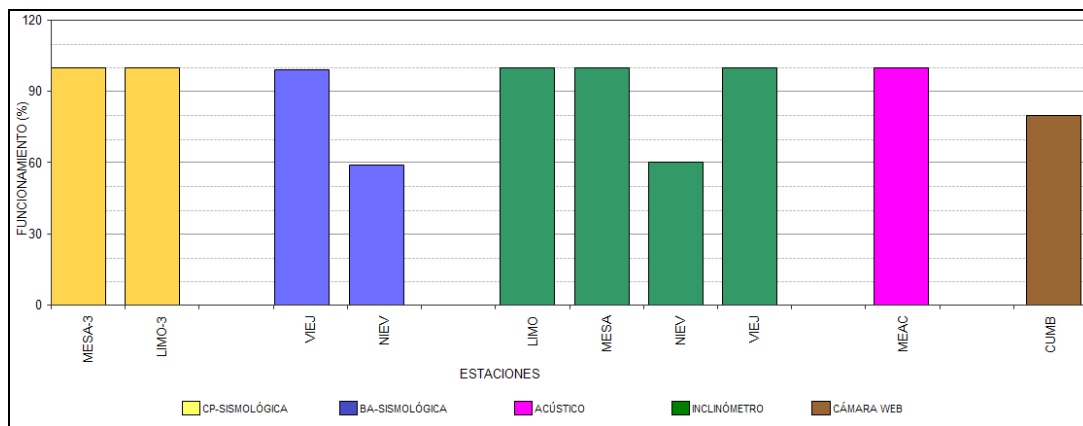


**Figura 46.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2014.



**Tabla 18.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante marzo de 2014.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter Mundo Nuevo (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Mundo Nuevo	Altitud (msnm)
La Nieve	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	0,2	E	4696
Limones	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1,5	SE	4232
Punta Vieja	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,0	NE	4519
La Mesa	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	2,5	ESE	4270
La Nieve	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	0,2	E	4696
Limones	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1,5	SE	4232
Punta Vieja	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,0	NE	4519
La Mesa	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,5	ESE	4270
La Mesa Acústico	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	2,5	ESE	4270



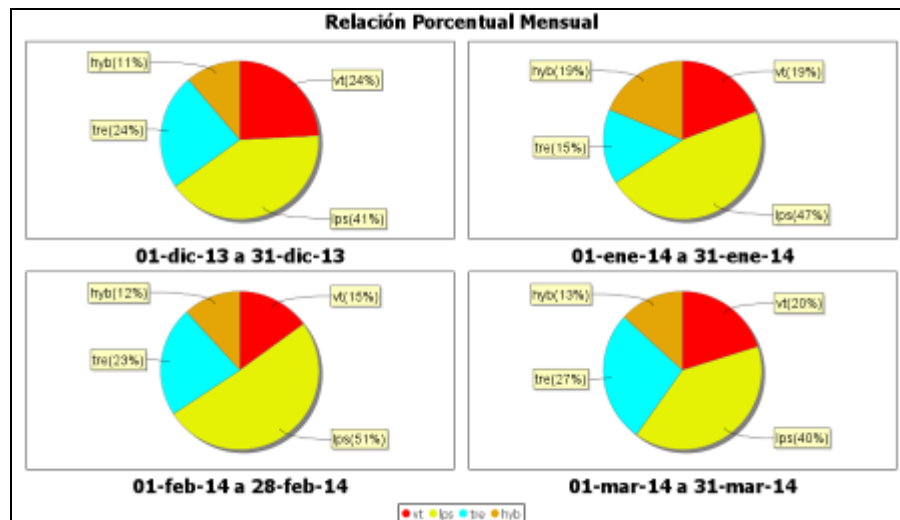
**Figura 47.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2014.

## 2.1.2. Sismología

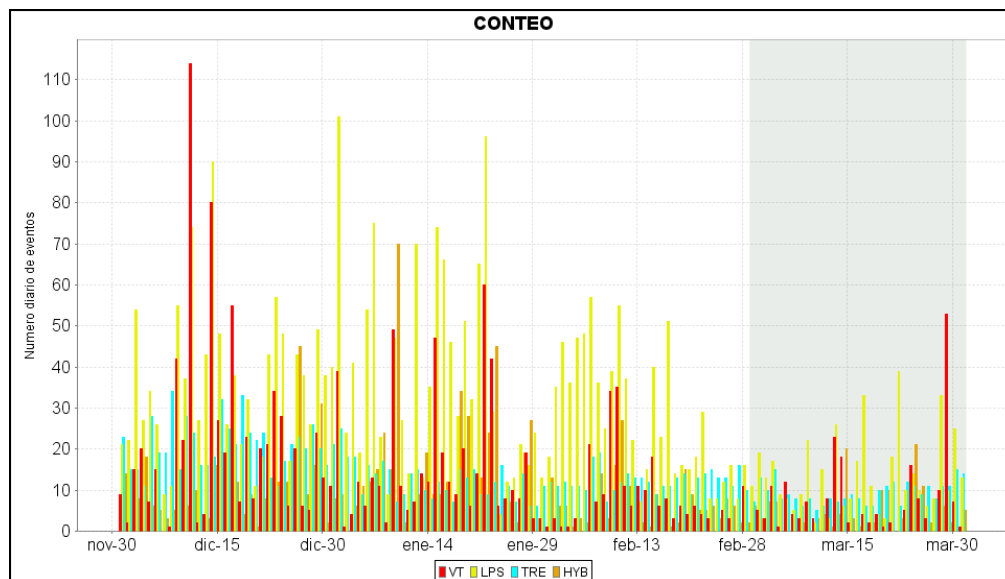
En general, en el mes de marzo de 2014, la ocurrencia sísmica disminuyó en un 30% en comparación con lo registrado en el mes de febrero de 2014, pasando de 1532 a 1073 eventos sísmicos. La sismicidad dominante en ocurrencia correspondió a sismos LPS en un porcentaje del 39.8%, con el registro de 5 eventos tipo Tornillo – TOR, seguido por los eventos tipo TRE con un 26.8%. Por su parte, los eventos tipo VT e HYB aportaron con el 20,1% y 13,2% respectivamente (Tabla 19, Figuras 48 y 49). Para el periodo evaluado no se tuvo registro de eventos clasificados como VOL (señales que se registran en la zona de influencia del volcán y que en su mayoría, por sus bajos niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro de alguno de los grupos antes mencionados).

**Tabla 19.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo (resaltado en color verde) de 2014.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	VOL	
01-dic-13 a 31-dic-13	660	1123	650	306	3	0	2739
01-ene-14 a 31-ene-14	473	1160	380	462	2	0	2475
01-feb-14 a 28-feb-14	229	779	345	179	5	0	1532
01-mar-14 a 31-mar-14	216	427	288	142	5	0	1073



**Figura 48.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre de diciembre de 2013 y marzo de 2014. En la figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.

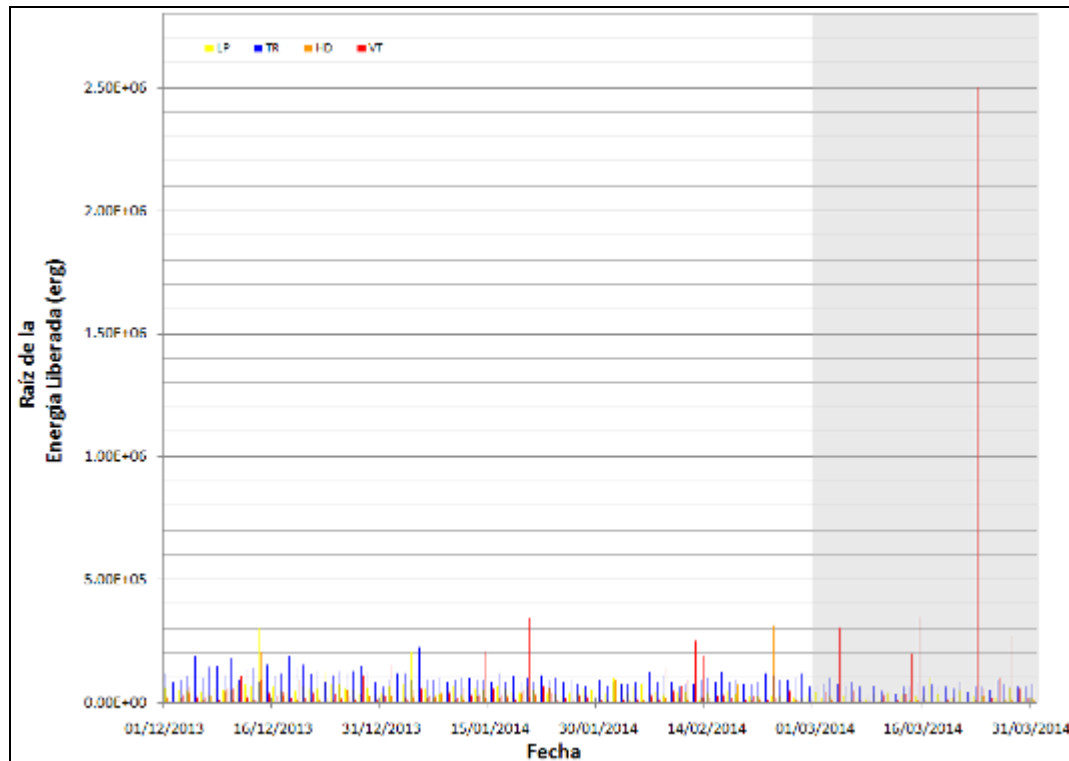


**Figura 49.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

En el transcurso del mes, se observó que la energía sísmica total liberada fue 12 veces mayor en comparación al valor registrado en el mes anterior, pasando de  $5,66 \times 10^{11}$  ergios a  $6,80 \times 10^{12}$  ergios, siendo los eventos tipo HYB los que aportaron la mayor energía con un 97,3%, seguidos por los eventos tipo LPS con un 2,1%. Los eventos tipo VT y TRE aportaron con el 0,5% y 0,1% respectivamente (Tabla 20, Figura 50).

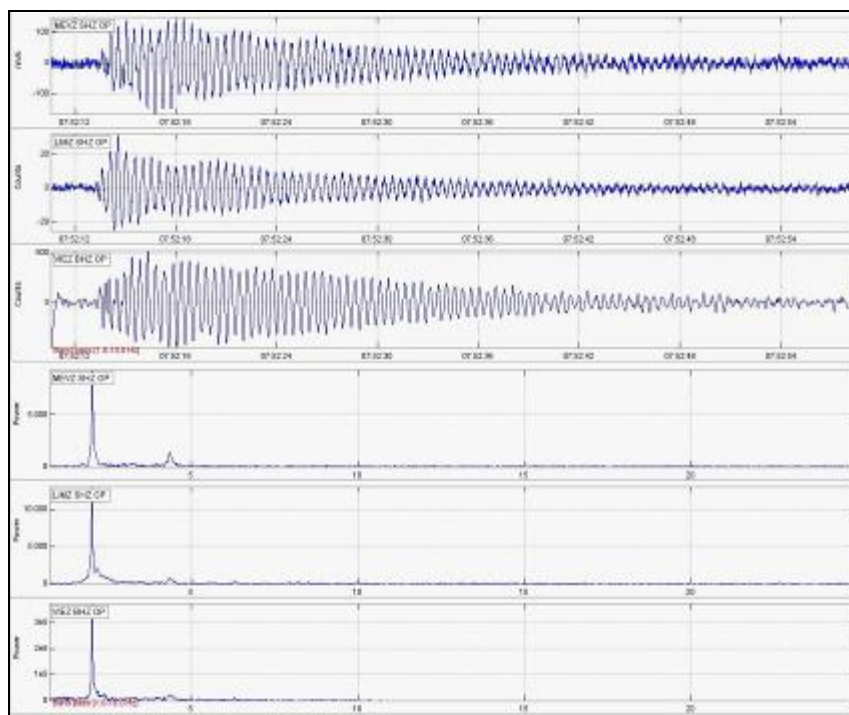
**Tabla 20.** Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal, entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo (resaltado en color verde) de 2014.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
DIC 01 - DIC 31	1.96E+11	5.05E+11	5.94E+10	6.50E+10	8.25E+11
ENE 01 - ENE 31	1.24E+11	3.17E+11	2.31E+10	2.18E+11	6.82E+11
FEB 01 - FEB 28	6.39E+10	2.41E+11	1.18E+11	1.43E+11	5.66E+11
MAR 01 - MAR 31	3.47E+10	1.44E+11	5.57E+09	6.61E+12	6.80E+12



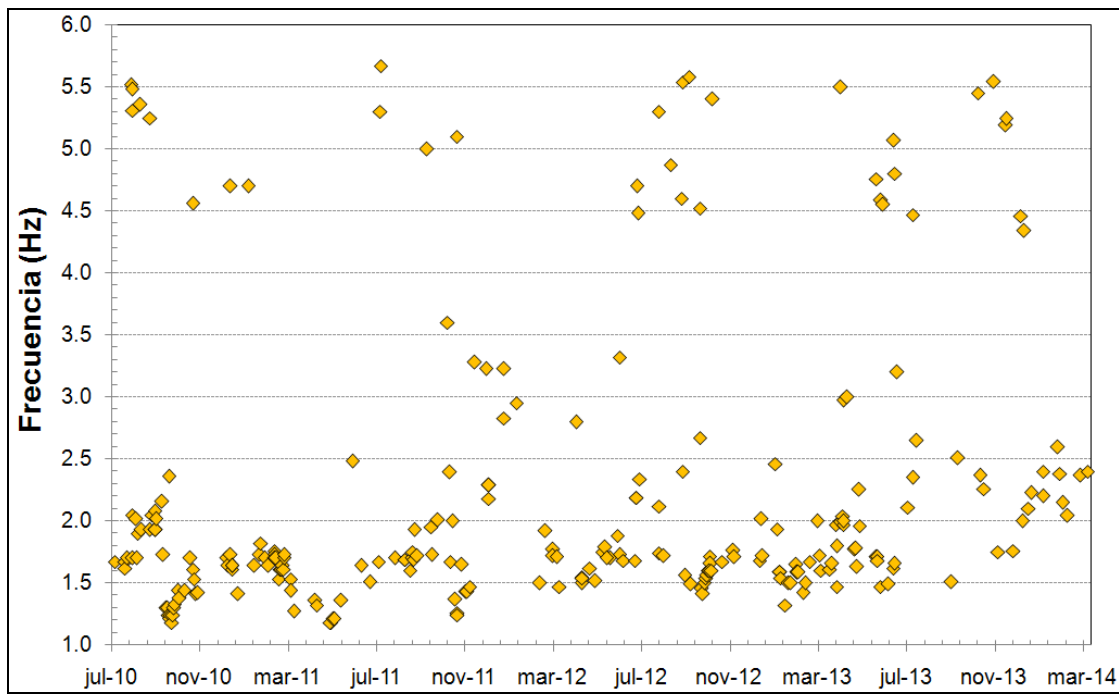
**Figura 50.** Energía sísmica diaria liberada en términos de su raíz cuadrada para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal por los eventos volcánicos según su tipo registrados entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

A manera de ejemplo, la figura 51 muestra el registro del evento asociado con movimiento de fluidos tipo TOR registrado el 7 de marzo de 2014 a las 2:52 a.m. que tuvo una frecuencia dominante de 2,02 Hz.

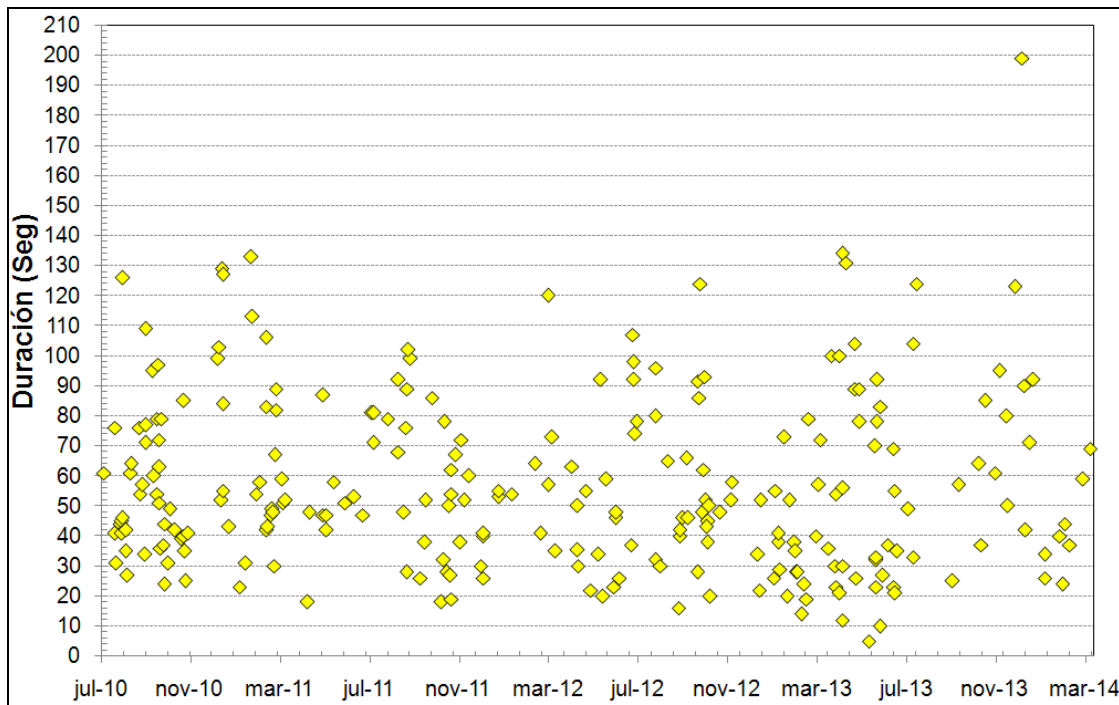


**Figura 51.** Sismogramas y espectros en frecuencia del evento TOR, registrado el 7 de marzo de 2014 a las 2:52 a.m.

Las figuras 52 y 53 muestran la evolución temporal de las frecuencias dominantes y la duración de los eventos clasificados como TOR registrados por la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal entre julio de 2010 y marzo de 2014. Se resalta que, a diferencia de los eventos registrados en Galeras, este tipo de eventos no muestra en sus parámetros evaluados una tendencia clara así como tampoco una correlación con procesos de presurización del sistema.

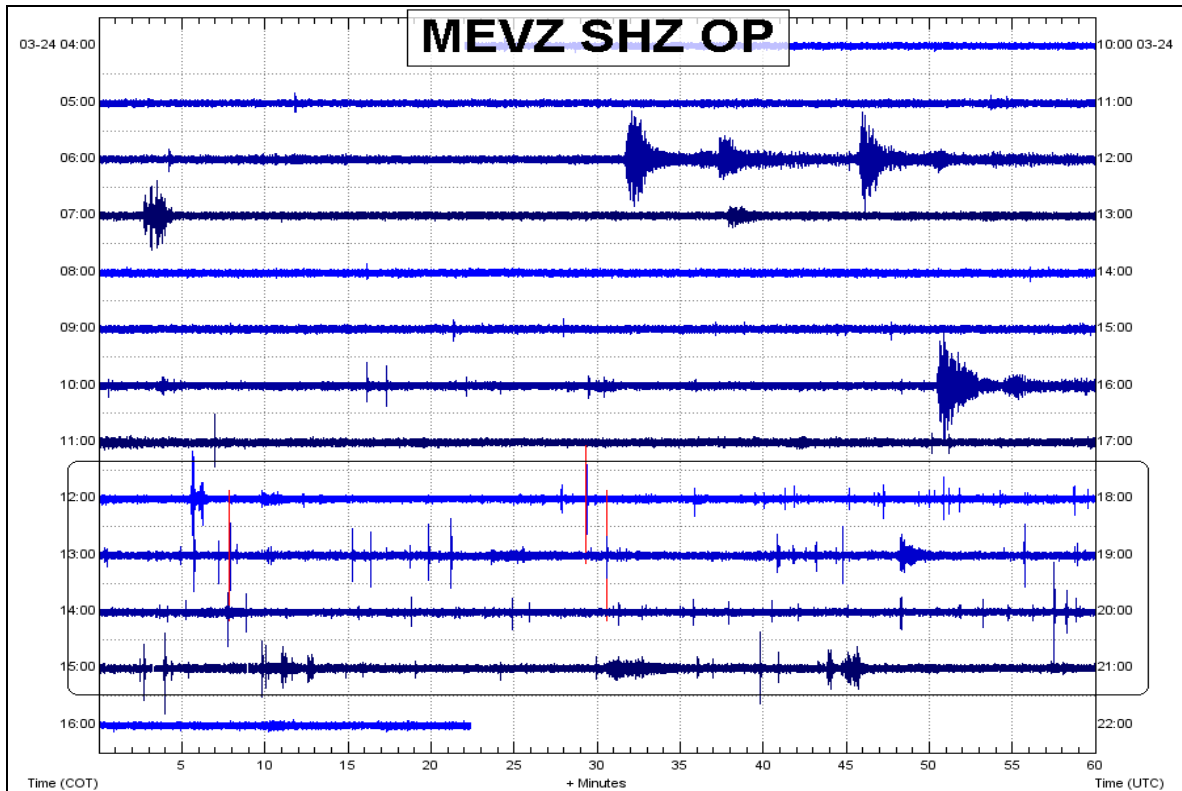


**Figura 52.** Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de marzo de 2014.



**Figura 53.** Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de marzo de 2014.

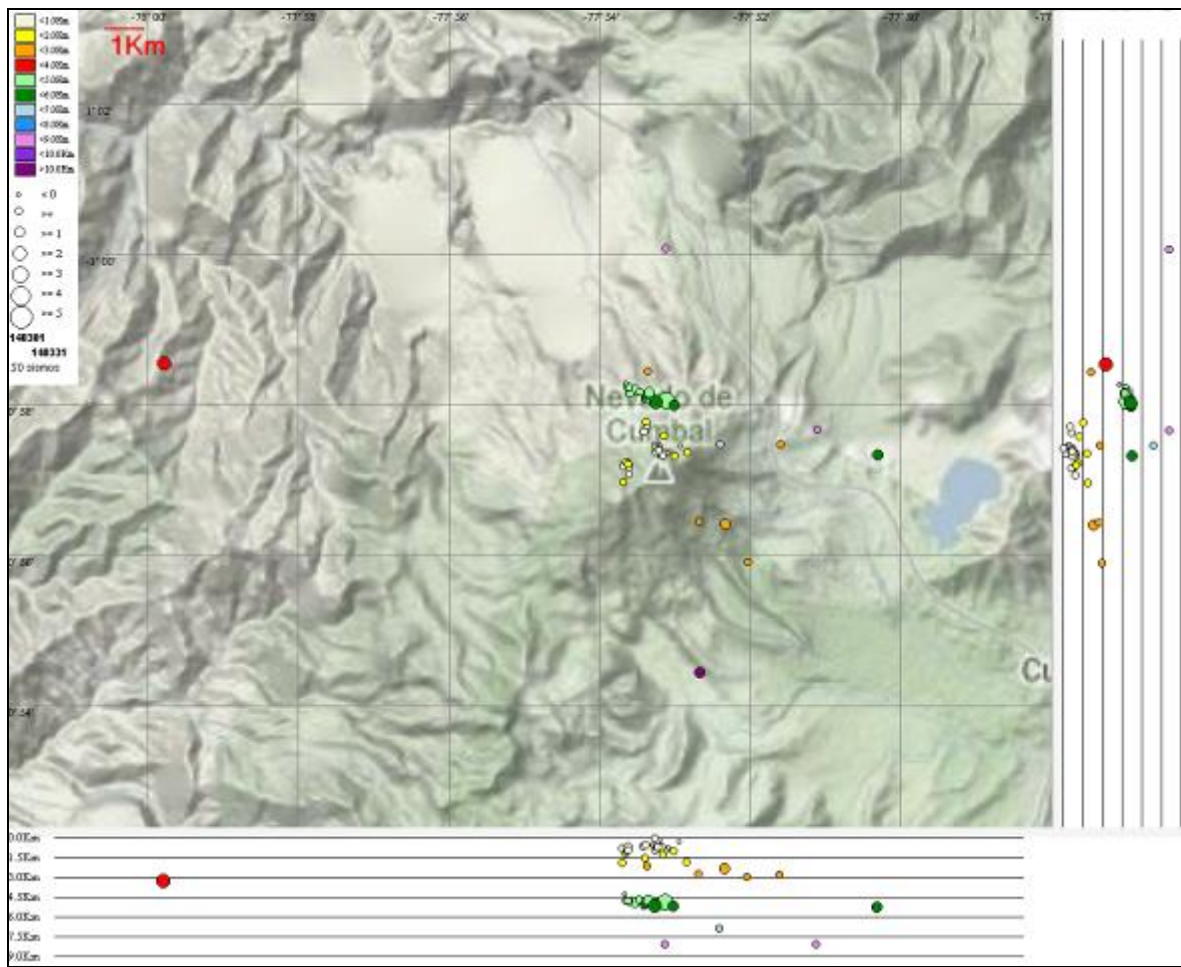
Se resalta que en el volcán Cumbal continúa el registro de enjambres de eventos sísmicos. La figura 54 muestra el enjambre registrado entre las 12:00 p.m. y 4:00 p.m. del 24 de marzo de 2014, contabilizándose un total de 98 sismos, en su mayoría de fuente transitoria.



**Figura 54.** Sismograma de la estación La Mesa del enjambre de eventos sísmicos registrados entre las 12:00 p.m. y 4:00 p.m. del 24 de marzo de 2014.

En relación con la sismicidad asociada con fracturamiento de material cortical al interior del Complejo Volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado fue posible localizar 50 sismos, notándose dos fuentes, una en inmediaciones de cráter La Plazuela del Volcán Cumbal a menos de 1 km de distancia y profundidades menores a 0,5 km. La segunda fuente se ubicó al norte del complejo volcánico Cumbal a 2 km de distancia y a una profundidad alrededor de los 5 km. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 3 en la escala de Richter (Figura 55).

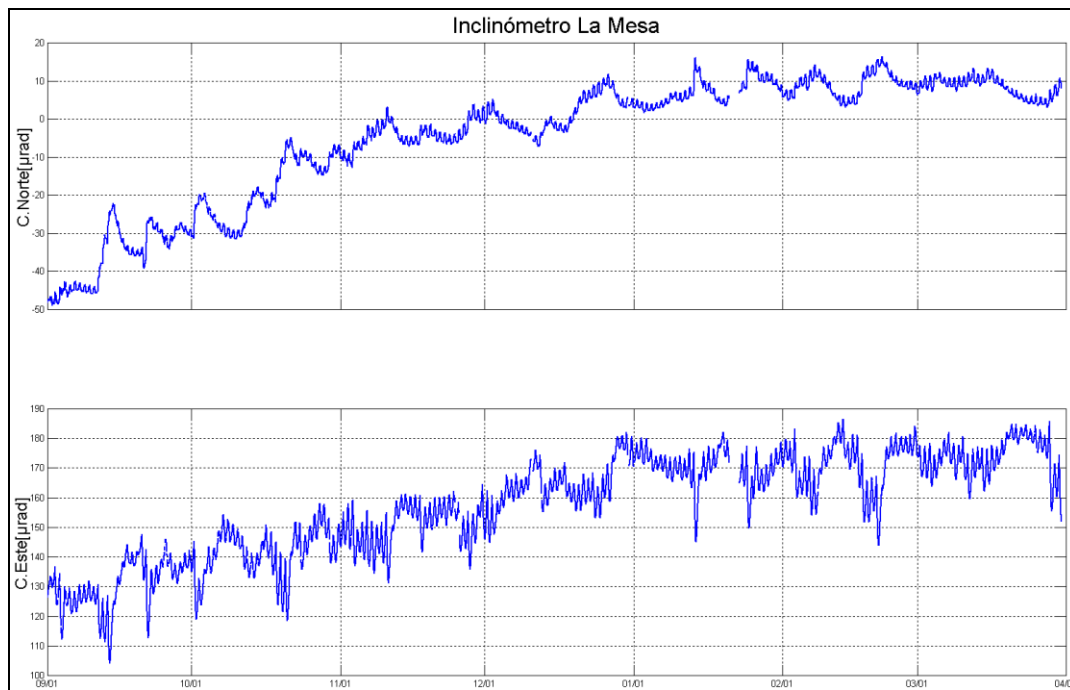




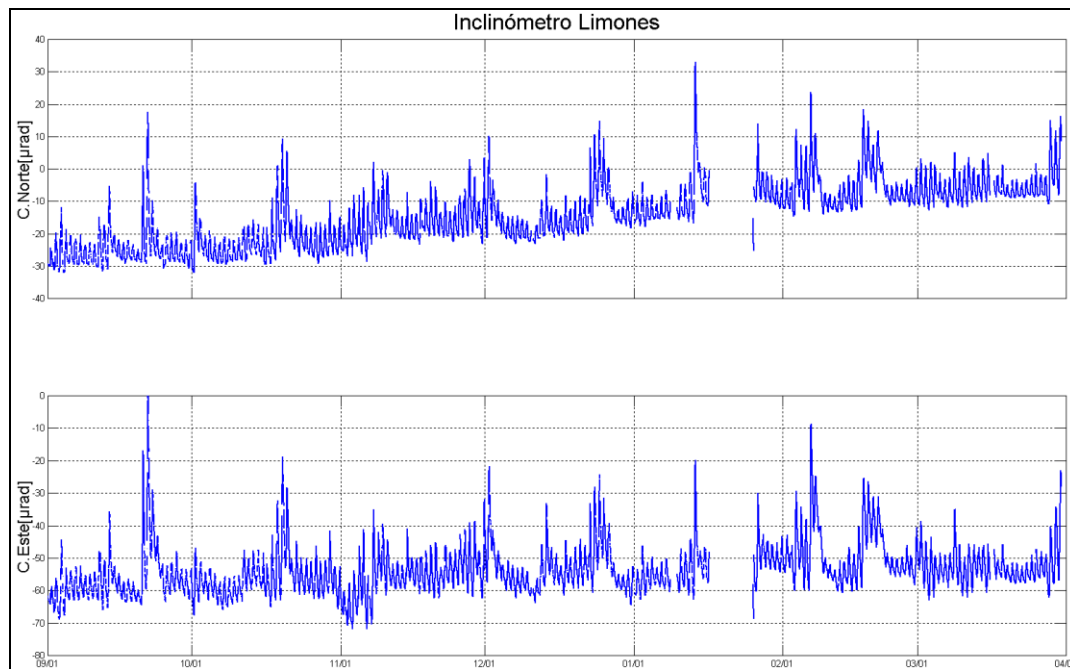
**Figura 55.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

### 2.1.3. Deformación

En relación a los procesos de deformación del edificio volcánico se observó que el comportamiento ascendente de las componentes de los inclinómetros La Mesa (localizado a 2,5 km al estesureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4270 m.s.n.m.) y Limones (ubicado a 1,5 km al sureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4232 m.s.n.m.), se mantuvo hasta febrero de 2014, fecha a partir de la cual las componentes de estos inclinómetros tienden a estabilizarse (Figuras 56 y 57).

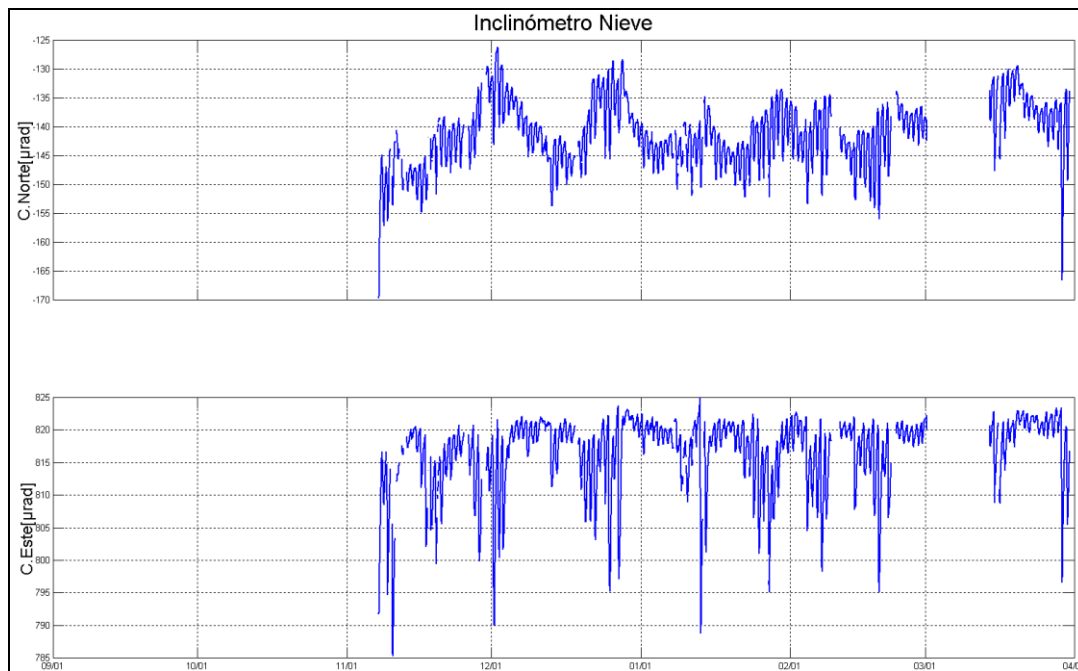


**Figura 56.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

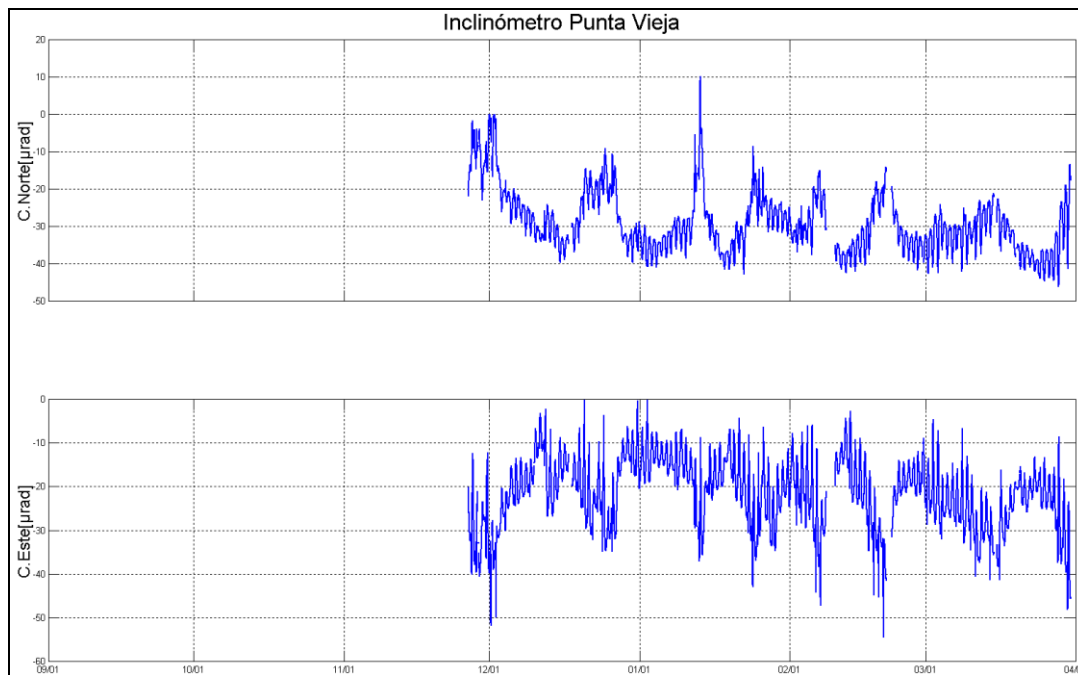


**Figura 57.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

Por su parte, los inclinómetros La Nieve y Punta Vieja continúan con su estabilidad en sus componentes Norte y Este (Figuras 58 y 59).



**Figura 58.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.



**Figura 59.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

#### 2.1.4. Actividad Superficial

En marzo de 2014 la actividad superficial se documentó a partir de las observaciones realizadas a los videos e imágenes de la cámara Web instalada en el municipio de Cumbal. Condiciones de clima favorables durante los días 10, 13, 14, 15, 16, 17, 29, 30 y 31 permitieron observar emisiones de gases de color blanco, provenientes principalmente del campo fumarólico El Verde al costado norte del complejo volcánico, las cuales fueron de baja altura y se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos (Figuras 60 y 61).



**Figura 60.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 14 y 15 de marzo a las 6:44 a.m. y a las 6:03 p.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.



**Figura 61.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 28 y 29 de marzo a las 9:02 a.m. y a las 7:26 a.m. respectivamente, desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.

### 2.1.5. Conclusiones

- La actividad que viene mostrando el Complejo Volcánico de Cumbal se caracteriza por fluctuaciones en los niveles de ocurrencia y energía de la sismicidad y registro eventual de enjambres asociados con actividad hidrotermal.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de marzo de 2014 permitió mantener para la actividad del volcán Cumbal, en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “**Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica**”.

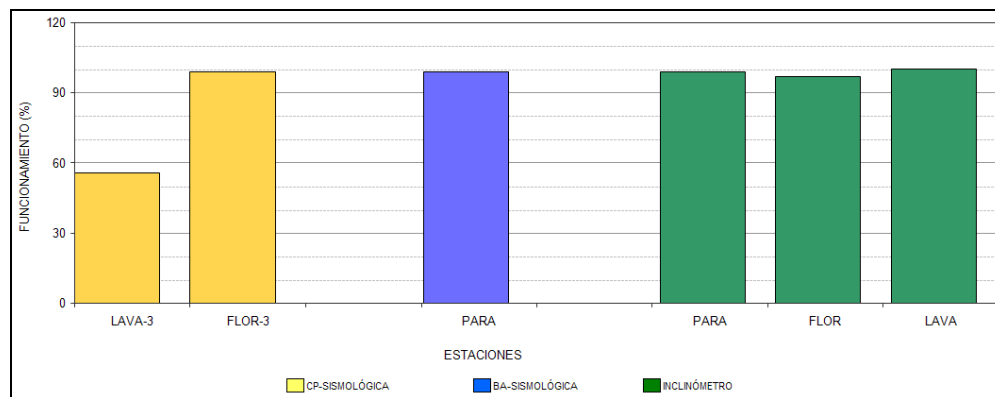






**Tabla 21.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana durante marzo de 2014.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a los Domos (Km)	Dirección respecto a los Domos	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,1	SE	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,1	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	2,3	W	3140
I. Florida	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,3	W	3140
Lavas	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4,1	SW	3145
I. Lavas	Analógica	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4,1	SW	3145
La Cruz	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Uniaxial	7,5	NNW	2761



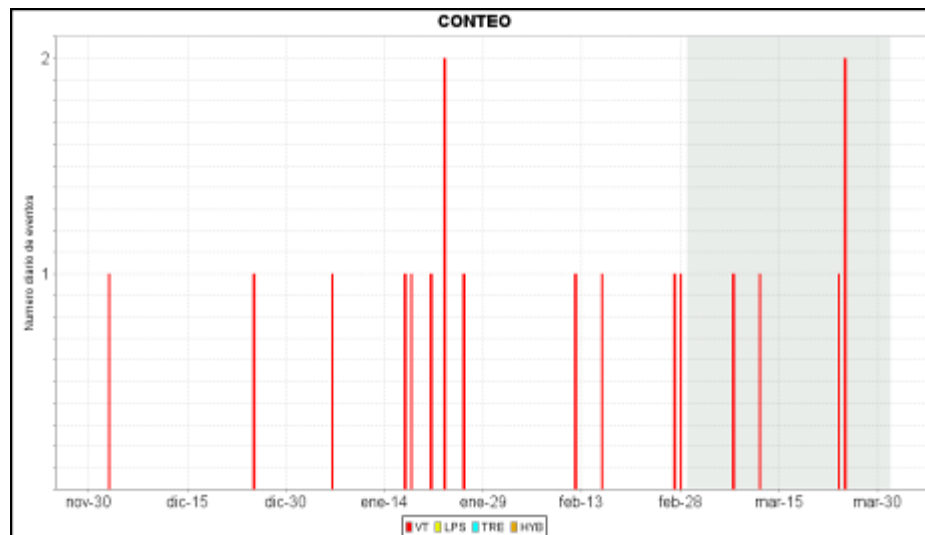
**Figura 63.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de marzo de 2013.

## 2.2.2. Sismología

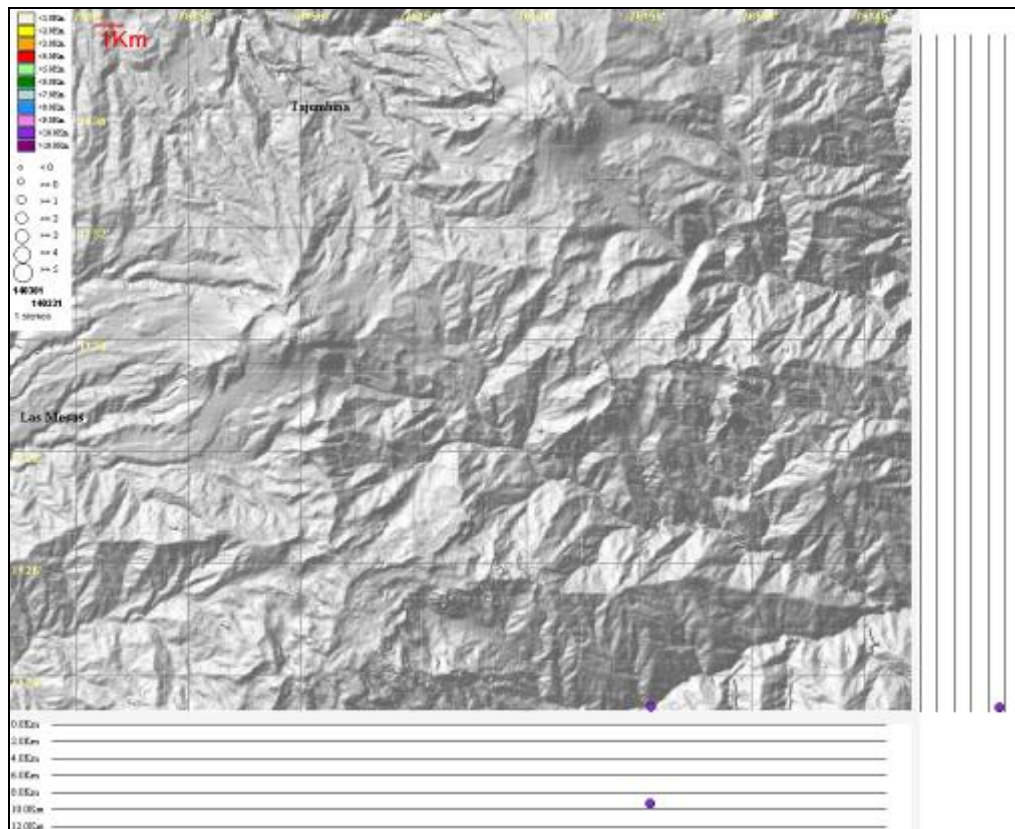
Dentro de niveles bajos de ocurrencia, el número de sismos VT asociados con fracturamiento que se registraron en marzo permaneció casi estable en comparación a los registrados en el mes anterior, pasando de un total de 5 a 4 eventos (Tabla 22, Figura 64), de los cuales fue posible localizar 1, registrado el 24 de marzo a la 1:59 p.m. y ubicado epicentralmente al sureste, a 17 km de distancia respecto a los domos del volcán Doña Juana, con profundidad de 9,5 km respecto a la cima volcánica y magnitud local de 1,4 en la escala de Richter (Figura 65).

**Tabla 22.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014, donde el último mes objeto de evaluación es resaltado en color verde para el volcán Doña Juana.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VOL	TOTAL
01-dic-13 a 31-dic-13	2	0	0	0	0	2
01-ene-14 a 31-ene-14	7	0	0	0	0	7
01-feb-14 a 28-feb-14	4	0	0	0	0	4
01-mar-14 a 31-mar-14	5	0	0	0	0	5



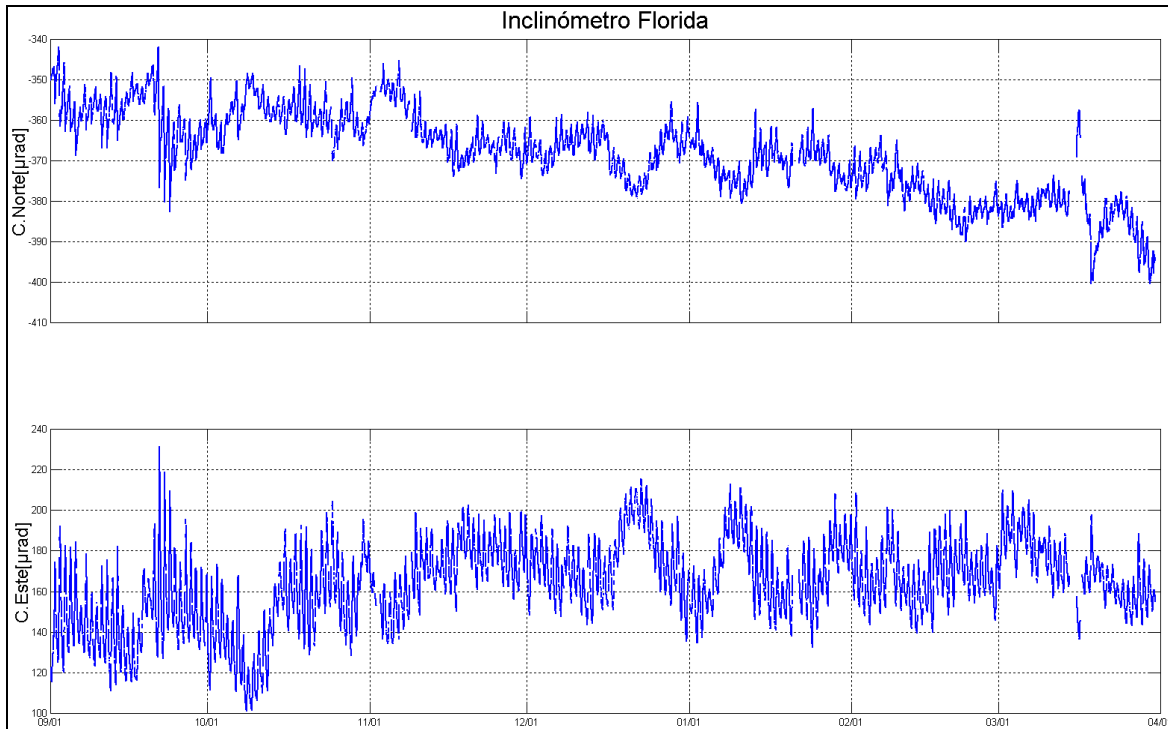
**Figura 64.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Doña Juana entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.



**Figura 65.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas estaciones de la red de monitoreo de Doña Juana, en el mes de marzo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km. de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

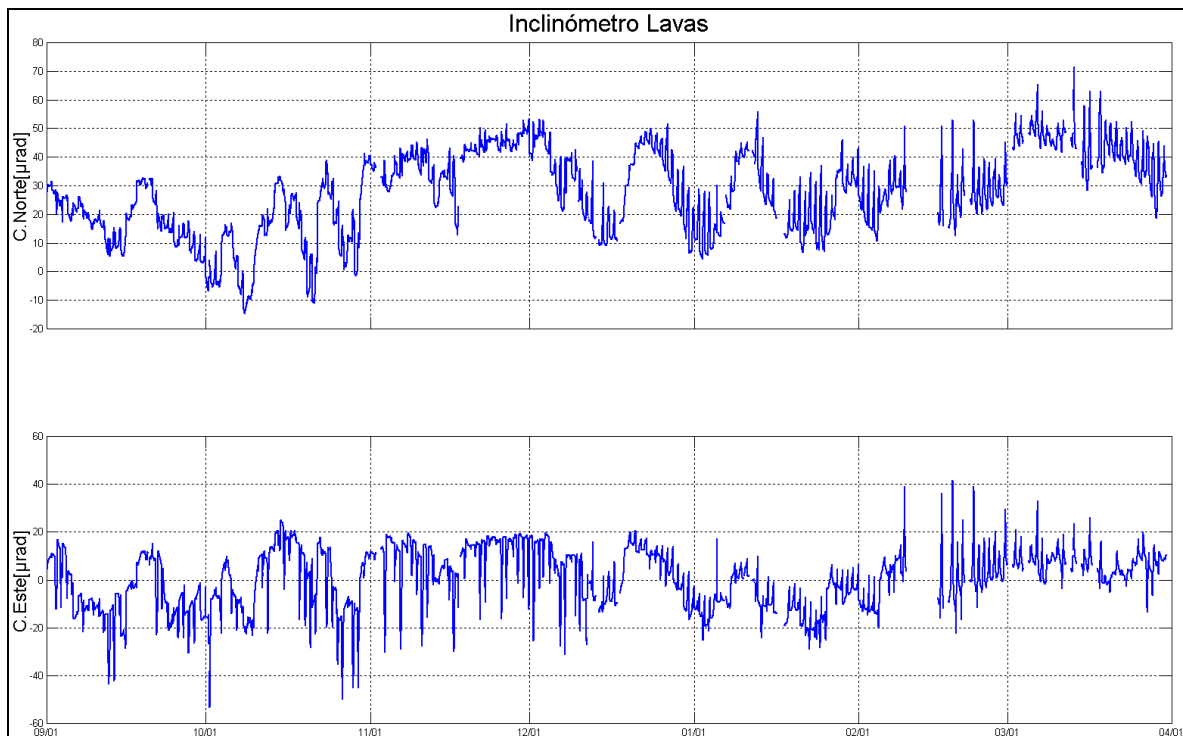
### 2.2.3. Deformación

El inclinómetro electrónico Florida (ubicado a 2.3 km., al Oeste de los domos del volcán Doña Juana, 3154 msnm) registró en su componente Norte, una tendencia descendente a partir de noviembre de 2013, acumulando hasta finales de marzo de 2014, unos 35  $\mu\text{rad}$ ; por su parte la componente Este, a partir de marzo de 2014, muestra una tendencia descendente alcanzando un valor de 30  $\mu\text{rad}$ . (Figura 66).



**Figura 66.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

Las componentes Norte y Este del inclinómetro Lavas (ubicado a 4 km., al sur-oeste de los domos, 3145 m.s.n.m.), muestran un comportamiento estable en sus dos componentes desde su instalación en mayo 5 de 2013 (Figura 67).



**Figura 67.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

Las componentes Norte y Este del inclinómetro Páramo (ubicado a 2,1 km., al sur-este de los domos, 3533 m.s.n.m.), muestran un comportamiento anómalo, el cual será revisado en campo en los primeros días del mes de diciembre.

## 2.2.4. Actividad Superficial

Durante el mes de marzo de 2014 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

## 2.2.5. Conclusiones

- Todos los sismos registrados corresponden a eventos VT asociados con fracturamiento de material cortical al interior del sistema volcánico.

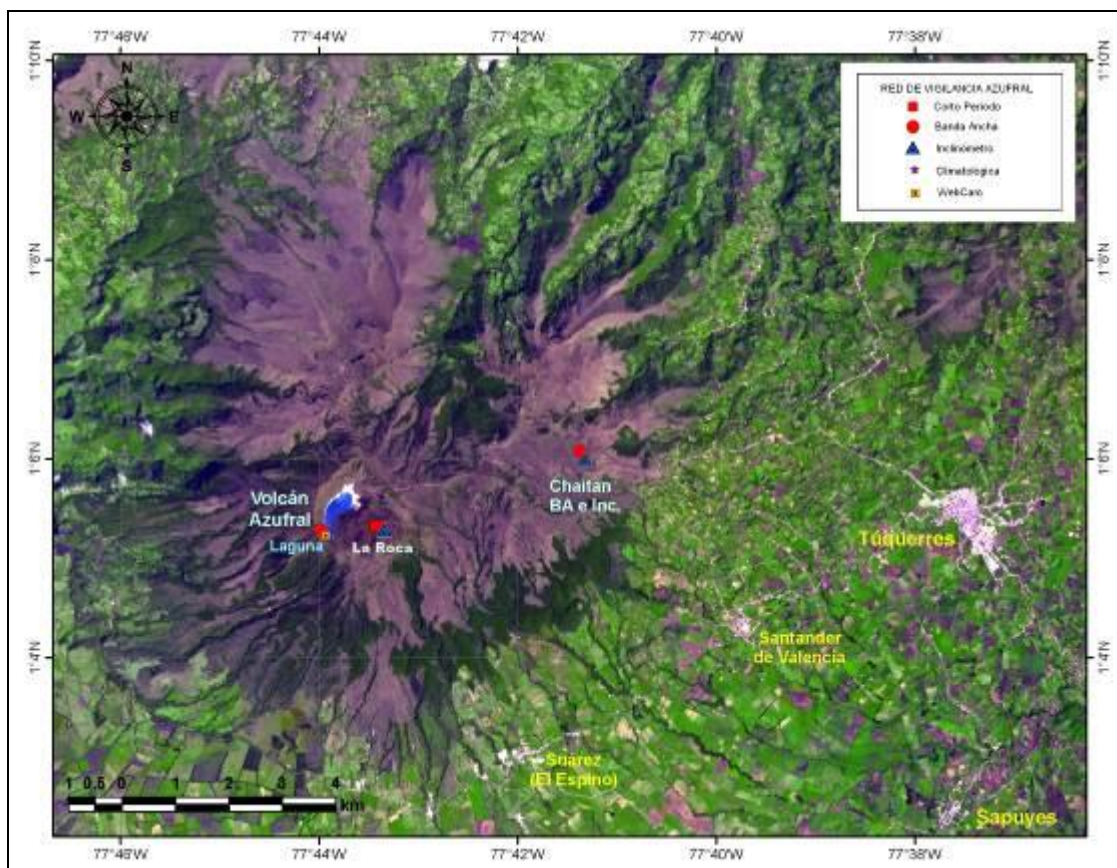
La evaluación de los parámetros monitoreados durante el mes de marzo de 2014, permiten establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 2.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

### 2.3.1. Red de vigilancia

En la Figura 68 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, sus estaciones La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 23 se consignan sus características. Adicionalmente, se tiene instalado un pluviómetro, cerca a la estación La Roca, esto con el fin de monitorear la precipitación presente en la zona de influencia del volcán Azufral.

Adicionalmente, con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores (Figura 69).

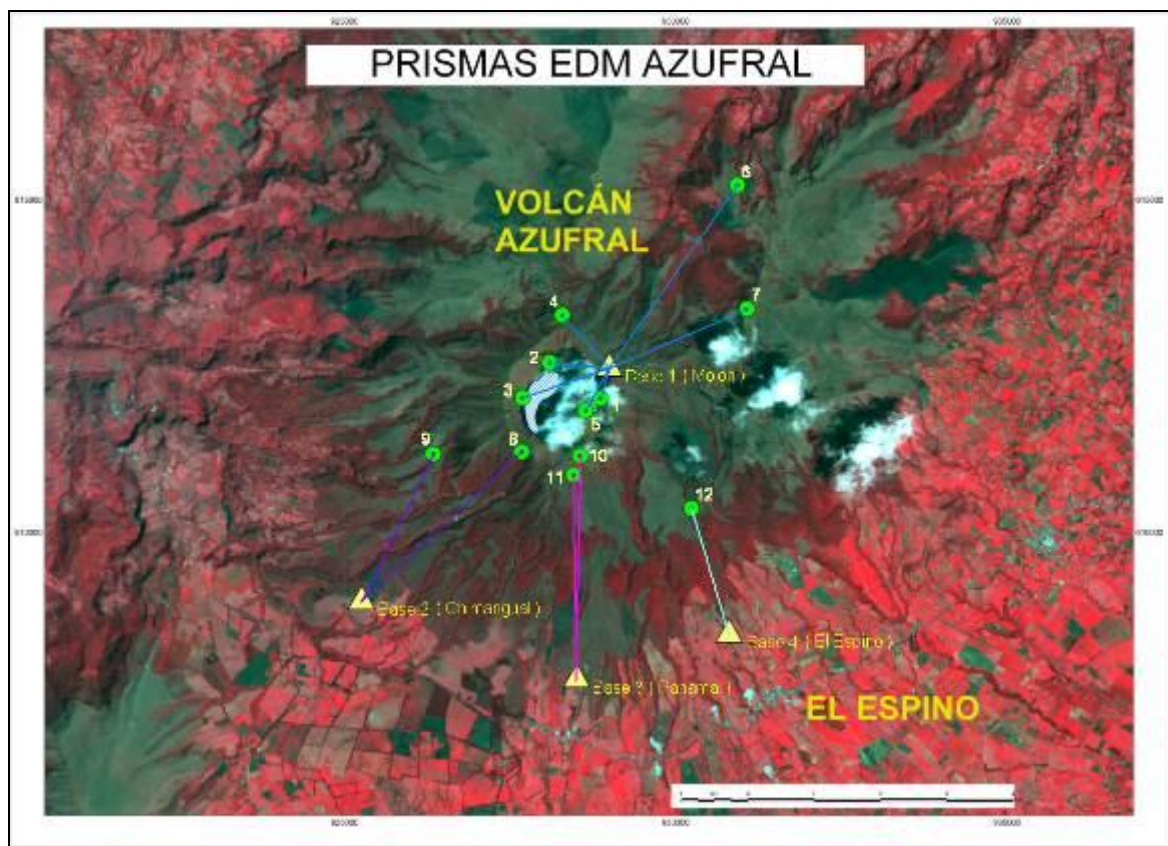


**Figura 68.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2014.



**Tabla 23.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante marzo de 2014.

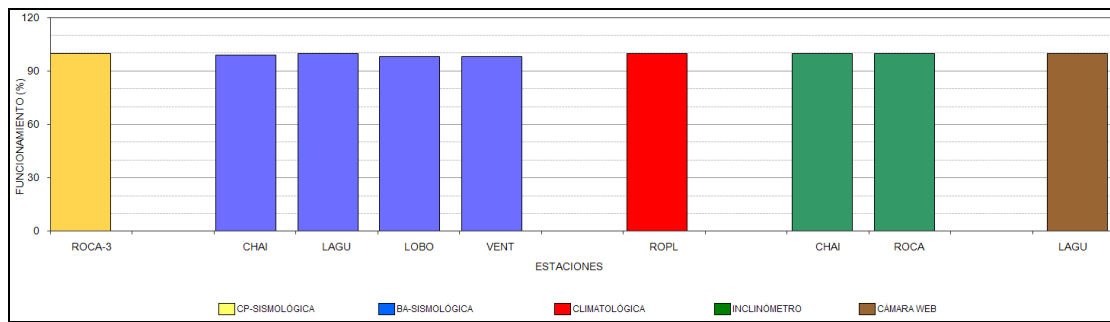
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a la Laguna (Km)	Ubicación Respecto a la Laguna	Altitud (msnm)
La Roca	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1,2	E	4025
Chaitán	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	4,3	ENE	3730
Laguna	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	0,5	SW	3921
Lobo	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2,4	SE	3569
Ventana	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2,5	NE	3981
La Roca	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	1,2	E	4025
Chaitán	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	4,3	ENE	3730



**Figura 69.** Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Azufral. Los triángulos de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2, 3 y 4, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 99% para este mes (Figura 70).





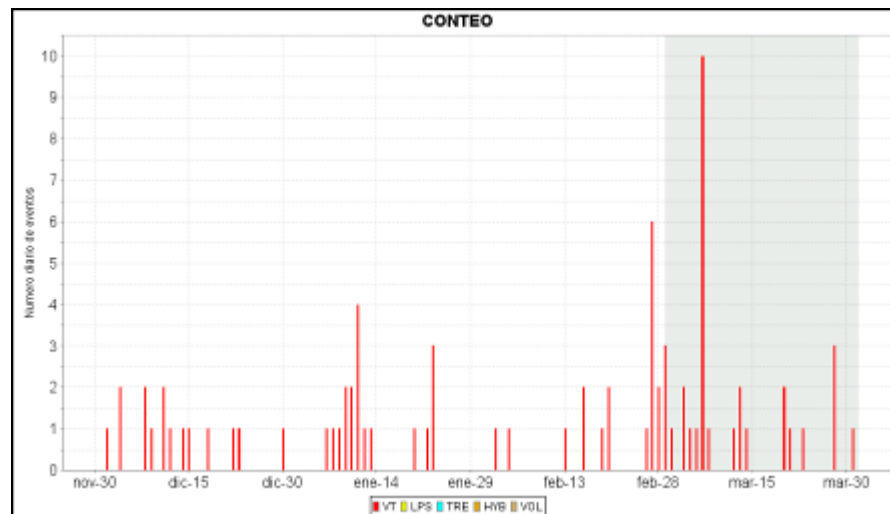
**Figura 70.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2014.

### 2.3.2. Sismología

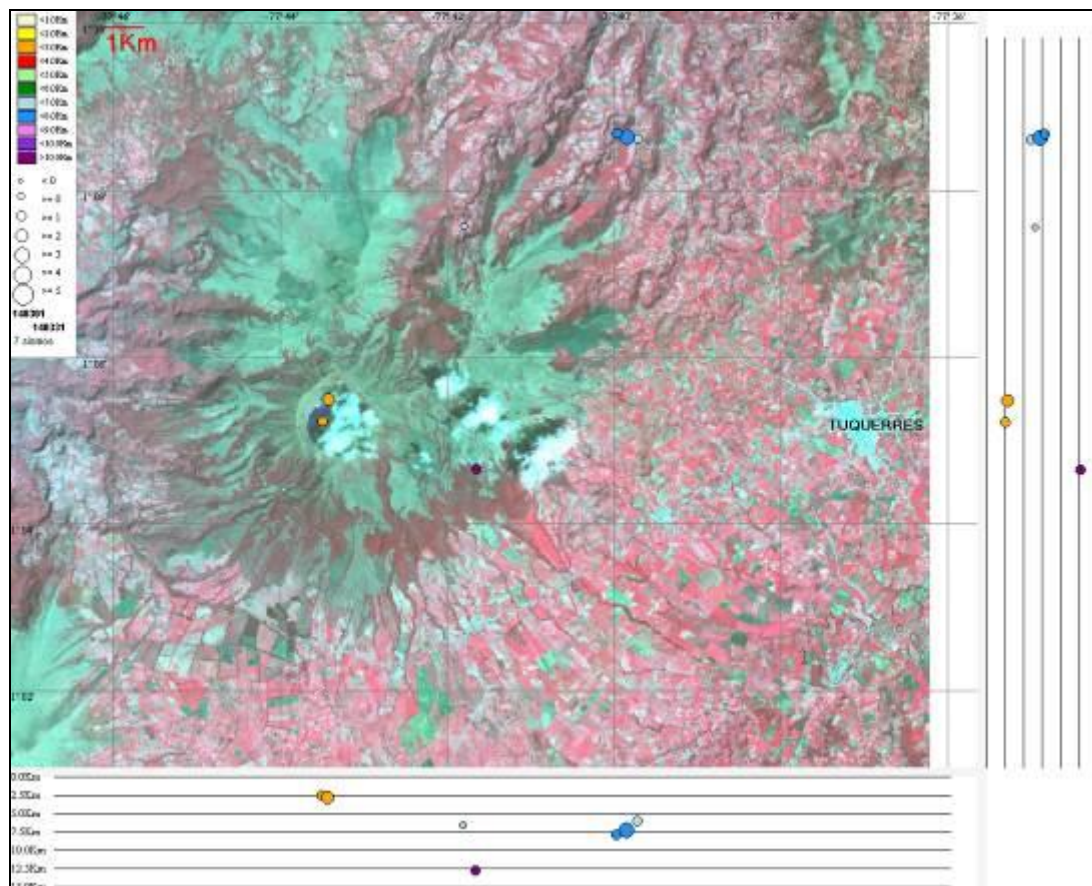
Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán en marzo de 2014 aumentó en un 82,4 % en comparación a la registrada en febrero, pasando de 17 a 31 eventos sísmicos tipo VT (Tabla 24, Figura 71), de los cuales fue posible localizar 7, dos de ellos ubicados en inmediaciones de la Laguna cratérica a menos de 3 km de profundidad respecto a la cima volcánica, otros tres se ubicaron al noreste del edificio volcánico, a 9 km de distancia respecto a la Laguna y profundidades alrededor de los 7,5 km. Los otros dos eventos se localizaron en el cuadrante noreste a menos de 5 km de distancia y profundidades por debajo de los 12, 5 km respecto a la cima. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 3,3 en la escala de Richter (Figura 72). Se resalta el sismo registrado el 5 de marzo a las 10:16 p.m. que tuvo una magnitud de 3,3 en la escala de Richter y que fue reportado como sentido por habitantes de municipio de Túquerres.

**Tabla 24.** Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014. Resaltado en verde se tiene el último mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VOL	TOTAL
01-dic-13 a 31-dic-13	15	0	0	0	0	15
01-ene-14 a 31-ene-14	18	0	0	0	0	18
01-feb-14 a 28-feb-14	17	0	0	0	0	17
01-mar-14 a 31-mar-14	31	0	0	0	0	31



**Figura 71.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

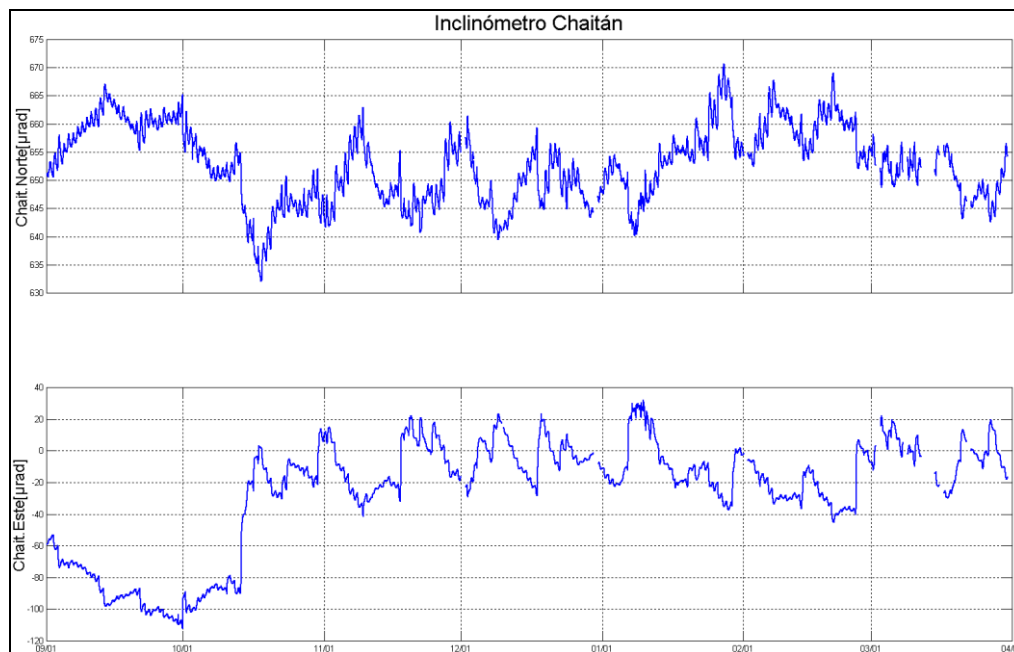


**Figura 72.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas de estaciones de la red de monitoreo de Azufral, en el mes de marzo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

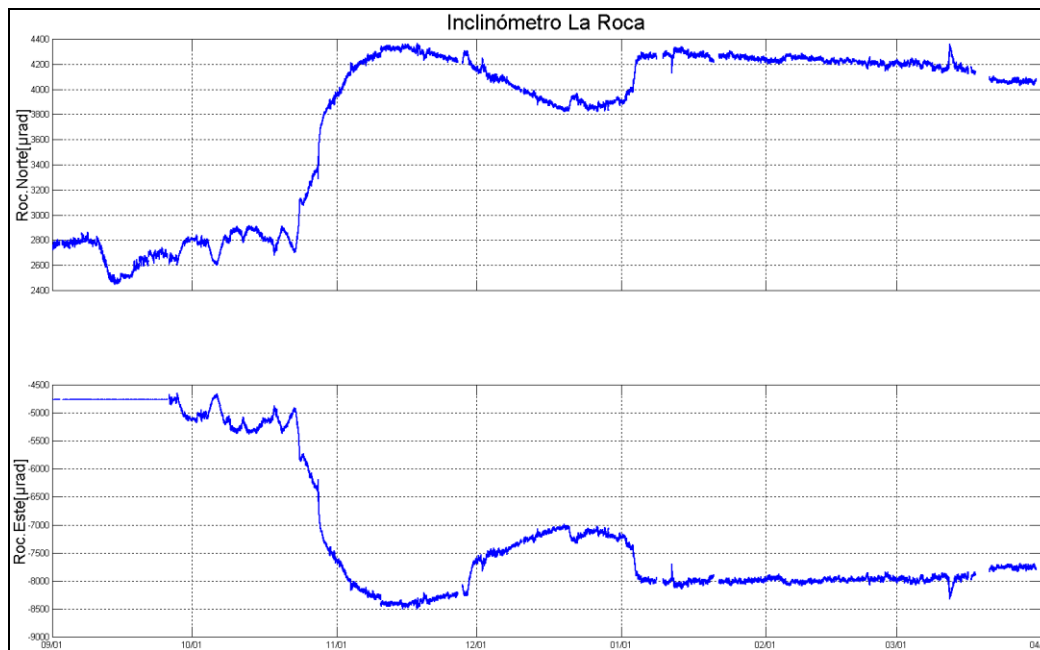
## 2.3.3. Deformación

### 2.3.3.1. Inclínometría Electrónica

En cuanto a la deformación del edificio volcánico, se observó que las componentes Norte y Este del inclinómetro Chaitán (ubicado a 4,3 km al este-noreste de la laguna cratérica, 3730 m.s.n.m.), mostraron un comportamiento estable con variaciones por debajo de los 30  $\mu\text{rad}$  y que posiblemente están asociadas con condiciones ambientales (Figura 73). El inclinómetro La Roca (ubicado a 1,2 km., al este de la laguna cratérica, 4025 msnm), a partir de enero de 2014, mostró en sus componentes cambios en las tendencias que traía, la componente Norte cambia a descendente, acumulando hasta marzo de 2014 cerca de 200  $\mu\text{rad}$  y la componente Este, a ascendente, acumulando hasta marzo de 2014 unos 250  $\mu\text{rad}$  (Figura 74).



**Figura 73.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.



**Figura 74.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

### 2.3.3.2. Medición Electrónica de Distancias - E.D.M.

Desde la instalación de la red EDM en el volcán Azufral, se ha venido tomando datos y hasta el momento se está formando una línea base de información que no muestra un comportamiento o tendencia bien definida. Para el periodo evaluado no se tomaron medidas de EDM en el volcán Azufral.

## 2.3.4 Geoquímica

### 2.3.4.1. Muestreo de aguas en Fuentes Termales

El volcán Azufral cuenta con una red actual de monitoreo de 10 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Salado de Malaver (A), FT La Cabaña (B), FT Quebrada Blanca (C), FT San Ramón (D), FT Arrayán Salado (E), FT Tutachag (F), FT Laguna Verde N°1 (G), FT Laguna Verde N°2 (H), Laguna Verde N°3 (I), Laguna Verde N°4 (J), (Figura 75, tabla 25).



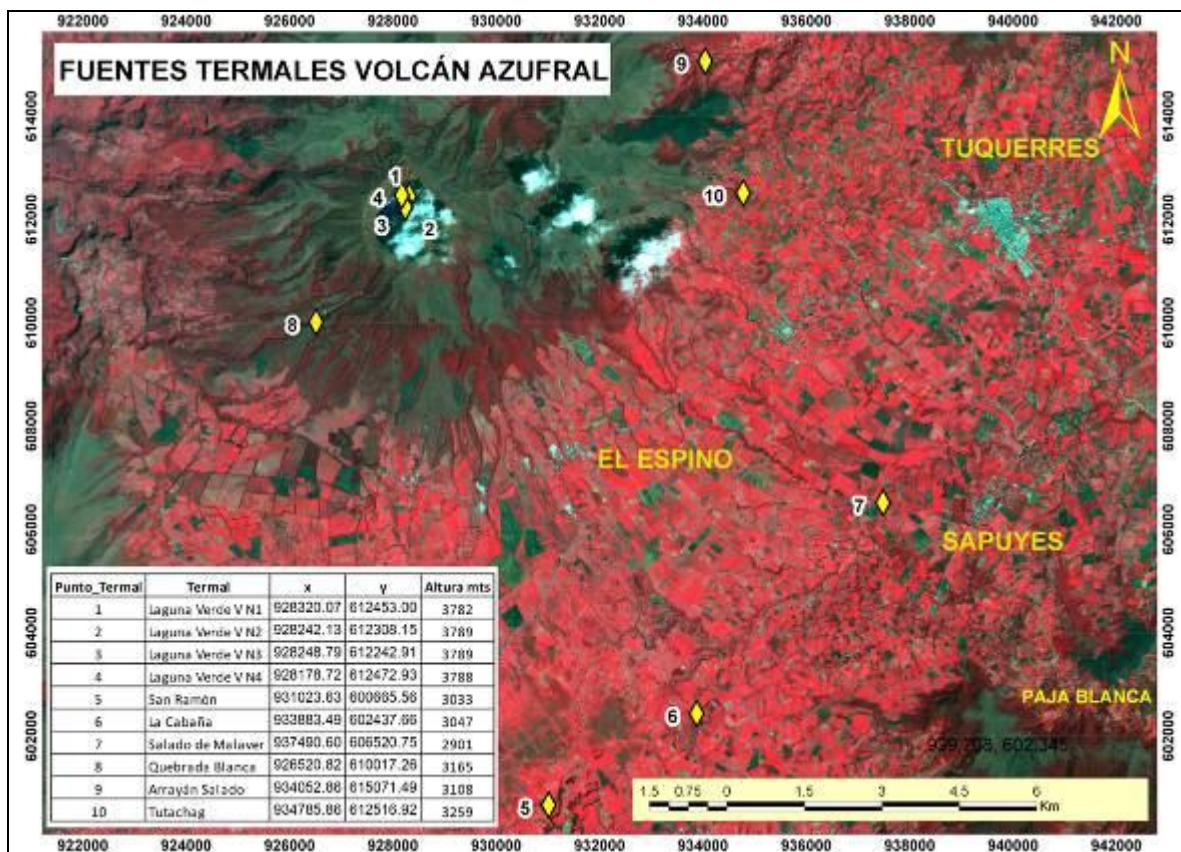


Figura 75. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufra.

Tabla 25. Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Azufra.

FUENTES TERMALES VOLCÁN AZUFRA	Nombre Estación	Tipo	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)
	SALADO DE MALAVER	No telemétrica	1° 2' 16"	77° 38' 21,1"	2908
	LA CABAÑA	No telemétrica	1°00' 1,7"	77° 40' 18,0"	3052
	ARRAYÁN SALADO	No telemétrica	1° 5' 31,1"	77° 39' 48,7"	3108
	TUTACHAG	No telemétrica	1°5' 31,1"	77° 39' 48,7"	3259
	QUEBRADA BLANCA	No telemétrica	1° 4' 9,6"	77° 44' 15,9"	3370
	SAN RAMÓN	No telemétrica	0° 59' 0,6"	77° 41' 48,0"	3037
	LAGUNA VERDE 1	No telemétrica	1° 5' 28,7"	77° 48' 17,6"	3750
	LAGUNA VERDE 2	No telemétrica	1° 5' 29,1"	77° 43' 23,3"	3675
	LAGUNA VERDE 3	No telemétrica	0928251	0612225	3806
	LAGUNA VERDE 4	No telemétrica	1° 5' 21,7"	77° 47' 21,1"	3814

Con respecto a la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos en las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del volcán Azufra, se utilizaron los siguientes equipos:

-Equipo multiparamétrico (pH metro, T y ORP) SCHOTT (pH11/12): permite medir el potencial de hidrógeno, temperatura y potencial de óxido reducción en fuentes termales.

-Conductímetro: permite hacer mediciones de conductividad eléctrica en aguas.

-Termómetro: permite hacer mediciones de temperatura.

En la tabla 26 se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos durante trabajo en campo en el mes de marzo de 2014.

**Tabla 26.** Datos de parámetros fisicoquímicos FT Volcán Azufral – Marzo de 2014.

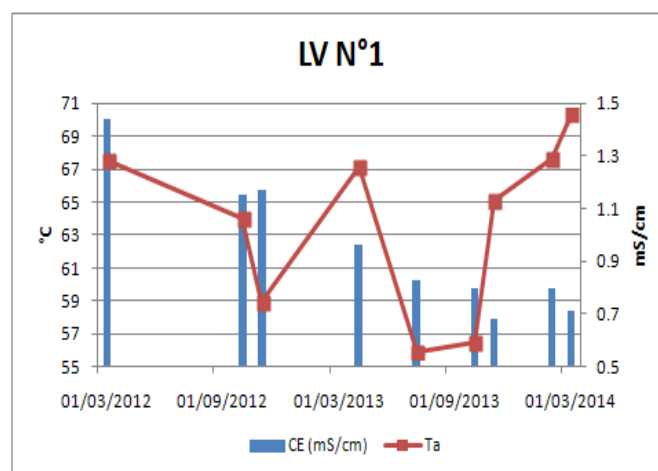
Volcán	Muestra	Fecha de muestreo	pH	Ta	ORP	CE (mS/cm)
Azufral	LV N°1	13/03/2014	6.86	70.3	14.6	0.71
	LV N°2	13/03/2014		56.5		
	LV N°3	13/03/2014		66.6		

Para el mes de marzo no fue posible realizar muestreo de parámetros fisicoquímicos en las FT LV N°2, LV N°3 y LV N°4 debido a que el nivel de la Laguna Verde, hace que exista una permanente mezcla y por lo tanto los datos no serían mensurables, ni representativos. Las demás fuentes termales no fueron muestreadas en este mes.

La FT LV N°1 de la zona de influencia del Volcán Azufral presenta para el mes de marzo, un potencial de Hidrógeno (pH), con un valor neutro de 6.86 (Tabla 26).

En la figura 76 se puede observar la relación entre las variables temperatura y conductividad eléctrica con respecto a meses anteriores, registradas en trabajo de campo en el mes de marzo.

Más adelante en las figuras 77 y 78, se puede observar las relaciones de parámetros como el pH con la presencia de bicarbonato y el potencial de óxido-reducción (ORP).



**Figura 76.** Variación de temperatura y Conductividad eléctrica de las FT de Volcán Azufral- marzo 2014.



Con respecto al comportamiento de la FT LV N°1 en parámetros como la temperatura se observa que para el mes de marzo, hay un incremento notable en su valor en más de una unidad, con respecto a meses anteriores. Sobre la conductividad eléctrica, para el mes de marzo la FT presenta un leve descenso.

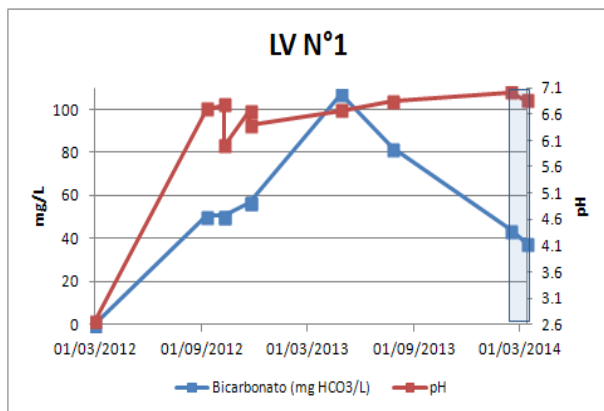
Los manantiales de Azufral se consideran como fuentes termales de acuerdo a su temperatura.

- **Fuente termal LV N°1**

Temperatura superficial: 70.3° C (Temperatura registrada en marzo 2014).

Tipo de surgencia: manantiales.

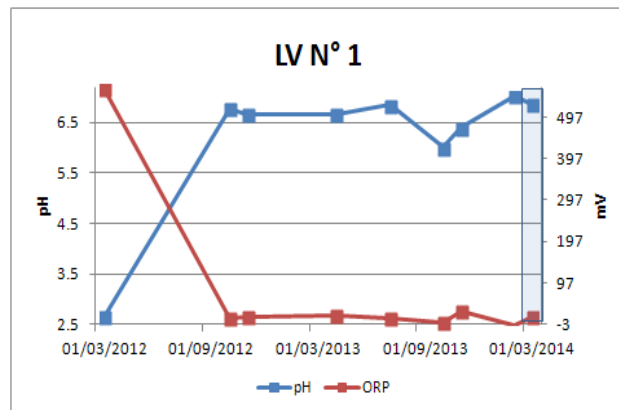
Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 45°C y 100°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 0.71 mS/cm (25°C), que refleja la poca presencia de sales solubles en el medio.



**Figura 77.** Variación de la concentración de Bicarbonato y el pH de las FT de Volcán Azufral- marzo 2014.

Se puede observar en la Figura anterior que en la FT LV N°1, presenta una leve disminución en la concentración del ion  $\text{HCO}_3^-$ , como también en el pH.

Una de las probables causas del aumento o disminución en la formación del ion  $\text{HCO}_3^-$  en los manantiales, se debe a la rápida liberación del gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ), que no permite la formación del bicarbonato, influyendo entonces a que especies como el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) equilibren el sistema o en caso contrario el pH se verá afectado en su disminución.



**Figura 78.** Variación del pH y ORP de las FT de Volcán Azufra-marzo 2014.

Se observa para la FT LV N°1, una relación inversa entre el pH y el ORP para el mes de marzo, los valores negativos altos de ORP, indican ambientes reductores, lo cual implica un cambio importante en el pH consecuentemente con la aceptación o donación de protones. Lo anterior, depende de la estabilidad de las especies en este medio, ya que especies con mayor capacidad de oxidación o reducción dominaran el comportamiento y dinámica del sistema.

### 2.3.5. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante gran parte del mes, exceptuando los días 12, 19, 20, 22, 23, 27 y 28 de marzo de 2014 permitieron a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes principalmente del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde (Figuras 79 y 80).

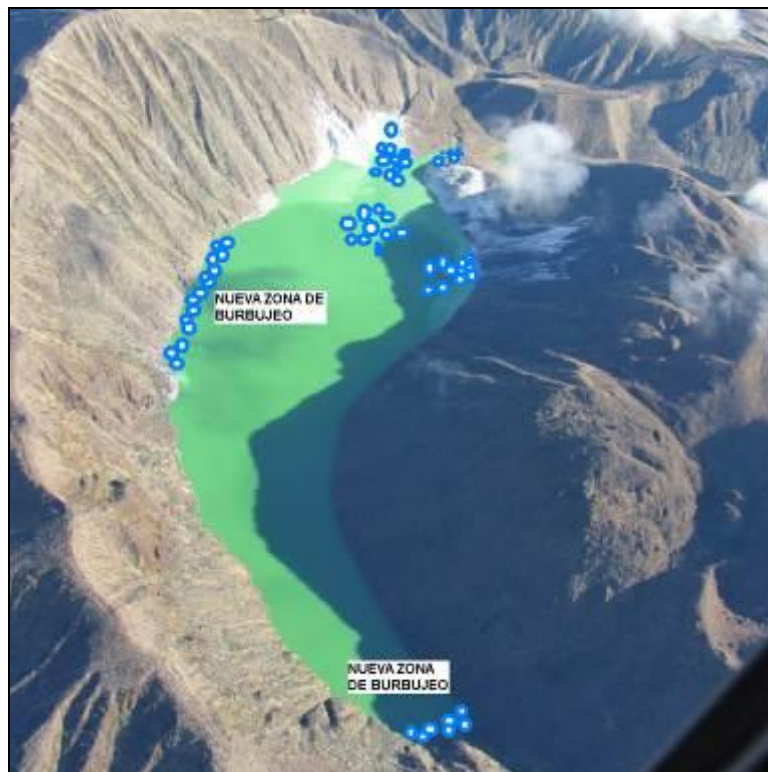


**Figura 79.** Emisiones de gases del volcán Azufra capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 1 de marzo a las 6:53 a.m. (Izquierda) y el 7 de marzo a las 9:08 a.m. (Derecha).



**Figura 80.** Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas en visita realizada por personal del OVSP el 13 de marzo de 2014. En la imagen se observa el domo Mallama.

Durante el trabajo realizado en el mes de marzo, se realizó un recorrido alrededor de la Laguna Verde para evidenciar los cambios en la actividad de desgasificación que presenta este cuerpo de agua. Se pudo observar algunos nuevos puntos de burbujeo, como también el incremento de este fenómeno en zonas donde ya se había presentado el proceso de desgasificación (Figura 81 y 82).



**Figura 81.** Proceso de desgasificación en la Laguna Verde del Volcán Azufral – Marzo 13 de 2014.



**Figura 82.** Fotografías zonas de burbujeo Laguna Verde – Marzo 13 de 2014.

### 2.3.6. Conclusiones

- La evaluación de la actividad volcánica de Azufral durante marzo de 2013 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 2.4. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

### 2.4.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente Colombia en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 Km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 Km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño y Florencia, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 83).

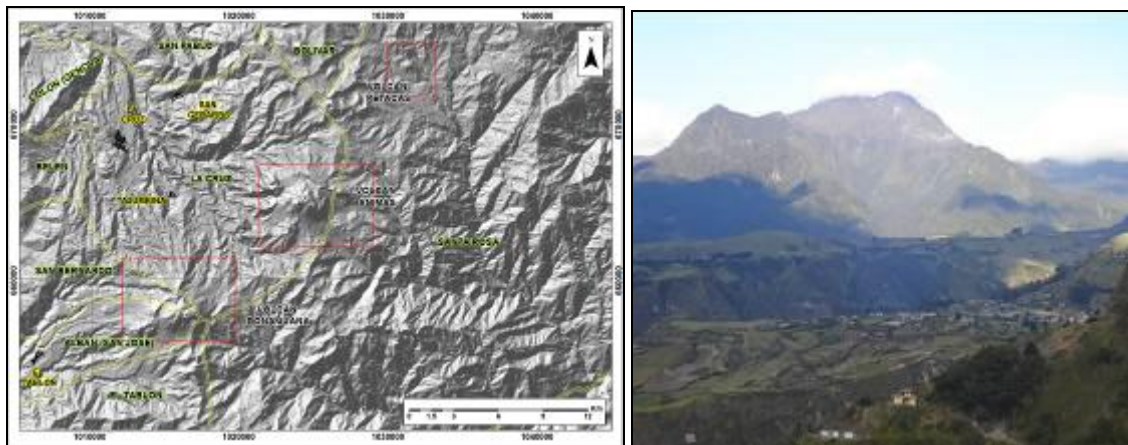


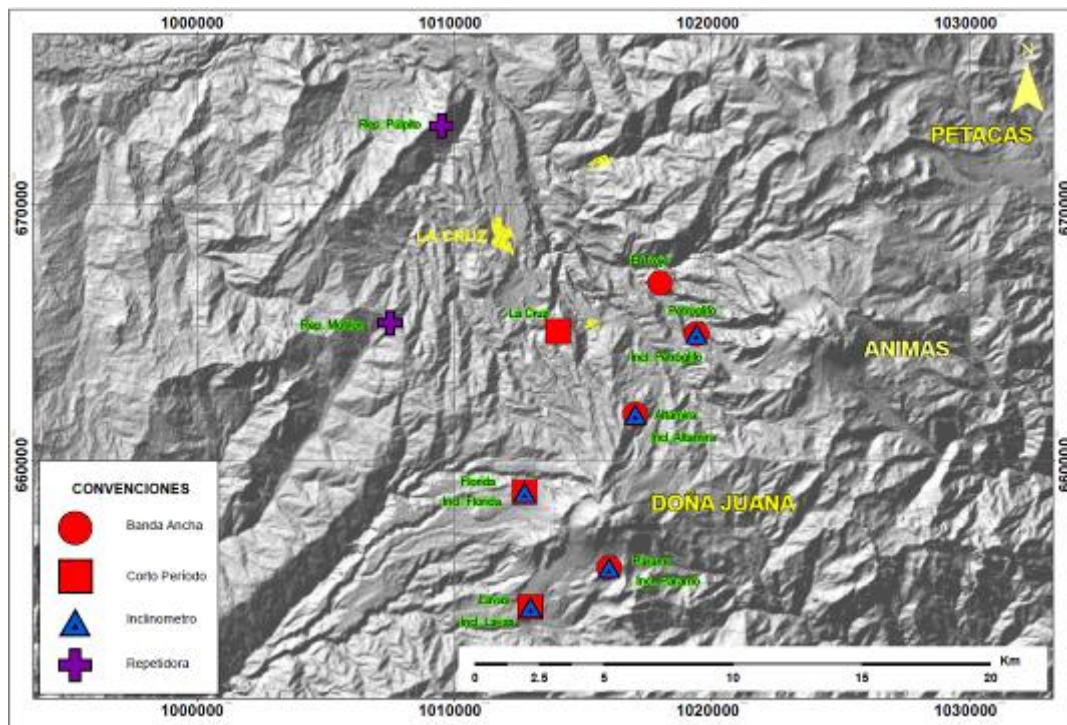
Figura 83. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

### 2.4.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas y dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental. Es de resaltar que la estación multiparámetro Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

En la Figura 84 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 27 se consignan sus características.





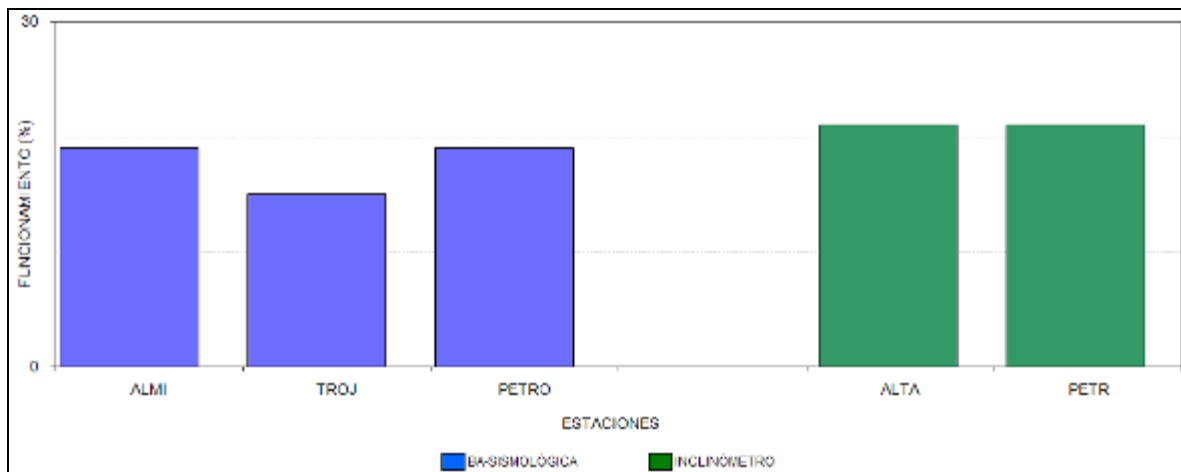
**Figura 84.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de marzo de 2014. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

**Tabla 27.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante noviembre de 2013.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al centro del volcán (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Altamira	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,9	SW	3137
I. Altamira	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	7,9	SW	3137
Petroglifo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4,6	W	2905
I. Petroglifo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4,6	NW	2905
Troje	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	6,2	NW	2726

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Las Ánimas tuvo un funcionamiento promedio del 19% (Figura 85), este bajo porcentaje fue ocasionado por problemas de energía en las repetidoras Motilón y El Pulpito





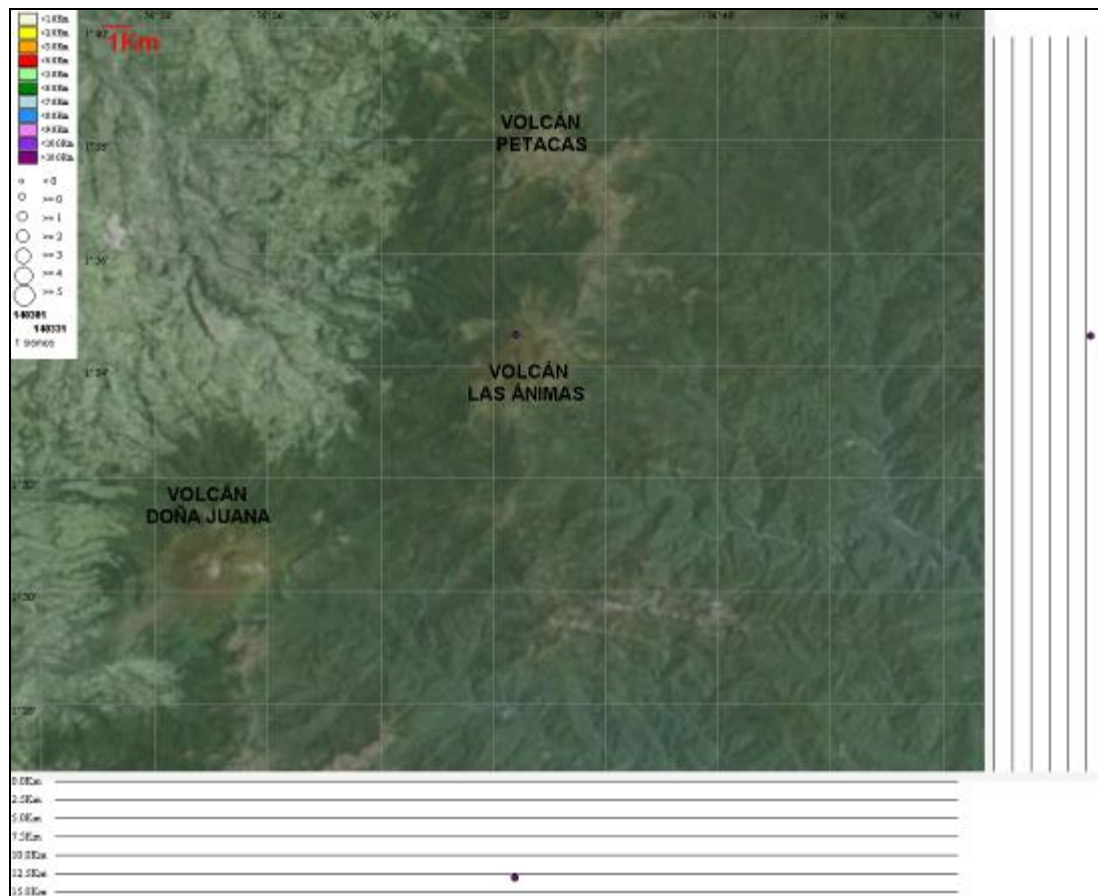
**Figura 85.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante marzo de 2014.

### 2.4.3. Sismología

Respecto a la actividad de este volcán, para el mes de marzo se registró un evento tipo VT (Tabla 28), localizado hacia el sector Norte del volcán Las Ánimas, a 1 km de distancia y a 13 km de profundidad y magnitud local de 0,5 en la escala de Richter (Figura 86).

**Tabla 28.** Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014. Resaltado en verde se tiene el últimos mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VOL	TOTAL
01-dic-13 a 31-dic-13	12	0	0	0	0	0
01-ene-14 a 31-ene-14	2	0	0	0	0	0
01-feb-14 a 28-feb-14	6	0	0	0	0	0
01-mar-14 a 31-mar-14	1	0	0	0	0	1



**Figura 86.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas de estaciones de la red de monitoreo de Las Ánimas, en el mes de marzo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

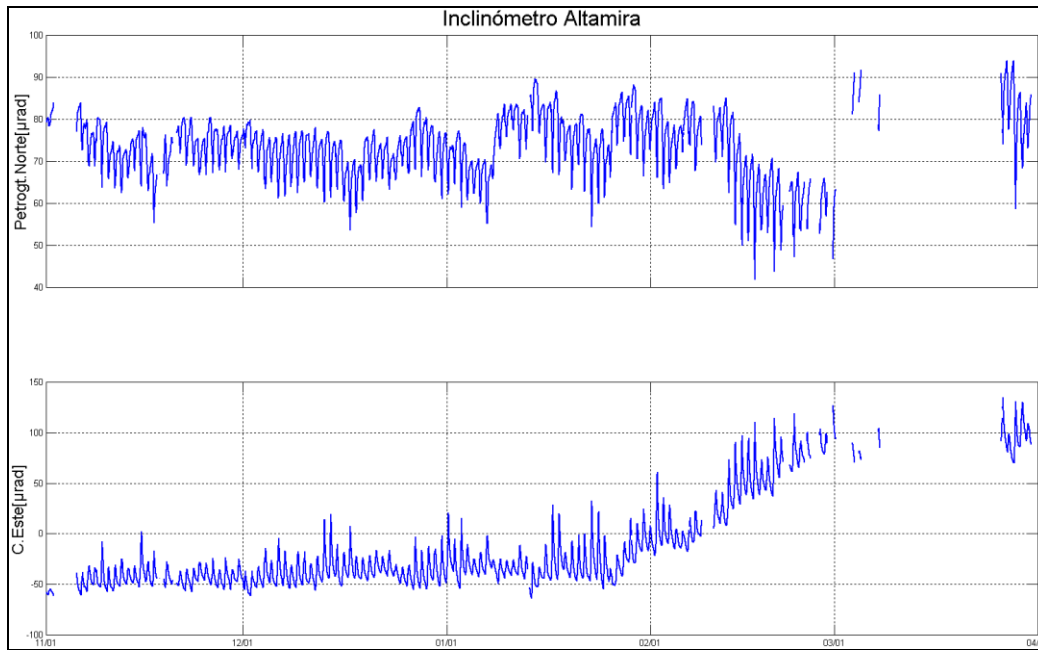
#### 2.4.4. Deformación

En este momento, para el monitoreo de los cambios en superficie del volcán Las Ánimas se cuenta con dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira y Petroglifo. La estación multiparámetro Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

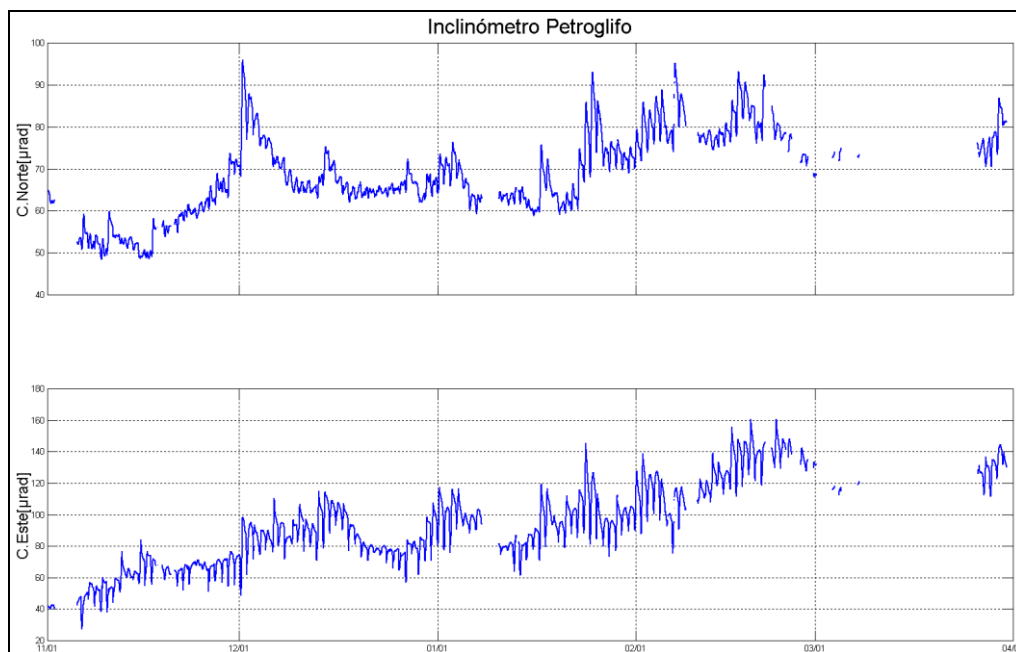
Para el mes de marzo de 2014, la componente Norte del inclinómetro Altamira (ubicado a 4,6 km al oeste de Las Ánimas, 2905 m.s.n.m.), muestra estabilidad con algunas variaciones que pueden obedecer al sistema de alimentación o a la temperatura; la componente Este entre enero y febrero de 2014, mostró un cambio de 150  $\mu$ rad, posteriormente y hasta finales de marzo cuando fue recuperada la señal, la tendencia tiende a estabilizarse (Figura 87).

Respecto al registro del inclinómetro Petroglifo (ubicado a 7,9 km al noroeste del volcán, 3137 m.s.n.m.), entre septiembre de 2013 y finales de febrero de 2014, las componentes norte y este

indican ascenso, con valores aproximados de 30 y 140  $\mu\text{rad}$ , respectivamente; hasta finales de marzo la señal se recuperó y la tendencia parece estar estable (Figura 88).



**Figura 87.** Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) y Temperatura del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.



**Figura 88.** Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) y Temperatura del inclinómetro Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

#### 2.4.5. Actividad Superficial

Durante el mes de marzo de 2014 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Las Ánimas.

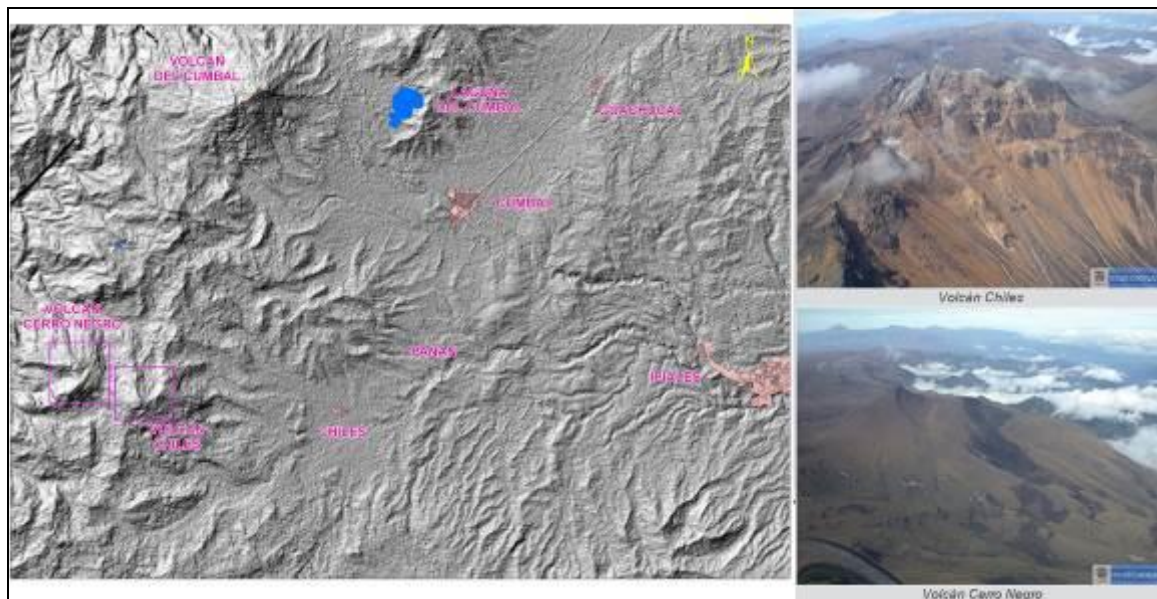
#### 2.4.6. Conclusión

Con base en la información disponible del mes de marzo se estableció el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

### 2.5. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO

#### 2.5.1. Ubicación Geográfica

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran ubicados al suroeste del país, en el departamento de Nariño, más exactamente en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15,5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal. Por su parte el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16,5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal. El acceso se realiza por dos carreteras principales, una que parte desde Chiles hasta Tiuquer en Colombia, y otra desde Tufiño hasta Maldonado en el Ecuador; el ascenso hasta las partes más altas se efectúa por numerosos caminos utilizados por la gente de la región (Figura 89).

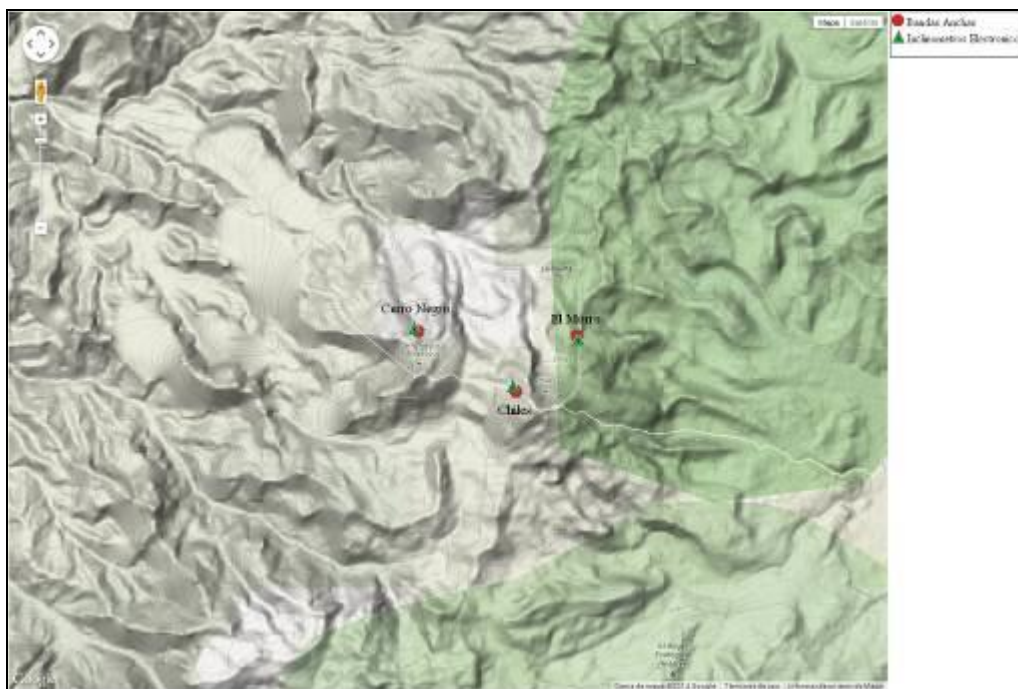


**Figura 89.** Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

## 2.5.2. Red de vigilancia

En este momento, la red de monitoreo del volcán Chiles está conformada por dos estaciones sísmicas de banda ancha y dos inclinómetros electrónicos, una de las estaciones ubicada en la cima volcánica en el costado occidental y la otra en el sector denominado El Morro, ubicado al nororiente del volcán. Por su parte, la red de monitoreo del volcán Cerro Negro está conformada por una estación sísmica de banda ancha y un inclinómetro electrónico, ubicada al noroccidente de la parte alta del volcán (Figura 90, tabla 29).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvo un funcionamiento promedio del 88% (Figura 91).

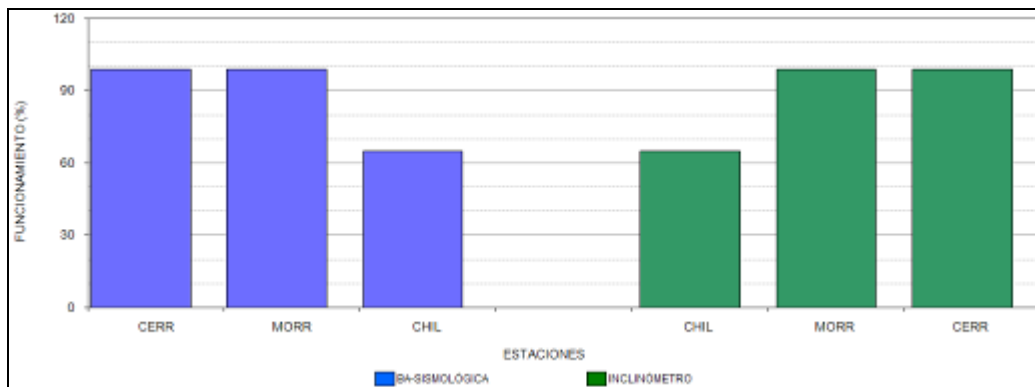


**Figura 90.** Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.

**Tabla 29.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante marzo de 2014.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
El Morro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1,9	NNE	4068
I. El Morro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1,9	NNE	4068
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216





**Figura 91.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante marzo de 2014.

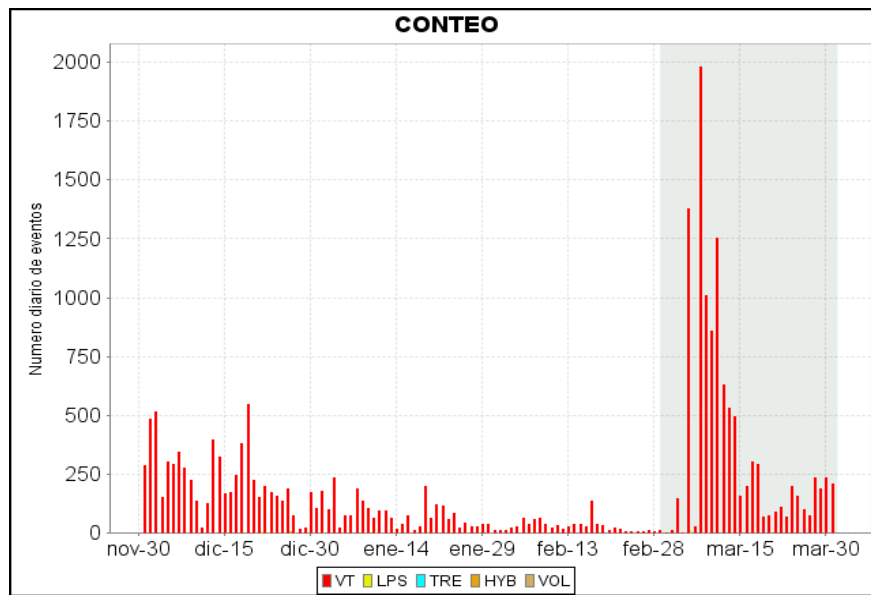
### 2.5.3. Sismología

Respecto a la actividad de complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de marzo de 2014 la ocurrencia sísmica fue 14 veces mayor a la registrada en febrero de 2014, pasando de un total de 793 a 11091 sismos tipo VT (Figura 92, Tabla 30), de los cuales se localizaron 259 eventos, notándose dos fuentes, una de ellas ubicada a 2,5 km al suroccidente de Chiles (4,5 al suroriente de Cerro Negro), con profundidades de hasta 4 km respecto a la cima volcánica. La segunda fuente se ubicó a 3,5 km al noroccidente de Chiles (3 km al nororiente de Cerro Negro) y con profundidades entre los 5 y 7 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 2,6 en la escala de Richter (Figura 93).

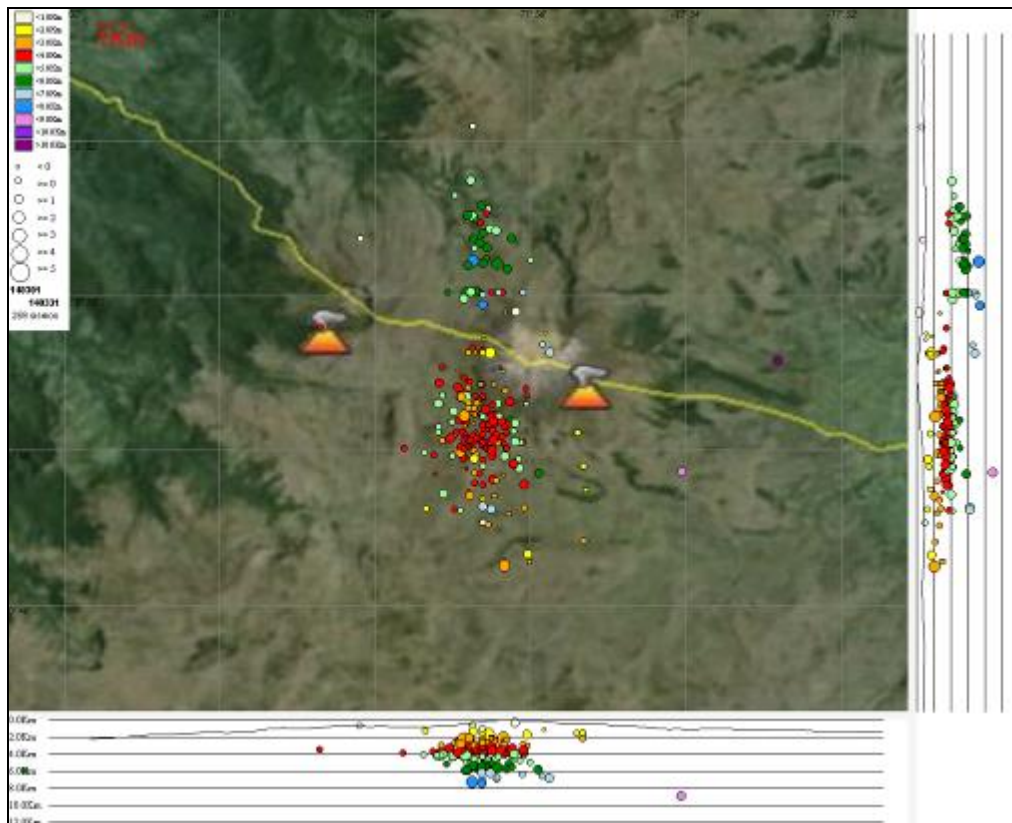
**Tabla 30.** Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de diciembre de 2013 y el 31 de marzo de 2014.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VOL	TOTAL
01-dic-13 a 31-dic-13	6976	18	0	11	0	7005
01-ene-14 a 31-ene-14	2407	26	0	4	0	2437
01-feb-14 a 28-feb-14	790	3	0	0	0	793
01-mar-14 a 31-mar-14	11061	30	0	0	0	11091





**Figura 92.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2013.



**Figura 93.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de marzo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

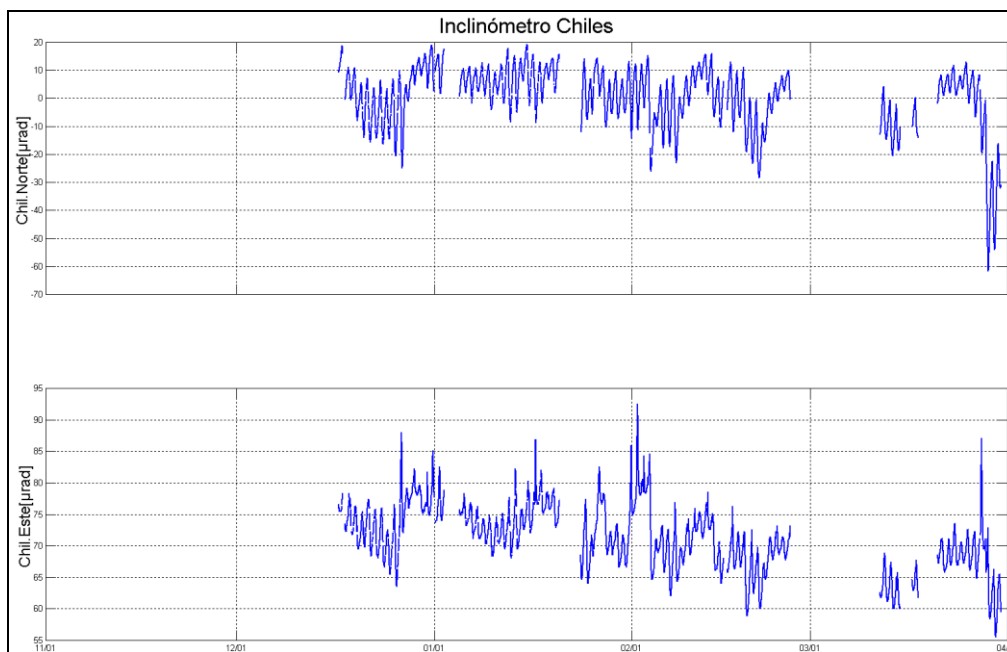
Se aclara que debido a que los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran separados tan solo por 4 km de distancia, existe la incertidumbre si los sismos registrados son parte de la actividad del volcán Chiles o del Volcán cerro Negro.

#### 2.5.4. Deformación

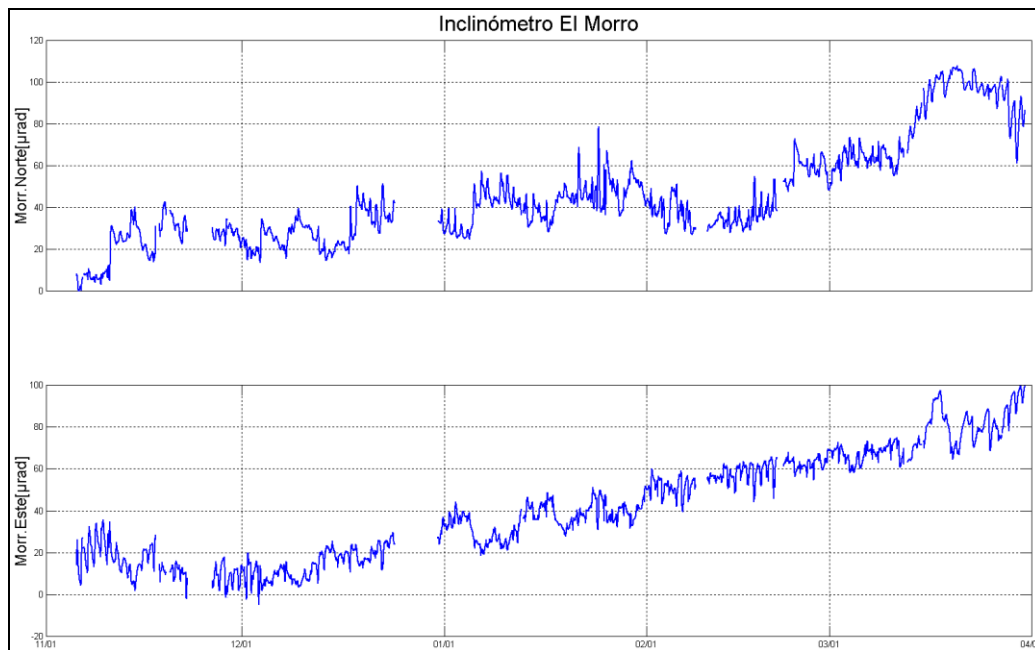
La red de deformación en el volcán Chiles está conformada por dos inclinómetros electrónicos: Chiles y el Morro, ubicadas en la cima volcánica en el costado occidental y en el sector denominado El Morro, al nororiente del volcán, respectivamente. Y para el seguimiento de los cambios en deformación, en el volcán Cerro Negro se tiene un inclinómetro electrónico, ubicado al noroccidente de la parte alta del volcán y recibe el mismo nombre.

Respecto a los cambios registrados por las componentes Norte y Este del inclinómetro Chiles, estas presentan variaciones que pueden estar asociadas con el sistema de alimentación o con la temperatura, sin embargo se observa una tendencia levemente descendente a partir de febrero de 2014, acumulando hasta marzo unos 30 $\mu$ rad y 10 $\mu$ rad respectivamente (Figura 94).

Las componentes Norte y Este del inclinómetro El Morro muestran un comportamiento ascendente desde el 5 de diciembre de 2013, acumulando hasta finales de marzo de 2014 cerca de 80 $\mu$ rad y 70 $\mu$ rad respectivamente (Figura 95).

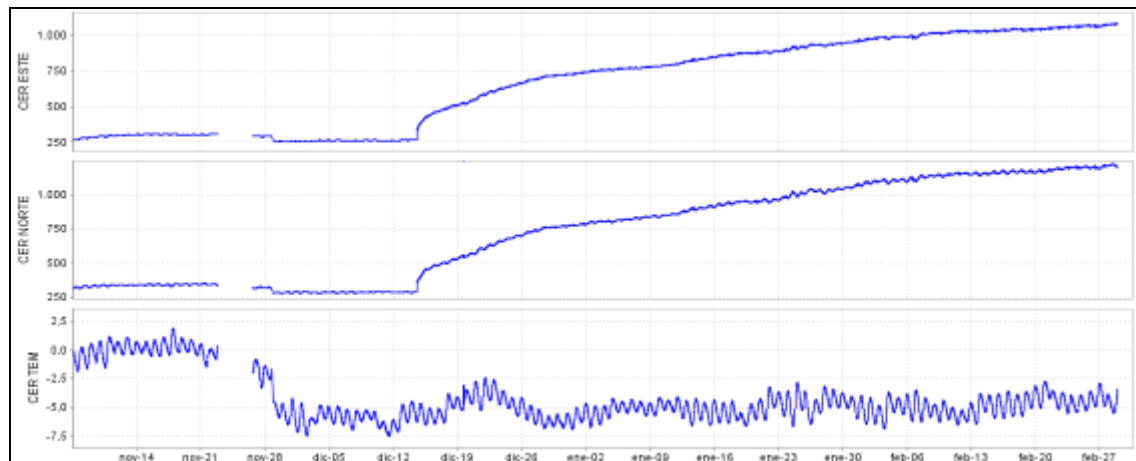


**Figura 94.** Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre noviembre de 2013 y marzo de 2014.



**Figura 95.** Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) del inclinómetro El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre noviembre de 2013 y marzo de 2014.

En la Figura 96 se presenta el registro del Inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, en el cual se observó un cambio en sus componentes desde el 14 de diciembre de 2013, acumulando hasta marzo de 2014, cerca de 1000  $\mu\text{rad}$  Y 800  $\mu\text{rad}$ , tanto para la componente Norte y Este respectivamente.



**Figura 96.** Componentes de inclinación Norte (TAN), Este (RAD) y Temperatura del inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y marzo de 2014.

## 2.5.5. Actividad Superficial

Durante el mes de marzo de 2014 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

### 2.5.6. Conclusión

Con base en la información disponible del mes de marzo de 2014 se estableció el **NIVEL VERDE ●** (IV): “**Volcán activo y comportamiento estable**”.