

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DOMINIO</b>
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		
Información de la citación		
<b>CITACIÓN</b>		
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	Feb/2016
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Enero de 2016.
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 de los volcanes Galeras, Doña Juana, Las Ánimas, Cumbal, Azufral, Chiles y Cerro Negro en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. 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	Enero de 2016.
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica.	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de

	Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km <sup>2</sup>	influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral. Zona de influencia del Volcán Las Ánimas.
Coordenadas /limites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptor de tema: -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, como 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: V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2016\ene
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, Las Ánimas, Azufral, Chiles y Cerro Negro para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos.
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/2016.aspx">http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2016.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	Cristian López, 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, CHILES – CERRO NEGRO, CUMBAL,  
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL  
ENERO DE 2016**

Edición:

**EDGAR A. MUÑOZ HIDALGO**

**San Juan de Pasto, febrero de 2016**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	9
	INTRODUCCION	11
1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – ENERO DE 2016	12
1.1.	RED DE VIGILANCIA	12
1.2.	SISMOLOGÍA	17
1.3.	DEFORMACIÓN	22
1.3.1.	Estaciones de Inclinometría Electrónica	22
1.3.2.	Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras	26
1.3.3.	Estaciones GNSS permanentes	26
1.4.	ELECTROMAGNETISMO	30
1.5.	GEOQUÍMICA	34
1.5.1.	Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras	34
1.5.1.1.	Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS	34
1.5.1.2.	Flujo de gas Radón 222 – (Rn222) telemétrico	36
1.5.2.	Muestreo de aguas en fuentes termales.	38
1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	38
1.7.	CONCLUSIONES	40
2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL –ENERO DE 2016	41
2.1.	RED DE VIGILANCIA	41
2.2.	SISMOLOGÍA	42
2.3.	DEFORMACIÓN	45
2.4.	GEOQUÍMICA	45
2.5.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	46
2.6.	CONCLUSIONES	47
3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – ENERO DE 2016	48
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	48
3.2.	RED DE VIGILANCIA	48
3.3.	SISMOLOGÍA	51
3.4.	DEFORMACIÓN	54
3.5.	GEOQUÍMICA	56
3.5.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales del volcán Chiles	56
3.5.2.	Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	56
3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	57
3.7.	CONCLUSIÓN	57
4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ENERO DE 2016	58
4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	59
4.1.1.	Ubicación Geográfica	59
4.1.2.	Red de Vigilancia	59
4.1.3.	Sismología	60
4.1.4.	Deformación	61
4.1.5.	Actividad Superficial	63
4.1.6.	Conclusión	63
4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	64
4.2.1.	Red de vigilancia	64
4.2.2.	Sismología	65

4.2.3.	Deformación	66
4.2.4.	GEOQUÍMICA	68
4.2.5.	Actividad Superficial	68
4.2.6.	Conclusión	68
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	69
4.3.1.	Red de vigilancia	69
4.3.2.	Sismología	71
4.3.3.	Deformación	73
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	73
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	75
4.3.4.	Geoquímica	75
4.3.4.1	Registro de temperatura – Estación térmica telemétrica Domo Mallama en Volcán Azufral.	75
4.3.5.	Actividad Superficial	76
4.3.6.	Conclusión	76

## FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2016.	13
Figura 2.	Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2016.	14
Figura 3.	Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2016.	15
Figura 4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2016.	16
Figura 5.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de octubre de 2015 y enero de 2016.	17
Figura 6.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016. La región sombreada corresponde al mes de enero de 2016.	18
Figura 7.	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).	18
Figura 8.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.	19
Figura 9.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para enero de 2016 (barras de la derecha) respecto a diciembre de 2015 (barras de la izquierda).	20
Figura 10.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde octubre de 2015 a enero de 2016.	20
Figura 11.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT, HYB y LPS registrados entre el 1 y 31 de enero de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,0 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).	21
Figura 12.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	22
Figura 13.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre marzo de 2015 y el 31 de enero de 2016.	23
Figura 14.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	23
Figura 15.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	24
Figura 16.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	24
Figura 17.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	25
Figura 18.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	25
Figura 19.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	26

Figura 20.	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	27
Figura 21.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2014 y el 11 de enero de 2016.	27
Figura 22.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2014 y el 11 de enero de 2016.	28
Figura 23.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre enero 2014 y el 11 de enero de 2016.	28
Figura 24.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero 2014 y el 11 de enero de 2016.	29
Figura 25.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 11 de enero de 2016.	29
Figura 26.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre agosto de 2015 y enero de 2016.	30
Figura 27.	Variaciones del campo magnético, en la estación Frailejón, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.	31
Figura 28.	Variaciones del campo magnético, en la estación Cráter, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.	31
Figura 29.	Variaciones del campo magnético, en la estación Barranco, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.	32
Figura 30.	Variaciones del campo magnético, en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de enero de 2016. Componente horizontal H (verde) y componente total F (magenta). La escala de medición está dada en nano Teslas.	32
Figura 31.	Variaciones del campo eléctrico, en la estación Frailejón, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja). La escala de medición está dada en mili voltios por metro.	33
Figura 32.	Variaciones del campo eléctrico, en la estación Barranco, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja). La escala de medición está dada en mili voltios por metro.	33
Figura 33.	Variaciones del campo eléctrico, en la estación Frailejón, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja). La escala de medición está dada en mili voltios por metro.	34
Figura 34.	Flujo de emisión de SO <sub>2</sub> registrado entre octubre de 2015 y enero de 2016 por los equipos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	35
Figura 35.	Flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), velocidad y dirección del viento entre octubre de 2015 y enero de 2016.	35
Figura 36.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras.	37
Figura 37.	Concentración radón en suelo volcán Galeras - Estación telemétrica Lavas – mes de enero de 2016.	37
Figura 38.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 5 de enero de 2016 a las 9:26 a.m.	38
Figura 39.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en la	39



	repetidora Bruma el 12 de enero de 2016 a las 7:52 a.m.	
Figura 40.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 15 de enero a las 9:06 a.m.	39
Figura 41.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 31 de enero de 2016 a las 3:40 p.m.	39
Figura 42.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de enero de 2016.	41
Figura 43.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2016.	42
Figura 44.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre octubre de 2015 y enero de 2016. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	43
Figura 45.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.	43
Figura 46.	Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 21 de enero de 2016 a las 6:32 a.m., el evento tuvo una duración de 78 segundos en la estación sísmica Mesa.	44
Figura 47.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de enero de 2016. 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).	44
Figura 48.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	45
Figura 49.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 5 de enero de 2016 a las 7:14 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	46
Figura 50.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 6 de enero de 2016 a las 6:44 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	46
Figura 51.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	48
Figura 52.	Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2016.	49
Figura 53.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante enero de 2016.	50
Figura 54.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de enero de 2016.	51
Figura 55.	Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de octubre de 2015 y enero de 2016.	52
Figura 56.	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 enero de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	53
Figura 57.	Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.	53
Figura 58.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	54
Figura 59.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el mes de junio de 2015 y el 31 de enero de 2016.	55
Figura 60.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro -2, instalado en el volcán del mismo nombre y a 6m del inclinómetro Cerro Negro, para el periodo	55

	comprendido entre enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	
Figura 61.	Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles entre mayo de 2015 y enero de 2016.	56
Figura 62.	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.	58
Figura 63.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	59
Figura 64.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de enero de 2016. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas. Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos.	60
Figura 65.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante enero de 2016.	60
Figura 66.	Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana en enero de 2016, 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.	61
Figura 67.	Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	62
Figura 68.	Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre febrero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	62
Figura 69.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el mes de diciembre de 2015 y el 11 de enero de 2016.	63
Figura 70.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	64
Figura 71.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de enero de 2016.	65
Figura 72.	Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana en enero de 2016, 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.	66
Figura 73.	Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	67
Figura 74.	Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre julio de 2015 y el 31 de enero de 2016.	67
Figura 75.	Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	68
Figura 76.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de enero de 2016.	69
Figura 77.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de enero de 2016.	70
Figura 78.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de enero de 2016.	71
Figura 79.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el	71

	1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.	
Figura 80.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufra, en el mes de enero de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 4,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	72
Figura 81.	Componentes de inclinación Norte y Este y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el mes de febrero de 2015 y el 31 de enero de 2016.	73
Figura 82.	Componentes de inclinación Norte y Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 31 de enero de 2016.	74
Figura 83.	Variaciones en las direcciones Norte y Este de la estación GNSS Roca instalado sobre la superficie del volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el mes de mayo de 2015 y el 14 de enero de 2016.	74
Figura 84.	Gráfico de la variación de temperatura en la estación de termocupla campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufra.	75
Figura 85.	Imagen de la Laguna Verde, laguna cratéica del volcán Azufra, registrada el 3 de enero de 2016 a las 2:14 p.m., mediante la cámara instalada en el costado sur. En la fotografía se observan las zonas de emisión de gas, desde el Domo Mallama.	76

## TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en enero de 2016.	14
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2016.	15
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2016.	15
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2016.	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.	16
Tabla 7.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	17
Tabla 8.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016, resaltando en color verde el mes evaluado.	19
Tabla 9.	Emisiones de SO <sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de enero de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	36
Tabla 10.	Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – mes de enero de 2016.	38
Tabla 11.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante enero de 2016.	42
Tabla 12.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016 (resaltado en color verde)	42
Tabla 13.	Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	49
Tabla 14.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.	50
Tabla 15.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.	51
Tabla 16.	Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – Enero de 2016.	57
Tabla 17.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en enero de 2016.	59
Tabla 18.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en enero de 2016.	65
Tabla 19.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante enero de 2016.	70
Tabla 20.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.	72
Tabla 21.	Variación de temperaturas en Domo Mallama del volcán Azufral.	76

## RESUMEN

Durante el mes de enero de 2016, la ocurrencia sísmica disminuyó, mientras que la energía liberada por los eventos registrados en el volcán Galeras aumentó en comparación a los valores registrados en diciembre de 2015. Los sismos asociados con fracturamiento de material cortical (VT) seguidos por aquellos asociados a movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) fueron los que aportaron el mayor número. Los eventos asociados con fracturamiento de material cortical fueron los que aportaron la mayor fracción de energía liberada.

Respecto a la localización de sismos relacionados con fracturamiento de roca (VT) e (HYB), la mayoría se ubicaron en inmediaciones del Cráter, a menos de 1 km de distancia y con profundidades menores a 2,0 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 2,6 en la escala de Richter. Se resalta el sismo registrado el 20 de enero a las 7:48 p.m., de magnitud 2,6 y que fue reportado como sentido por habitantes de varios sectores de la ciudad de Pasto.

Los sensores que monitorean las deformaciones volcánicas continúan mostrando cambios en algunos de los flancos del volcán, siendo más relevante la deformación hacia el lado occidental.

En cuanto a la actividad superficial con base en la información que aportan las imágenes capturadas del cráter activo, fue posible evidenciar emisiones de gases durante todo el mes, 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 relativamente bajas sobre la cima de Galeras.

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 fractura de roca al interior del sistema volcánico (VT). Comparando la actividad sísmica del periodo evaluado con la del mes anterior, se observa una disminución del 3,0% en los niveles de ocurrencia.

Respecto a la localización de sismos VT, para el periodo evaluado fue posible localizar 100 sismos, que en su mayoría se ubicaron a distancias menores de 4.0 km, desde el centro del Complejo volcánico, con tendencia hacia el norte, y a profundidades menores de 3 km respecto de la cima. Las magnitudes locales de los eventos localizados estuvieron entre -0.5 y 0.8, 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”**.

La ocurrencia sísmica de los Volcanes Chiles y Cerro Negro, aumentó en un 54,8% respecto a la registrada en diciembre de 2016. De esta sismicidad fue posible localizar 316 eventos, algunos ubicados en inmediaciones de la cima y la mayoría hacia el sector suroccidente del volcán Chiles; algunos eventos se ubicaron de manera dispersa hacia el sur y suroriente de este volcán; los sismos se localizaron a menos de 14 km respecto al centro del volcán Chiles, a profundidades de hasta 10 km respecto de la cima del volcán. Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 2,6 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta la magnitud local presentada por los eventos localizados, se logró obtener un estimativo de la energía liberada en términos de su raíz cuadrada, observándose que ésta disminuyó en comparación a la energía liberada en el mes anterior, indicando que la mayoría de sismos ocurridos fueron de bajo nivel energético

Adicionalmente, cabe mencionar que continúan registrándose cambios en la deformación cortical del edificio del volcán Cerro Negro.

La evaluación del proceso volcánico para los volcanes Chiles – Cerro Negro durante enero de 2016 permitió mantener el **NIVEL AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

En los volcanes Las Ánimas, Doña Juana, y Azufral se tuvo registro de 10, 3 y 50 eventos tipo VT respectivamente, los cuales fueron de bajo nivel energético.

Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del mes, permitieron evidenciar a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán Azufral, emisiones de gas de color blanco de baja altura, provenientes principalmente del domo Mallama, ubicado 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 Las Ánimas, Doña Juana y Azufral, se mantiene en **NIVEL VERDE** ● (IV): **“Volcán activo y comportamiento estable”**.

## INTRODUCCION

Durante el mes de enero de 2016, 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, Chiles y Cerro Negro, Doña Juana, Azufral y Las Ánimas, mediante el monitoreo continuo 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 – ENERO DE 2016

### 1.1. RED DE VIGILANCIA

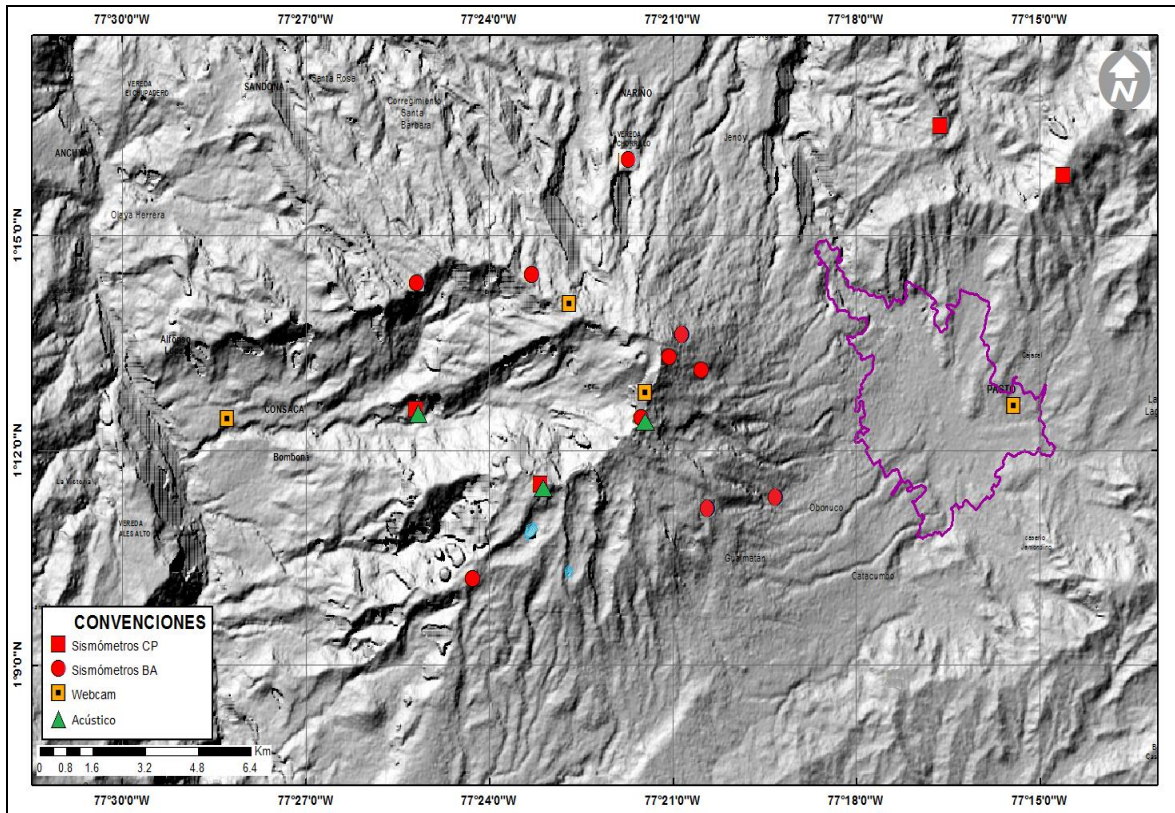
En enero de 2016 la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Catorce estaciones sísmicas telemétricas: cuatro de corto periodo triaxiales y diez de banda ancha triaxiales (Figura 1, Tabla 1).
- Tres sensores de presión acústicos, uno ubicado en el sector occidental en el sitio de la estación sísmica de corto periodo Calabozo, el segundo 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).
- 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 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2)
- Seis 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, en el sector de la estación sismológica Ingenio y el último instalado en el sector nororiente de Galeras (Figura 2, Tabla 3).
- Con el fin de monitorear los cambios en la superficie del edificio volcánico de Galeras se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 5 bases y 8 prismas reflectores (Figura 2).
- 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 3, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de variación del campo Magnético, Cráter, Frailejón y Barranco. Adicionalmente, las estaciones EM-Frailejón y EM-Barranco cuentan con sistemas de medición de variación de campo eléctrico Cráter (Figura 3, Tabla 5).
- 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.
- Una estación meteorológica, conformada con sensores para medición de velocidad y dirección del viento, pluviometría, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente. Esta estación se encuentra emplazada en el sitio de la estación sísmica Cráter-2.



- Dos estaciones telemétricas para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón ( $Rn_{-222}$ ) proveniente del suelo denominadas Lavas y Parques, ubicadas hacia el sector oriental del volcán, por la vía de acceso a la cima del volcán (Tabla 6).

Durante enero de 2016, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 83,3 %, garantizando la obtención de información confiable para la evaluación de la actividad volcánica. La Figura 4, muestra el histograma con el porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo volcánico.



**Figura 1.** Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2016.

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en enero de 2016.

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGA	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	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 banda Ancha	Triaxial	2.3	ESE	3494
Cobanegra-3	COB3	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	3.9	SSE	3625
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.0	NW	3450
Cóndor	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
Ingenio	INGZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.0	WNW	2907
San Felipe	SNFZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.6	SW	3491
San Juan	SJUZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	10.5	NE	2899
Morasurco	MORA	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	13.7	NE	3504
Cráter Acústico	CRAC	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	1.5	S	4048
Cóndor 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

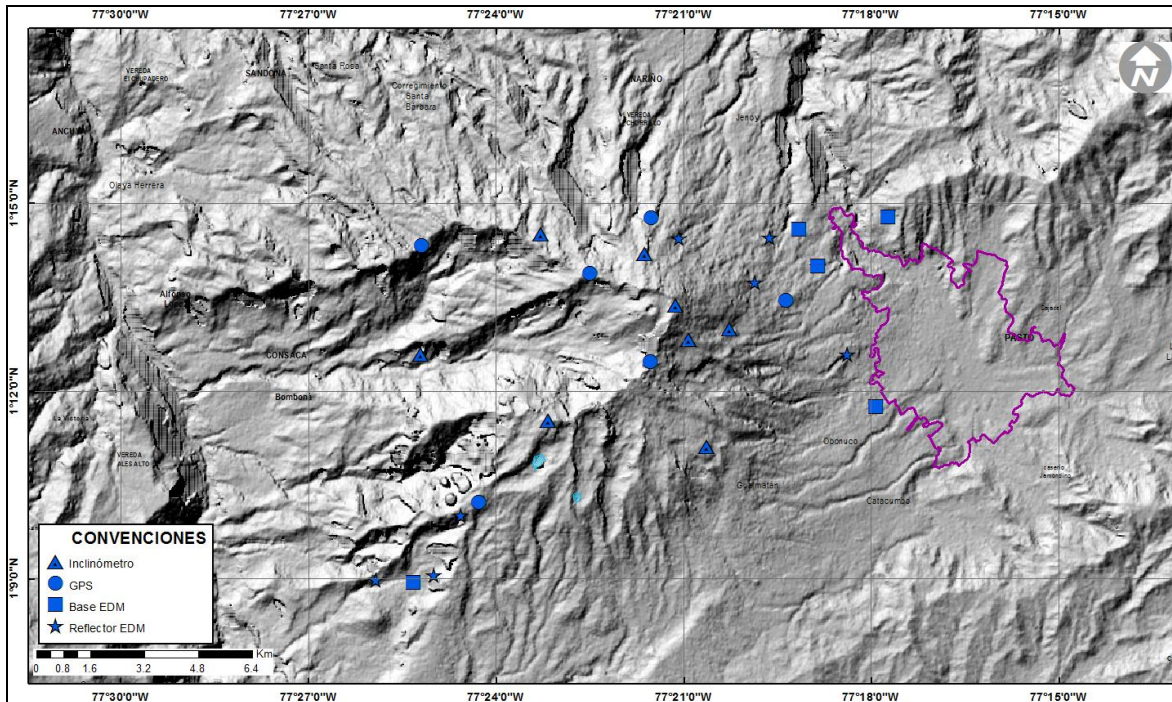


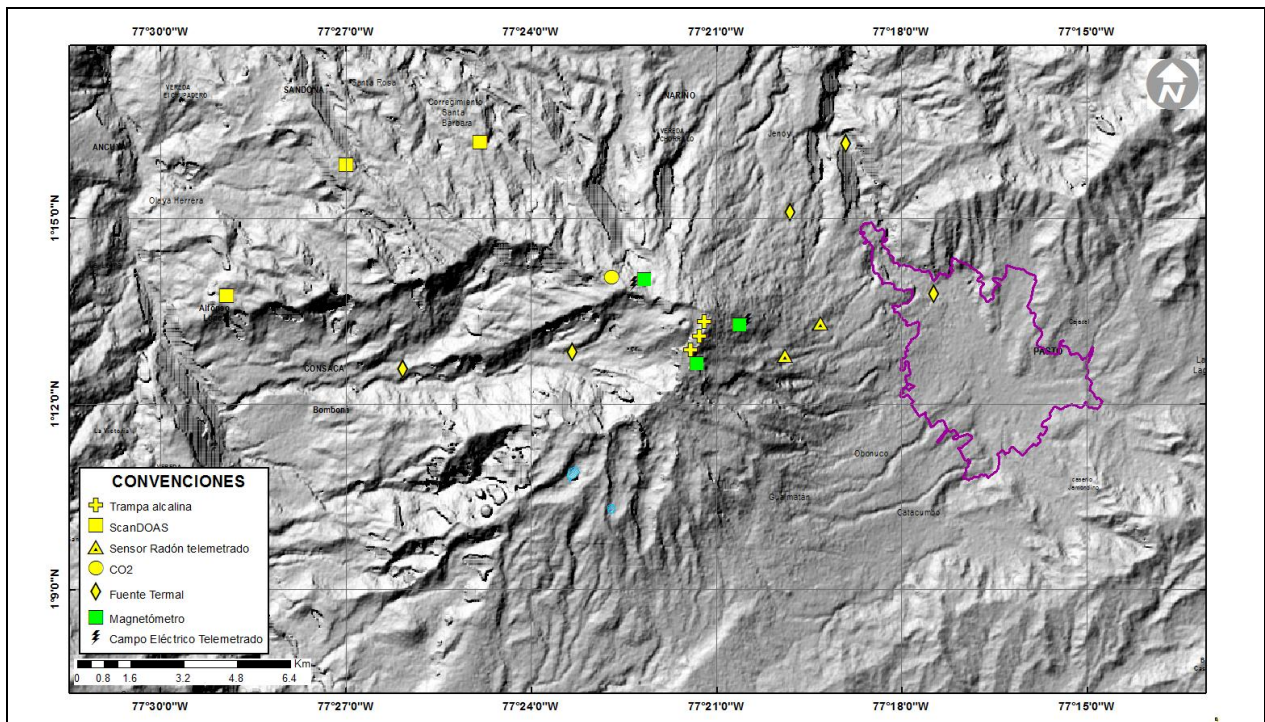
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2016.

**Tabla 2.** Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2016.

Inclínómetros Electrónicos	Distancia al Cráter (Km)	Ubicón 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 en enero de 2016.

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
Ingenio	7,0	WNW	2907
Chiguaco	2,8	NNE	3513
Cóndor	7,6	SW	3520



**Figura 3.** Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2016.

**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2016.

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

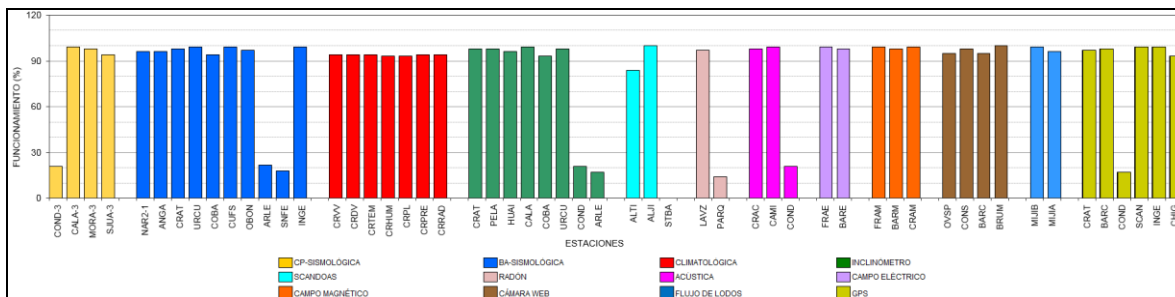
\* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm).

**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

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

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Parques	3,6	ESE	3358
Lava1	4,5	E	3000



**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2016.

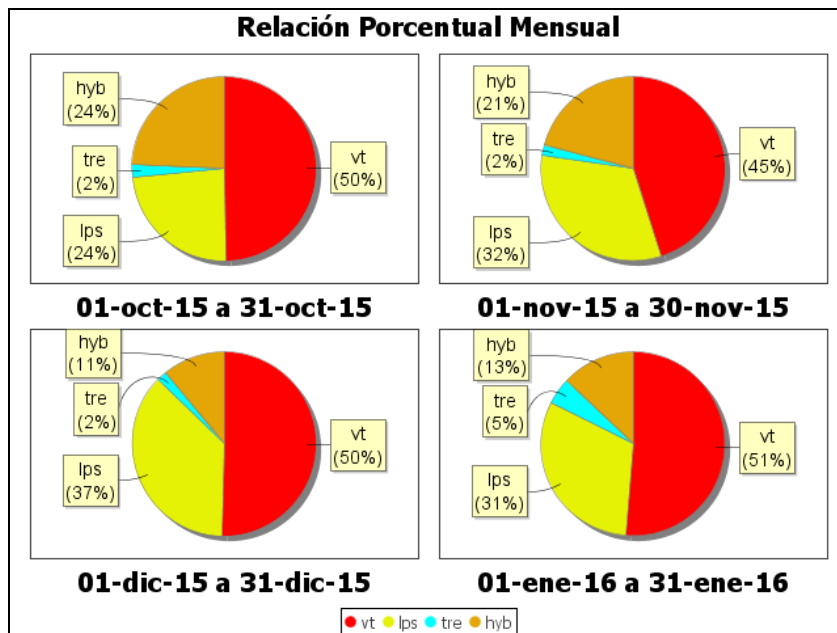
## 1.2. SISMOLOGIA

En el mes de enero de 2016, la actividad sísmica de Galeras disminuyó en un 15,5 % respecto a diciembre de 2015 pasando de 284 a 240 eventos. La sismicidad se caracterizó por el predominio de eventos asociados con fracturamiento de roca al interior de la estructura volcánica (sismos tipo VT) con un 51,3% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de ocurrencia por eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (Eventos Tipo LP), con un 31,3%. Los eventos asociados a fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (sismos tipo HYB) aportaron con un 12,9 %, mientras que los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE) aportaron con un 4,5%. La Figura 5 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos.

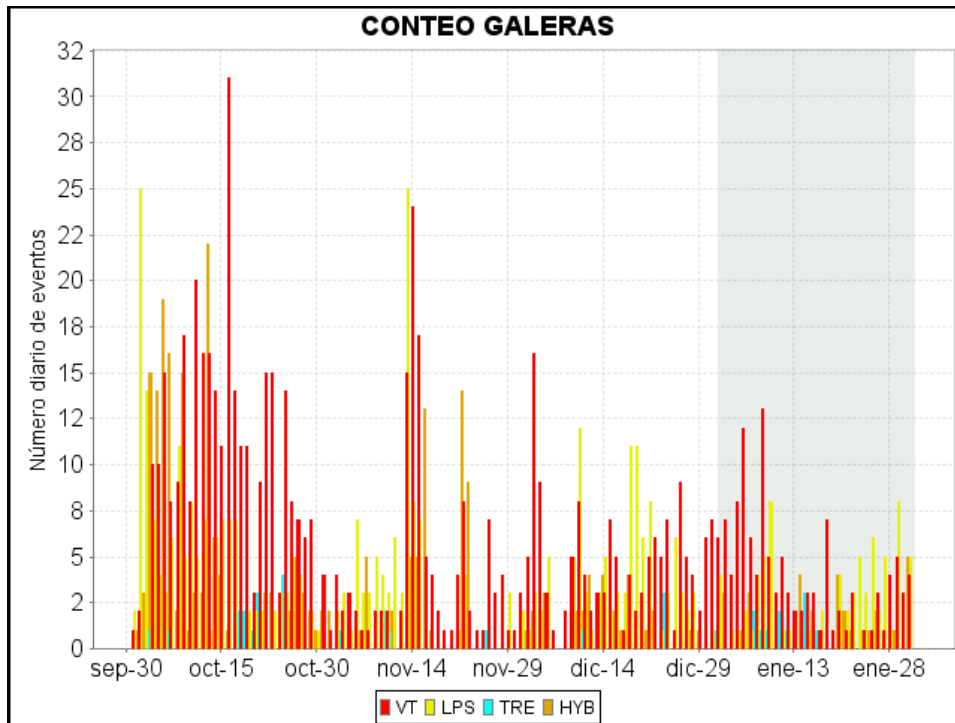
En comparación con el mes anterior se evidencia que el número de eventos VT fue menor en un 14%, los sismos LPS disminuyeron en 28,6%, los HYB mantuvieron su ocurrencia y los TRE aumentaron en un 100% (Tabla 7, Figuras 6 y 7).

**Tabla 7.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.

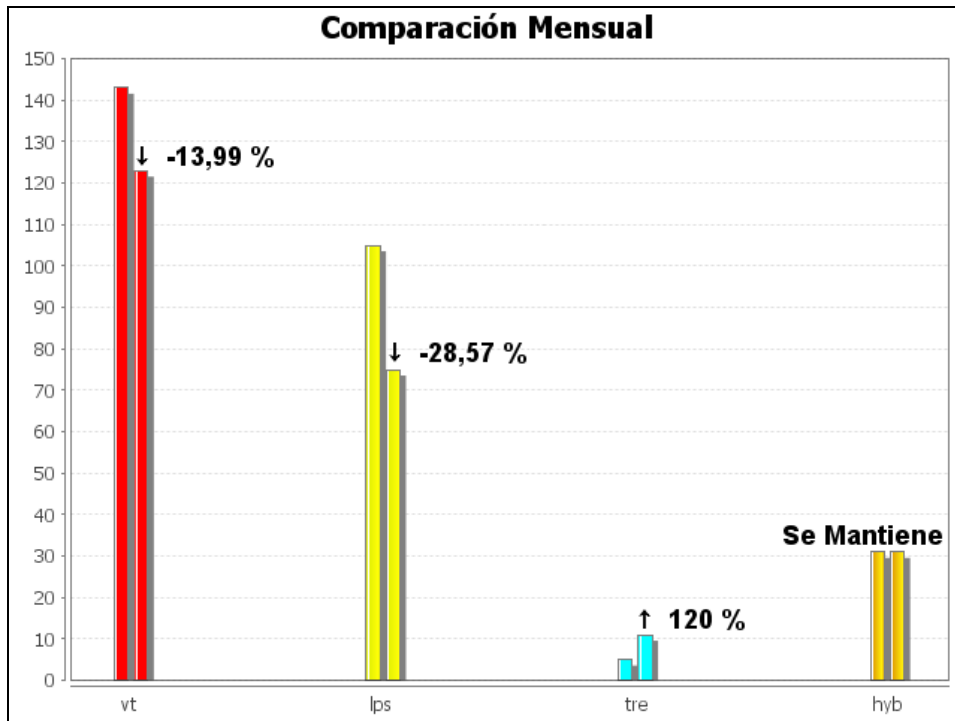
Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					NO CLASIFICABLES	Duración TREMOR (min)
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL		
01-oct-15 a 31-oct-15	315	151	14	154	634	1112	7
01-nov-15 a 30-nov-15	123	88	5	57	273	685	2
01-dic-15 a 31-dic-15	143	105	5	31	284	406	2
01-ene-16 a 31-ene-16	123	75	11	31	240	553	8



**Figura 5.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de octubre de 2015 y enero de 2016.



**Figura 6.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016. La región sombreada corresponde al mes de enero de 2016.

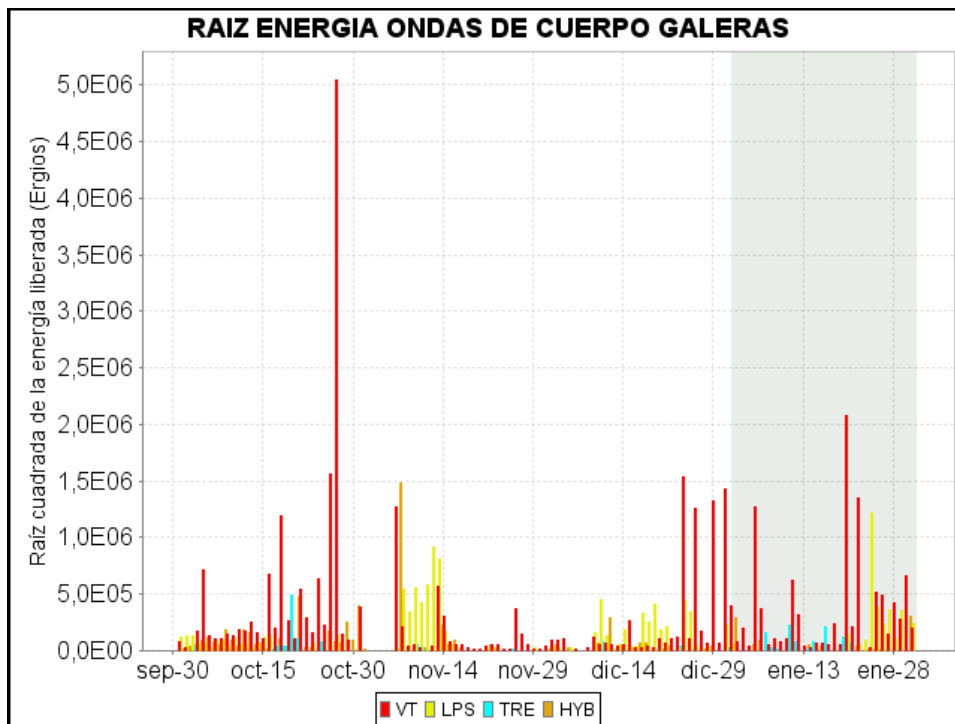


**Figura 7.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

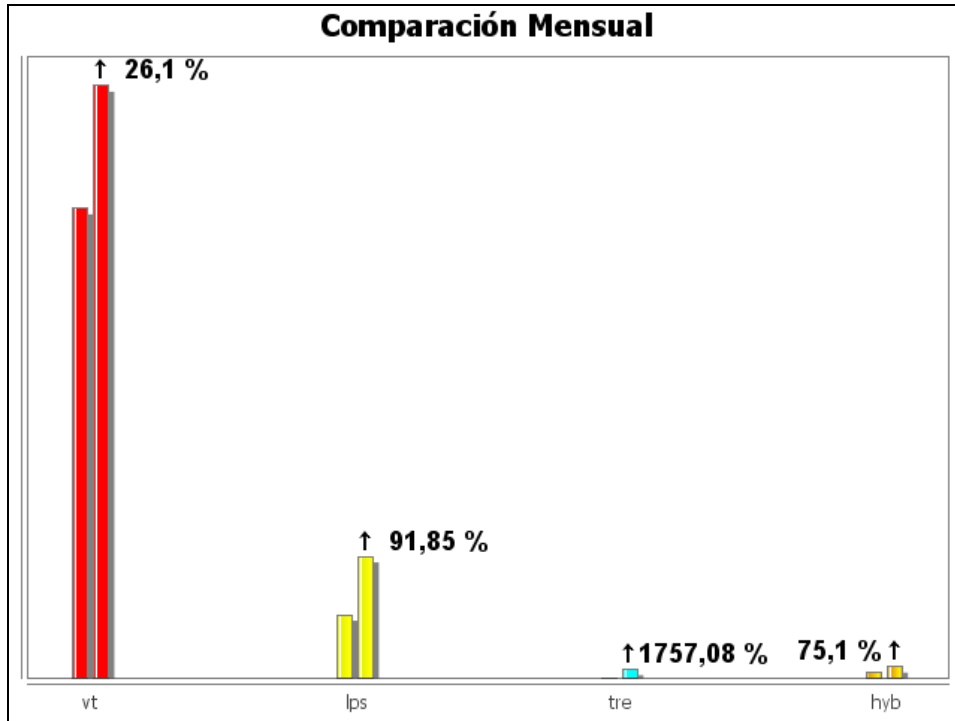
Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada aumentó en un 36,0% en comparación a lo registrado en diciembre de 2015, pasando de  $9,14 \times 10^{12}$  ergios a  $1,24 \times 10^{13}$  ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos VT con un 80,6%, seguidos por los eventos tipo LPS con un 16,6%, mientras que los eventos tipo HYB aportaron con el 1,6% y los sismos tipo TRE con el 1,2% (Tabla 8, Figuras 8, 9 y 10).

**Tabla 8.** Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016, resaltando en color verde el mes evaluado.

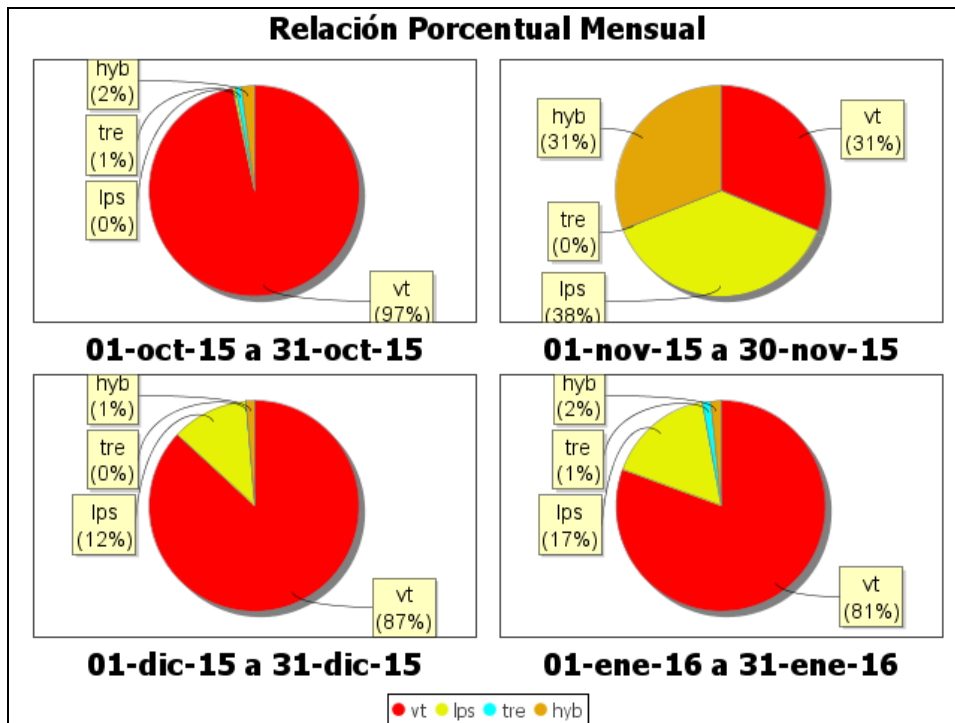
Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-oct-15 a 31-oct-15	3.17E+13	1.55E+11	2.54E+11	6.70E+11	3.28E+13
01-nov-15 a 30-nov-15	2.28E+12	2.76E+12	3.17E+09	2.26E+12	7.31E+12
01-dic-15 a 31-dic-15	7.95E+12	1.07E+12	8.30E+09	1.13E+11	9.14E+12
01-ene-16 a 31-ene-16	1.00E+13	2.06E+12	1.54E+11	1.98E+11	1.24E+13



**Figura 8.** Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.



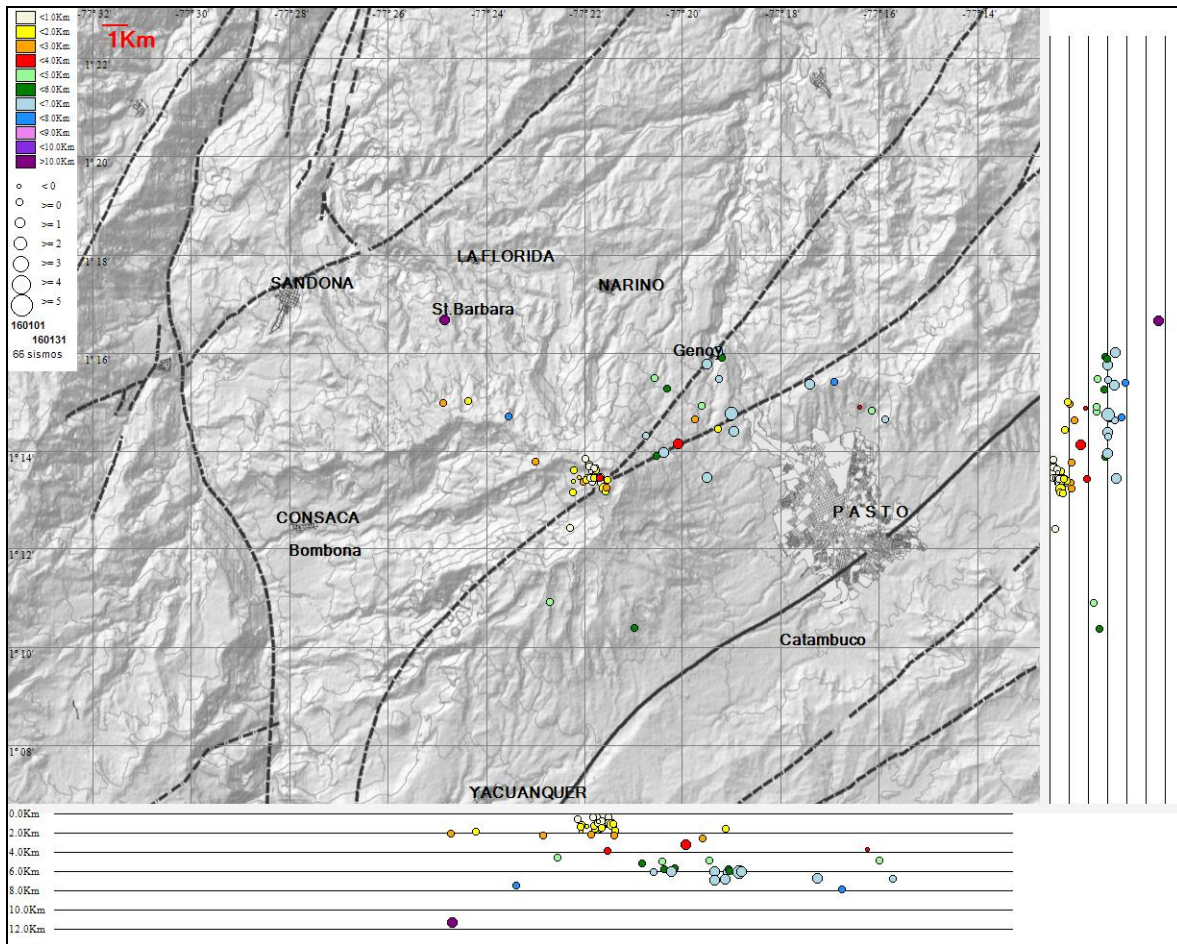
**Figura 9.** Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para enero de 2016 (barras de la derecha) respecto a diciembre de 2015 (barras de la izquierda).



**Figura 10.** Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde octubre de 2015 a enero de 2016.



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 66 sismos, 65 de ellos tipo VT y un 1 HYB. La mayoría se ubicaron en inmediaciones del cráter de Galeras, a distancias menores de 1 km y en profundidad a menos de 2 km respecto de la cima volcánica (4.276 msnm). Algunos eventos se localizaron hacia el sector nororiental de Galeras a menos de 11 km respecto al cráter volcánico, y profundidades entre 2 y 8 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes calculadas fueron menores a 2,6 en la escala de Richter. Se resalta el sismo registrado el 20 de enero a las 7:48 p.m., de magnitud 2,6 y que fue reportado como sentido por habitantes de varios sectores de la ciudad de Pasto (Figura 11).



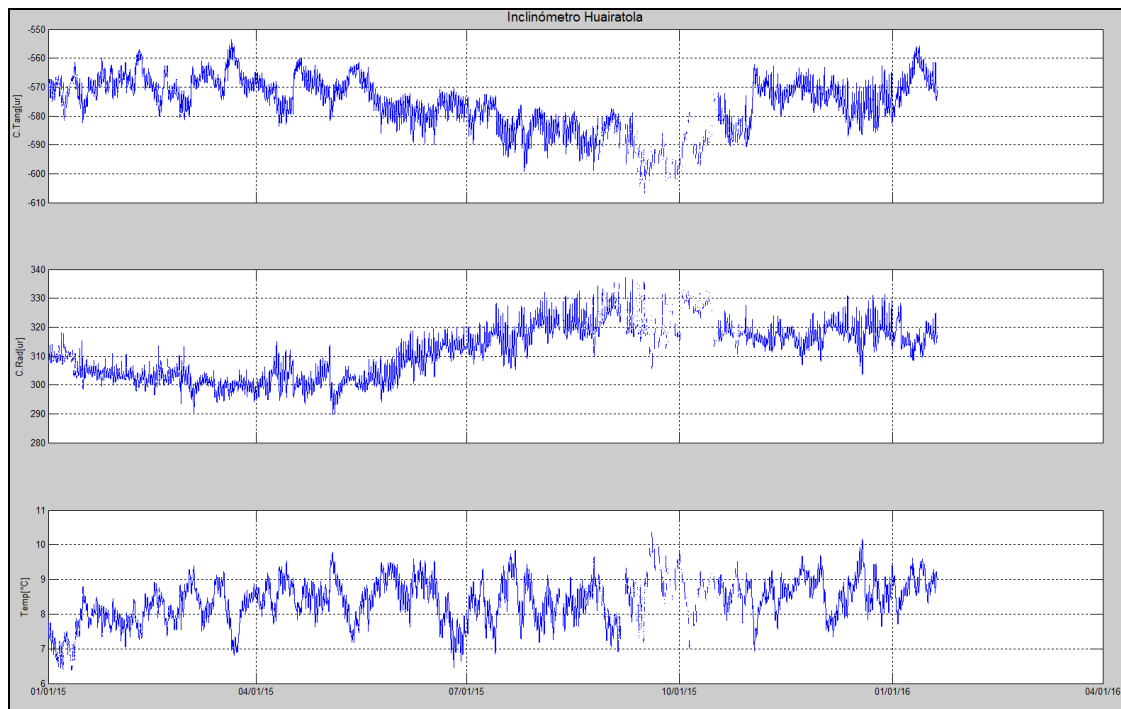
**Figura 11.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT, HYB y LPS registrados entre el 1 y 31 de enero de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,0 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).

### 1.3. DEFORMACIÓN

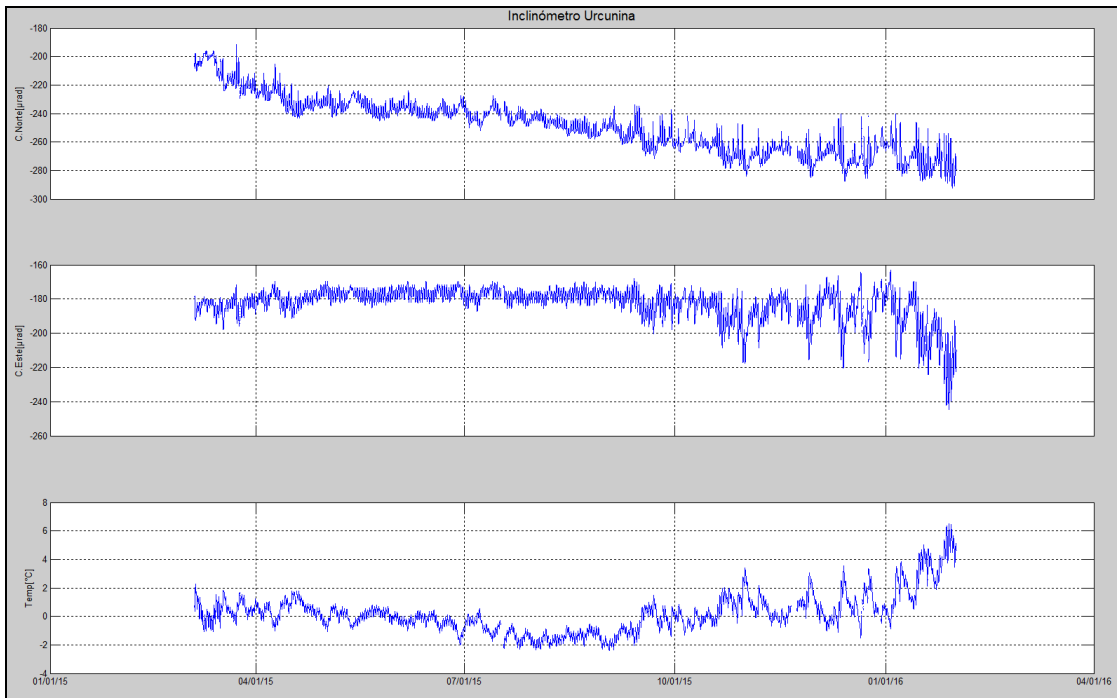
#### 1.3.1. Estaciones de Inclinometría Electrónica

Durante el mes de enero de 2016 se contó con los datos de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, Urcunina, Calabozo, Cóndor, Cobanegra y Arlés cuya localización se puede apreciar en la Figura 2.

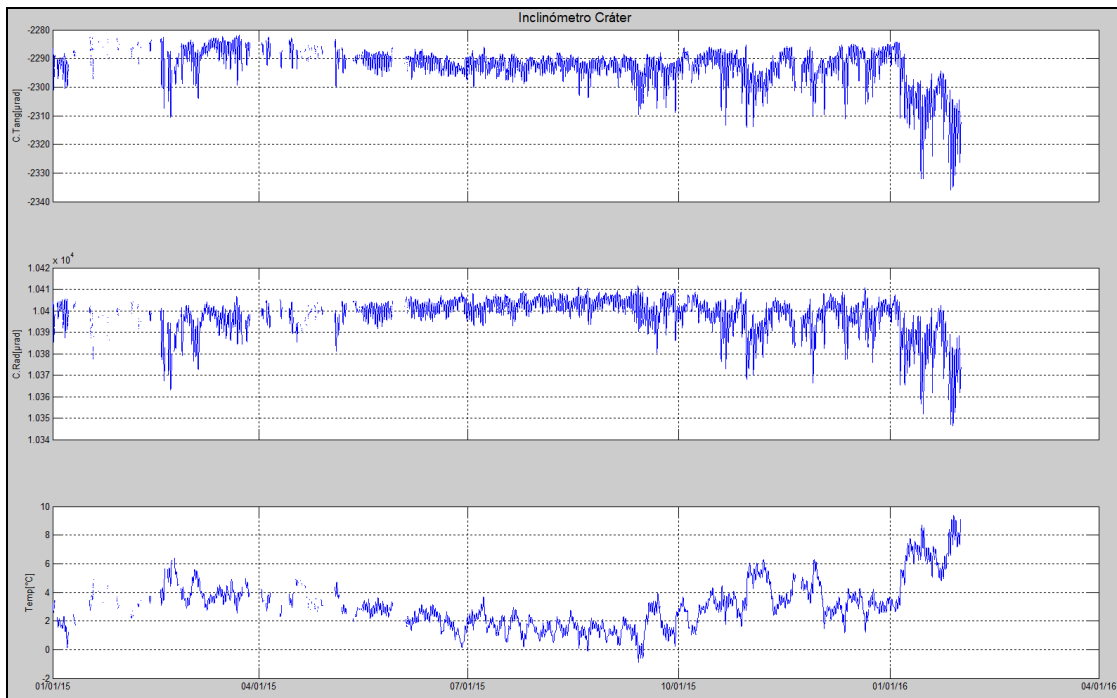
En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, se observó en la componente de inclinación Tangencial de Huairatola un ligero comportamiento ascendente que registra 31  $\mu\text{rad}$  entre el 13 de diciembre de 2015 y el 11 de enero de 2016, posteriormente se presenta un descenso que alcanza los 18  $\mu\text{rad}$  hasta finales de enero (Figura 12). La componente Norte del inclinómetro Urcunina muestra estabilidad desde el mes de noviembre de 2015, por su parte en la componente Este se evidencian variaciones que pueden estar relacionadas con el comportamiento del sensor de temperatura del equipo (Figura 13). Los inclinómetros electrónicos de Cráter, Peladitos, Calabozo, Cobanegra, Arles y Cóndor muestran variaciones que pueden estar asociadas con los fenómenos atmosféricos de la región (Figuras 14, 15, 16, 17, 18 y 19).



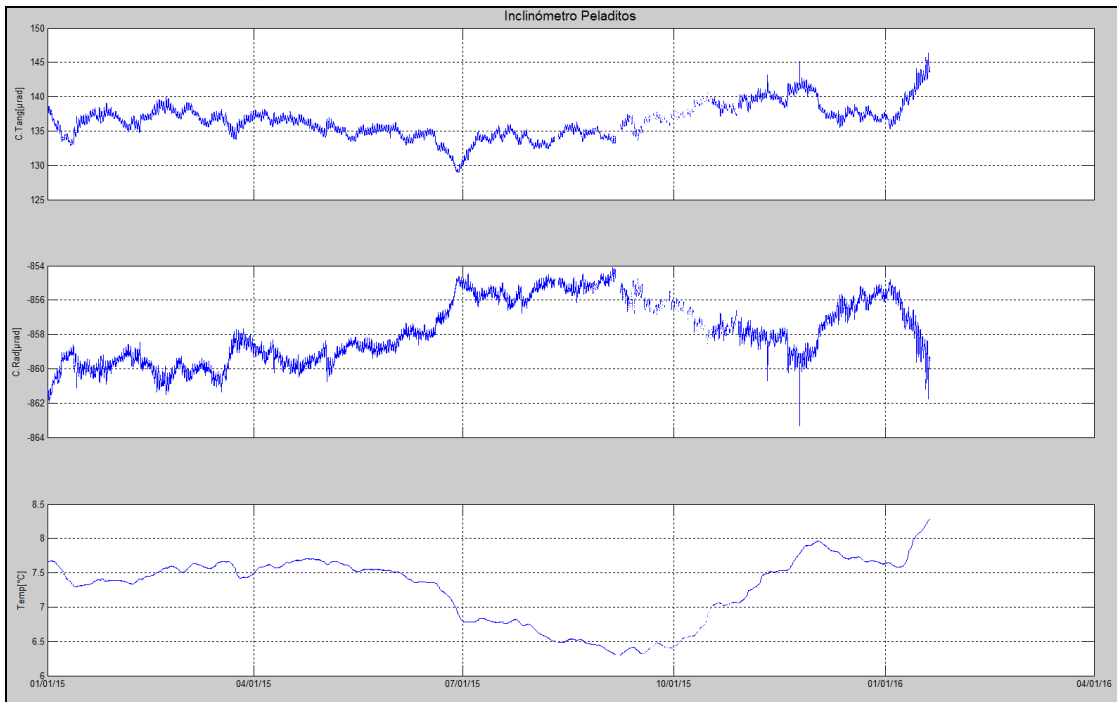
**Figura 12.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



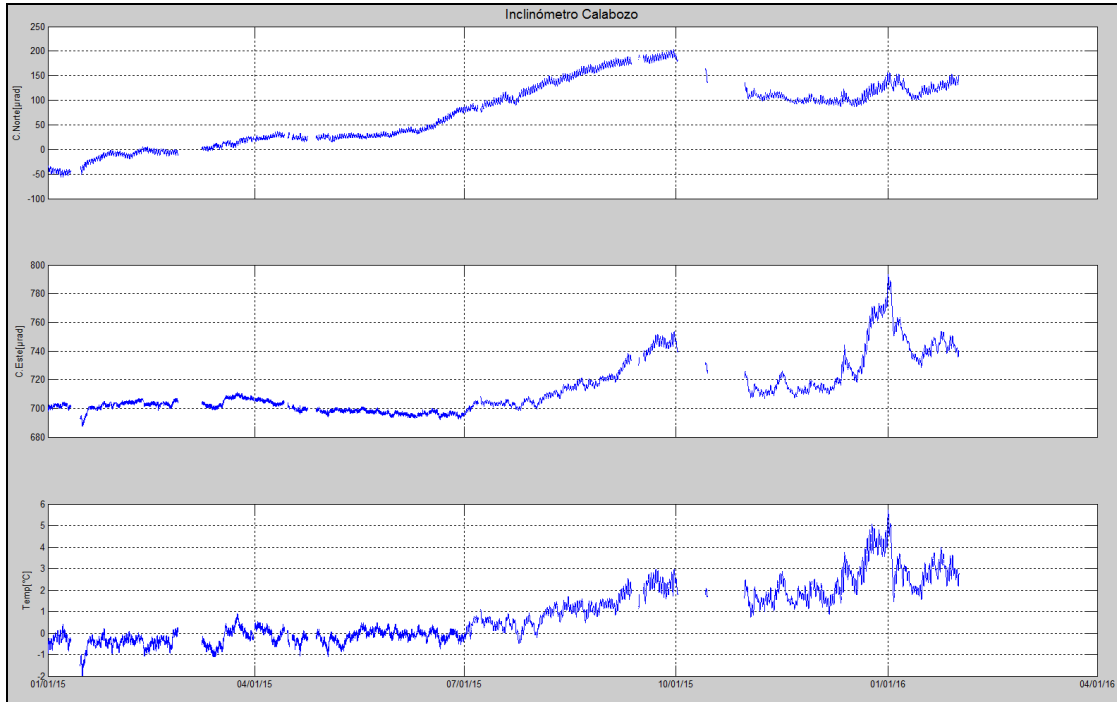
**Figura 13.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre marzo de 2015 y el 31 de enero de 2016.



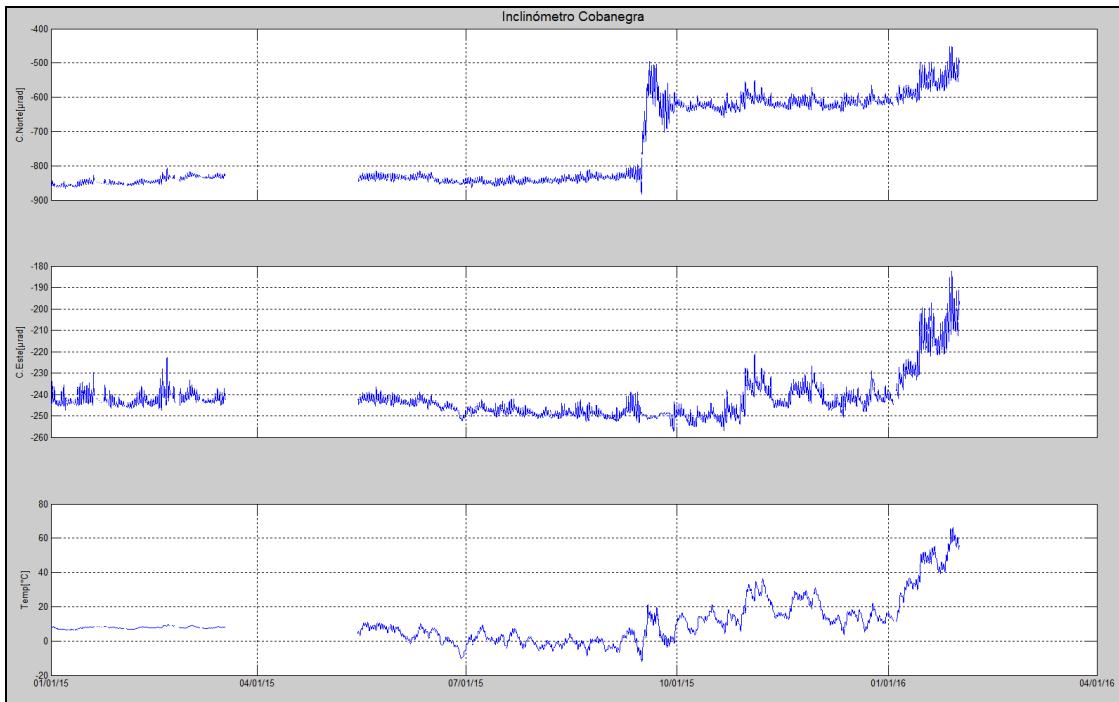
**Figura 14.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



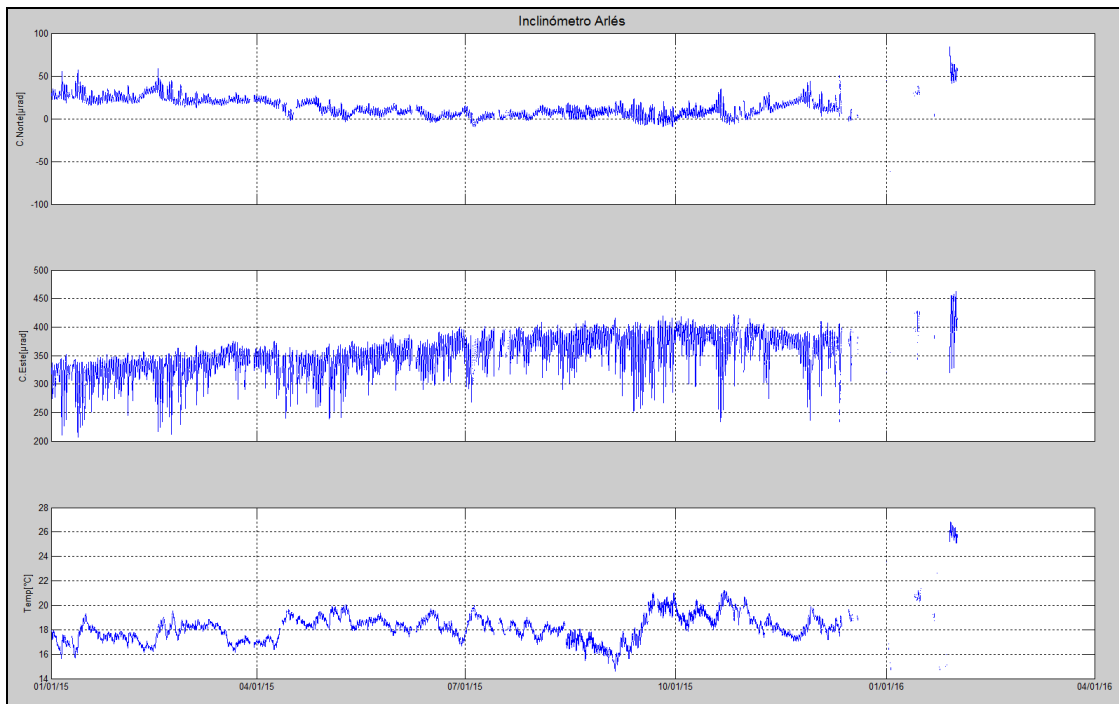
**Figura 15.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



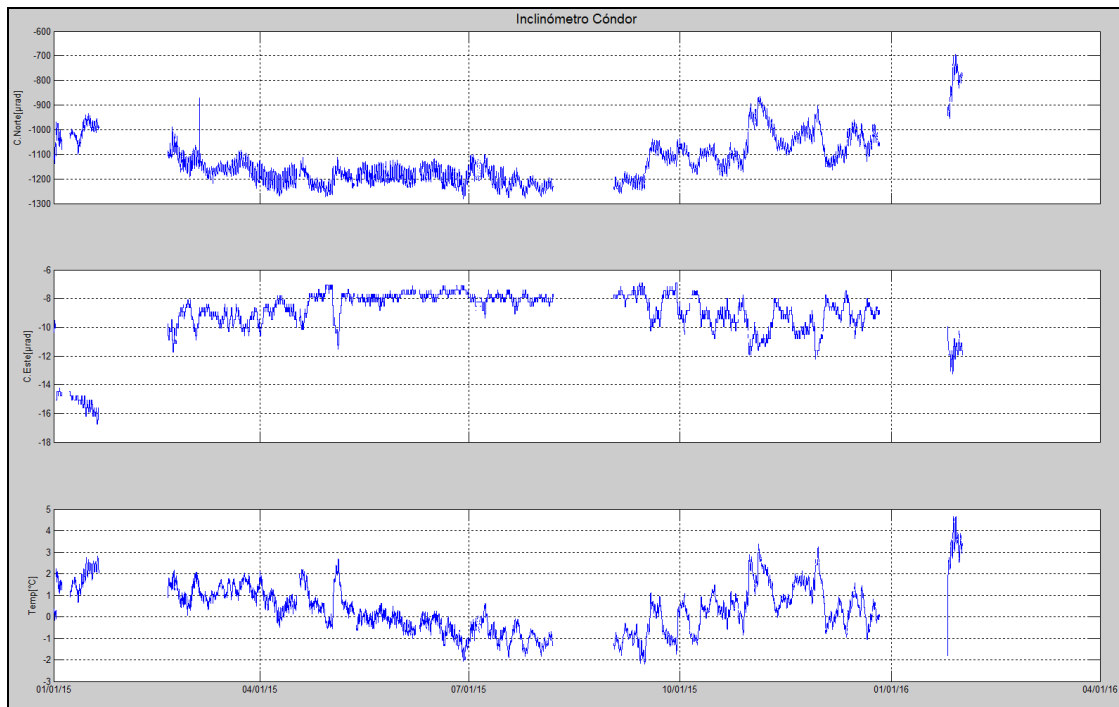
**Figura 16.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 17.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 18.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 19.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cándor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.

### 1.3.2. Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras

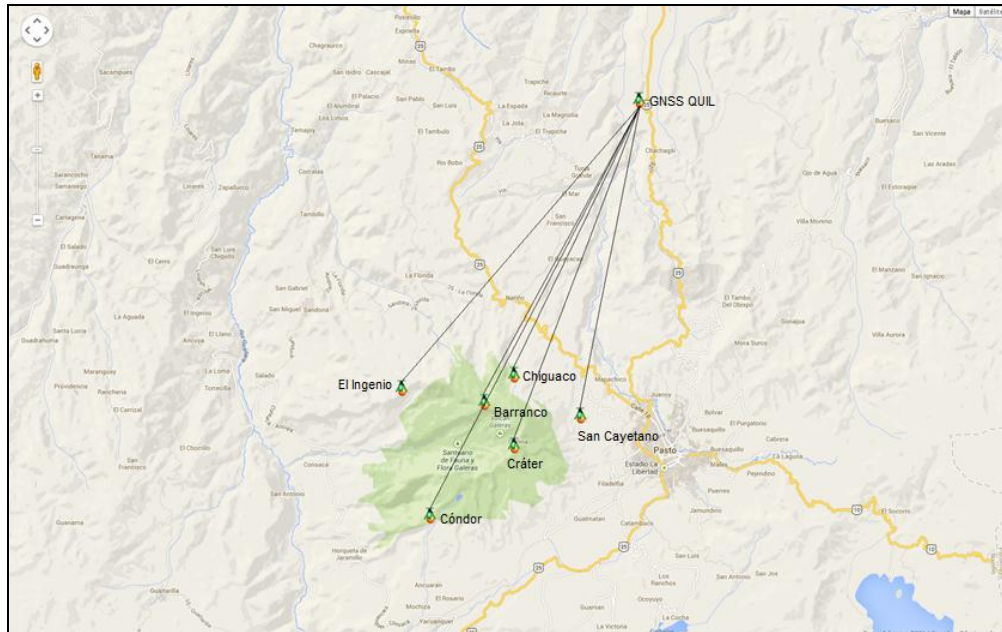
En este periodo no se realizaron medidas de EDM en la zona del volcán Galeras.

### 1.3.3. Estaciones GNSS permanentes

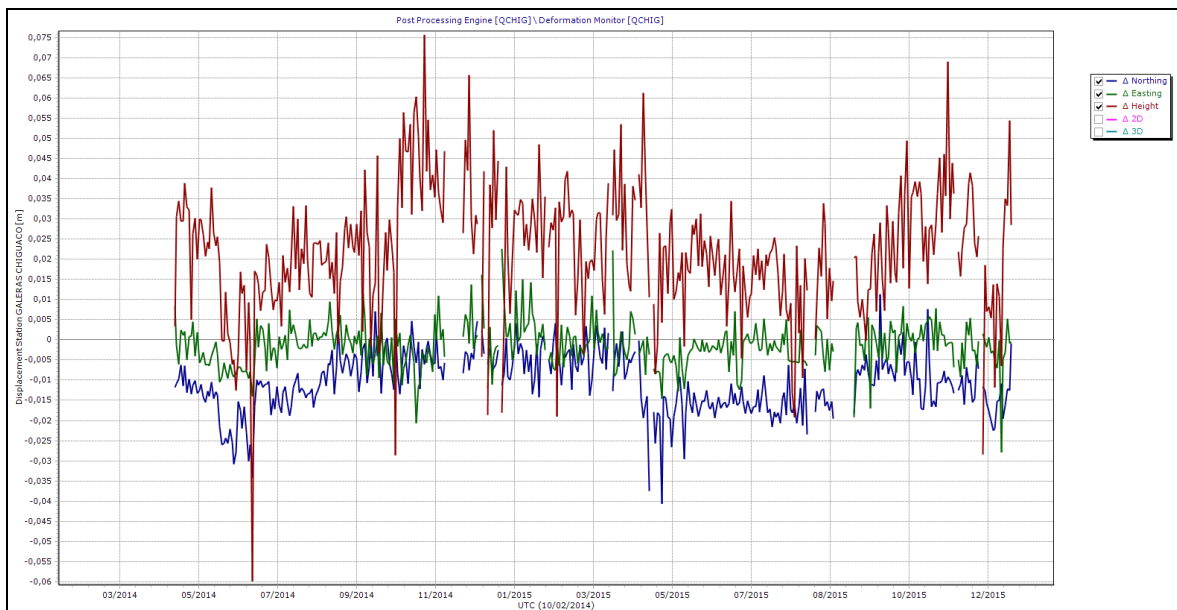
La mayor parte del tiempo evaluado se contó con el registro de 5 estaciones receptoras GNSS, ya hacia finales de enero fue posible reestablecer la señal de la estación Cándor.

Para el análisis se contempló inicialmente un procesamiento diferencial de la información suministrada por estas estaciones considerando una estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20.6 km de distancia respecto al cráter, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano. En la Figura 20 se muestra la ubicación de las estaciones instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL.

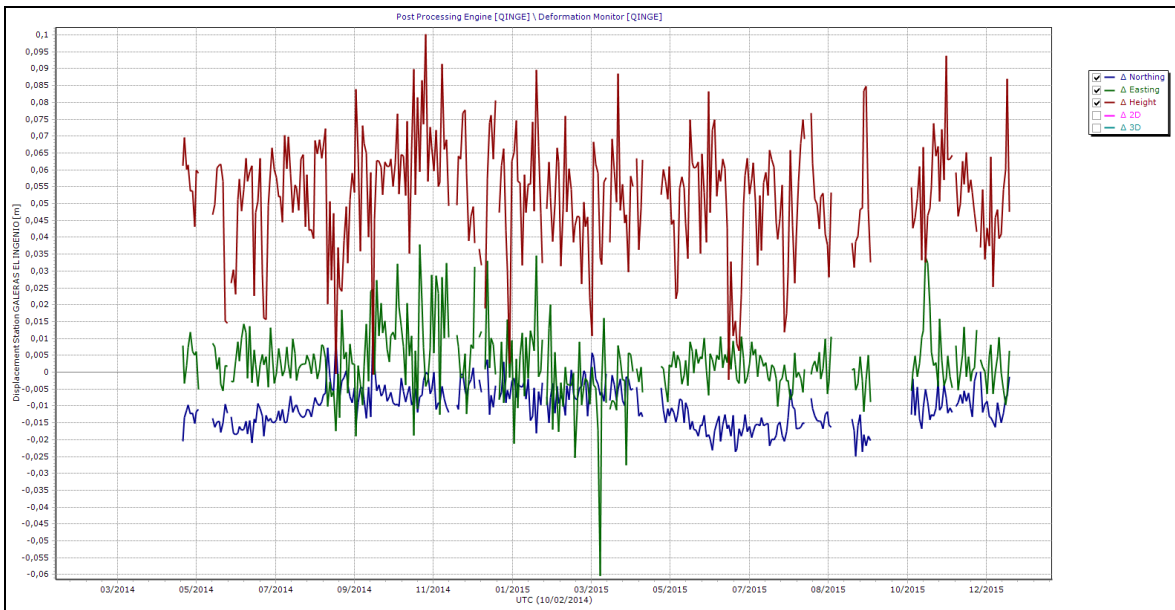
Con relación al procesamiento diferencial, con ayuda de la estación de referencia estaríamos eliminando las variaciones mostradas por los movimientos tectónicos, por lo cual resultarían las variaciones propias asociadas a la actividad volcánica, en el periodo evaluado no se observan variaciones, ni tendencias de resaltar (Figuras 21, 22, 23, 24, 25 y 26).



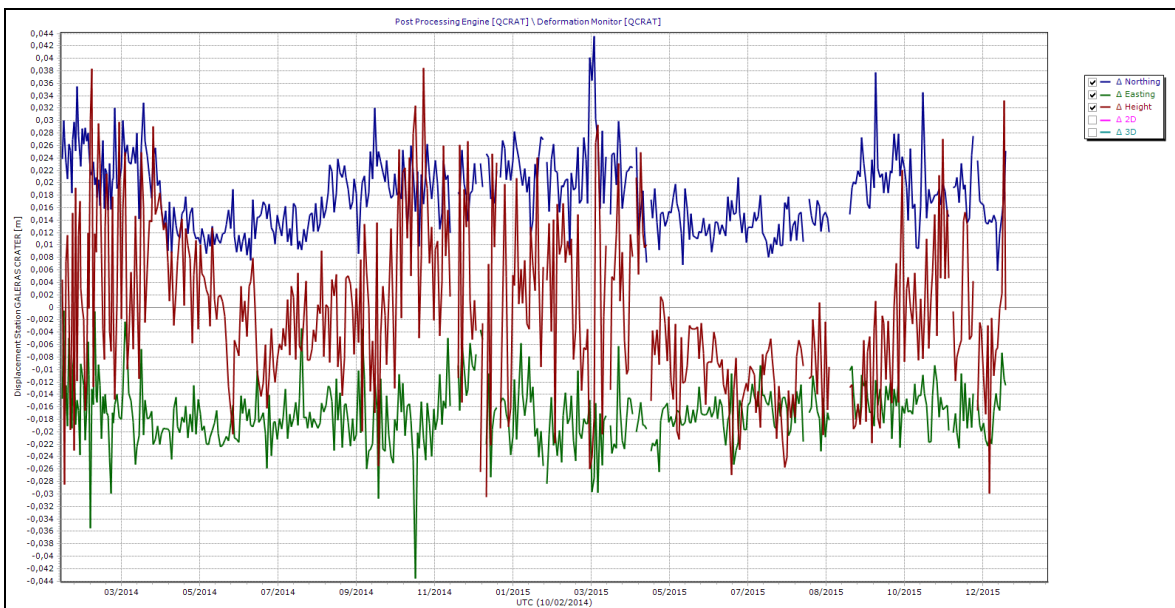
**Figura 20.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.



**Figura 21.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2014 y el 11 de enero de 2016.

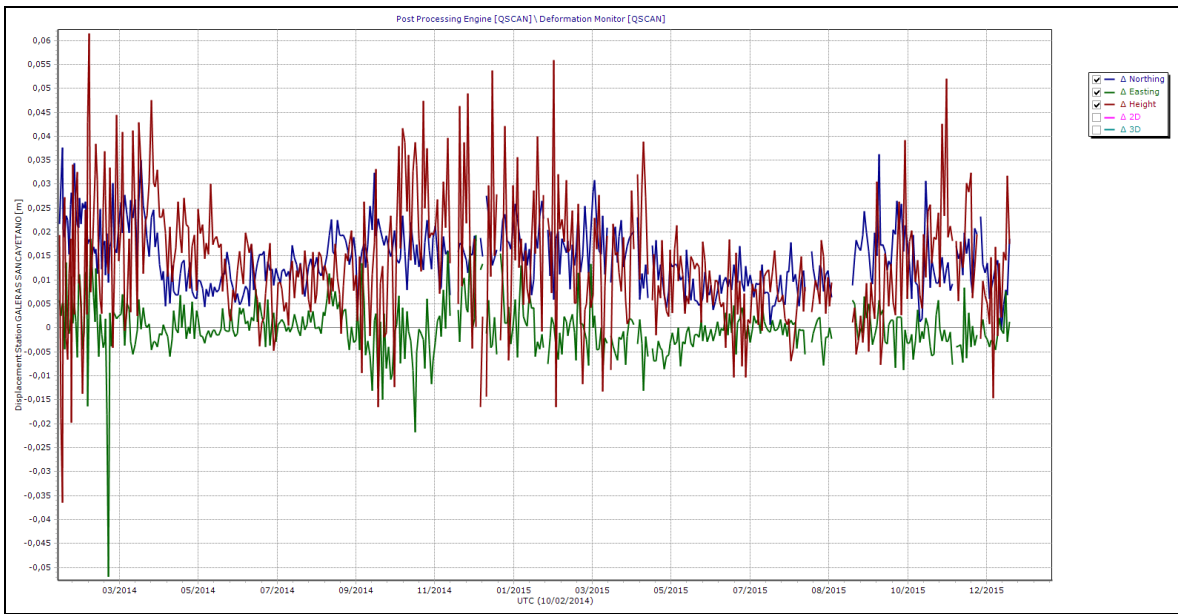


**Figura 22.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2014 y el 11 de enero de 2016.

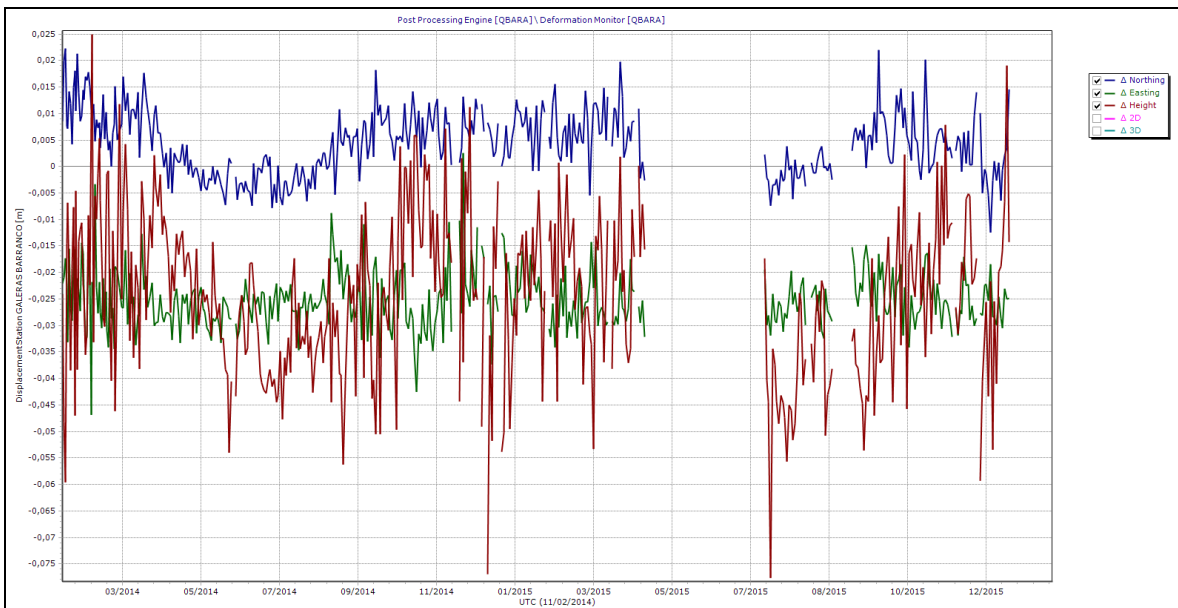


**Figura 23.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre enero 2014 y el 11 de enero de 2016.

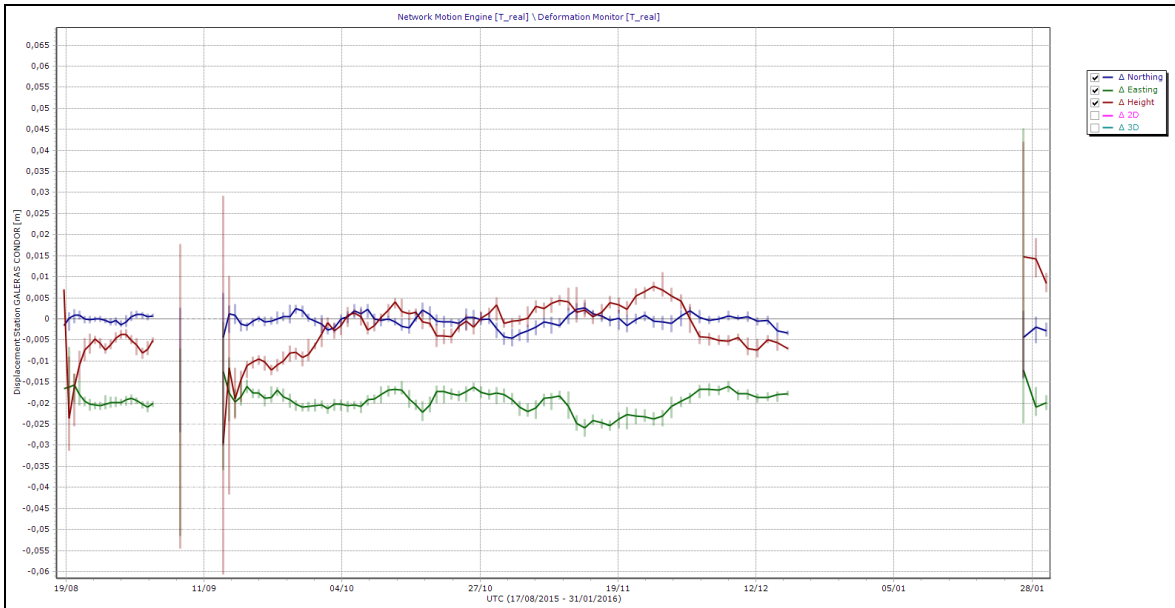




**Figura 24.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero 2014 y el 11 de enero de 2016.



**Figura 25.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 11 de enero de 2016.

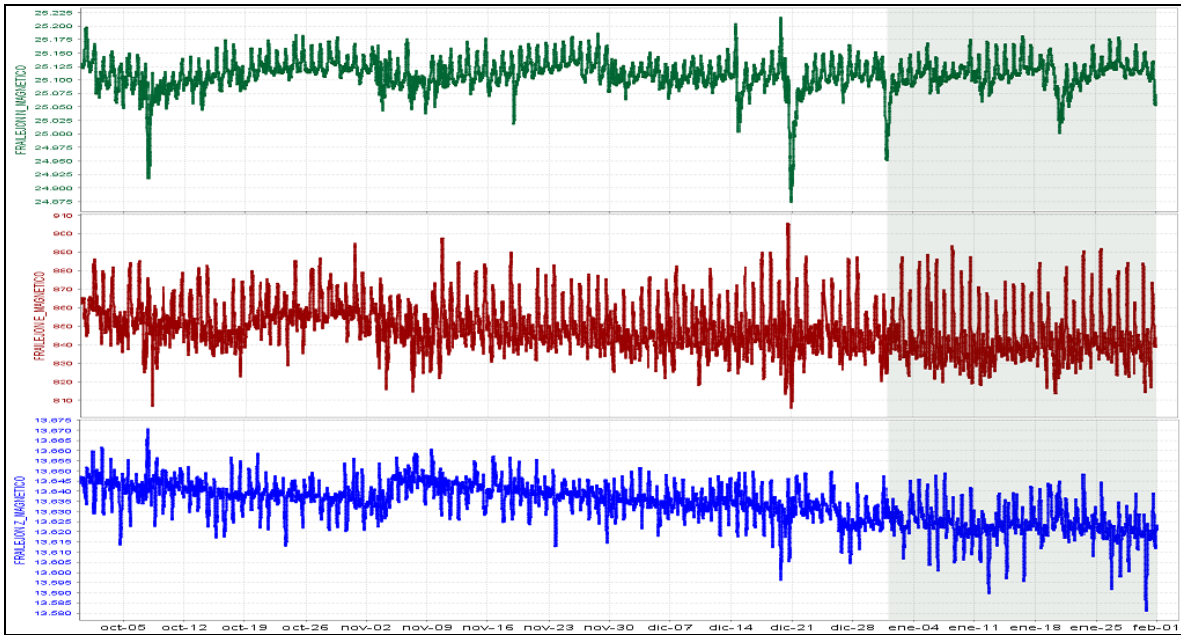


**Figura 26.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre agosto de 2015 y enero de 2016.

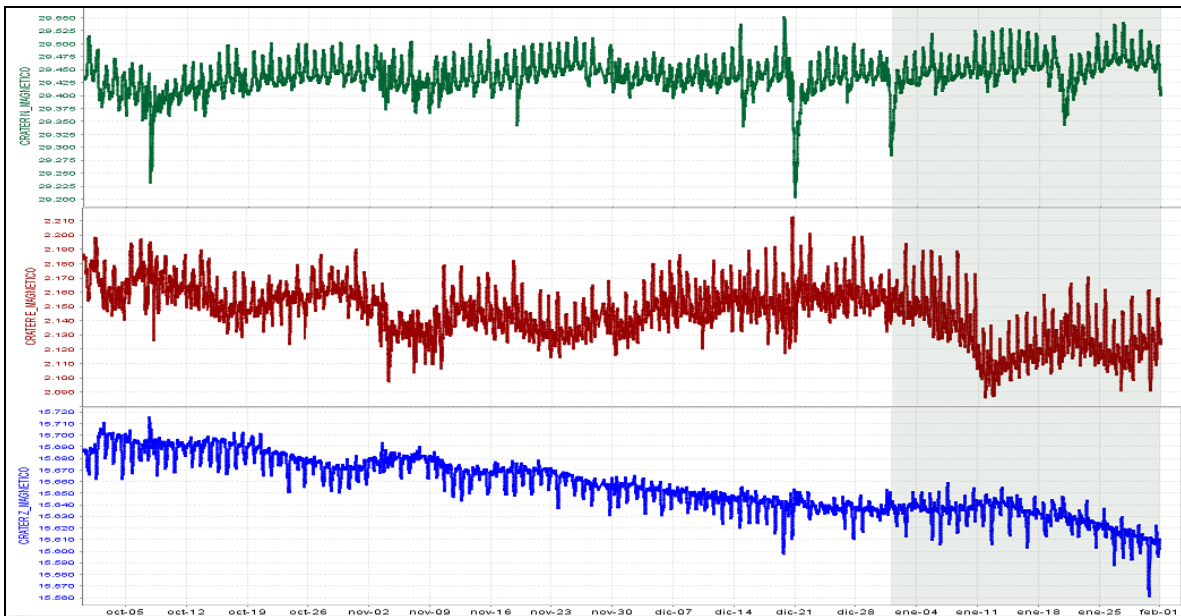
#### 1.4. ELECTROMAGNETISMO.

Para el mes de enero de 2016, la red de monitoreo de campos eléctricos y magnéticos estuvo trabajando con las tres estaciones instaladas para el monitoreo de magnético, Frailejón, Barranco y Cráter y, las dos estaciones de monitoreo de las variaciones de los campos eléctricos: Frailejón y Barranco.

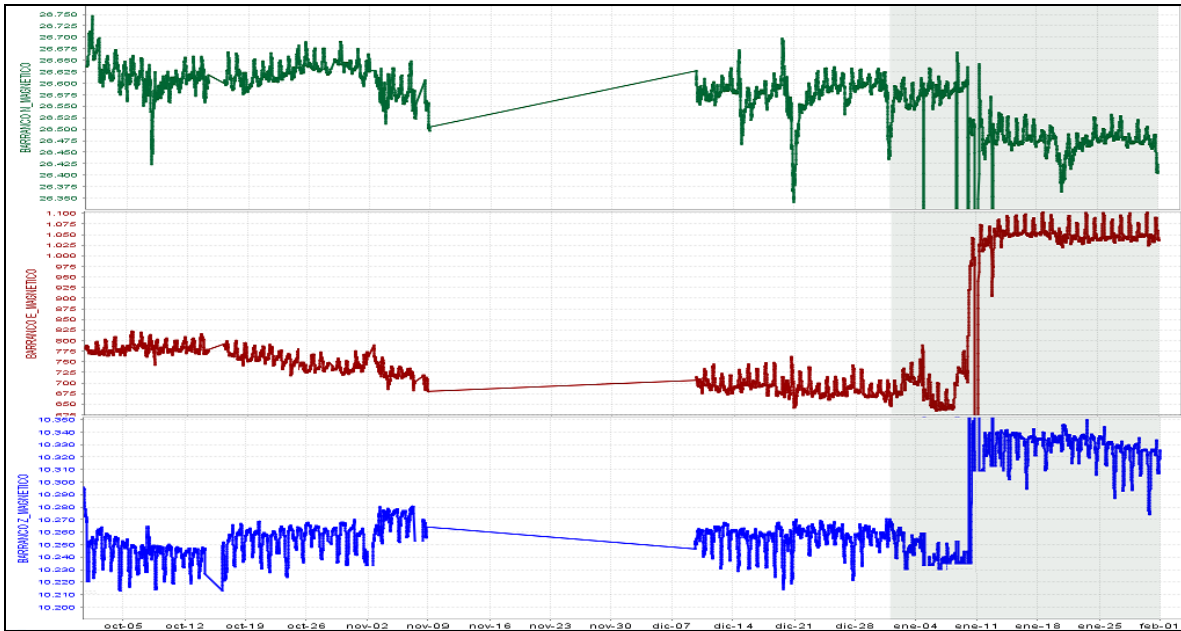
Con relación a las variaciones magnéticas, los registros muestran en general comportamientos estables en las tres estaciones de monitoreo de los campos magnéticos durante el mes de enero (Figuras 27, 28 y 29), con las variaciones propias de los cambios día-noche, debidos a los efectos solares, y una ligera tendencia descendente en las componentes verticales de las tres componentes, que es de muy bajo nivel y no se puede asociar a cambios en el comportamiento de la actividad volcánica. Se resalta el cambio ocurrido el 20 de enero, que se asocia con cambios del campo magnético terrestre externo y que se confirma con su registro en las componentes horizontal y total de la estación de referencia Kourou, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (Figura 30). Los valores promedio de las variaciones del campo magnético total, para el mes de enero de 2016 fue de alrededor de 28.600 nT, para la estación de Cráter de 33.400 nT y para la estación de Barranco de 28.500 nT.



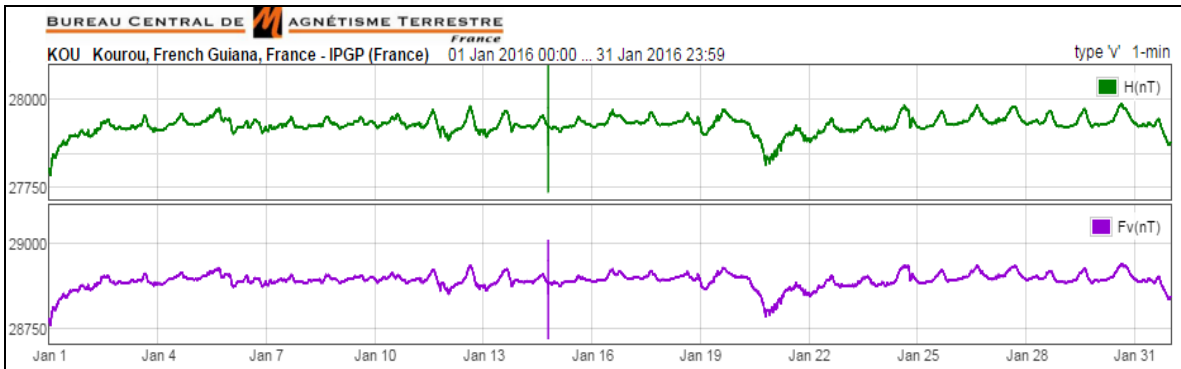
**Figura 27.** Variaciones del campo magnético, en la estación Frailejón, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.



**Figura 28.** Variaciones del campo magnético, en la estación Cráter, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.

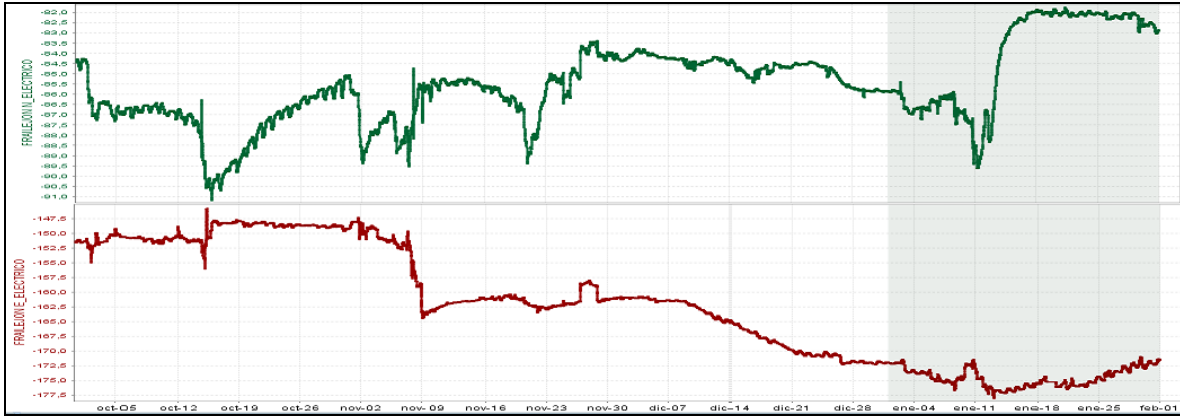


**Figura 29.** Variaciones del campo magnético, en la estación Barranco, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.

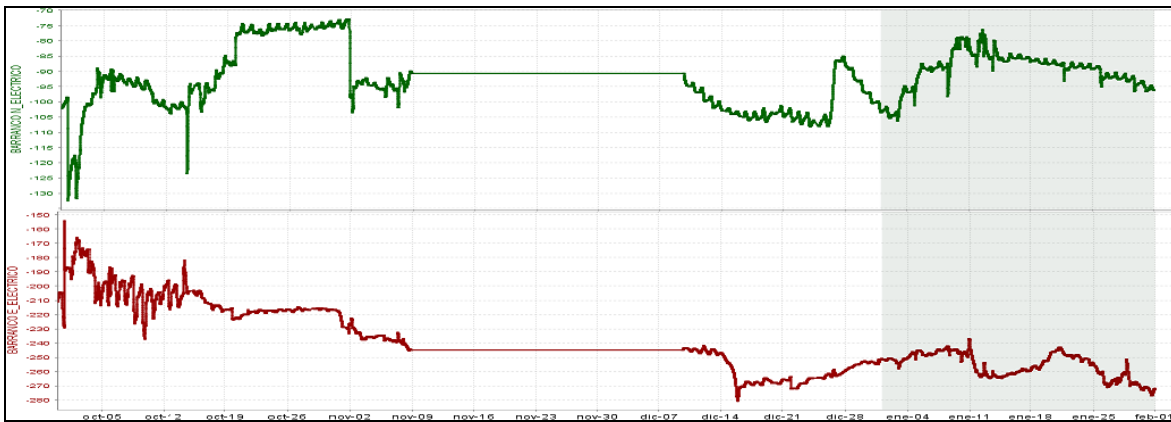


**Figura 30.** Variaciones del campo magnético, en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de enero de 2016. Componente horizontal H (verde) y componente total F (magenta). La escala de medición está dada en nano Teslas.

En enero de 2016, las variaciones de los campos eléctricos, en las estaciones de monitoreo en el volcán Galeras muestran cambios que se han asociado principalmente con los efectos de lluvia en la zona, que aun cuando han sido bajas, el cambio brusco de condiciones secas a lluviosas generan variaciones importantes en los registros. La componente norte de la estación de Frailejón muestra un nivel de registro estable, posterior al 10 de enero (día de lluvia) en un nivel de  $-82$  mV/m, la componente este muestra un comportamiento más estable, con un nivel de variación de  $-174$  mV/m (Figura 31). El cambio total promedio en esta estación fue de alrededor de  $192$  mV/m. La estación de Barranco muestra gran variación; sin embargo, el promedio de variación total en la estación es de alrededor de los  $272$  mV/m (Figura 32).

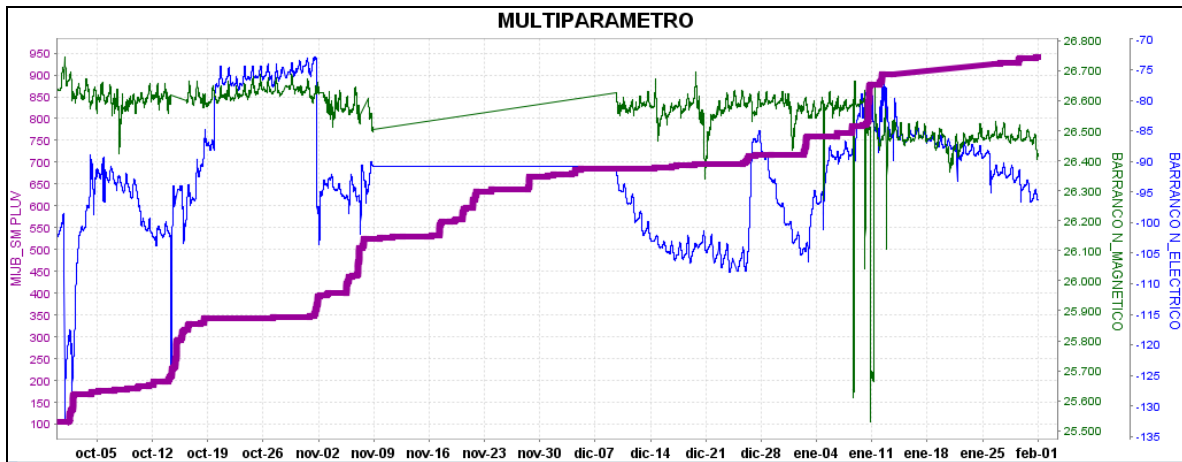


**Figura 31.** Variaciones del campo eléctrico, en la estación Frailejón, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja). La escala de medición está dada en mili voltios por metro.



**Figura 32.** Variaciones del campo eléctrico, en la estación Barranco, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja). La escala de medición está dada en mili voltios por metro.

Los procesos de lluvia que se han dado en las zonas donde se encuentran ubicadas las estaciones de monitoreo, muestran que en la zona donde se encuentra ubicada la estación de Barranco, las lluvias han sido fuertes y con tormentas eléctricas, ocasionando variaciones mayores que las del campo magnético en condiciones sin lluvia, generando un salto en el nivel normal de los registros; sin embargo, luego de las tormentas, los registros se estabilizan en un nuevo nivel de variación del campo. Estas tormentas eléctricas y lluvias tienen efectos más fuertes en las estaciones de monitoreo eléctrico, ya que cambian las condiciones de los potenciales espontáneos generados en el subsuelo, y se mantienen en tanto este flujo de agua se mantenga en la zona de la estación. La Figura 33 muestra el comportamiento de las lluvias en una de las estaciones de pluviometría en la zona de influencia del volcán Galeras (Mijitayo Bajo - MIJB), con las componentes norte de las estaciones de monitoreo eléctrico y magnético de Barranco, corroborando la influencia de las lluvias en estas estaciones. Concretamente para el 10 de enero, fecha cuando se presentaron lluvias en la zona, y se observa el cambio de pendiente en la estación MIJB, que indica el incremento en los niveles de lluvia, y se observa la interferencia que ocasiona en los registros de la estación.



**Figura 33.** Variaciones del campo eléctrico, en la estación Frailejón, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015 y enero de 2016 (zona sombreada). Componente NS (verde), EW (roja). La escala de medición está dada en mili voltios por metro.

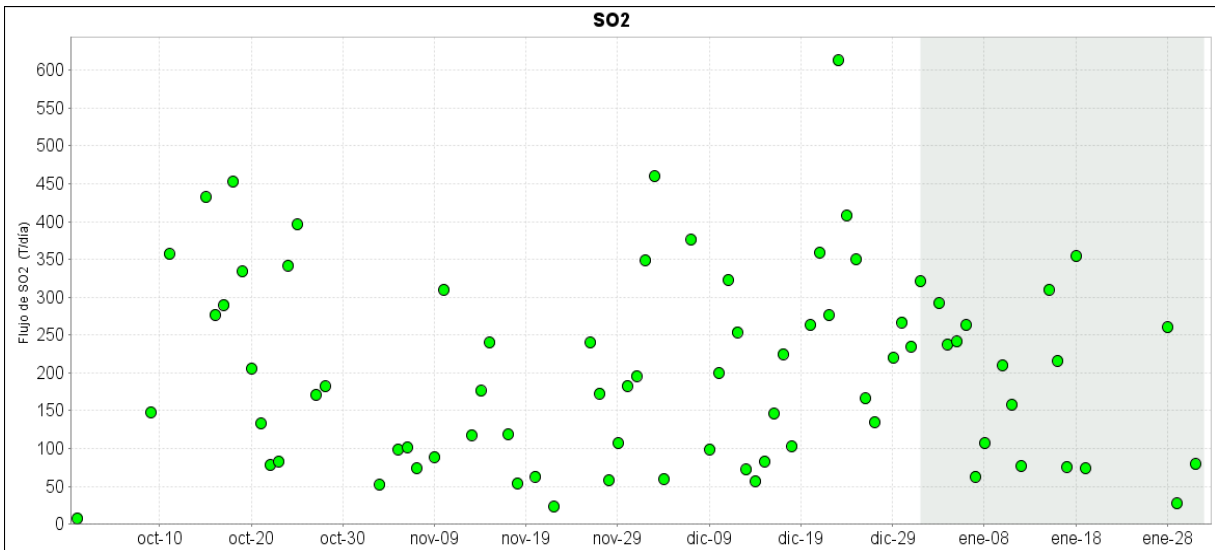
## 1.5. GEOQUIMICA.

### 1.5.1. Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras

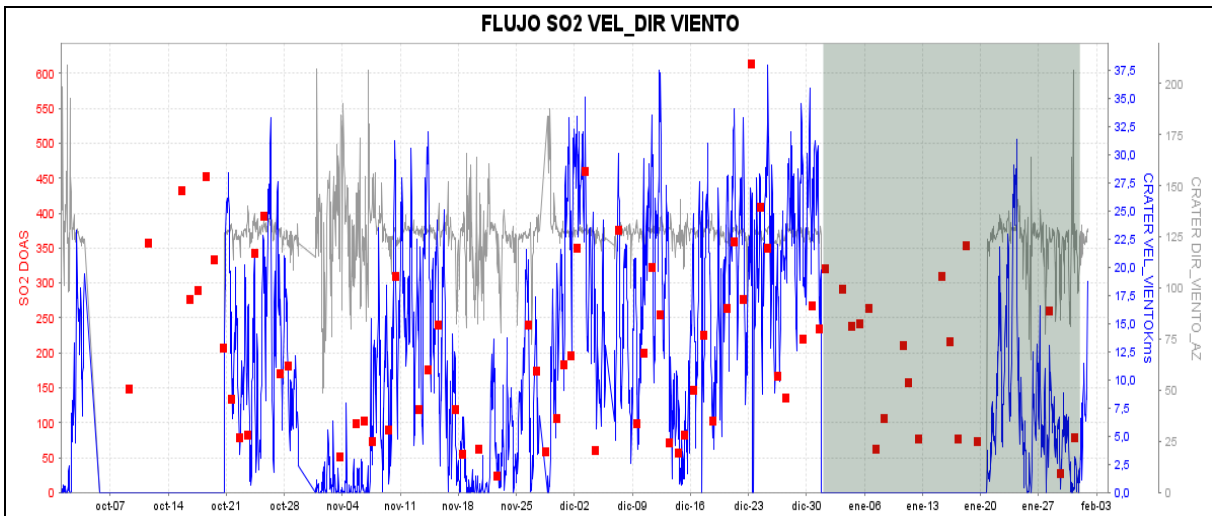
#### 1.5.1.1. Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS

La intrusión de nuevos cuerpos de magma o ascenso del mismo, afecta el flujo de SO<sub>2</sub> hacia la superficie. Los valores estimados de flujo de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) 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 (Figura 3). 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 SO<sub>2</sub> en tiempo real (Euripides et al., 2012). Para el cálculo de flujo de SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>, 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.

Se registran escaneos durante todos los días del mes de enero del 2016, para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, mientras que para la estación Santa Bárbara no se tiene registro de escaneos; registrando valores entre 27 Ton/día hasta 354 Ton/día, valores que son considerados bajos para el volcán Galeras (Figura 34 y 35, Tabla 9).



**Figura 34.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> registrado entre octubre de 2015 y enero de 2016 por los equipos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.



**Figura 15.** Flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), velocidad y dirección del viento entre octubre de 2015 y enero de 2016.

Para este periodo se registra un proceso de desgasificación bajo en Galeras, observado en las imágenes de actividad superficial desde las cámaras web instaladas en cercanías del volcán. Se registran variaciones en la velocidad del viento para los flujos de SO<sub>2</sub> de hasta los 8,3 m/s y una dirección del viento predominante a 335° Azimut aproximadamente. El mayor flujo de SO<sub>2</sub> registrado para el volcán Galeras, durante el mes se presenta el día 18 de enero de 2016 con un valor de 354 Ton/día, considerado como un flujo bajo para el volcán Galeras.

**Tabla 9.** Emisiones de SO<sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de enero de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO2 diario [Ton/día]	Estación de registro	Equipo
01-ene-16	07:32 AM	338	7.9	321	Alto Jimenez	SCANDOAS
03-ene-16	08:03 AM	5.7	8.3	292	Alto Jimenez	SCANDOAS
04-ene-16	09:43 AM	346.2	6.4	238	Alto Jimenez	SCANDOAS
05-ene-16	09:28 AM	4	4.7	241	Alto Jimenez	SCANDOAS
06-ene-16	01:09 PM	345.3	5.9	263	Alto Tinajillas	SCANDOAS
07-ene-16	10:33 AM	359.7	4.8	63	Alto Jimenez	SCANDOAS
08-ene-16	08:44 AM	326.6	2.6	107	Alto Jimenez	SCANDOAS
10-ene-16	03:51 PM	9.4	4.9	210	Alto Tinajillas	SCANDOAS
11-ene-16	07:02 AM	327	2.3	158	Alto Jimenez	SCANDOAS
12-ene-16	02:09 PM	4.4	2	77	Alto Tinajillas	SCANDOAS
15-ene-16	07:01 AM	340	4.9	310	Alto Jimenez	SCANDOAS
16-ene-16	07:32 AM	317.9	5.5	216	Alto Jimenez	SCANDOAS
17-ene-16	08:25 AM	4	4.7	76	Alto Jimenez	SCANDOAS
18-ene-16	07:02 AM	325.2	4.5	354	Alto Jimenez	SCANDOAS
19-ene-16	02:53 PM	8.4	2.6	74	Alto Tinajillas	SCANDOAS
28-ene-16	07:42 AM	315.6	3.6	260	Alto Tinajillas	SCANDOAS
29-ene-16	02:11 PM	348.6	1	27	Alto Tinajillas	SCANDOAS
31-ene-16	07:24 AM	342.7	1	79	Alto Jimenez	SCANDOAS

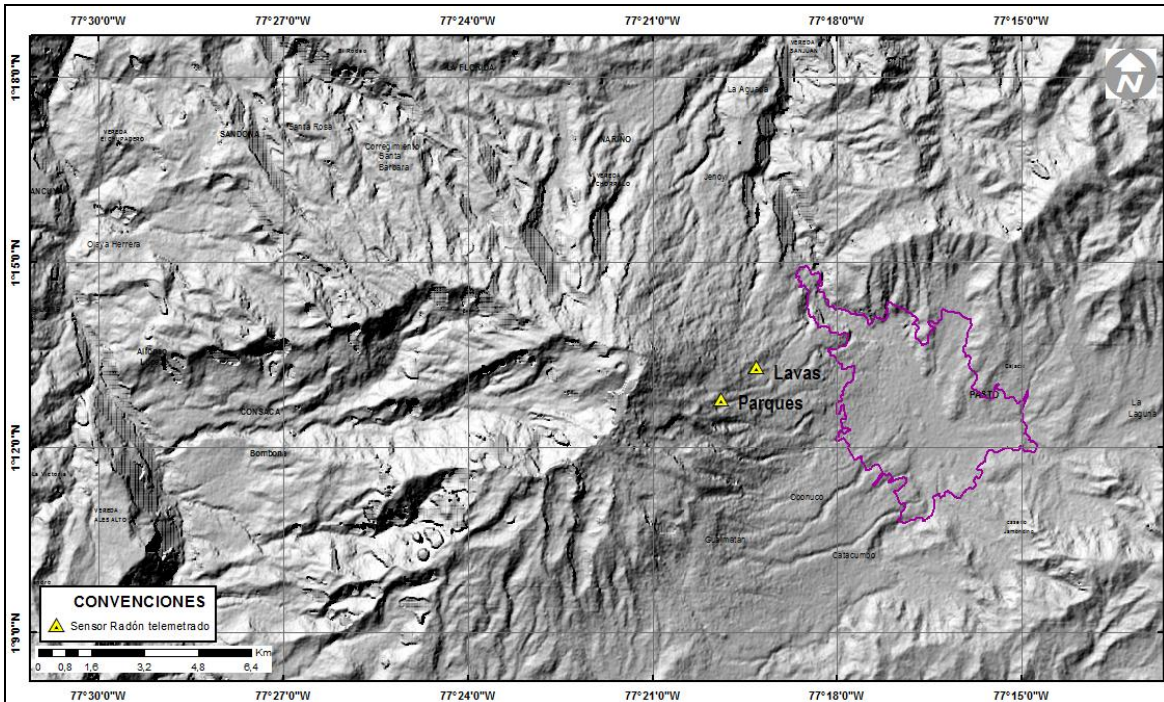
\* Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> [Toneladas/día]. Bajo: ≤ 500; moderado: > 500 y ≤ 1000; alto: > 1000 y ≤ 3000; muy alto: > 3000.

### 1.5.1.2. Flujo de gas Radón 222 – (Rn<sub>222</sub>) telemétrico

Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas. La emisión de radón desde la tierra a la atmósfera, es un proceso permanente que registra valores excepcionalmente altos en zonas de fallas geológicas. En zonas de actividad sísmica y volcánica y específicamente en el área de influencia del volcán Galeras se realizan muestreos de gas Rn 222, ya que es considerado como un posible precursor de la actividad tanto sísmica como volcánica.

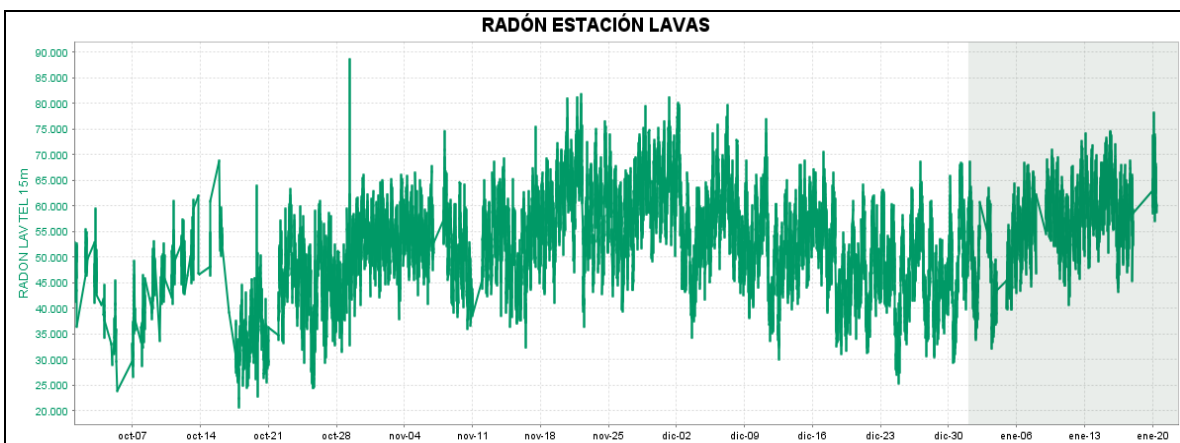
El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 235, tiene una vida media de 3,8 días y no se encuentra más allá de los 50 a 60 m de profundidad, entonces su difusión es la única responsable de su dispersión (Dyck y Smith 1969). La figura 36 corresponde al mapa con la ubicación de las estaciones para medición de flujo de gas Radón, en la zona de influencia del volcán Galeras.





**Figura 26.** Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras.

En la figura 37 se presenta la gráfica del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, se puede observar en la estación Lavas un comportamiento sin variaciones importantes durante el periodo evaluado, no se registran valores superiores al mayor pico registrado en el mes anterior. Se presenta una concentración máxima de 78719 Bq/m<sup>3</sup> (Figura 37, tabla 10). La estación Parques no tuvo registro durante el mes de enero de 2016 por posibles problemas de adquisición en la estación, esta situación se ha informado y se encuentra en revisión.



**Figura 37.** Concentración radón en suelo volcán Galeras - Estación telemétrica Lavas – mes de enero de 2016.

**Tabla 10.** Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – mes de enero de 2016.

Concentración radón (Bq/m <sup>3</sup> )	
Valor promedio	56376
Valor máximo	78719
Valor mínimo	16361

### 1.5.2. Muestreo de aguas en fuentes termales

En este periodo no se realizó muestreo de las fuentes termales ubicadas en área de influencia del volcán Galeras.

## 1.6. 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 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 Bruma (S del cono activo) y en el sector denominado Barranco (NW del volcán). Condiciones de clima favorables permitieron observar emisiones de gases de color blanco durante todos los días del mes. La altura alcanzada por las columnas de gas fue baja respecto a la cima volcánica y la dispersión de éstas 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, principalmente en los campos fumarólicos Chavas al occidente y El Paisita al norte.

En las Figuras 38 a 41 se presentan imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en enero de 2016.



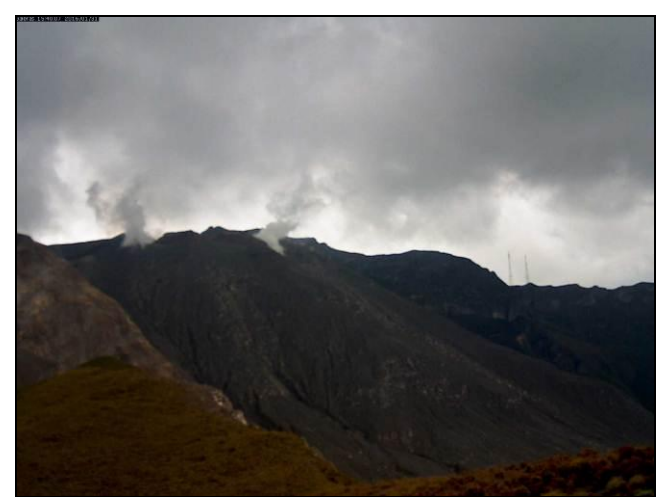
**Figura 38.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 5 de enero de 2016 a las 9:26 a.m.



**Figura 39.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en la repetidora Bruma el 12 de enero de 2016 a las 7:52 a.m.



**Figura 40.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 15 de enero a las 9:06 a.m.



**Figura 41.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 31 de enero de 2016 a las 3:40 p.m.

## 1.7. CONCLUSIONES

- Continúa observándose cambios en el comportamiento de la actividad del volcán, reflejados en las fluctuaciones de la actividad sísmica, siendo la sismicidad dominante aquella asociada a fracturamiento de material cortical, seguida por eventos asociados a movimiento de fluidos de fuente transitoria al interior del sistema volcánico.
- Por medio de la red de cámaras de video del OVSP y gracias a las condiciones climáticas, todo el mes se evidenció emisiones de gases con columnas de baja altura respecto a 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 El Paisita y Chavas 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”**.

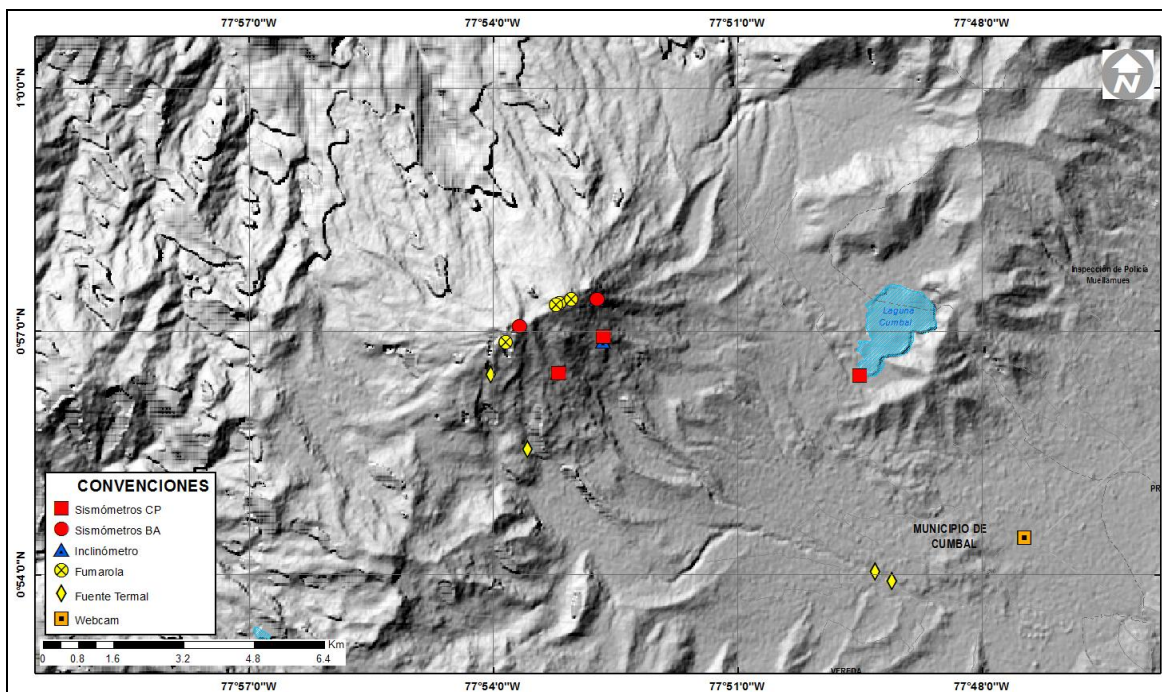
## 2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2016

### 2.1. RED DE VIGILANCIA

En enero de 2016 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 42, Tabla 11).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 42, Tabla 11).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 43).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 42).

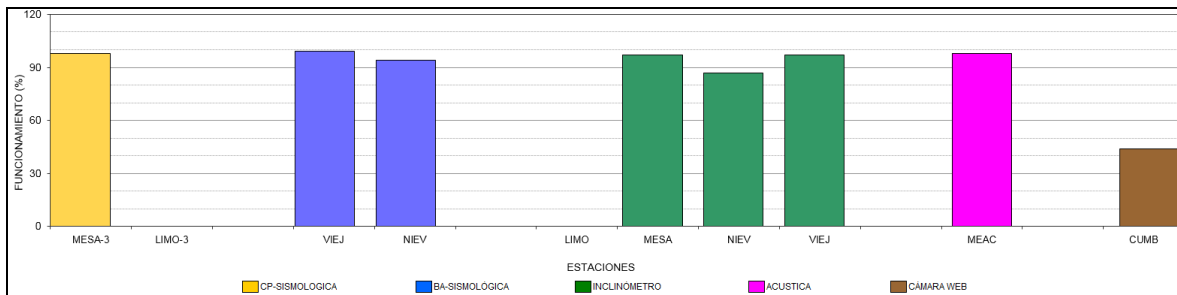
Para este periodo las estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica y la cámara web tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 71,4% (Figura 43).



**Figura 42.** Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de enero de 2016.

**Tabla 11.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante enero de 2016.

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



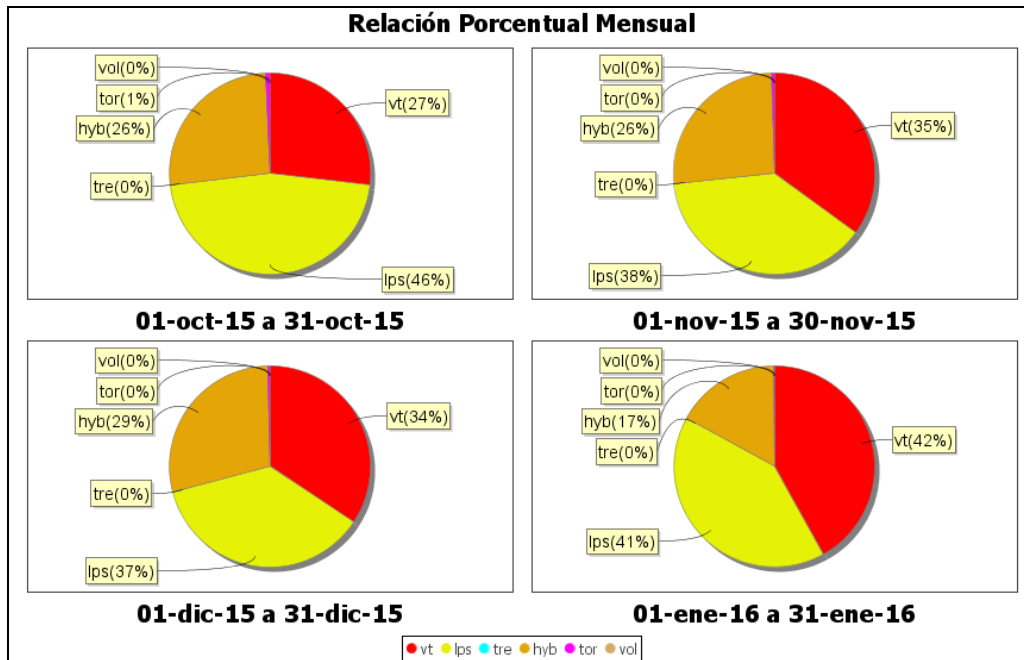
**Figura 43.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2016.

## 2.2. SISMOLOGÍA

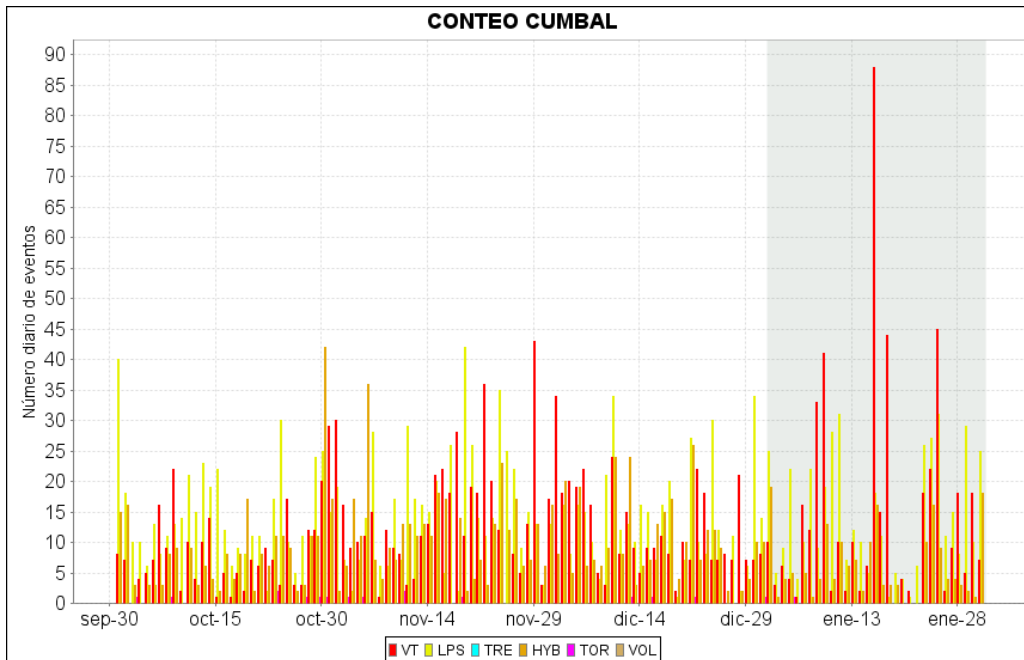
En el mes de enero de 2016, la ocurrencia sísmica disminuyó en un 3% en comparación a diciembre de 2015, pasando de 1118 a 1085 eventos. La sismicidad dominante fue la de tipo VT con un porcentaje del 41,9%, seguido por los eventos tipo LPS % con un 41,1% con el registro de 1 evento tipo Tornillo – TOR, los sismos tipo HYB aportaron con el 17%. En este periodo no se tuvo registro de eventos tipo TRE (Tabla 12, Figuras 44 y 45).

**Tabla 12.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016 (resaltado en color verde).

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	TOTAL
01-oct-15 a 31-oct-15	260	450	0	254	7	971
01-nov-15 a 30-nov-15	429	472	0	322	5	1228
01-dic-15 a 31-dic-15	383	410	0	321	4	1118
01-ene-16 a 31-ene-16	455	446	0	183	1	1085

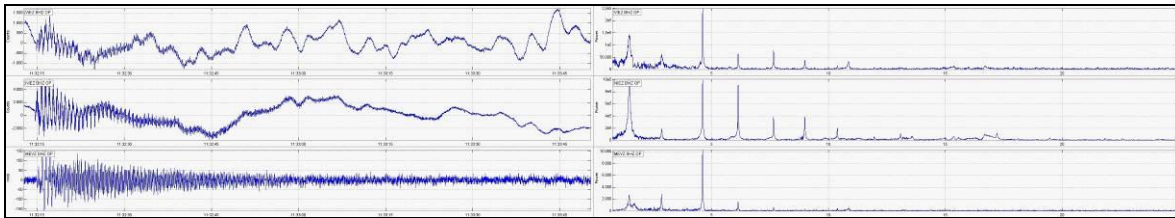


**Figura 44.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre octubre de 2015 y enero de 2016. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.



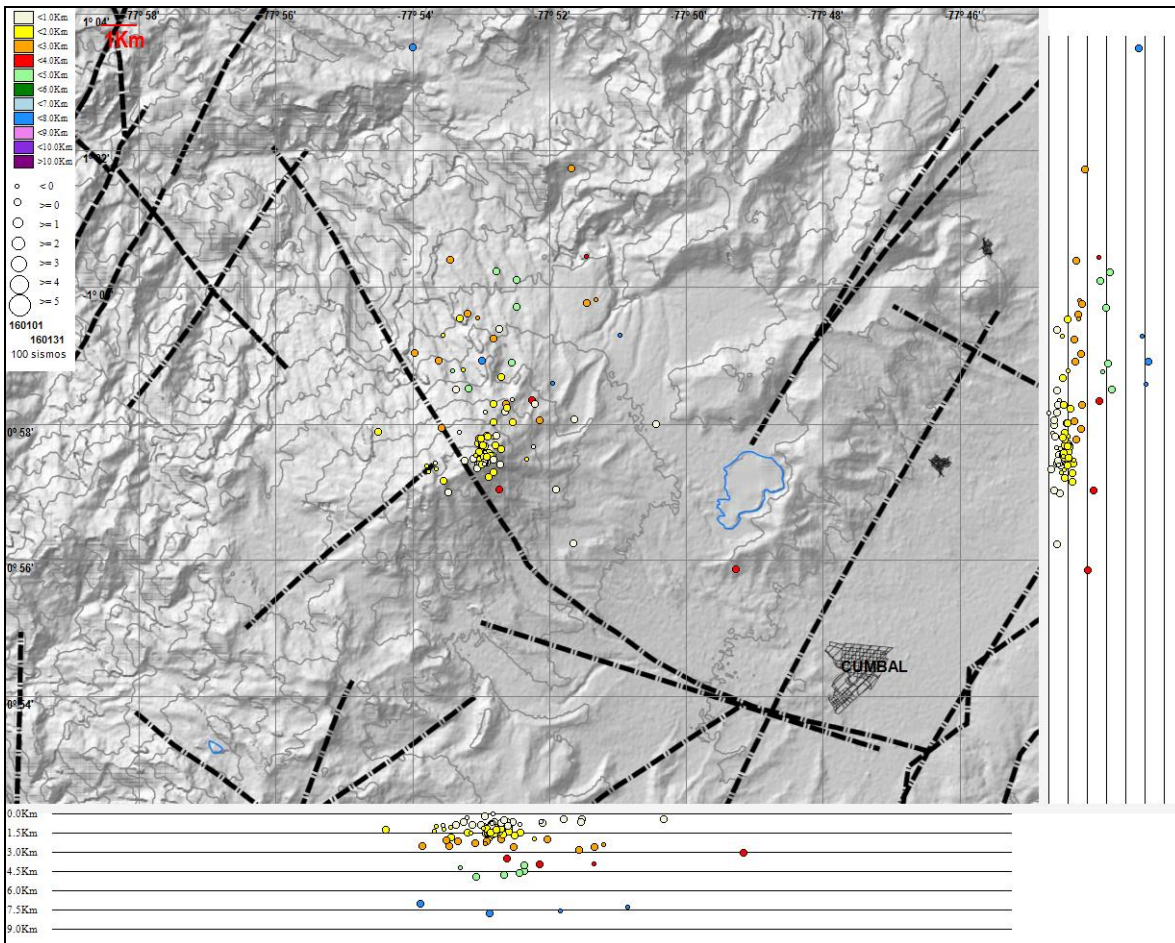
**Figura 45.** Conteo diario de los diferentes tipos de sísmica volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.

La Figura 46 muestra el registro de un evento asociado con movimiento de fluidos tipo TOR registrado el 21 de enero a las 6:32 a.m., con frecuencia dominante de 4,6 Hz y subdominante de 1,8 Hz para la estación Mesa.



**Figura 46.** Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 21 de enero de 2016 a las 6:32 a.m., el evento tuvo una duración de 78 segundos en la estación sísmica Mesa.

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 100 sismos, 97 de ellos tipo VT y 3 HYB, la mayoría de los eventos se localizaron a a distancias menores de 4.0 km, desde el centro del CVC, con tendencia hacia el norte, y a profundidades menores de 3 km respecto de la cima volcánica. Algunos eventos se localizaron de manera dispersa a distancias menores a 12 km y a profundidades menores de 9 km. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 0,8 en la escala de Richter (Figura 47).



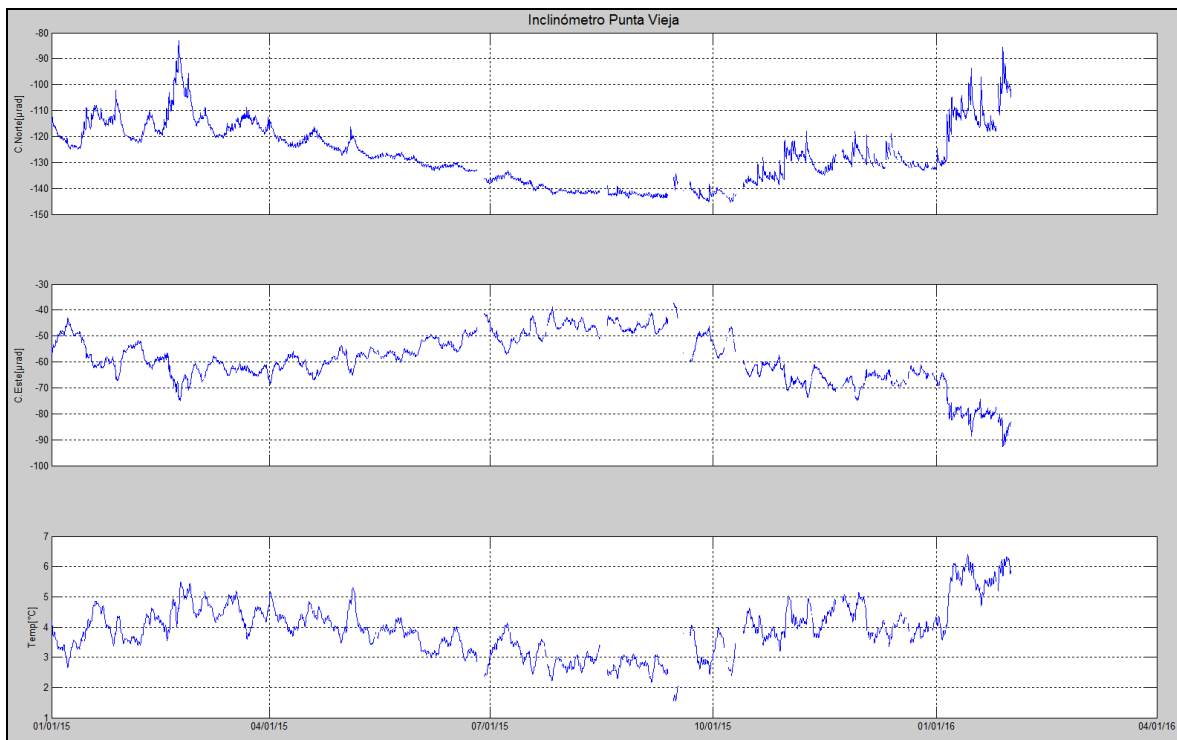
**Figura 47.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de enero de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).



### 2.3. DEFORMACIÓN

Para el periodo evaluado se contó con los datos del inclinómetro Punta Vieja (ubicado a 2 km al noreste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4519 m.s.n.m.), con respecto a Limones, se dejó de recibir señal desde el 18 de diciembre de 2015, en la Mesa se retiró el inclinómetro y la Nieve presenta problemas de funcionamiento en el sensor.

Las variaciones mostradas por las componentes de Punta Vieja presentan mucha similitud a lo registrado por el sensor de temperatura, por lo cual no se pueden asociar a cambios en la actividad volcánica (Figura 48).



**Figura 48.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.

### 2.4. GEOQUIMICA.

En el mes de enero no se realizó muestreo de aguas en fuentes termales ni muestreo de gases en el volcán Cumbal.

## 2.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En enero de 2016 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 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16, permitieron observar emisiones de gases de color blanco, provenientes principalmente de los campos fumarólicos El Verde (en Cumbal), Rastrojo y Boca Vieja (en Mundo Nuevo), las cuales fueron de baja altura y se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos (Figuras 49 y 50).



**Figura 49.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 5 de enero de 2016 a las 7:14 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.



**Figura 50.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 6 de enero de 2016 a las 6:44 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.

## 2.6. CONCLUSIONES

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

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de enero de 2016 permitió mantener para la actividad del volcán Cumbal, en **NIVEL AMARILLO ■ (III)**: “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

### 3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO ENERO DE 2016

#### 3.1. 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 (Figura 51).

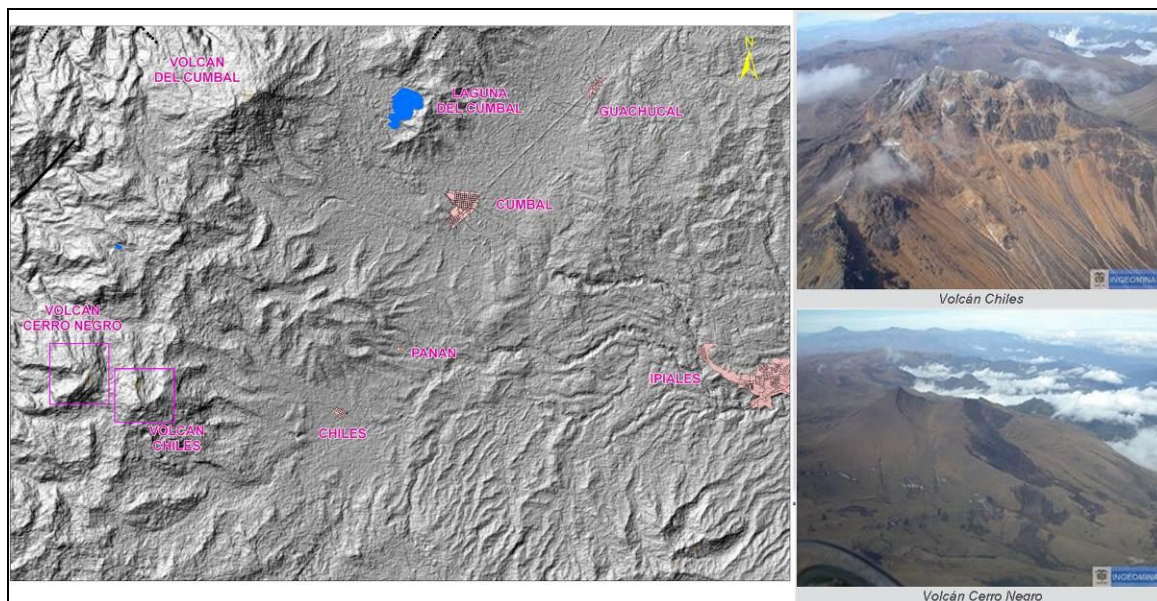
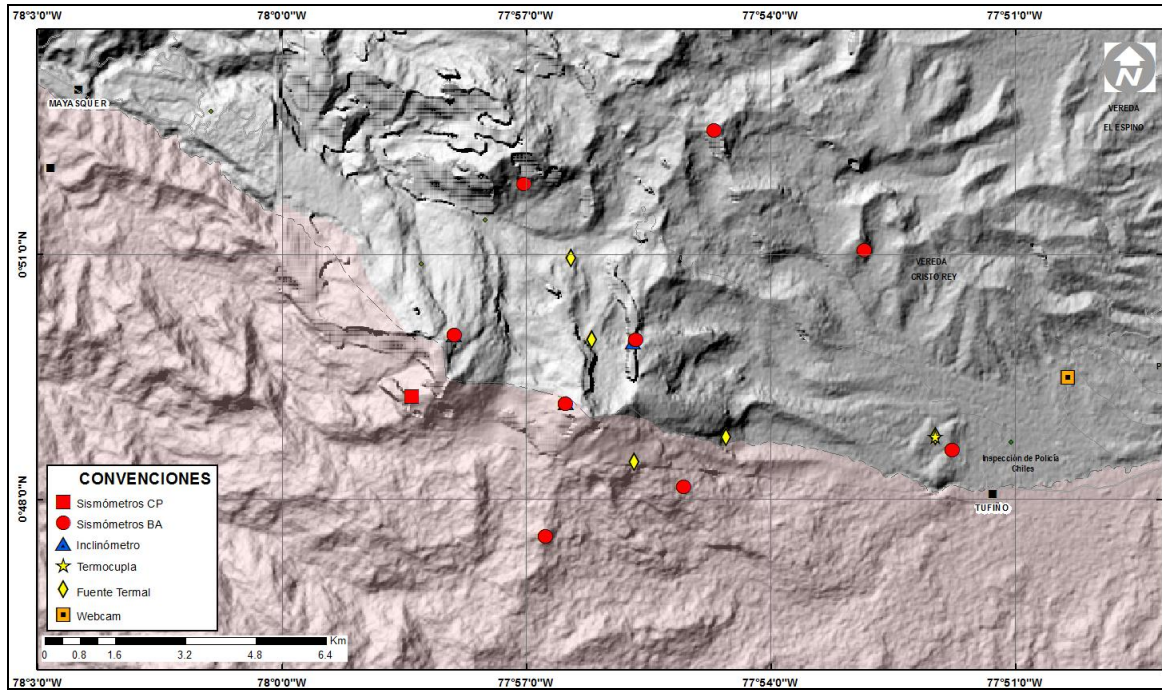


Figura 51. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

#### 3.2. RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha y 2 inclinómetros electrónicos, una de las estaciones ubicada en la cima volcánica en el costado occidental de Chiles (sismómetro e inclinómetro), otra en el sector denominado Canguil (sismómetro y sensor de presión acústica) al nor-noroccidente del volcán Chiles, otra se encuentra en cercanías del volcán Cerro Negro y está conformada por una estación sísmica de banda ancha y un inclinómetro electrónico, ubicada al noroccidente de la parte alta del volcán, la estación Panán, a 7,4 km al nororiente del volcán Chiles, la estación Laguna ubicada al nor-nororiente del volcán Chiles y la estación Termal (Sismómetro), ubicada en el sector de Baño Grande. Además se cuenta con una estación para el monitoreo de la temperatura en la fuente termal Baño Grande ubicada en cercanías del cabildo de Chiles y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 52, Tablas 13 y 14).

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 94,1 (Figura 53).








**Figura 52.** Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2016.

**Tabla 13.** Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

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	Inclínometro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclínometro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750
Termales	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329

Tabla 14. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.

FUENTE TERMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
(A) BAÑO GRANDE		0.81282°	77.86624°	3318
(B) AGUAS HEDIONDAS		0.81256°	77.90923°	3613
(C) LAGUNAS VERDES		0.80758°	77.92791	3894
(D) RÍO BLANCO		0.84928°	77.94092°	3611
(E) EL HONDÓN		0.832535	-77.936713	3948

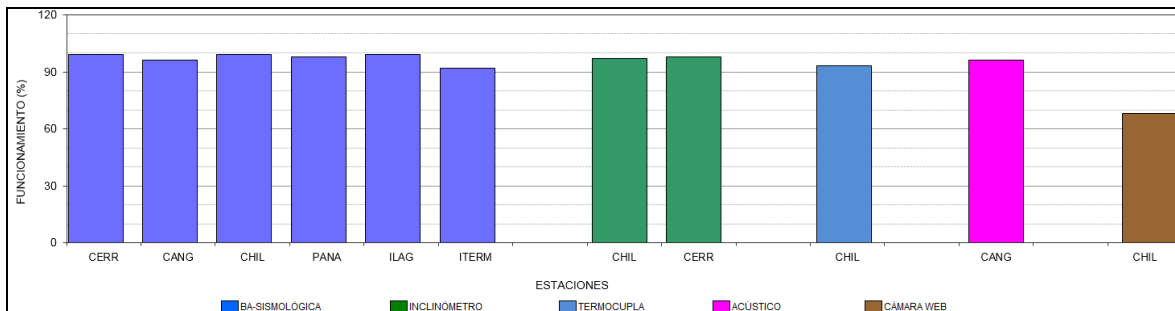


Figura 53. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante enero de 2016.

### 3.3. SISMOLOGÍA

Respecto a la actividad del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de enero de 2016 la ocurrencia sísmica aumentó en un 54,8% respecto a la registrada en diciembre de 2015, pasando de un total de 900 a 1393 sismos, 1364 eventos fueron de tipo VT (Figura 54 Tabla 15). Con la instalación permanente de instrumentación especializada en noviembre 5 de 2013 hasta el 31 de enero de 2016 se han registrado en total 546245 sismos, la gran mayoría registrados entre septiembre 29 de 2014 y 30 de abril de 2015 con 432560 sismos. Se resalta que en los últimos ocho meses la sismicidad tuvo un descenso muy notorio con algunas fluctuaciones en la ocurrencia sísmica diaria, adicionalmente en la actividad sísmica registrada en los seis últimos meses se destaca la presencia de eventos asociados con movimiento de fluidos de tipo magmático a profundidades menores a los 5 km (Tabla 15, Figura 55).

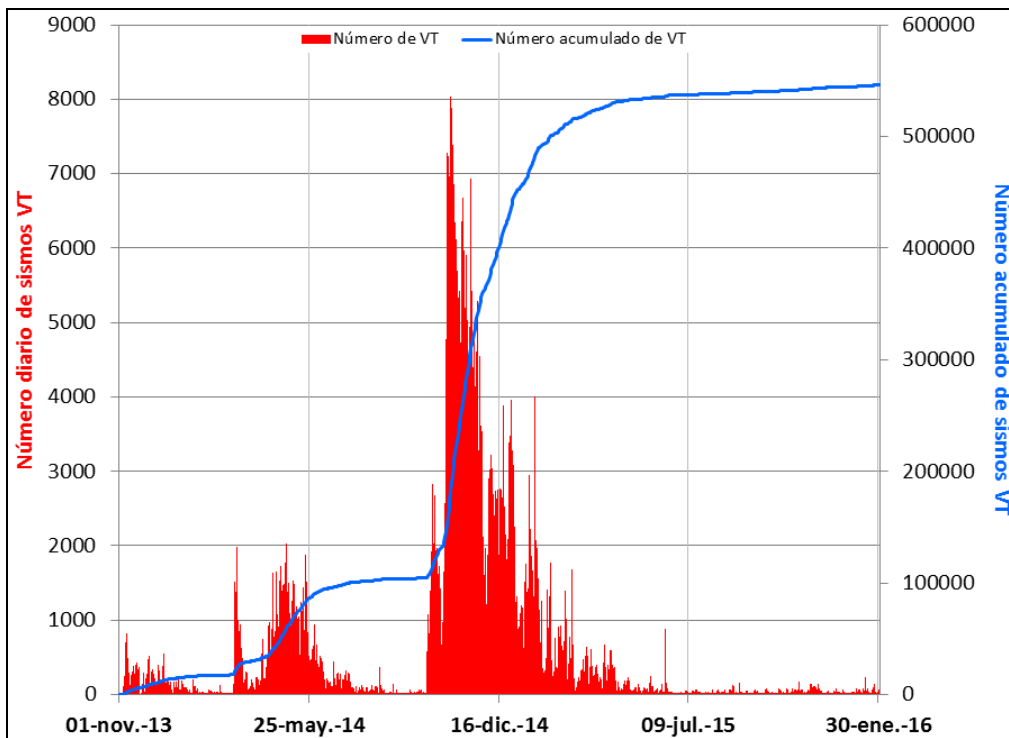
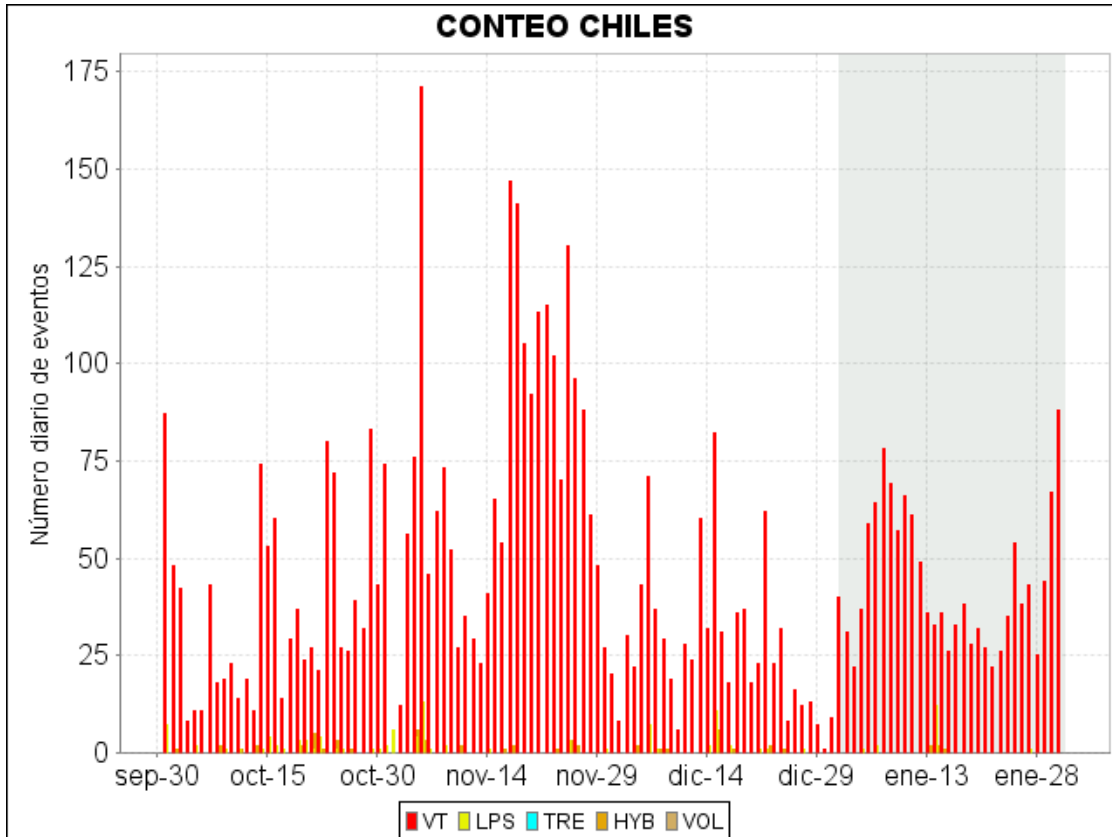


Figura 54. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de enero de 2016.

Tabla 15. Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-oct-15 a 31-oct-15	1169	42	0	18	1229
01-nov-15 a 30-nov-15	2157	33	0	20	2210
01-dic-15 a 31-dic-15	857	29	0	14	900
01-ene-16 a 31-ene-16	1364	24	0	5	1393

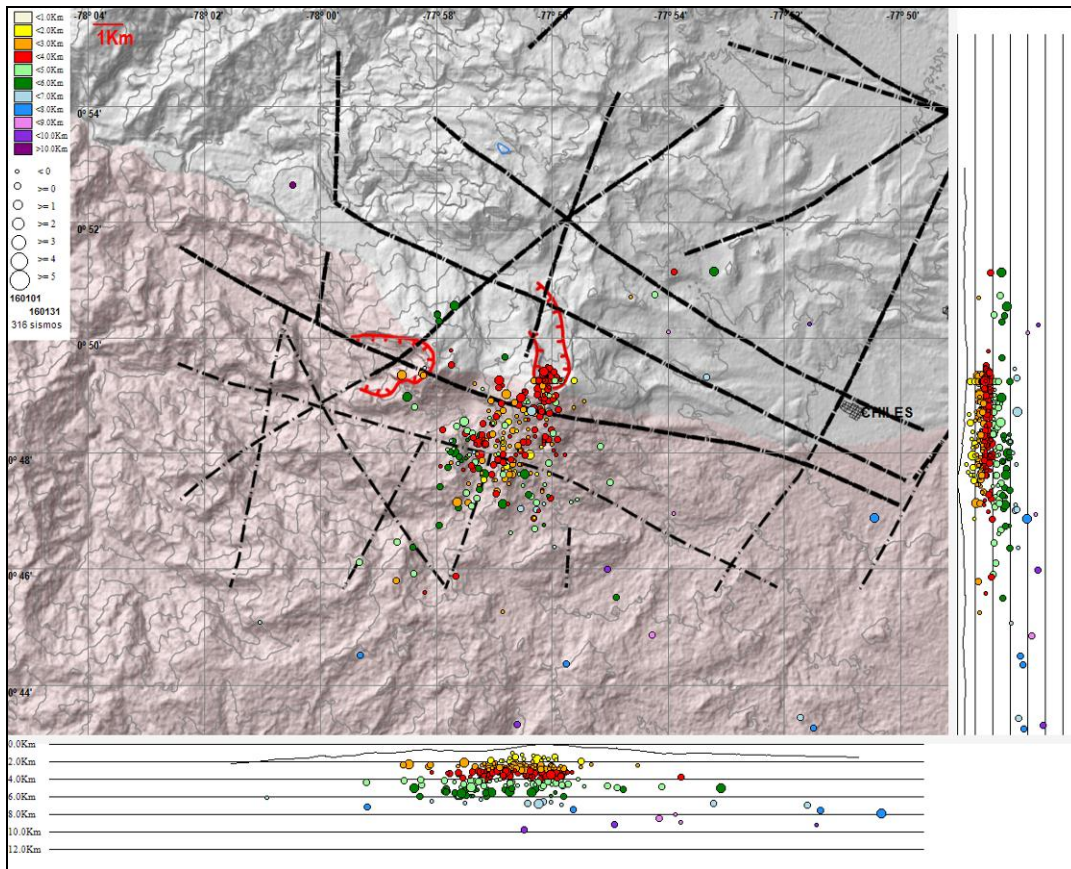


**Figura 55.** Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de octubre de 2015 y enero de 2016.

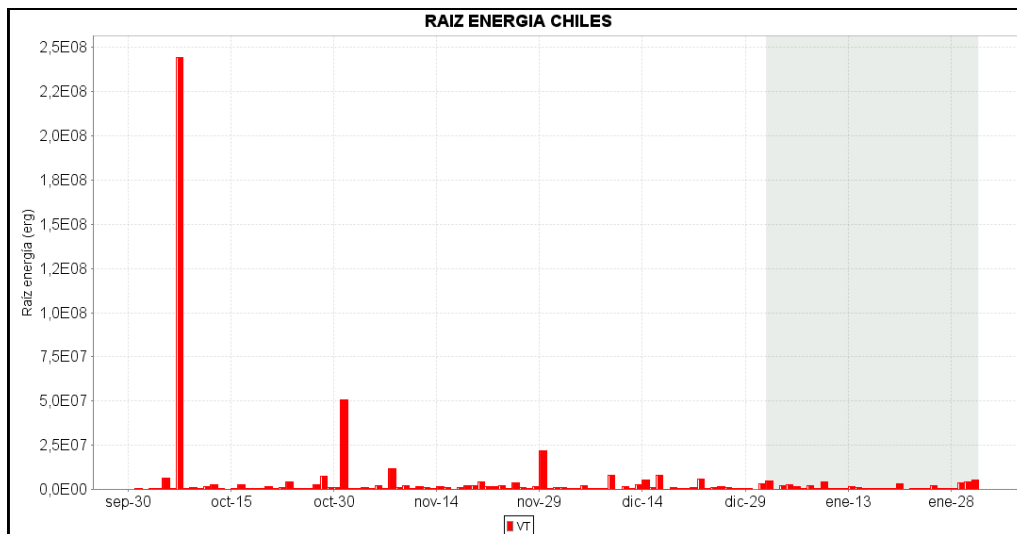
De los 316 eventos localizados, algunos se ubicaron en inmediaciones de la cima y la mayoría hacia el sector suroccidente del volcán Chiles; unos cuantos se ubicaron de manera dispersa hacia el sur y suroriente de este volcán, los sismos se localizaron a distancias epicentrales menores a 14 km respecto al centro del volcán Chiles, a profundidades de hasta 10 km respecto de la cima del volcán (4.700 msnm). Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 1,9 en la escala de Richter (Figura 56), sin embargo la mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 1 en la escala de Richter. En este periodo no se tuvo reportes de sismos sentidos.

Teniendo en cuenta la magnitud local presentada por los eventos localizados, se logró obtener un estimativo de la energía liberada en términos de su raíz cuadrada (Figura 57). Aun cuando el número de sismos incrementó, la energía liberada por estos eventos, fue menor que la del mes anterior, pasando de  $2,2 \times 10^{16}$  ergios a  $1,5 \times 10^{14}$  ergios, lo que indica que la mayoría de sismos ocurridos fueron de bajo nivel energético.





**Figura 56.** 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 enero de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.



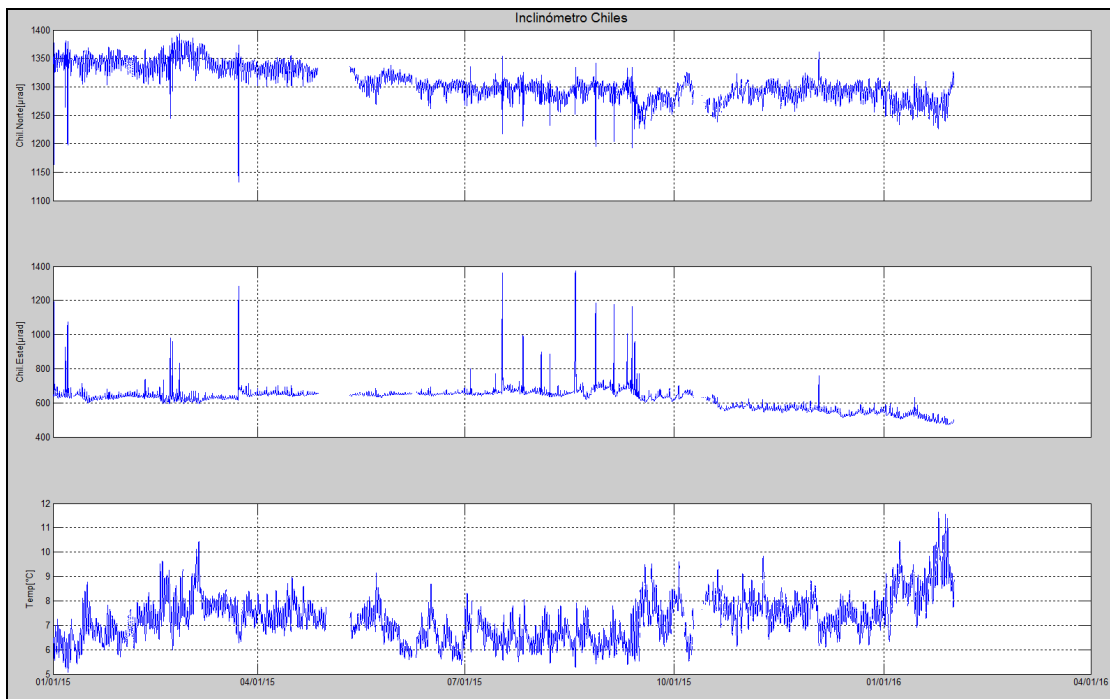
**Figura 57.** Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.

### 3.4. DEFORMACIÓN

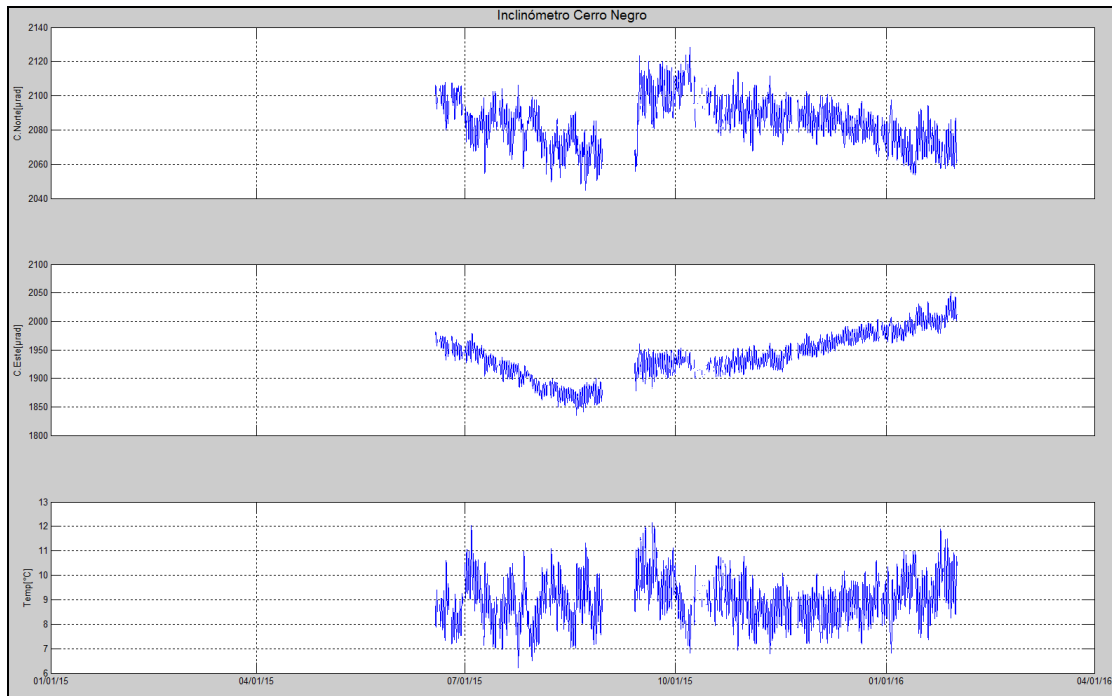
En el periodo evaluado continuó el comportamiento descendente en la componente de inclinación Este del inclinómetro Chiles, variación cercana a los 186  $\mu\text{rad}$  desde el 6 de octubre de 2015, en contraste hacia finales de enero se observa un ligero ascenso en la componente Norte (Figura 58).

De igual forma para el mismo periodo de tiempo continuo el comportamiento ascendente en la componente Este del inclinómetro Cerro Negro, alcanzando desde el 18 de agosto de 2015, 168  $\mu\text{rad}$ , la componente Norte desde el 13 de enero tiende a estabilizarse (Figura 59), es de resaltar que esta venía mostrando una tendencia descendente desde octubre de 2015 registrando 60  $\mu\text{rad}$ .

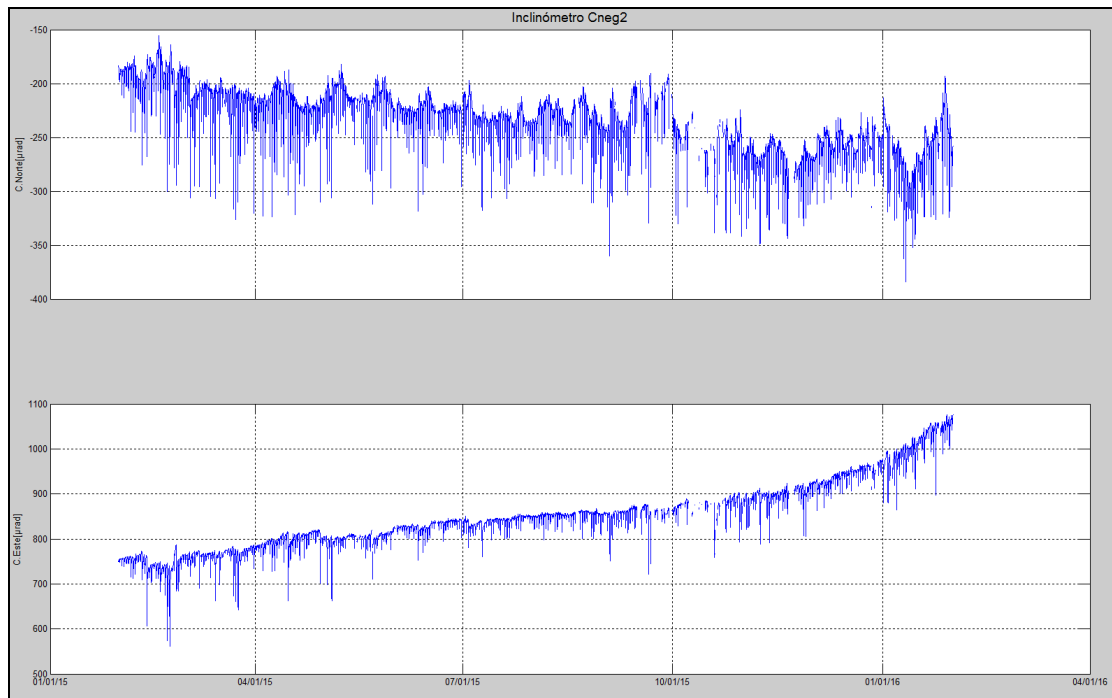
Persiste el comportamiento ascendente en la componente Este del inclinómetro C Negro2, instalado a 6m del sensor Cerro Negro, cambio que se mantiene desde el 20 de agosto de 2014, mientras que en la componente Norte se observa estabilidad desde el mes de octubre de 2015 (Figura 60).



**Figura 58.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 59.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el mes de junio de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 60.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro -2, instalado en el volcán del mismo nombre y a 6m del inclinómetro Cerro Negro, para el periodo comprendido entre enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.

### 3.5. GEOQUÍMICA

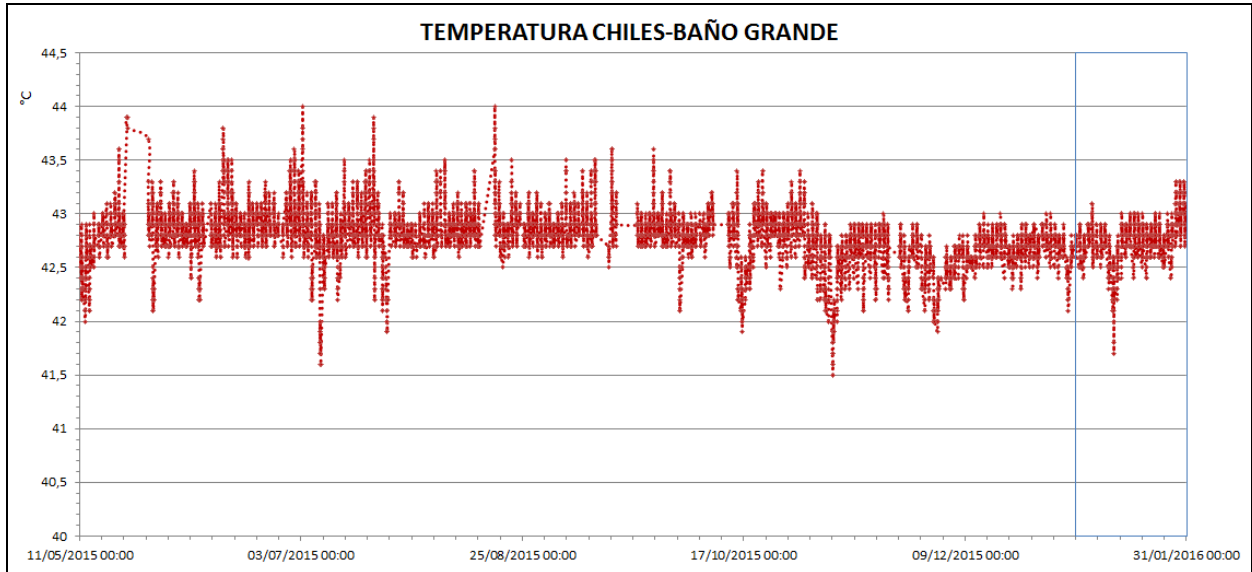
#### 3.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales del Volcán Chiles.

Para el periodo evaluado no se realizó muestreo en las fuentes termales ubicadas en área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

#### 3.5.2. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande

Los datos sobre la variación de temperatura en la FT Baño Grande del volcán Chiles, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada en el sitio de la fuente termal donde se realizan los muestreos periódicos (Figura 52, tabla 14), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de una muestra cada 10 minutos.

En la figura 61 se registran las variaciones que corresponden a valores medidos en el transcurso del día (desde las 9:30 a.m. a las 5:30 p.m. LT aproximadamente), con un promedio de 42,8°C (Tabla 16). Durante el mes de enero se registra un valor mínimo de 41,7°C, no se registran variaciones significativas en lo evaluado durante el año anterior. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continúa con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.



**Figura 61.** Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles entre mayo de 2015 y enero de 2016.

**Tabla 16.** Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – Enero de 2016.

VALOR	Temp. (°C)
Mínimo	41,7
Máximo	43,3
Promedio	42,8

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de enero de 2016 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

### 3.7. CONCLUSIÓN

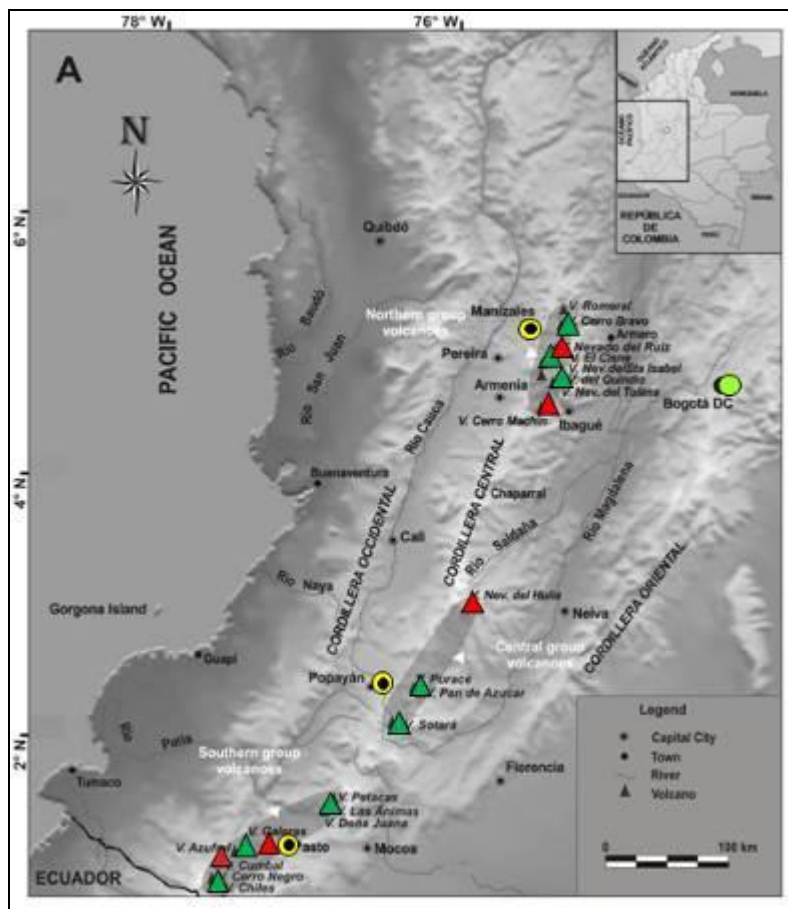
Aunque hasta el momento no se han observado cambios en las manifestaciones de actividad superficial, la actividad sísmica muestra una disminución gradual alcanzando hasta 80 sismos por día, asociados con una posible intrusión de magma en profundidad, por lo cual el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio y es posible que vuelvan a suceder sismos de niveles energéticos importantes que sean sentidos por pobladores de la zona de influencia volcánica. Por tanto, se recomienda a las autoridades y comunidades mantener precaución, permanecer atentos a la información y a las recomendaciones dadas por las entidades oficiales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de enero de 2016 permitió que la actividad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro permaneciera en **NIVEL AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

#### 4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ENERO DE 2016

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 Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 62).

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



**Figura 62.** 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.

## 4.1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

### 4.1.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente de 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 63).

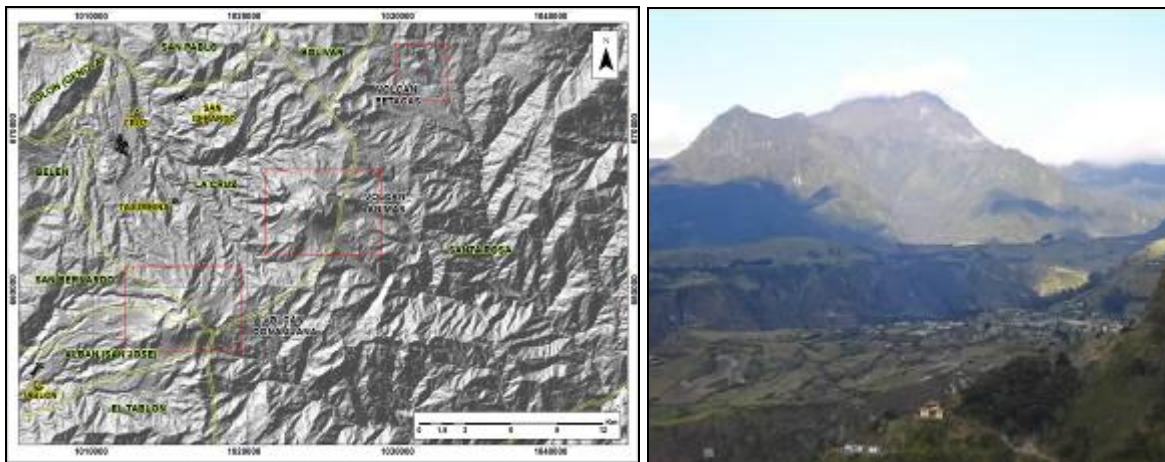


Figura 63. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

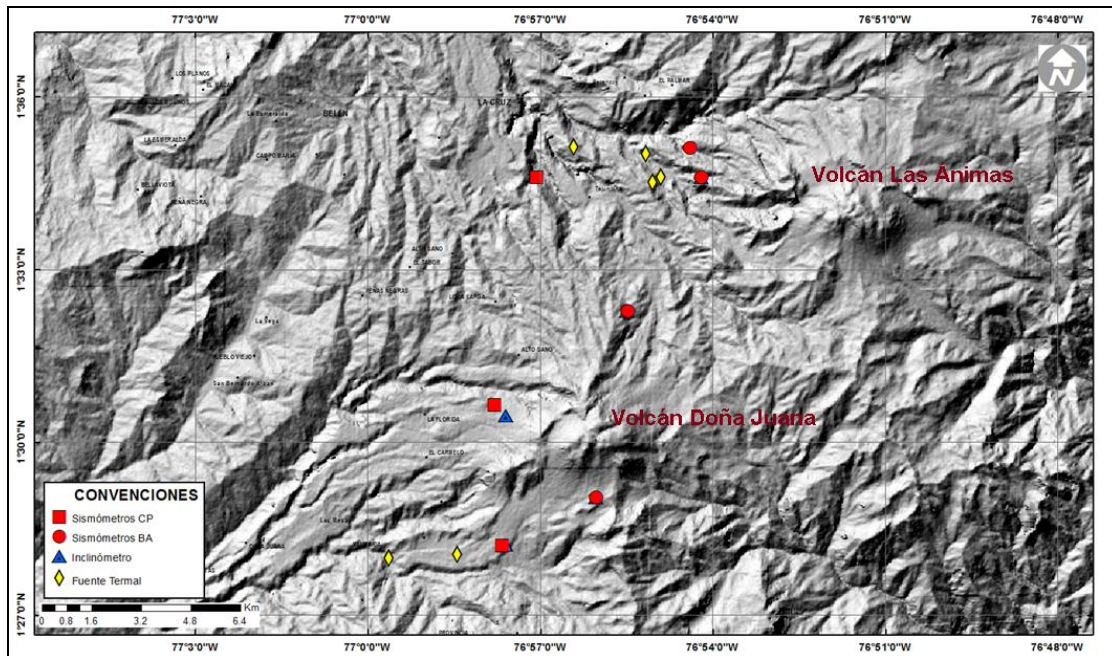
### 4.1.2. Red de vigilancia

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 64 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 17 se consignan sus características.

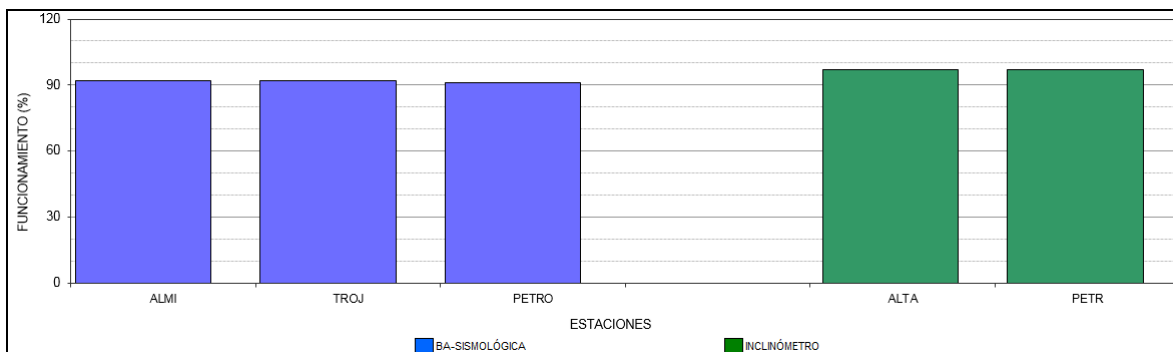
Tabla 17. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en enero de 2016.

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



**Figura 64.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de enero de 2016. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas. Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Las Ánimas tuvo un funcionamiento del 93,8% (Figura 65).

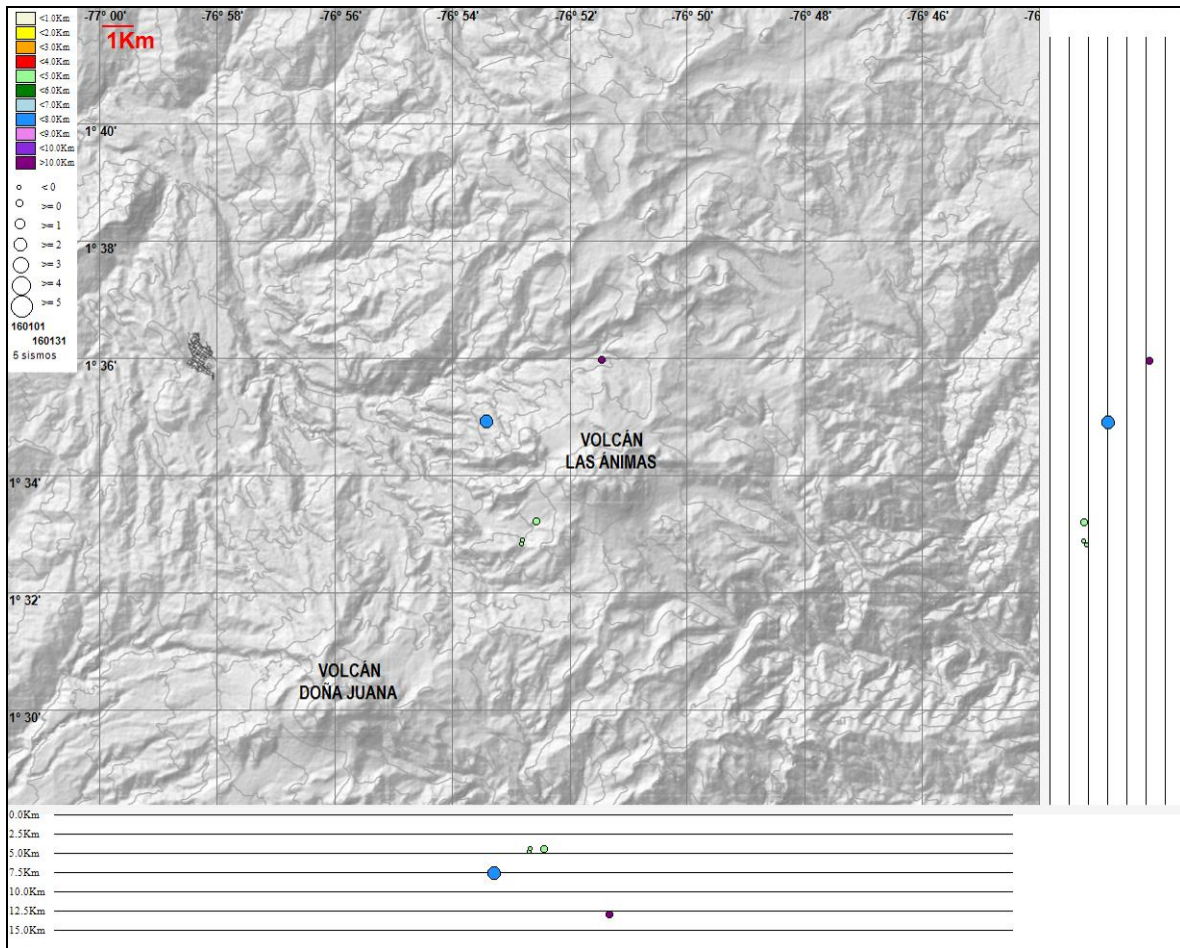


**Figura 65.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante enero de 2016.

### 4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado en el volcán Las Ánimas se tuvo registro de diez sismos tipo VT, cinco de los cuales se localizaron de manera dispersa, a menos de 4 km del volcán, con profundidades comprendidas entre 4,5 y 13 km respecto a la cima y magnitudes locales menores a 2,4 en la escala de Richter (Figura 66).



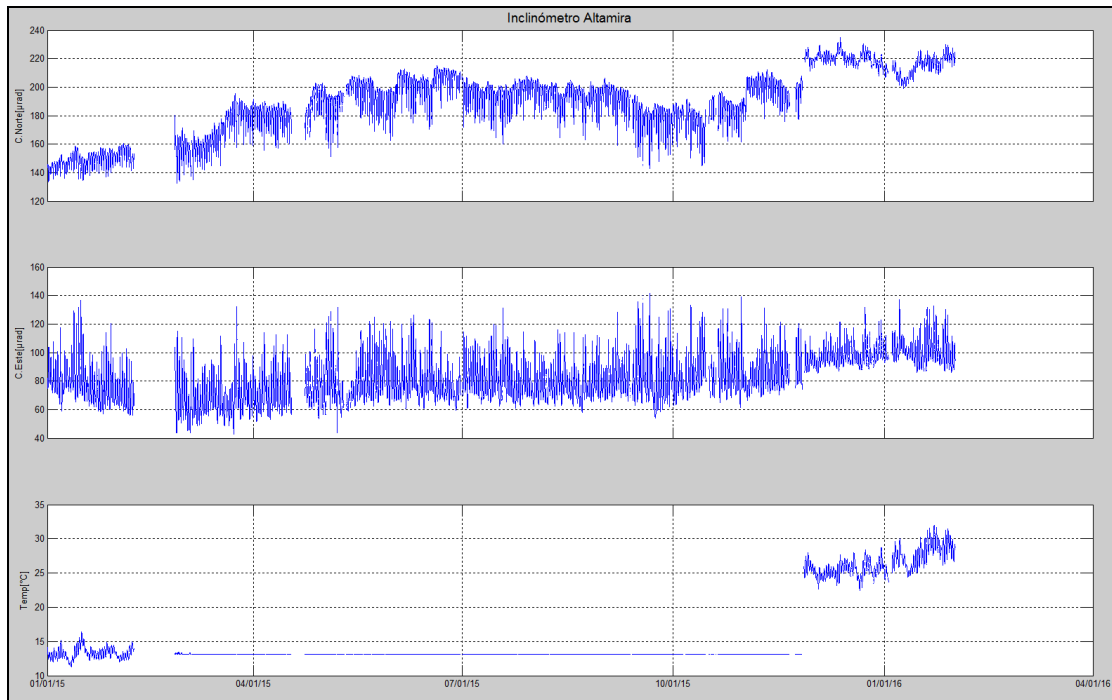


**Figura 66.** Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana en enero de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

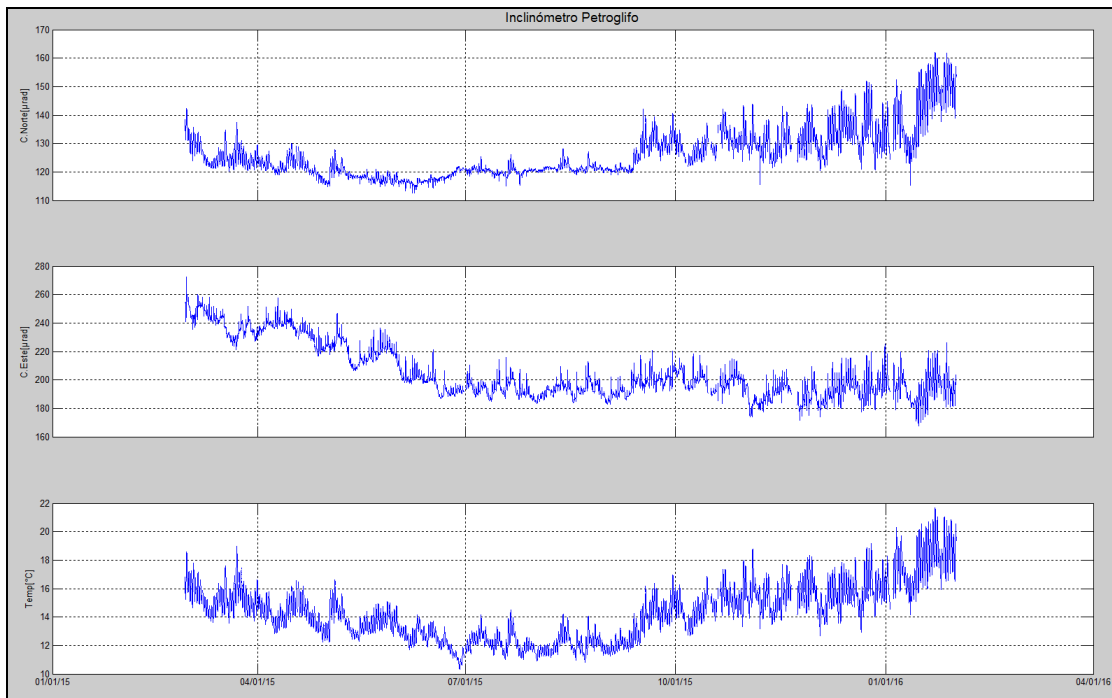
#### 4.1.4. Deformación

Respecto a los cambios registrados por las estaciones de inclinometría, se evidencia que culminó el comportamiento ascendente que registraba la componente Este de Altamira (ubicado a 4,6 km al oeste de Las Ánimas, 2905 m.s.n.m.), acumulando cerca de  $30 \mu\text{rad}$  entre el 7 de noviembre de 2015 y el 8 de enero de 2016 (Figura 67). Por su parte la componente de inclinación Norte tiende a estabilizarse desde el pasado 27 de noviembre de 2015.

El inclinómetro Petroglifo (ubicado a 7,9 km al noroeste del volcán, 3137 m.s.n.m.), en la componente Este muestra estabilidad desde el mes de noviembre de 2015. Al parecer los cambios observados en la componente Norte, son muy similares a lo registrado por el sensor de temperatura, por lo cual no estarían asociados a cambios en la actividad volcánica (Figura 68).

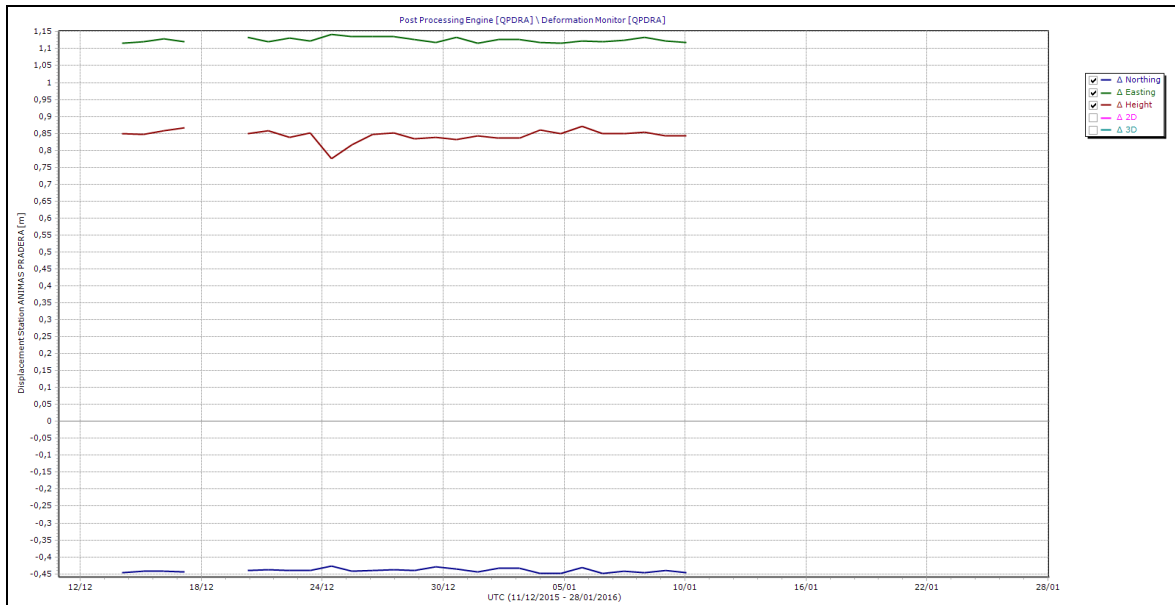


**Figura 67.** Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 68.** Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre febrero de 2015 y el 31 de enero de 2016.

Desde el pasado mes de diciembre de 2015, hacia el costado suroccidental del volcán Las Ánimas se instaló una estación GNSS permanente con el fin de detectar los cambios en superficie asociados a actividad volcánica, en la Figura 69 se muestra el poco tiempo de registro de esta estación, considerando como estación de referencia para el procesamiento diferencial, la estación GNSS QUIL, ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto.



**Figura 69.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el mes de diciembre de 2015 y el 11 de enero de 2016.

#### 4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de enero de 2016 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Las Ánimas.

#### 4.1.6. Conclusión

Con base en la información disponible del mes de enero de 2016 el nivel del volcán permaneció en **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA

### 4.2.1. Red de Vigilancia

Para el mes de enero de 2016, la red de vigilancia del volcán Doña Juana estuvo conformada por:

- Tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de Corto Periodo y una de Banda Ancha (Figura 70, Tabla 18).
- La red de deformación del volcán Doña Juana cuenta con tres inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 70, Tabla 18).

Adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 70, Tabla 18).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvo un funcionamiento promedio del 67,8% (Figura 71).

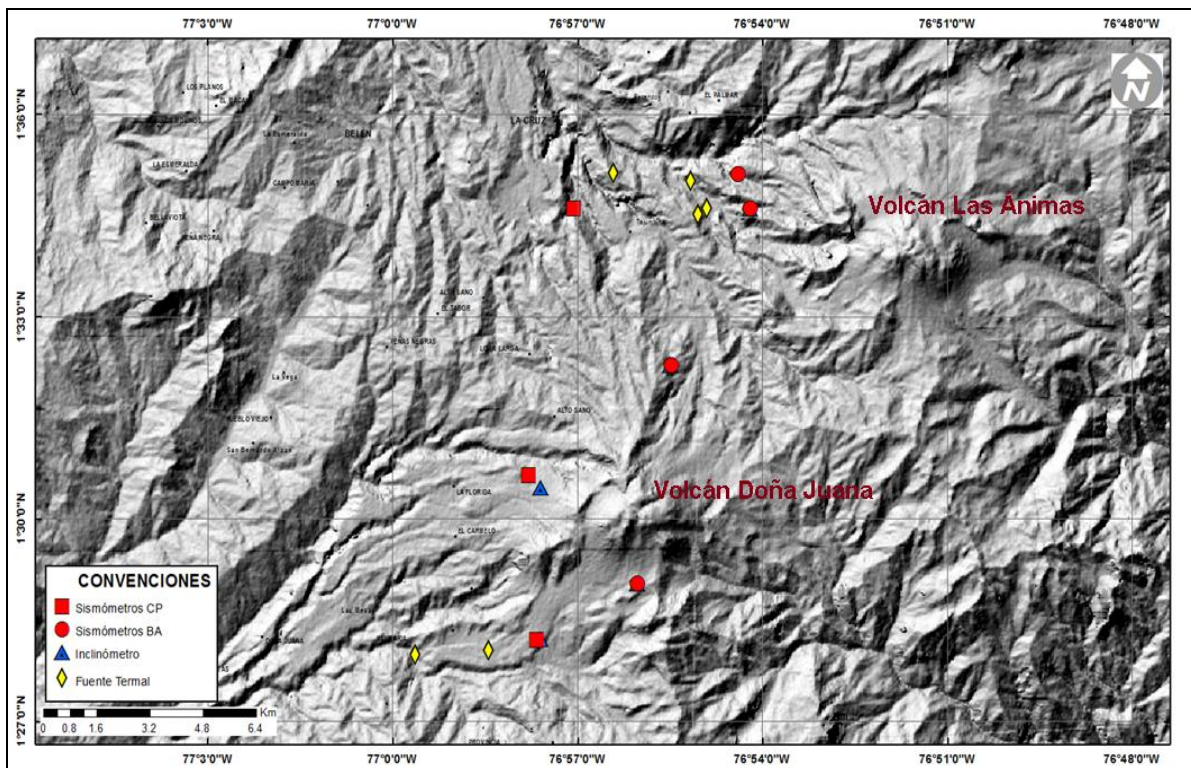
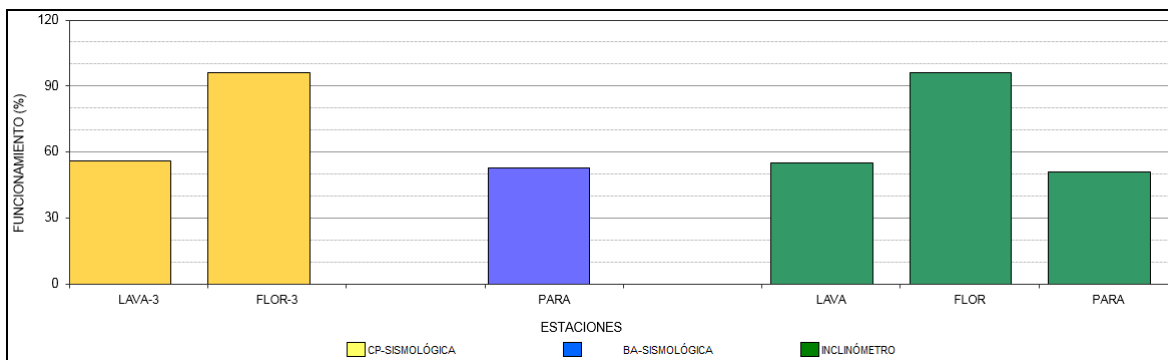


Figura 70. Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.

**Tabla 18.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en enero de 2016.

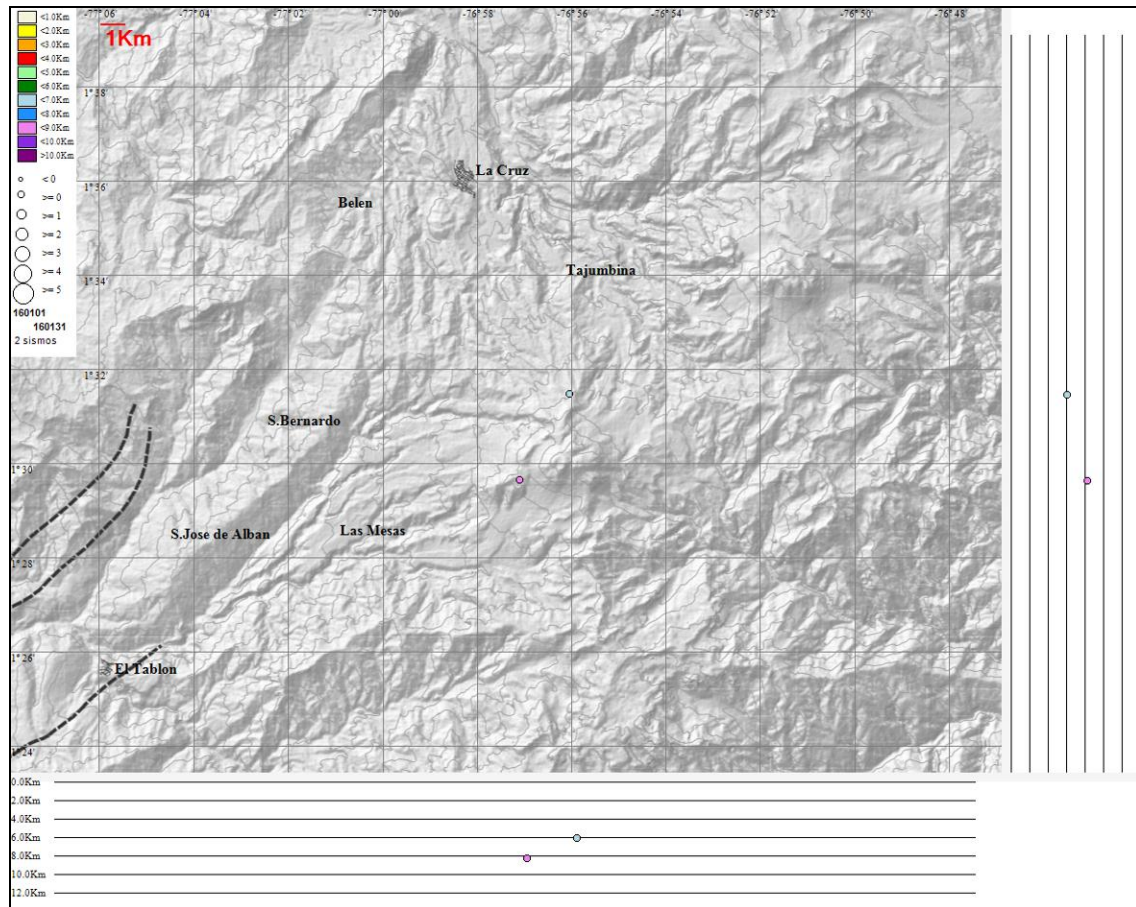
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a los Domos (Km)	Dirección respecto a los Domos	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,1	SE	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,1	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	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 71.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de enero de 2016.

#### 4.2.2. Sismología

Durante enero de 2016, se mantuvo muy baja la ocurrencia sísmica en el volcán Doña Juana, registrándose 3 sismos tipo VT, dos de ellos localizados a menos de 2,5 km al norte y occidente del volcán a una profundidades de 6 y 8 km respecto a la cima volcánica (4.160 msnm). La magnitud local de los eventos fue de 0,3 en la escala de Richter (Figura 72).



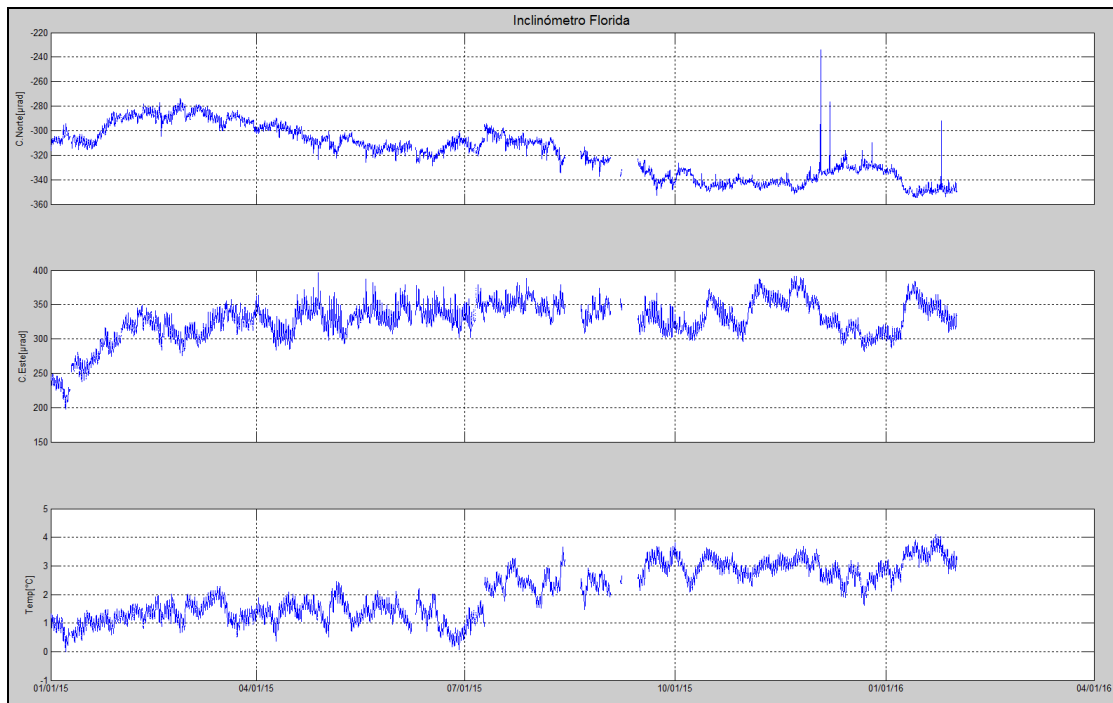
**Figura 72.** Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana en enero de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

### 4.2.3. Deformación

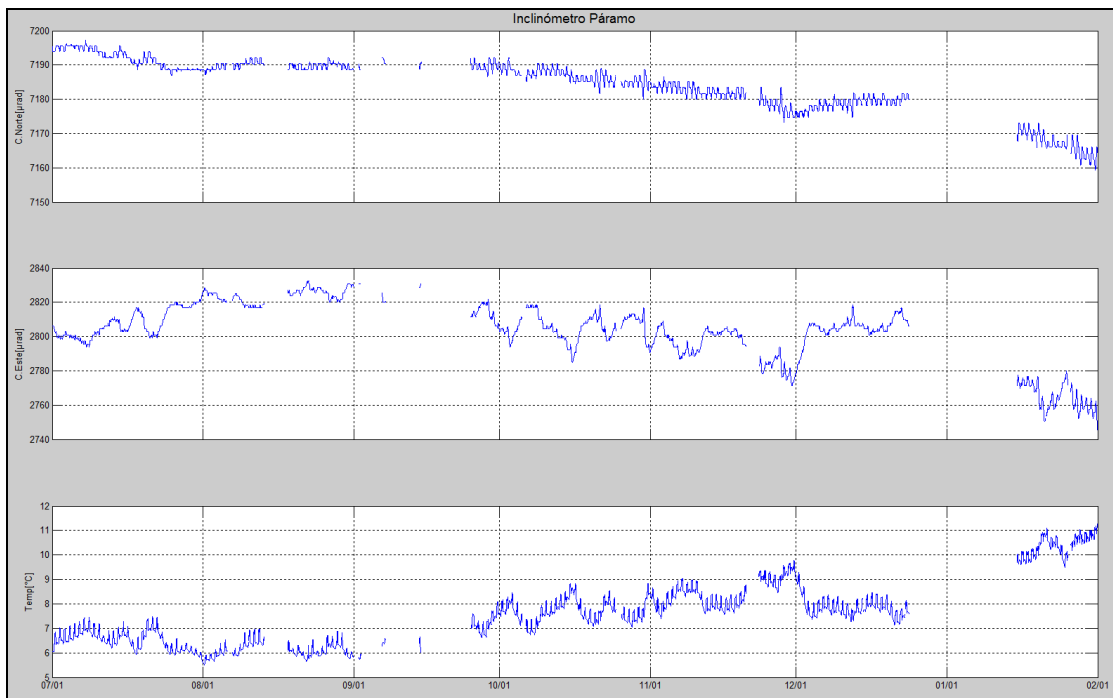
Con respecto al inclinómetro Florida, se observa que la componente de inclinación Norte tiende a estabilizarse desde el 13 de enero de 2016, luego de presentar una tenencia descendente desde el mes de febrero de 2015, la cual registro cerca de 70  $\mu$ rad, mientras que para el mismo periodo la Este presentó estabilidad (Figura 73).

Para el mes de enero, continuó el comportamiento descendente en las componentes de inclinación de Páramo, registrando 30  $\mu$ rad para la Norte desde octubre de 2015 y 86  $\mu$ rad para la Este entre septiembre de 2015 y el 31 de enero de 2016 (Figura 74).

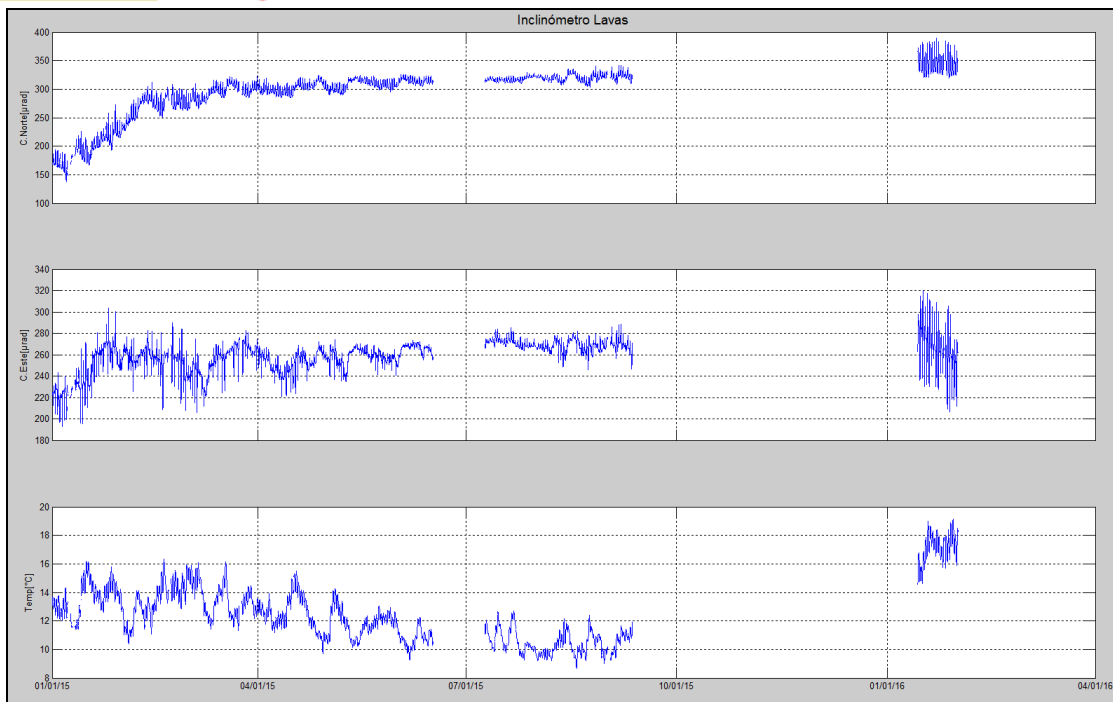
Desde que se reestableció la señal del inclinómetro Lavas, el 14 de enero, se observa un incremento en el nivel de ruido, sin embargo es posible distinguir un ligero descenso de 40  $\mu$ rad en la componente Este y estabilidad en la Norte (Figura 75).



**Figura 73.** Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 74.** Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre julio de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 75.** Componentes de inclinación Norte y Este y el registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2016.

#### 4.2.4 GEOQUÍMICA

Para el periodo evaluado no se realizó muestreo en las fuentes termales ubicadas en área de influencia del volcán Doña Juana.

#### 4.2.5. Actividad Superficial

Durante el mes de enero de 2016 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

#### 4.2.6. Conclusión

La evaluación de los parámetros monitoreados durante el mes de enero de 2016, permiten mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

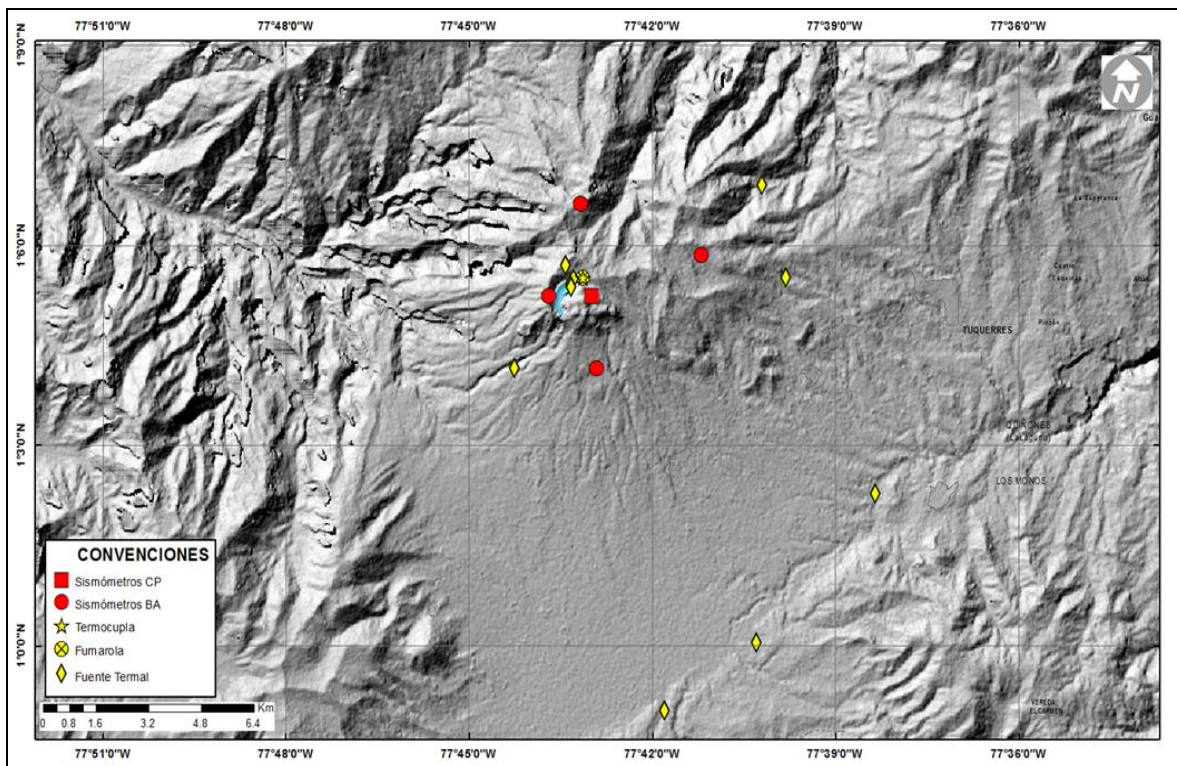


### 4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

#### 4.3.1. Red de vigilancia

La Figura 76 muestra la distribución de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, las cuales son: 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 19 están sus características. Adicionalmente se cuenta con una estación climatológica cerca a la estación La Roca, que consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medidas de radiación solar. Adicionalmente se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

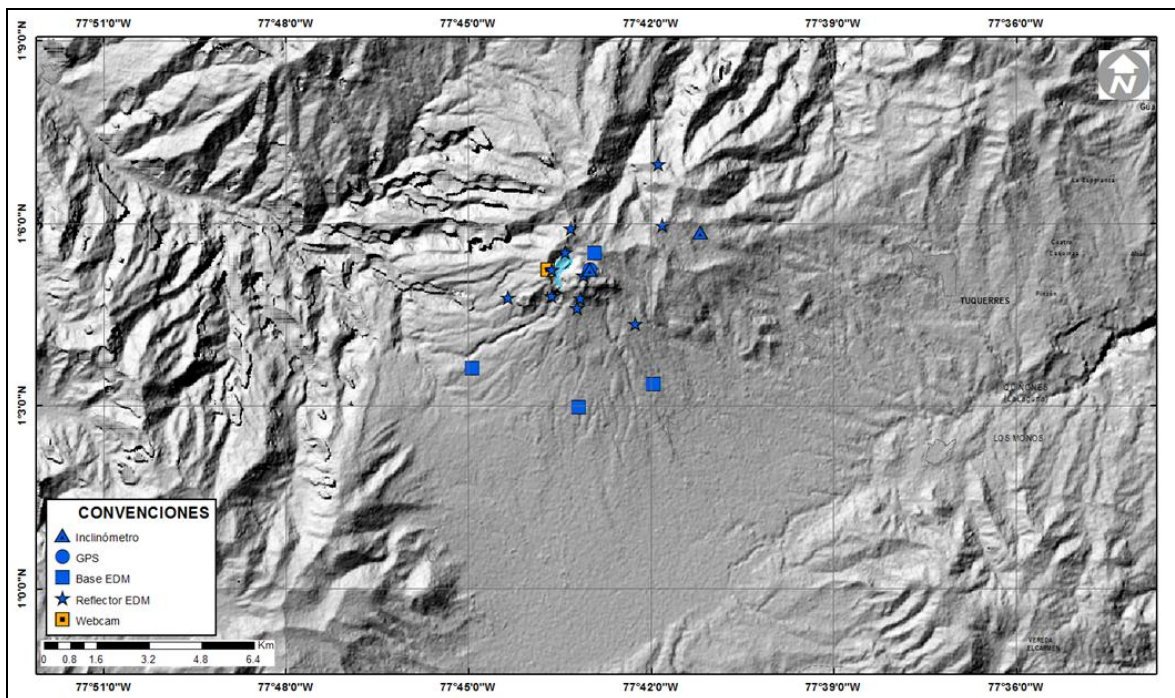
Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Desde el pasado mes de marzo de 2015 se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparámetro La Roca (Figura 77).



**Figura 76.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de enero de 2016.

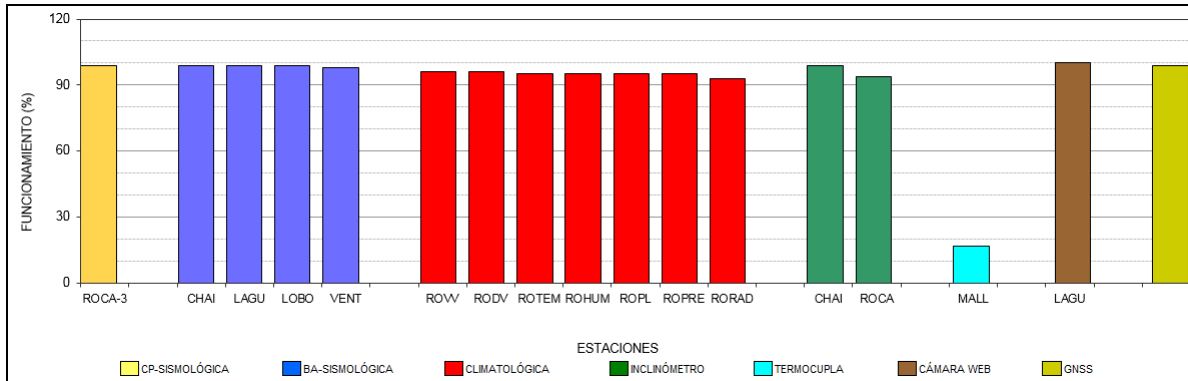
**Tabla 19.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante enero de 2016.

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
Mallama	Digital	Termocupla		0.5	NE	3805



**Figura 77.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de enero de 2016.

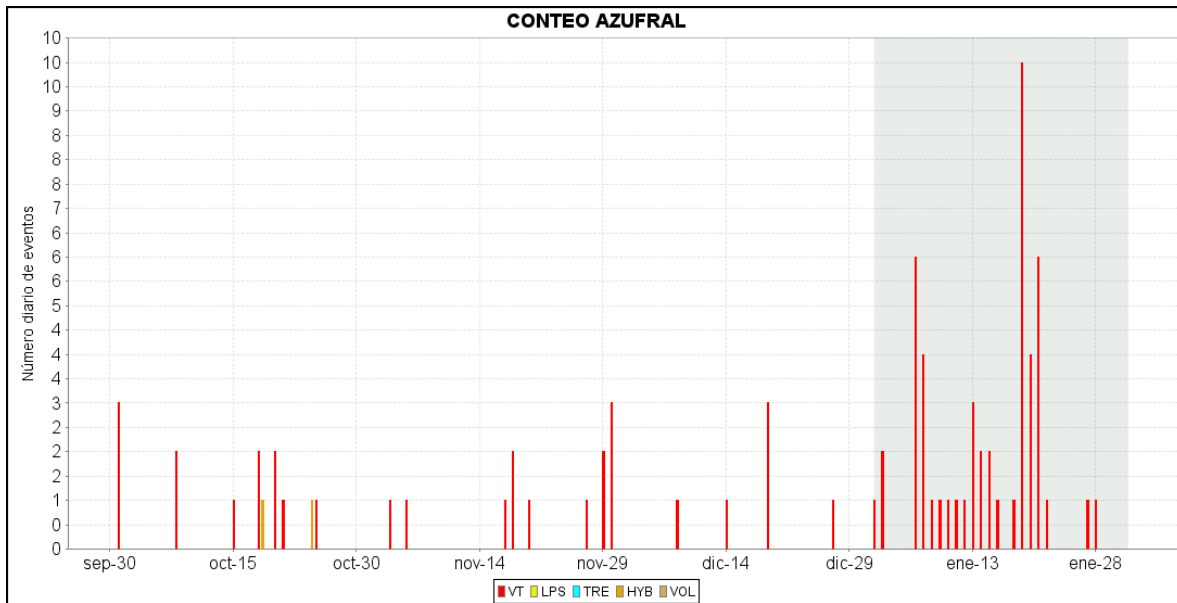
En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 92,2% para este mes (Figura 78).



**Figura 78.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de enero de 2016.

### 4.3.2. Sismología

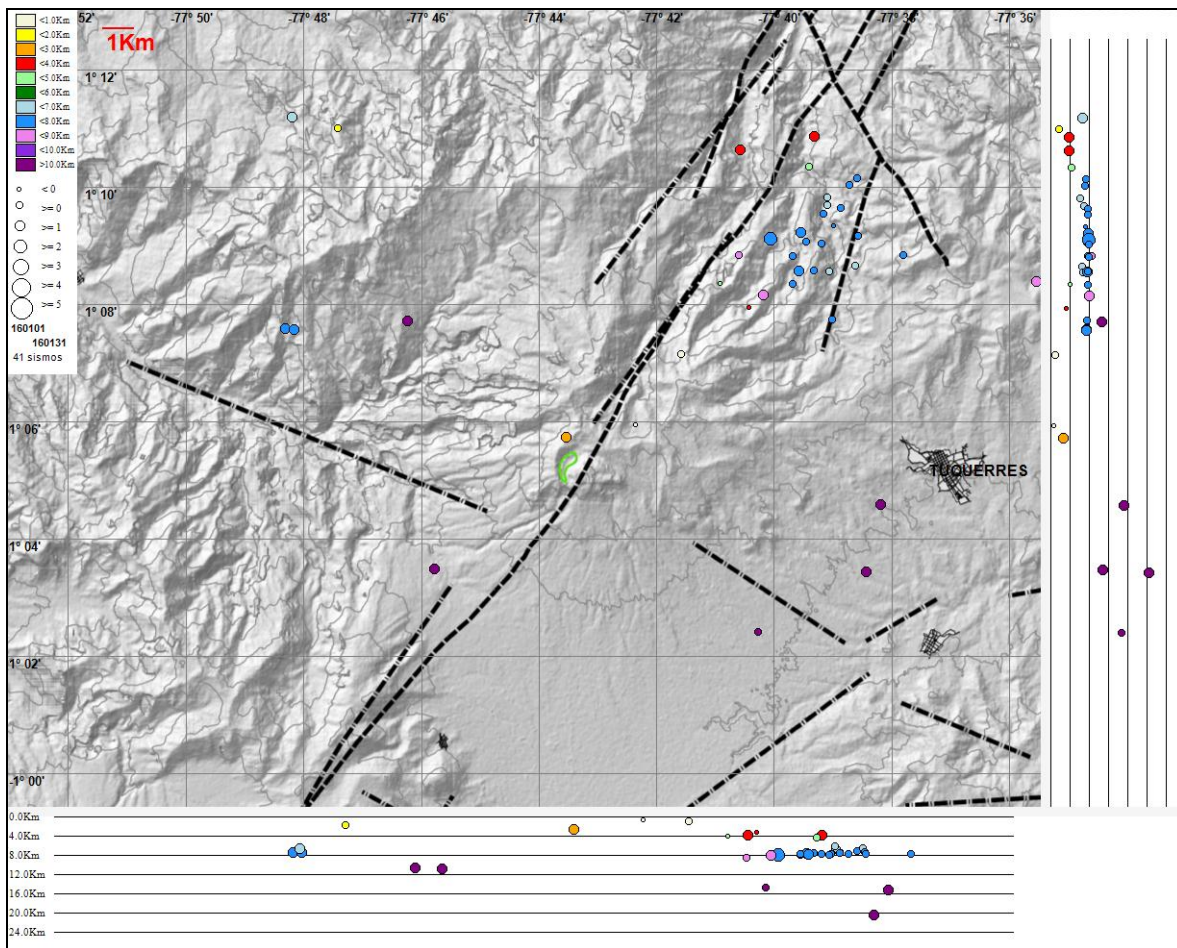
Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán en enero de 2016 aumentó en 8 veces en comparación a la registrada en enero de 2016, registrándose 50 eventos tipo VT (Tabla 20, Figura 79). De estos eventos se localizaron 41, destacándose un pequeño grupo de sismos localizados hacia el nororiente de la Laguna Verde a profundidades entre 4 y 8 km respecto de la cima volcánica (4.070 msnm) y con magnitudes menores de 2,1 en la escala de Richter. Algunos de los eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a menos de 10 km respecto a la Laguna Cratérica y con profundidades de hasta 20 km respecto a la cima volcánica (Figura 80).



**Figura 79.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016.

**Tabla 20.** Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de octubre de 2015 y el 31 de enero de 2016. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-oct-15 a 31-oct-15	12	0	0	2	14
01-nov-15 a 30-nov-15	12	0	0	0	12
01-dic-15 a 31-dic-15	6	0	0	0	6
01-ene-16 a 31-ene-16	50	0	0	0	50



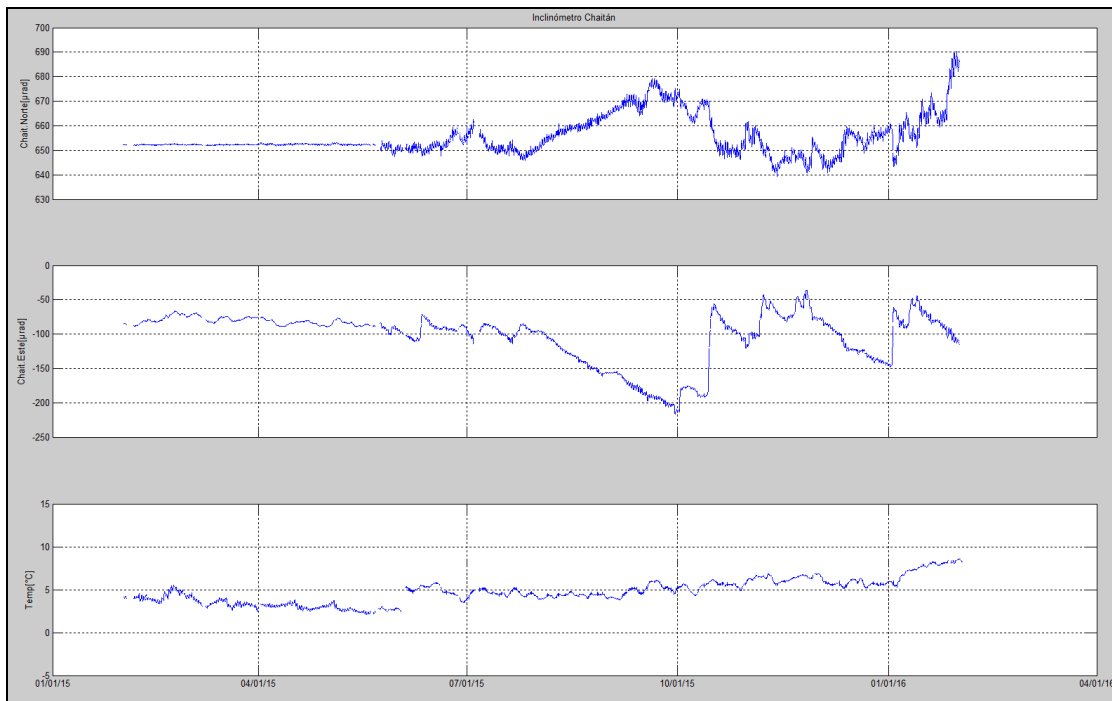
**Figura 80.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de enero de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 4,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

### 4.3.3. Deformación

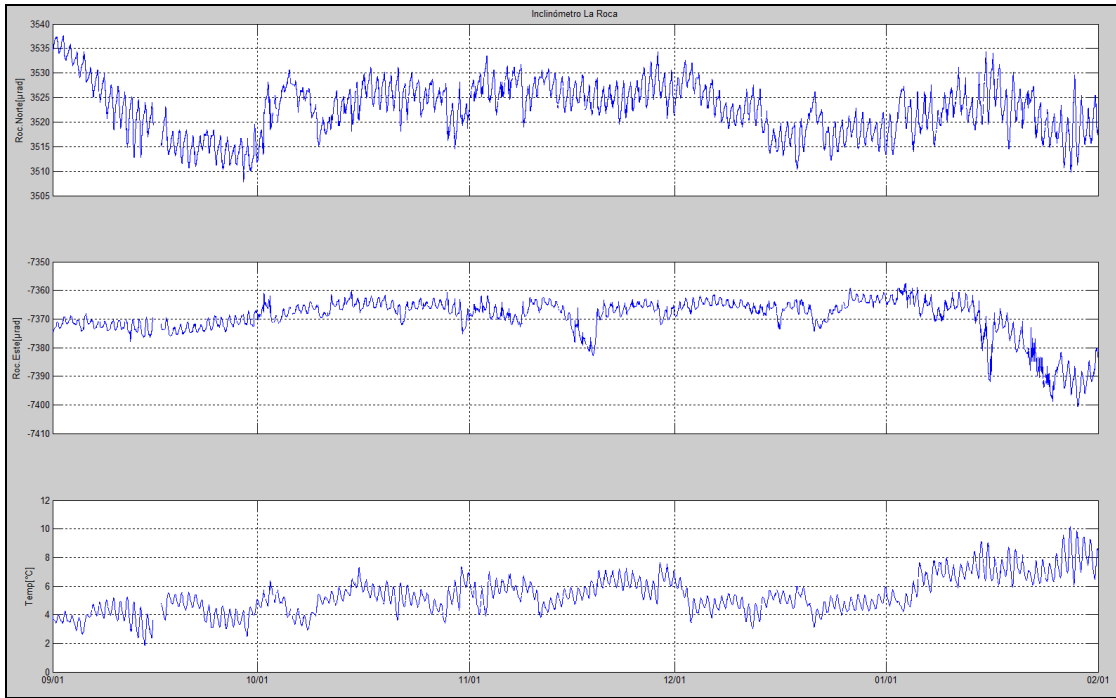
#### 4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Respecto a los procesos deformativos en superficie del edificio volcánico de Azufral, pese a las fluctuaciones en el registro es posible distinguir un comportamiento ascendente en la componente Norte del inclinómetro Chaitán (ubicado a 4,3 km al este-noreste de la laguna cratérica, 3730 m.s.n.m.), alcanzando cerca de 50  $\mu$ rad desde el 5 de diciembre de 2015, por su parte en la componente de inclinación Este se observa estabilidad (Figura 81). De igual forma desde el 2 de enero de 2016 se observa una tendencia descendente en la componente Este del inclinómetro La Roca, registrando 35  $\mu$ rad hasta el 29 de enero (Figura 82).

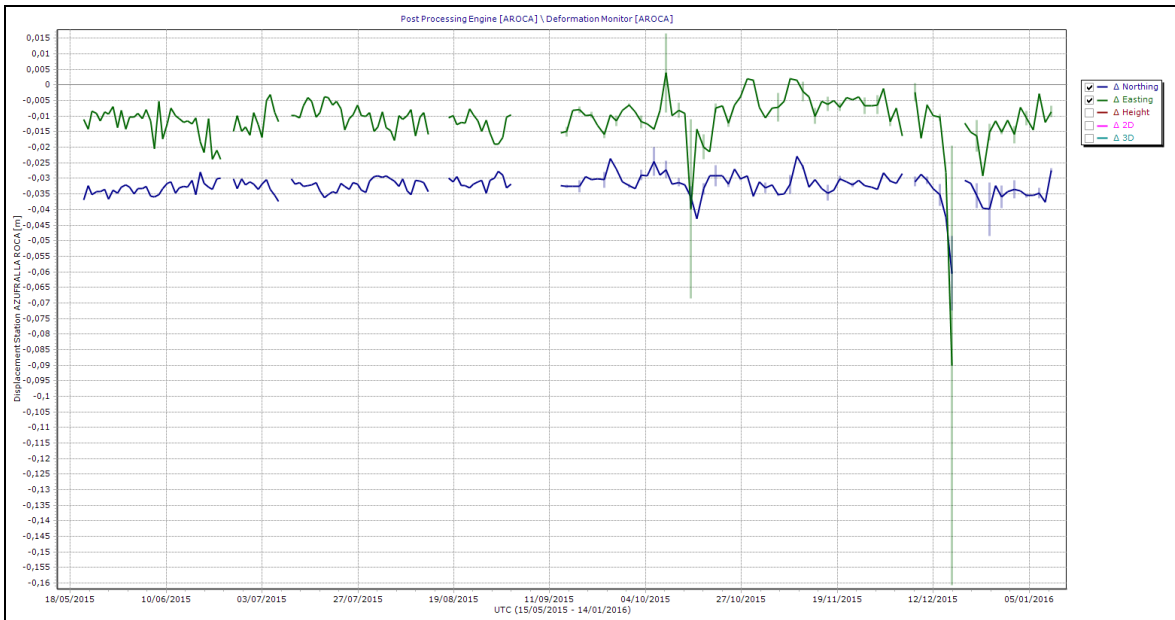
Desde marzo de 2015, se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparamétrica La Roca, para el procesamiento diferencial de la información adquirida por esta estación, se está considerando como estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Azufral, en el aeropuerto Antonio Nariño, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano. Pese a las variaciones en las direcciones Norte y Este, se observa estabilidad en el registro (Figura 83).



**Figura 81.** Componentes de inclinación Norte y Este y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el mes de febrero de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 82.** Componentes de inclinación Norte y Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 31 de enero de 2016.



**Figura 83.** Variaciones en las direcciones Norte y Este de la estación GNSS Roca instalado sobre la superficie del volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el mes de mayo de 2015 y el 14 de enero de 2016.

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

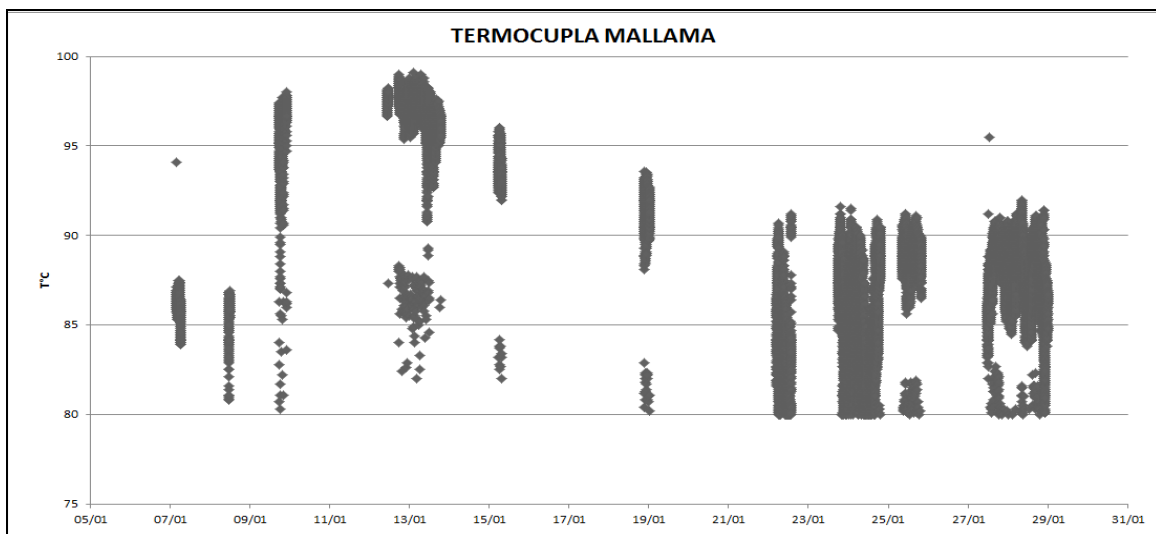
En enero de 2016 no se realizaron medidas de EDM.

### 4.3.4. Geoquímica

#### 4.3.4.1. Registro de temperatura – Estación térmica telemétrica Domo Mallama en Volcán Azufral.

Durante el mes de enero se realiza la revisión de las medidas permanentes de la temperatura en el campo fumarólico “Domo Mallama” del volcán Azufral obtenidos de la estación telemétrica termocupla.

En la Figura 84 se grafica la variación de temperatura a partir de los datos diarios obtenidos de la estación telemétrica Mallama con una tasa de muestreo de 10 minutos. Se puede detectar una tendencia en la temperatura promedio de acuerdo a lo registrado en las visitas de campo y un ligero aumento para el día 12 de enero. Para verificar si existe esta tendencia se debe continuar con el monitoreo de esta variable por un período de tiempo mayor. Se observa también una pérdida en los registros de los datos para algunos días durante el mes, y se depura una base de 45000 datos, dejando unos 40000 datos graficados. En la Tabla 21 se encuentran los valores máximo, mínimo y promedio de los datos registrados por la termocupla ubicada en el campo fumarólico del domo Mallama en el volcán Azufral durante el mes de enero de 2016.



**Figura 84.** Gráfico de la variación de temperatura en la estación de termocupla campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

Tabla 21. Variación de temperaturas en Domo Mallama del volcán Azufral.

Valores	MES - ENERO	Ene-12	Ene-24
<b>Máximo</b>	99,1	99,0	91,5
<b>Mínimo</b>	80,0	82,4	80,0
<b>Promedio</b>	89,9	97,3	85,3

#### 4.3.5. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del mes, permitieron a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura y en poca cantidad provenientes principalmente del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde durante la mayor parte del mes (Figura 85).



Figura 85. Imagen de la Laguna Verde, laguna cratéica del volcán Azufral, registrada el 3 de enero de 2016 a las 2:14 p.m., mediante la cámara instalada en el costado sur. En la fotografía se observan las zonas de emisión de gas, desde el Domo Mallama.

#### 4.3.6. Conclusión

- La evaluación de la actividad volcánica de Azufral durante enero de 2016 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.