

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DOMINIO</b>
IDENTIFICACIÓN		
Información de la citación		
CITACIÓN		
Nombre del responsable	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano
Tipo de responsable	Autor Corporativo	Autor corporativo
Nombre del responsable		Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Tipo de responsable	Autor intelectual. Si hay varios autores hay que escribirlo cada uno.	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Nombre del responsable		
Tipo de responsable	Procesador: persona encargada de recibir y organizar la información	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Nombre del responsable		Darío Fernando Arcos Guerrero
Fecha	De publicación/disposición tres primeras letras del mes/año	Nov/2016
Título		INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, CHILES, CERRO NEGRO, LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL. OCTUBRE 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 del volcán Galeras en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Presentación de datos obtenidos de monitoreo continuo de la actividad de los volcanes Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Se utilizan 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.	Octubre de 2016.
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica.	Zona de influencia del Volcán Galeras.

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DOMINIO</b>
	Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km <sup>2</sup>	Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia del Volcán Chiles. Zona de influencia del Volcán Cerro Negro. Zona de influencia del Volcán Las Ánimas. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral.
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 primarios: -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas -Estación climática -Cenizas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios.	- Zona de influencia del Volcán Galeras, cono activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Cumbal. - Zona de influencia del Volcán Chiles. - Zona de influencia del Volcán Cerro Negro. - Zona de influencia del Volcán Las Ánimas. - Zona de influencia del Volcán Doña Juana. - Zona de influencia del Volcán Azufral.
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 la unidad VIGILANCIA en la siguiente ruta: V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2016\oct
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 del Volcán Galeras, y volcanes del suroccidente colombiano, para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DOMINIO</b>
		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	CD-ROM
Contacto		
Organización	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano.
Cargo/persona	Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos	Asesores de Oficina de Servicio al Cliente
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) 2 22 07 97
Correo electrónico		<a href="mailto:cliente@sgc.gov.co">cliente@sgc.gov.co</a>



**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CUMBAL, CHILES Y CERRO NEGRO, LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y  
AZUFRAL  
OCTUBRE DE 2016**

Edición:

**DARÍO FERNANDO ARCOS GUERRERO**

**San Juan de Pasto, noviembre de 2016**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – OCTUBRE DE 2016	4
1.1. RED DE VIGILANCIA	4
1.2. SISMOLOGÍA	9
1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	13
1.3.1. Inclinometría Electrónica	13
1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	18
1.4. GEOQUÍMICA	23
1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub>	23
1.4.2. Concentración de gas radón difuso en suelo	25
1.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	26
1.6. CONCLUSIONES	29
2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – OCTUBRE DE 2016	29
2.1. RED DE VIGILANCIA	29
2.2. SISMOLOGÍA	30
2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	36
2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	38
2.5. CONCLUSIONES	41
3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – OCTUBRE DE 2016	41
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	41
3.2. RED DE VIGILANCIA	42
3.3. SISMOLOGÍA	45
3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	49
3.5. GEOQUÍMICA	52
3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	52
3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	53
3.7. CONCLUSIONES	53
4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – OCTUBRE DE 2016	53
4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS	54
4.1.1. Ubicación Geográfica	54
4.1.2. Red de vigilancia	55
4.1.3. Sismología	57
4.1.4. Deformación Volcánica	58
4.1.4.1. Inclinometría Electrónica	58
4.1.4.2. Estaciones GNSS Permanentes	58
4.1.5. Actividad Superficial	61
4.1.6. Conclusiones	61
4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA	61
4.2.1. Red de vigilancia	61
4.2.2. Sismología	63
4.2.3. Deformación Volcánica	64
4.2.3.1. Inclinometría Electrónica	64
4.2.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	65
4.2.4. Actividad Superficial	67
4.2.5. Conclusiones	67

4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL	67
4.3.1.	Red de vigilancia	67
4.3.2.	Sismología	70
4.3.3.	Deformación Volcánica	72
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	72
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias – E:D:M.	72
4.3.3.3.	Estaciones GNSS Permanentes	74
4.3.4.	GEOQUÍMICA	76
4.3.4.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Azufral	76
4.3.4.2.	Registro de temperatura – Estación Térmica Mallama	82
4.3.5.	Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos	84
4.3.6.	Conclusiones	87

## TABLAS

	Pág.	
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2016.	5
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2016.	5
Tabla 3.	Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2016.	6
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras.	7
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	7
Tabla 6.	Ubicación geográfica (WGS 84) de las fuentes termales en el Volcán Galeras.	8
Tabla 7.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	10
Tabla 8.	Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	11
Tabla 9.	Emisiones de SO <sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de octubre de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	24
Tabla 10.	Valores de concentración de radón en estación Parques – Volcán Galeras – mes de octubre 2016.	26
Tabla 11.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de octubre de 2016.	30
Tabla 12.	Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	31
Tabla 13.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de octubre de 2016.	43
Tabla 14.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	44
Tabla 15.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	46
Tabla 16.	Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	49

Tabla 17.	Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – octubre de 2016.	52
Tabla 18.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre de 2016.	55
Tabla 19.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del volcán Las Ánimas registrados entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	57
Tabla 20.	Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.	61
Tabla 21.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del Volcán Doña Juana registrados entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	64
Tabla 22.	Estaciones telemétricas (sísmicas, inclinómetros electrónicos, climatológica, webcam) instaladas en el volcán Azufral.	68
Tabla 23.	Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	70
Tabla 24.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales del área de influencia del Volcán Azufral muestreadas en el mes de octubre de 2016.	77
Tabla 25.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a su temperatura.	80
Tabla 26.	Valores de temperatura en domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – octubre de 2016.	83
Tabla 27.	Comparación de valores de temperatura registrados en la prueba desarrollada con termómetros portátiles y la estación permanente telemétrica en el domo Mallama, área de influencia del Volcán Azufral (Octubre 25 de 2016).	84

## FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Mapa de localización de las estaciones sísmicas y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2016.	6
Figura 2	Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos, GNSS permanentes y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2016.	7
Figura 3	Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO <sub>2</sub> , fuentes termales y radón telemetrado que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2016.	8
Figura 4	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de octubre de 2016, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.	8
Figura 5	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre julio y octubre de 2016. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.	9
Figura 6	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre (barras de la izquierda).	10
Figura 7	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de septiembre y octubre de 2016.	10
Figura 8	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016.	11
Figura 9	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para octubre de 2016 (barras de la derecha) respecto a septiembre de 2016 (barras de la izquierda).	12
Figura 10	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para septiembre y octubre de 2016.	12

Figura 11	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de octubre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3.0 km de profundidad.	13
Figura 12	Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	14
Figura 13	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	15
Figura 14	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	15
Figura 15	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	16
Figura 16	Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	16
Figura 17	Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	17
Figura 18	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	17
Figura 19	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	18
Figura 20	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 26 de octubre de 2011 y el 28 de octubre de 2016.	19
Figura 21	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 28 de octubre de 2016.	19
Figura 22	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 30 de diciembre de 2011 y el 28 de octubre de 2016.	20
Figura 23	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de agosto de 2011 y el 28 de octubre de 2016.	20
Figura 24	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 16 de mayo de 2014 y el 28 de octubre de 2016.	21
Figura 25	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2012 y el 28 de octubre de 2016.	21
Figura 26	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Peladitos instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 19 de septiembre de 2016 y el 28 de octubre de 2016.	22
Figura 27	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 19 de septiembre de 2016 y el 28 de octubre de 2016.	22



Figura 28	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, en el Municipio de Chachagui, Departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre el 3 de marzo de 2010 y el 28 de octubre de 2016.	23
Figura 29	Flujo de emisión de SO <sub>2</sub> registrado desde el 1 de agosto de 2016 hasta el 31 de octubre de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	24
Figura 30	Flujo de emisión de SO <sub>2</sub> , dirección y velocidad del viento para el mes de octubre de 2016.	25
Figura 31	Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica Parques – Octubre de 2016.	26
Figura 32	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 4 de octubre de 2016, en horas de la tarde, 4:12 p.m. y 5:39 p.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.	27
Figura 33	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 7 de octubre de 2016, imágenes capturadas desde las cámaras de Barranco (izquierda 6:23 a.m.) y Bruma (derecha 1:36 a.m.).	27
Figura 34	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 13 de octubre de 2016, en horas de la mañana 7:45 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Bruma.	27
Figura 35	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 23 de octubre de 2016, en horas de la tarde, 2:50 p.m. y 5:33 p.m., capturadas desde la cámara de Bruma.	28
Figura 36	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 26 de octubre de 2016, imágenes capturadas en horas de la mañana desde las cámaras de Barranco (izquierda 7:16 a.m.) y Bruma (derecha 7:59 a.m.).	28
Figura 37	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 31 de octubre de 2016, en horas de la mañana 8:24 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.	28
Figura 38	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de octubre de 2016.	29
Figura 39	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de octubre de 2016.	30
Figura 40	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre julio y octubre de 2016.	31
Figura 41	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre de 2016 (barras de la izquierda).	32
Figura 42	Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para septiembre y octubre de 2016.	32
Figura 43	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de octubre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).	33
Figura 44	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos localizados en Cumbal entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	33
Figura 45	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 3 de octubre de 2016, a las 9:33 a.m., registrando 128 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.0 Hz y subdominante de 4.4 Hz.	34
Figura 46	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 12 de octubre de 2016, a las 3:16 a.m., registrando 87 segundos de duración y una frecuencia dominante de 4.52 Hz.	34
Figura 47	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 14 de octubre de 2016, a las 4:23 a.m., registrando 67 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.19 Hz.	35

Figura 48	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 22 de octubre de 2016, a las 8:29 p.m., registrando 44 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.29 Hz.	35
Figura 49	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de octubre de 2016.	35
Figura 50	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	36
Figura 51	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2016.	37
Figura 52	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2016.	37
Figura 53	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2016.	38
Figura 54	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 5 de octubre de 2016, a las 9:45 a.m., capturada desde el Municipio de Cumbal (N).	39
Figura 55	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 7 de octubre de 2016, a las 7:16 a.m., capturada desde el Municipio de Cumbal (N).	39
Figura 56	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 13 de octubre de 2016, a las 6:51 a.m., capturada desde el Municipio de Cumbal (N).	40
Figura 57	Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 27 de octubre de 2016, en horas de la mañana, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.	40
Figura 58	Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 29 de octubre de 2016, en horas de la tarde, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.	41
Figura 59	Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	42
Figura 60	Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de octubre de 2016.	43
Figura 61	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de octubre de 2016.	45
Figura 62	Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y octubre 31 de 2016.	46
Figura 63	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de julio y octubre de 2016.	47
Figura 64	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre de 2016 (barras de la izquierda).	47
Figura 65	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en octubre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	48
Figura 66	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	49

Figura 67	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	50
Figura 68	Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio de 2014 y el 31 de octubre de 2016.	51
Figura 69	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de octubre de 2016.	51
Figura 70	Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – octubre de 2016.	52
Figura 71	Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufra, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.	54
Figura 72	Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	55
Figura 73	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre de 2016.	56
Figura 74	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre de 2016.	56
Figura 75	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante octubre de 2016.	57
Figura 76	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia del Volcán Las Ánimas, en octubre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.	58
Figura 77	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	59
Figura 78	Componentes de inclinación Norte y Este, 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 y el 31 de octubre de 2016.	60
Figura 79	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 16 de diciembre de 2015 y el 28 de octubre de 2016.	60
Figura 80	Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	62
Figura 81	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Doña Juana durante el mes de octubre de 2016.	62
Figura 82	Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en octubre de 2016.	63
Figura 83	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de julio y octubre de 2016.	63
Figura 84	Localización epicentral e hipocentral de los sismos localizados en el volcán Doña Juana, registrados en el mes de octubre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	64
Figura 85	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	65

Figura 86	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2016.	66
Figura 87	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	66
Figura 88	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 27 de febrero y el 28 de octubre de 2016.	67
Figura 89	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azuftral durante el mes de octubre de 2016.	69
Figura 90	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación del Volcán Azuftral durante el mes de octubre de 2016.	69
Figura 91	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azuftral durante el mes de octubre de 2016.	70
Figura 92	Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azuftral entre julio y octubre de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.	71
Figura 93	Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en octubre de 2016 en el volcán Azuftral. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.	71
Figura 94	Energía diaria estimada con la magnitud local de los sismos VT ocurridos en Azuftral entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	72
Figura 95	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	73
Figura 96	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.	73
Figura 97	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 28 de octubre de 2016.	74
Figura 98	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Laguna instalada en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 14 de junio de 2016 y el 28 de octubre de 2016.	75
Figura 99	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalada en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 28 de octubre de 2016.	75
Figura 100	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azuftral.	76
Figura 101	Potencial de hidrogeno de las fuentes termales muestreadas en el mes de octubre de 2016 en el área de influencia del Volcán Azuftral.	78
Figura 102	Variación de temperatura de las fuentes termales muestreadas en el mes de octubre de 2016 en el área de influencia del Volcán Azuftral.	79
Figura 103	Variación de la conductividad eléctrica en las fuentes termales muestreadas en el mes de octubre de 2016 en el área de influencia del Volcán Azuftral.	79
Figura 104	Imagen térmica FT LV N° 1 – Volcán Azuftral – Octubre de 2016.	80
Figura 105	Imagen térmica FT Quebrada Blanca – Volcán Azuftral – Octubre de 2016.	81
Figura 106	Variación del pH en las FT del Volcán Azuftral – Octubre de 2016.	81
Figura 107	Variación en la concentración de bicarbonato en las FT del Volcán Azuftral – Octubre de 2016.	82
Figura 108	Temperatura estación Térmica domo Mallama – Junio a Octubre de 2016.	83

Figura 109	Pruebas de temperatura en domo Mallama en el área de influencia del Volcán AzufraI.	84
Figura 110	Imágenes de la emisión de gases del domo Mallama, 7 de octubre de 2016 a las 6:15 a.m. (izquierda) y 7:05 a.m. (derecha).	85
Figura 111	Emisión de gases del domo Mallama, 12 de octubre de 2016 a las 6:05 p.m.	85
Figura 112	Emisión de gases del domo Mallama, 13 de octubre de 2016 a las 6:50 a.m.	86
Figura 113	Imágenes del domo Mallama capturadas el 25 de octubre de 2016, en labores de campo por la zona de influencia del Volcán AzufraI, en las fotografías se observa emisión de gases.	86
Figura 114	Emisión de gases del domo Mallama, 28 de octubre de 2016 a las 5:55 a.m.	87

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del mes de octubre de 2016, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes ubicados al suroccidente colombiano, entre ellos Galeras, Cumbal, Chiles, Cerro Negro, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral, tomando datos en forma continua de los diferentes parámetros de estudio que permiten la evaluación de la actividad volcánica, además, realizando muestreos periódicos de otros parámetros geofísicos y geoquímicos, de importancia para la evaluación de la actividad.

Las 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 del estado de actividad de un volcán, mediante la aplicación de una serie de disciplinas y técnicas. Los cambios observados son el reflejo de los procesos al interior del sistema volcánico, y pueden ser provocados, entre otras causas, por movimiento de magma, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza o, por variaciones de presión interna, que normalmente se producen como consecuencia de la intrusión de material desde niveles más profundos a reservorios más someros y/o a la variación del contenido de volátiles y/o gases en estos reservorios.

En este informe técnico se resaltan principalmente los resultados obtenidos en octubre de 2016, en las diferentes áreas de monitoreo, mediante el procesamiento primario de los datos instrumentales y apreciables de la actividad volcánica y así acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen, y a un posible pronóstico de eventos eruptivos. El nivel de actividad de un volcán, es el resultado de la combinación de varios factores, tanto mesurables, como los apreciables de la actividad volcánica, los cuales pueden variar en intensidad, duración y frecuencia.

## RESUMEN


En el mes de octubre de 2016, la actividad sísmica de Galeras fue dominada por eventos relacionados con fracturamiento de roca (VT). En comparación con el mes anterior, para este periodo se observó un incremento tanto en la ocurrencia de los sismos, como en la energía liberada; el mayor aporte en energía provino de los eventos clasificados como VT con el 91% del total. Los eventos no clasificables (sismos que no alcanzan el umbral de amplitud y duración para su clasificación en una estación de referencia) mostraron descenso cercano al 39% en comparación con el mes anterior.

Los sismos localizados se ubicaron de manera dispersa alrededor del cráter volcánico, cuyas profundidades estuvieron entre 0.2 y los 14 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes locales menores a 1.7 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, cuatro de ellos muestran variaciones en sus componentes de inclinación, el resto de inclinómetros y estaciones GNSS permanentes presenta estabilidad en sus registros.

En el transcurso del periodo evaluado se obtuvieron 18 mediciones de emisiones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) a la atmósfera, con valores entre bajos, moderados y altos para Galeras. El valor máximo de flujo de SO<sub>2</sub> del periodo evaluado, fue de 1115 Tn/día, registrado el 14 de octubre de 2016.

Tomando la información que aportan las imágenes capturadas del cono activo, fue posible evidenciar la mayor parte del tiempo evaluado emisiones de gases (excepto para el día 20 de octubre), en su mayoría de color blanco y baja altura. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos.

Teniendo como base lo anteriormente expuesto, el nivel de actividad de Galeras se mantuvo en: Nivel Amarillo  (III) **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

De acuerdo al monitoreo sísmico registrado por las estaciones instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado se observó que la mayor parte de eventos se asocian con fractura de roca y posterior movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico. En relación con el mes anterior, se observó un incremento del 20% en la ocurrencia diaria de sismicidad. En este mes se tuvo registro de 13 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, cuyas frecuencias dominantes estuvieron entre 1.95 y 13.0 Hz. En su mayoría la sismicidad de fractura se localizó en inmediaciones del cono volcánico de Cumbal y a profundidades superficiales, cuyas magnitudes fueron menores a 2.6 en la escala de Richter, cerca del 97% inferior a 1.

Para el periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases para los días 1, 2, 3, 5, 7, 13, 14, 15, 17, 19, 27, 28, 29, 30 y 31 de octubre, de color blanco y dispersión variable por acción de los vientos.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de octubre de 2016 permitió, que la actividad del Complejo Volcánico Cumbal permaneciera en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

Haciendo referencia a los volcanes Chiles y Cerro Negro, se observó descenso en la ocurrencia diaria de eventos, la mayoría ubicados hacia los sectores sur y suroccidente del volcán Chiles con algunos epicentros hacia el costado suroriente con magnitudes menores a 2.7 en la escala de Richter y mayor concentración a profundidades entre 2 y 6 km. En los últimos meses se nota una clara tendencia descendente de la sismicidad con algunas fluctuaciones en la ocurrencia diaria. La temperatura en la fuente termal Baño Grande, mostró un máximo de 43.2 °C y un mínimo de 42 °C.

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

Con respecto al volcán Las Ánimas, para el periodo evaluado se tiene registro de 8 eventos tipo VT. De los cuales fue posible localizar seis, con magnitudes locales menores a 1 y profundidades entre 3 y 15 km. En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado se tiene registro de tres eventos clasificados de fractura de material rocoso, de estos se obtuvo una solución de localización para dos de ellos, con magnitud local menor a 1 y profundidades entre 6 y 9 km.

En relación al volcán Azufral, predominaron los sismos clasificados como VT, y en comparación con el mes anterior, la sismicidad del volcán presentó un marcado incremento en ocurrencia, pasando de 5 a 49 eventos, de los cuales fue posible obtener una solución de localización para 13 de ellos, 8 se ubicaron a 1.2 km de distancia hacia el sector noroccidental del edificio volcánico y los otros 5 de manera dispersa, los más próximos presentaron profundidades entre 2.3 y 3.8 km y los más dispersos hasta los 11 km. La magnitud local fluctuó entre -0.2 y 2.7 en la escala de Richter, el 62% presentó magnitud menor a 1.

La termocupla de Mallama registro valores de temperatura entre 67.4 °C y 88.5 °C.

Para el periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases la mayor parte del tiempo, excepto para los 18, 21 y 23 de octubre, columnas de color blanco, de baja altura, provenientes principalmente de uno de los domos activos ubicados al nororiente de la Laguna Verde.

Con base en el análisis de la información de los volcanes Doña Juana, Azufral y Las Ánimas, estos se consideran en **Nivel Verde** ● (IV), “Volcán activo y comportamiento estable”.



## 1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – OCTUBRE DE 2016

### 1.1. RED DE VIGILANCIA

Para el periodo evaluado, la red de monitoreo 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, otro ubicado en el sitio de la estación sísmica de banda ancha Cráter-2 y el último ubicado en el sitio de la estación sísmica Cóndor (Tabla 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Ocho estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas alrededor del cono activo (Figura 2, Tabla 3).
- Tres estaciones con transmisión telemétrica para la detección de emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), 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 (Figura 3, Tabla 5).
- Cuatro cámaras de video permanentes para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, otra en el municipio de Consacá, otra instalada en el flanco norte de la cima de Galeras, en el sitio denominado Barranco Alto y la última Bruma, hacia el sector suroccidental del cono (Figura 1).
- 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 climática, 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 ubicada en el sitio de la estación multiparamétrica Cráter-2.
- Tres estaciones de transmisión telemétrica para la medición de emisiones del gas Radón (Rn-222) proveniente del suelo, ubicadas por la vía de acceso a la cima del volcán, Lavas 1, Parques y Lirios (Figura 3).

Adicionalmente, 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 cinco bases y ocho prismas reflectores (Figura 2).

Por otra parte como complemento al monitoreo volcánico, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales para Galeras (Tabla 6, Figura 3).

En el periodo evaluado, se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos a las estaciones que conforman las redes de monitoreo volcánico de Galeras; adicionalmente, se hicieron mantenimientos en las repetidoras y equipos de recepción en la sede del Observatorio. La operatividad de la red instrumental de Galeras fue cercana al 85%. En la Figura 4 se muestra el histograma de porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo telemétrico durante el mes de octubre de 2016.

**Tabla 1.** Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2016.

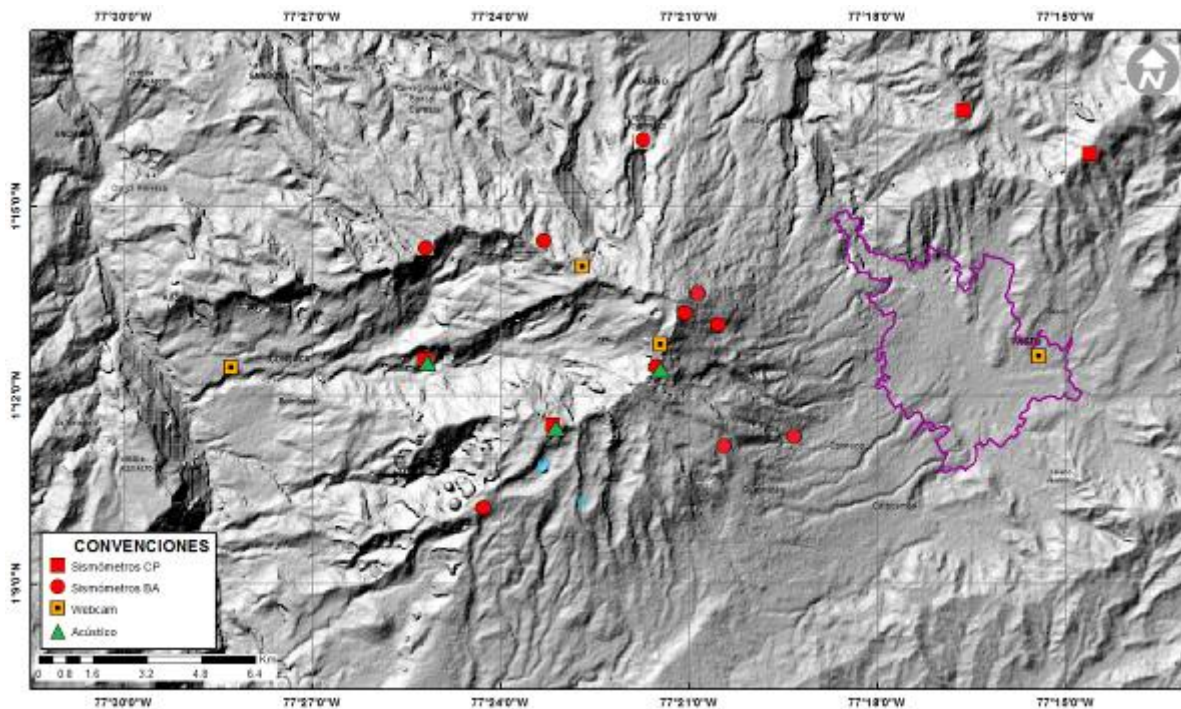
Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGV	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	0.8	E	4170
Cráter-2	CRAZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.9	ENE	3800
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	2.3	ESE	3494
Cobanegra-3	COBZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	3.9	SSE	3625
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.0	NW	3450
Cóndor	CONZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	4.9	SW	3985
Obonuco	OBVR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.9	SE	3010
Nariño-2	NRZZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	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	MORZ	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

**Tabla 2.** Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2016.

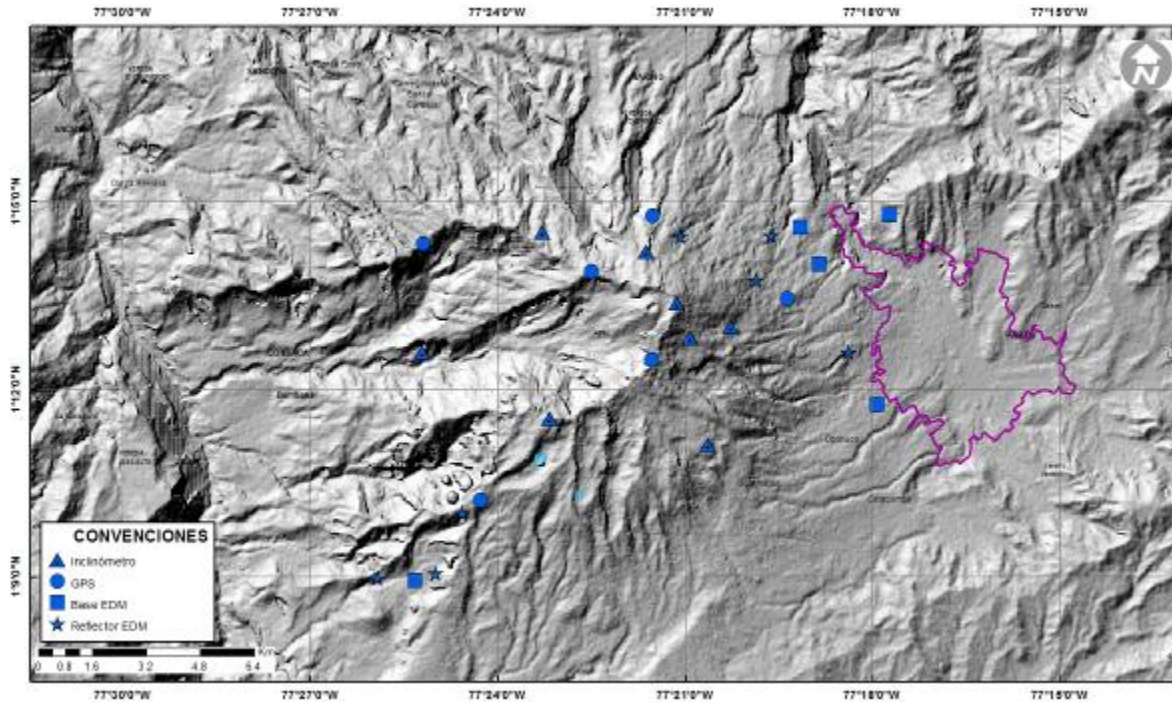
Inclínómetros Electrónicos	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Cráter	0,8	E	4060
Peladitos	1,4	SE	3850
Huairatola	1,7	N	3745
Urcunina	2,3	ESE	3494
Cobanegra	3,9	SSE	3625
Arlés	4,0	NW	3450
Cóndor	4,9	SW	3985
Calabozo	7,1	WSW	2350

**Tabla 3.** Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de octubre 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 1.** Mapa de localización de las estaciones sísmicas y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2016.



**Figura 2.** Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos, GNSS permanentes y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2016.

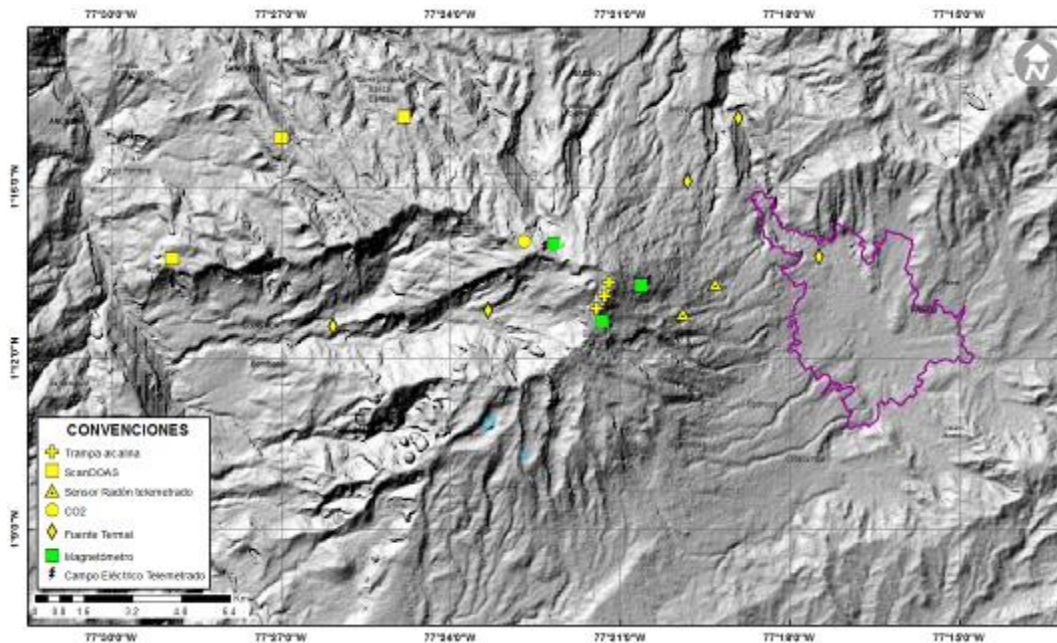
**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras.

Estación	Distancia al cráter (km)	angulo del scan ( ° )	Altura de referencia de la pluma* (m)	Dirección compás ( ° azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Santa Bárbara	7.9	60	1600	131	NNW	2600
Alto Jiménez	10.8	90	1800	295	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 eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.

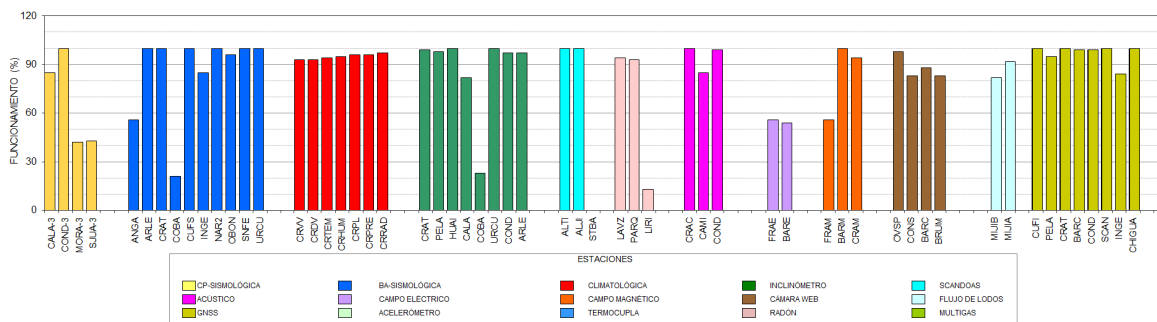
Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Frailejón	Digital	Eléctrico	Biaxial	2,7	E	3727
Frailejón	Digital	Magnético	Triaxial	2,7	E	3727
Barranco	Digital	Eléctrico	Biaxial	2.0	NW	3800
Barranco	Digital	Magnético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



**Figura 3.** Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO<sub>2</sub>, fuentes termales y radón telemetrado que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2016.

**Tabla 6.** Ubicación geográfica (WGS 84) de las fuentes termales en el Volcán Galeras.

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

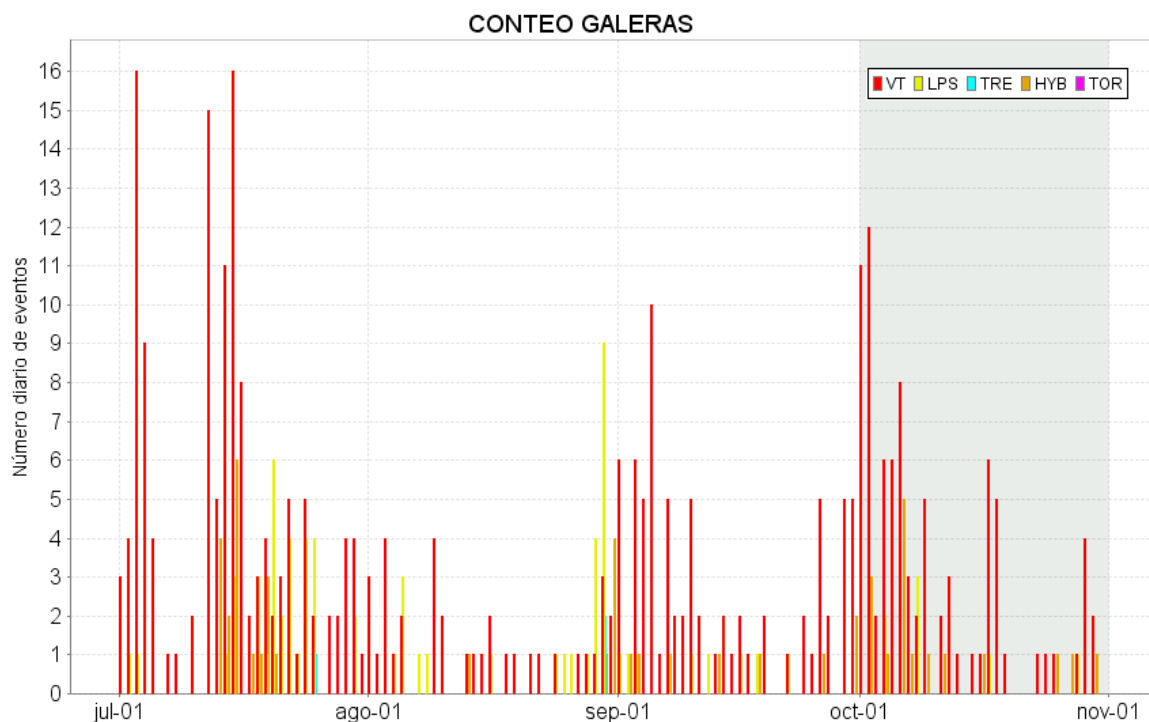


**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de octubre de 2016, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

## 1.2. SISMOLOGÍA

En el periodo evaluado la actividad sísmica dominante, estuvo asociada con eventos que involucran fracturamiento de roca (VT), seguidos por sismos caracterizados por fractura y posterior movimiento de fluidos (HYB) y en menor cuantía por eventos relacionados con movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria (LPS) (Tabla 7, Figura 5). En octubre la sismicidad volcánica en ocurrencia mostró un ligero incremento cercano al 19% en relación con el mes anterior, registrándose en total 108 sismos. La mayoría de los tipos de clasificación de eventos volcánicos mostraron incremento (Figura 6), en contraste se observó un ascenso de los eventos LPS. Los eventos de bajo nivel energético, que no cumplen con los estándares de amplitud y duración, denominados no clasificables (NC), mostraron descenso, próximo al 39% del número presentado en el mes anterior (Tabla 7).

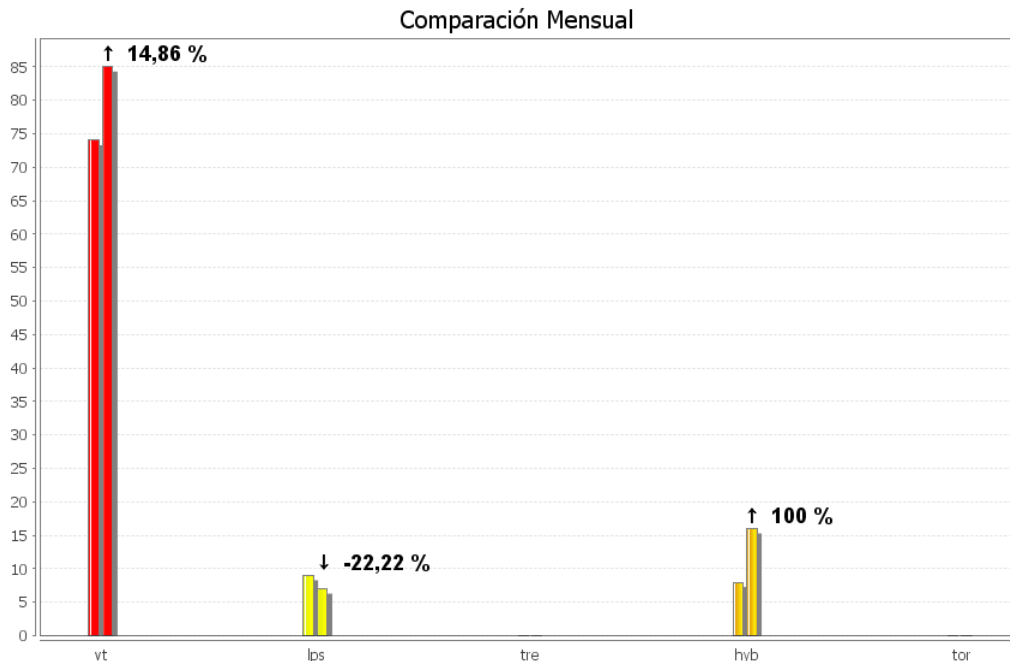
Para el periodo evaluado no se tuvo registro de eventos tipo Tremor (TRE), asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en el tiempo.



**Figura 5.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre julio y octubre de 2016. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.

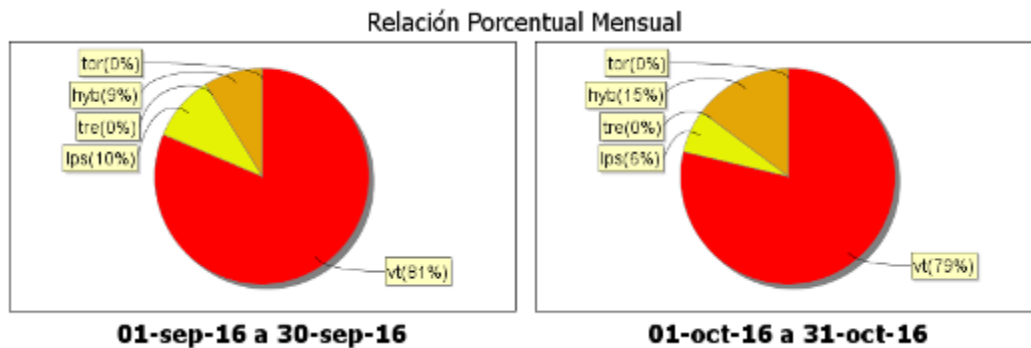
**Tabla 7.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL	NO CLASIFICABLES
	vt	lps	tre	hyb	tor			
01-jul-16 a 31-jul-16	135	33	1	18	0	187	431	
01-ago-16 a 31-ago-16	35	24	2	6	0	67	87	
01-sep-16 a 30-sep-16	74	9	0	8	0	91	200	
01-oct-16 a 31-oct-16	85	7	0	16	0	108	123	



**Figura 6.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre (barras de la izquierda).

La Figura 7 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos, observando para el periodo evaluado el dominio de los eventos VT.

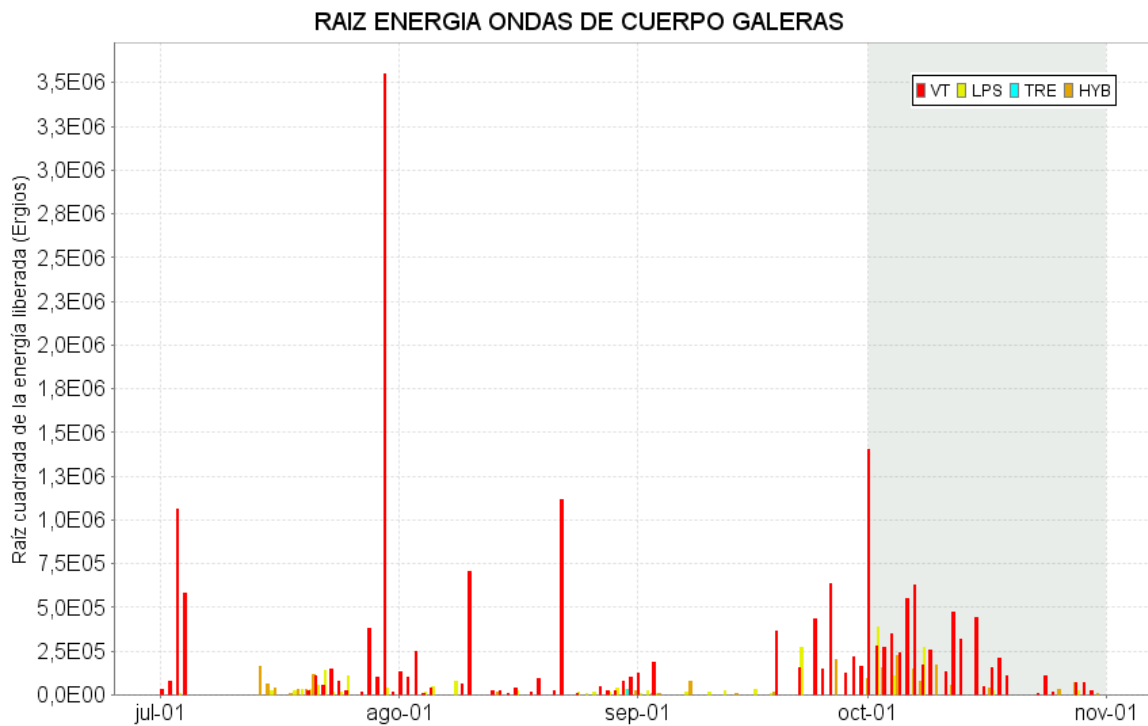


**Figura 7.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de septiembre y octubre de 2016.

La energía sísmica liberada en octubre de 2016 fue de  $4.10 \times 10^{12}$  ergios, observándose un incremento en cuatro veces a lo registrado en el mes de septiembre (Tabla 8, Figura 8). En el periodo evaluado, el mayor aporte provino de los eventos tipo VT con el 91% del total (Figuras 8, 9 y 10).

**Tabla 8.** Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

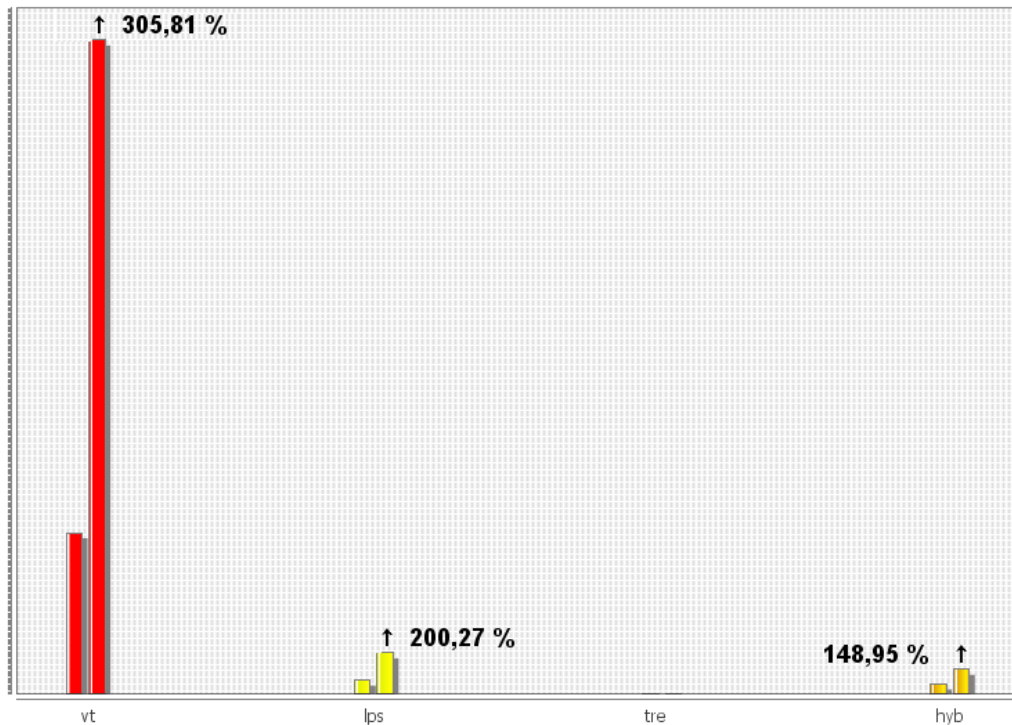
Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-jul-16 a 31-jul-16	1.43E+13	3.93E+10	0	4.70E+10	1.43E+13
01-ago-16 a 31-ago-16	1.87E+12	1.21E+10	7.70E+08	1.15E+09	1.88E+12
01-sep-16 a 30-sep-16	9.18E+11	7.80E+10	0	5.62E+10	1.05E+12
01-oct-16 a 31-oct-16	3.72E+12	2.34E+11	0	1.40E+11	4.10E+12



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

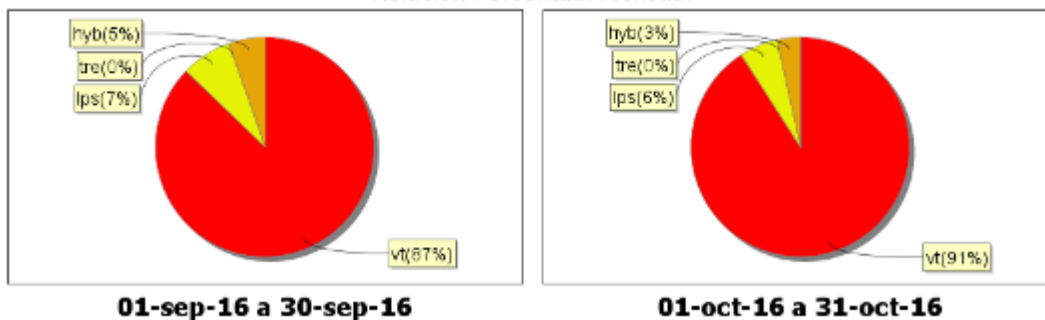


### Comparación Mensual



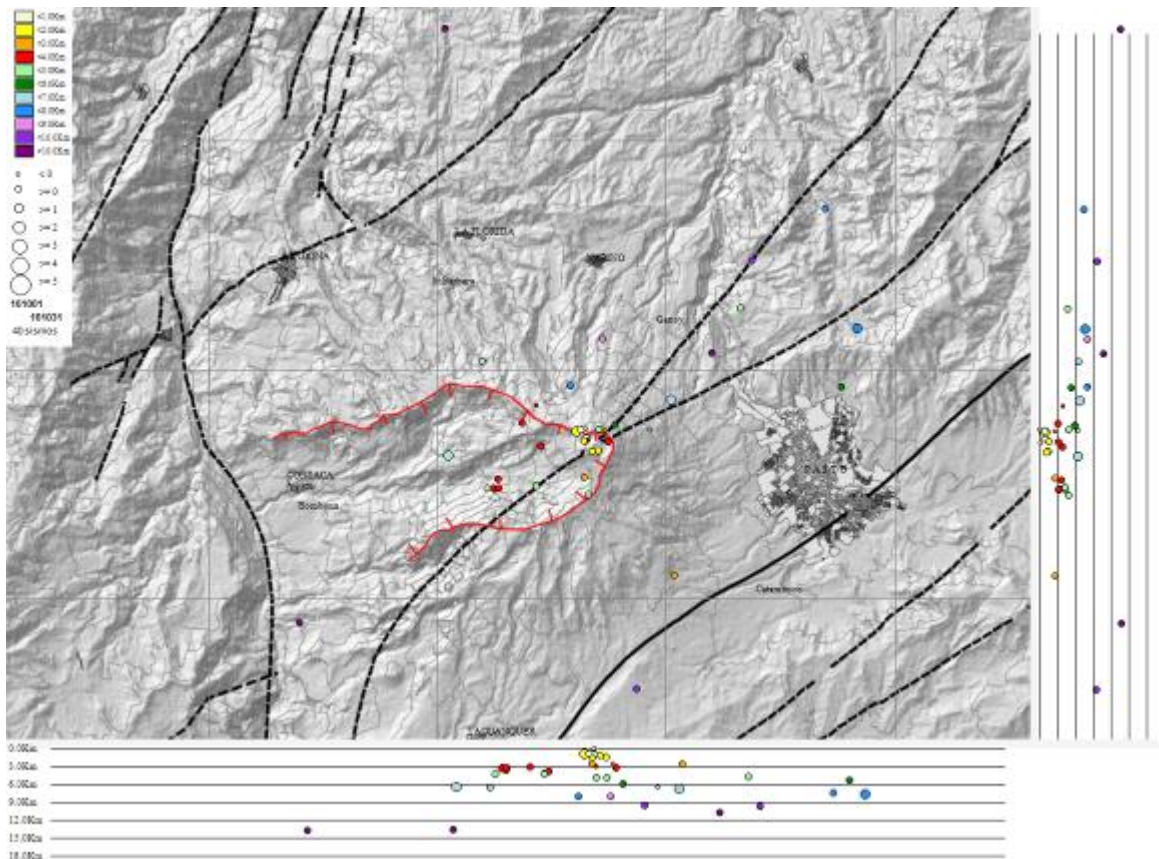
**Figura 9.** Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para octubre de 2016 (barras de la derecha) respecto a septiembre de 2016 (barras de la izquierda).

### Relación Porcentual Mensual



**Figura 10.** Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para septiembre y octubre de 2016.

Para el periodo evaluado fue posible obtener una solución de localización para 40 sismos, de los cuales 37 fueron clasificados como VT y 3 como HYB, ubicándose dispersos en la zona de influencia de Galeras, con distancias respecto al cráter principal hasta de 13.5 km, profundidades entre 0.2 y 14 km con respecto a su cima (4270 msnm), los eventos más superficiales se ubicaron próximos al cráter activo, las magnitudes locales fueron menores a 1.7 en la escala de Richter, el 93% de la sismicidad presentó magnitud local menor a 1. El sismo más energético se registró el día 15 de octubre a las 7:03 p.m., con una profundidad de 7 km (Figura 11).



**Figura 11.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de octubre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3.0 km de profundidad.

### 1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

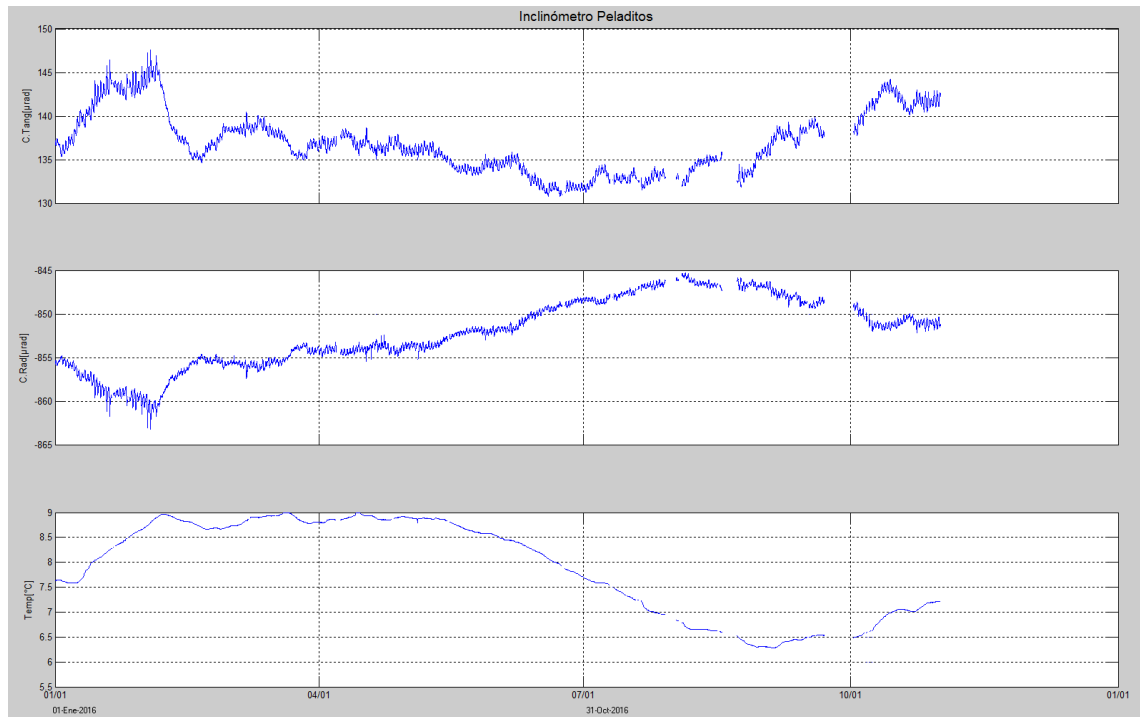
#### 1.3.1. Inclínometría Electrónica

Durante el mes de octubre 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.

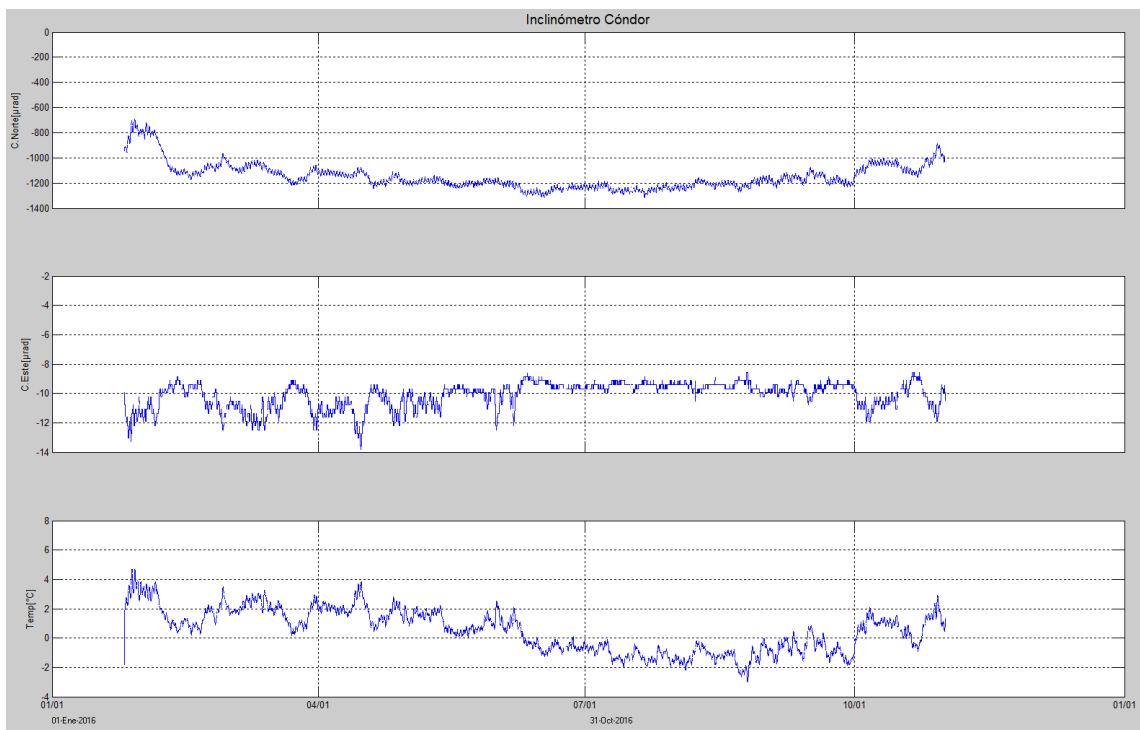
En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, se observó que continúa la tendencia ascendente en la componente de inclinación Tangencial del inclinómetro Peladitos, acumulando desde el 4 de agosto de 2016 cerca de 12  $\mu$ rad, mientras que la componente Radial presenta un comportamiento descendente registrando 7  $\mu$ rad (Figura 12). De igual forma se presenta un comportamiento ascendente en la componente Norte del inclinómetro Cóndor registrando desde el 21 de julio cerca de 427  $\mu$ rad, estabilidad en la componente Este (Figura 13). Desde el 29 de septiembre de 2016 se observa una tendencia ascendente en la componente Norte del inclinómetro Arles, alcanzando cerca de 52  $\mu$ rad (Figura 14). Se resalta que debido a las fluctuaciones en el registro del inclinómetro

electrónico Calabozo, se decide el 27 de octubre, realizar en campo nivelación del sensor, por lo cual es poco tiempo para evidenciar alguna tendencia en particular (Figura 15).

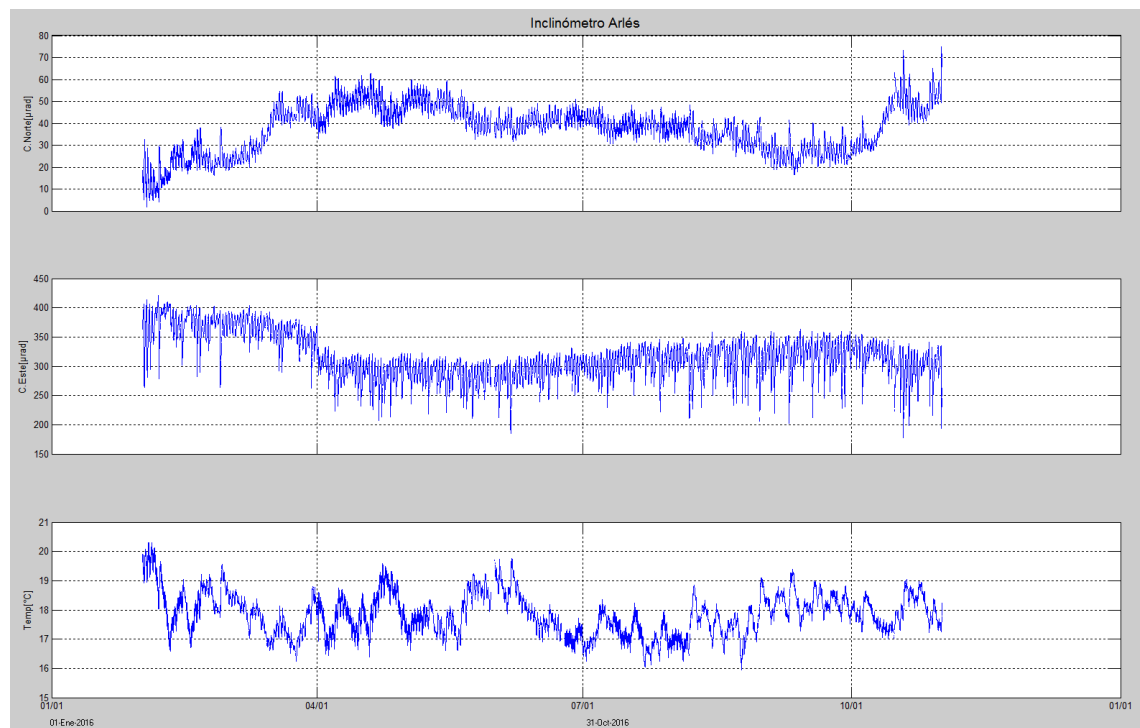
Se presenta estabilidad en los registros de los inclinómetros electrónicos de Cráter, Huairatola, Cobanegra y Urcunina (Figuras 16, 17, 18 y 19).



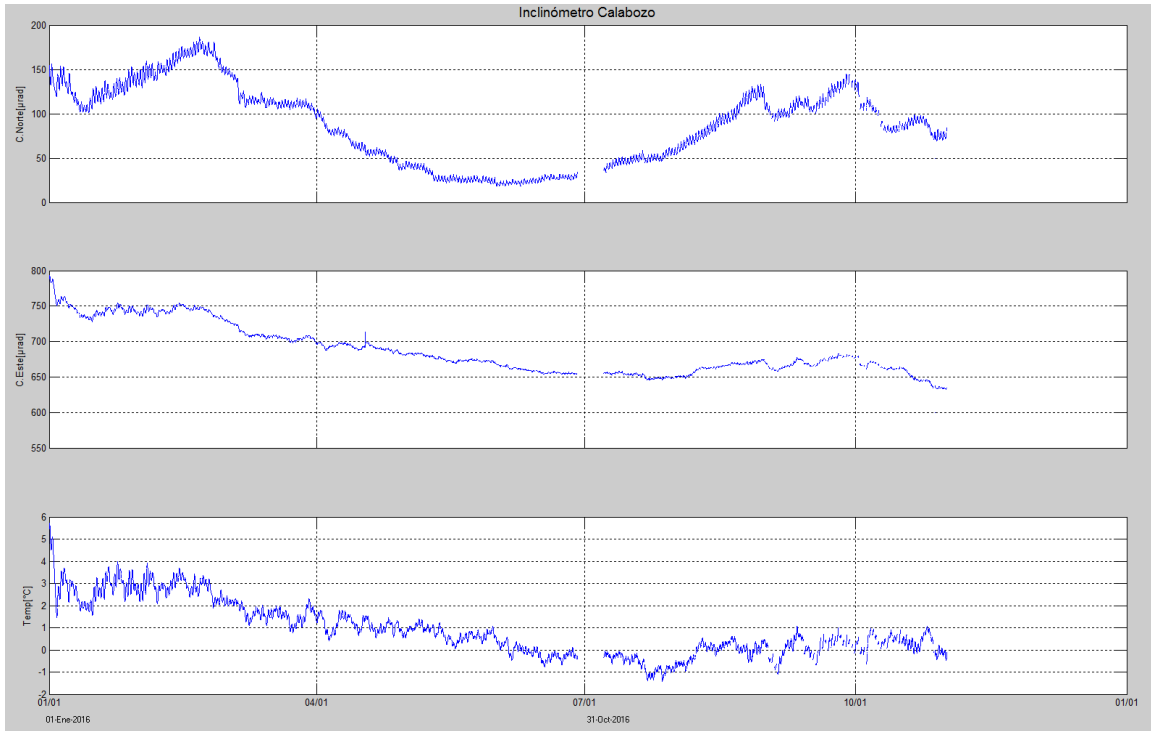
**Figura 12.** Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



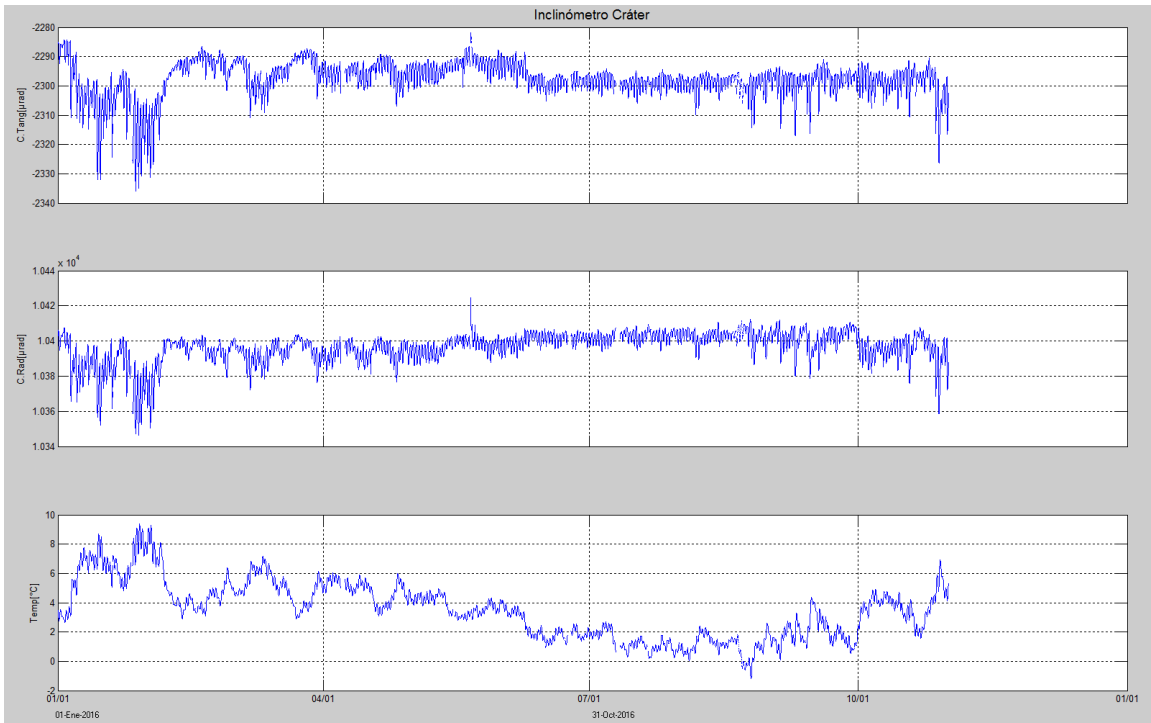
**Figura 13.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Córdor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



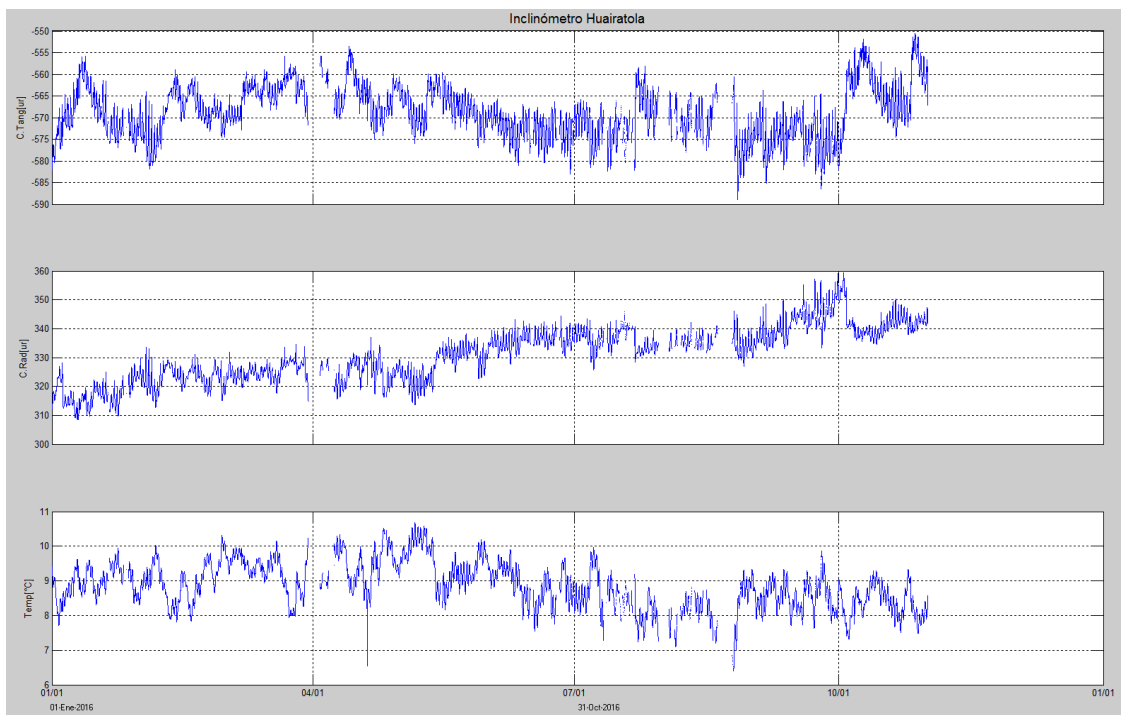
**Figura 14.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



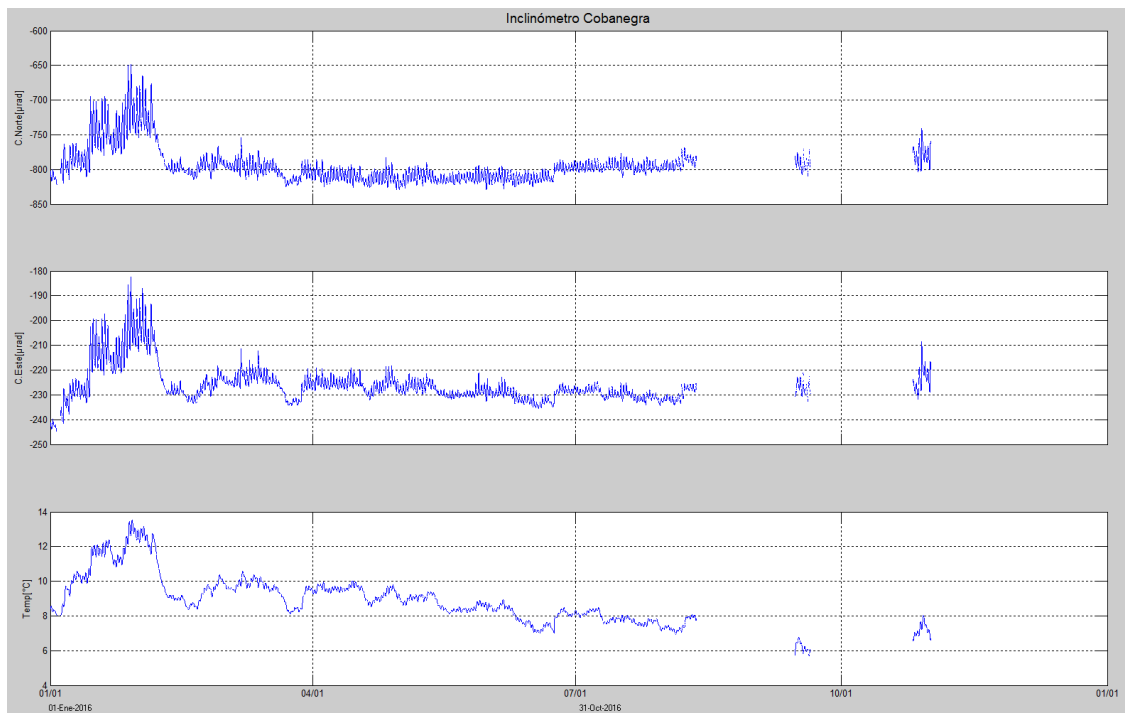
**Figura 15.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



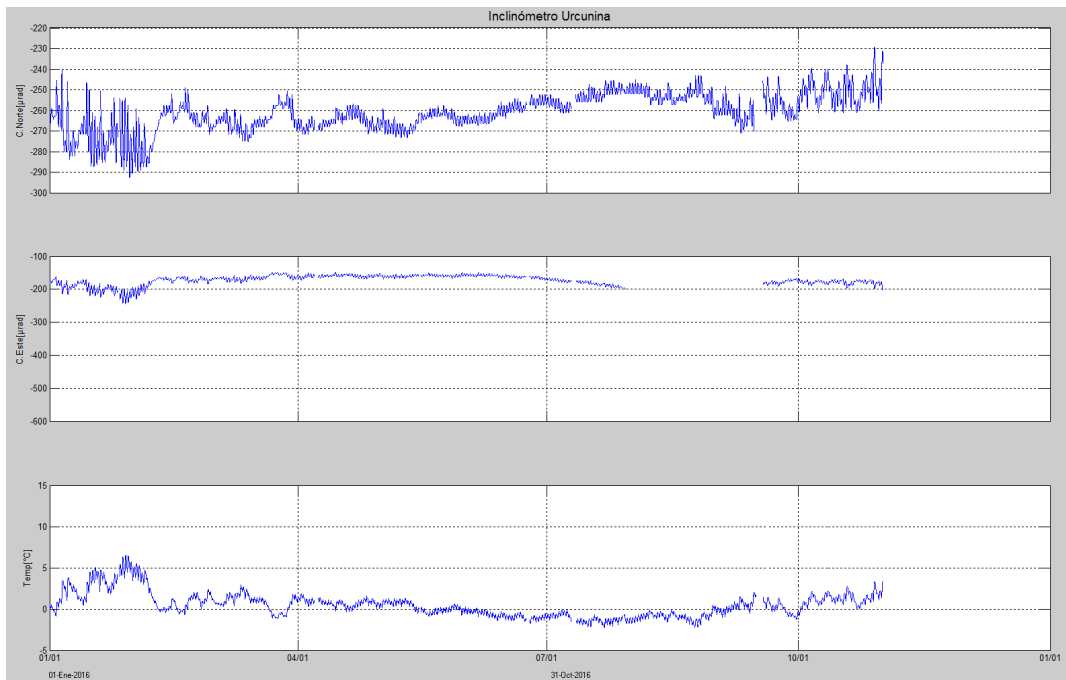
**Figura 16.** Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 17.** Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 18.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



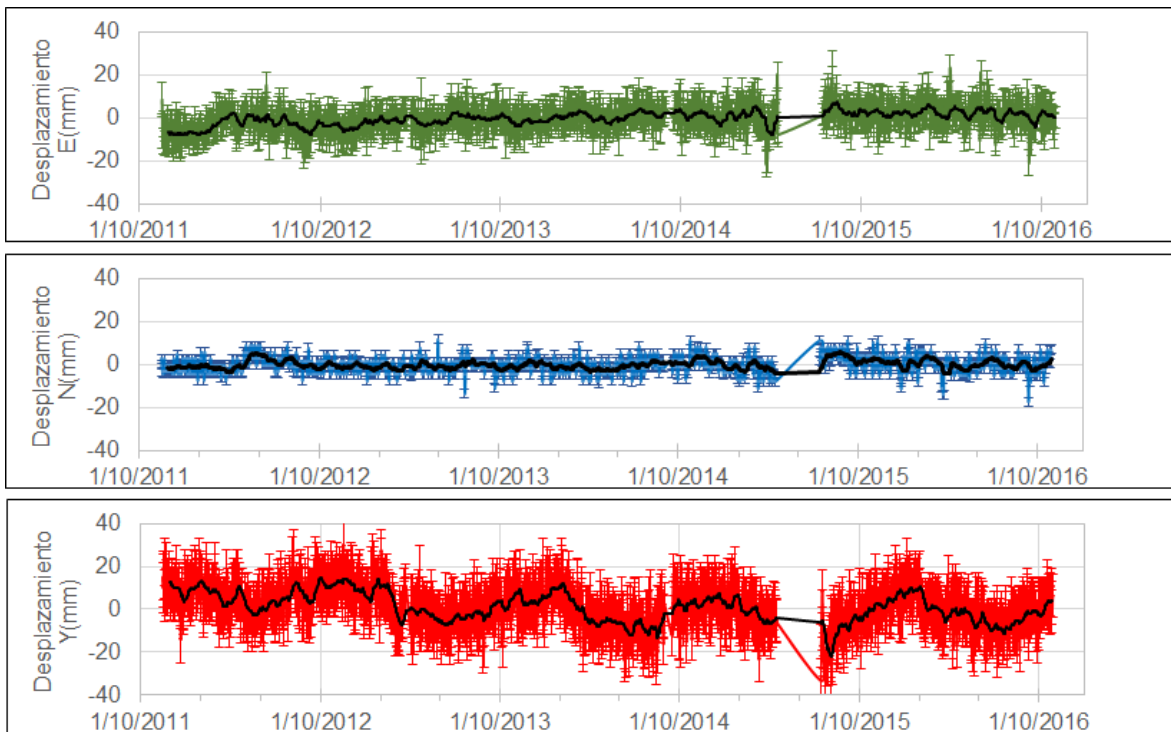
**Figura 19.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.

### 1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

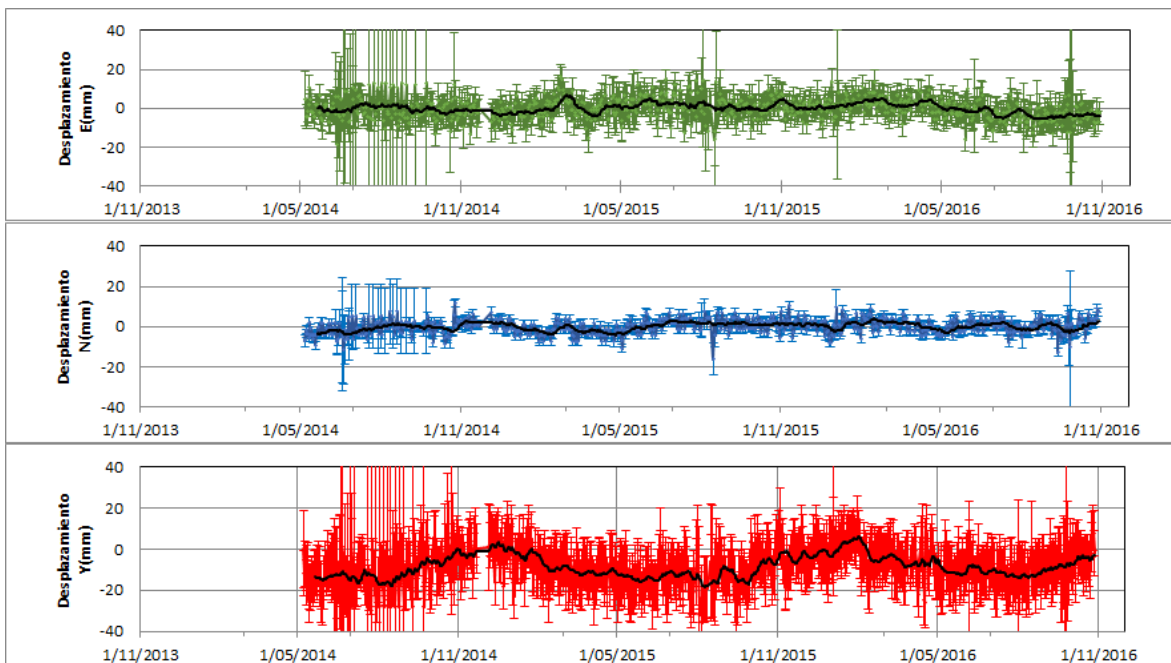
En octubre de 2016 se contó con el registro de ocho estaciones receptoras GNSS permanentes. Los GNSS Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, Cónдор se reinstaló el 21 de febrero de 2015 y en septiembre de 2016 se instalaron los GNSS de Cufiño y Peladitos.

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las Figuras 20 a 27, se indica el comportamiento de las direcciones de los GNSS instalados en Galeras.

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que puede verificarse en el registro presente en la dirección Norte de la estación QUILL, 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 (Figura 28).

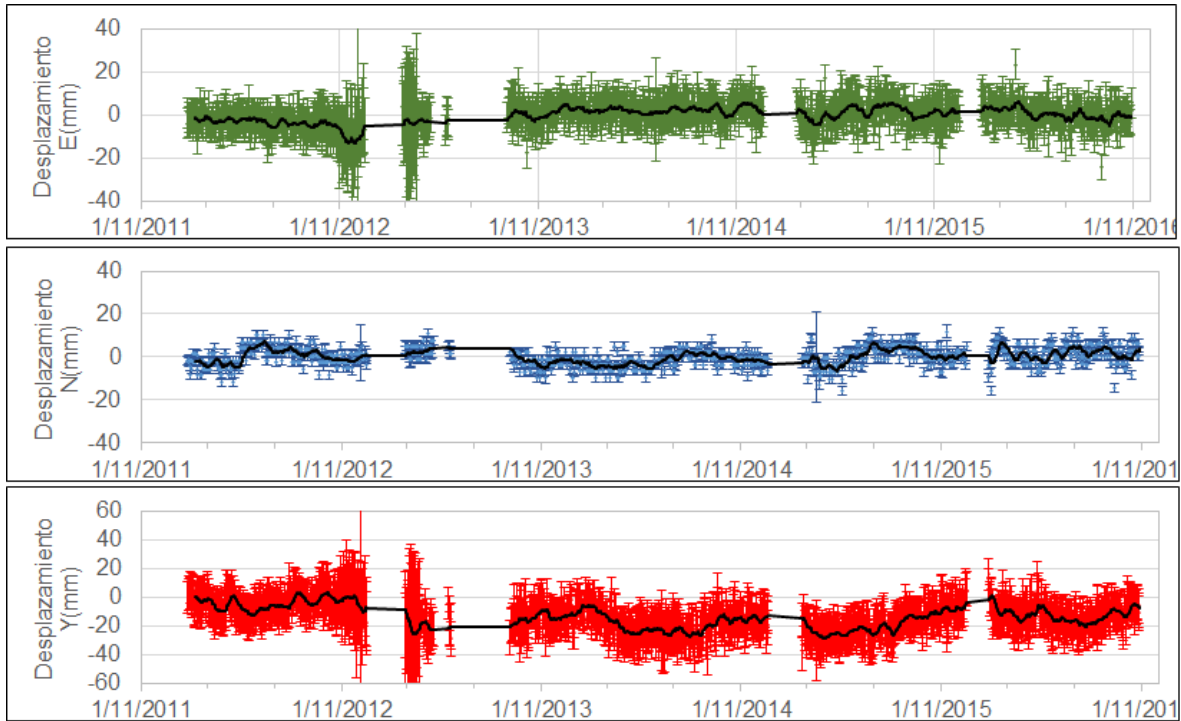


**Figura 20.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 26 de octubre de 2011 y el 28 de octubre de 2016.

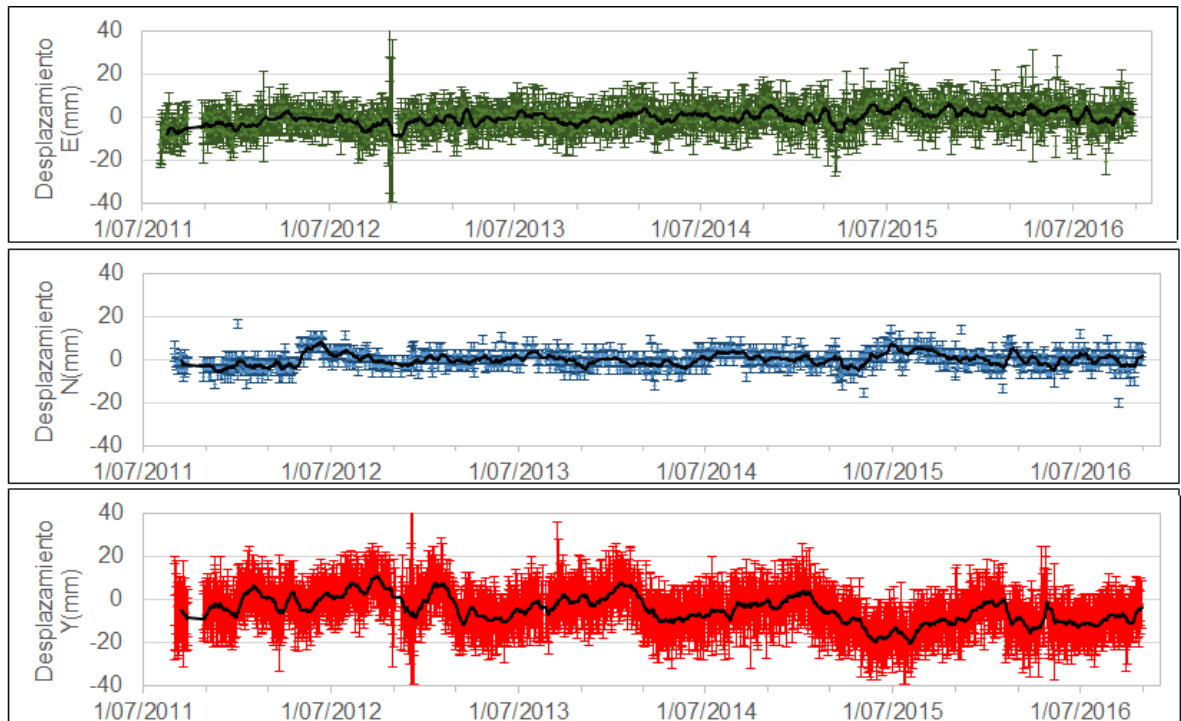


**Figura 21.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 28 de octubre de 2016.

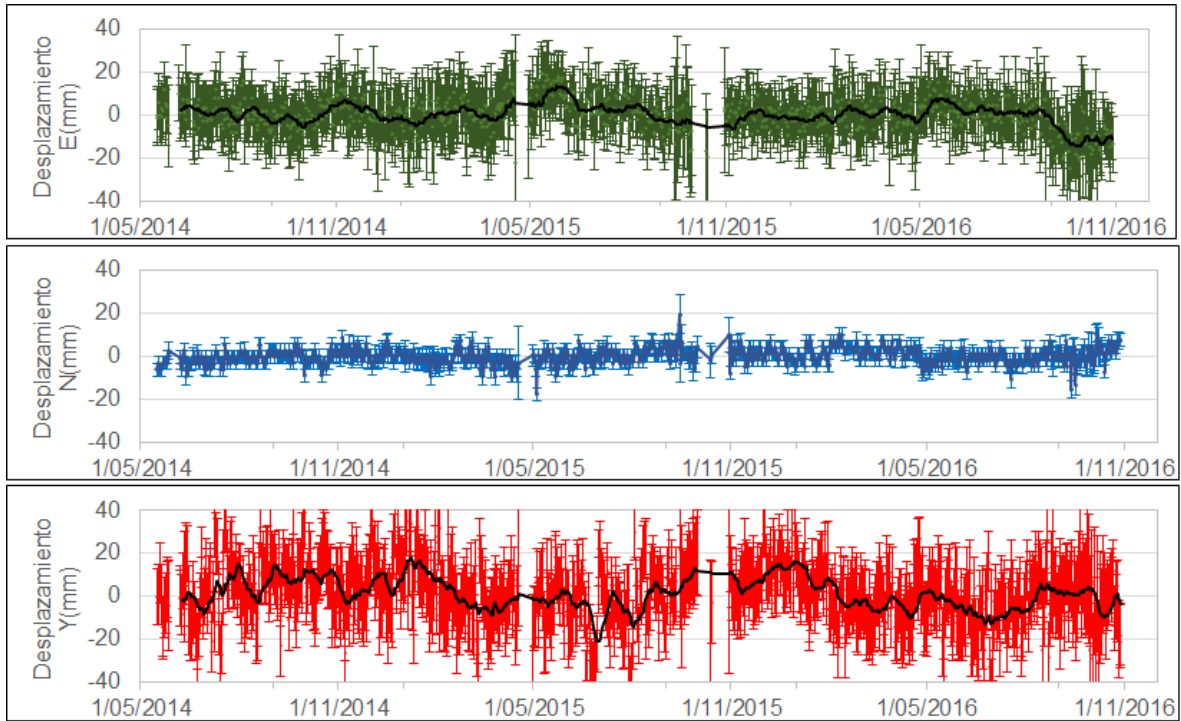




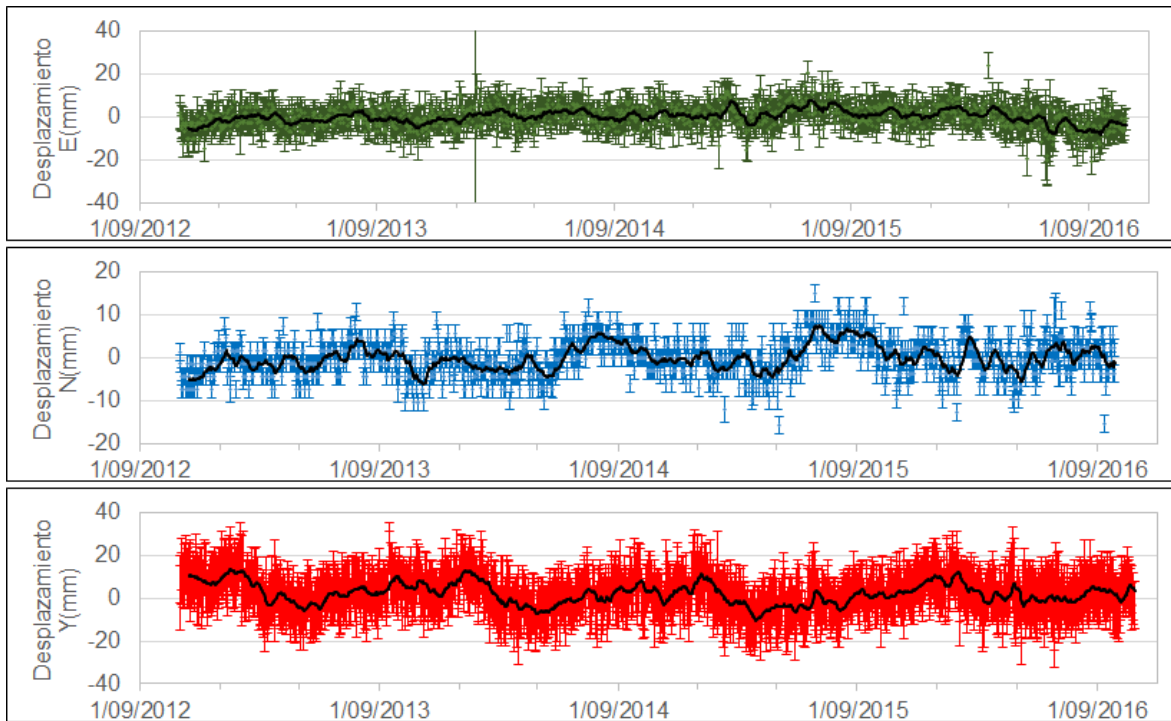
**Figura 22.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 30 de diciembre de 2011 y el 28 de octubre de 2016.



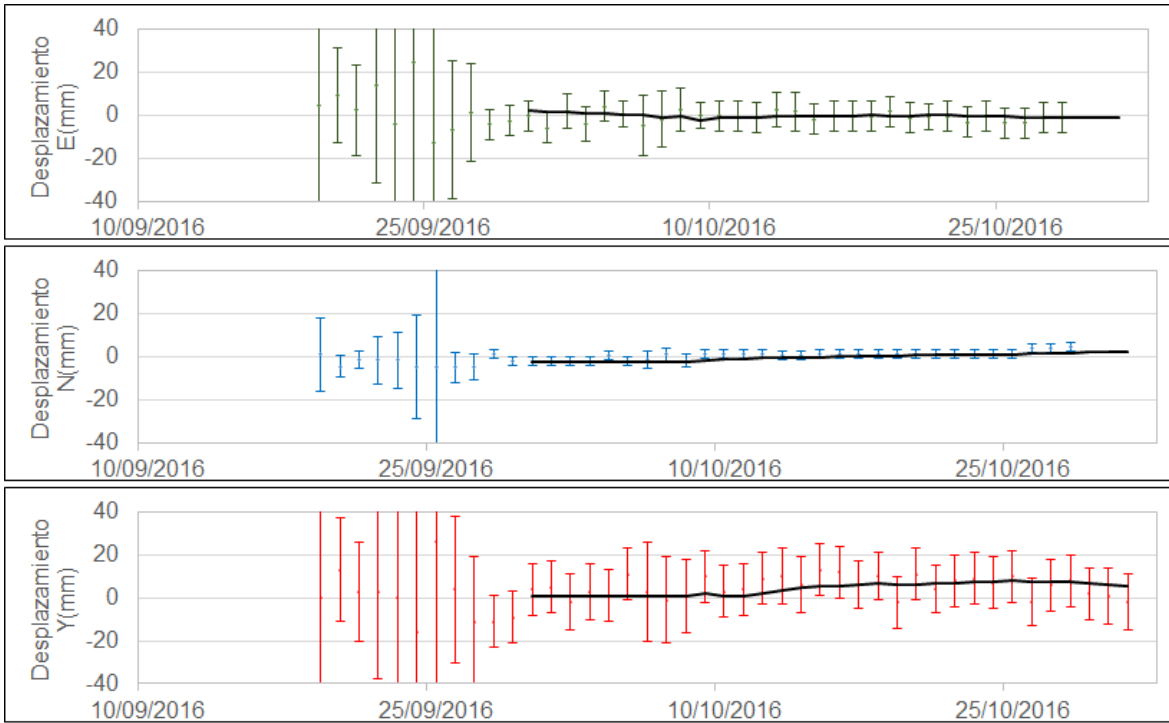
**Figura 23.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de agosto de 2011 y el 28 de octubre de 2016.



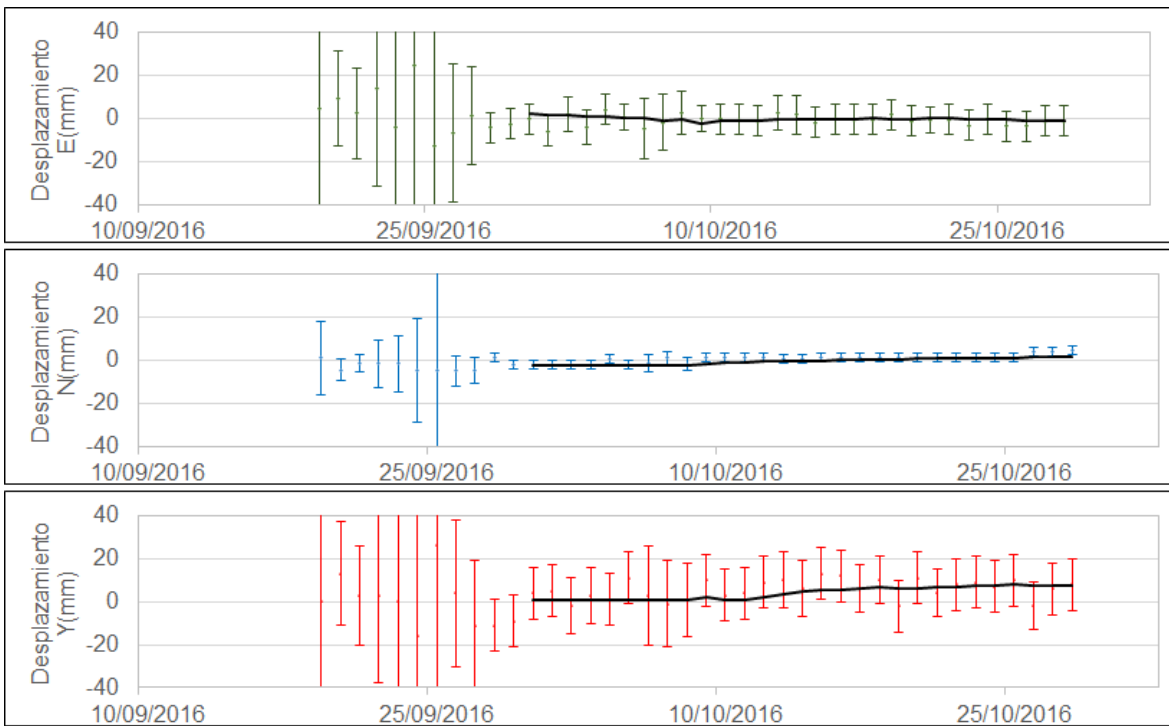
**Figura 24.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 16 de mayo de 2014 y el 28 de octubre de 2016.



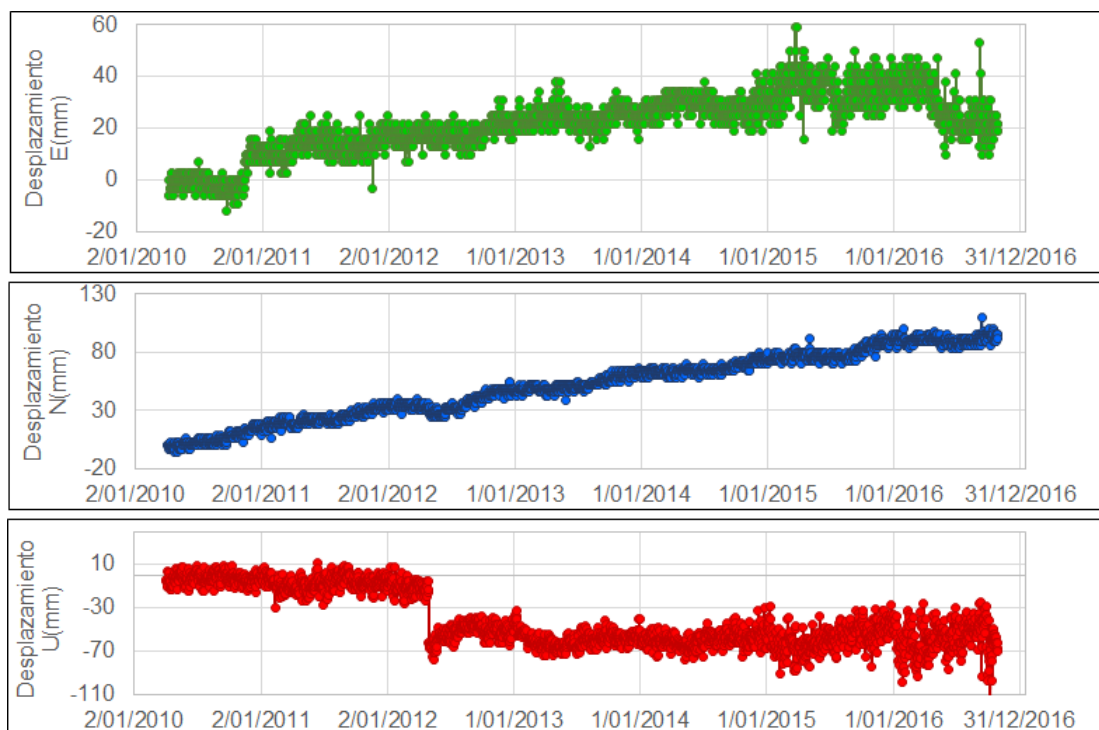
**Figura 25.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2012 y el 28 de octubre de 2016.



**Figura 26.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Peladitos instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 19 de septiembre de 2016 y el 28 de octubre de 2016.



**Figura 27.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 19 de septiembre de 2016 y el 28 de octubre de 2016.



**Figura 28.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, en el Municipio de Chachagui, Departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre el 3 de marzo de 2010 y el 28 de octubre de 2016.

## 1.4. GEOQUÍMICA

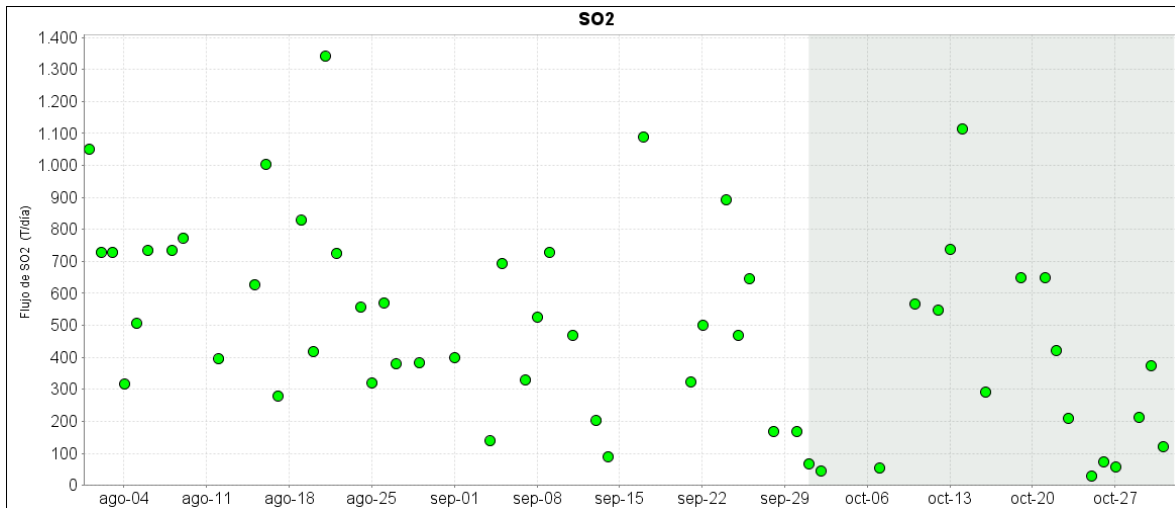
En cuanto a las emisiones de gases de origen volcánico en la zona de influencia del volcán Galeras, durante el mes de octubre de 2016 se efectuaron mediciones de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) en la atmósfera, con las estaciones permanentes ScanDOAS. Además, se realizaron mediciones de emisión del isótopo 222 del elemento radiactivo Radón ( $\text{Rn}_{222}$ ), que es el isótopo más estable de éste gas.

### 1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre $\text{SO}_2$

El dióxido de azufre es una molécula presente en la atmósfera terrestre, principalmente en la tropósfera, emitido por los volcanes activos y por actividades antropogénicas.

En el volcán Galeras se encuentran instaladas tres estaciones ScanDOAS telemétricas: Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara para el monitoreo de moléculas de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), partículas provenientes de la desgasificación del magma en el reservorio profundo. El SCANDOAS es un sistema de espectroscopia de absorción UV que funciona mediante absorción óptica diferencial de la luz ultravioleta, en este caso diseñado para medir la concentración de gas  $\text{SO}_2$ , convirtiendo la luz ultravioleta detectada en señales digitales, cuyo espectro se utiliza para la evaluación del gas (Instructivo del APLICATIVO ISOLUCIÓN: IN-AME-OVS-020).

Se registraron escaneos durante todos los días del mes de octubre para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, registrando valores de emisión entre 29 Ton/día hasta 1115 Ton/día, valores considerados como bajos a altos para Galeras, mientras que para la estación Santa Bárbara, no se tiene registro de escaneos (Figuras 29 y 30, Tabla 9).



**Figura 29.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> registrado desde el 1 de agosto de 2016 hasta el 31 de octubre de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

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

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO <sub>2</sub> diario	Estación de registro	Instrumento
1-Oct-16	01:09 PM	296.3	1	68	Alto Tinajillas	SCANDOAS
2-Oct-16	07:27 AM	299.3	1	45	Alto Tinajillas	SCANDOAS
7-Oct-16	07:20 AM	304.7	1	53	Alto Tinajillas	SCANDOAS
10-Oct-16	07:25 AM	346	7.3	568	Alto Tinajillas	SCANDOAS
12-Oct-16	02:42 PM	80	13.8	547	Alto Tinajillas	SCANDOAS
13-Oct-16	08:24 AM	316	11.6	738	Alto Tinajillas	SCANDOAS
14-Oct-16	08:06 AM	82	13	1115	Alto Jimenez	SCANDOAS
16-Oct-16	08:36 AM	295	9.8	291	Alto Tinajillas	SCANDOAS
19-Oct-16	02:26 PM	347	10	649	Alto Jimenez	SCANDOAS
21-Oct-16	08:42 AM	74	15	649	Alto Jimenez	SCANDOAS
22-Oct-16	12:18 PM	314	5.1	422	Alto Tinajillas	SCANDOAS
23-Oct-16	11:56 AM	318	6.7	210	Alto Jimenez	SCANDOAS
25-Oct-16	10:58 AM	305	1	29	Alto Tinajillas	SCANDOAS
26-Oct-16	03:39 PM	315	1.1	74	Alto Tinajillas	SCANDOAS
27-Oct-16	02:54 PM	338	1	57	Alto Jimenez	SCANDOAS
29-Oct-16	03:08 PM	314	2.3	213	Alto Tinajillas	SCANDOAS
30-Oct-16	02:51 PM	374	4.8	374	Alto Jimenez	SCANDOAS
31-Oct-16	03:52 PM	298	3.4	121	Alto Tinajillas	SCANDOAS

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

Para este periodo se evidencia un proceso de desgasificación más bajo en comparación con meses anteriores, tal y como se observa en la gráfica (Figura 29), fue posible observar actividad superficial en Galeras desde las cámaras web instaladas en cercanías al volcán. Se presentaron altos valores de velocidad del viento durante el periodo evaluado, los cuales alcanzaron los 11.6 m/s (Figura 30). La tendencia de dirección del viento se encuentra hacia los 330° en azimut. El mayor flujo de SO<sub>2</sub>

registrado durante el mes, se presenta el día 14 de octubre de 2016 con un valor de 1115 Ton/día, considerado flujo alto para el volcán Galeras.

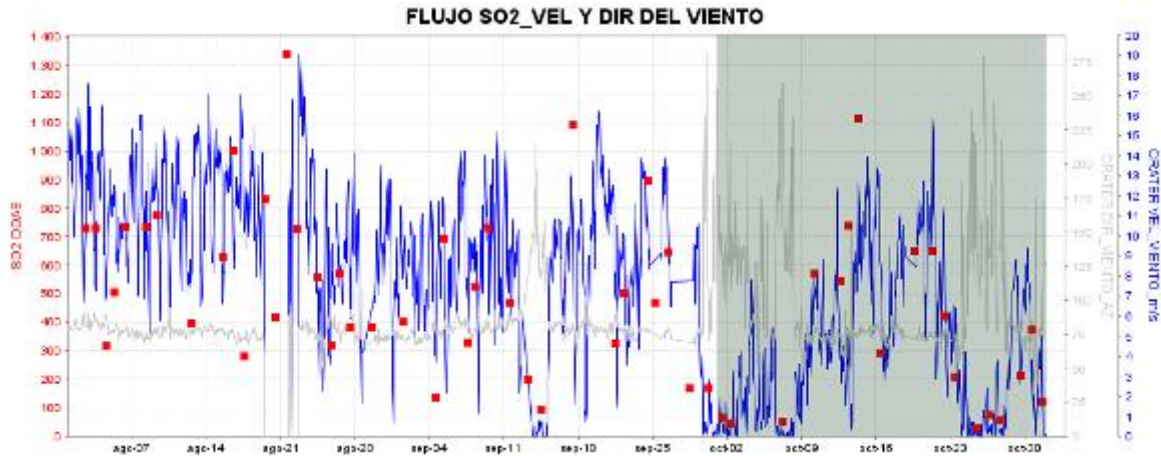


Figura 30. Flujo de emisión de SO<sub>2</sub>, dirección y velocidad del viento para el mes de octubre de 2016.

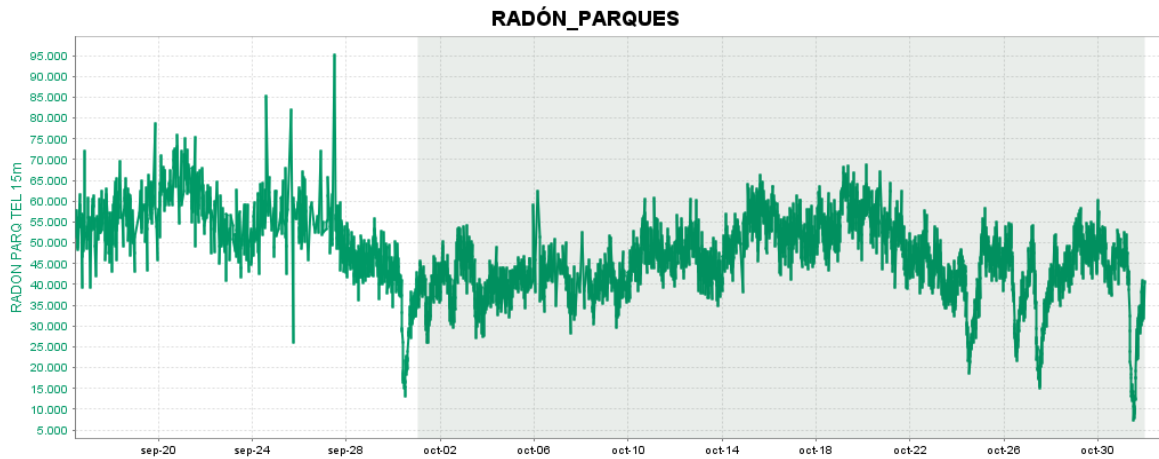
#### 1.4.2. Concentración de gas radón difuso en suelo

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).

En la Figura 31 se presenta la gráfica del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, registrado desde la estación Parques, las variaciones presentadas pertenecen a la difusión típica de radón en este sitio, no se presentan cambios significativos en el periodo evaluado. No es posible tener información de las estaciones Los Lirios y Lavas por problemas con el sistema telemétrico.

Se presenta un máximo de concentración de 45185 Bq/m<sup>3</sup> (Figura 31, Tabla 10). Se continuará realizando seguimiento a estas variaciones para poder evaluar este comportamiento y su relación con la actividad volcánica.



**Figura 31.** Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica Parques – Octubre de 2016.

**Tabla 10.** Valores de concentración de radón en estación Parques – Volcán Galeras – mes de octubre 2016.

CONCENTRACIÓN RADÓN	[Bq/m <sup>3</sup> ]
<b>Promedio</b>	45185.34
<b>Máximo</b>	68653.97
<b>Mínimo</b>	7389.97

## 1.5 ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas hacia la cima desde la sede del OVSP, por reportes de las comisiones de personal en campo, de la comunidad o las autoridades y por videos e imágenes de las cámaras instaladas en el OVSP, Consacá, Barranco y Bruma.

Condiciones favorables de clima permitieron la mayor parte del tiempo observar emisiones de gases, excepto para el día 20 de octubre, debido a la alta nubosidad presente en la cima volcánica. La dirección de dispersión de las columnas de gases fue variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, campos fumarólicos de El Paisita sector norte y cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico. En las Figuras 32 a 37 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.



**Figura 32.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 4 de octubre de 2016, en horas de la tarde, 4:12 p.m. y 5:39 p.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.



**Figura 33.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 7 de octubre de 2016, imágenes capturadas desde las cámaras de Barranco (izquierda 6:23 a.m.) y Bruma (derecha 1:36 a.m.).



**Figura 34.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 13 de octubre de 2016, en horas de la mañana 7:45 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Bruma.

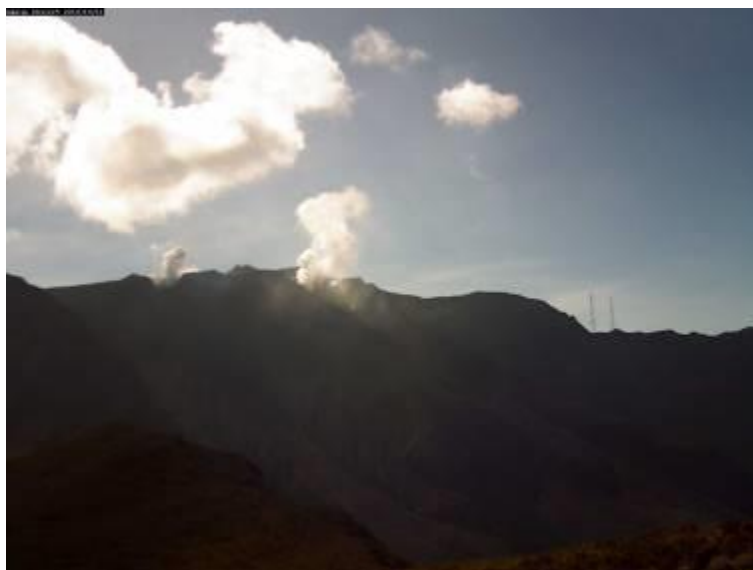




**Figura 35.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 23 de octubre de 2016, en horas de la tarde, 2:50 p.m. y 5:33 p.m., capturadas desde la cámara de Bruma.



**Figura 36.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 26 de octubre de 2016, imágenes capturadas en horas de la mañana desde las cámaras de Barranco (izquierda 7:16 a.m.) y Bruma (derecha 7:59 a.m.).



**Figura 37.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 31 de octubre de 2016, en horas de la mañana 8:24 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.

## 1.6. CONCLUSIONES

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”.

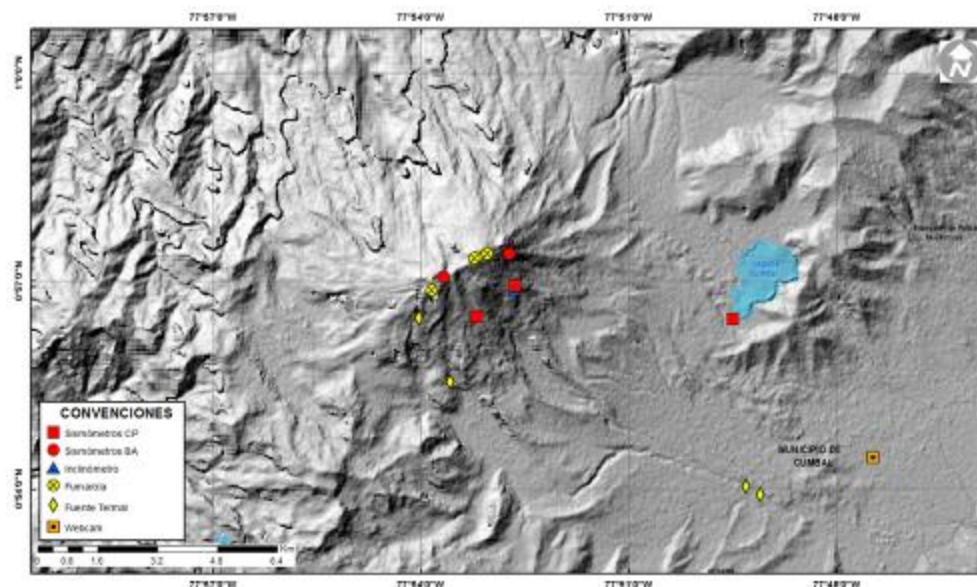
## 2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – OCTUBRE DE 2016

### 2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 38 se presenta la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal, la cual consta de cuatro estaciones para monitorear su sismicidad (dos sensores de banda ancha y dos de corto periodo), cuatro estaciones para el seguimiento de la deformación cortical del edificio volcánico y un sensor de presión acústica. Adicionalmente, se tiene una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, instalada en el municipio de Cumbal y desde finales del mes de septiembre se tiene instalada una cámara de video en el sector de la estación Punta Vieja, enfocada hacia el campo fumarólico El Verde. De igual forma se cuenta con el registro de la estación Cumbal, muy cerca de la Laguna de Cumbal, estación de monitoreo de la Red Sismológica Nacional de Colombia - RSNC (Figura 38).

Así mismo se tiene una red de muestreo de gases in situ en fumarolas y aguas en fuentes termales (Figura 38).

En la Tabla 11, se consigna el nombre de cada estación con algunas de sus características. En la Figura 39 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones para el periodo evaluado.

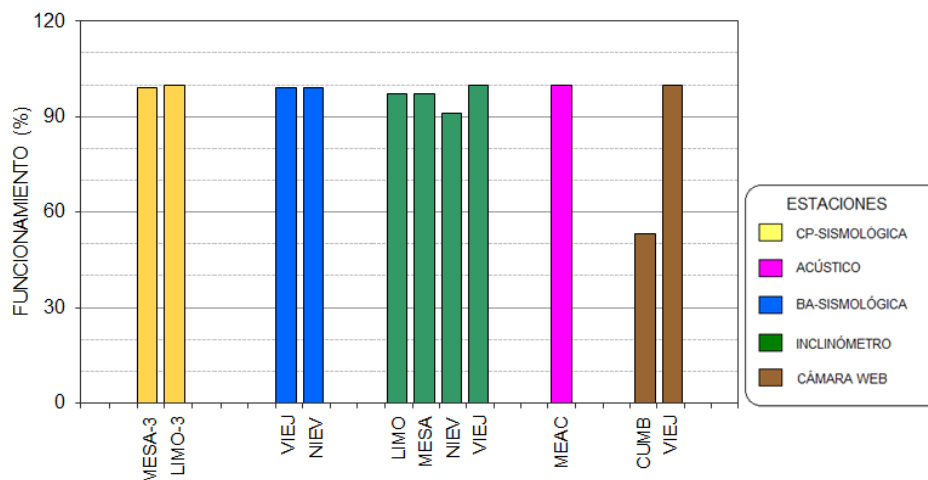


**Figura 38.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de octubre de 2016.

Las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de octubre de 2016, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 94% (Figura 39).

**Tabla 11.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de octubre 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	Vertical	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



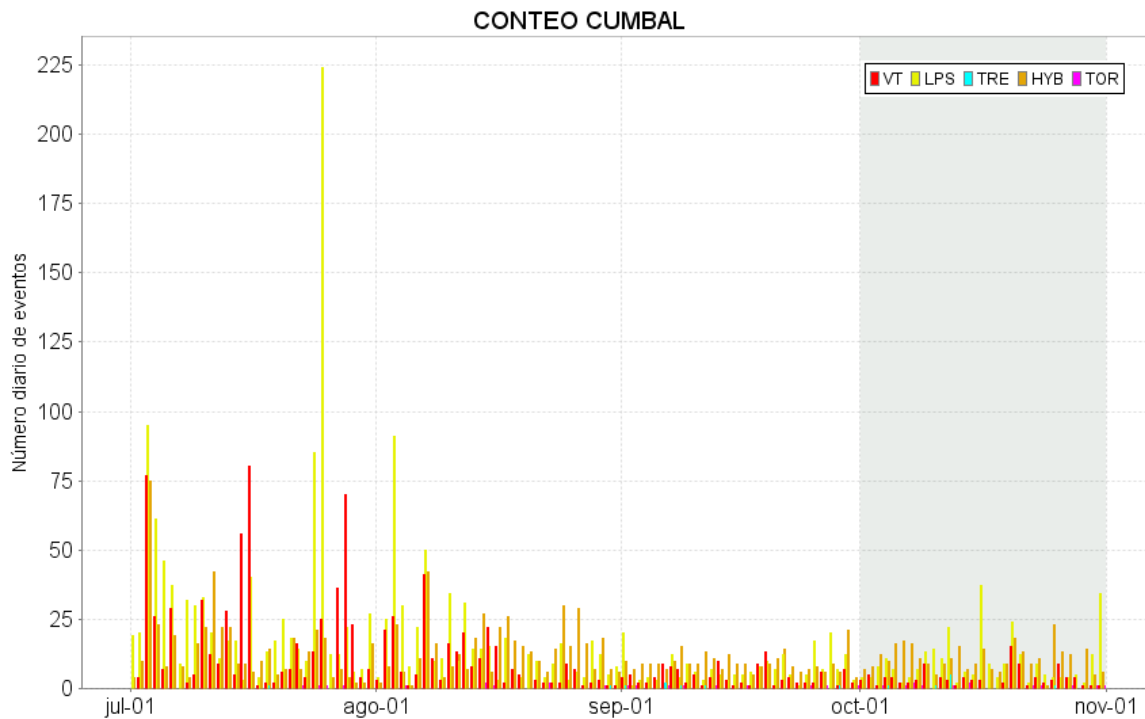
**Figura 39.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de octubre de 2016.

## 2.2. SISMOLOGÍA

En octubre de 2016 se presentó un ligero incremento en el número total de sismos volcánicos, cercano al 20% en comparación con el mes anterior, pasando de 624 a 747 eventos (Tabla 12, Figura 40). En ocurrencia se observó un incremento en los sismos tipo LP, TRE e HYB, y en contraste se presentó un descenso en los eventos tipo VT (Figura 41). Hubo predominio de la sismicidad tipo HYB con el 43% del total de eventos sísmicos, seguido por un 40% de los sismos LPS (Figura 42). El día que mayor se presentó ocurrencia sísmica fue el 20 de octubre, con un total de 57 eventos.

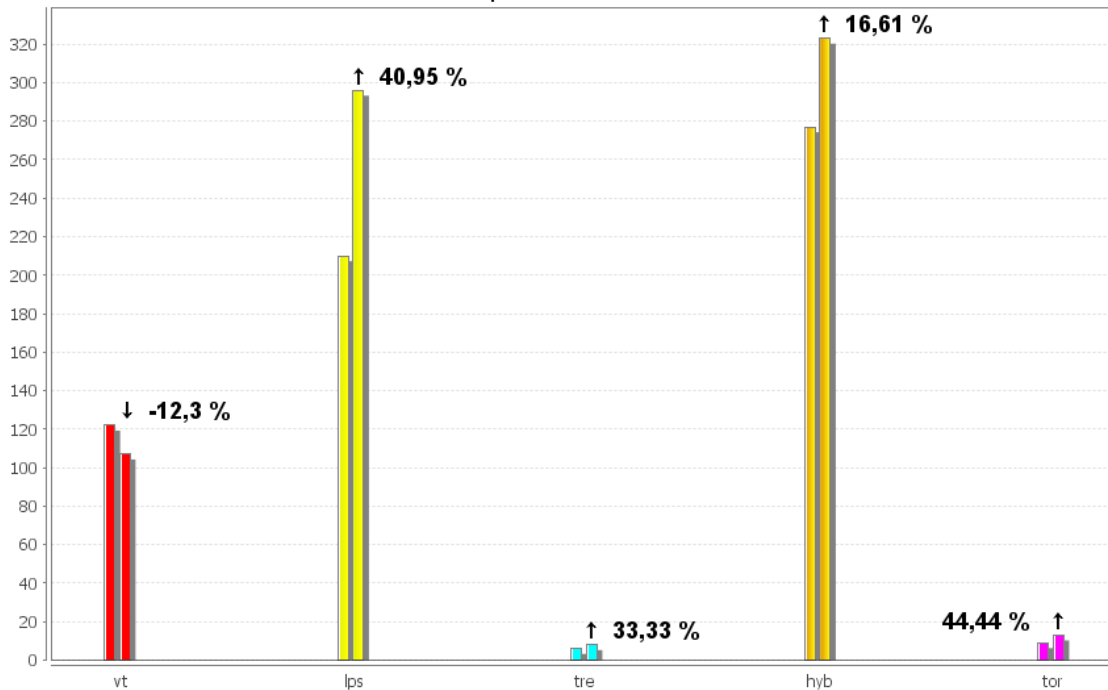
**Tabla 12.** Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	vt	lps	tre	hyb	tor	
01-jul-16 a 31-jul-16	588	986	1	447	5	2027
01-ago-16 a 31-ago-16	269	503	1	442	7	1222
01-sep-16 a 30-sep-16	122	210	6	277	9	624
01-oct-16 a 31-oct-16	107	296	8	323	13	747



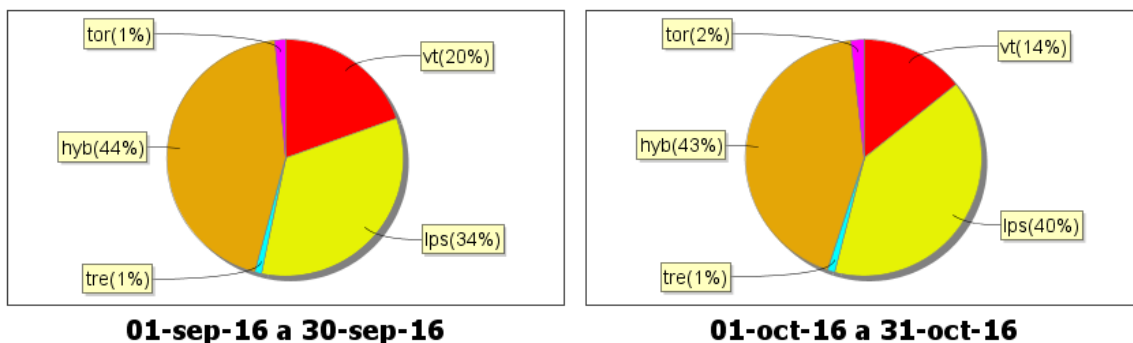
**Figura 40.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre julio y octubre de 2016.

**Comparación Mensual**



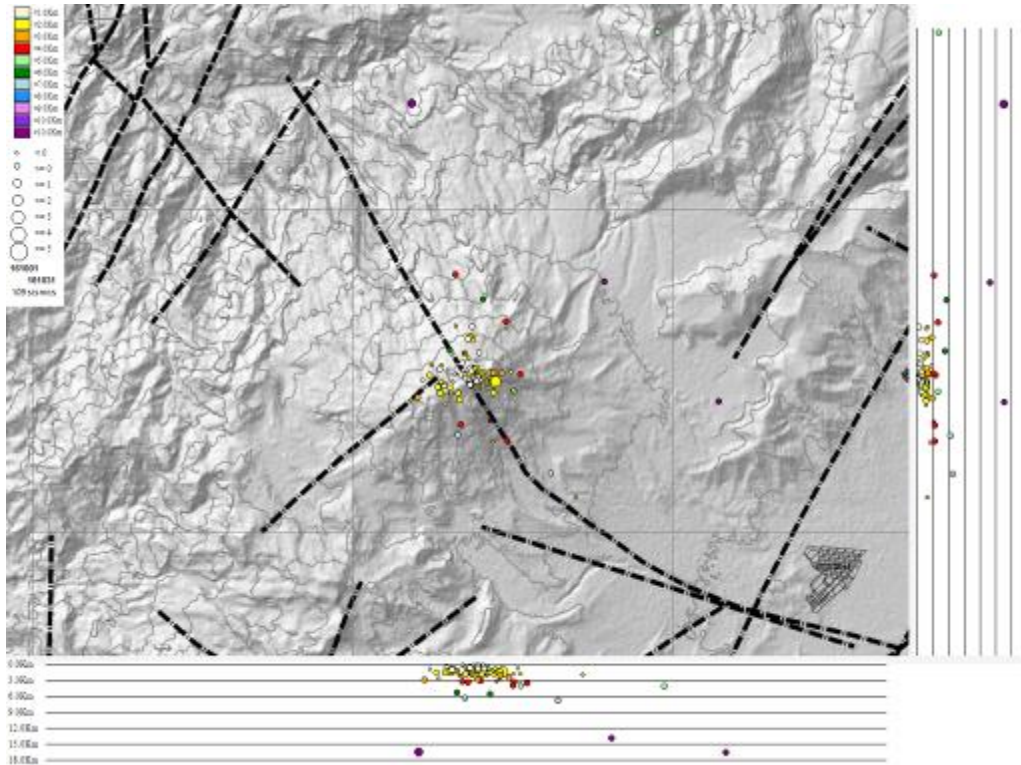
**Figura 41.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre de 2016 (barras de la izquierda).

**Relación Porcentual Mensual**

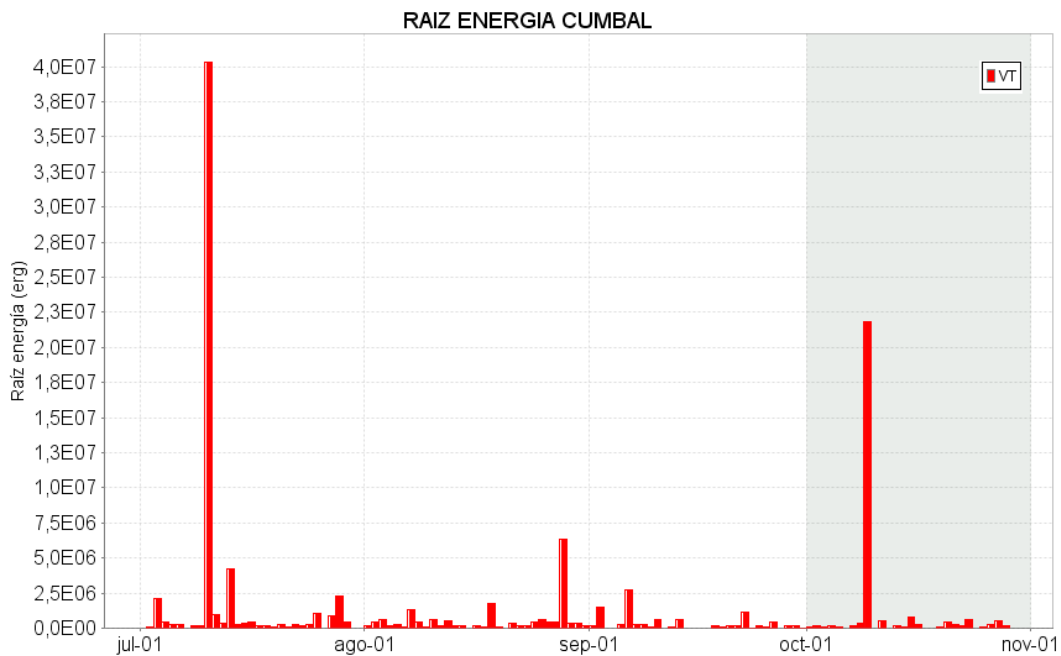


**Figura 42.** Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para septiembre y octubre de 2016.

Fue posible localizar 109 sismos, de los cuales 44 fueron asociados con fractura de roca y 65 de tipo HYB. La gran mayoría de eventos se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela, sector nororiente del complejo volcánico de Cumbal, con profundidades entre 0.2 y 4.0 km, los más dispersos presentaron profundidades de hasta 17 km. El cálculo de la magnitud local de los sismos localizados mostró valores menores a 2.6 en la escala de Richter, cerca del 97% inferior a 1 (Figura 43). La energía liberada de los sismos localizados mostró un incremento en un orden de magnitud, pasando de  $1.27 \times 10^{13}$  ergios a  $4.79 \times 10^{14}$  ergios (Figura 44).

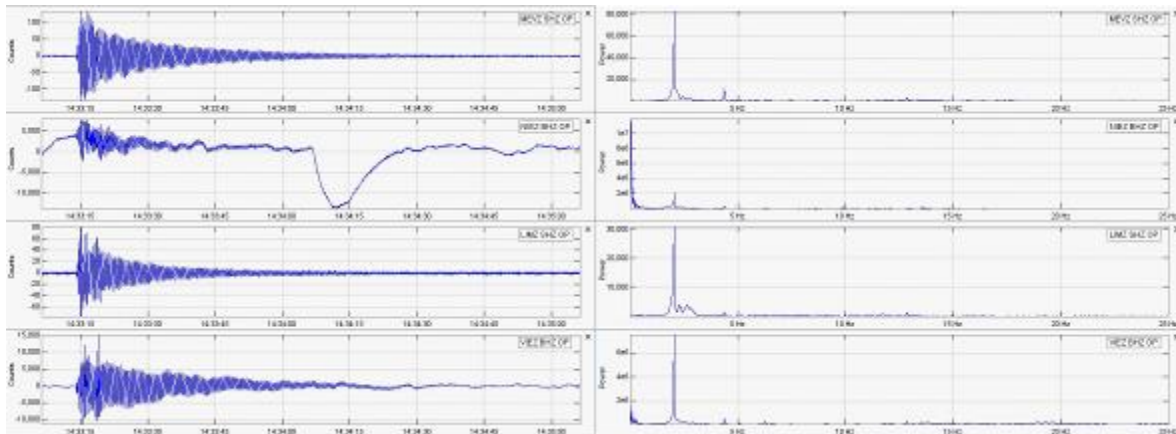


**Figura 43.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de octubre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).

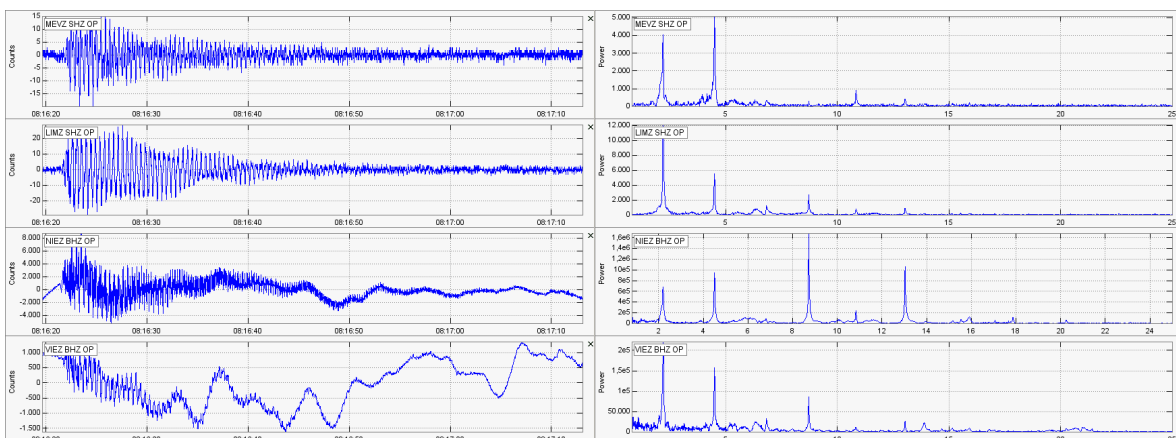


**Figura 44.** Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos localizados en Cumbal entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

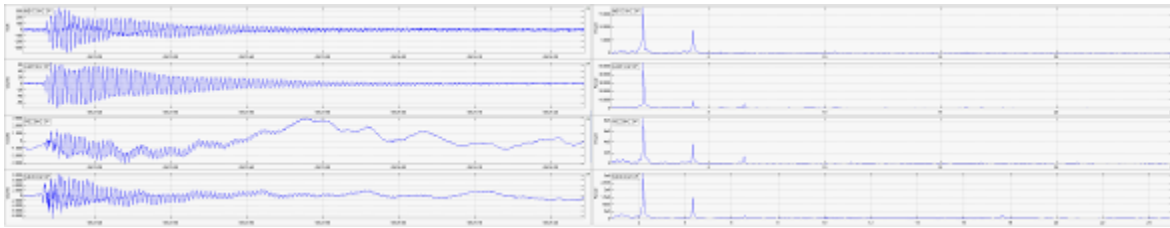
De la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de 13 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR), los cuales presentaron frecuencias dominantes entre de 1.95 Hz y 13.0 Hz y duraciones de hasta 207 segundos, en las Figuras 45, 46, 47 y 48 se muestran algunos registros, a manera de ejemplo de este tipo de sismicidad. En la Figura 49 se observa el comportamiento a lo largo del tiempo de las frecuencias dominantes mostradas por este tipo de eventos, hasta la fecha este tipo de sismicidad no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema volcánico.



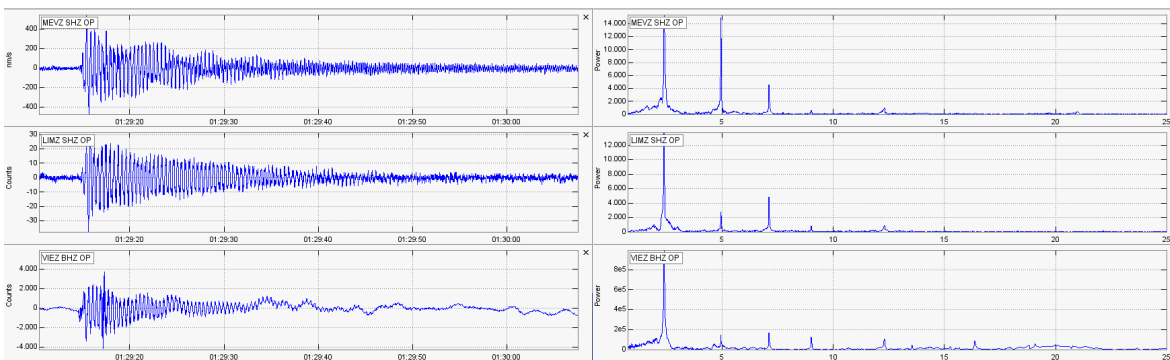
**Figura 45.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 3 de octubre de 2016, a las 9:33 a.m., registrando 128 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.0 Hz y subdominante de 4.4 Hz.



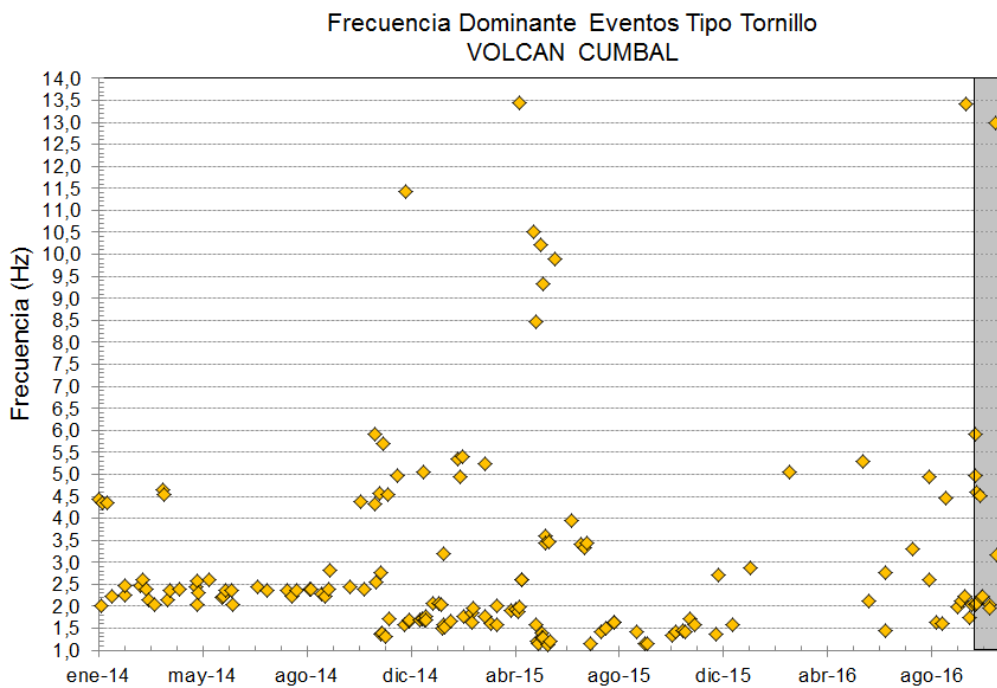
**Figura 46.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 12 de octubre de 2016, a las 3:16 a.m., registrando 87 segundos de duración y una frecuencia dominante de 4.52 Hz.



**Figura 47.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 14 de octubre de 2016, a las 4:23 a.m., registrando 67 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.19 Hz.



**Figura 48.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 22 de octubre de 2016, a las 8:29 p.m., registrando 44 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.29 Hz.

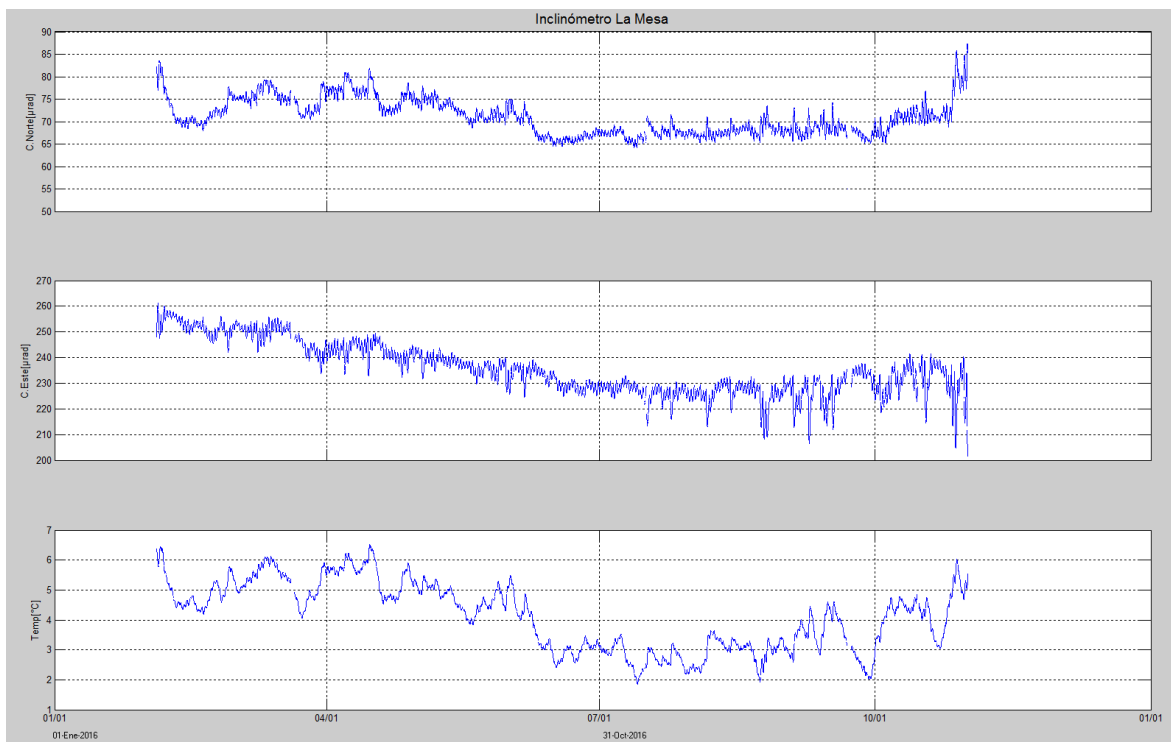


**Figura 49.** Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de octubre de 2016.

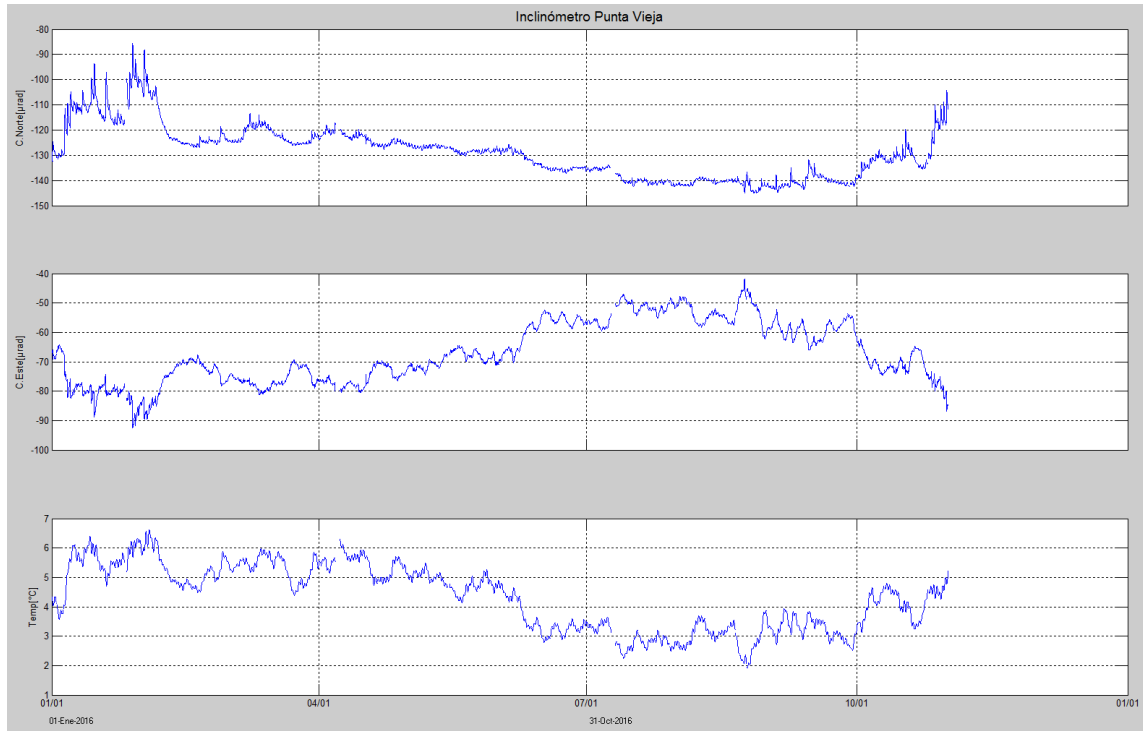


### 2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

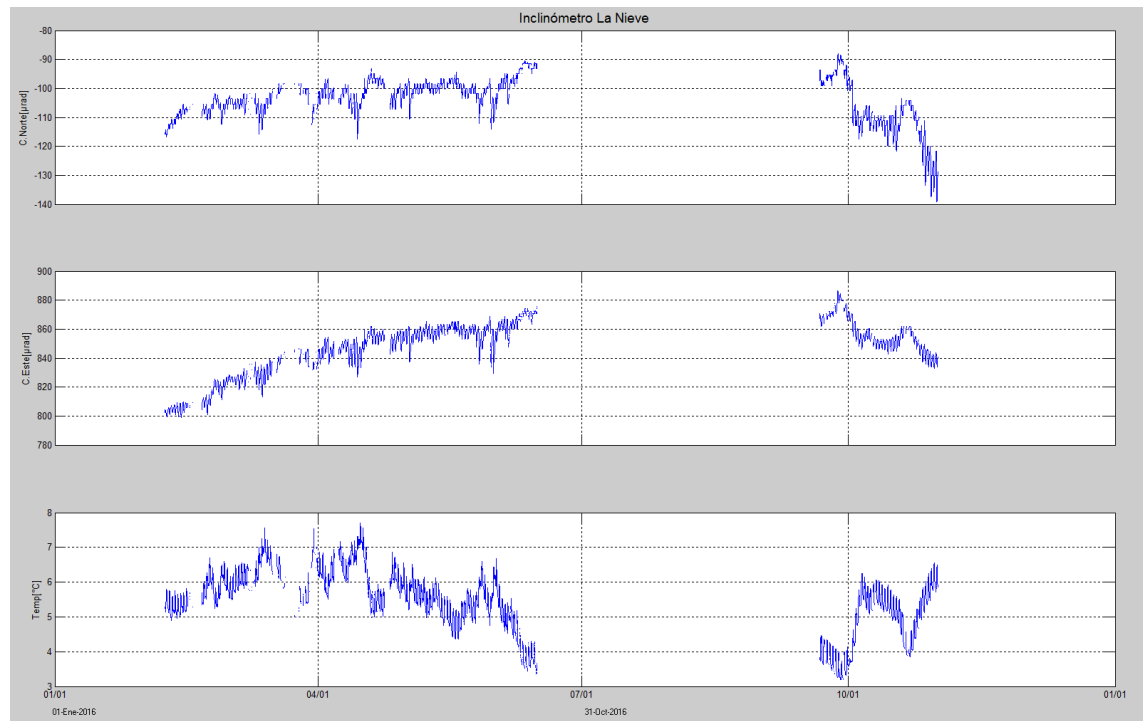
Desde el 4 de octubre de 2016, se observa un comportamiento ascendente en la componente de inclinación Norte de la estación La Mesa, variación cercana a  $20 \mu\text{rad}$  (Figura 50). Así mismo se evidencia una tendencia ascendente en la componente Norte del inclinómetro Punta Vieja, registrando desde el 30 de septiembre de 2016,  $29 \mu\text{rad}$  (Figura 51), mientras que su componente Este muestra descenso de  $43 \mu\text{rad}$  desde el 23 de agosto de 2016. En el inclinómetro electrónico La Nieve se observan tendencias descendentes en su dos componentes, registrando  $50 \mu\text{rad}$  la Norte desde el 27 de septiembre, y la Este  $52 \mu\text{rad}$  (Figura 52). Continúa el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Este del inclinómetro electrónico Limones, registrando cerca de  $8 \mu\text{rad}$  desde el 9 de junio (Figura 53).



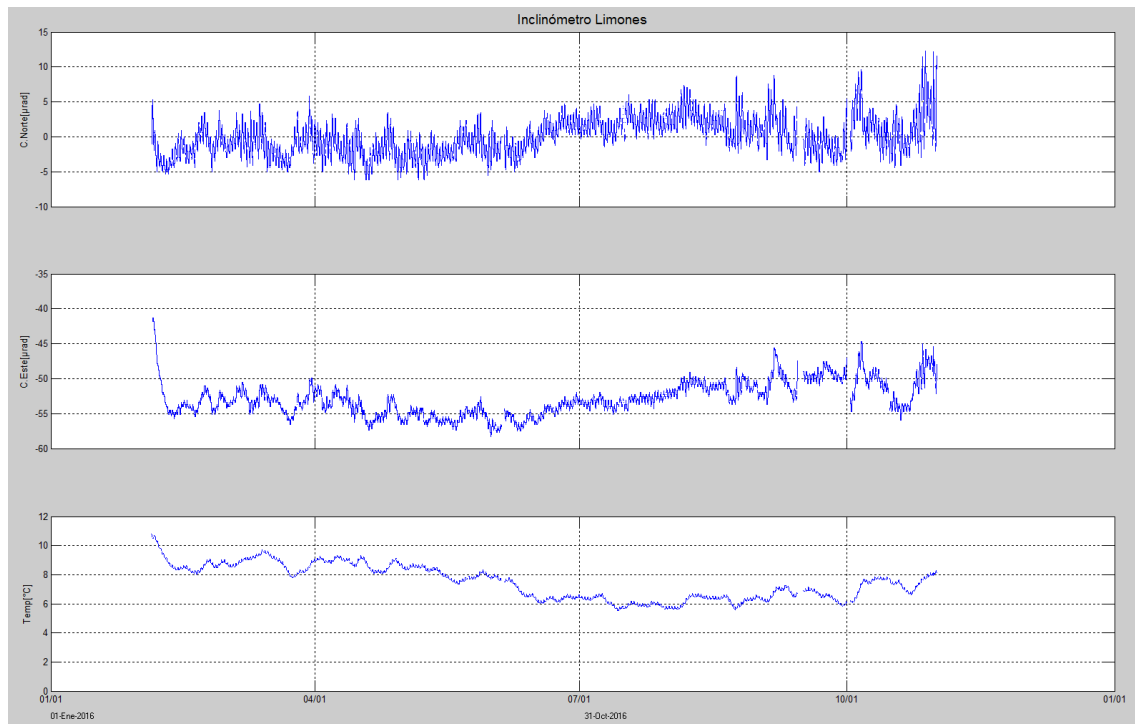
**Figura 50.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 51.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 52.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 53.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2016.

## 2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Condiciones de clima favorables para los días 1, 2, 3, 5, 7, 13, 14, 15, 17, 19, 27, 28, 29, 30 y 31 de octubre, permitieron a través de las imágenes capturadas por las cámaras instaladas en el Municipio de Cumbal y el sector de Punta Vieja, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura, provenientes principalmente desde los campos fumarólicos El Verde (sector noreste) y Rastrojo (sector suroccidente).

En las Figuras 54 a 58 se presentan algunas imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el complejo volcánico de Cumbal.



**Figura 54.** Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 5 de octubre de 2016, a las 9:45 a.m., capturada desde el Municipio de Cumbal (N).



**Figura 55.** Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 7 de octubre de 2016, a las 7:16 a.m., capturada desde el Municipio de Cumbal (N).



**Figura 56.** Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 13 de octubre de 2016, a las 6:51 a.m., capturada desde el Municipio de Cumbal (N).



**Figura 57.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 27 de octubre de 2016, en horas de la mañana, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.



**Figura 58.** Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 29 de octubre de 2016, en horas de la tarde, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.

## 2.5. CONCLUSIONES

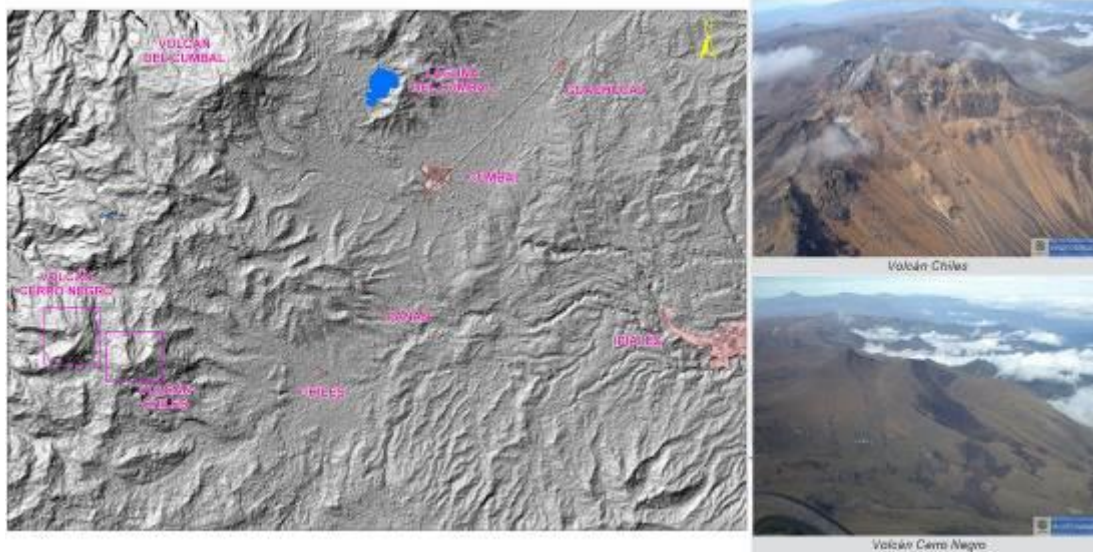
La actividad que viene mostrando Cumbal se caracteriza por fluctuaciones en los niveles de ocurrencia y energía de la sismicidad, y registro eventual de enjambres asociados con procesos predominantemente hidrotermales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de octubre de 2016 permitió, que la actividad del complejo volcánico Cumbal permaneciera en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

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

### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran ubicados al suroccidente del país, en el departamento de Nariño, más exactamente en la frontera entre Colombia y Ecuador (Figura 59). El volcán Chiles tiene una altura de 4748 msnm y el volcán Cerro Negro, de 4470 msnm.



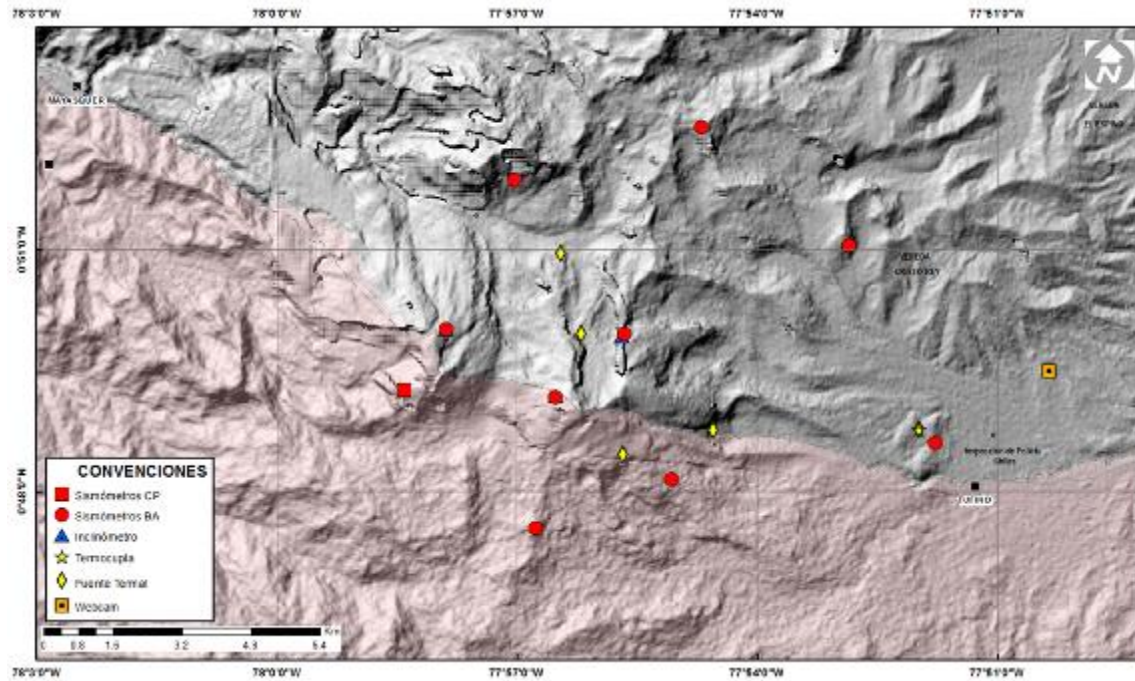
**Figura 59.** Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

### 3.2. RED DE VIGILANCIA

Actualmente la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha, dos inclinómetros electrónicos, un sensor acústico y una estación permanente de temperatura en fuente termal. Estas estaciones se encuentran distribuidas así: una en la cima volcánica en el costado occidental de Chiles, llamada Chiles (sismómetro e inclinómetro), otra llamada Cerro Negro (sismómetro, inclinómetro y repetidora) localizada al norte y en cercanías del volcán Cerro Negro, otra en el sector denominado Canguil (sismómetro y sensor de presión acústica) al nor-noroccidente del volcán Chiles, la estación Panan, a 7.4 km al nororiente del volcán Chiles, la estación Las Lagunas ubicada al nor-nororiente del volcán Chiles y la estación Termales (Sismómetro y Termocupla), ubicada en el sector de Baño Grande (Figura 60, Tabla 13).

En el área de geoquímica se cuenta con la estación permanente telemétrica para el seguimiento de la temperatura en la fuente termal Baño Grande, ubicada en cercanías a la Casa del Cabildo Indígena de Chiles (Figura 60) y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 60, Tabla 14). De igual forma se contó con una cámara Web instalada en la población de Nazate (Figura 60). Esta cámara dejó de funcionar desde el pasado 22 de enero, debido a problemas con el servicio de internet en la zona por parte de los proveedores comerciales; adicionalmente, el dueño del predio manifestó que ya no daba más permiso para tener el equipo funcionando, por lo cual se decidió retirar los equipos el 25 de febrero de 2016.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvieron un funcionamiento promedio del 78% (Figura 61).











**Figura 60.** Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de octubre de 2016.

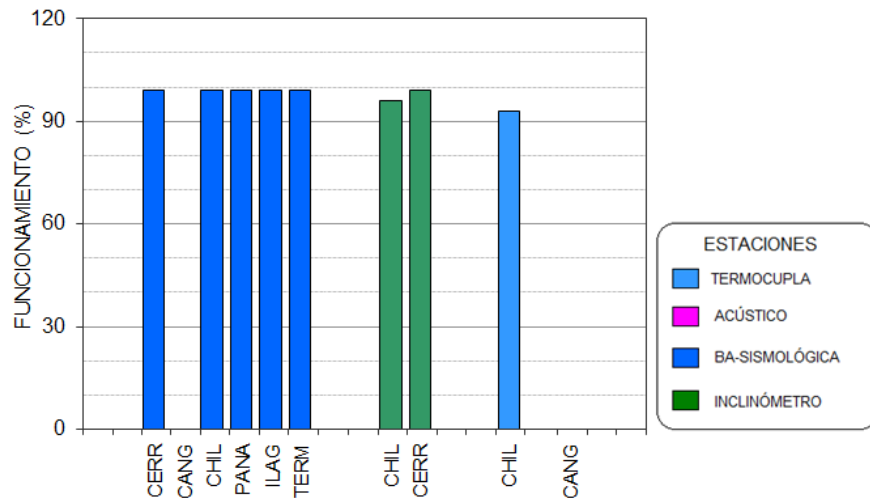
**Tabla 13.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de octubre de 2016.

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	Inclínómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclínómetro 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 de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

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
FUENTE TERMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
(F) BALNEARIO		0°48'11,8"	77°51'41,4"	3269
(G) LA CALERA		0°48'17,4"N	77°51'44,8"W	3284
(H) EL INFIERNILLO		0°48'19,6"N	77°51'43,2"W	3284

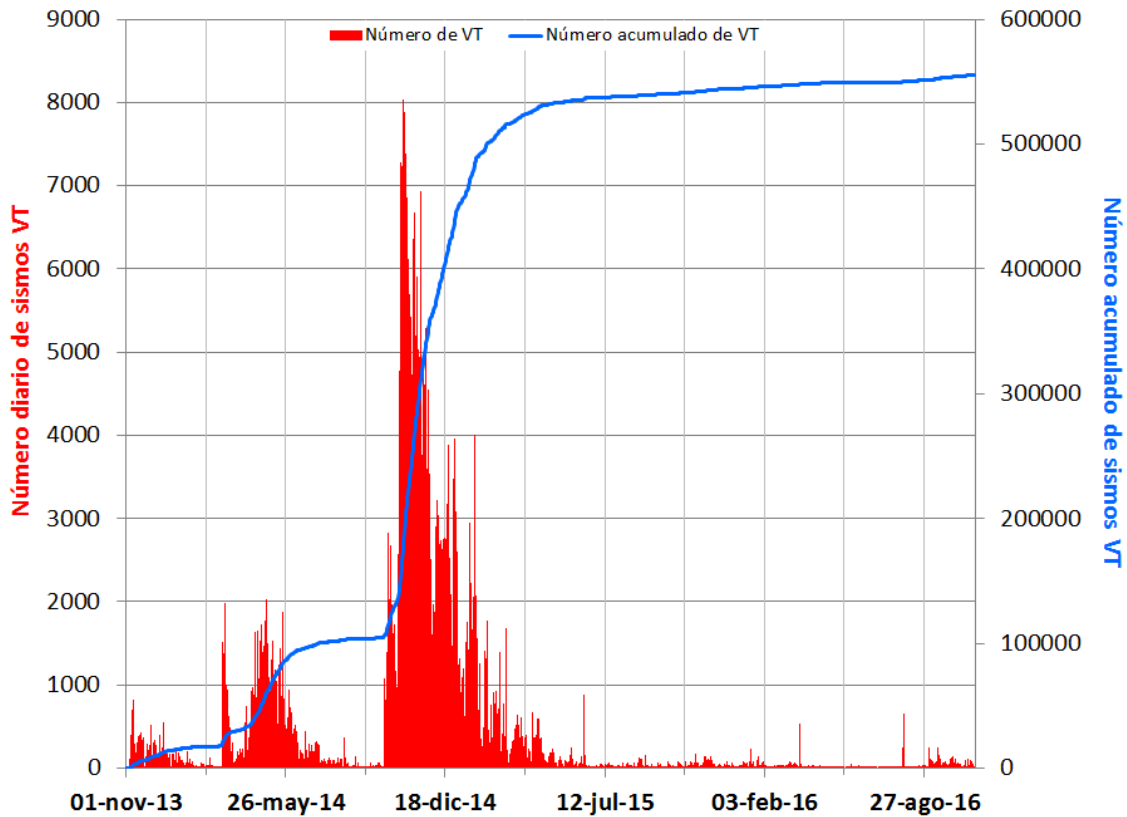


**Figura 61.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de octubre de 2016.

### 3.3. SISMOLOGÍA

Teniendo en cuenta el periodo desde que se inició la vigilancia instrumental de la actividad volcánica en la zona de influencia de Chiles y Cerro Negro con la instalación permanente de estaciones en noviembre 5 de 2013, hasta el 31 de octubre de 2016, se han registrado en total 555.412 sismos VT, la gran mayoría presentados en el periodo que va desde septiembre 29 de 2014 hasta abril 30 de 2015 con 427.261 sismos, en los últimos meses es notoria una tendencia descendente con algunas fluctuaciones en la ocurrencia sísmica diaria (Figura 62).

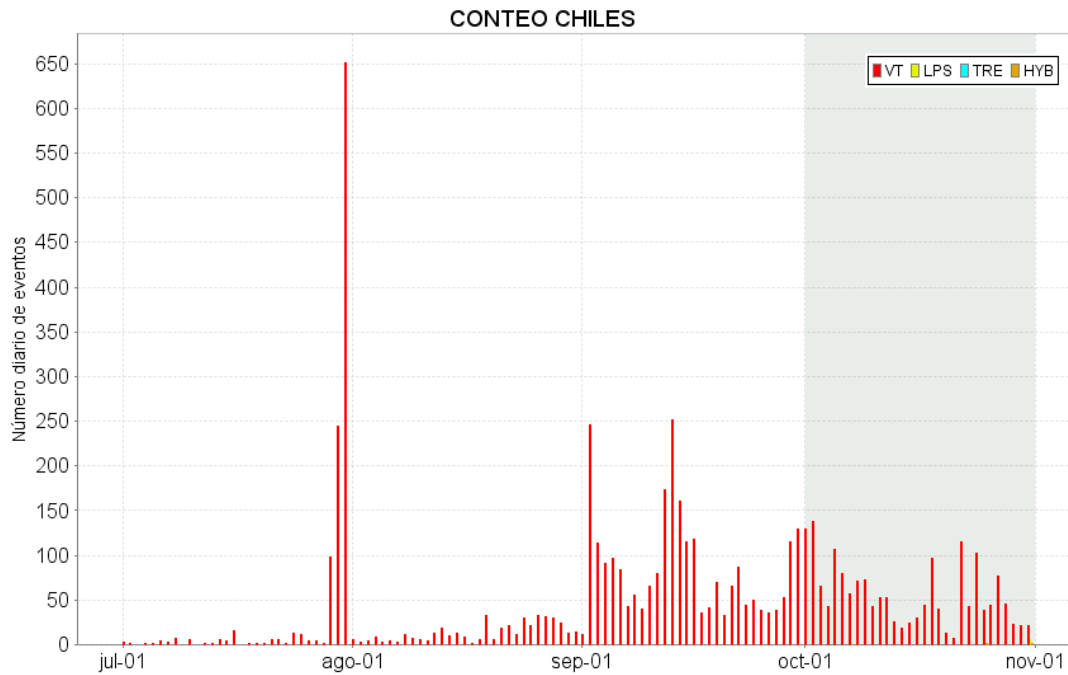
La ocurrencia sísmica en el mes de octubre de 2016 mostró descenso, cercano al 32% del número registrado en septiembre, pasando de 2579 a 1746 sismos, en su mayoría asociados con fractura de roca (VT) (Tabla 15, Figuras 63 y 64). El día 2 de octubre se registró la tasa más elevada de ocurrencia diaria contabilizando 138 eventos.



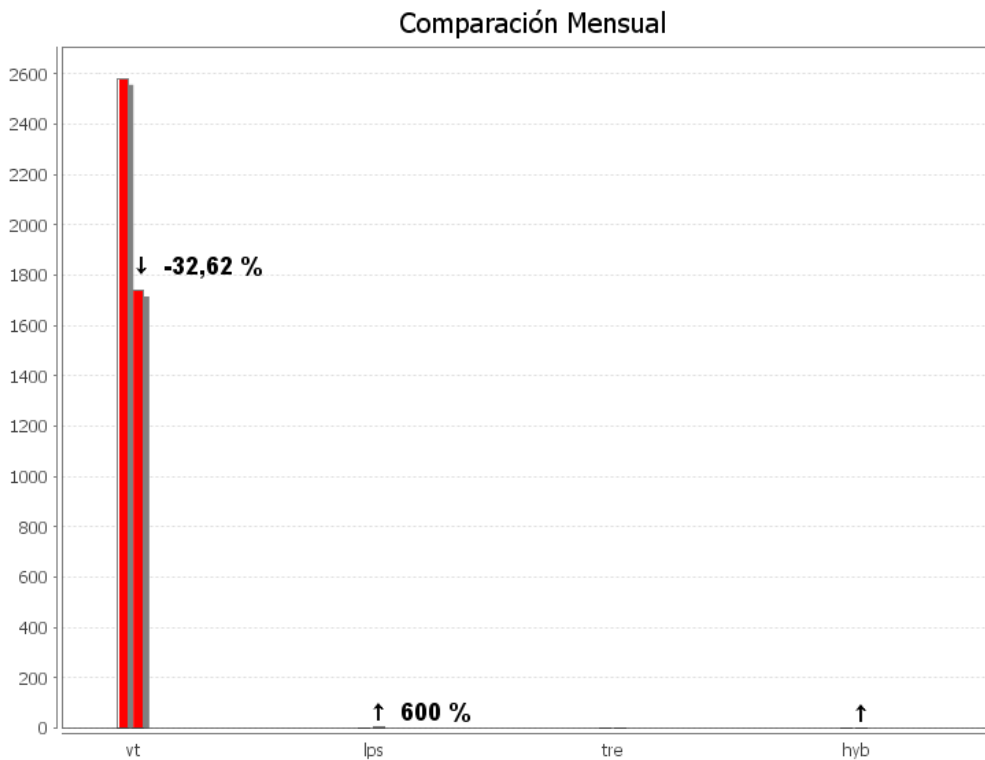
**Figura 62.** Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y octubre 31 de 2016.

**Tabla 15.** Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo			
	vt	lps	hyb	TOTAL
01-jul-16 a 31-jul-16	1102	0	0	1102
01-ago-16 a 31-ago-16	414	0	0	414
01-sep-16 a 30-sep-16	2578	1	0	2579
01-oct-16 a 31-oct-16	1737	7	2	1746



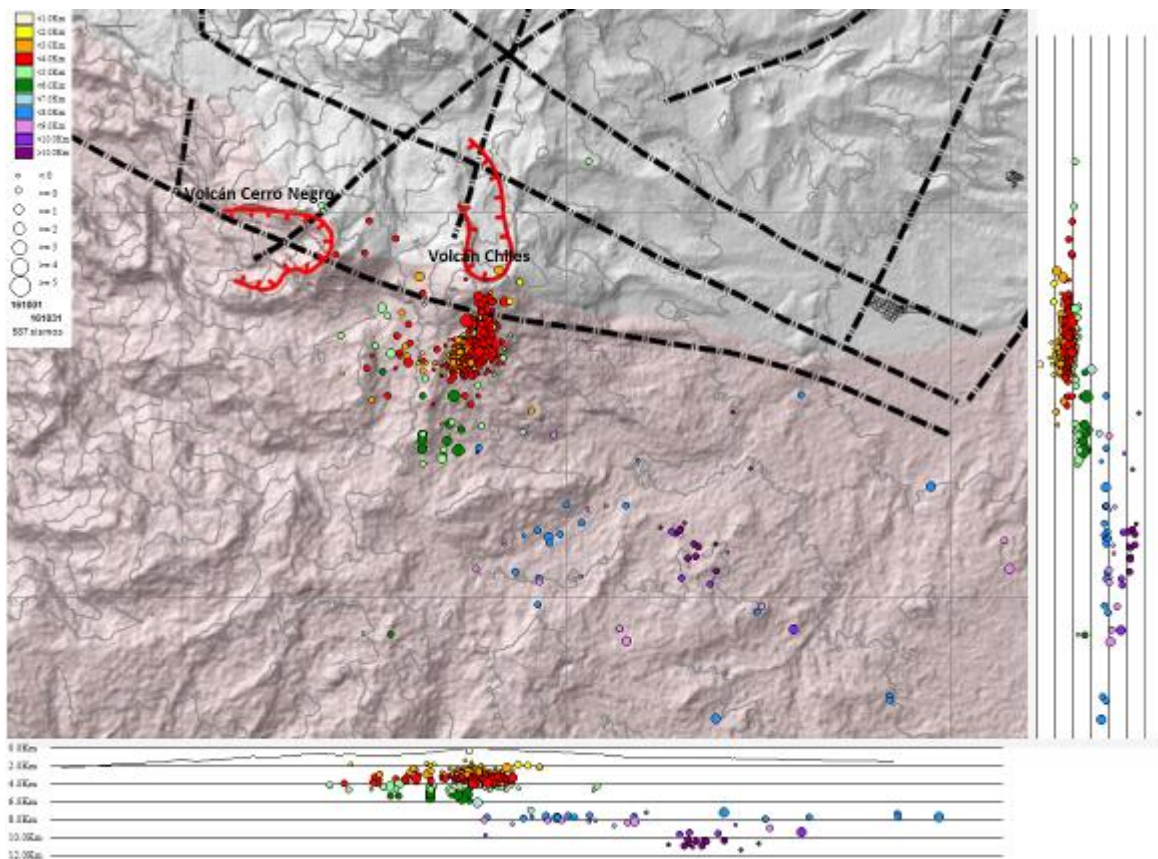
**Figura 63.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de julio y octubre de 2016.



**Figura 64.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre de 2016 (barras de la izquierda).

En el periodo evaluado fue posible obtener una solución de localización para 587 sismos, tipo VT (Figura 65), la mayoría ubicados hacia los sectores sur y suroccidente del volcán Chiles con algunos epicentros hacia el costado suroriente. Teniendo en cuenta la profundidad de los eventos, es posible diferenciar tres fuentes sísmicas, la primera ubicada en promedio a unos 2 km al sur y suroccidente de Chiles, con profundidades entre 0.3 y 6 km (nivel de referencia sobre los 4.700 msnm), la segunda con profundidades entre 6.97 y 8.94 km a 6.8 km al suroriente del edificio volcánico y la tercera, los eventos más profundos, que se ubicaron a 8.8 km hacia el costado suroriente del volcán Chiles, con profundidades entre 9.41 y 11.42 km (Figura 65).

La magnitud local de los sismos fue menor a 2.7 en la escala de Richter, el 91% de la sismicidad localizada presentó magnitud menor a 1. El sismo más energético fue registrado el día 27 de octubre de 2016 a la 1:11 a.m., a una distancia de 0.8 km al SSW de la cima de Chiles, con una profundidad de 3.8 km, magnitud de 2.7 en la escala de Richter, el cual no fue reportado como sentido.

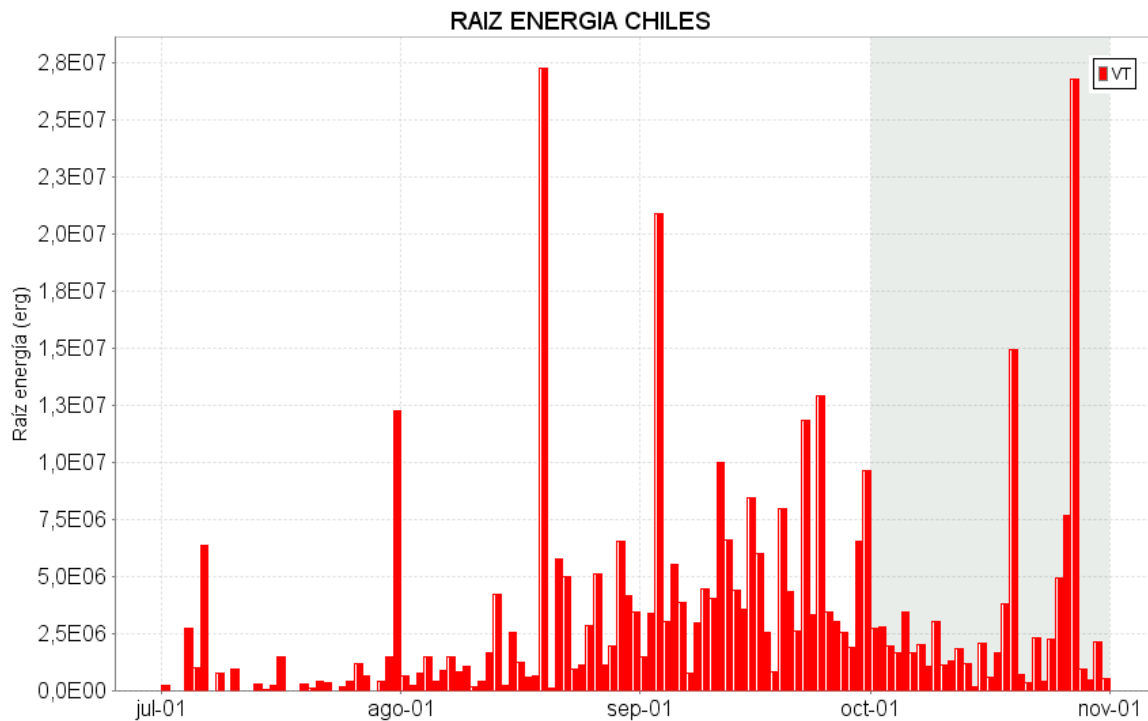


**Figura 65.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en octubre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

La energía sísmica liberada fue estimada con la magnitud de los sismos localizados; mostrando un descenso del 21% respecto a lo reportado en el mes anterior (Tabla 16, Figura 66).

**Tabla 16.** Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Energía liberada por los sismos VT [ergios]	
	VT	TOTAL
01-jul-16 a 31-jul-16	2.08 E+14	2.08 E+14
01-ago-16 a 31-ago-16	9.53 E+14	9.53 E+14
01-sep-16 a 30-sep-16	1.42 E+15	1.42 E+15
01-oct-16 a 31-oct-16	1.12 E+15	1.12 E+15



**Figura 66.** Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

### 3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Se observa estabilidad para la componente Norte del inclinómetro Chiles, mientras que en la Este se evidencia un descenso desde el 5 de agosto, acumulando hasta el 31 de octubre cerca de 145  $\mu$ rad (Figura 67).

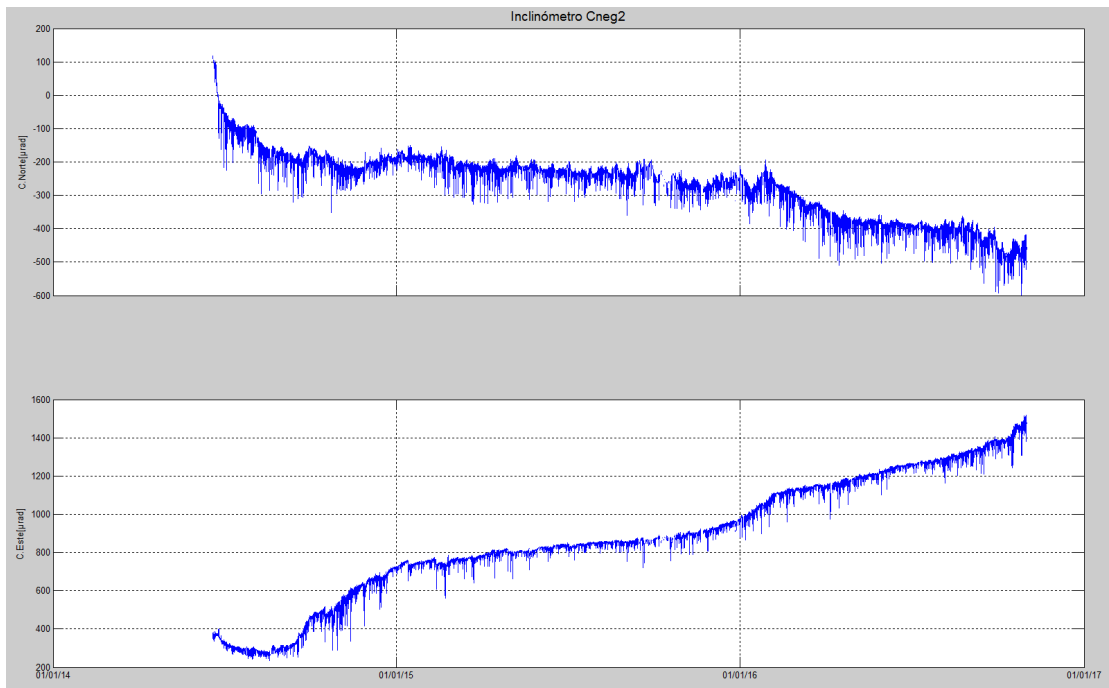
Para las estaciones instaladas sobre la superficie del volcán Cerro Negro, se tiene que en el inclinómetro Cneg2 paralelo al inclinómetro Cerro Negro (sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro),

siguió mostrando el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Este, comportamiento que se viene registrando desde el 20 de agosto de 2014, cuya variación es de 1247  $\mu$ rad hasta octubre de 2016; por su parte la componente Norte presenta la tendencia descendente que traía desde el 29 de enero de 2016, alcanzando 214  $\mu$ rad (Figura 68).

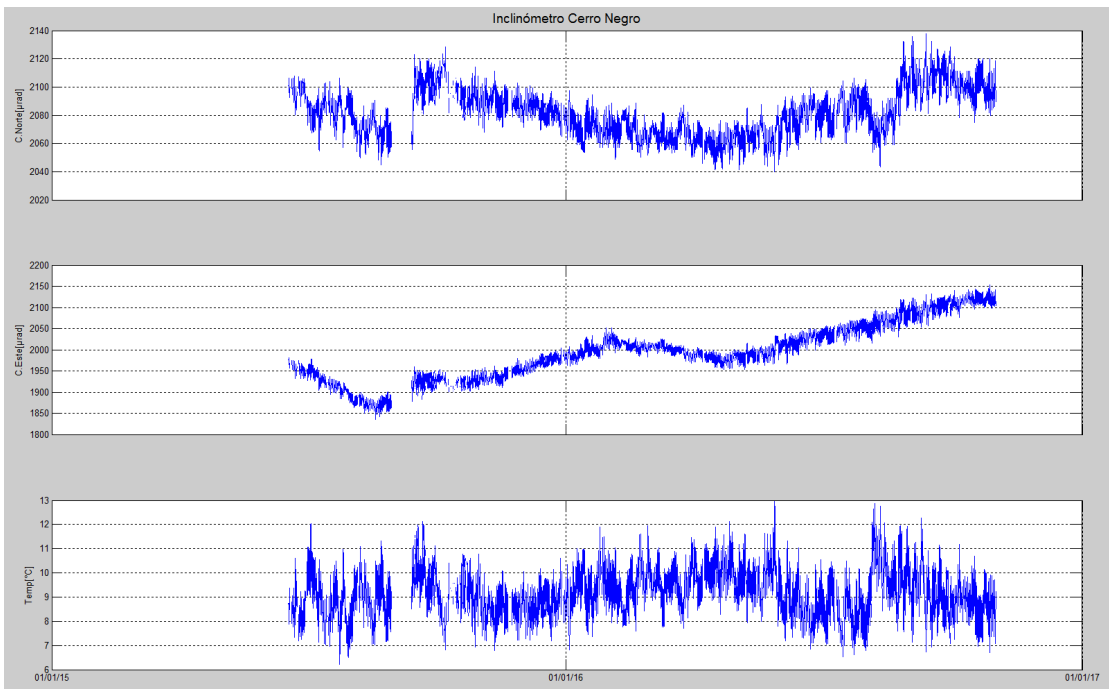
Con respecto a los cambios mostrados por el inclinómetro Cerro Negro, continua el comportamiento ascendente en la componente Norte, registrando 70  $\mu$ rad desde el 20 de abril de 2016, de igual forma se evidencia esta tendencia en la componente Este, alcanzando 155  $\mu$ rad (Figura 69).



**Figura 67.** Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 68.** Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio de 2014 y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 69.** Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de octubre de 2016.

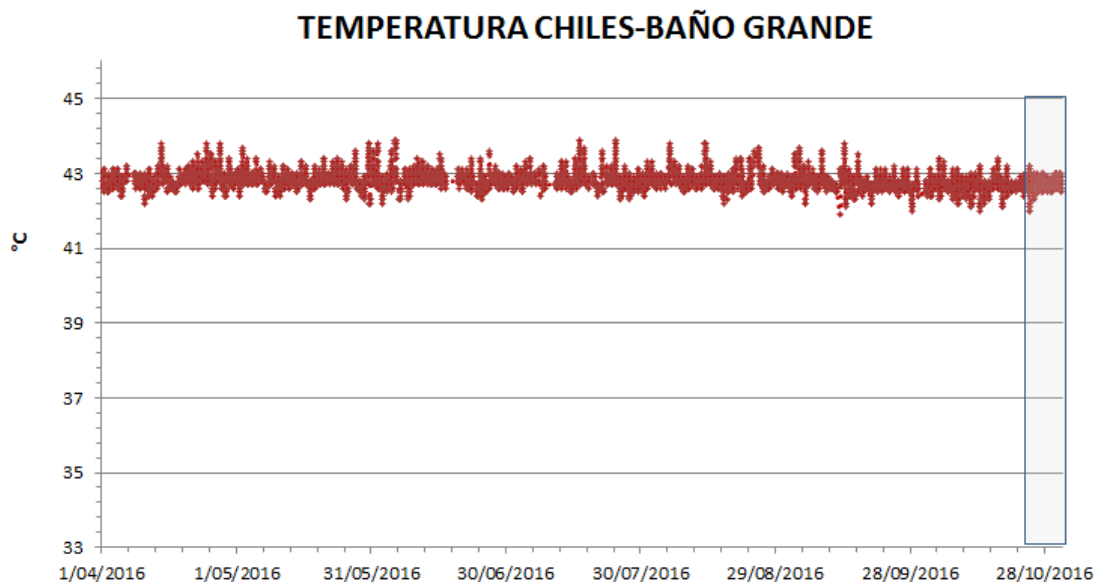


### 3.5. GEOQUÍMICA

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

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

En la Figura 70 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. aproximadamente), con un promedio de 42.7°C (Tabla 17). Durante el mes de octubre se registra un valor máximo de 43.2°C, no se registran variaciones significativas. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua 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 70.** Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – octubre de 2016.

**Tabla 17.** Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – octubre de 2016.

TEMPERATURA	[°C]
<b>Promedio</b>	42.7
<b>Máximo</b>	43.2
<b>Mínimo</b>	42.0

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

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

### 3.7. CONCLUSIONES

- Aunque la sismicidad ha venido mostrando una disminución gradual, se mantienen valores altos de ocurrencia, asociados con una posible intrusión de magma en profundidad y que se reitera, no se ha manifestado aún en superficie, por lo cual el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio.

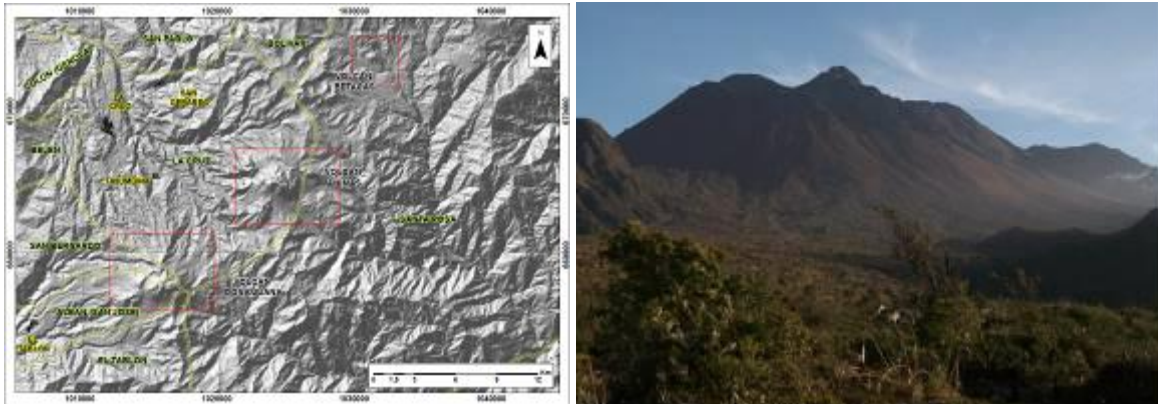
La evaluación del proceso volcánico durante el mes de octubre de 2016, permitió que la actividad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro permaneciera en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

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

El Servicio Geológico Colombiano ha venido monitoreando de manera permanente la actividad de otros volcanes activos de Nariño, como son Doña Juana, Azufral y Las Ánimas (Figura 71), en busca de estimar un nivel base de actividad, hacer seguimiento de sus manifestaciones y en caso necesario, poder establecer situaciones anómalas y la posibilidad de ocurrencia de eventos eruptivos.

La información obtenida por los diferentes métodos de vigilancia, se viene analizando de manera permanente con el fin de obtener un conocimiento del fenómeno volcánico e identificar oportunamente un posible cambio en la actividad.





**Figura 72.** Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

#### 4.1.2. Red de vigilancia

Actualmente la red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas localizadas en los puntos Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental y dos inclinómetros electrónicos (Tabla 18, Figura 73), y desde finales del mes de noviembre de 2015, se cuenta con una estación GNSS permanente encargada de detectar los cambios sobre la superficie volcánica (Figura 74). Es de resaltar que la estación Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

**Tabla 18.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre 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
Pradera	Digital	GNSS	Triaxial	4,0	WSW	2995

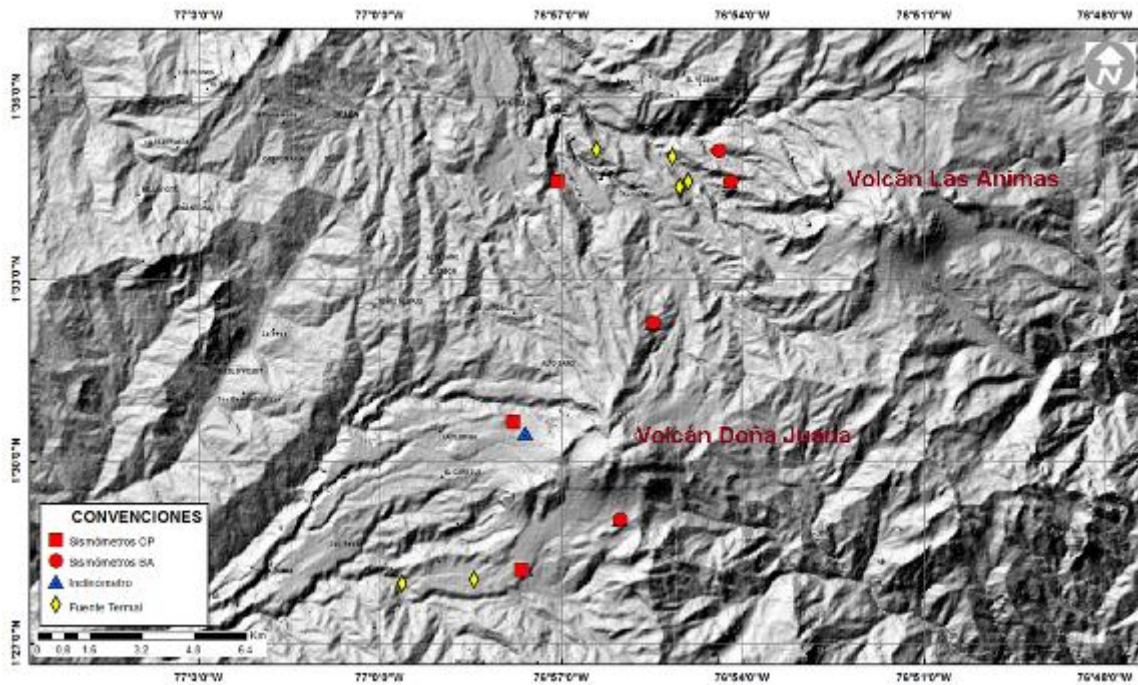


Figura 73. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre de 2016.

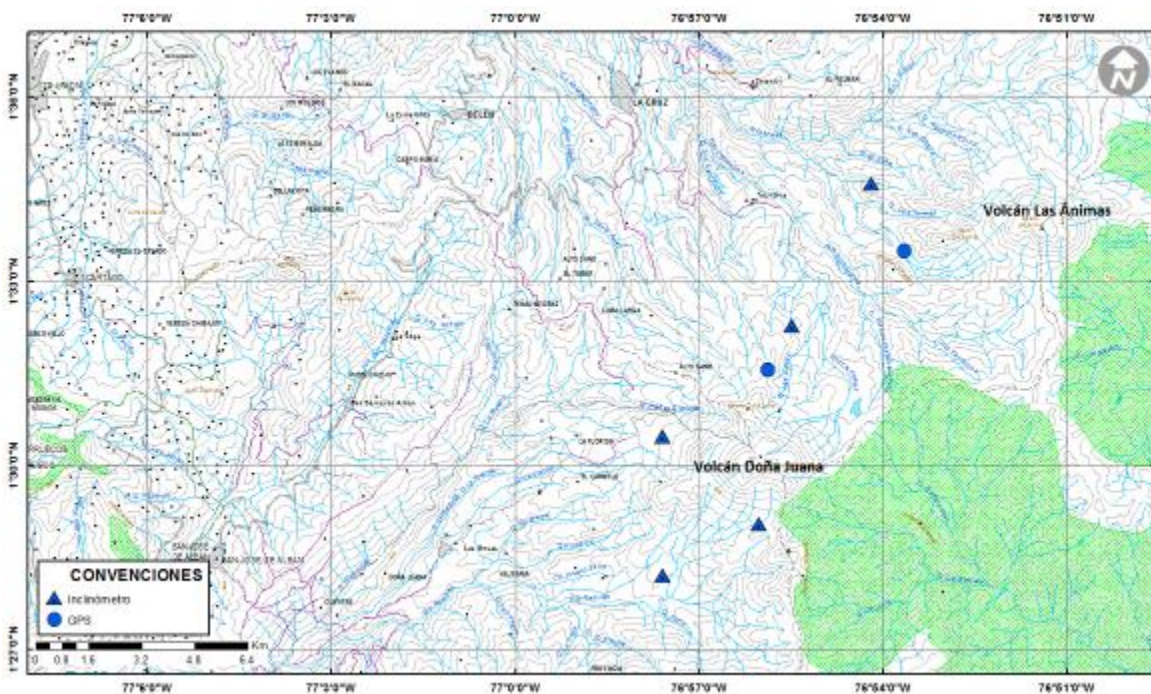
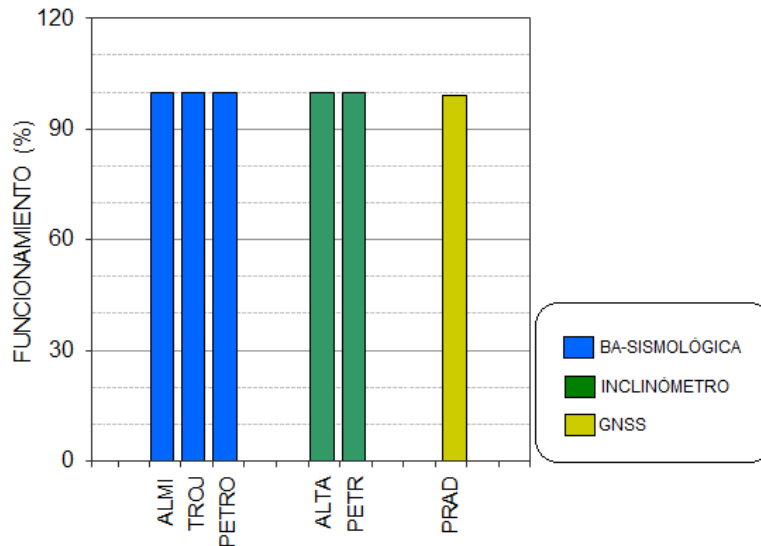


Figura 74. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre de 2016.

En el periodo evaluado, la red de estaciones telemétricas instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento del 99.8% (Figura 75).



**Figura 75.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante octubre de 2016.

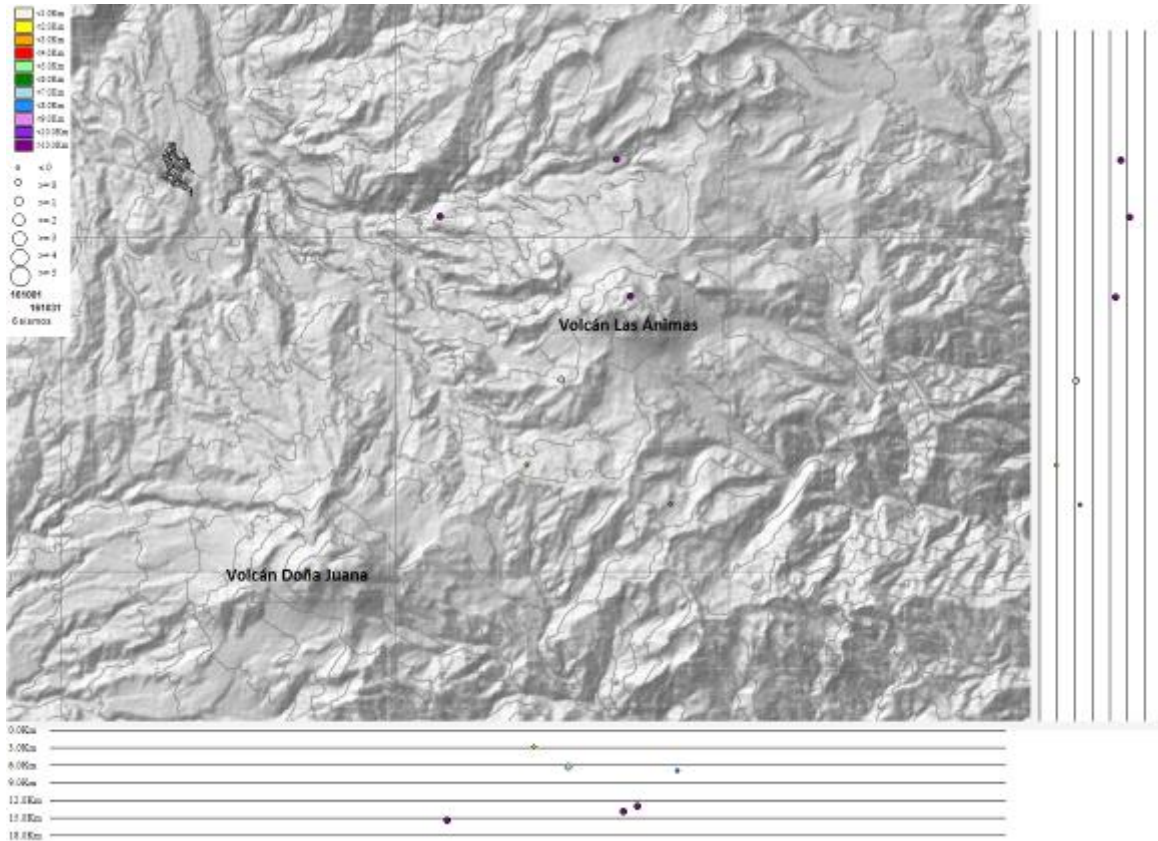
#### 4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de 8 eventos, que por sus características espectrales se los puede clasificar como tipo VT, asociados a fractura de material rocoso (Tabla 19). De los cuales fue posible localizar seis, ubicados de manera dispersa alrededor del edificio volcánico, las magnitudes locales fluctuaron entre -0.3 y 0.9 en la escala de Richter y las profundidades entre 3 y 15.3 km respecto a la cima volcánica (Figura 76).

La energía sísmica liberada por los eventos localizados fue de  $7.25 \times 10^{11}$  ergios.

**Tabla 19.** Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del volcán Las Ánimas registrados entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-jul-16 a 31-jul-16	0	0
01-ago-16 a 31-ago-16	6	6
01-sep-16 a 30-sep-16	5	5
01-oct-16 a 31-oct-16	8	8



**Figura 76.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia del Volcán Las Ánimas, en octubre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.

#### 4.1.4. Deformación Volcánica

##### 4.1.4.1. Inclínometría Electrónica

Para el periodo evaluado se observa estabilidad en el registro de la componente Este del inclinómetro Petroglifo, de igual forma en las componentes de inclinación del sensor de Altamira (Figuras 77 y 78).

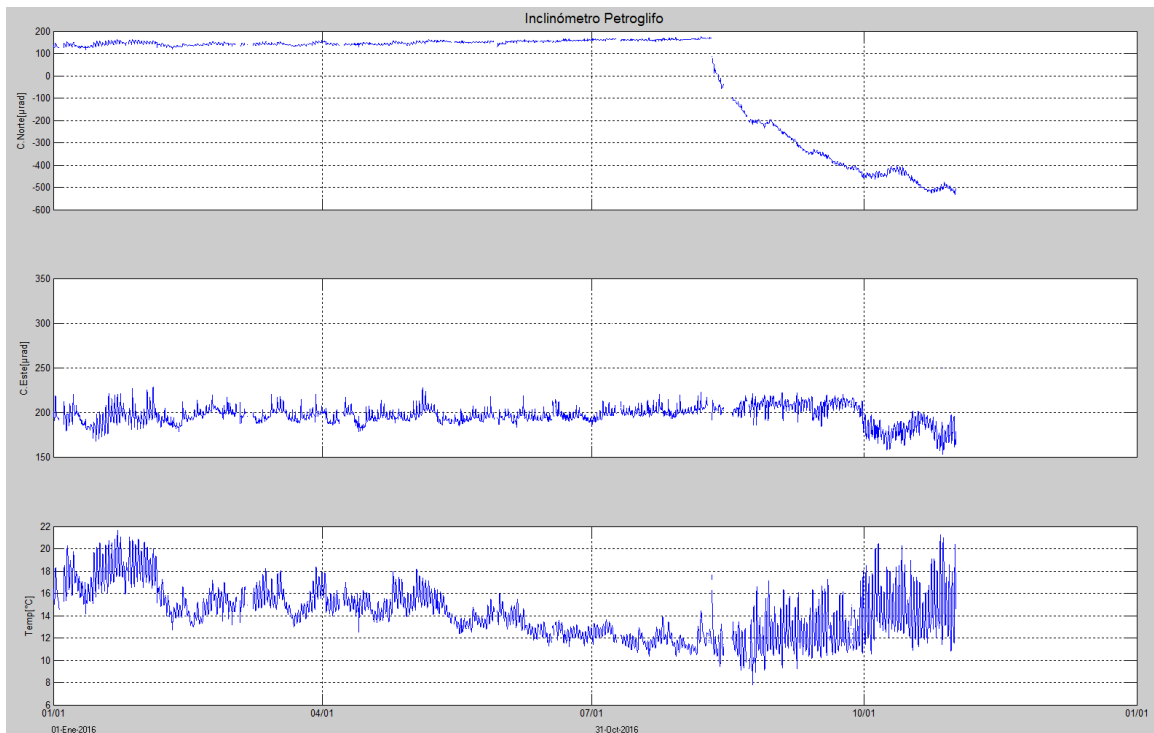
##### 4.1.4.2. Estaciones GNSS Permanentes

Desde finales del mes de noviembre 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, la cual empezó a registrar datos desde el mes de diciembre.

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas

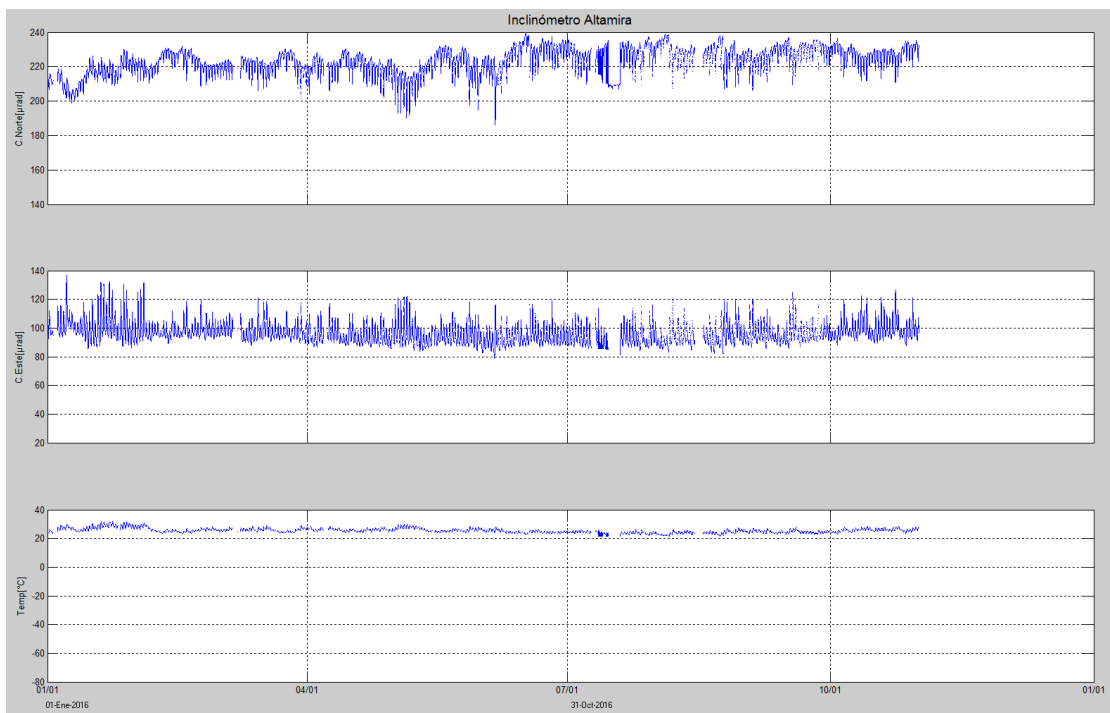
de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En la Figura 79, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS instalado en Las Ánimas.

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que puede verificarse en el registro presente en la dirección Norte de la estación GNSS QUIL (Figura 26 - ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño).

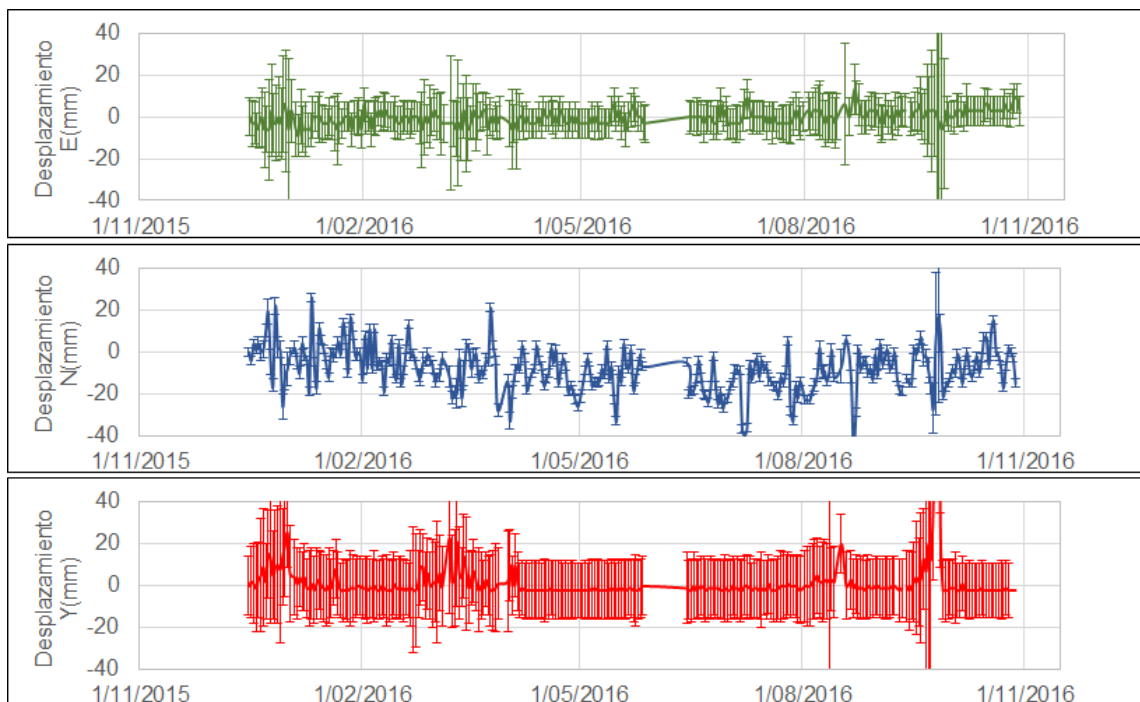


**Figura 77.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.





**Figura 78.** Componentes de inclinación Norte y Este, 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 y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 79.** 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 16 de diciembre de 2015 y el 28 de octubre de 2016.

#### 4.1.5. Actividad Superficial

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

#### 4.1.6. Conclusiones

La evaluación de la actividad volcánica de Las Ánimas durante el mes de octubre de 2016 permitió establecer el **NIVEL VERDE** (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”.

### 4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA

#### 4.2.1. Red de vigilancia

La red de vigilancia del volcán Doña Juana consta de dos estaciones sísmicas de corto periodo y una de banda ancha y tres estaciones para seguimiento de los cambios sobre la superficie del edificio volcánico, adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz, que pertenece a la RSNC (Figura 80, Tabla 20). Y desde el 25 de febrero de 2016 se cuenta con la señal de la estación GNSS permanente La Palma, estación instalada hacia el sector nororiente del volcán Doña Juana (Figura 81). Para el mes de octubre de 2016 las estaciones presentaron un funcionamiento del 98% (Figura 82).

**Tabla 20.** Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al centro del volcán (Km)	Dirección respecto al volcán	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
La Palma	Digital	GNSS	Triaxial	2,7	NNW	3478

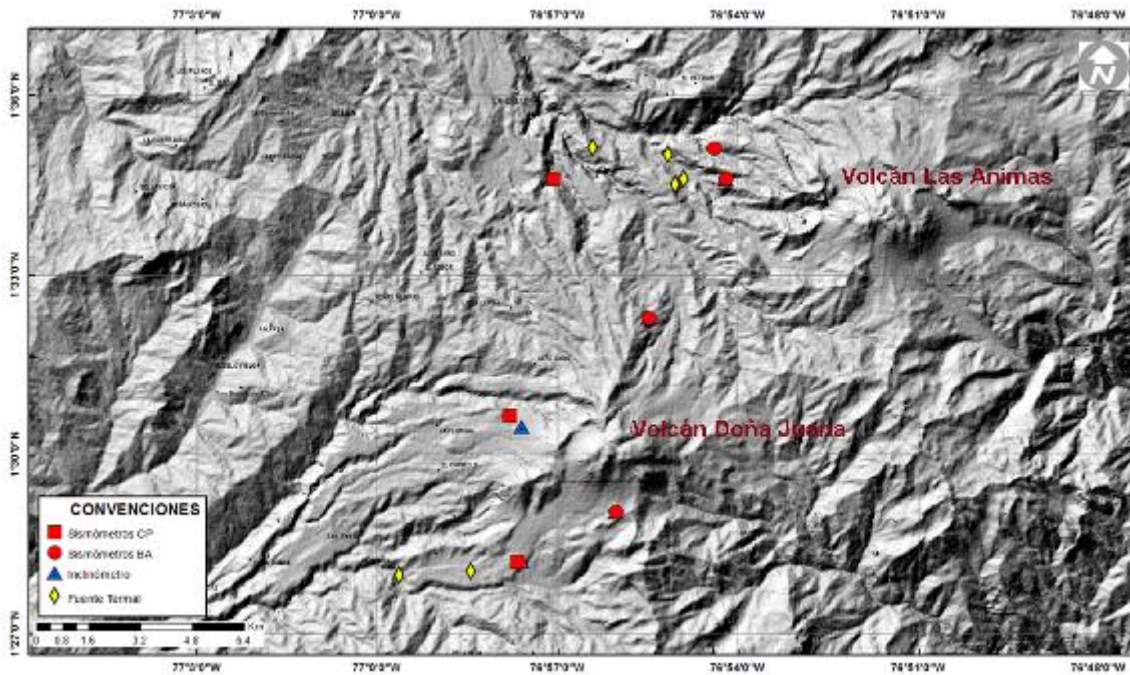


Figura 80. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

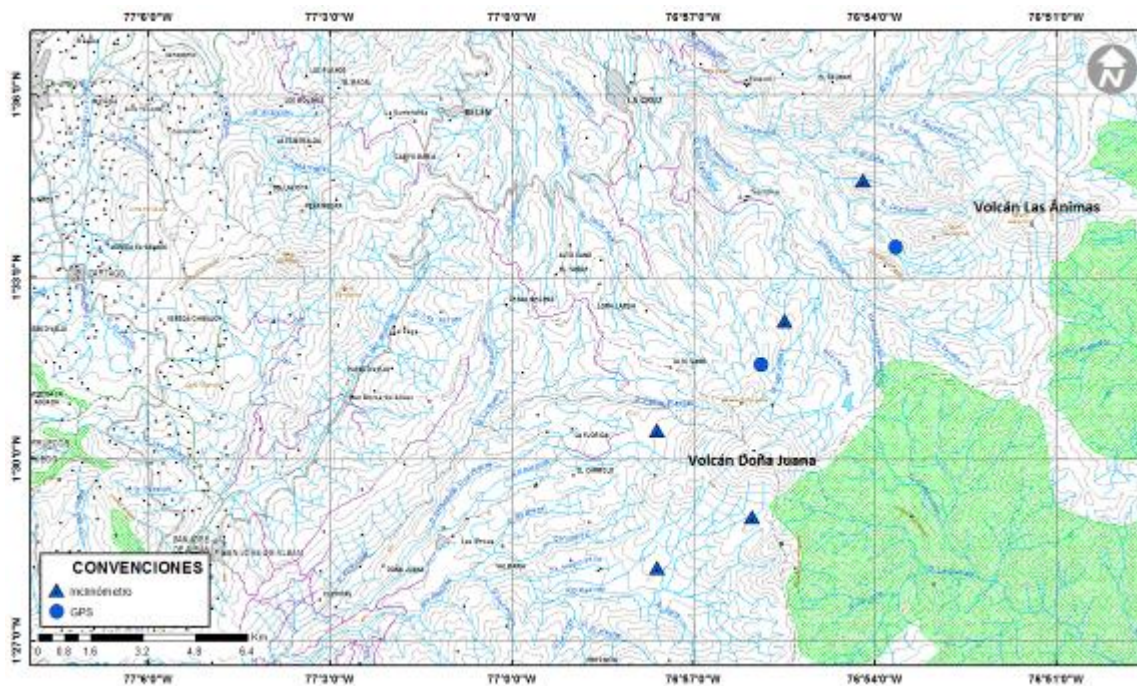


Figura 81. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Doña Juana durante el mes de octubre de 2016.

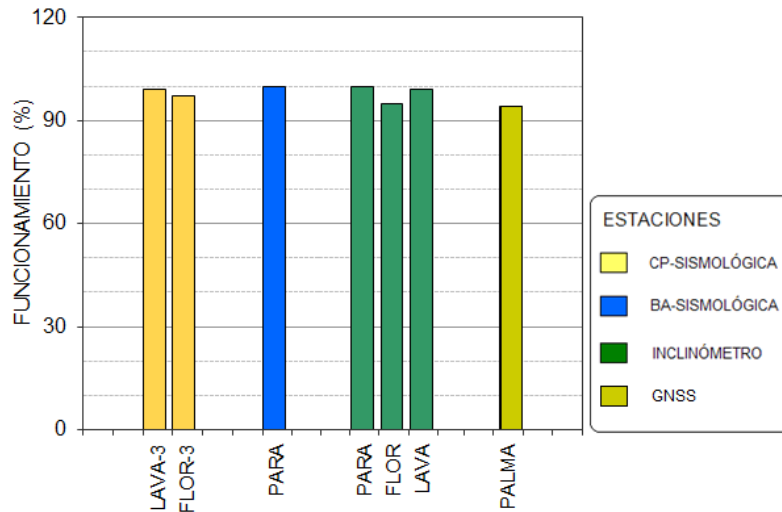


Figura 82. Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en octubre de 2016.

#### 4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de tres eventos, que por la forma de onda y sus características espectrales se clasificaron como VT (Figura 83, Tabla 21), asociados con fractura de material rocoso, dos de ellos se ubicaron hacia el sector occidental del Volcán Doña Juana, las magnitudes locales estuvieron entre -0.5 y -0.1 en la escala de Richter, las profundidades entre 6.3 y 9.1 km (Figura 84). La energía sísmica liberada y estimada con la magnitud local fue de  $6.0 \times 10^{09}$  ergios.

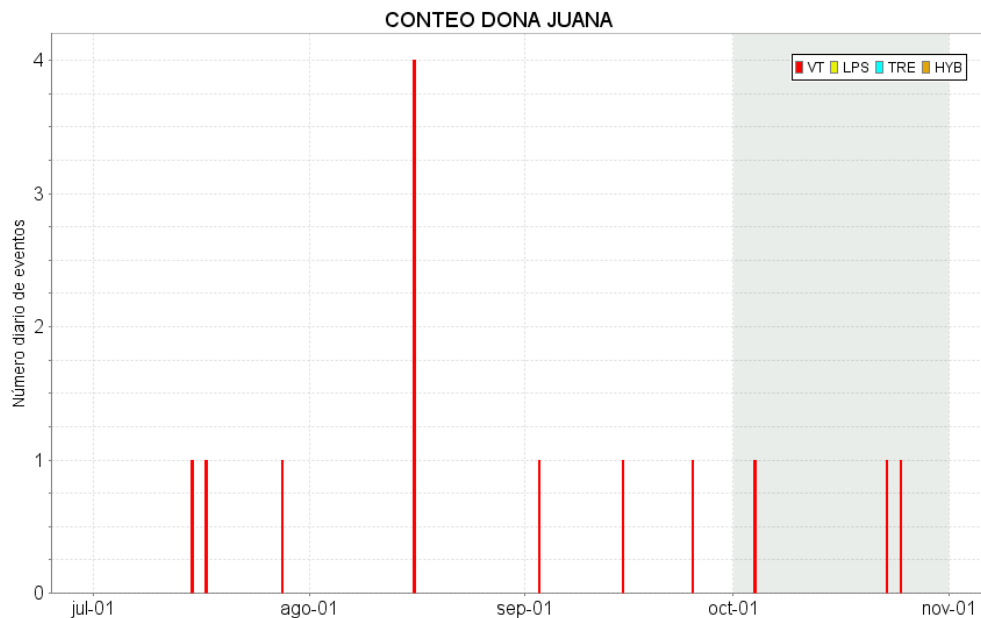
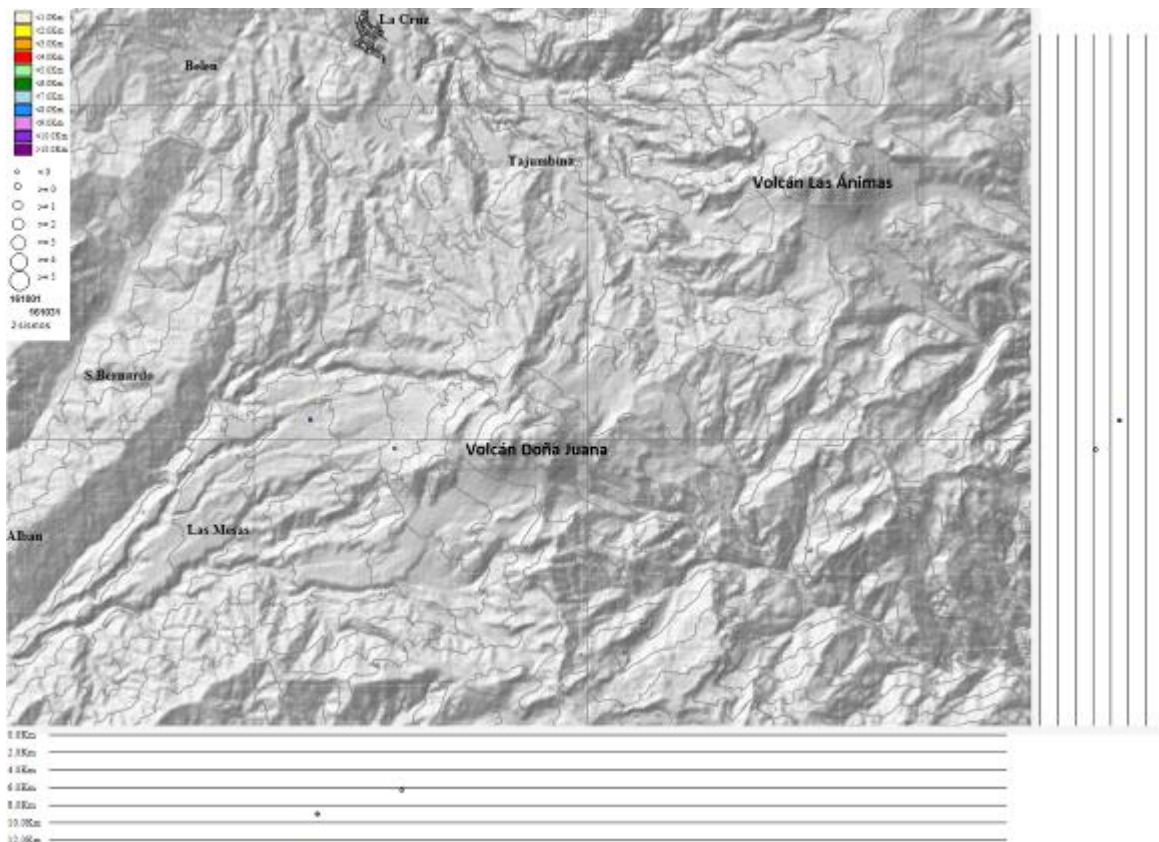


Figura 83. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de julio y octubre de 2016.

**Tabla 21.** Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del Volcán Doña Juana registrados entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-jul-16 a 31-jul-16	3	3
01-ago-16 a 31-ago-16	4	4
01-sep-16 a 30-sep-16	3	3
01-oct-16 a 31-oct-16	3	3



**Figura 84.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos localizados en el volcán Doña Juana, registrados en el mes de octubre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

### 4.2.3. Deformación Volcánica

#### 4.2.3.1. Inclínometría Electrónica

Continúa la tendencia ascendente en la componente Norte del inclinómetro Lavas, registrando desde el 24 de agosto de 2016, cerca de 25  $\mu$ rad (Figura 85), se evidencia estabilidad en el registro de la componente Este. En contraste se observa un comportamiento descendente en la componente de inclinación de la estación Paramo, alcanzando 15  $\mu$ rad desde el 6 de octubre de 2016 (Figura 86).

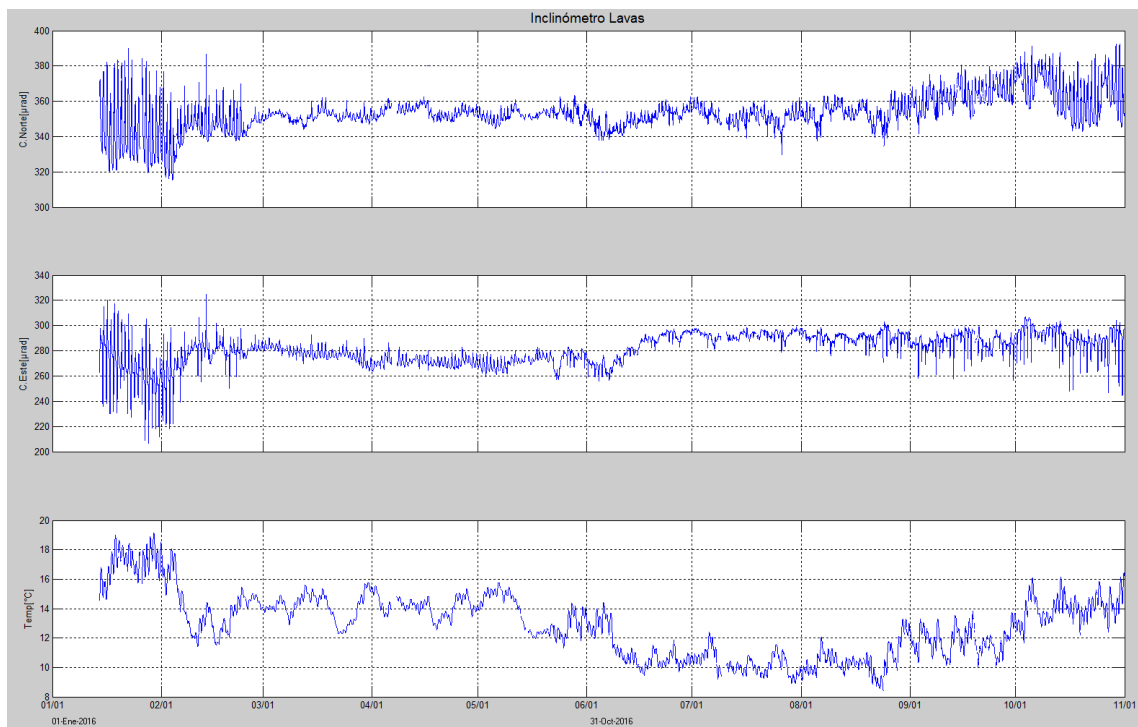
Se observa estabilidad en el registro del inclinómetro electrónico Florida (Figura 87).

#### 4.2.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

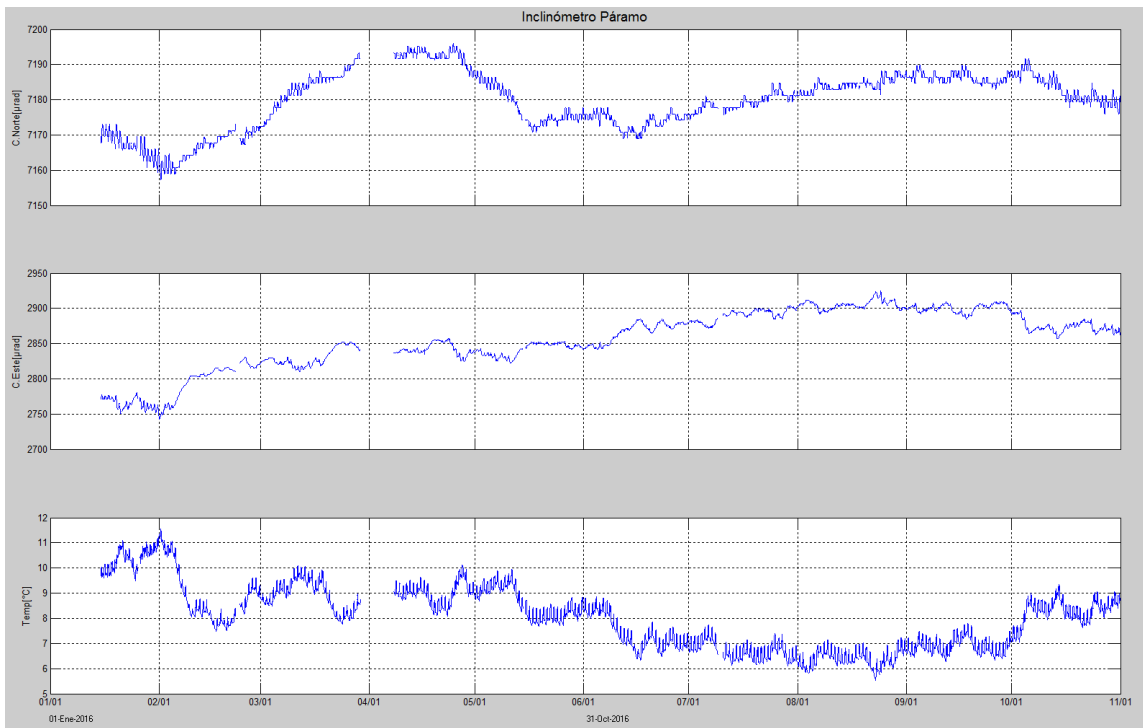
Desde el 23 de febrero de 2016, hacia el costado nororiental del volcán Doña Juana se instaló una estación GNSS permanente con el fin de detectar los cambios en superficie asociados a actividad volcánica.

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En la Figura 88, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS instalado en Doña Juana.

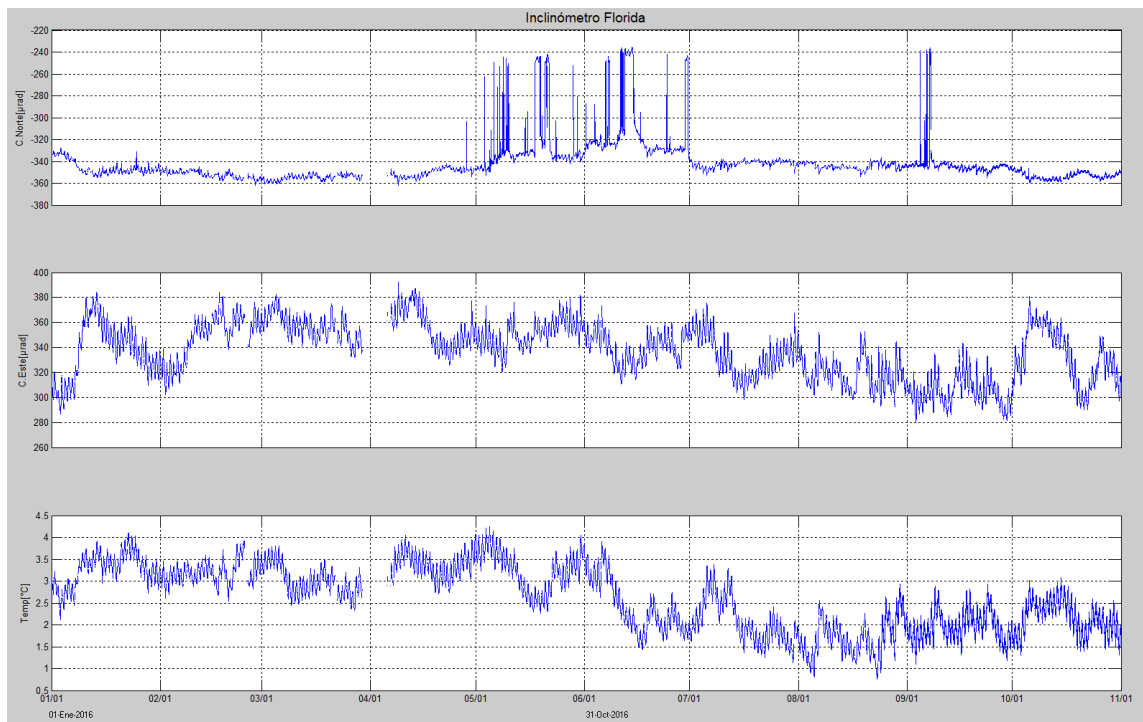
En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que puede verificarse en el registro presente en la dirección Norte de la estación GNSS QUIL (Figura 26 - ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño).



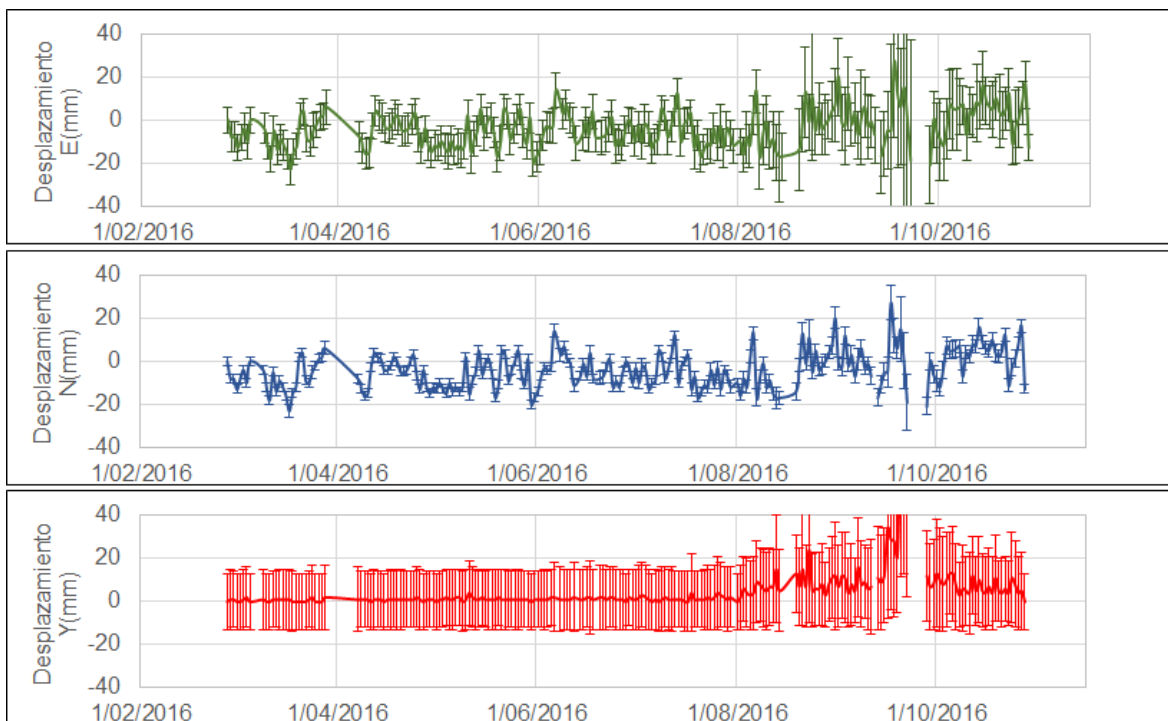
**Figura 85.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 86.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 87.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.



**Figura 88.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 27 de febrero y el 28 de octubre de 2016.

#### 4.2.4. Actividad Superficial

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

#### 4.2.5. Conclusiones

- La evaluación de los diferentes parámetros monitoreados en Doña Juana durante octubre de 2016, permitieron establecer el **NIVEL VERDE** (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”.

### 4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

#### 4.3.1. Red de vigilancia

La red de vigilancia sísmica del volcán Azufral está compuesta por cinco estaciones, La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con inclinómetros electrónicos y Laguna con una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial (Figura 89, Tabla 22). Se tiene una estación climatológica cerca de la estación La Roca (sensores para medir velocidad y dirección



del viento, temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica y radiación solar). También hay una estación de medición de temperatura permanente en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica (Figura 89).

De igual forma con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tienen instaladas tres estaciones GNSS permanentes, muy próximas a las estaciones La Roca, Lobo y Laguna, estos dos últimos GNSS instalados hacia finales de mayo de 2016, así mismo se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por cuatro bases y 12 prismas reflectores (Figura 90).

Hacia el sector sureste se tiene instalada desde finales de mayo de 2016 una estación de electromagnetismo, para seguimiento de las variaciones del campo Magnético y Eléctrico, próxima a la estación sísmica El Lobo.

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 94% para este mes (Figura 91).

**Tabla 22.** Estaciones telemétricas (sísmicas, inclinómetros electrónicos, climatológica, webcam) instaladas en el volcán Azufral.

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

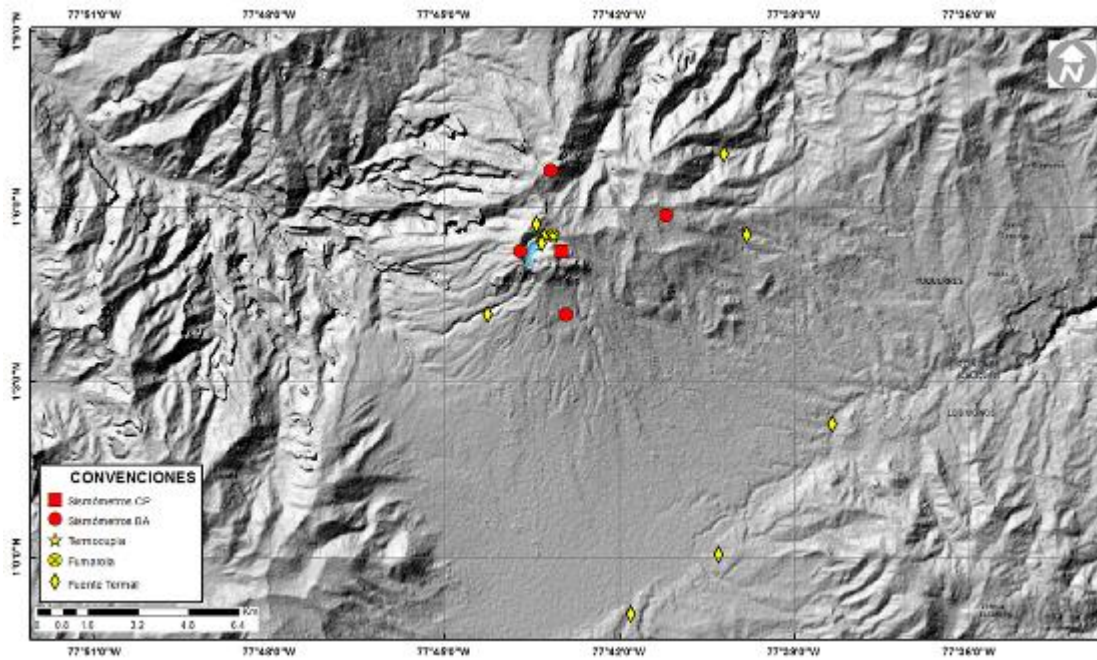


Figura 89. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azuara durante el mes de octubre de 2016.

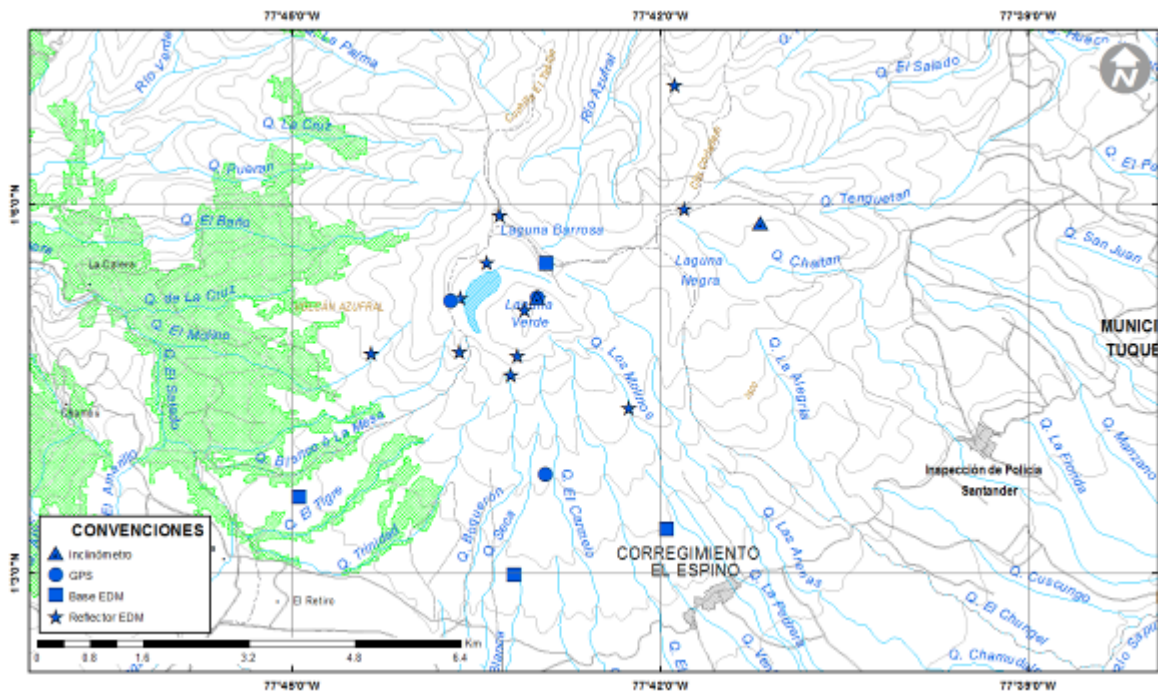
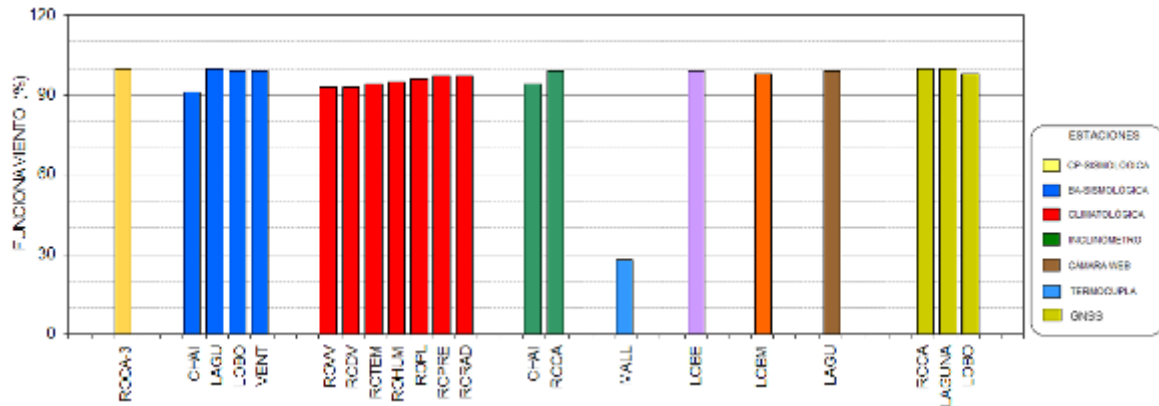


Figura 90. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación del Volcán Azuara durante el mes de octubre de 2016.



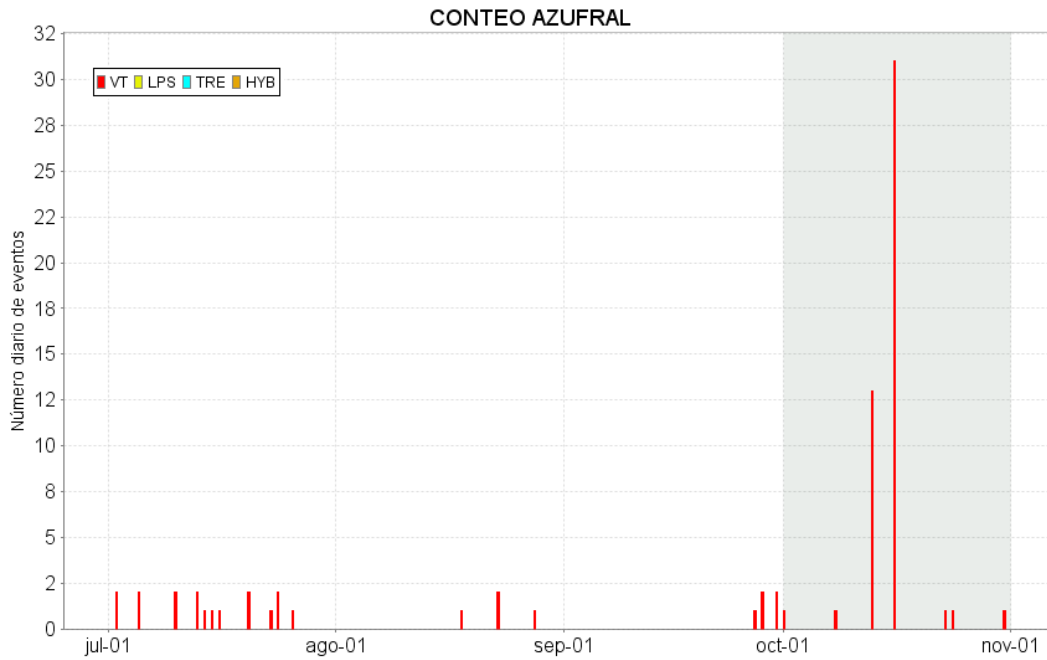
**Figura 91.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de octubre de 2016.

### 4.3.2. Sismología

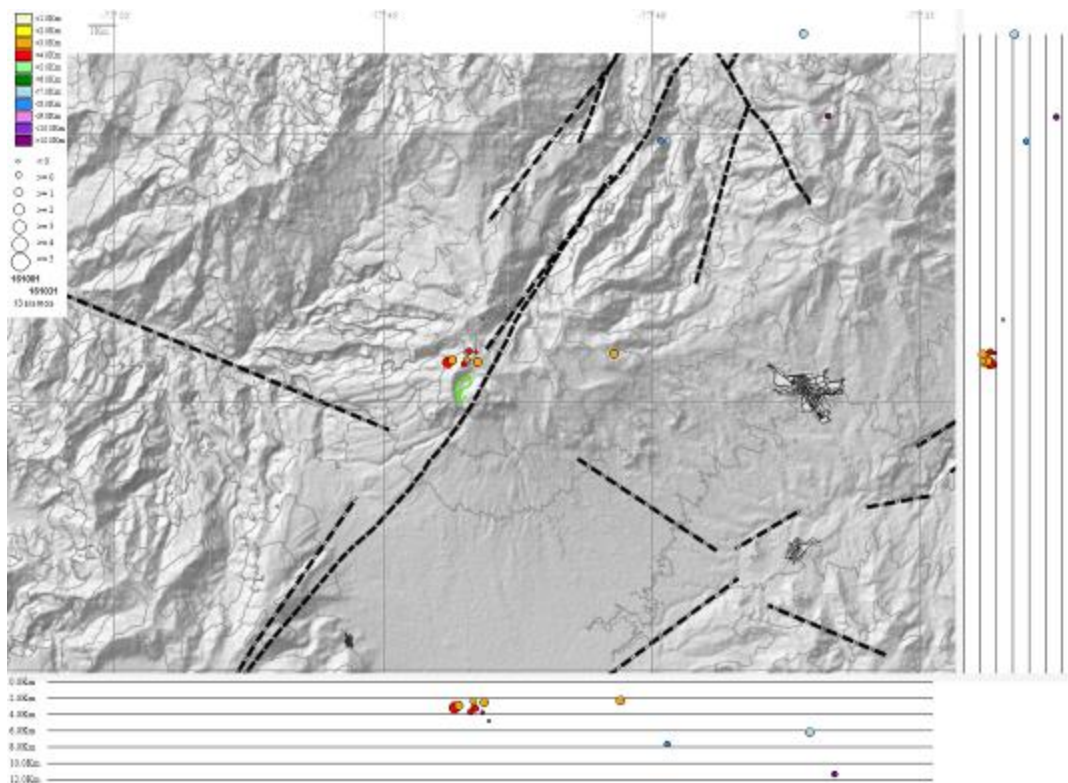
La ocurrencia sísmica en Azufral mostro un marcado incremento en comparación con el mes anterior, pasando de 5 a 49 sismos, eventos asociados con fractura de roca (VT) Tabla 24, Figura 92. De los cuales fue posible obtener una solución de localización para 13 de ellos, 8 se ubicaron a 1.2 km de distancia hacia el sector noroccidental del edificio volcánico y los otros 5 de manera dispersa, los más próximos presentaron profundidades entre 2.3 y 3.8 km y los más dispersos hasta los 11 km. La magnitud local fluctuó entre -0.2 y 2.7 en la escala de Richter (Figura 93), el 62% presentó magnitud menor a 1. La energía liberada por los sismos localizados fue de  $7.29 \times 10^{14}$  ergios (Figura 94).

**Tabla 23.** Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre julio y octubre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

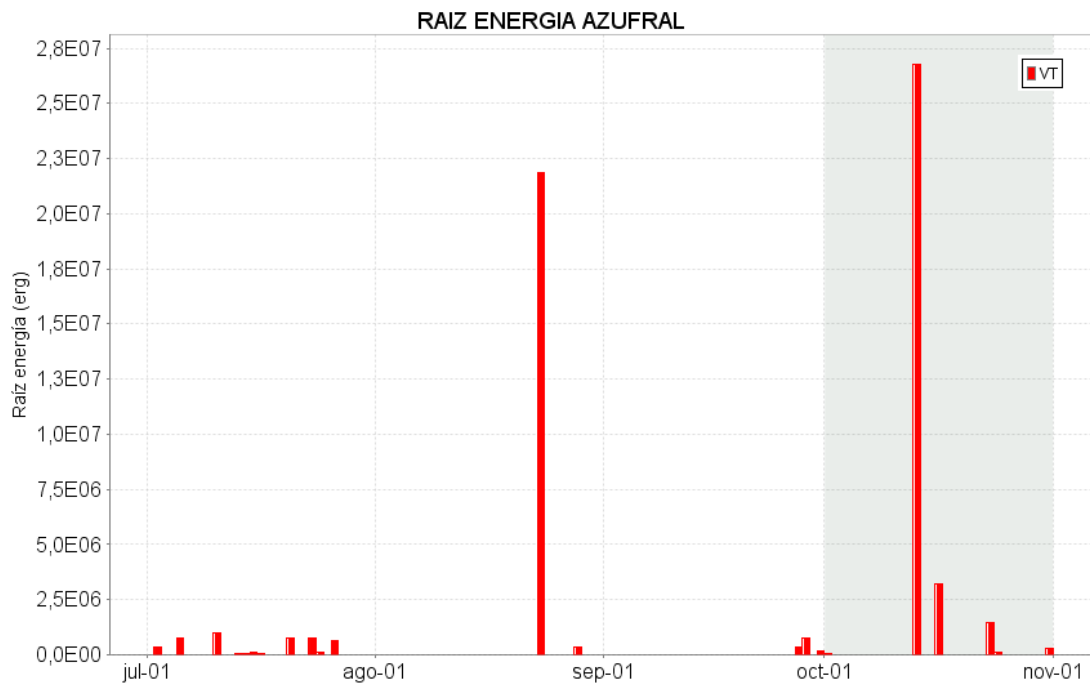
Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-jul-16 a 31-jul-16	17	17
01-ago-16 a 31-ago-16	4	4
01-sep-16 a 30-sep-16	5	5
01-oct-16 a 31-oct-16	49	49



**Figura 92.** Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre julio y octubre de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.



**Figura 93.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en octubre de 2016 en el volcán Azufral. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.



**Figura 94.** Energía diaria estimada con la magnitud local de los sismos VT ocurridos en Azufral entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

### 4.3.3. Deformación Volcánica

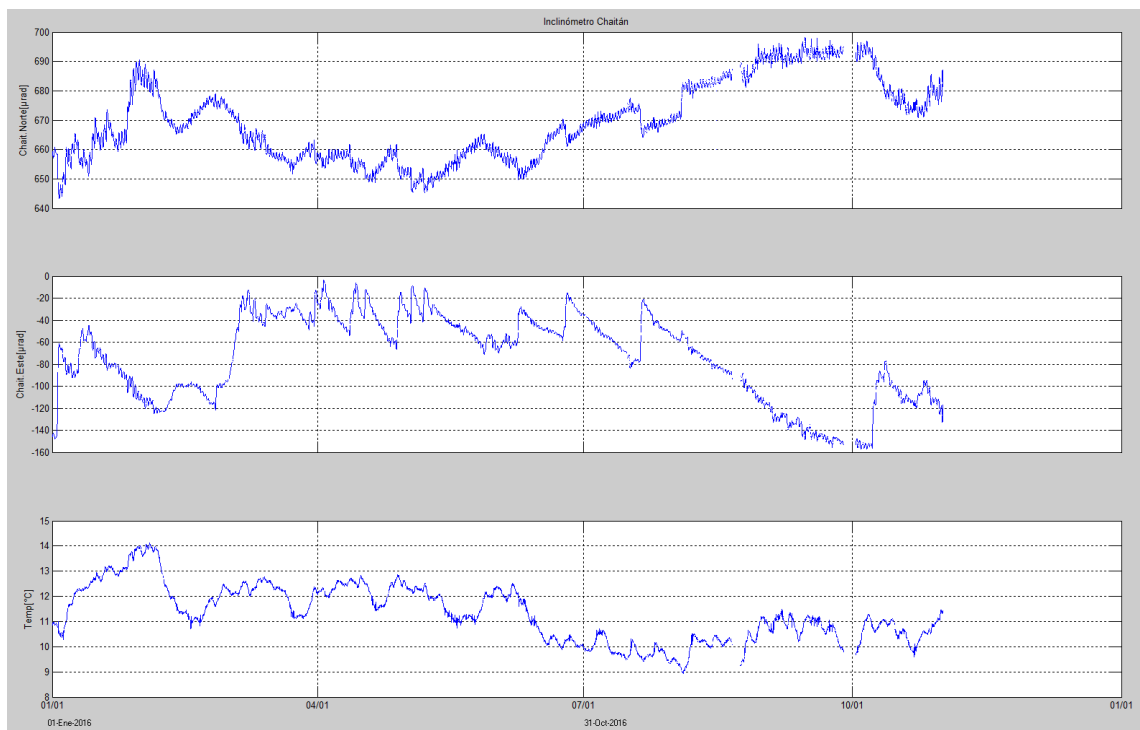
#### 4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Respecto a los procesos deformativos en superficie del edificio volcánico de Azufral, desde el 6 de octubre se evidencia un cambio en las tendencias de las componentes del inclinómetro Chaitán, la Norte de ascendente a descendente, descenso de 23  $\mu\text{rad}$ , mientras que la componente Este paso de descendente a ascendente, acumulando 77  $\mu\text{rad}$  (Figura 95).

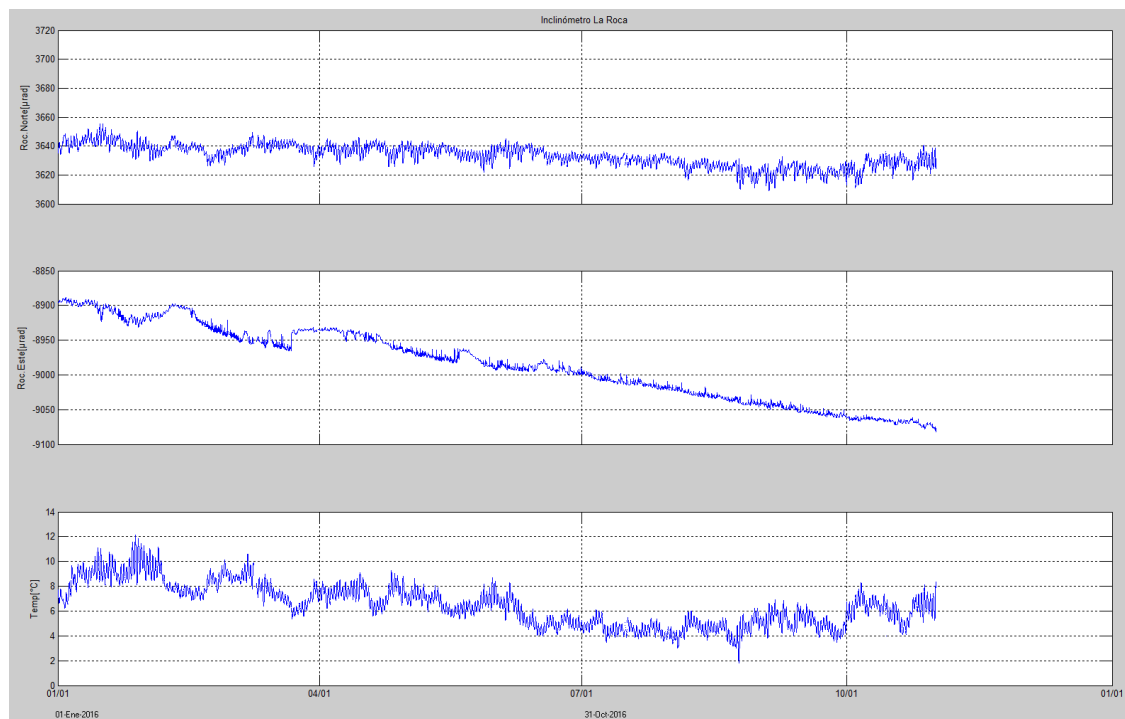
Continúa la tendencia descendente en la componente Este del inclinómetro La Roca, alcanzando 191  $\mu\text{rad}$  desde el 8 de enero, mientras que la Norte registra estabilidad (Figura 96).

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

En el periodo evaluado no se realizó ocupación de las Bases definidas para este tipo de mediciones.



**Figura 95.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.

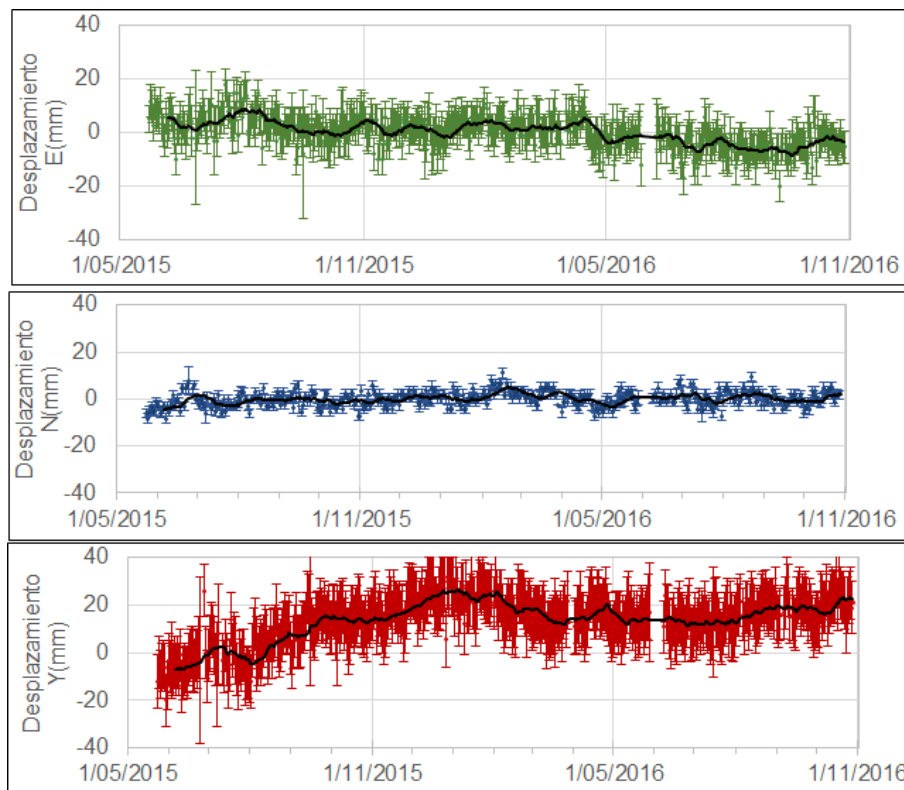


**Figura 96.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de octubre de 2016.

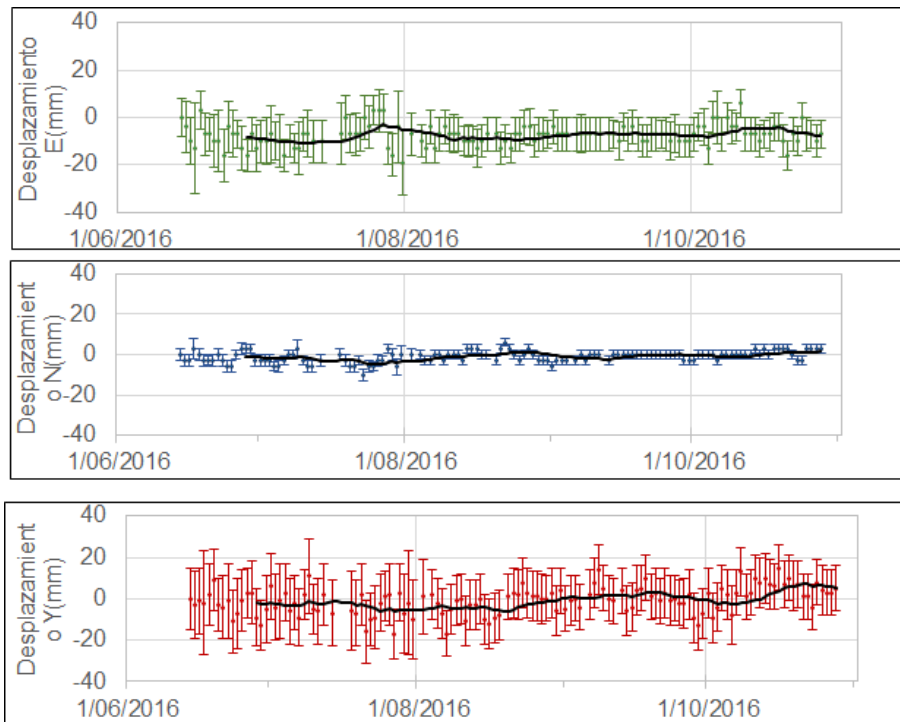
### 4.3.3.3. Estaciones GNSS Permanentes

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las Figuras 97, 98 y 99 se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y altura de los GNSS La Roca, Laguna y Lobo instalados en Azufra.

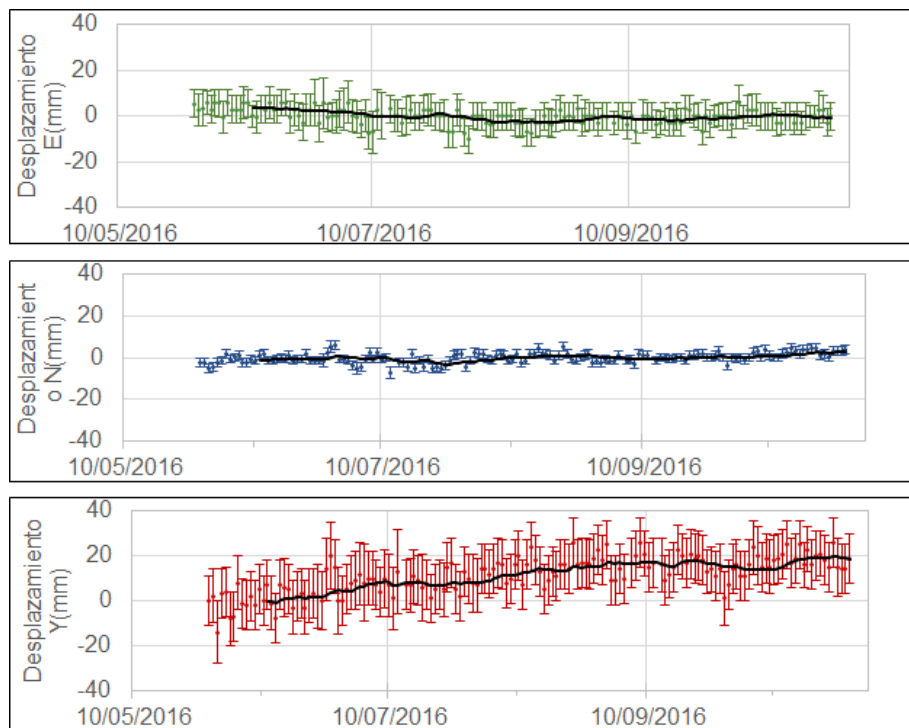
En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año.



**Figura 97.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 28 de octubre de 2016.



**Figura 98.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Laguna instalada en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 14 de junio de 2016 y el 28 de octubre de 2016.



**Figura 99.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalada en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 28 de octubre de 2016.



#### 4.3.4. GEOQUÍMICA

##### 4.3.4.1. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Azufral

El volcán Azufral cuenta con una red actual de monitoreo de 10 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Salado de Malaver, FT La Cabaña, FT Quebrada Blanca, FT San Ramón, FT Arrayán Salado, FT Tutachag, FT Laguna Verde N°1, FT Laguna Verde N°2, Laguna Verde N°3, Laguna Verde N°4 (Figura 100, Tabla 24).

Para el mes de octubre se realizó el muestreo geoquímico a dos de las fuentes termales de la red, FT LV N°1 y FT Quebrada Blanca.

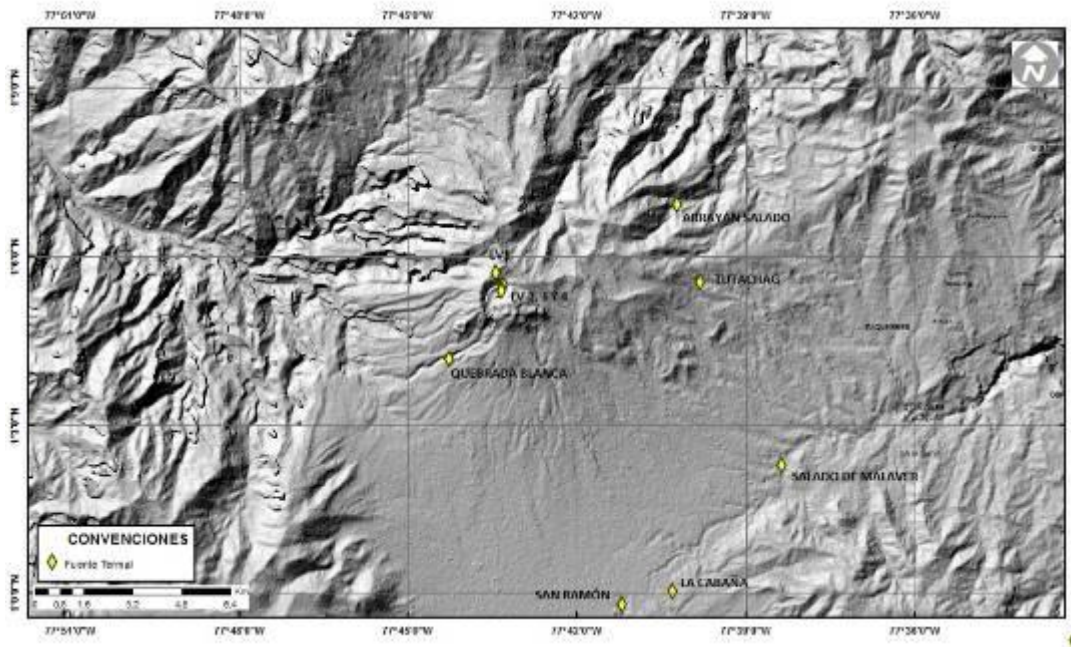


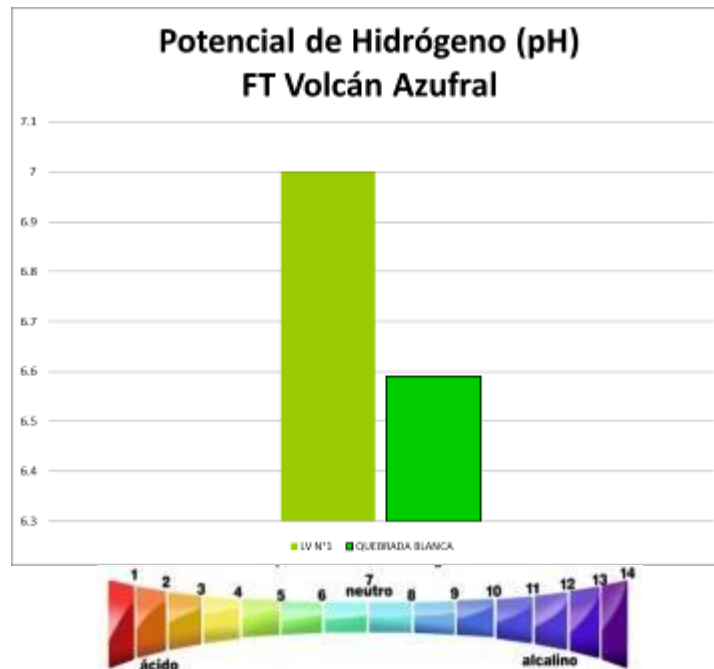


Figura 100. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

**Tabla 24.** Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales del área de influencia del Volcán Azufraal muestreadas en el mes de octubre de 2016.

FUENTE TEMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
QUEBRADA BLANCA		1.06936°	77.73779°	3165
LAGUNA VERDE 1		1.09139°	77.72163°	3782

En la Figura 101 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de octubre para las FT de la zona de influencia del volcán Azufraal. Los colores en las gráficas indican el estado de acidez o basicidad del manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para pH. Las fuentes termales durante el mes de octubre presentan potenciales de Hidrógeno (pH) con valores de 7 para la FT LV N°1 y 6.6 para la FT Chimangual.



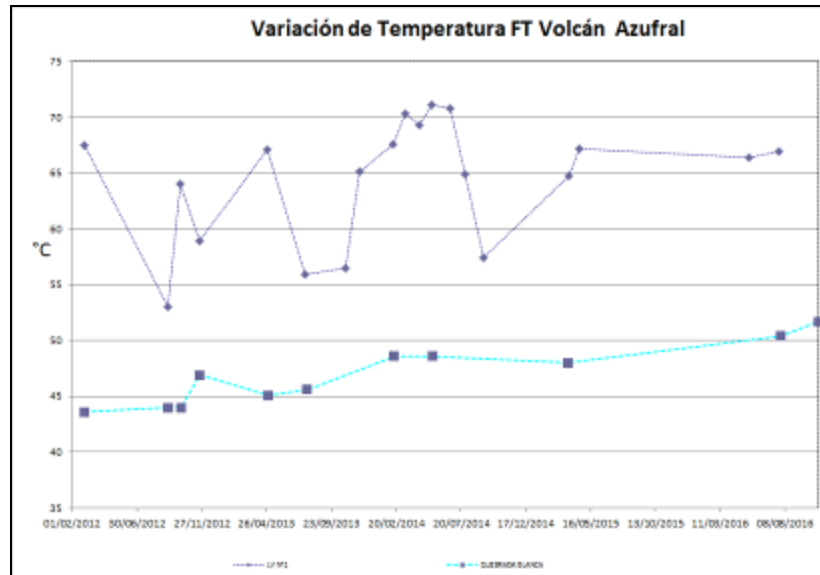
**Figura 101.** Potencial de hidrogeno de las fuentes termales muestreadas en el mes de octubre de 2016 en el área de influencia del Volcán Azufral.

En las Figuras 102 y 103 se puede observar las variaciones de temperatura y conductividad eléctrica en el tiempo respecto a meses anteriores, las mediciones corresponden a las FT de la zona de influencia del volcán Azufral registradas en trabajo de campo durante el mes de octubre.

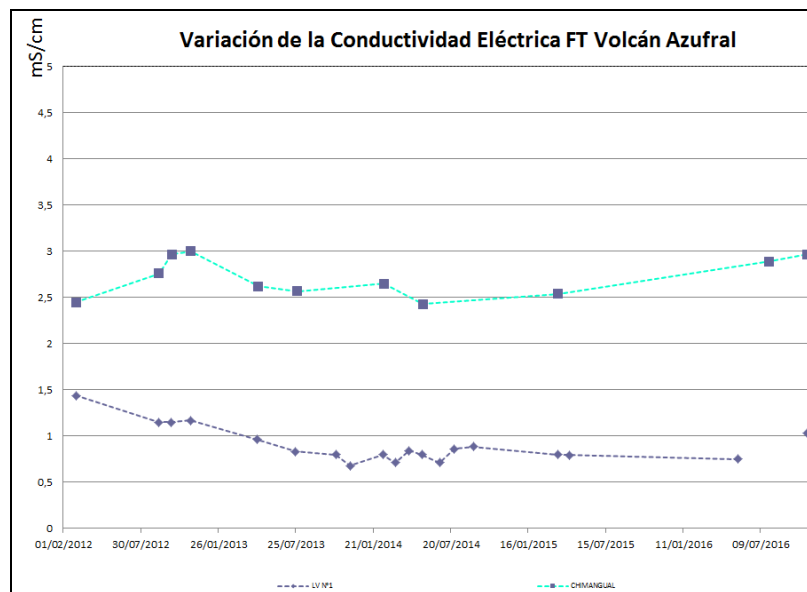
Para el caso de la temperatura (Figura 102), la FT Quebrada Blanca ha presentado incremento de temperatura, desde su registro en marzo de 2012 (43.6°C) hasta octubre de 2016 (51.7°C), mientras que la FT LV N°1 presenta valores similares a los registrados en meses anteriores.

La conductividad eléctrica (Figura 103) no presenta variaciones relevantes para las dos FT manteniendo un comportamiento estable.

Es importante mencionar que el caudal de las fuentes termales disminuyó notablemente en comparación con lo observado en misiones de campo anteriores.



**Figura 102.** Variación de temperatura de las fuentes termales muestreadas en el mes de octubre de 2016 en el área de influencia del Volcán Azuftral.



**Figura 103.** Variación de la conductividad eléctrica en las fuentes termales muestreadas en el mes de octubre de 2016 en el área de influencia del Volcán Azuftral.

Los manantiales de Azuftral aquí registrados se clasifican como termales (Tabla 25), de acuerdo a su temperatura:

**Tabla 25.** Clasificación de aguas termales de acuerdo a su temperatura.

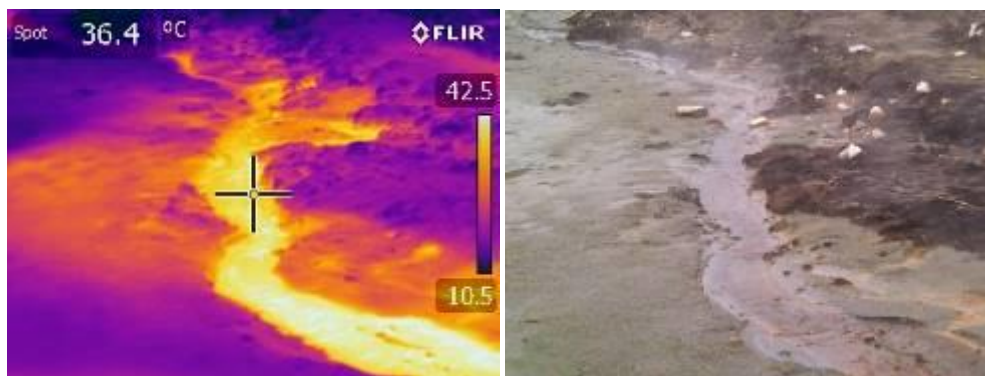
TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN
20-35°C	Aguas hipotermiales
35-45°C	Aguas mesotermiales
45-100°C	Aguas hipertermiales
100-150°C	Aguas supertermiales

- **Fuente termal LV N°1**

Temperatura superficial: 65.1°C (Temperatura registrada en octubre de 2016 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 45°C y 100°C (Figura 104), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta una conductividad eléctrica media 1.03 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.



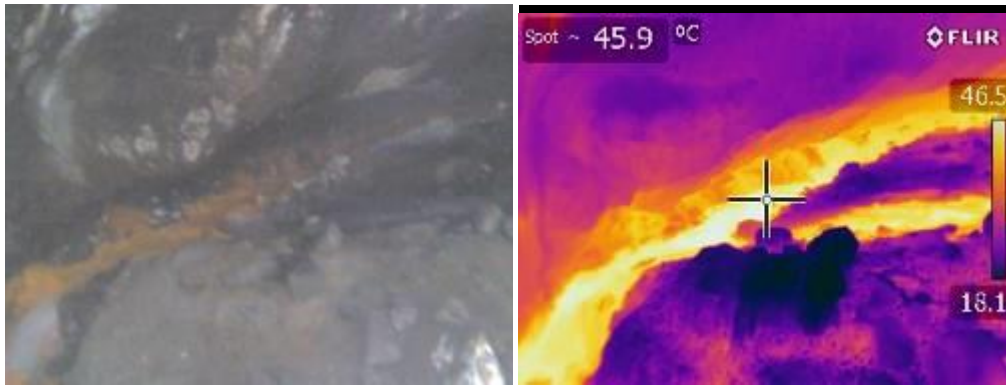
**Figura 104.** Imagen térmica FT LV N° 1 – Volcán Azufral – Octubre de 2016.

- **Fuente Termal Quebrada Blanca**

Temperatura superficial: 51.7°C. (Temperatura registrada en octubre de 2016 con termómetro digital).

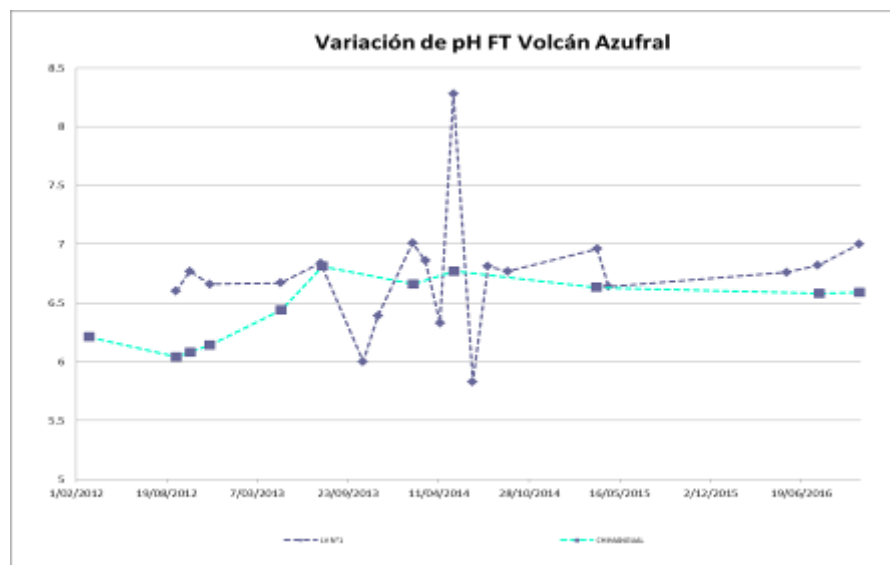
Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 45°C y 100°C (Figura 105), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta una conductividad eléctrica media de 2.96 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.



**Figura 105.** Imagen térmica FT Quebrada Blanca – Volcán Azufral – Octubre de 2016.

En las Figuras 106 y 107 se presenta la variación del pH para la FT termales que fue posible su muestreo, para lo cual no se observan cambios importantes en comparación con meses anteriores. La alcalinidad presenta estabilidad en comparación con meses anteriores.



**Figura 106.** Variación del pH en las FT del Volcán Azufral – Octubre de 2016.

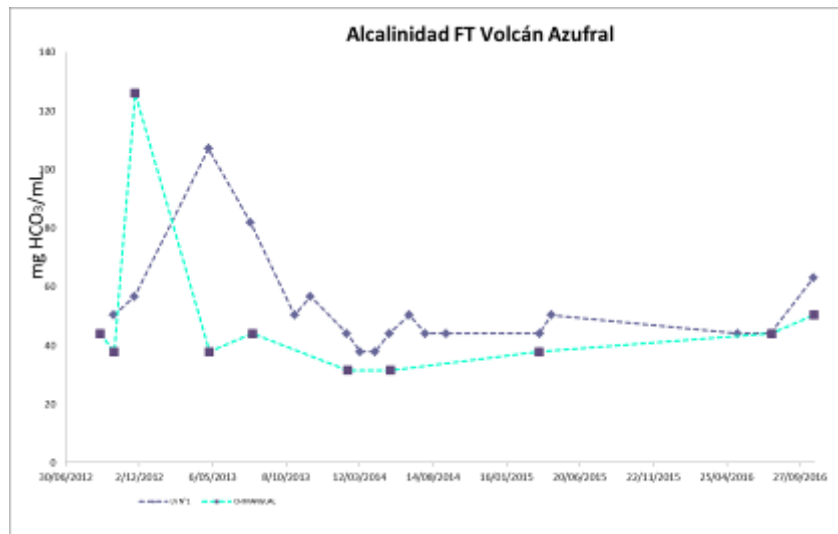


Figura 107. Variación en la concentración de bicarbonato en las FT del Volcán Azufra – Octubre de 2016.

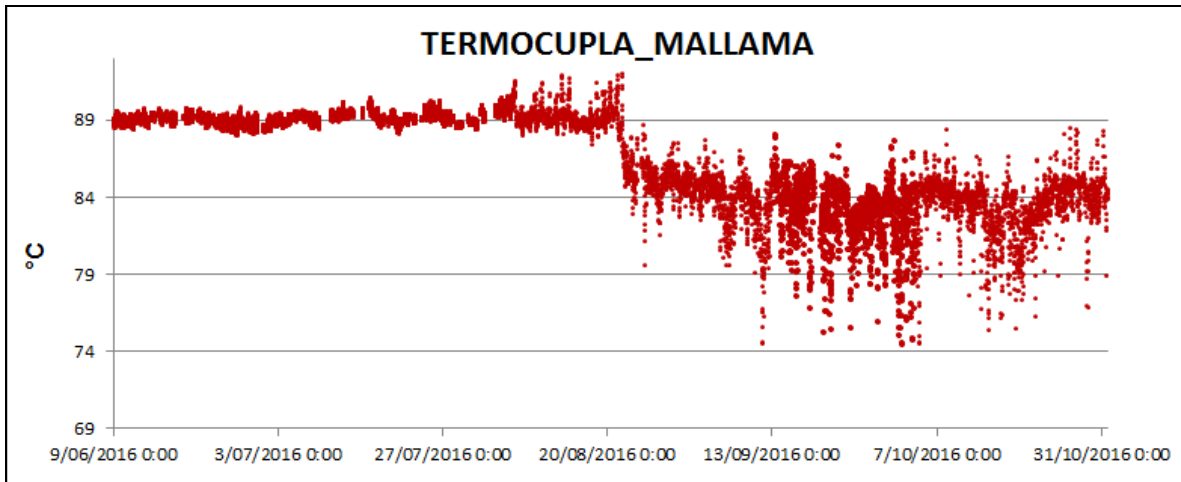
#### 4.3.4.2. Registro de temperatura – Estación Térmica Mallama

Los datos sobre la variación de temperatura en el campo fumarólico “Domo Mallama” del volcán Azufra, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada hacia el costado norte de la Laguna cráterica, estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de 10 minutos.

En la Figura 108 se registran las variaciones que corresponden a variaciones día-noche. Durante el mes de octubre se registra un valor máximo de 88.5°C (Tabla 26), en comparación con meses anteriores se puede observar que hay estabilidad en los valores de temperatura con respecto a las variaciones presentadas a partir del mes de agosto de 2016.

El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continuará 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.

En la Figura 108 se encuentra la gráfica de la variación de temperatura con respecto al tiempo registrado por la estación térmica Mallama, desde el mes de junio de 2016 hasta el 31 de octubre de 2016.



**Figura 108.** Temperatura estación Térmica domo Mallama – Junio a Octubre de 2016.

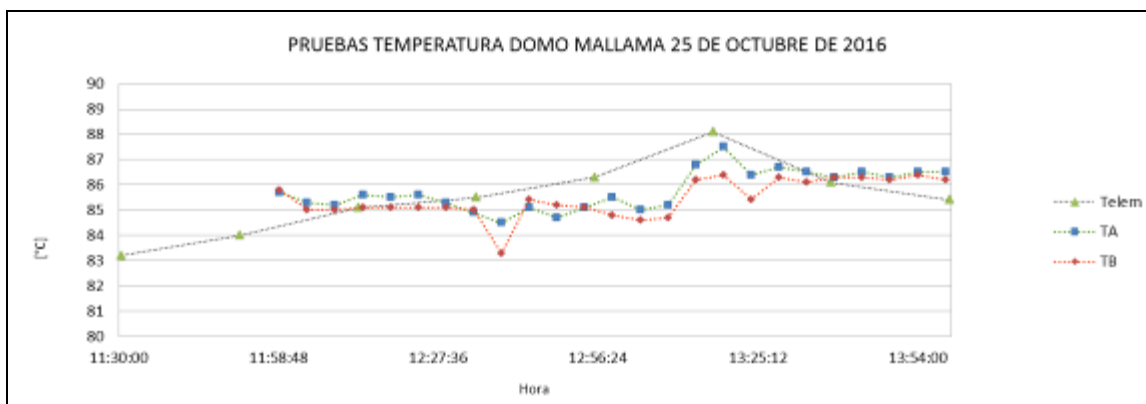
**Tabla 26.** Valores de temperatura en domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – octubre de 2016.

TEMPERATURA	[°C]
<b>Promedio</b>	83.3
<b>Máximo</b>	88.5
<b>Mínimo</b>	67.4

En trabajos de campo entre las 11:59 a.m. y 1:59 p.m. del 25 de octubre, se realizaron pruebas de temperatura en el domo Mallama, en el sitio donde se encuentra ubicada la estación térmica Mallama, en la cual se compararon las temperaturas registradas de dos termómetros portátiles y la temperatura registrada de la estación permanente telemétrica Mallama. En la Figura 109, el color verde corresponde a la estación permanente telemétrica, el color azul al termómetro portátil TA y el rojo al termómetro portátil TB.

Además en la gráfica se puede observar que la temperatura registrada por los tres sensores, presenta una tendencia similar, cerca de la 1:20 p.m., presentándose el máximo valor en los tres casos, la diferencia entre el sensor parte de la telemetría y los equipos portátiles es de 1.0°C en promedio. En la Tabla 27, puede observarse la diferencia de temperatura registrada para los tres casos.





**Figura 109.** Pruebas de temperatura en domo Mallama en el área de influencia del Volcán Azufral.

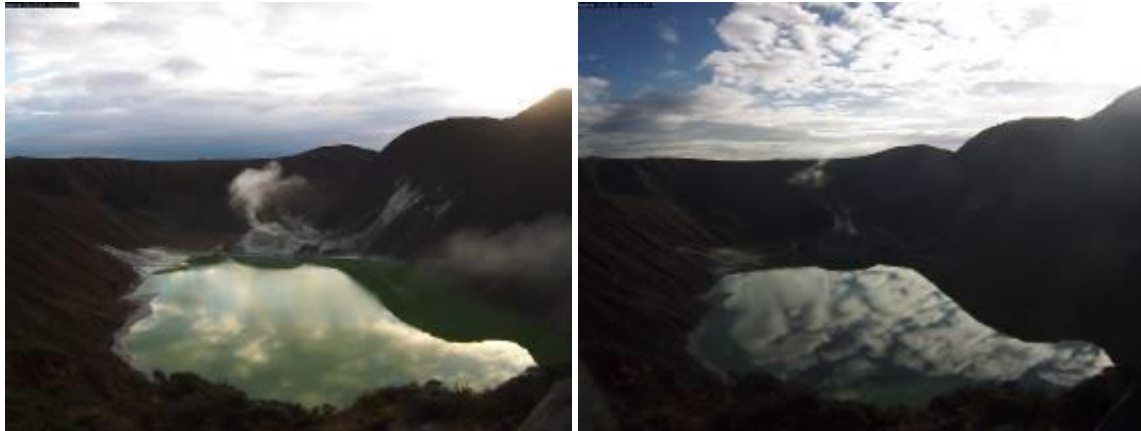
**Tabla 27.** Comparación de valores de temperatura registrados en la prueba desarrollada con termómetros portátiles y la estación permanente telemétrica en el domo Mallama, área de influencia del Volcán Azufral (Octubre 25 de 2016).

PRUEBA TEMPERATURA	TA [°C]	TB [°C]	Tel [°C]
<b>Promedio</b>	85.8	85.4	84.1
<b>Máximo</b>	87.5	86.4	88.1
<b>Mínimo</b>	84.5	83.3	81.3

#### 4.3.5. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables para la mayor parte del tiempo evaluado, excepto para los días 18, 21 y 23 de octubre, permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura, provenientes principalmente de las fumarolas del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde.

En las Figuras 110 a 114 se presentan algunas imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en Azufral.



**Figura 110.** Imágenes de la emisión de gases del domo Mallama, 7 de octubre de 2016 a las 6:15 a.m. (izquierda) y 7:05 a.m. (derecha).



**Figura 111.** Emisión de gases del domo Mallama, 12 de octubre de 2016 a las 6:05 p.m.



**Figura 112.** Emisión de gases del domo Mallama, 13 de octubre de 2016 a las 6:50 a.m.



**Figura 113.** Imágenes del domo Mallama capturadas el 25 de octubre de 2016, en labores de campo por la zona de influencia del Volcán Azufra, en las fotografías se observa emisión de gases.



Figura 114. Emisión de gases del domo Mallama, 28 de octubre de 2016 a las 5:55 a.m.

#### 4.3.6. Conclusiones

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