

<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	Sep/2016
Título		INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, CHILES, CERRO NEGRO, LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL. AGOSTO 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.	Agosto 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 de tema: -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\ago
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

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DOMINIO</b>
		entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos.
Distribución		
Distribuidor		
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa, imagen satelital, informe técnico	Informe Técnico
Proceso estándar de pedido		
Productos impresos	Identificación que tipo de producto impreso. Ej. mapa impreso a color	No aplica.
Forma digital		
Formato	Nombre, versión del formato. Ejm: PDF.- Si no se encuentra en forma digital se escribe "No disponible"	El informe se encuentra en formato DOC y PDF
Opción de transferencia digital		
Dirección en línea	Dirección electrónica donde se puede obtener el conjunto de datos	<a href="http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2016.aspx">http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2016.aspx</a>
Medio digital/Ubicación	Opciones del medio digital en el cual puede ser entregado el conjunto de datos y su ubicación física. Disquete de 3-1/2; CD-ROM	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  
AGOSTO DE 2016**

Edición:

**GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO**

**San Juan de Pasto, septiembre de 2016**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – AGOSTO 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	22
1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub>	22
1.4.2. Concentración de gas radón difuso en suelo	24
1.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	25
1.6. CONCLUSIONES	28
2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – AGOSTO DE 2016	28
2.1. RED DE VIGILANCIA	28
2.2. SISMOLOGÍA	30
2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	35
2.4. GEOQUÍMICA	37
2.4.1. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Cumbal	37
2.4.2. Muestreo de gases en fumarolas – Volcán Cumbal	43
2.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	45
2.6. CONCLUSIONES	45
3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – AGOSTO DE 2016	45
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	45
3.2. RED DE VIGILANCIA	46
3.3. SISMOLOGÍA	48
3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	52
3.5. GEOQUÍMICA	55
3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	55
3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	56
3.7. CONCLUSIONES	56
4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – AGOSTO DE 2016	56
4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS	57
4.1.1. Ubicación Geográfica	57
4.1.2. Red de vigilancia	58
4.1.3. Sismología	60
4.1.4. Deformación Volcánica	61
4.1.4.1. Inclinometría Electrónica	61
4.1.4.2. Estaciones GNSS Permanentes	61
4.1.5. Actividad Superficial	64
4.1.6. Conclusiones	64
4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA	64
4.2.1. Red de vigilancia	64
4.2.2. Sismología	66
4.2.3. Deformación Volcánica	68
4.2.3.1. Inclinometría Electrónica	68

4.2.3.2.	Estaciones GNSS Permanentes	68
4.2.4.	Actividad Superficial	71
4.2.5.	Conclusiones	71
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL	71
4.3.1.	Red de vigilancia	71
4.3.2.	Sismología	73
4.3.3.	Deformación Volcánica	76
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	76
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias – E:D:M.	76
4.3.3.3.	Estaciones GNSS Permanentes	77
4.3.4.	GEOQUÍMICA	79
4.3.3.1.	Registro de temperatura – Estación Térmica Mallama	79
4.3.5.	Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos	80
4.3.6.	Conclusiones	83

## TABLAS

	Pág.	
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de agosto de 2016.	5
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de agosto 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 agosto 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 mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	10
Tabla 8.	Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre mayo y agosto 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 agosto de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	23
Tabla 10.	Valores de concentración de radón en estación Los Lirios – Volcán Galeras – mes de agosto 2016.	25
Tabla 11.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de agosto de 2016.	29
Tabla 12.	Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de mayo y el 31 de agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	30
Tabla 13.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	40
Tabla 14.	Temperaturas registradas en los sectores de Mundo Nuevo y Cumbal – agosto de 2016.	44
Tabla 15.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de agosto de 2016.	47
Tabla 16.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	47

Tabla 17.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	49
Tabla 18.	Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	52
Tabla 19.	Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – agosto de 2016.	55
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de agosto de 2016.	58
Tabla 21.	Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.	64
Tabla 22.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del Volcán Doña Juana registrados entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	67
Tabla 23.	Estaciones telemétricas (sísmicas, inclinómetros electrónicos, climatológica, webcam) instaladas en el volcán Azufral.	72
Tabla 24.	Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	74
Tabla 25.	Valores de temperatura en domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – agosto de 2016.	80

## 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 agosto 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 agosto 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 agosto de 2016.	8
Figura 4	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de agosto 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 mayo y agosto 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 agosto (barras de la derecha) respecto al mes de julio (barras de la izquierda).	10
Figura 7	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de julio y agosto 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 mayo y el 31 de agosto de 2016.	11
Figura 9	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para agosto de 2016 (barras de la derecha) respecto a julio de 2016 (barras de la izquierda).	12
Figura 10	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para julio y agosto de 2016.	12
Figura 11	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de agosto 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 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 agosto 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 agosto de 2016.	15
Figura 14	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 agosto de 2016.	15
Figura 15	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 agosto de 2016.	16
Figura 16	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 agosto de 2016.	16
Figura 17	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 agosto 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 agosto de 2016.	17
Figura 19	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 agosto 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 26 de agosto 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 26 de agosto 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 26 de agosto 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 26 de agosto 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 26 de agosto 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 26 de agosto de 2016.	21
Figura 26	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 26 de agosto de 2016.	22
Figura 27	Flujo de emisión de $\text{SO}_2$ registrado desde el 1 de junio de 2016 hasta el 31 de agosto de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	23
Figura 28	Flujo de emisión de $\text{SO}_2$ , dirección y velocidad del viento para el mes de agosto de 2016.	24
Figura 29	Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica Los Lirios – Agosto de 2016.	25
Figura 30	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 8 de agosto de 2016, en horas de la tarde (4:03 p.m. y 4:05 p.m.), capturadas desde la cámara de Barranco.	26



Figura 31	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 19 de agosto de 2016, en horas de la tarde 6:33 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.	26
Figura 32	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 21 de agosto de 2016, en horas de la mañana 9:19 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.	26
Figura 33	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 23 de agosto de 2016, en horas de la tarde, capturada desde la cámara ubicada en Bruma.	27
Figura 34	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 24 de agosto de 2016, en horas de la tarde, 5:14 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Bruma.	27
Figura 35	Imágenes capturadas el 25 de agosto en visita de inspección a la zona del cráter principal del volcán Galeras.	28
Figura 36	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de agosto de 2016.	29
Figura 37	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de agosto de 2016.	30
Figura 38	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre mayo y agosto de 2016.	31
Figura 39	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de agosto de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de julio de 2016 (barras de la izquierda).	31
Figura 40	Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para julio y agosto de 2016.	32
Figura 41	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Cumbal entre el 1 de mayo y el 31 de agosto de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	32
Figura 42	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de agosto de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).	33
Figura 43	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 14 de agosto de 2016, a las 3:38 a.m., registrando 47 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.61 Hz y subdominante de 7.46 Hz.	34
Figura 44	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 15 de agosto de 2016, a las 00:43 a.m., registrando 76 segundos de duración y una frecuencia dominante de 5.12 Hz y subdominante de 2.67 Hz.	34
Figura 45	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 agosto de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de agosto de 2016.	34
Figura 46	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 agosto de 2016.	35
Figura 47	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 agosto de 2016.	36
Figura 48	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 agosto de 2016.	36
Figura 49	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 15 de junio de 2016.	37

Figura 50	Mapa de localización de las fuentes termales y fumarolas pertenecientes en la zona de influencia del Volcán Cumbal.	38
Figura 51	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Cumbal_2016.	39
Figura 52	Variación de temperatura de las FT de Volcán Cumbal – agosto 2016.	39
Figura 53	Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Cumbal – agosto 2016.	40
Figura 54	Imagen térmica FT Zapatero - agosto 2016.	41
Figura 55	Imagen térmica FT Hueco Grande - agosto 2016.	41
Figura 56	Imagen térmica FT Cuetial - agosto 2016.	42
Figura 57	Variación del pH en las FT de Volcán Cumbal – agosto 2016.	43
Figura 58	Variación de alcalinidad en las FT de Volcán Cumbal – agosto 2016.	43
Figura 59	Imágenes térmicas de la fumarola Boca Vieja, Rastrojo, Las Bandas, del Volcán Cumbal _ agosto de 2016.	44
Figura 60	Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	45
Figura 61	Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de agosto de 2016.	46
Figura 62	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 agosto de 2016.	48
Figura 63	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 agosto 31 de 2016.	49
Figura 64	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 mayo y agosto de 2016.	50
Figura 65	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de agosto de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de julio de 2016 (barras de la izquierda).	50
Figura 66	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en agosto de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	51
Figura 67	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de mayo y el 31 de agosto de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	52
Figura 68	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 agosto de 2016.	53
Figura 69	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 agosto de 2016.	54
Figura 70	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 agosto de 2016.	54
Figura 71	Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – agosto de 2016.	55
Figura 72	Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.	57
Figura 73	Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	58
Figura 74	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de agosto de 2016.	59

Figura 75	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Las Ánimas durante el mes de agosto de 2016.	59
Figura 76	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante agosto de 2016.	60
Figura 77	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia del Volcán Las Ánimas, en agosto de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.	61
Figura 78	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 agosto de 2016.	62
Figura 79	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 agosto de 2016.	63
Figura 80	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 26 de agosto de 2016.	63
Figura 81	Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	65
Figura 82	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Doña Juana durante el mes de agosto de 2016.	65
Figura 83	Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en agosto de 2016.	66
Figura 84	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de mayo y agosto de 2016.	66
Figura 85	Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Doña Juana, en el mes de agosto de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.	67
Figura 86	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 agosto de 2016.	69
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 agosto de 2016.	69
Figura 88	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 agosto de 2016.	70
Figura 89	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 26 de agosto de 2016.	70
Figura 90	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de agosto de 2016.	72
Figura 91	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación del Volcán Azufraal durante el mes de agosto de 2016.	73
Figura 92	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufraal durante el mes de agosto de 2016.	73
Figura 93	Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufraal entre mayo y agosto de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.	74

Figura 94	Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en agosto de 2016 en el volcán Azufral. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.	75
Figura 95	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Azufral entre el 1 de mayo y el 31 de agosto de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	75
Figura 96	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 agosto de 2016.	76
Figura 97	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 agosto de 2016.	77
Figura 98	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 26 de agosto de 2016.	78
Figura 99	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 26 de agosto de 2016.	78
Figura 100	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 26 de agosto de 2016.	79
Figura 101	Temperatura estación Térmica domo Mallama – Agosto de 2016.	80
Figura 102	Emisión de gases del domo Mallama, 5 de agosto de 2016 a las 7:34 a.m.	81
Figura 103	Emisión de gases del domo Mallama, 13 de agosto de 2016 a las 8:14 a.m.	81
Figura 104	Emisión de gases del domo Mallama, 25 de agosto de 2016 a las 7:26 a.m.	82
Figura 105	Emisión de gases por el sector conocido como La Playita, al noroccidente de la Laguna Verde, 28 de agosto de 2016.	82

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del mes de agosto 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 agosto 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 agosto 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 descenso 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 99% 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 80% en comparación con el mes anterior.

Los sismos localizados se ubicaron de manera dispersa alrededor del cráter volcánico, cuyas profundidades estuvieron entre 0.5 y los 15 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes locales menores a 2.3 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 21 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 1341 Tn/día, registrado el 21 de agosto 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 los días 1, 3, 15, 16, 18, 22 y 27 de agosto), 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 movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico. En relación con el mes anterior, se observó un descenso del 40% en la ocurrencia diaria de sismicidad. En este mes se tuvo registro de 7 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, cuyas frecuencias dominantes fueron de 1.37 y 5.12 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 en la escala de Richter, cerca del 96% inferior a 1.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de agosto 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 de los eventos localizados se ubicaron principalmente hacia el sector suroccidental del edificio volcánico de Chiles, con algunos en inmediaciones de su cima, con magnitudes menores a 2.7 en la escala de Richter y mayor concentración a profundidades entre 2 y 5 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 43.8 °C y un mínimo de 42.2 °C.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de agosto 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 6 eventos tipo VT. De los cuales fue posible localizar cuatro, con magnitudes locales menores a 1 y profundidades entre 2 y 12 km. En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado se tiene registro de cuatro eventos clasificados de fractura de material rocoso, de estos se obtuvo una solución de localización para tres de ellos, con magnitud local menor a 1 y profundidades entre 6 y 12 km..

En relación al volcán Azufra, predominaron los sismos clasificados como VT, y en comparación con el mes anterior, la sismicidad del volcán presentó descenso en ocurrencia, totalizando 4 eventos, dos se ubicaron hacia el sector sur del edificio volcánico y el otro hacia el costado noroccidental, con profundidades entre 8.7 y 12.7 km. La magnitud local fluctuó entre 0.6 y 2.6 en la escala de Richter

Para el periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases para los días 5, 9, 11, 13, 17, 25, 28, 30 y 31 de agosto, 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, Azufra y Las Ánimas, estos se consideran en **Nivel Verde** ● (IV), **“Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – AGOSTO 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).
- Seis 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 sísmica 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 agosto de 2016.

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

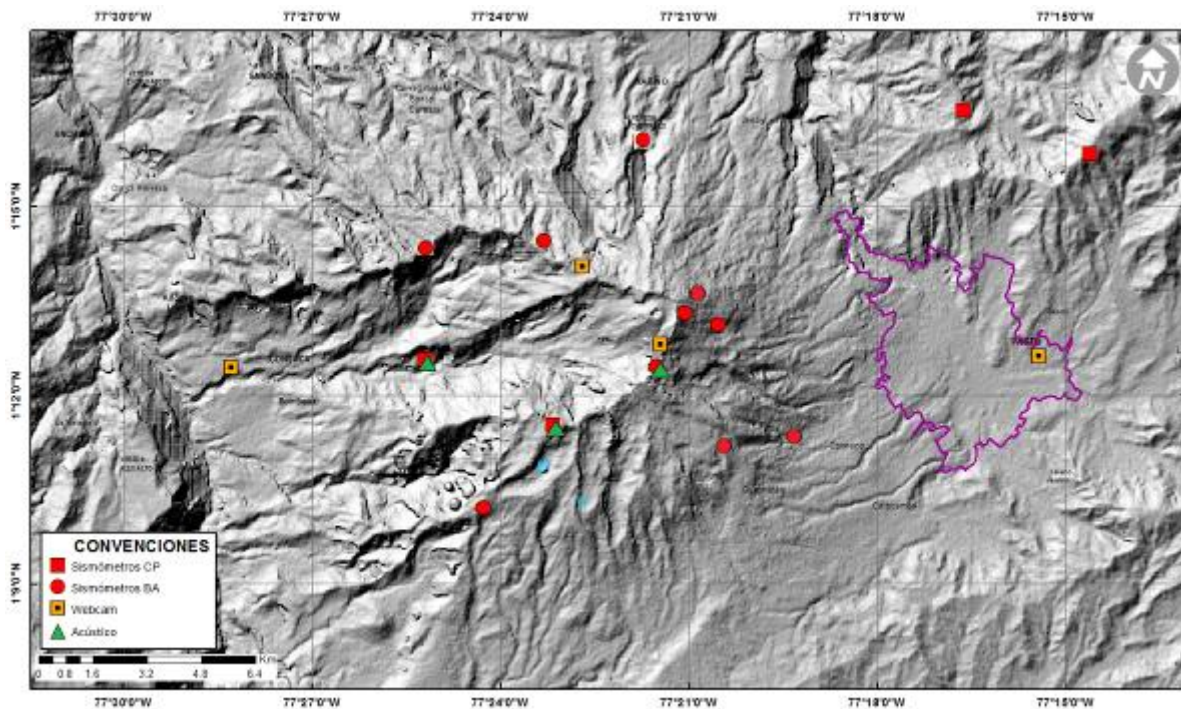
Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGV	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	0.8	E	4170
Cráter-2	CRAZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	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 agosto de 2016.

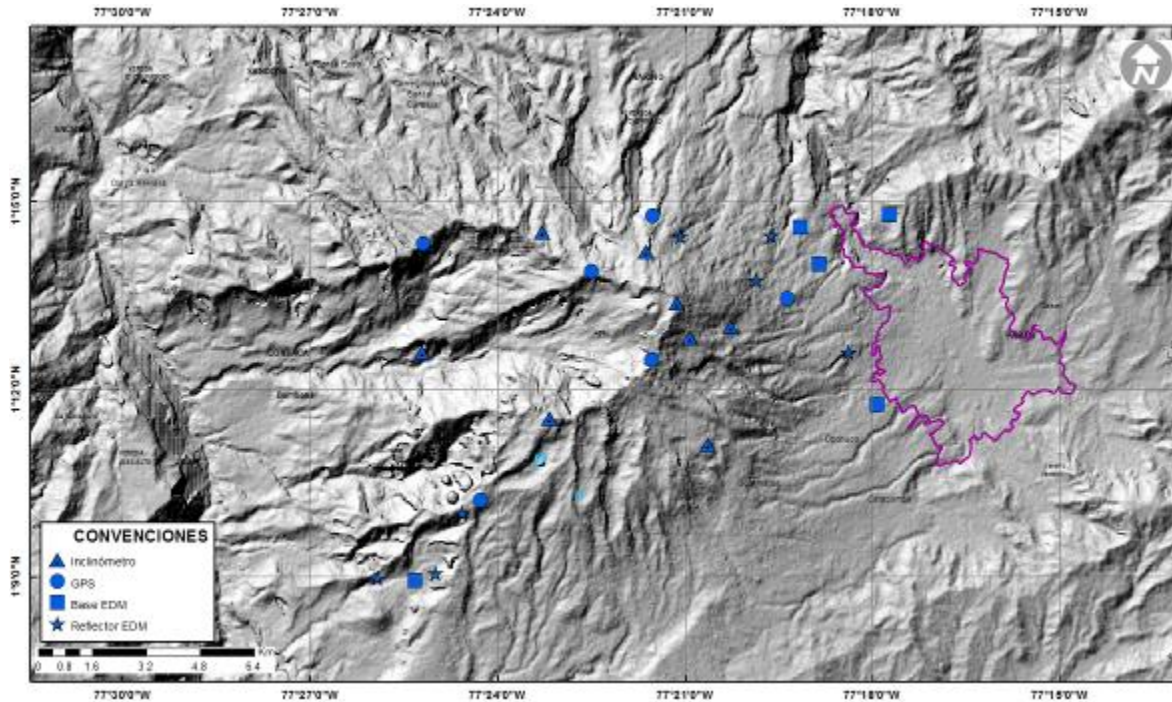
Inclínómetros Electrónicos	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Cráter	0,8	E	4060
Peladitos	1,4	SE	3850
Huairatola	1,7	N	3745
Urcunina	2,3	ESE	3494
Cobanegra	3,9	SSE	3625
Arlés	4,0	NW	3450
Cóndor	4,9	SW	3985
Calabozo	7,1	WSW	2350

**Tabla 3.** Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de agosto 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 agosto 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 agosto de 2016.

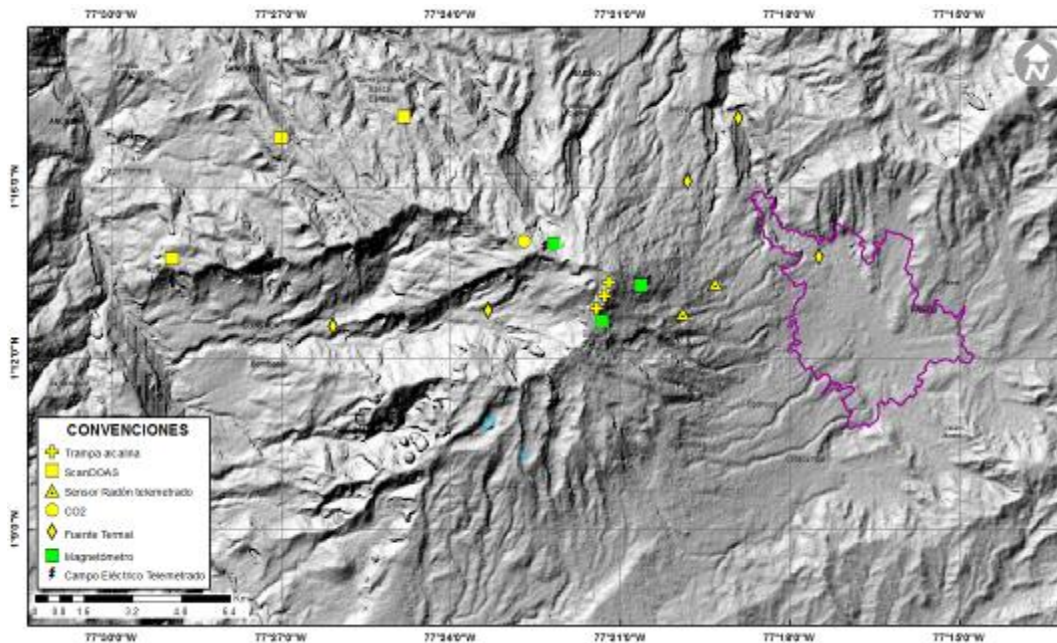
**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras.

Estación	Distancia al cráter (km)	ángulo 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.

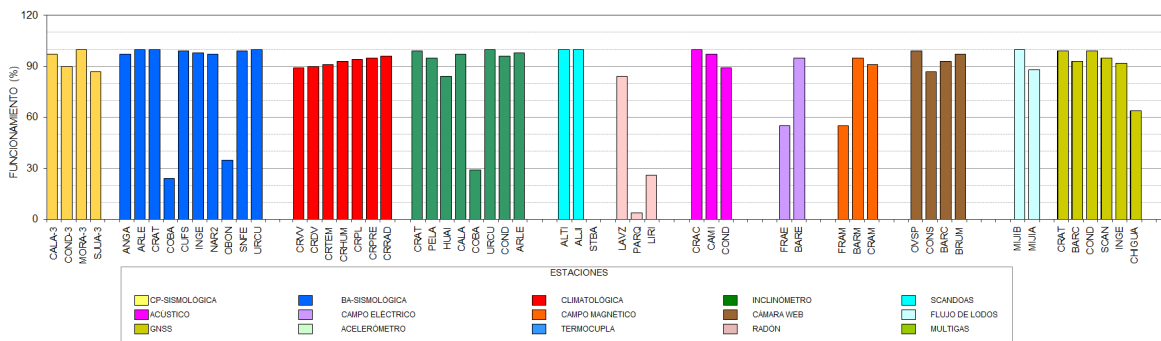
Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Frailejón	Digital	Eléctrico	Biaxial	2,7	E	3727
Frailejón	Digital	Magnético	Triaxial	2,7	E	3727
Barranco	Digital	Eléctrico	Biaxial	2.0	NW	3800
Barranco	Digital	Magnético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

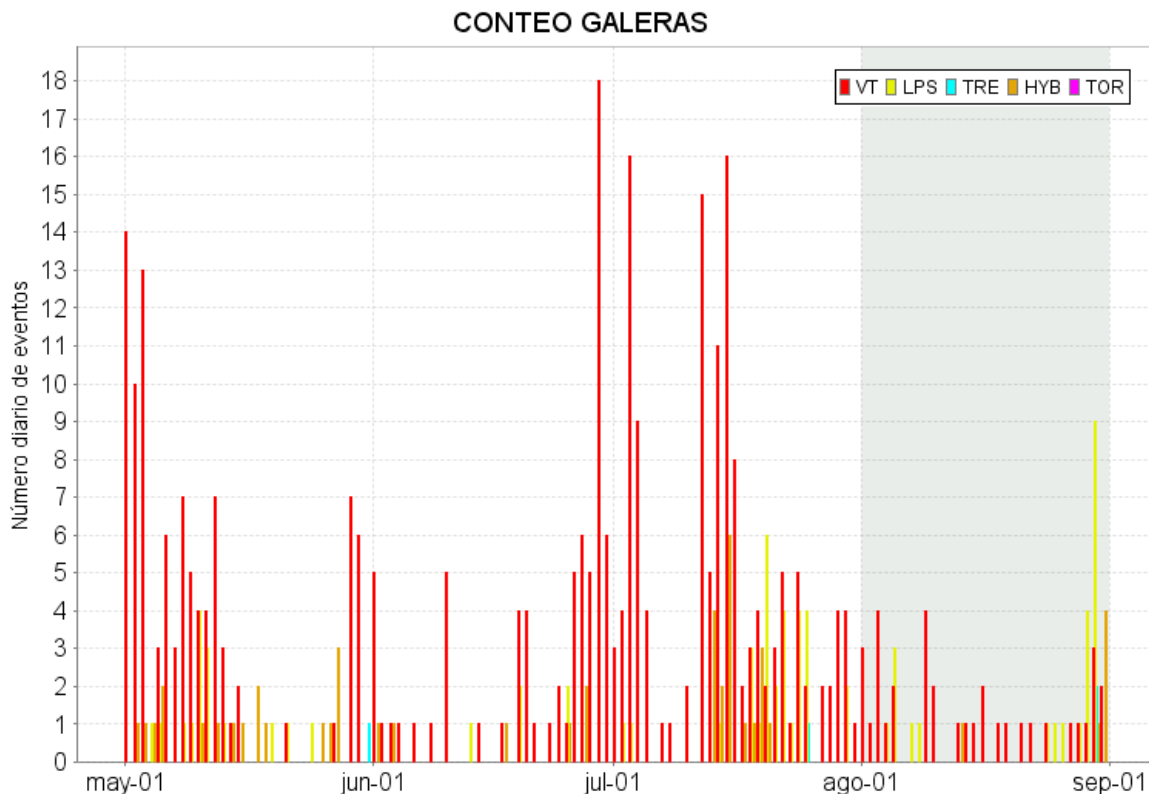


**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de agosto de 2016, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

## 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 movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria en el tiempo (LPS) y en menor cuantía por eventos relacionados con movimiento de fluidos de fuente persistente (TRE) (Tabla 7, Figura 5). En agosto la sismicidad volcánica en ocurrencia mostró un descenso cercano al 64% en relación con el mes anterior, registrándose en total 67 sismos. La mayoría de los tipos de clasificación de eventos volcánicos mostraron descenso (Figura 6), en contraste se observó un ascenso de los eventos TRE. De igual forma los eventos de bajo nivel energético, que no cumplen con los estándares de amplitud y duración, denominados no clasificables (NC), mostraron descenso, próximo al 80% del número presentado en el mes anterior (Tabla 7).

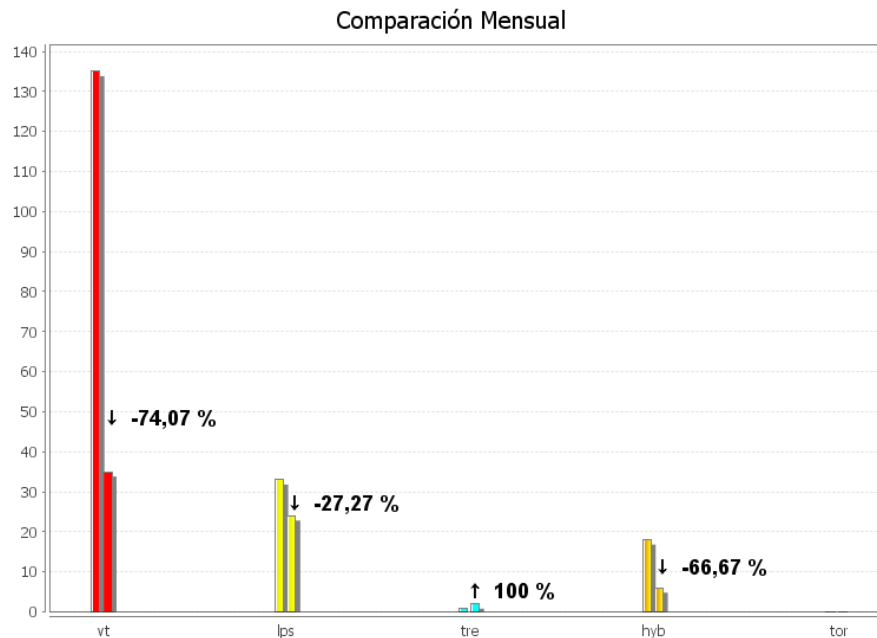
Los eventos tipo tremor (TRE) presentaron duraciones de 17 y 27 segundos, en la estación sísmica de referencia Anganoy.



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

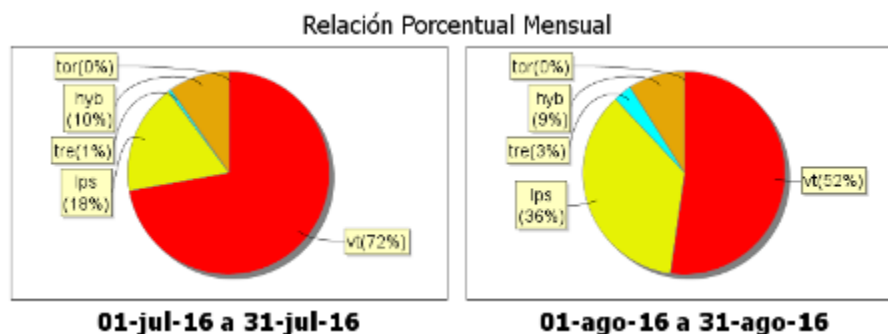
**Tabla 7.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL	NO CLASIFICABLES
	vt	lps	tre	hyb	tor			
01-may-16 a 31-may-16	97	15	1	17	0	130	216	
01-jun-16 a 30-jun-16	70	7	0	6	0	83	105	
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	



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

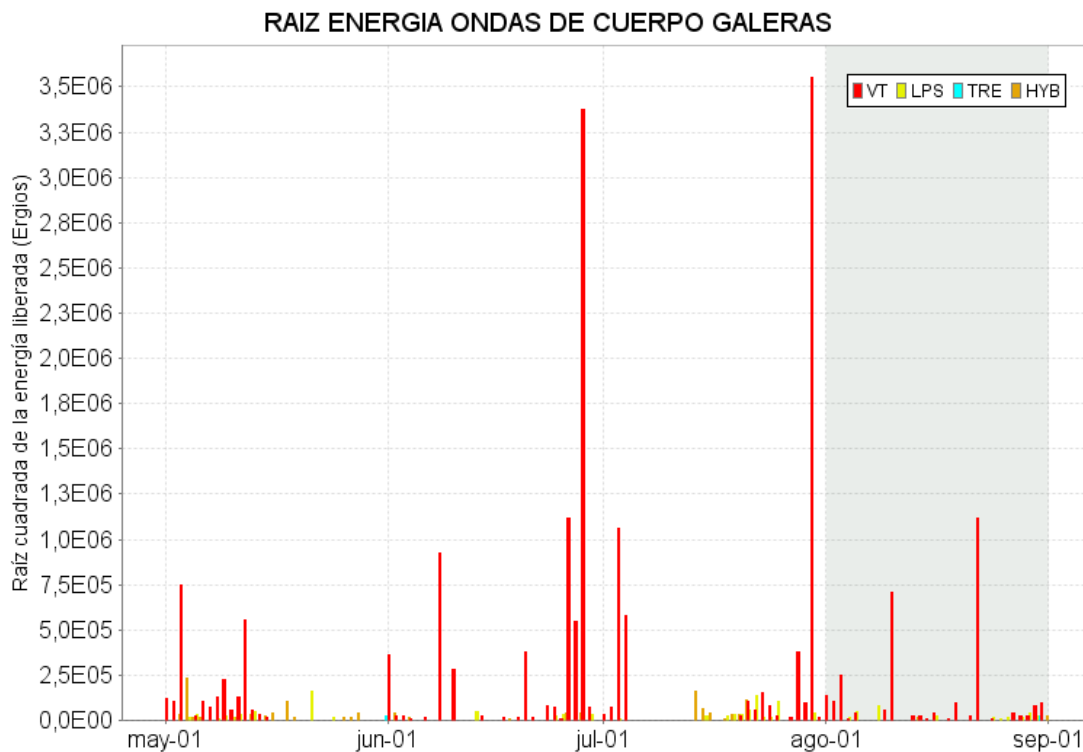


**Figura 7.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de julio y agosto de 2016.

La energía sísmica liberada en agosto de 2016 fue de  $1.88 \times 10^{12}$  ergios, observándose un descenso cercano al 87% en comparación con el mes de julio (Tabla 8, Figura 8). En el periodo evaluado, el mayor aporte provino de los eventos tipo VT con el 99% del total (Figuras 8, 9 y 10).

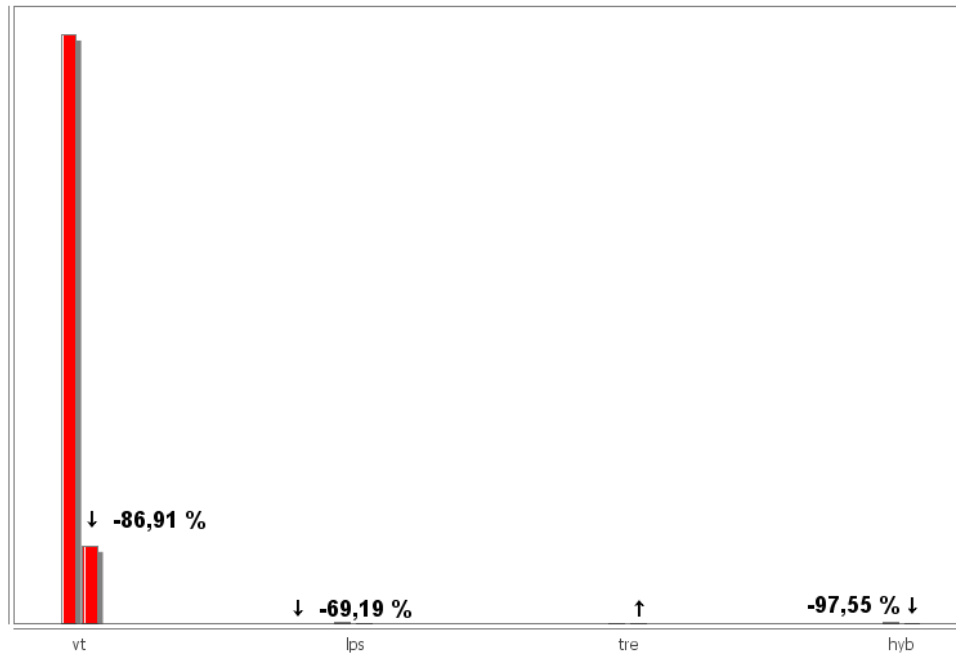
**Tabla 8.** Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-may-16 a 31-may-16	9.97E+11	3.24E+10	4.13E+08	7.38E+10	1.10E+12
01-jun-16 a 30-jun-16	1.42E+13	4.70E+09	0	5.05E+09	1.42E+13
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



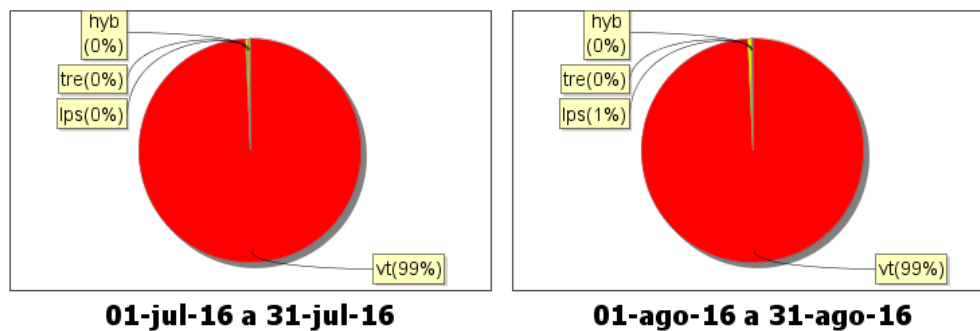
**Figura 8.** Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de mayo y el 31 de agosto de 2016.

### Comparación Mensual



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

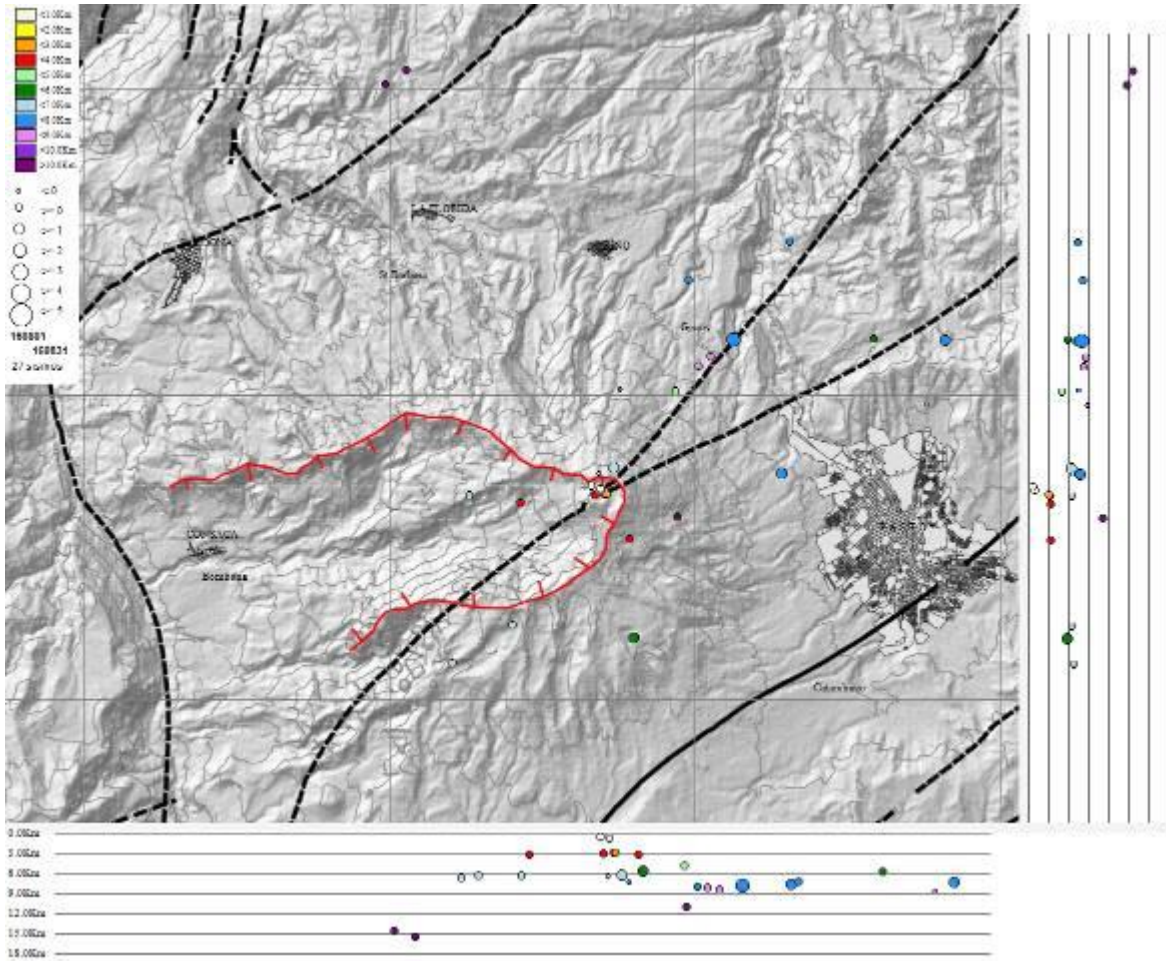
### Relación Porcentual Mensual



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

Fue posible obtener una solución de localización para 27 sismos, de los cuales 26 fueron clasificados como VT y 1 como HYB. Se localizaron 27 sismos que se ubicaron dispersos en la zona de influencia de Galeras, con distancias respecto al cráter principal hasta de 14 km, profundidades entre 0.5 y 15 km con respecto a su cima (4270 msnm) y magnitudes locales entre -0.2 y 2.3 en la escala de Richter. El sismo más energético se registró el día 22 de agosto a las 11:59 p.m., ubicado a una distancia de 6 km al NE de Galeras, con una profundidad de 8 km y magnitud local de 2.3 en la escala de Richter, el cual no fue reportado como sentido (Figura 11).





**Figura 11.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de agosto 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

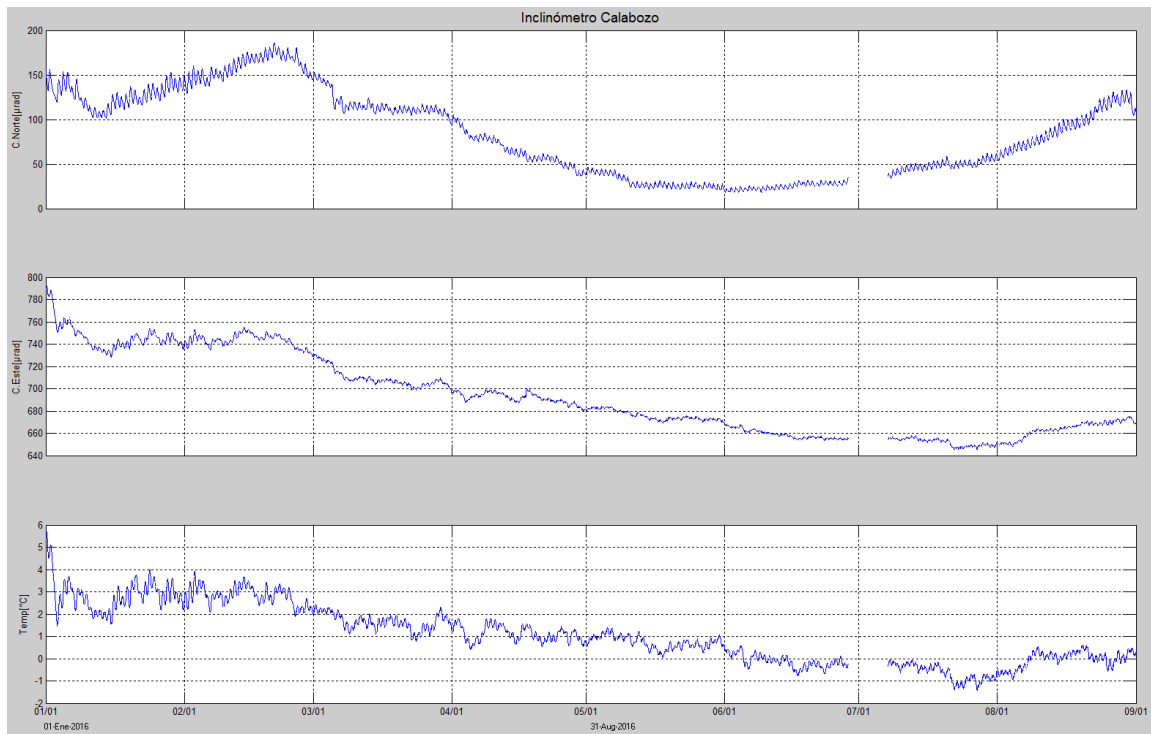
#### 1.3.1. Inclínometría Electrónica

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

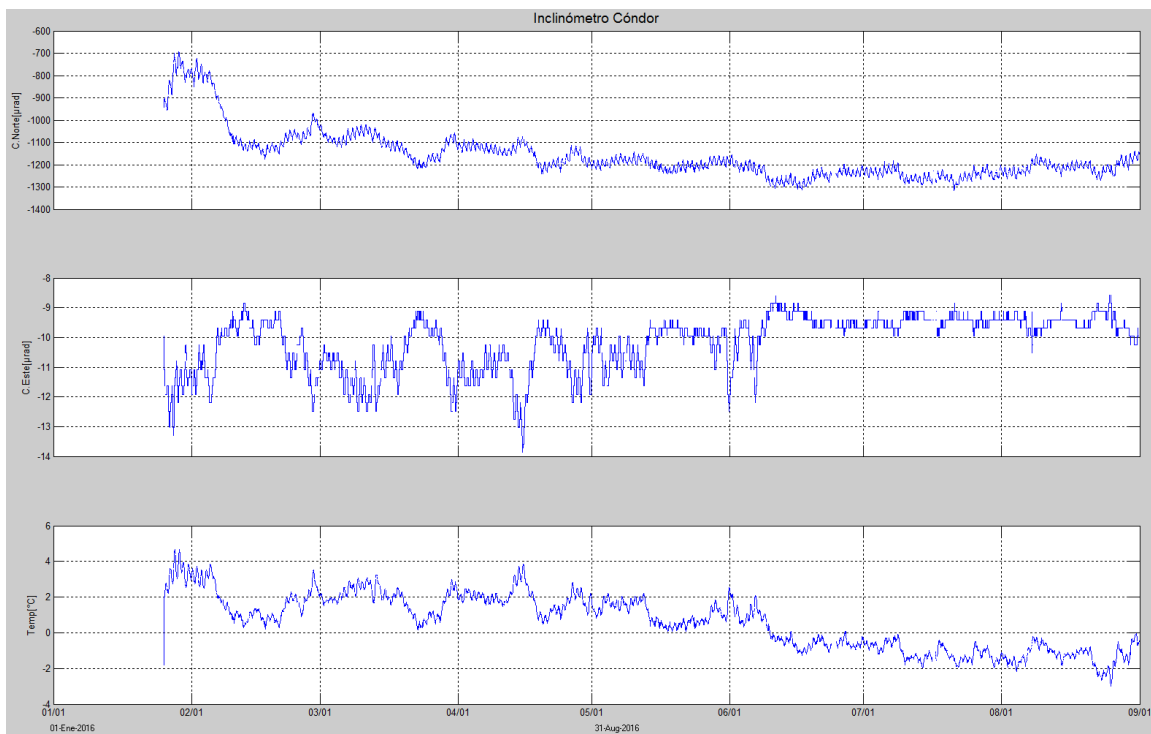
En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, se observó que continúa la tendencia ascendente en la componente de inclinación Norte del inclinómetro Calabozo, acumulando desde el 1 de junio de 2016 cerca de 100  $\mu$ rad, de igual forma se presenta un comportamiento ascendente en la componente Este que desde el 22 de julio acumula 35  $\mu$ rad (Figura 12). De igual forma se presenta un comportamiento ascendente en la componente Norte del inclinómetro Cónдор registrando desde el

21 de julio cerca de 140  $\mu\text{rad}$ , estabilidad en la componente Este (Figura 13). Pese a las fluctuaciones en el registro es posible evidenciar una tendencia ascendente en la componente de inclinación Tangencial de la estación Peladitos, alcanzando 6  $\mu\text{rad}$  desde el 23 de junio de 2016, la componente Radial tiende a estabilizarse desde el 4 de agosto (Figura 14). Desde el 10 de mayo de 2016 se observa una tendencia ascendente en la componente Norte del inclinómetro Urcunina, alcanzando cerca de 20  $\mu\text{rad}$  (Figura 15).

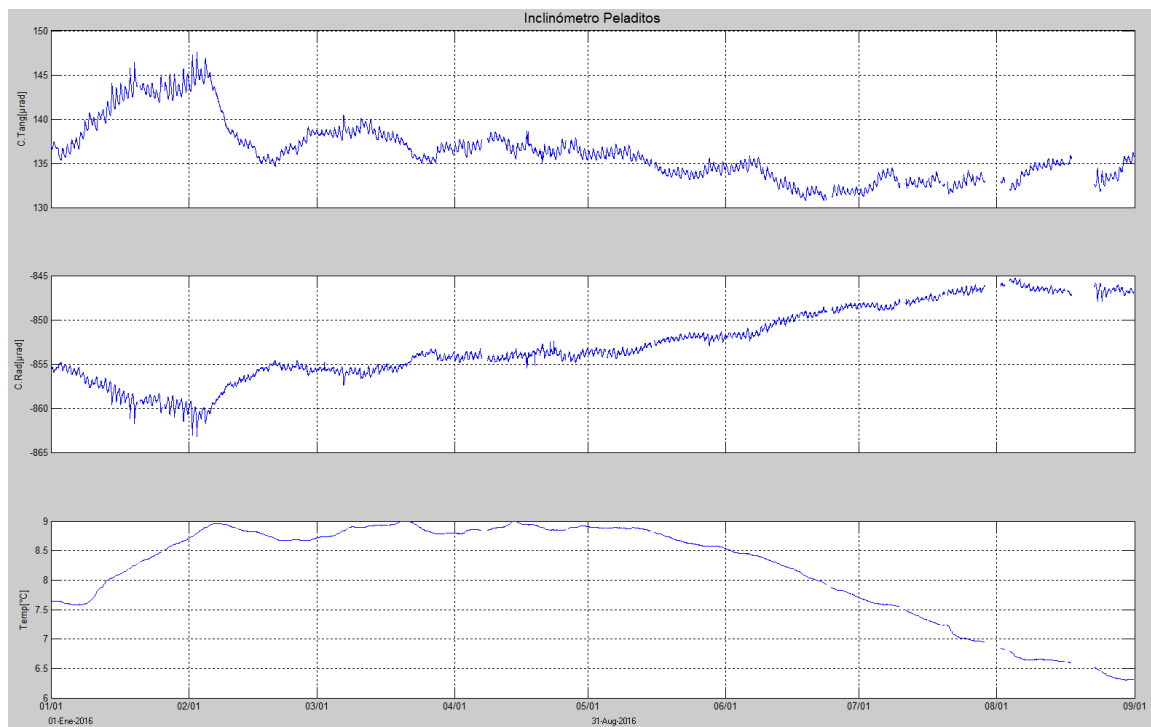
Se presenta estabilidad en los registros de los inclinómetros electrónicos de Huairatola, Cráter, Cobanegra y Arlés (Figuras 16, 17, 18 y 19).



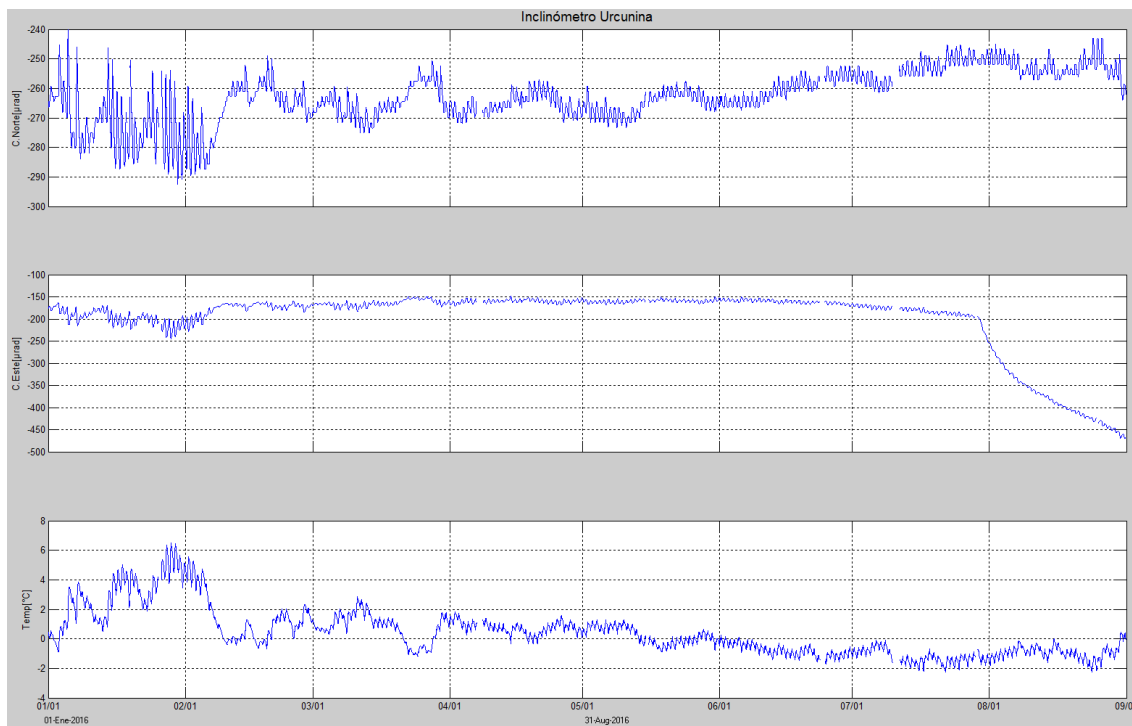
**Figura 12.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de agosto de 2016.



**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 agosto de 2016.



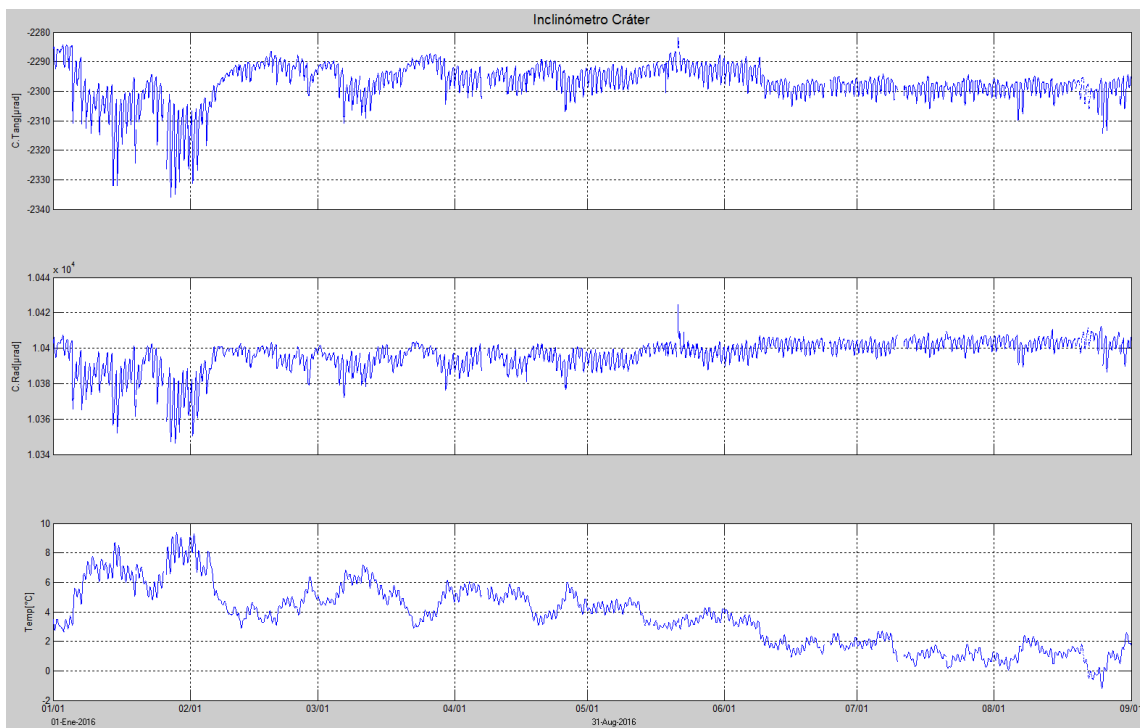
**Figura 14.** Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de agosto de 2016.



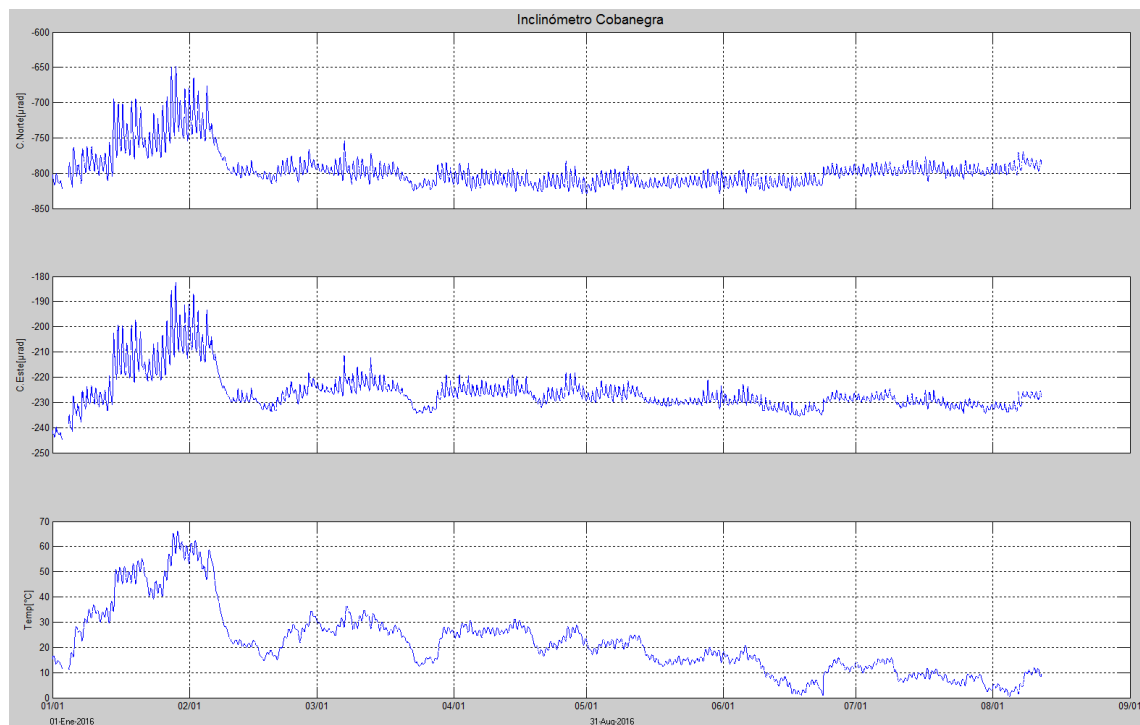
**Figura 15.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de agosto de 2016.



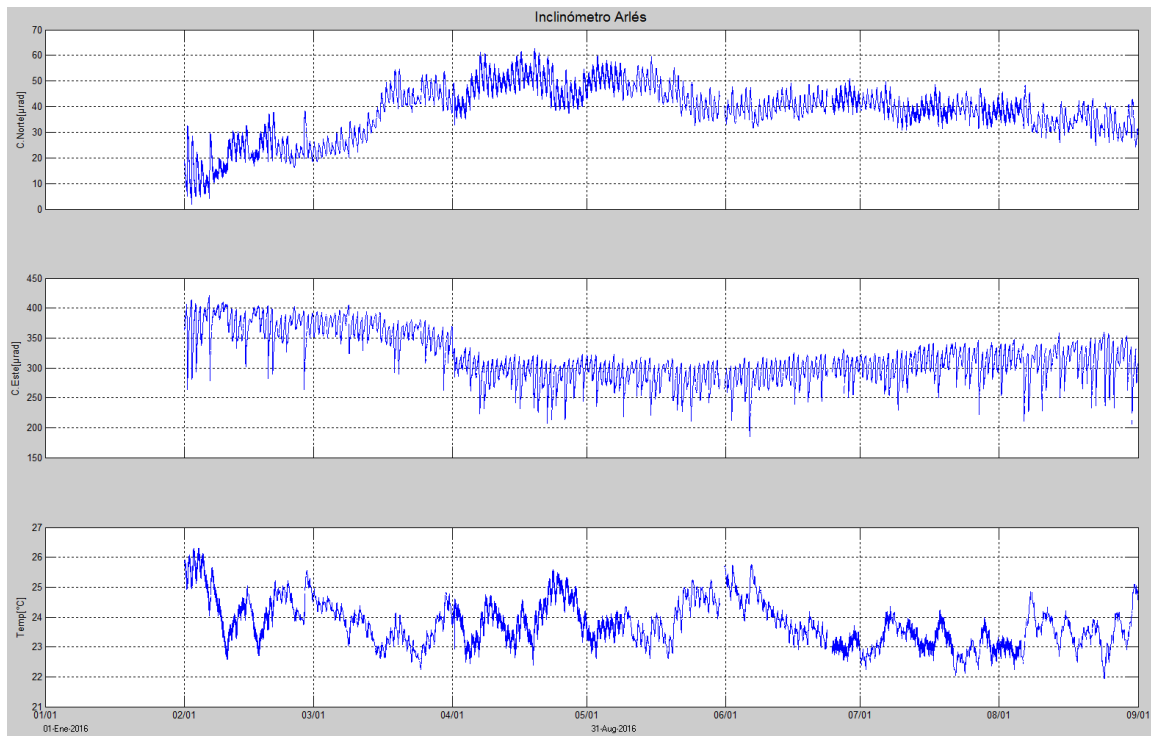
**Figura 16.** Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de agosto de 2016.



**Figura 17.** 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 agosto 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 agosto de 2016.



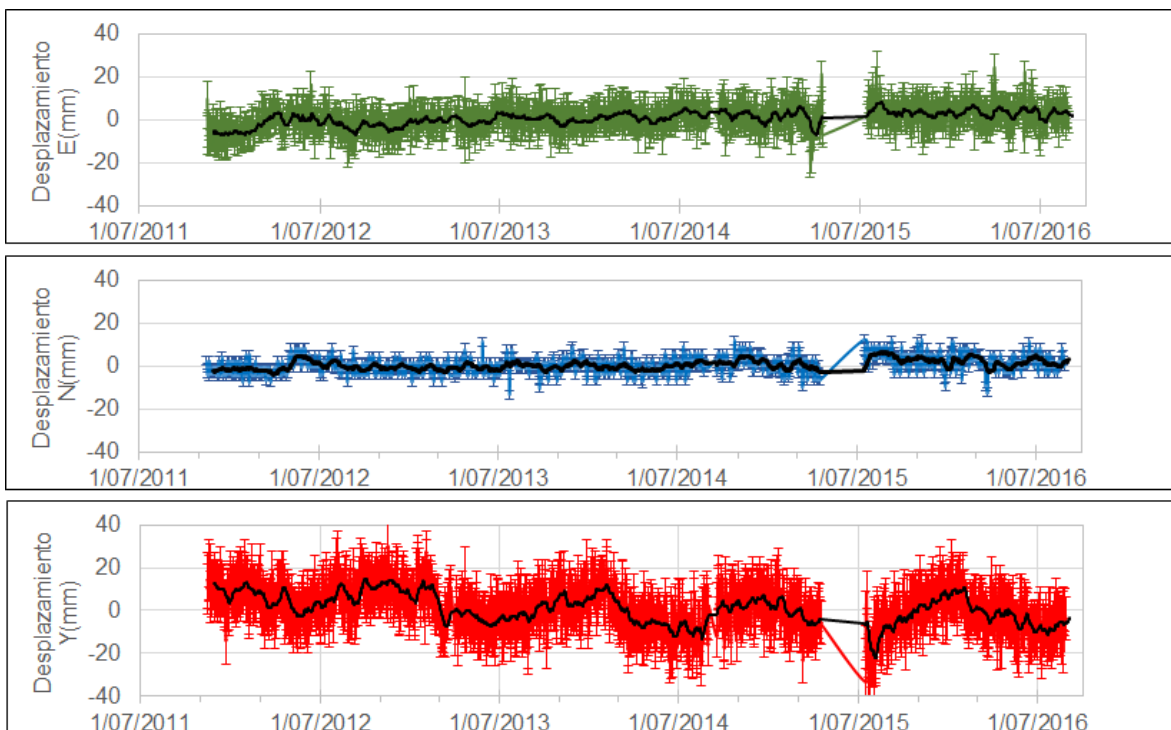
**Figura 19.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de agosto de 2016.

### 1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

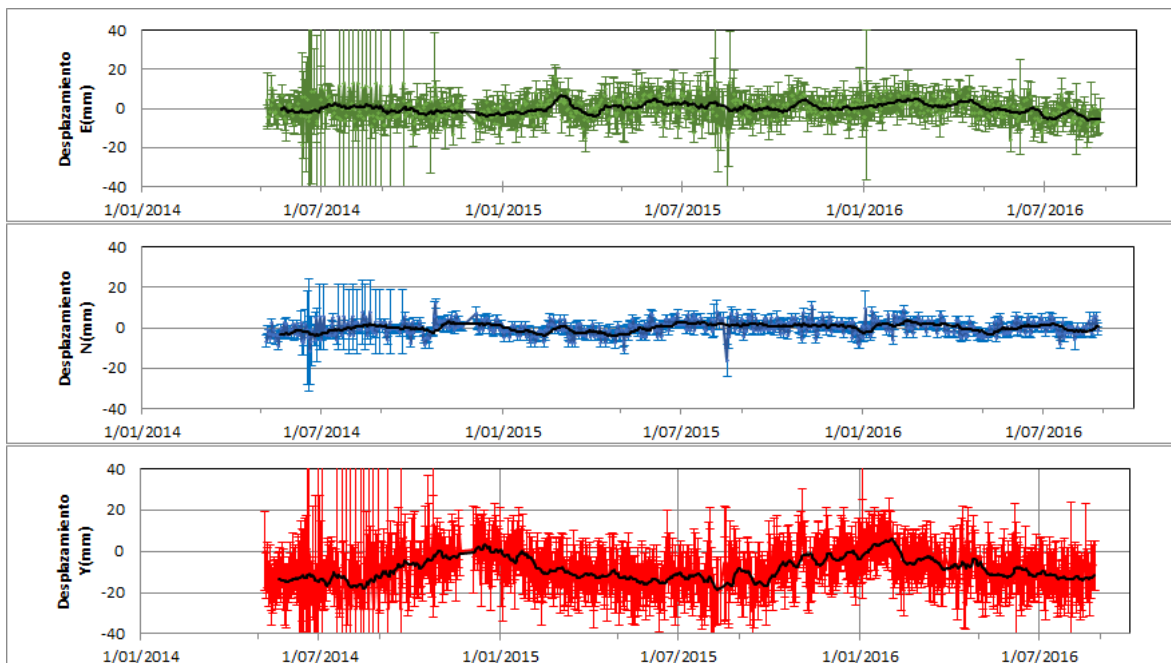
En agosto de 2016 se contó con el registro de seis estaciones receptoras GNSS permanentes. Los GNSS Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014 y Cónдор se reinstaló el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

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 25, se indica el comportamiento de las direcciones de los GNSS instalados en Galeras.

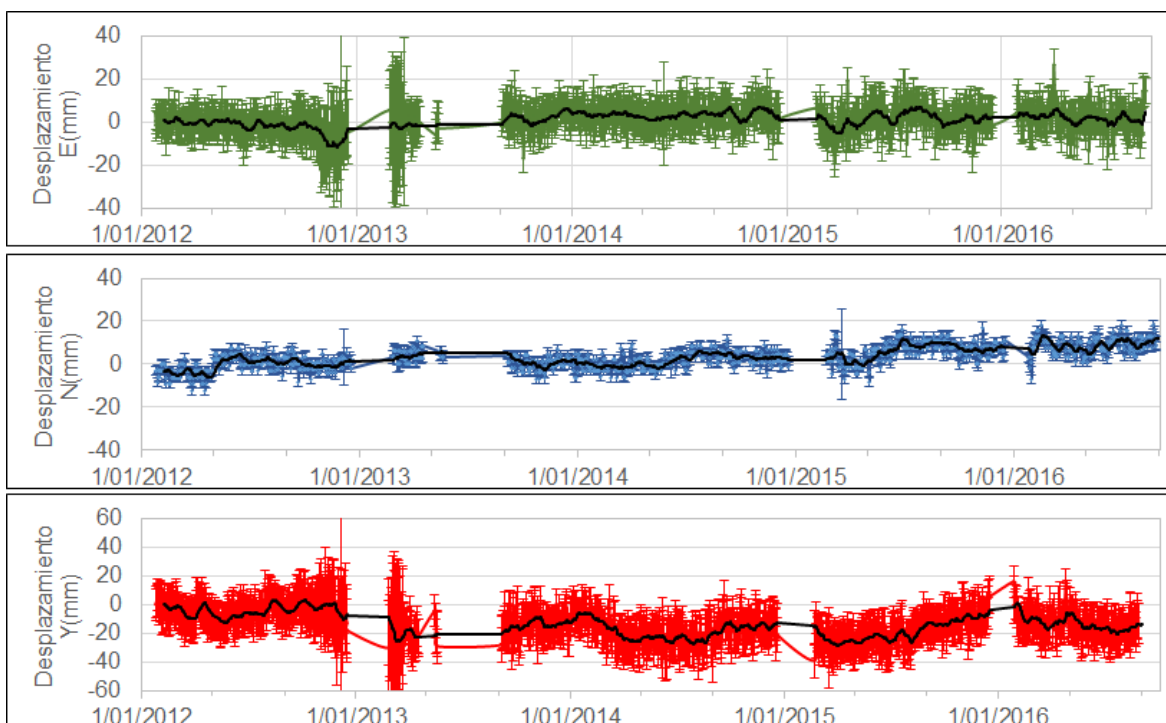
En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que 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 26).



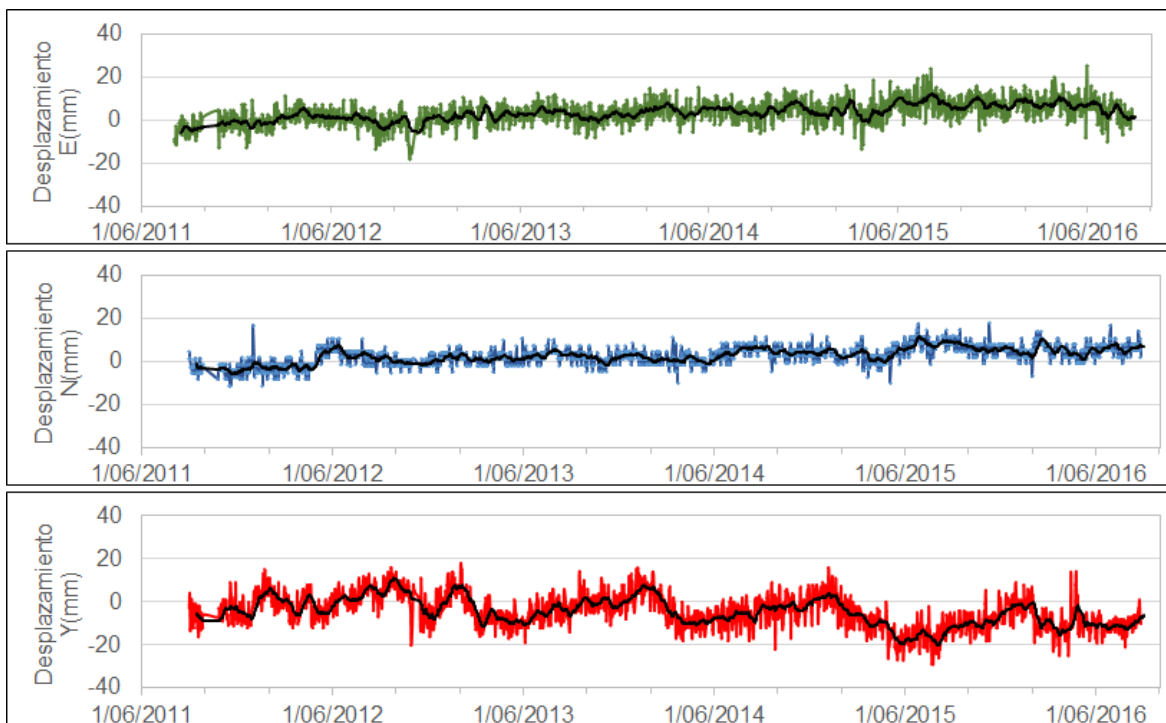
**Figura 20.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 26 de octubre de 2011 y el 26 de agosto de 2016.



**Figura 21.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 26 de agosto de 2016.

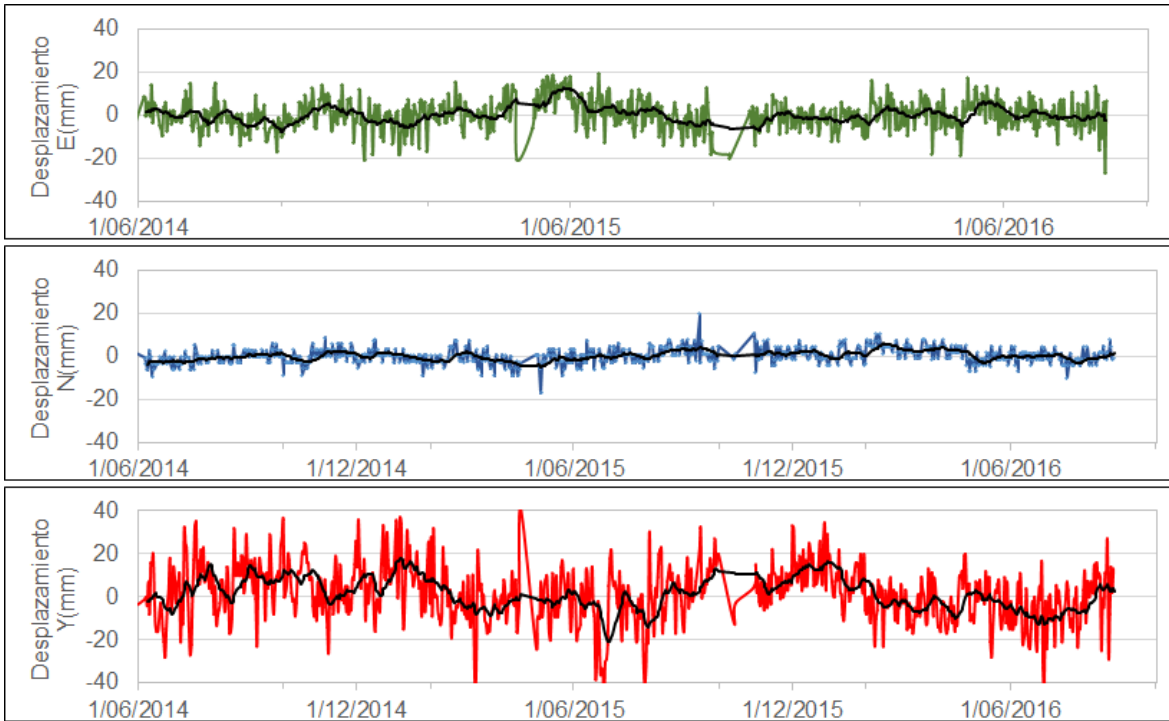


**Figura 22.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 30 de diciembre de 2011 y el 26 de agosto de 2016.

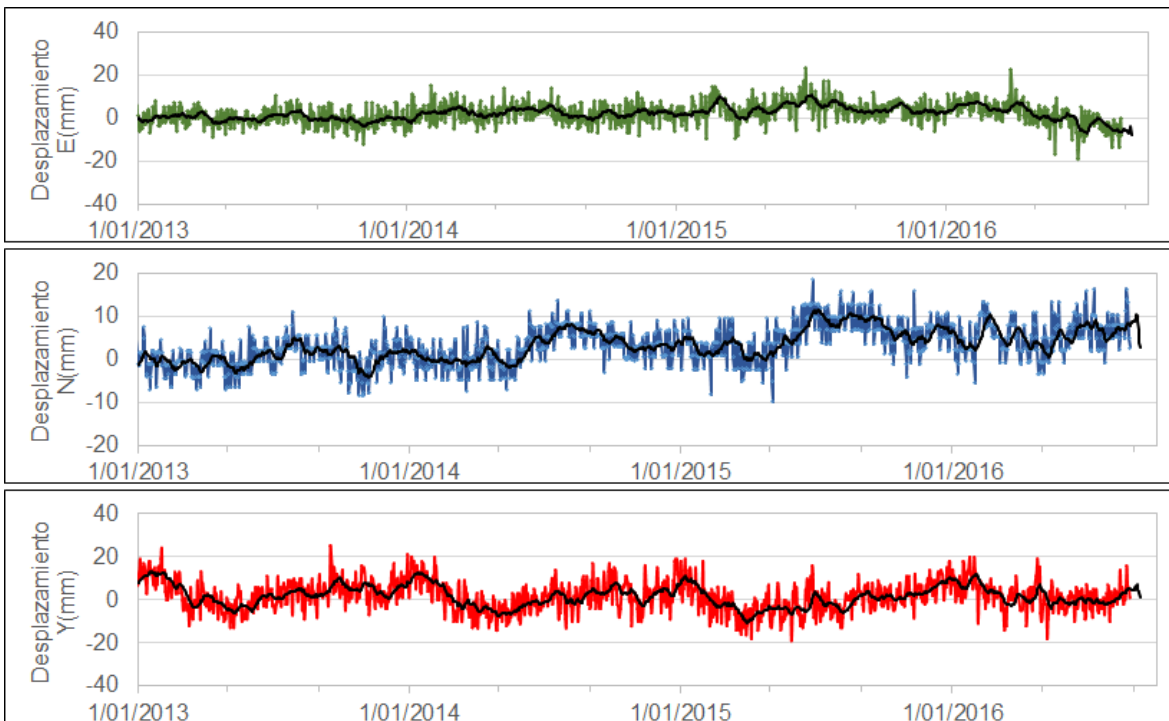


**Figura 23.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de agosto de 2011 y el 26 de agosto de 2016.

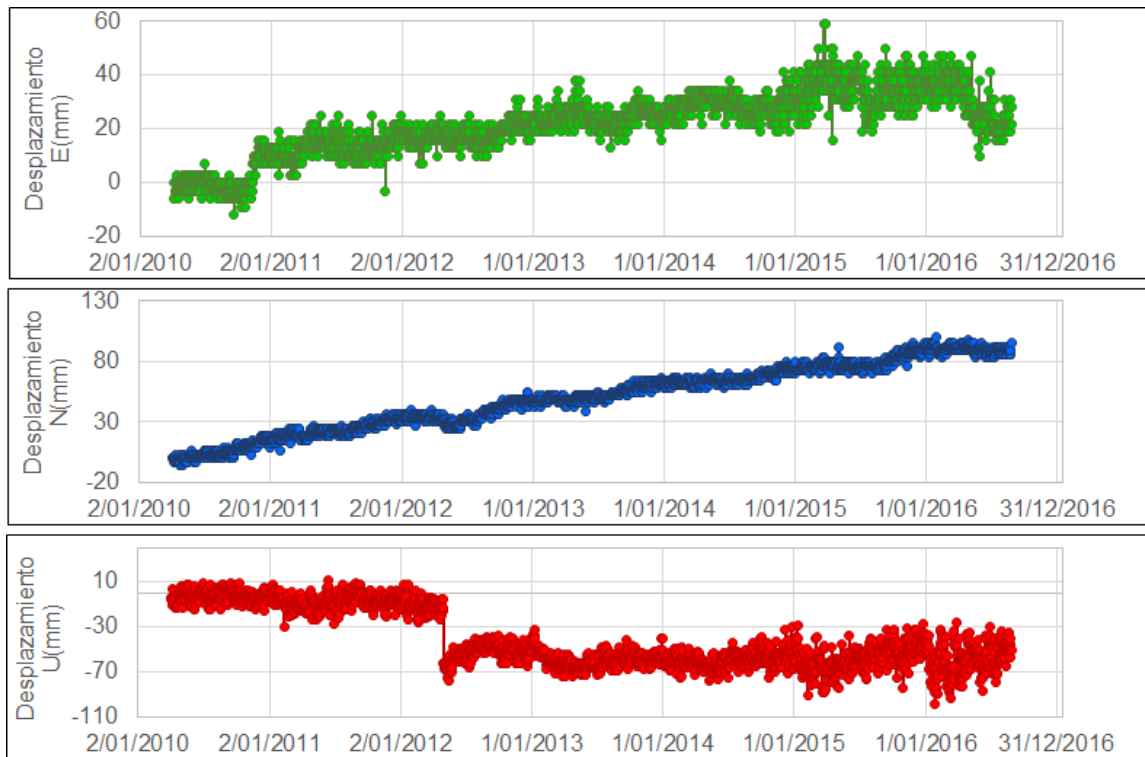




**Figura 24.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 16 de mayo de 2014 y el 26 de agosto de 2016.



**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 26 de agosto de 2016.



**Figura 26.** 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 26 de agosto 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 agosto 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.

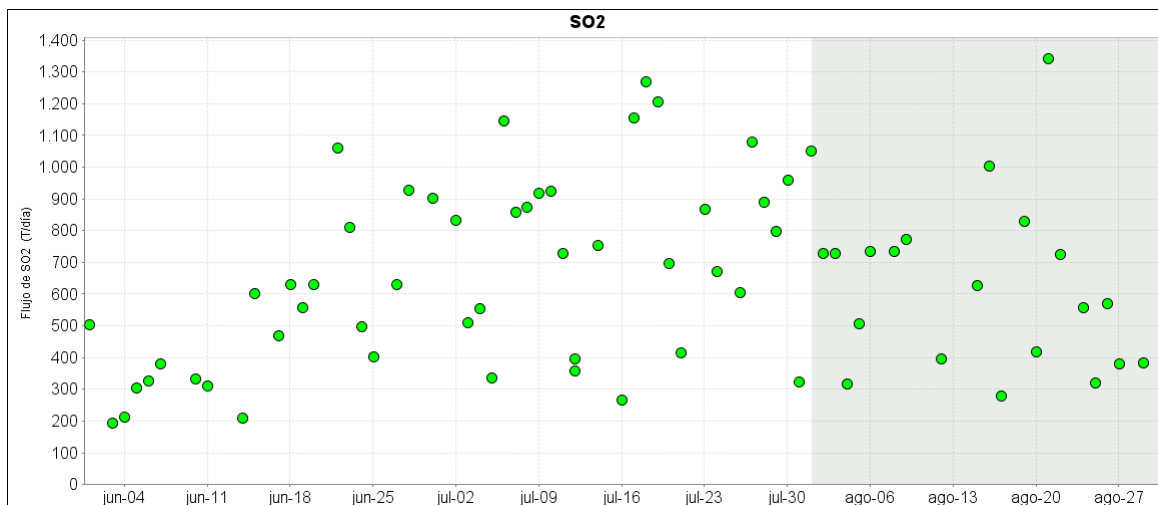
### 1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre $\text{SO}_2$

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 agosto para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, registrando valores de emisión entre 280 Ton/día hasta 1341 Ton/día, valores considerados como bajos a altos para Galeras, mientras que para la estación Santa Bárbara, no se tiene registro de escaneos (Figuras 27 y 28, Tabla 9).



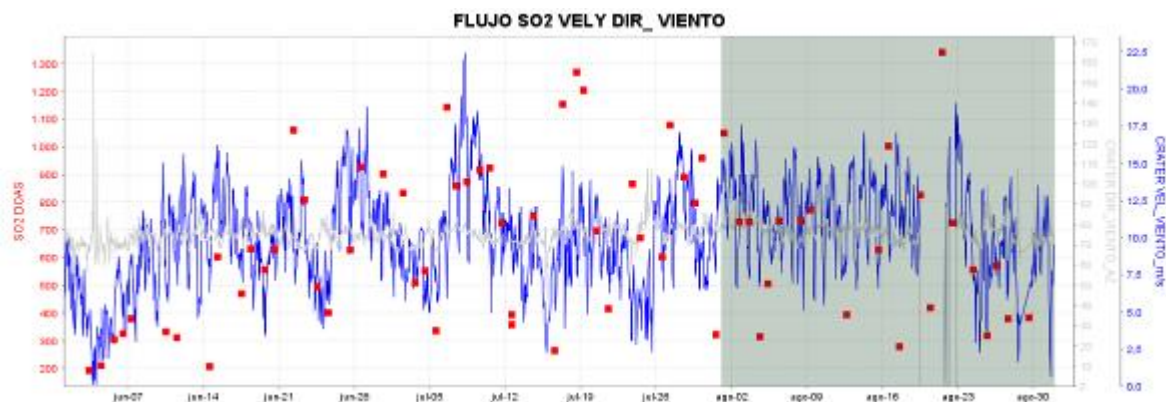
**Figura 27.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> registrado desde el 1 de junio de 2016 hasta el 31 de agosto de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

**Tabla 9.** Emisiones de SO<sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de agosto 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-Ago-16	07:32 AM	78	12	1051	Alto Jimenez	SCANDOAS
2-Ago-16	03:53 PM	352	9.1	729	Alto Tinajillas	SCANDOAS
3-Ago-16	03:35 PM	352	9.1	729	Alto Tinajillas	SCANDOAS
4-Ago-16	03:58 PM	338	7.6	316	Alto Tinajillas	SCANDOAS
5-Ago-16	09:12 AM	351	11.7	506	Alto Tinajillas	SCANDOAS
6-Ago-16	08:26 AM	349	12.12	734	Alto Jimenez	SCANDOAS
8-Ago-16	10:17 AM	312	9.3	734	Alto Tinajillas	SCANDOAS
9-Ago-16	08:05 AM	332	14.7	774	Alto Jimenez	SCANDOAS
12-Ago-16	03:36 PM	350.9	8.2	395	Alto Tinajillas	SCANDOAS
15-Ago-16	02:23 PM	354.8	8.5	628	Alto Tinajillas	SCANDOAS
16-Ago-16	01:13 PM	337.5	11.3	1004	Alto Jimenez	SCANDOAS
17-Ago-16	01:44 PM	303.9	10.3	280	Alto Tinajillas	SCANDOAS
19-Ago-16	11:54 AM	311	11	828	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-Ago-16	11:34 AM	342	7.6	418	Alto Jimenez	SCANDOAS
21-Ago-16	01:13 PM	345	21.3	1341	Alto Tinajillas	SCANDOAS
22-Ago-16	01:03 PM	352	15.1	726	Alto Tinajillas	SCANDOAS
24-Ago-16	11:14 AM	307.5	7.5	556	Alto Tinajillas	SCANDOAS
25-Ago-16	05:09 PM	314	4.04	320	Alto Tinajillas	SCANDOAS
26-Ago-16	01:34 PM	314	8.7	571	Alto Tinajillas	SCANDOAS
27-Ago-16	02:51 PM	320	8.4	379	Alto Jimenez	SCANDOAS
29-Ago-16	02:51 PM	341	5.6	382	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 registra un importante incremento en el proceso de desgasificación en comparación con meses anteriores, tal y como se observa en la gráfica (Figura 27), fue posible observar actividad superficial en Galeras desde las cámaras web instaladas en cercanías al volcán. Los valores de SO<sub>2</sub> considerados como altos, se asocian principalmente a la dinámica constante del proceso de desgasificación como parte del proceso de ex solución magmática. Los valores de velocidad del viento durante el periodo evaluado, alcanzaron un valor máximo de 19 m/s (Figura 28). El mayor flujo de SO<sub>2</sub> registrado para el volcán Galeras durante el mes, se presenta el día 21 de agosto de 2016 con un valor de 1341 Ton/día, considerado flujo alto para el volcán Galeras.



**Figura 28.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub>, dirección y velocidad del viento para el mes de agosto de 2016.

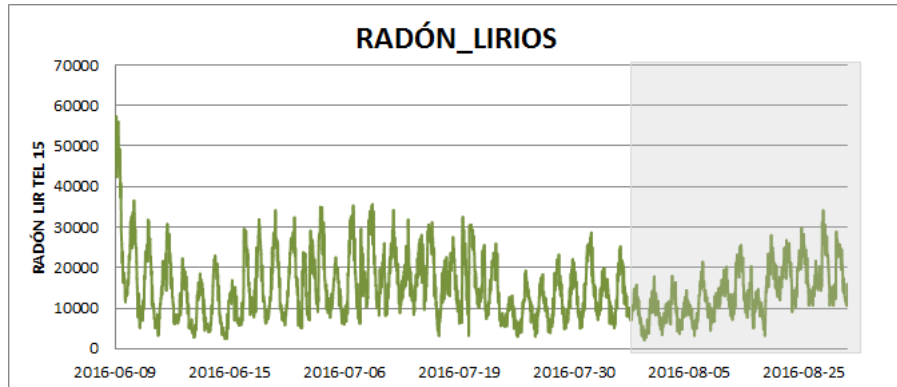
#### 1.4.2. Concentración de gas radón difuso en suelo

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 29 se presenta la gráfica del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, se puede observar para la estación Lirios, que las variaciones presentadas pertenecen probablemente a la difusión normal de radón en este sitio, sin presentar cambios significativos hasta el momento. No fue posible realizar mediciones desde las estaciones Parques y Lavas por algunos problemas con el sistema electrónico, la cual se dará solución en los próximos meses.

Se continuará realizando seguimiento a estas variaciones para poder evaluar este comportamiento y su relación con la actividad volcánica. Se presenta un máximo de concentración de 34083 Bq/m<sup>3</sup> (Figura 29, Tabla 10).



**Figura 29.** Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica Los Lirios – Agosto de 2016.

**Tabla 10.** Valores de concentración de radón en estación Los Lirios – Volcán Galeras – mes de agosto 2016.

CONCENTRACIÓN RADÓN	[Bq/m <sup>3</sup> ]
<b>Promedio</b>	13781.01
<b>Máximo</b>	34083.57
<b>Mínimo</b>	2138.77

## 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.

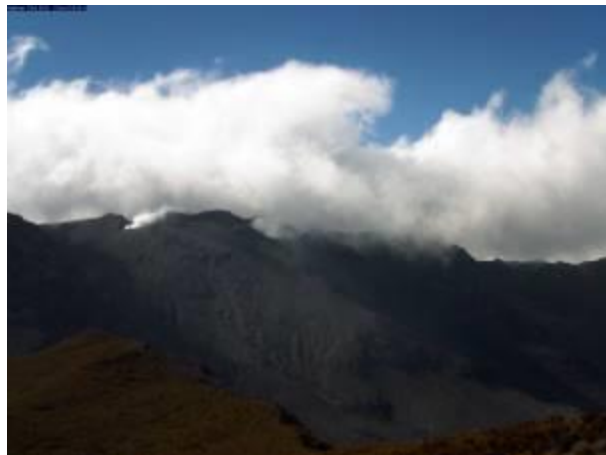
Condiciones favorables de clima permitieron la mayor parte del tiempo observar emisiones de gases, excepto para los días 1, 3, 15, 16, 18, 22 y 27 de agosto, debido a la alta nubosidad presente en la cima volcánica. La dispersión de las columnas de gases fue variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, campos fumarólicos de El Paisita sector norte y cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico. En las Figuras 30 a 35 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.



**Figura 30.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 8 de agosto de 2016, en horas de la tarde (4:03 p.m. y 4:05 p.m.), capturadas desde la cámara de Barranco.



**Figura 31.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 19 de agosto de 2016, en horas de la tarde 6:33 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.



**Figura 32.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 21 de agosto de 2016, en horas de la mañana 9:19 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.



**Figura 33.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 23 de agosto de 2016, en horas de la tarde, capturada desde la cámara ubicada en Bruma.



**Figura 34.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 24 de agosto de 2016, en horas de la tarde, 5:14 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Bruma.

El día 25 de agosto se realizó una visita de inspección a la zona del cráter principal de Galeras (Figura 35), durante la inspección se tomaron imágenes, algunas de las cuales fueron descritas por la comisión. El fondo del cráter principal se observa como un cono invertido, con varios puntos de emisión de gases, se destaca por la cantidad de gas emitida por una zona en la pared norte, correspondiente al Paisita interno y una zona en la pared oriental correspondiente a lo que era Las Alteradas. La zona de Las Chavas es como una cueva con un diámetro de entrada de 50 m aproximadamente, en donde se observó salida de gases desde la pared posterior y el techo, estos gases se condensan y caen en forma de gotas frías formando una lechada de agua y azufre en el piso de la cueva. El cráter El Pinta no tiene emisiones gaseosas y no se le ve fondo por la oscuridad, además los bordes desgastados representan peligro de caída al acercarse. No se observó salida de gas en la grieta ubicada abajo del Paisita en la parte norte del cono volcánico.



**Figura 35.** Imágenes capturadas el 25 de agosto en visita de inspección a la zona del cráter principal del volcán Galeras.

## 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 – AGOSTO DE 2016

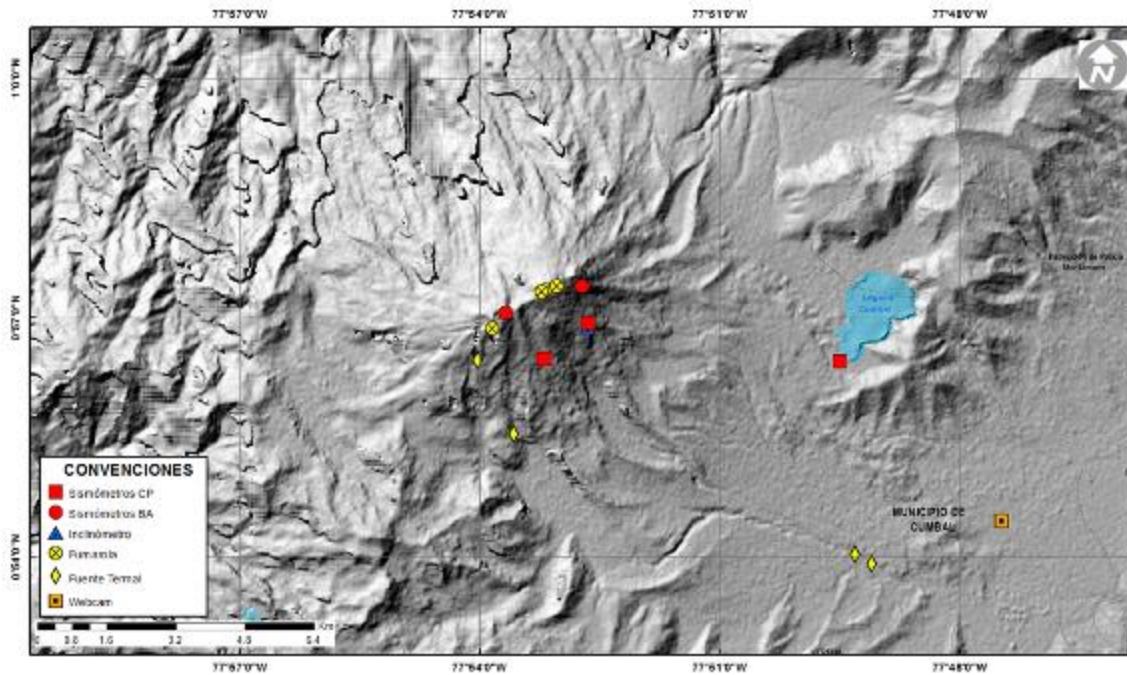
### 2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 36 se presenta la red de vigilancia del Complejo Volcánico 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. 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 36).



Así mismo se tiene una red de muestreo de gases in situ en fumarolas y aguas en fuentes termales (Figura 36).

En la Tabla 11, se consigna el nombre de cada estación con algunas de sus características. En la Figura 37 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones para el periodo evaluado.

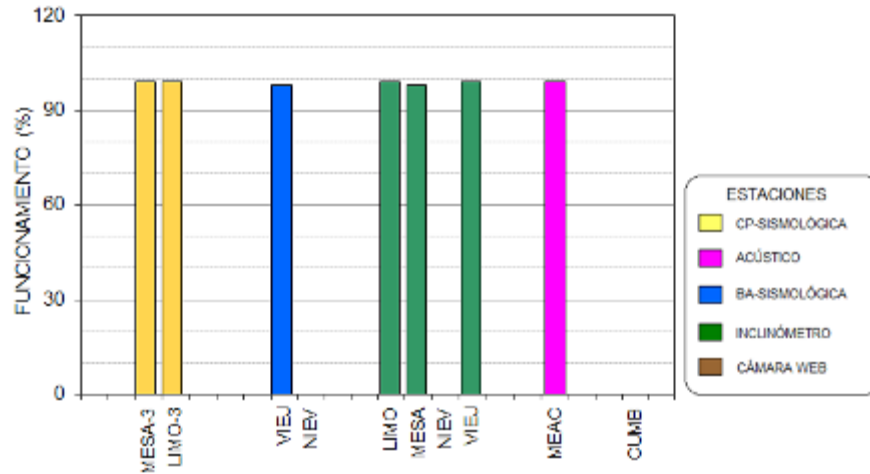


**Figura 36.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de agosto de 2016.

Las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de agosto de 2016, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 69% (Figura 37).

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



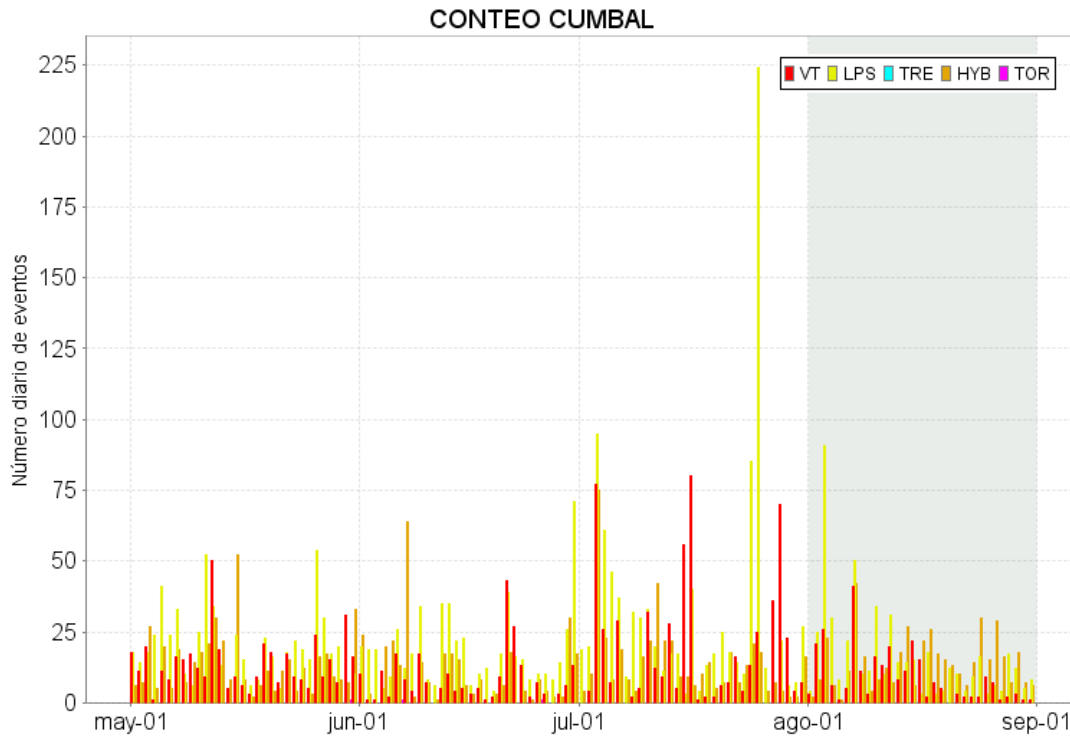
**Figura 37.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de agosto de 2016.

## 2.2. SISMOLOGÍA

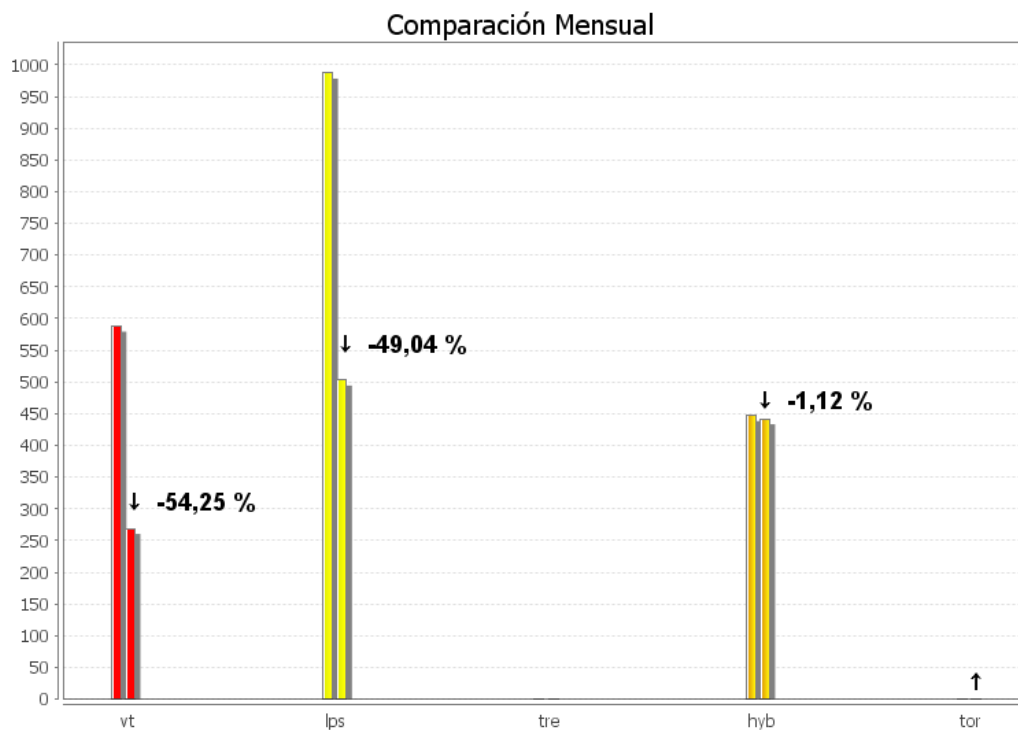
En agosto de 2016 se presentó un descenso en el número total de sismos volcánicos, cercano al 40% en comparación con el mes anterior, pasando de 2028 a 1222 eventos (Tabla 12, Figura 38). En ocurrencia se observó un descenso en los sismos tipo VT, LP e HYB, y en contraste se presentó un incremento en los eventos tipo TOR (Figura 39). Hubo predominio de la sismicidad tipo LPS con un 41% del total de eventos sísmicos, seguido por un 36% de los sismos HYB (Figura 39). El día que mayor se presentó ocurrencia sísmica fue el 3 de agosto, con un total de 141 eventos.

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	vt	lps	tre	hyb	tor	TOTAL
01-may-16 a 31-may-16	426	641	0	427	2	1496
01-jun-16 a 30-jun-16	239	556	0	331	2	1128
01-jul-16 a 31-jul-16	588	987	1	447	5	2028
01-ago-16 a 31-ago-16	269	503	1	442	7	1222

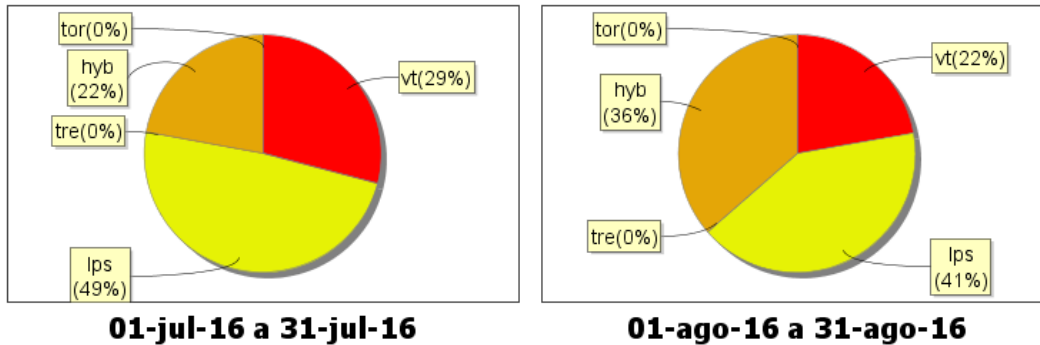


**Figura 38.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre mayo y agosto de 2016.



**Figura 39.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de agosto de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de julio de 2016 (barras de la izquierda).

**Relación Porcentual Mensual**



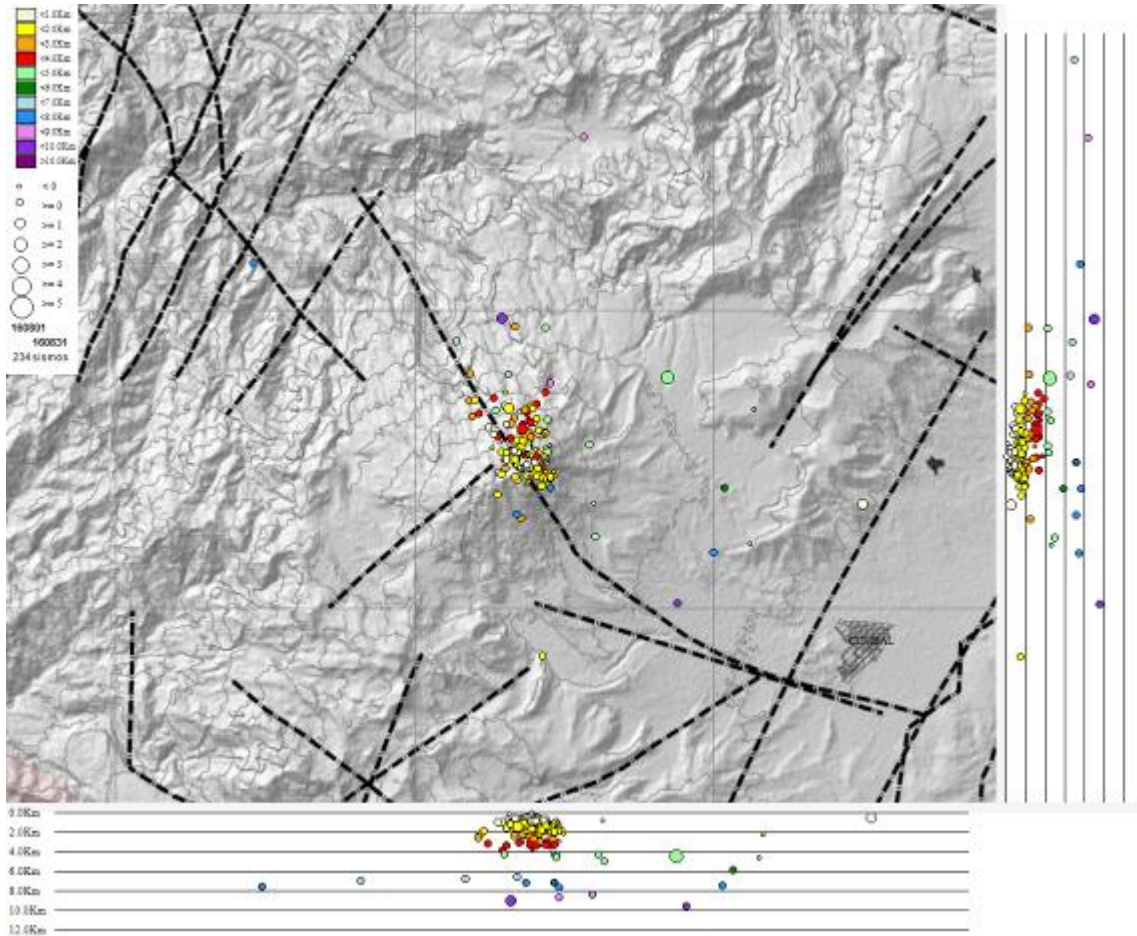
**Figura 40.** Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para julio y agosto de 2016.

La energía liberada de los sismos localizados mostró un descenso del 78%, pasando de  $4.82 \times 10^{13}$  ergios a  $1.05 \times 10^{13}$  ergios (Figura 41). Fue posible localizar 234 sismos, de los cuales 139 fueron asociados con fractura de roca y 95 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 0.1 y 3.8 km, los más dispersos presentaron profundidades de hasta 9.5 km. El cálculo de la magnitud local de los sismos localizados mostró valores menores a 2 en la escala de Richter, cerca del 96% inferior a 1 (Figura 42).

**RAIZ ENERGIA CUMBAL**

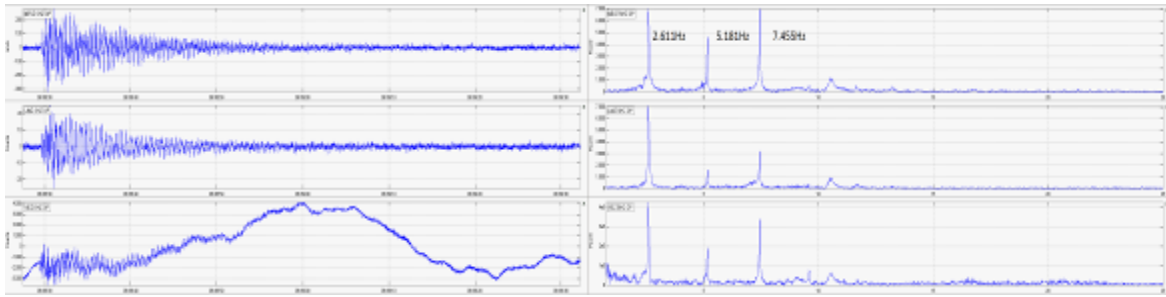


**Figura 41.** Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Cumbal entre el 1 de mayo y el 31 de agosto de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

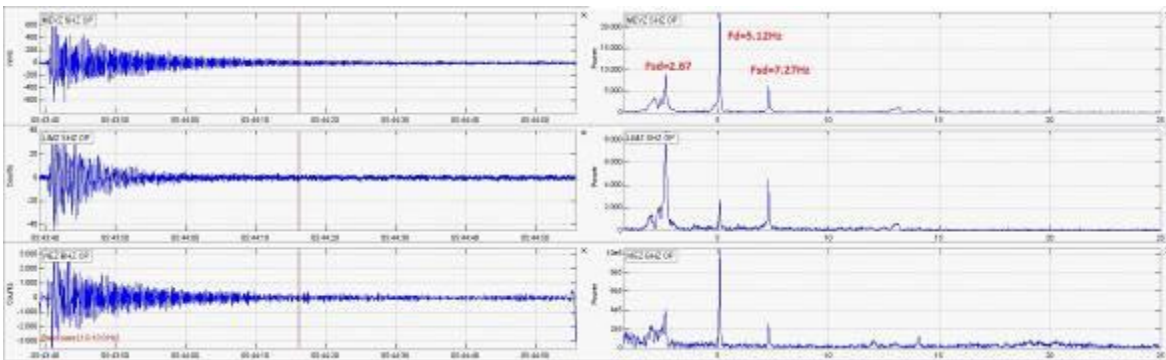


**Figura 42.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de agosto de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).

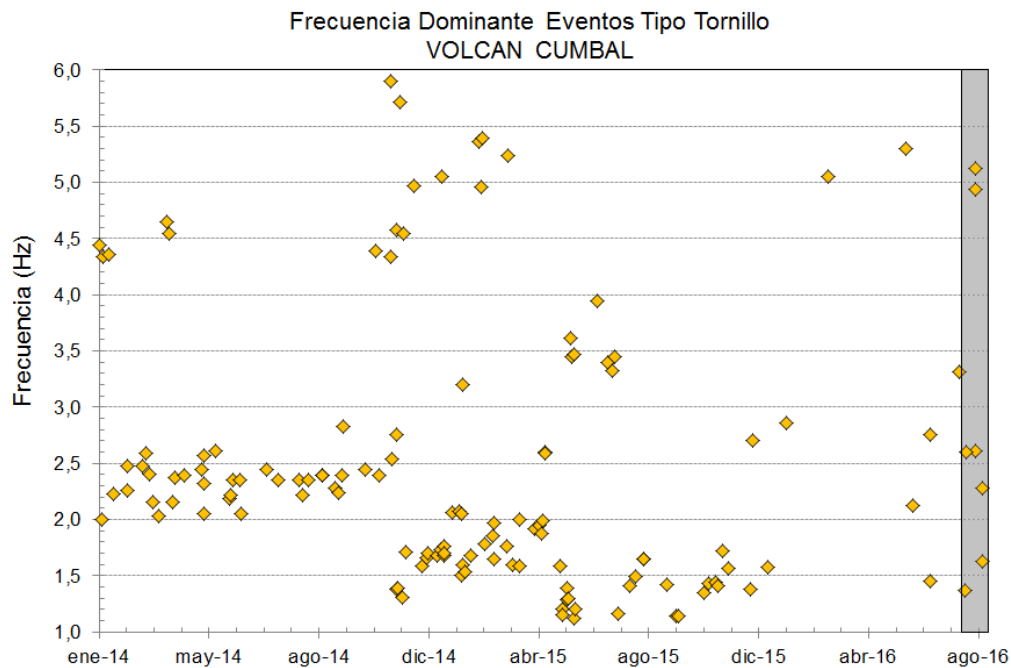
De la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de 7 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR), los cuales presentaron frecuencias dominantes entre de 1.37 Hz y 5.12 Hz y duraciones de 15 y 76 segundos, en las Figuras 43 y 44 se muestran algunos ejemplos de este tipo de sismicidad. En la Figura 45 se observa el comportamiento a lo largo del tiempo de las frecuencias 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 43.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 14 de agosto de 2016, a las 3:38 a.m., registrando 47 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.61 Hz y subdominante de 7.46 Hz.



**Figura 44.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 15 de agosto de 2016, a las 00:43 a.m., registrando 76 segundos de duración y una frecuencia dominante de 5.12 Hz y subdominante de 2.67 Hz.

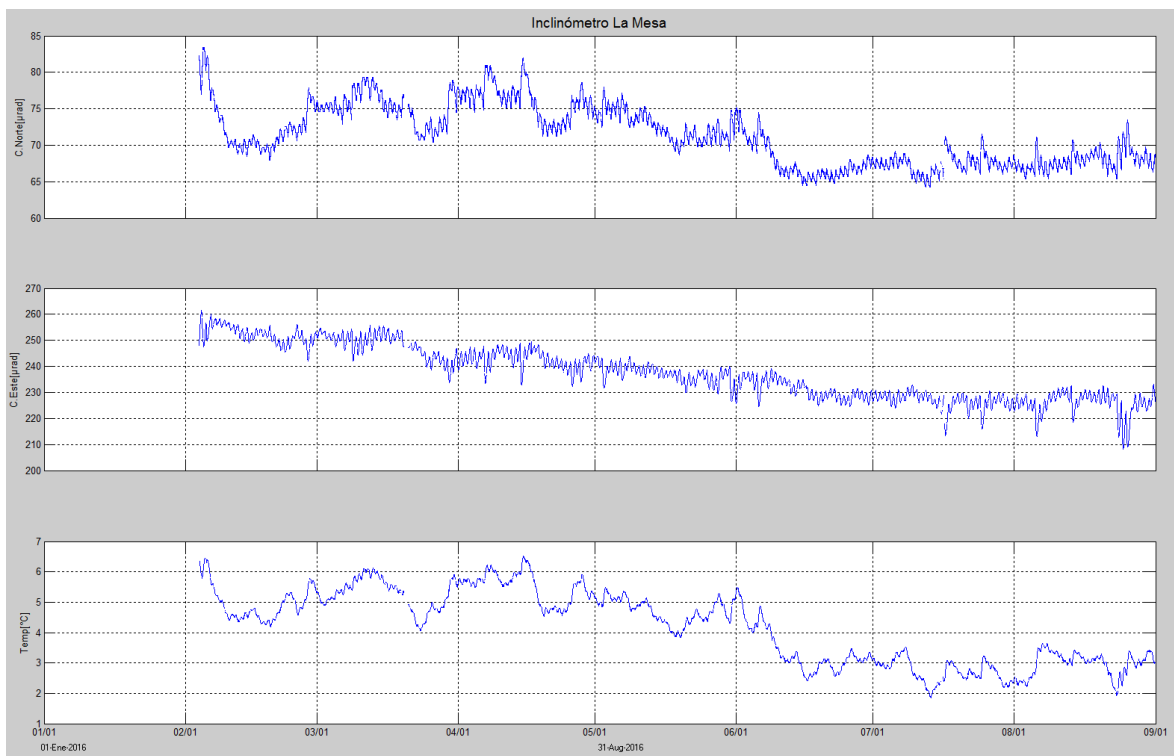


**Figura 45.** Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de agosto de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de agosto de 2016.

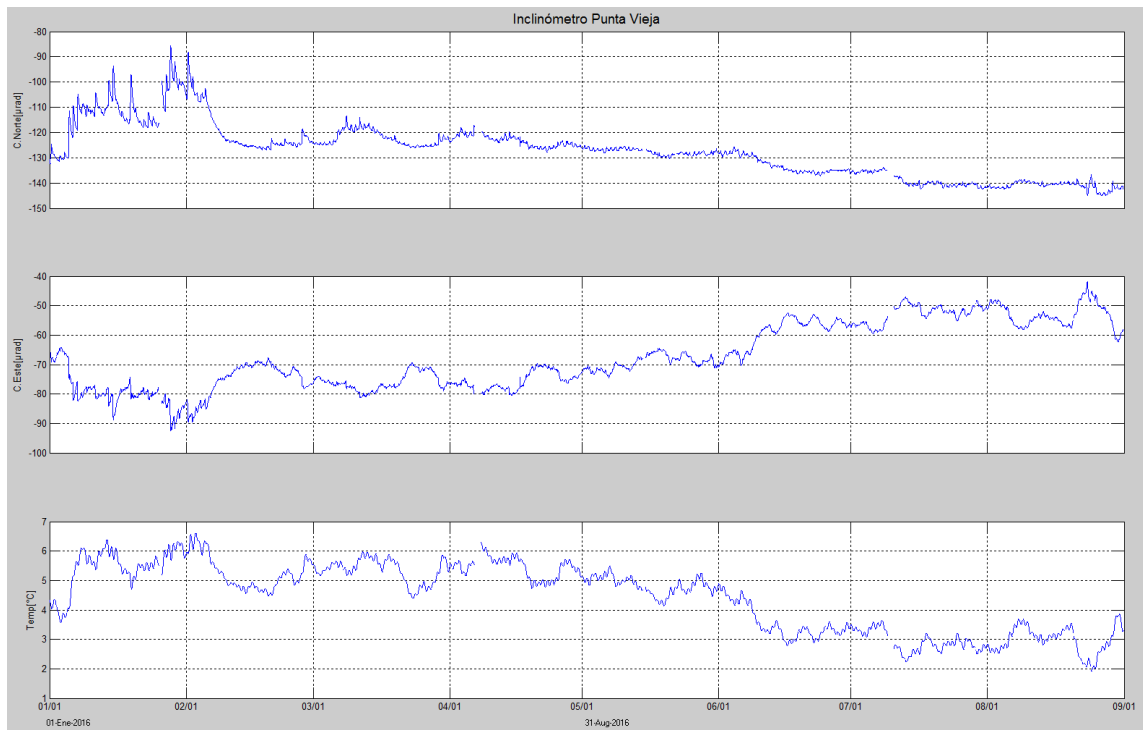
### 2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Desde el 15 de junio de 2016, tienden a estabilizarse los registros de las componentes del inclinómetro La Mesa, con fluctuaciones menores a los 2  $\mu\text{rad}$  (Figura 46). Así mismo tienden a mostrar estabilidad los registros del inclinómetro electrónico Punta Vieja, desde el 13 de julio de 2016 (Figura 47). 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 48).

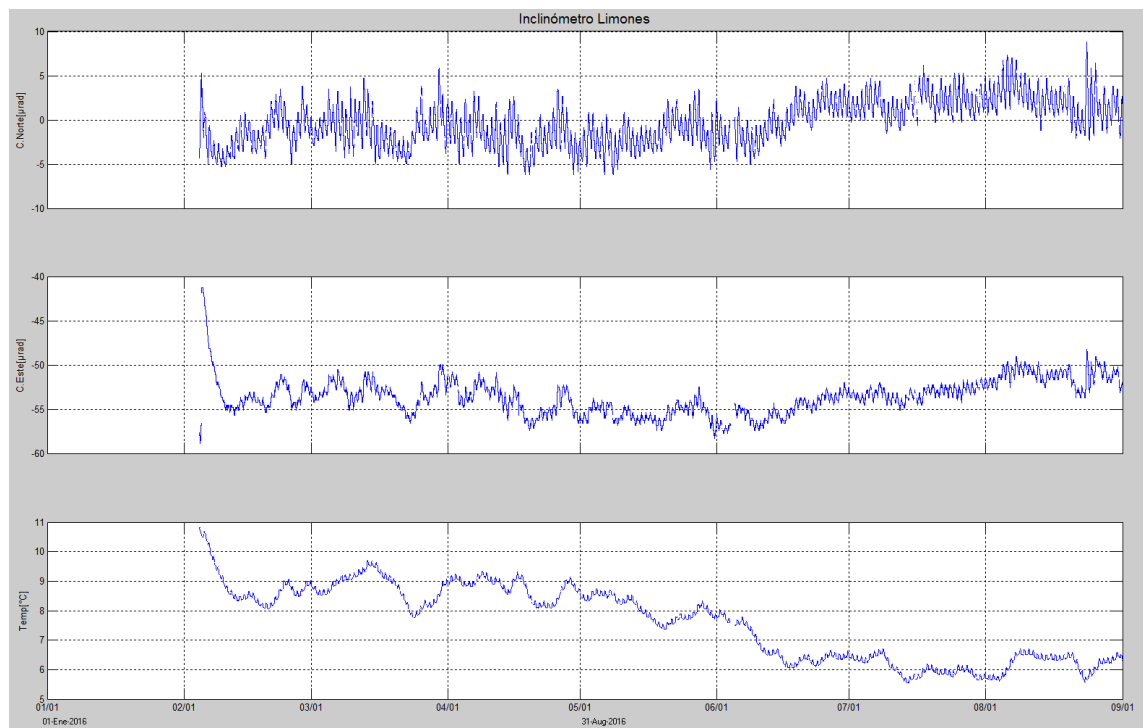
Para el periodo evaluado no se tiene registro del comportamiento del inclinómetro electrónico La Nieve, se está trabajando en las adecuaciones y mejoras al sistema de protección (Figura 49).



**Figura 46.** 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 agosto de 2016.

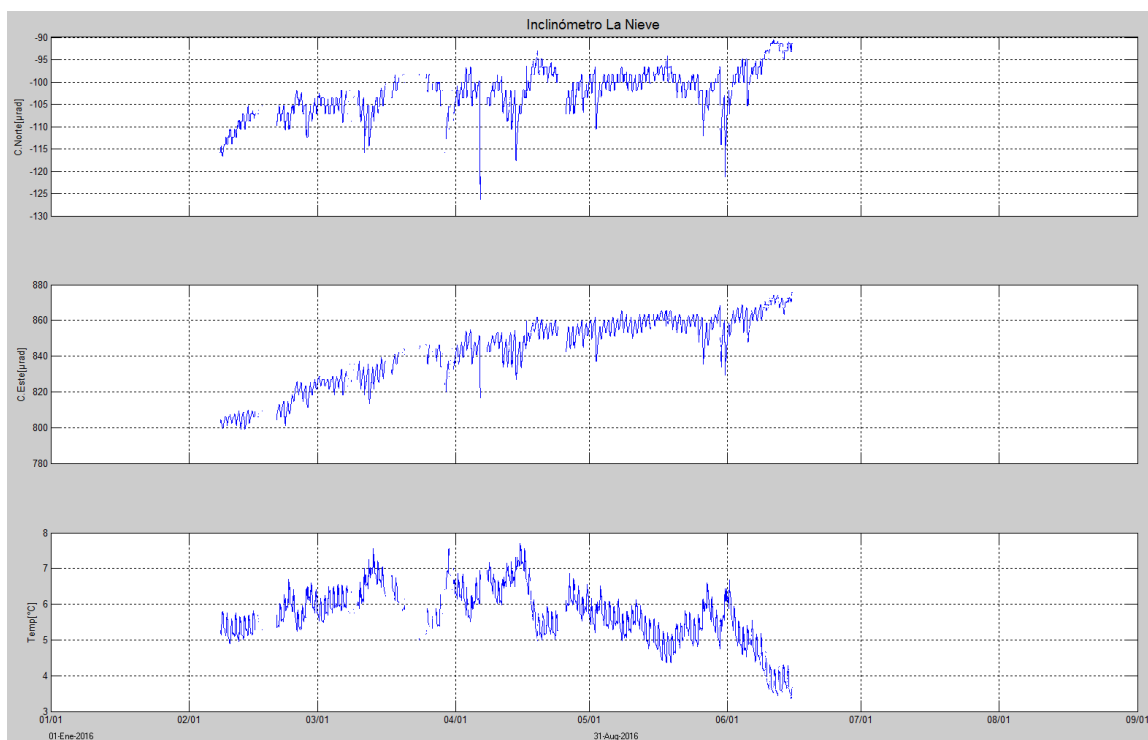


**Figura 47.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de agosto de 2016.



**Figura 48.** 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 agosto de 2016.





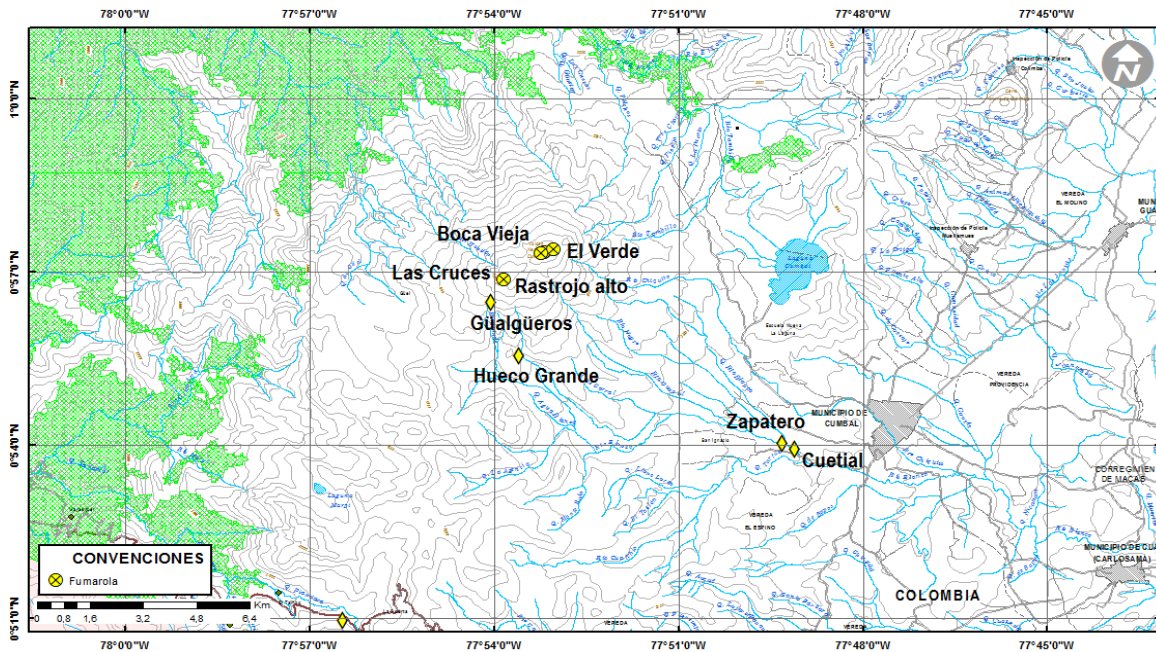
**Figura 49.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 15 de junio de 2016.

## 2.4. GEOQUÍMICA

En el periodo evaluado se realizó muestreo de aguas en fuentes termales y gases en fumarolas en el Complejo Volcánico de Cumbal.

### 2.4.1. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Cumbal

El volcán Cumbal cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Huevo Grande, FT Salado de Cuetial, FT Zapatero, FT Las Cruces y FT Güalgüeros (Figura 50). Se realiza también muestreo en gases de las fumarolas Rastrojo, Las Bandas, Boca Vieja, El Verde y Desfondada.



**Figura 50.** Mapa de localización de las fuentes termales y fumarolas pertenecientes en la zona de influencia del Volcán Cumbal.

Las fuentes termales de Cumbal presentan valores de potenciales de hidrógeno (pH) que oscilan entre 6.6 (ligeramente ácida) hasta el valor más bajo de 1.3 (muy ácida), correspondientes a las FT Hueco Grande y FT Güalgüeros respectivamente.

La FT Zapatero corresponde a una termal ligeramente ácida y mantiene su pH en 6.3, que se debe a su relación a aguas propias del sistema hidrotermal, en el que el sistema de amortiguamiento se ve influenciado por la presencia de la concentración de ión bicarbonato. ( $\text{HCO}_3^{2-}$ ).

En cuanto al pH para Hueco Grande y el salado de Cuetial mantienen un estado de ligera acidez hasta la neutralidad, debido a la concentración de sulfatos y carbonatos en el ambiente.

En la Figura 51 se registran los valores del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de agosto del 2016 para las fuentes termales visitadas, ubicadas en la zona de influencia del volcán Cumbal. Los colores en la gráfica 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 el pH. Estas fuentes termales se visitaron entre los días 8 y 13 de agosto del 2016.

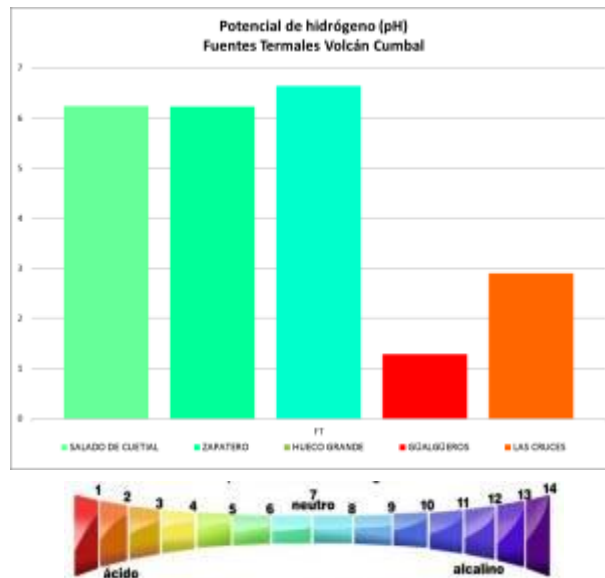


Figura 51. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Cumbal\_2016.

En las Figuras 52 y 53 se puede observar las variaciones de temperatura, conductividad eléctrica, pH y alcalinidad en el tiempo, respecto a meses anteriores, las mediciones corresponden a las FT de la zona de influencia del Volcán Cumbal registradas en trabajo de campo durante el mes de agosto.

Para el caso de la temperatura (Figura 52) se mantienen estables los valores en el tiempo. El decremento de los valores en las FT al parecer está influenciado por la baja temperatura ambiente presente durante el muestreo.

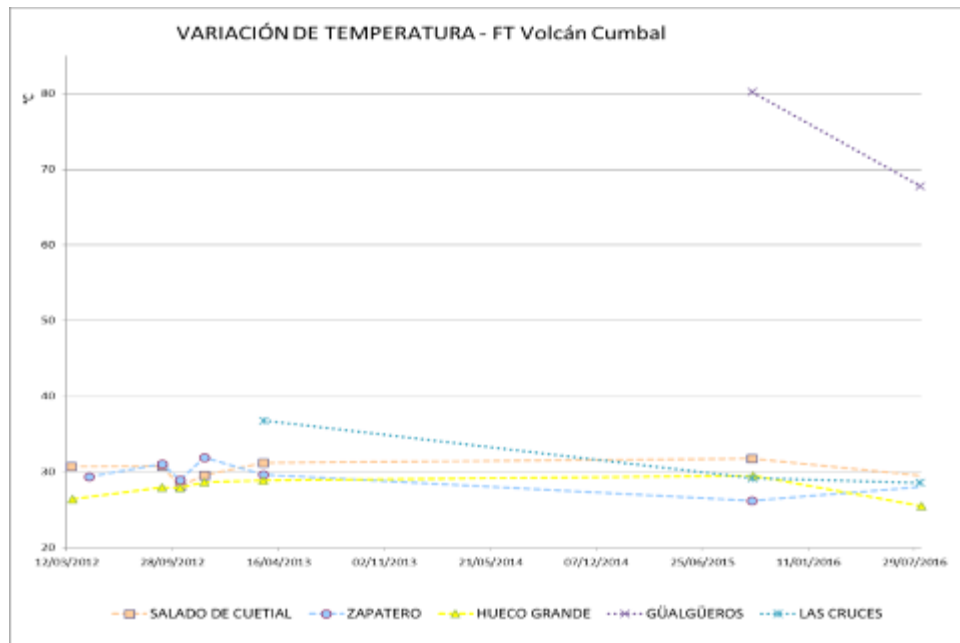


Figura 52. Variación de temperatura de las FT de Volcán Cumbal – agosto 2016.

La conductividad eléctrica (Figura 53) no presenta variación con respecto a la registrada en 2015, con excepción de la FT Gualgüeros que presenta un menor valor de conductividad con respecto a la medida realizada en 2015, valor que puede estar influenciado por la disminución de temperatura en la FT y que origina un decremento en la concentración de las sales del manantial.

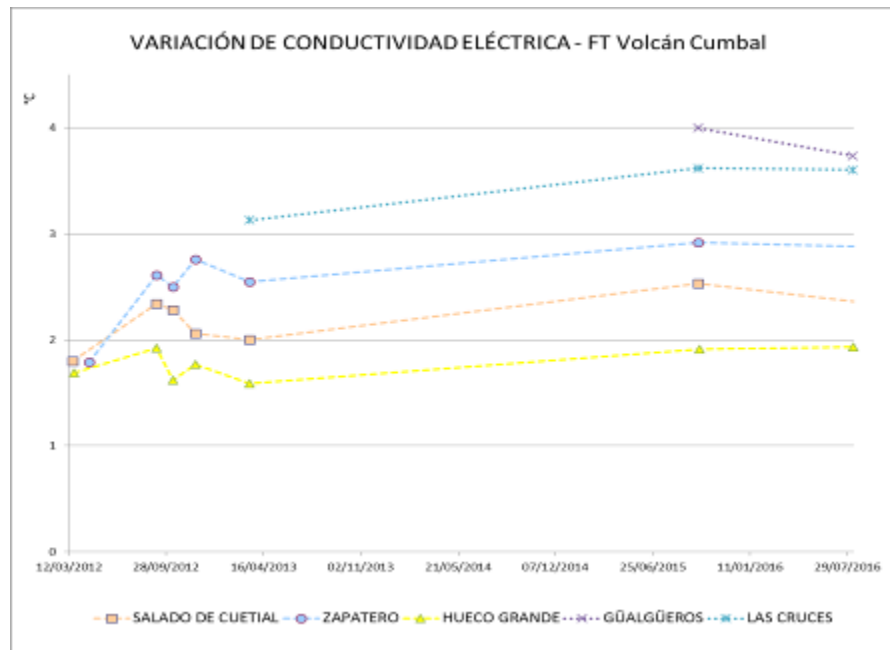


Figura 53. Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Cumbal – agosto 2016.

Los manantiales de Cumbal aquí registrados se clasifican como termales (Tabla 13), de acuerdo a su temperatura:

Tabla 13. Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.

TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN
20-35°C	Aguas hipotermales
35-45°C	Aguas mesotermales
45-100°C	Aguas hipertermales
100-150°C	Aguas supertermales

- **Fuente termal Zapatero**

Temperatura superficial: 28°C (Temperatura registrada en agosto de 2016 con termómetro digital y cámara térmica – Figura 54).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Por la temperatura de la manifestación termal puede ser clasificada como hipotermal. Presenta también una conductividad eléctrica de 2.9 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio en baja proporción.

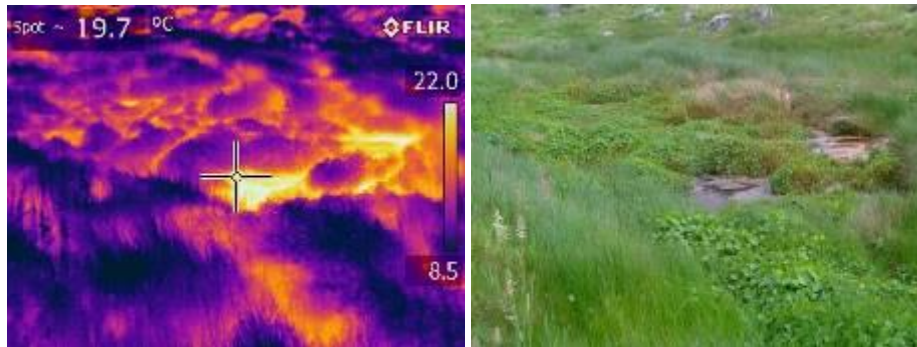


Figura 54. Imagen térmica FT Zapatero - agosto 2016.

- **Fuente termal Hueco Grande**

Temperatura superficial: 25.5°C. (Temperatura registrada en agosto de 2016 con termómetro digital y cámara térmica – Figura 55)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1.9 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución en baja proporción.

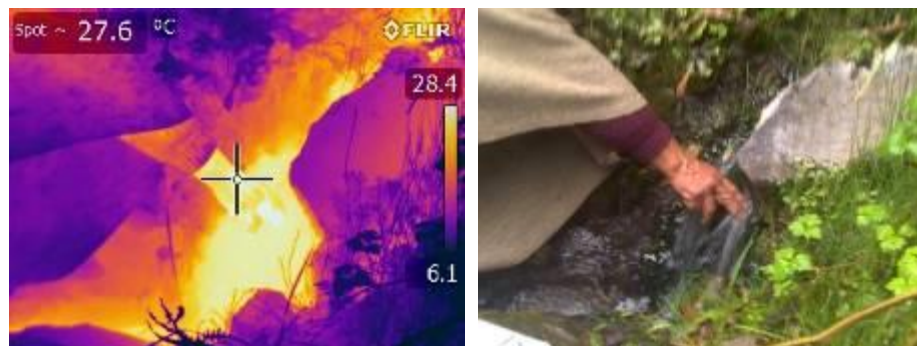


Figura 55. Imagen térmica FT Hueco Grande - agosto 2016.

- **Fuente termal Las Cruces**

Temperatura superficial: 29.2°C. (Temperatura registrada en agosto de 2016 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 3.6 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal Cuetial**

Temperatura superficial: 29.5°C. (Temperatura registrada en agosto de 2016 con termómetro digital y cámara térmica – Figura 56)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una conductividad eléctrica de 2.3 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.



Figura 56. Imagen térmica FT Cuetial - agosto 2016.

- **Fuente termal Gualgüeros**

Temperatura superficial: 67.8°C. (Temperatura registrada en agosto de 2016 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 3.7 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

En las Figuras 57 y 58 se muestra la variación del pH para la FT termales, no se observan cambios importantes en comparación con meses anteriores, con excepción de la FT Gualgüeros donde el valor de pH incrementa de 0.3 a 1.3 teniendo como referencia una primera medida realizada anteriormente en 2015, la FT continua presentando un alto grado de acidez que por su ubicación (campo fumarólico Las Bandas del sector Mundo Nuevo del volcán Cumbal) se ve afectada directamente por los gases que de allí emanan.

La alcalinidad (Figura 58) presenta un incremento en comparación con la primera medida realizada en el año 2015, el cual indica en este caso, el incremento en la concentración del ión bicarbonato, es importante continuar monitoreando esta variable para tener un referente de su línea base y poder evaluar así este comportamiento.

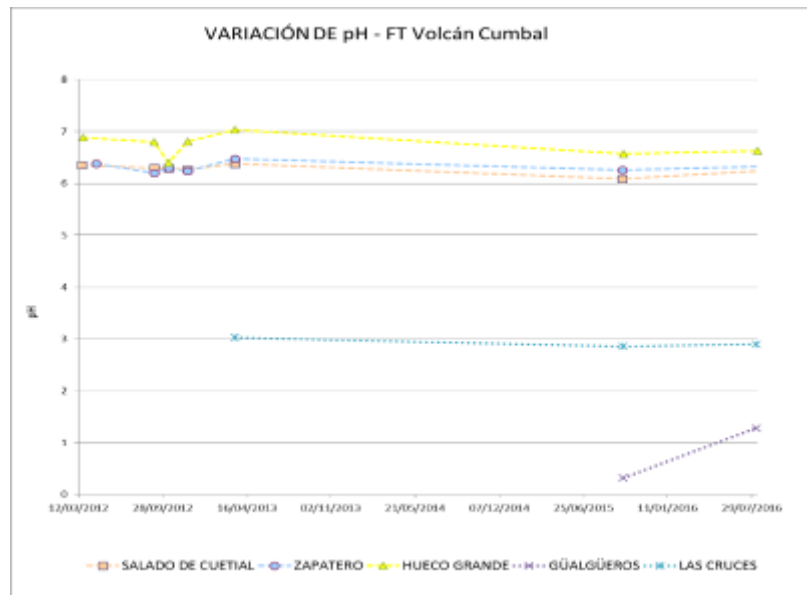


Figura 57. Variación del pH en las FT de Volcán Cumbal – agosto 2016.

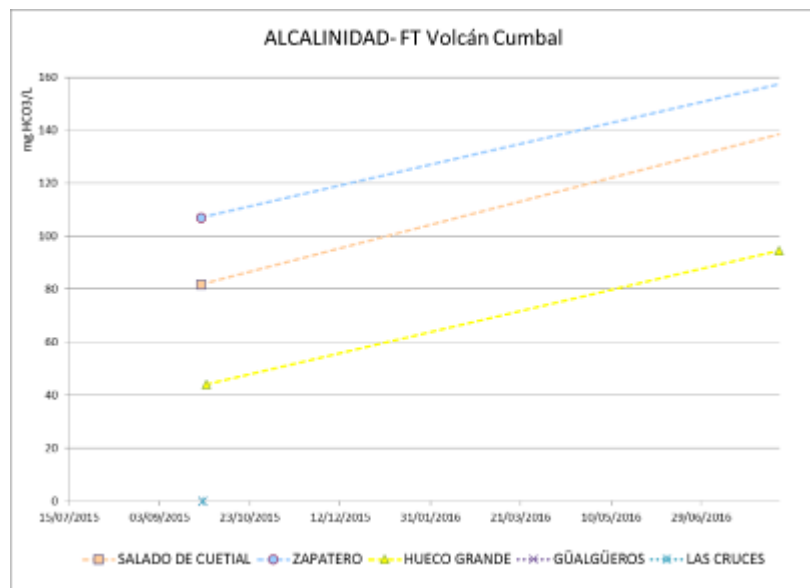


Figura 58. Variación de alcalinidad en las FT de Volcán Cumbal – agosto 2016.

## 2.4.2. Muestreo de gases en fumarolas – Volcán Cumbal

A continuación se presentan algunas imágenes digitales, imágenes térmicas y temperaturas registradas durante el muestreo de gases de las fumarolas principales del complejo volcánico Cumbal (Figura 59, Tabla 14).

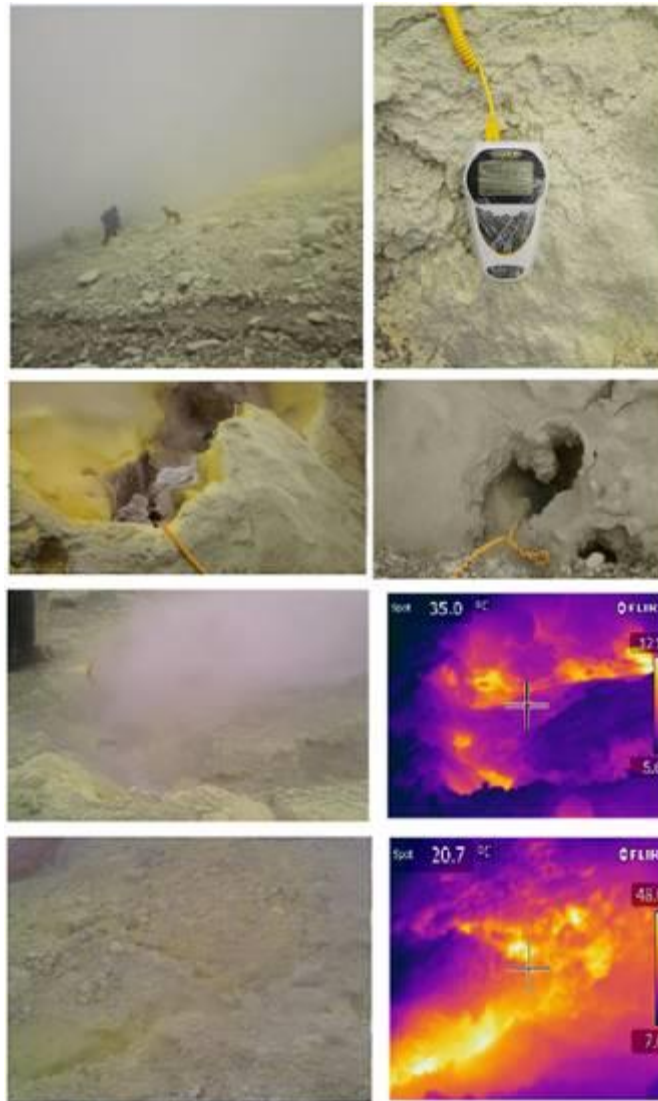


Figura 59. Imágenes térmicas de la fumarola Boca Vieja, Rastrojo, Las Bandas, del Volcán Cumbal \_ agosto de 2016.

Tabla 14. Temperaturas registradas en los sectores de Mundo Nuevo y Cumbal – agosto de 2016.

FUMAROLA	RASTROJO ALTO	BOCA VIEJA	EL VERDE	DESFONDADA
Promedio [°C]	142	130	140	138



## 2.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Debido a problemas de enlace, problemas con el servicio de internet en la zona por parte de los proveedores comerciales no se tienen imágenes de la cámara ubicada en el Municipio de Cumbal, la cual está orientada hacia la zona del Complejo Volcánico, por esta razón no es posible documentar acerca de los procesos de emisión del volcán.

## 2.6. CONCLUSIONES

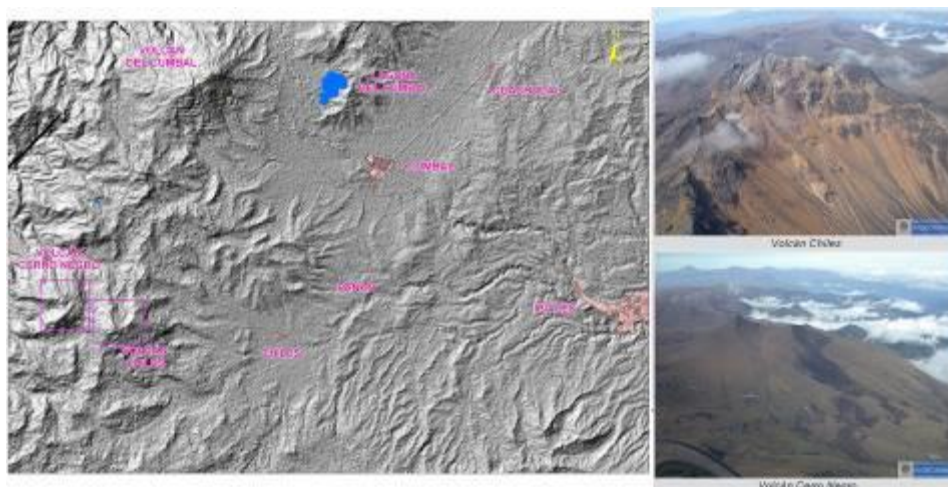
La actividad que viene mostrando Cumbal se caracteriza por fluctuaciones en los niveles de ocurrencia y energía de la sismicidad, y registro eventual de enjambres asociados con procesos predominantemente hidrotermales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de agosto 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 AGOSTO 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 60). El volcán Chiles tiene una altura de 4748 msnm y el volcán Cerro Negro, de 4470 msnm.



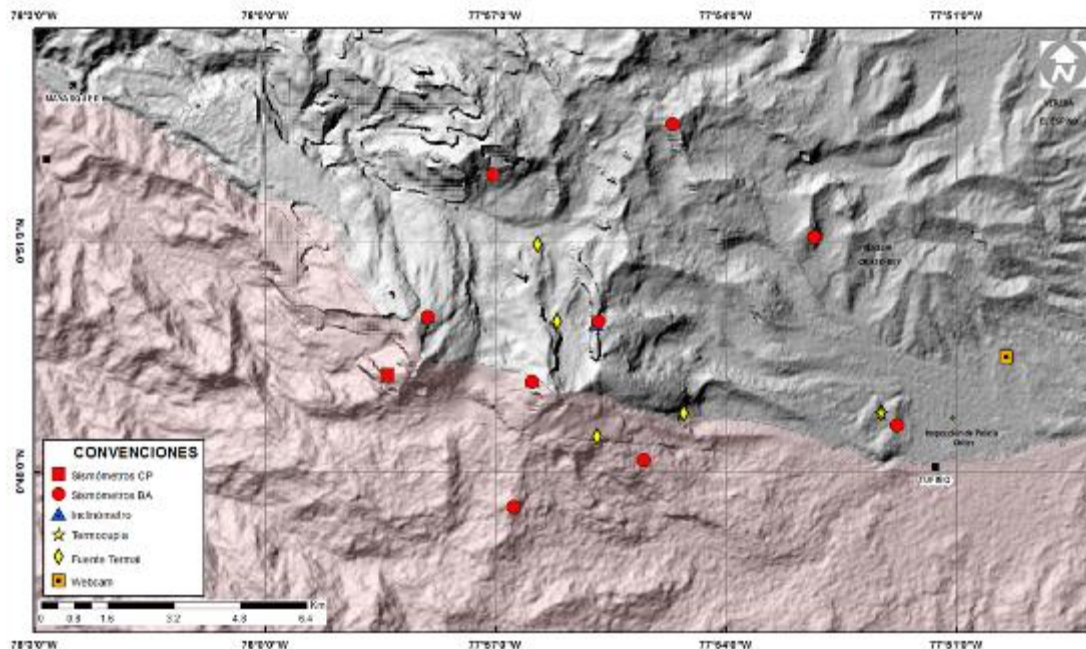
**Figura 60.** Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

### 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 61, Tabla 15).

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 61) y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 61, Tabla 16). De igual forma se contó con una cámara Web instalada en la población de Nazate (Figura 61). 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 79% (Figura 62).











**Figura 61.** Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de agosto de 2016.

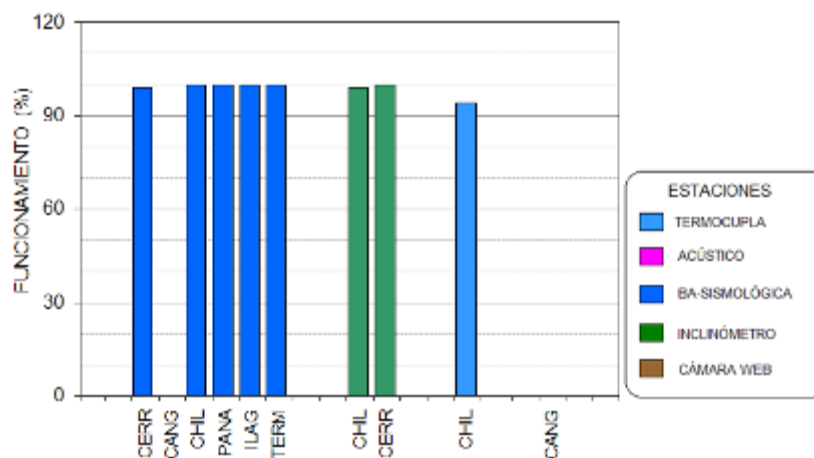
**Tabla 15.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de agosto de 2016.

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	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclinómetro 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 16.** 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

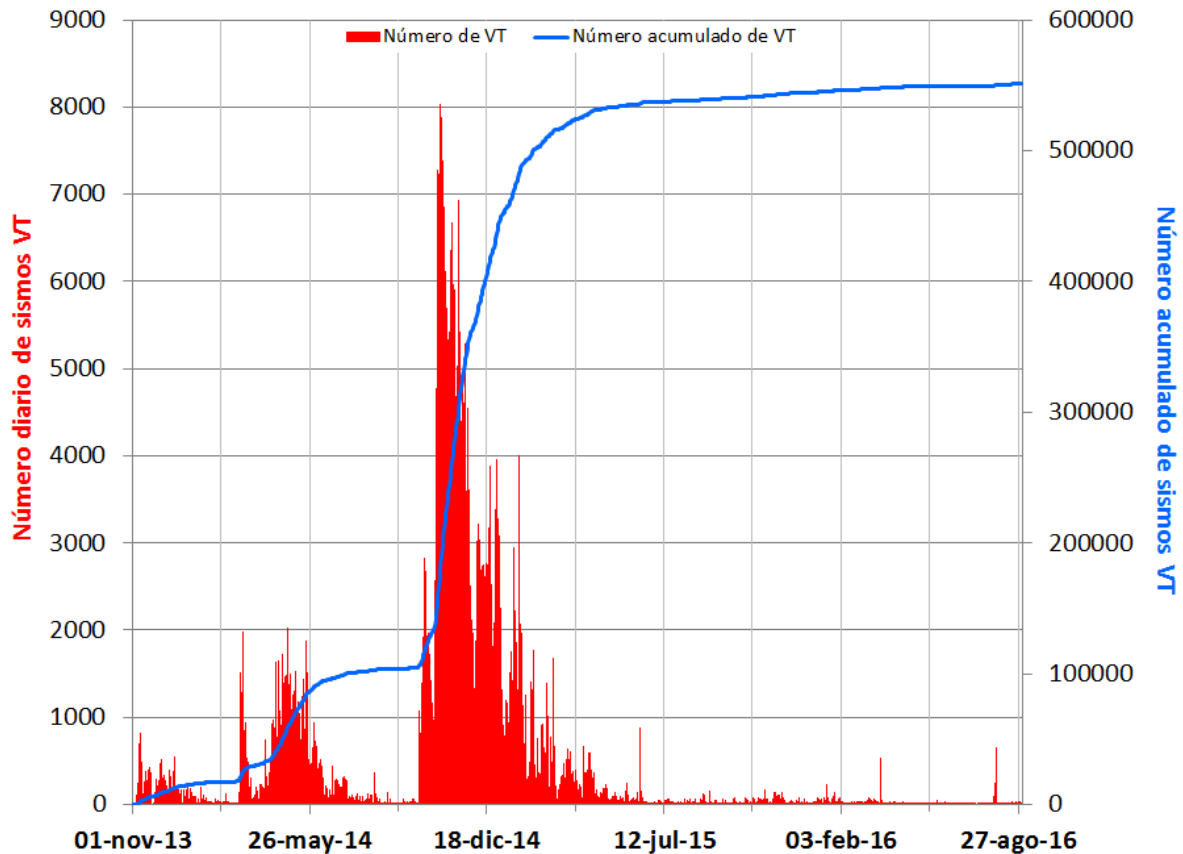


**Figura 62.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de agosto de 2016.

### 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 agosto de 2016, se han registrado en total 551.097 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 63).

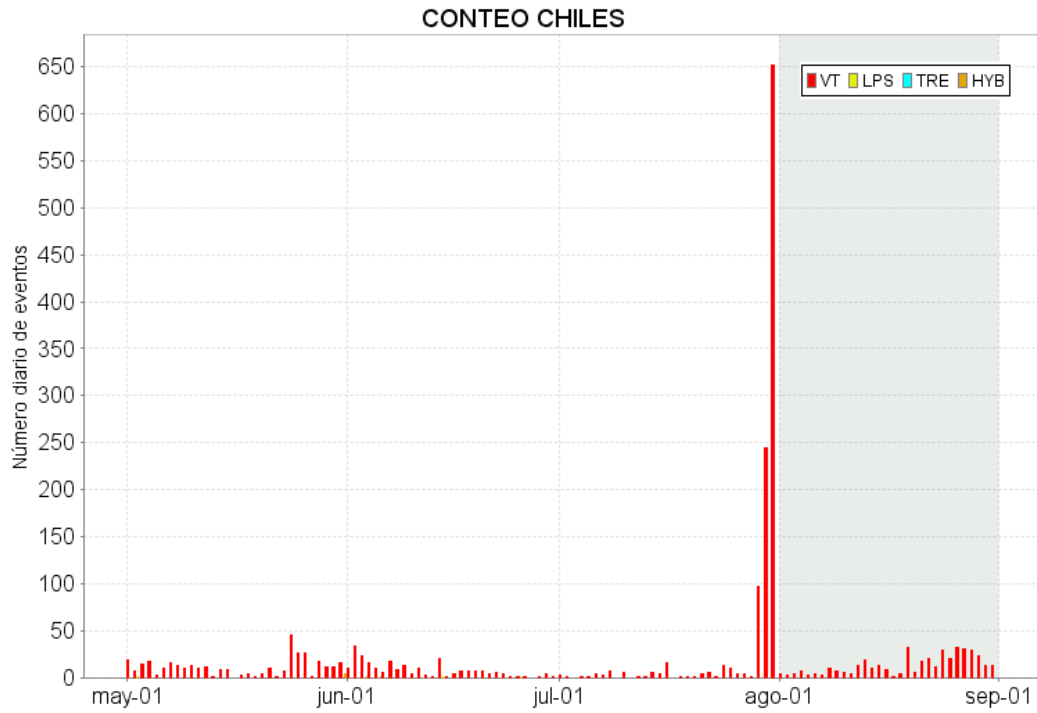
La ocurrencia sísmica en el mes de agosto de 2016 mostró descenso, cercano al 62% del número registrado en julio, pasando de 1102 a 414 sismos, en su totalidad asociados con fractura de roca (VT) (Tabla 17, Figuras 64 y 65). El día 19 de agosto se registró la tasa más elevada de ocurrencia diaria contabilizando 33 eventos.



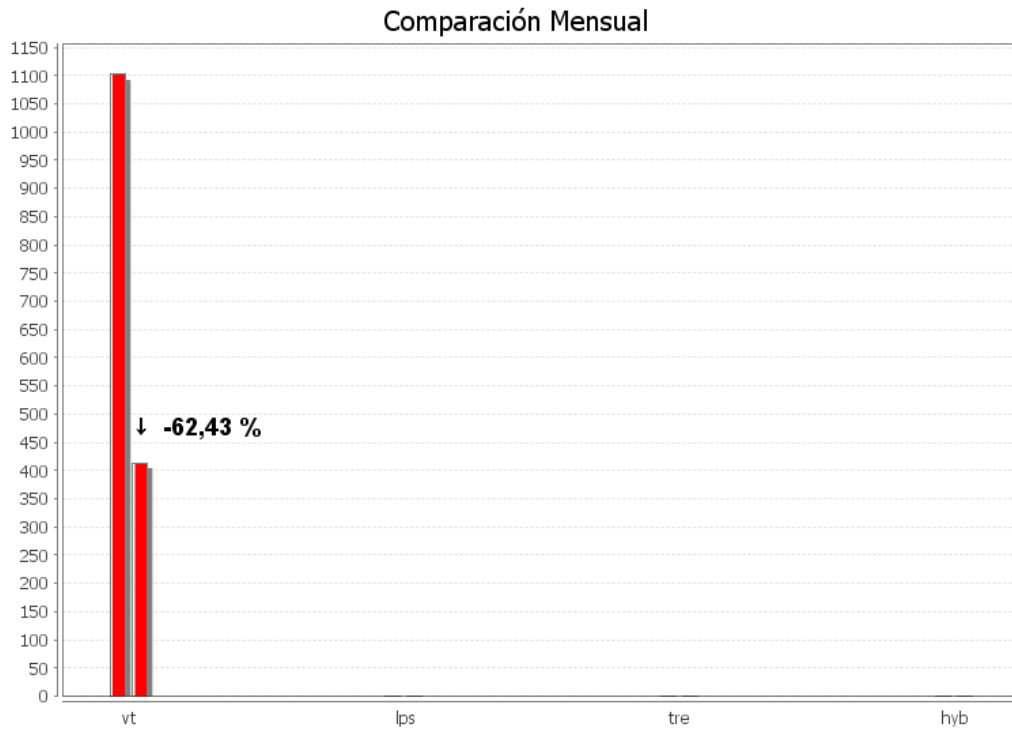
**Figura 63.** Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y agosto 31 de 2016.

**Tabla 17.** Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	vt	lps	tre	hyb	TOTAL
01-may-16 a 31-may-16	358	2	0	4	364
01-jun-16 a 30-jun-16	242	2	0	3	247
01-jul-16 a 31-jul-16	1102	0	0	0	1102
01-ago-16 a 31-ago-16	414	0	0	0	414



**Figura 64.** 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 mayo y agosto de 2016.

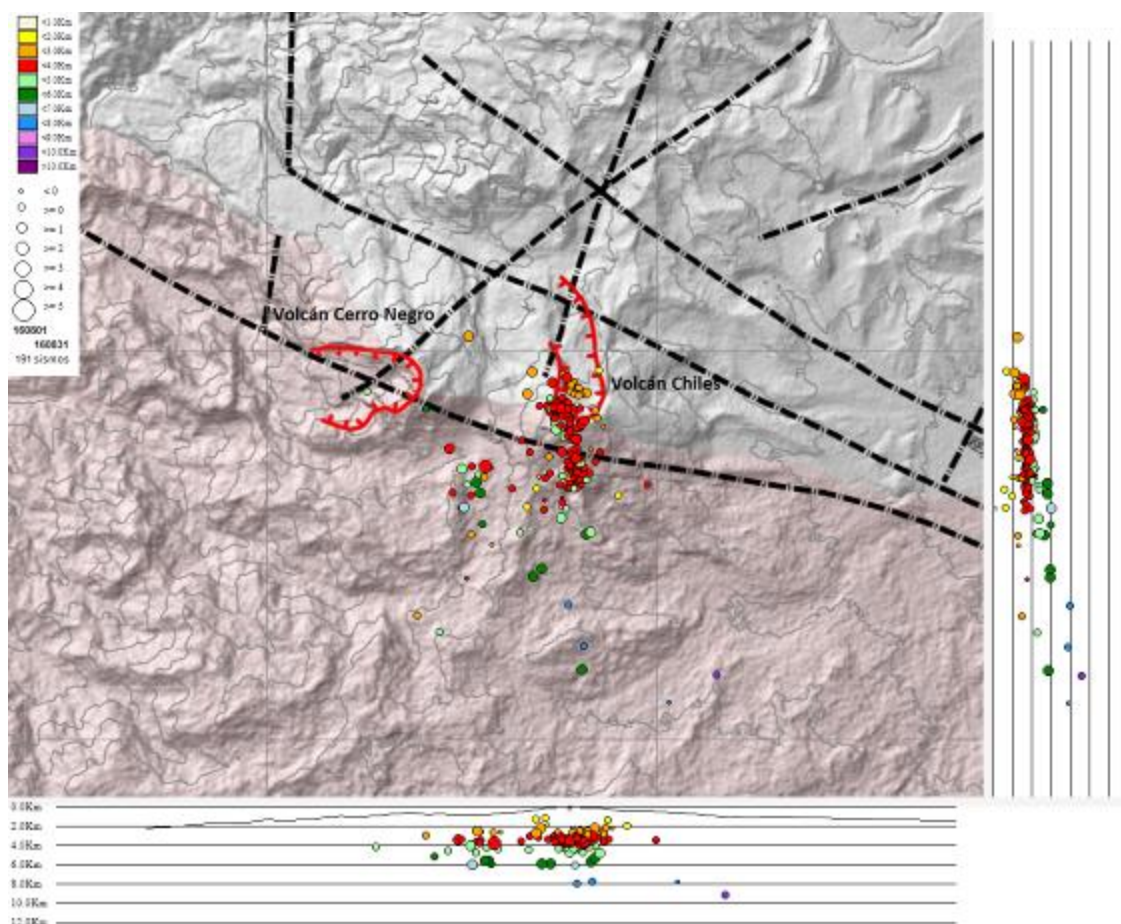


**Figura 65.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de agosto de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de julio de 2016 (barras de la izquierda).

En el periodo evaluado fue posible obtener una solución de localización para 191 sismos, tipo VT (Figura 66), la mayoría ubicados hacia el sector suroccidente del volcán Chiles con algunos epicentros ubicados en inmediaciones de su cima, con profundidades entre 0.1 y 5 km (nivel de referencia sobre los 4.700 msnm), los eventos más profundos se ubicaron hacia el costado suroriental del volcán Chiles.

Se destaca una zona de agrupación de epicentros, a manera de franja que inicia en inmediaciones de la cima de Chiles, la cual se extiende hacia el norte hasta 1 km y hacia el sur aproximadamente hasta una distancia de 2.5 km, con un ancho aproximado promedio de 1.0 km, con profundidades entre 2 y 5 km.

La magnitud local de los sismos fue menor a 2.7 en la escala de Richter, el 79% de la sismicidad localizada presentó magnitud menor a 1. El sismo más energético fue registrado el día 19 de agosto de 2016 a las 10:53 a.m., a una distancia de 2.4 km al SW de la cima de Chiles, con una profundidad de 3.7 km y magnitud local de 2.7, el cual no fue reportado como sentido.

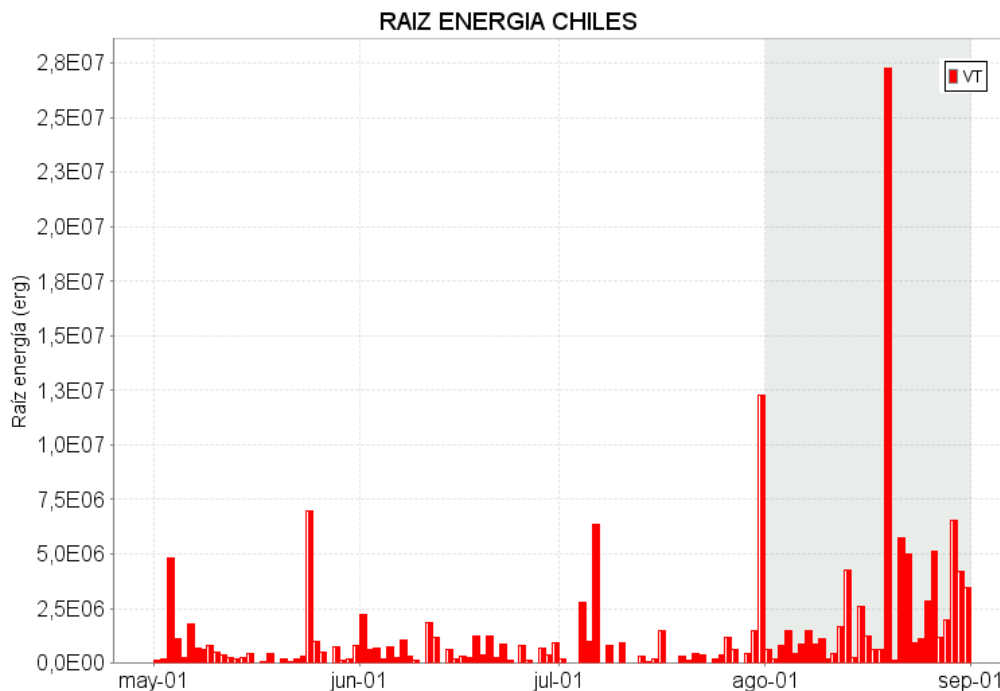


**Figura 66.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en agosto de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

La energía sísmica liberada fue estimada con la magnitud de los sismos localizados; mostrando un incremento en 4.6 veces lo reportado en el mes anterior (Tabla 18, Figura 67).

**Tabla 18.** Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Energía liberada por los sismos VT	
	VT	TOTAL
01-may-16 a 31-may-16	8,18E+13	8,18E+13
01-jun-16 a 30-jun-16	1,95E+13	1,95E+13
01-jul-16 a 31-jul-16	2,08E+14	2,08E+14
01-ago-16 a 31-ago-16	9,53E+14	9,53E+14



**Figura 67.** Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chile – Cerro Negro entre el 1 de mayo y el 31 de agosto de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

### 3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

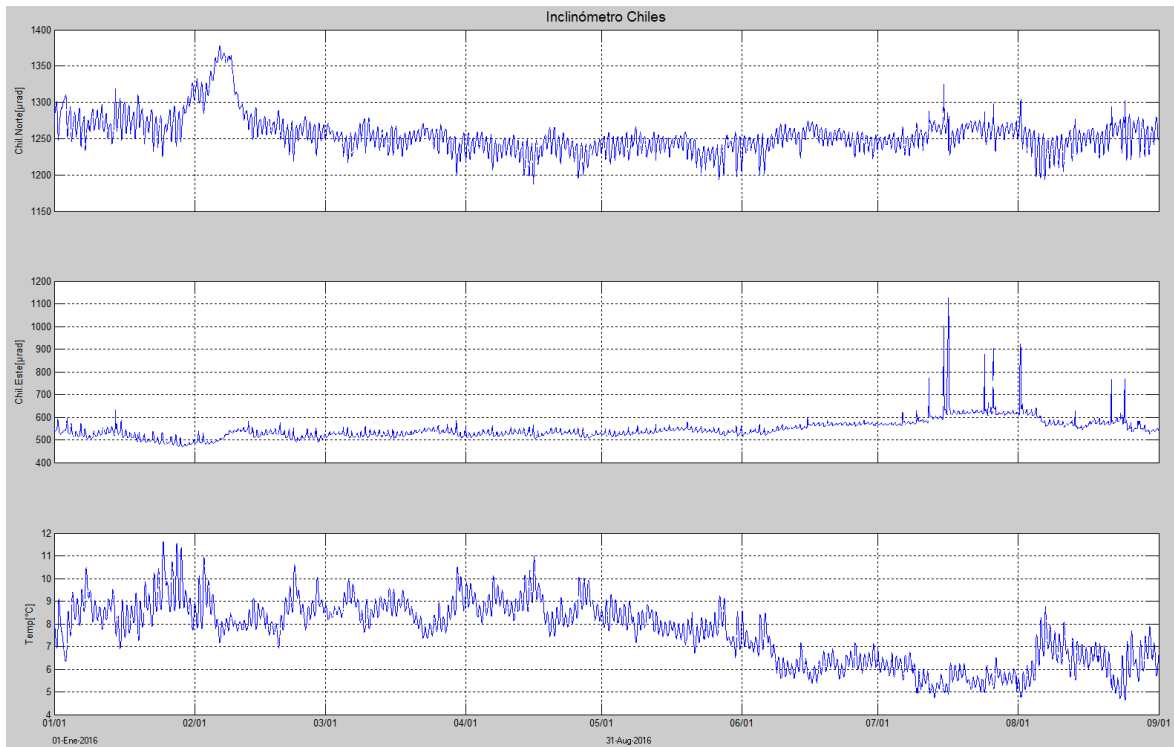
Se observa estabilidad para la componente Norte del inclinómetro Chiles, mientras que en la Este se evidencia un descenso desde el 5 de agosto, acumulando hasta el 31 cerca de 67  $\mu$ rad (Figura 68).

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 945



μrad hasta agosto de 2016; por su parte la componente Norte tiende a estabilizarse desde el 25 de junio (Figura 69).

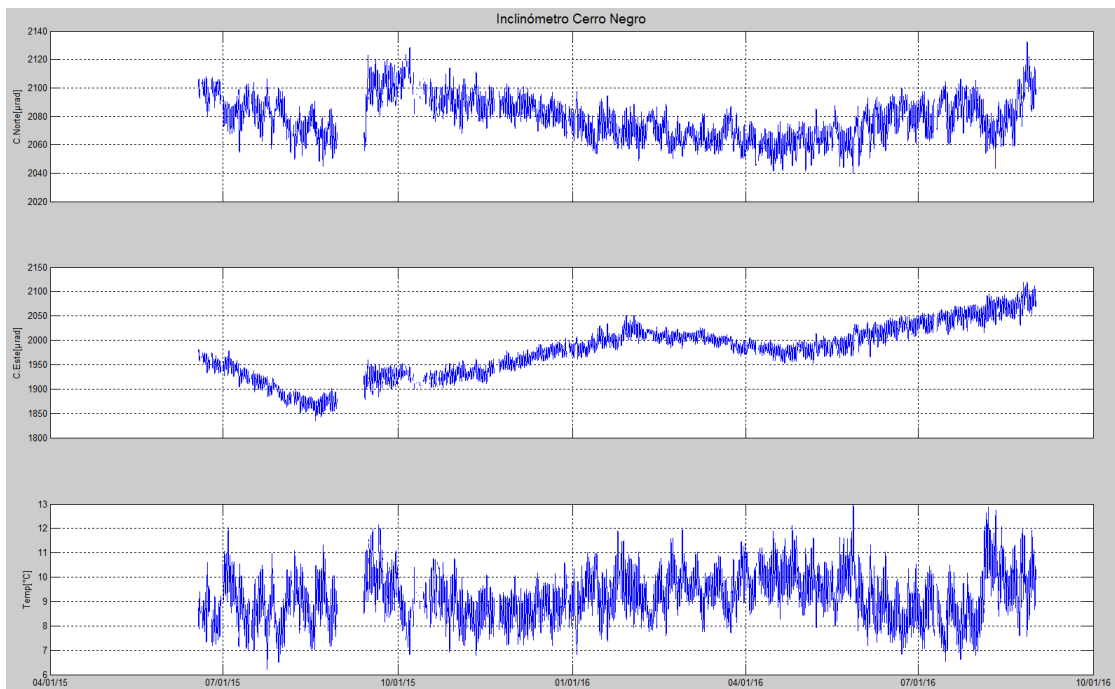
Con respecto a los cambios mostrados por el inclinómetro Cerro Negro, continua el comportamiento ascendente en la componente Norte, registrando 60 μrad desde el 20 de abril de 2016, de igual forma se evidencia esta tendencia en la componente Este, alcanzando 140 μrad (Figura 70).



**Figura 68.** 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 agosto de 2016.



**Figura 69.** 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 agosto de 2016.



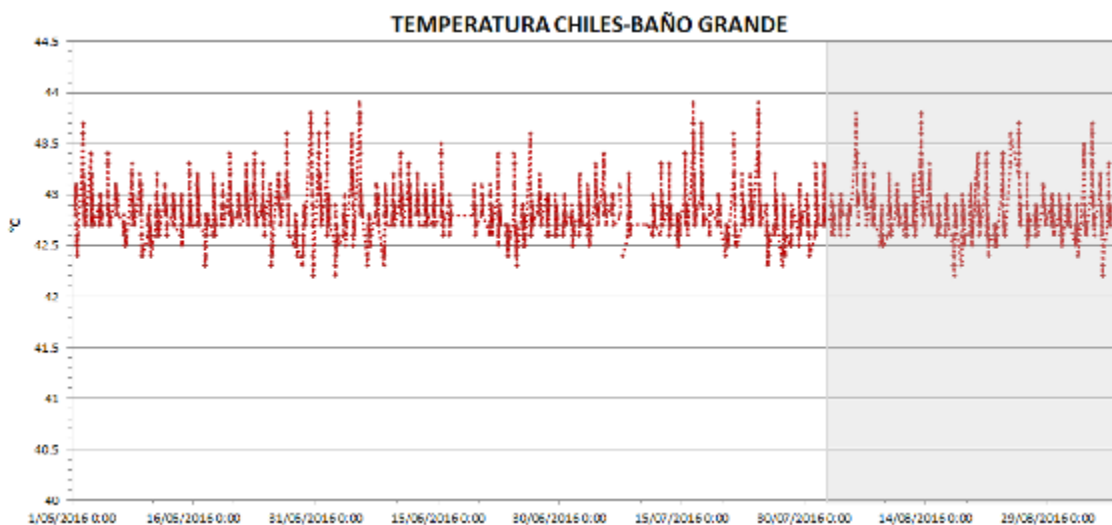
**Figura 70.** Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de agosto de 2016.

### 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 71 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 42.8°C (Tabla 19). Durante el mes de agosto se registra un valor máximo de 43.8°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 71.** Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – agosto de 2016.

**Tabla 19.** Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – agosto de 2016.

TEMPERATURA	[°C]
<b>Promedio</b>	42.8
<b>Máximo</b>	43.8
<b>Mínimo</b>	42.2

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

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

### 3.7. CONCLUSIONES

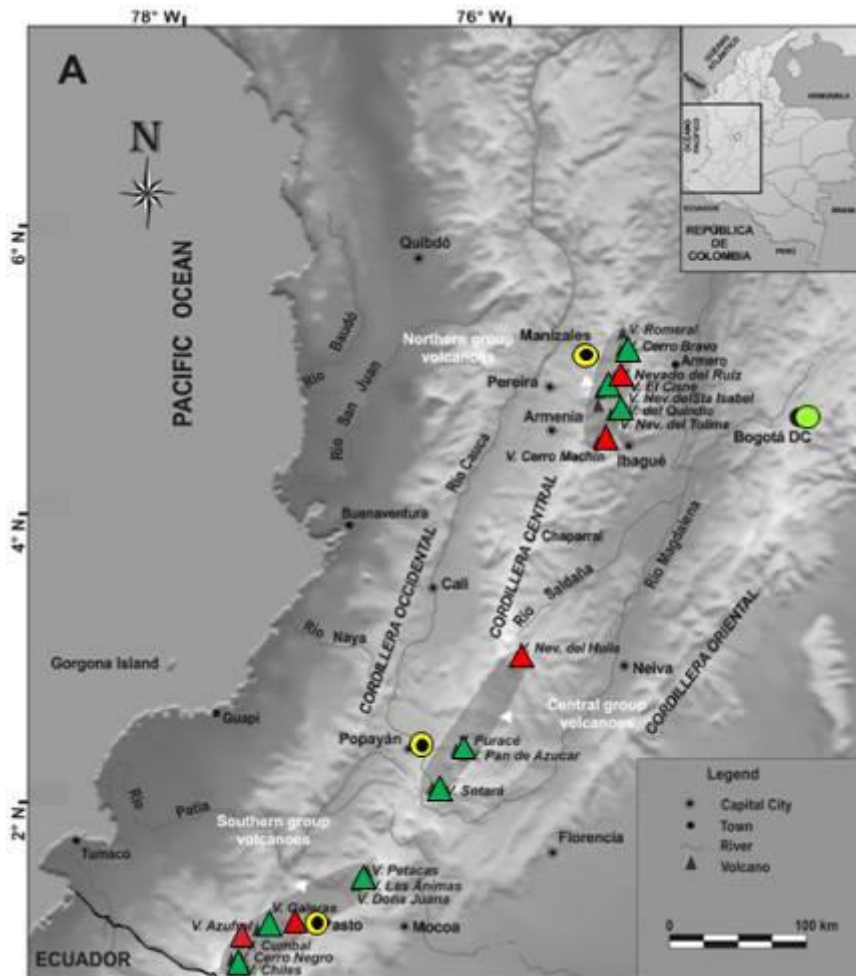
- Aunque la sismicidad ha venido mostrando una disminución gradual, se mantienen valores altos de ocurrencia, asociados con una posible intrusión de magma en profundidad y que se reitera, no se ha manifestado aún en superficie, por lo cual el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de agosto 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 – AGOSTO 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 72), 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.

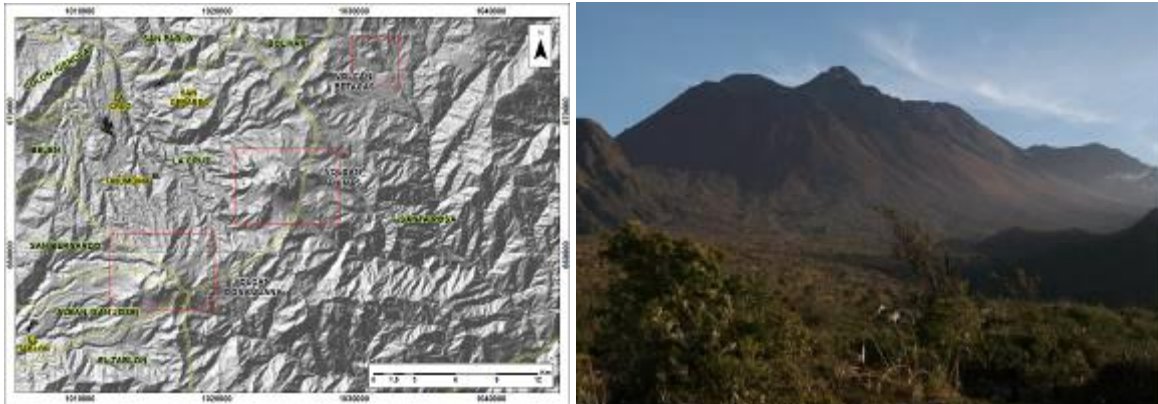


**Figura 72.** Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.

## 4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

### 4.1.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente de Colombia, en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 73).



**Figura 73.** 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 20, Figura 74), 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 75). 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 20.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de agosto 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

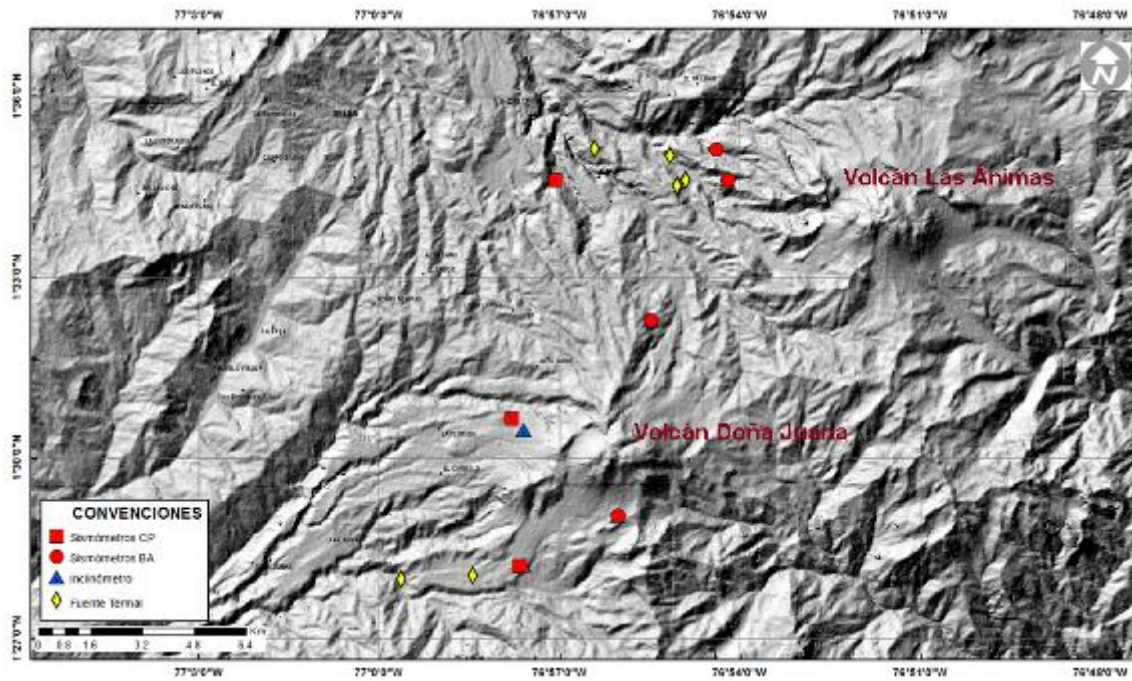


Figura 74. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de agosto de 2016.

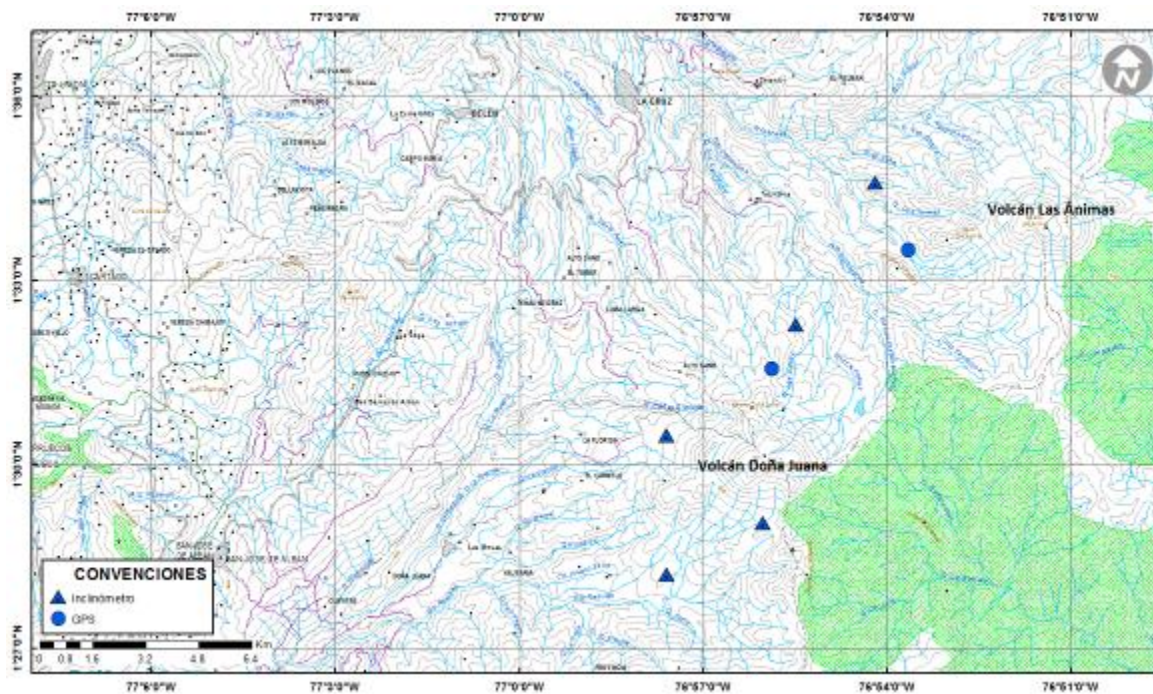
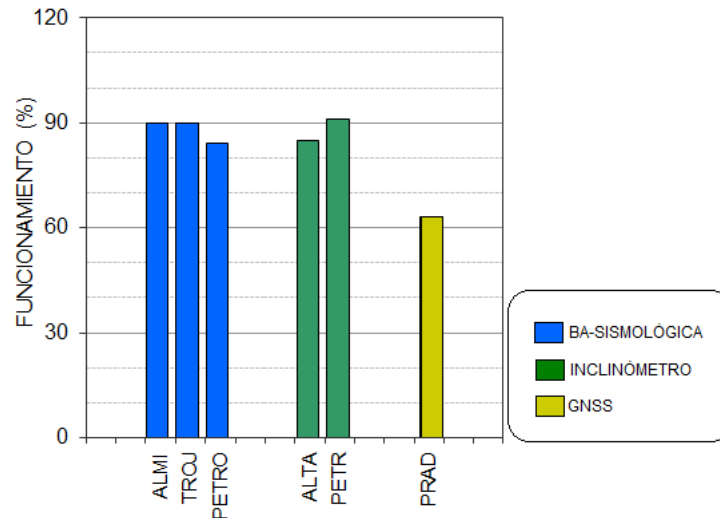


Figura 75. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Las Ánimas durante el mes de agosto de 2016.

En el periodo evaluado, la red de estaciones telemétricas instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento del 84% (Figura 76).



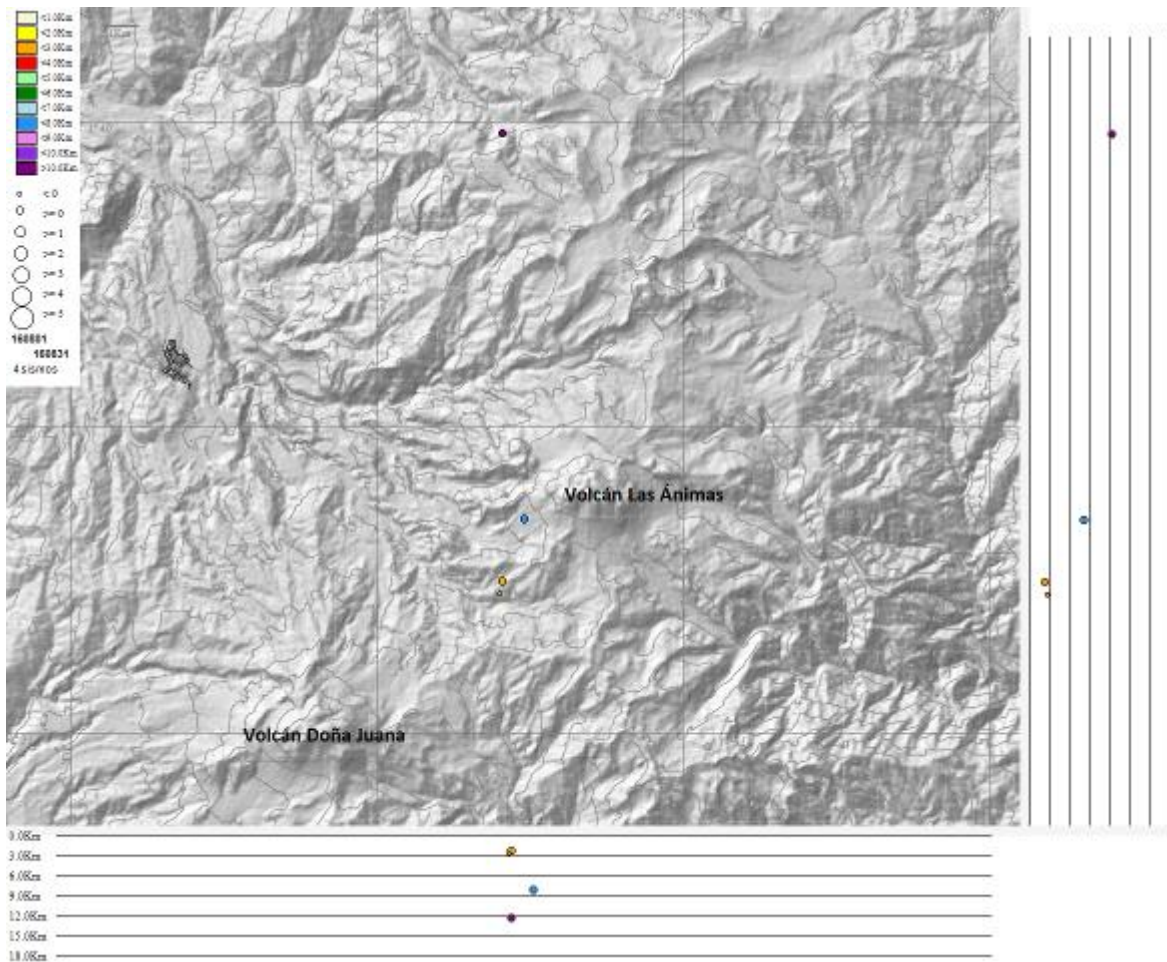
**Figura 76.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante agosto de 2016.

#### 4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de 6 eventos, que por sus características espectrales se los puede clasificar como tipo VT, asociados a fractura de material rocoso. De los cuales fue posible localizar cuatro, tres de ellos se ubicaron hacia el sector suroccidental del Volcán Las Ánimas y el restante hacia el noroccidente, las magnitudes locales fluctuaron entre -0.1 y 0.7 en la escala de Richter y las profundidades entre 2 y 12 km respecto a la cima volcánica (Figura 77).

La energía sísmica liberado por los eventos localizados fue de  $2.61 \times 10^{11}$  ergios.





**Figura 77.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia del Volcán Las Ánimas, en agosto 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

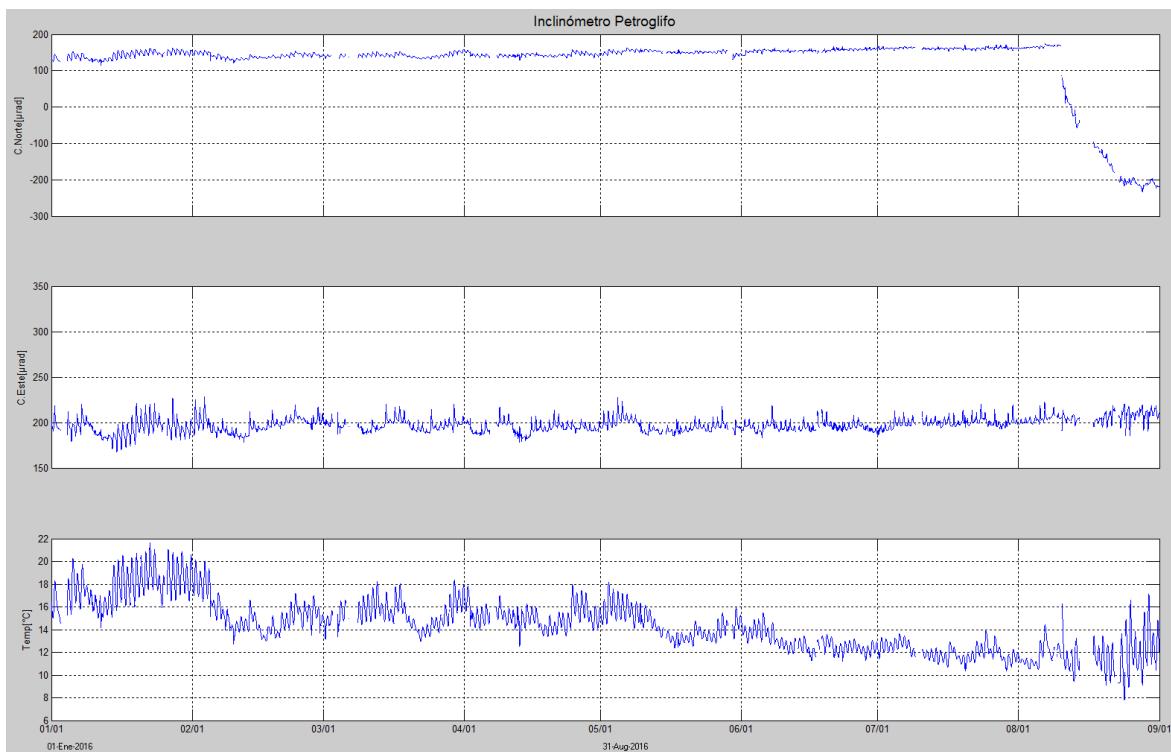
Para el periodo evaluado se observa estabilidad en el registro de la componente Este del inclinómetro Petroglifo, de igual forma en las componentes de inclinación del sensor de Altamira (Figuras 78 y 79).

##### 4.1.4.2. Estaciones GNSS Permanentes

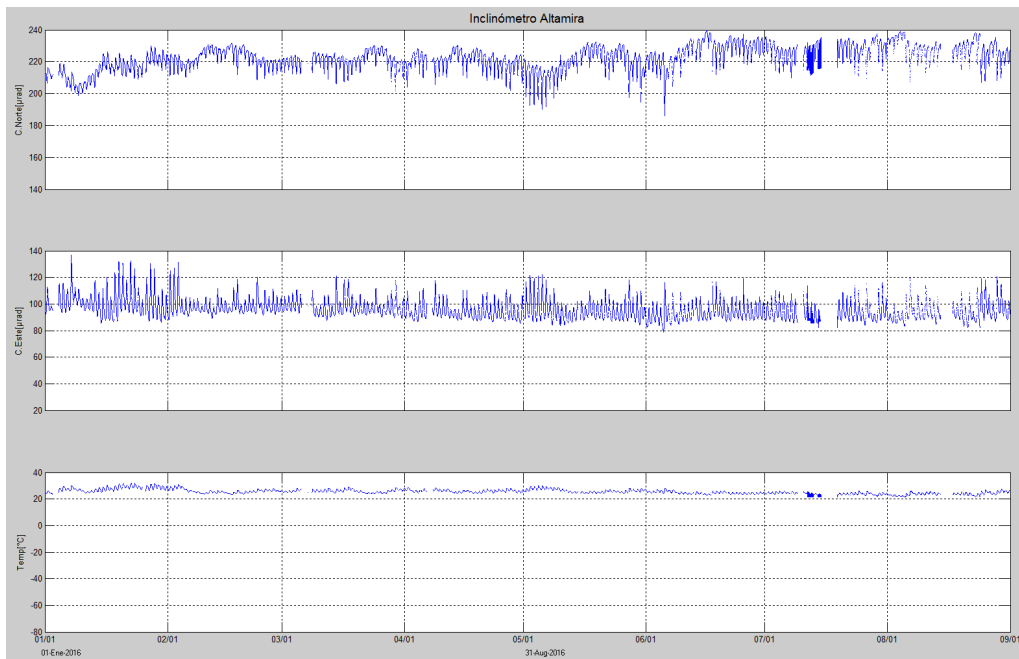
Desde finales del mes de noviembre de 2015, hacia el costado suroccidental del volcán Las Ánimas se instaló una estación GNSS permanente con el fin de detectar los cambios en superficie asociados a actividad volcánica, la cual empezó a registrar datos desde el mes de diciembre.

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 80, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS instalado en Las Ánimas.

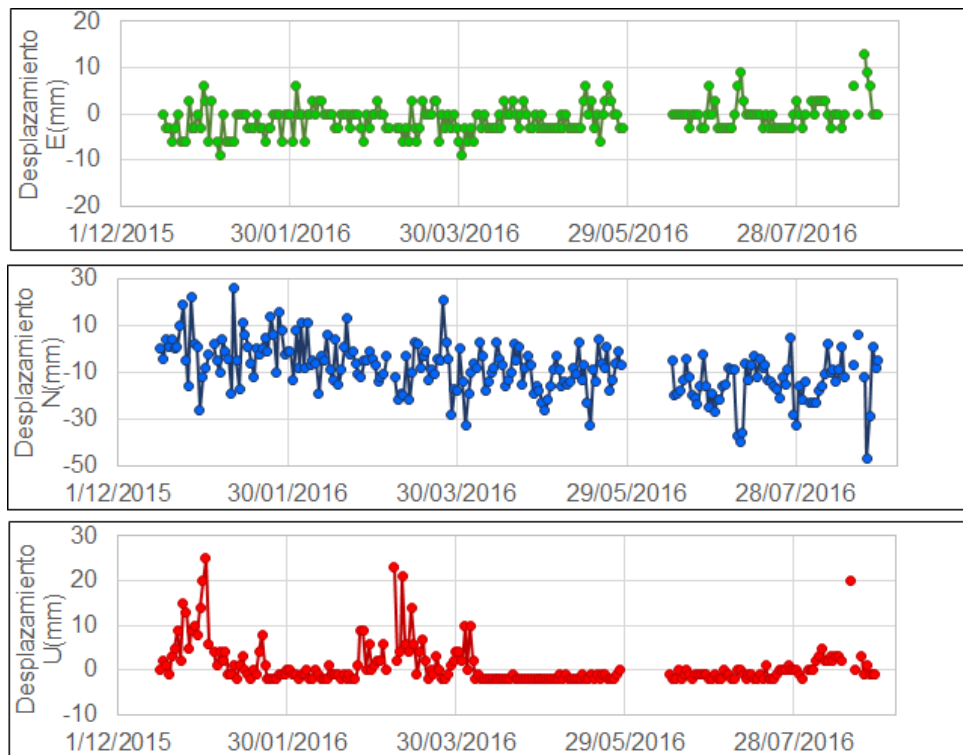
En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que 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 78.** 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 agosto de 2016.



**Figura 79.** 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 agosto de 2016.



**Figura 80.** 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 26 de agosto de 2016.

#### 4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de agosto 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 agosto 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 81, Tabla 21). 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 82). Para el mes de agosto de 2016 las estaciones presentaron un funcionamiento del 93% (Figura 83).

**Tabla 21.** 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

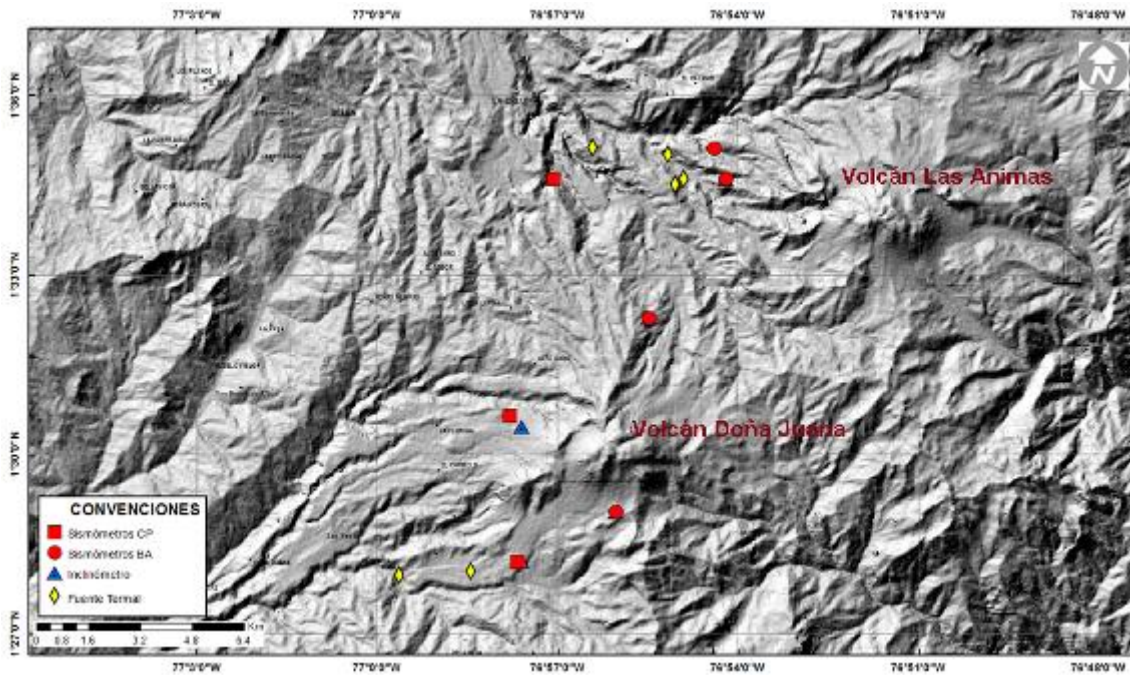


Figura 81. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

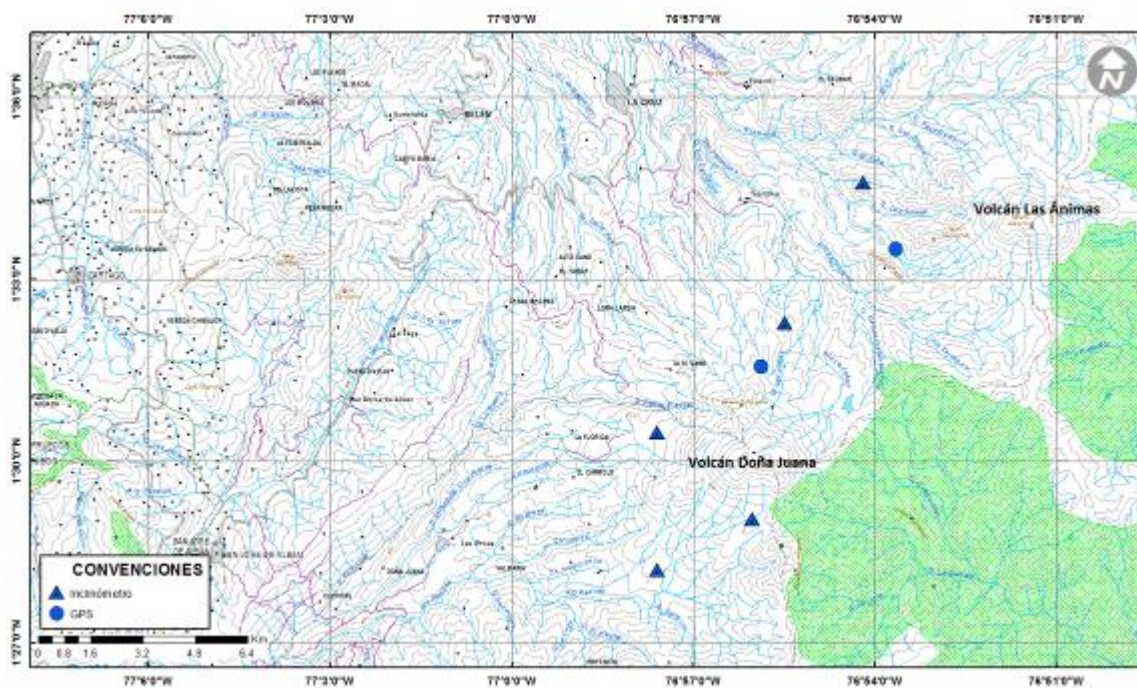
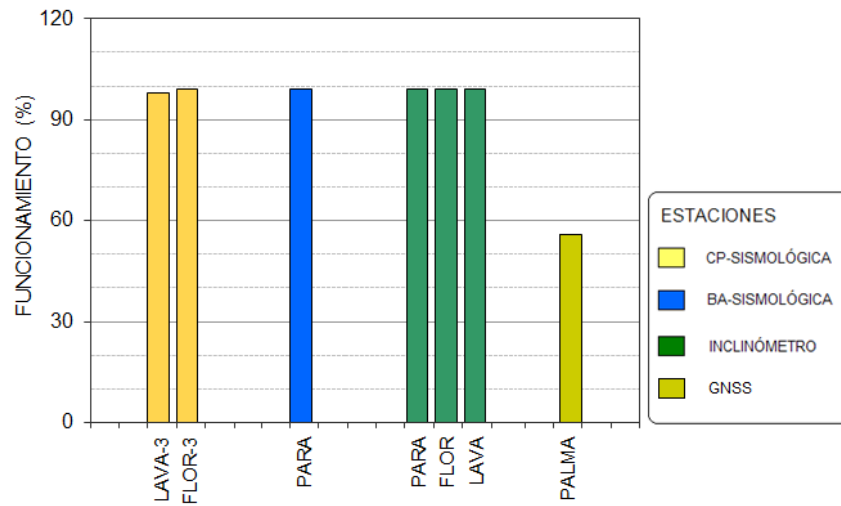


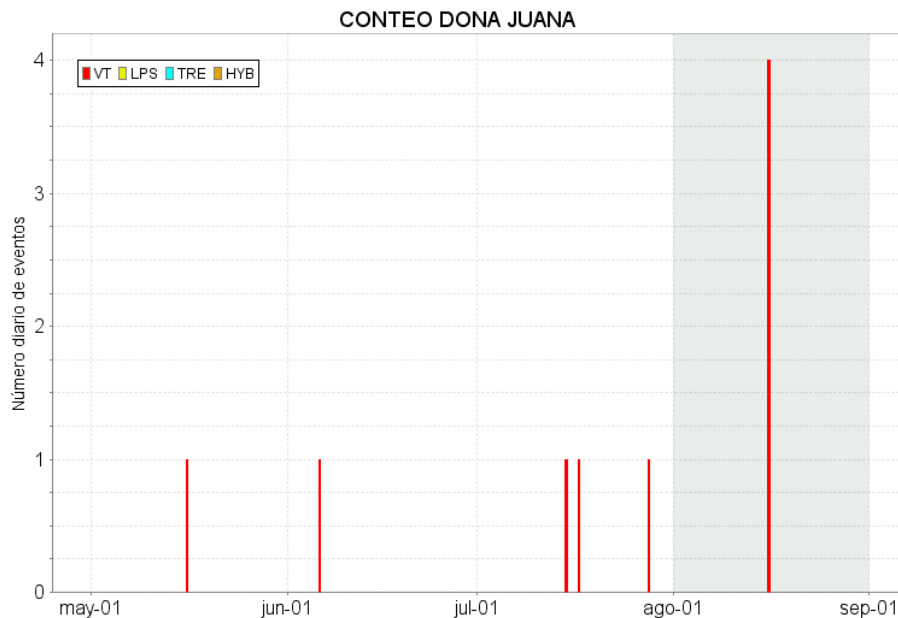
Figura 82. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Doña Juana durante el mes de agosto de 2016.



**Figura 83.** Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en agosto de 2016.

#### 4.2.2. Sismología

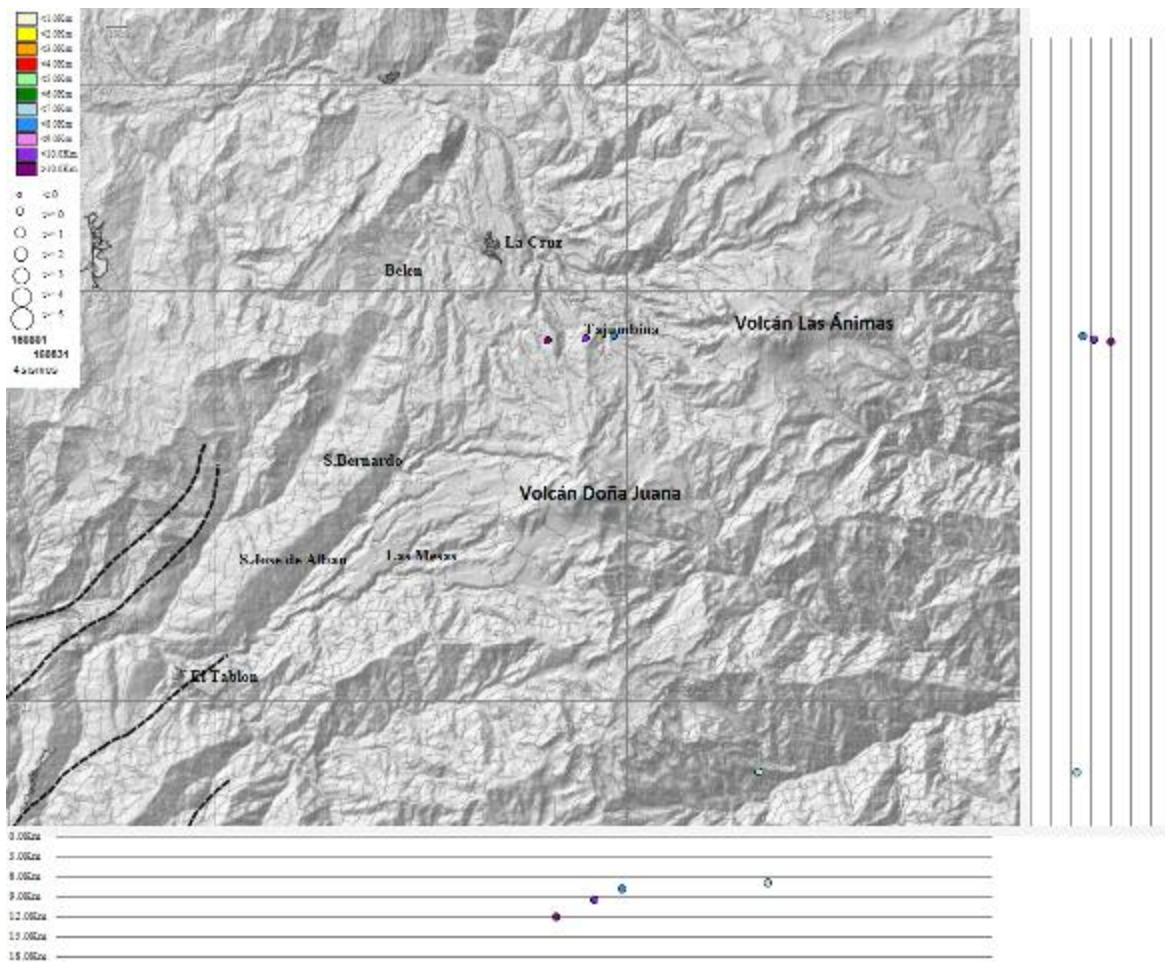
Para el periodo evaluado se tiene registro de cuatro eventos, que por la forma de onda y sus características espectrales se clasificaron como VT (Figura 84, Tabla 22), asociados con fractura de material rocoso, tres de ellos se ubicaron hacia el sector norte del Volcán Doña Juana y el otro, hacia el costado suroriental, las magnitudes locales estuvieron entre 0 y 0.5 en la escala de Richter, las profundidades entre 6 y 12 km (Figura 85). La energía liberada por los sismos localizados y calculada con base en la magnitud local fue de  $1.35 \times 10^{11}$  ergios.



**Figura 84.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de mayo y agosto de 2016.

**Tabla 22.** Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del Volcán Doña Juana registrados entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-may-16 a 31-may-16	1	1
01-jun-16 a 30-jun-16	1	1
01-jul-16 a 31-jul-16	3	3
01-ago-16 a 31-ago-16	4	4



**Figura 85.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Doña Juana, en el mes de agosto de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.

### 4.2.3. Deformación Volcánica

#### 4.2.3.1. Inclínometría Electrónica

Se evidencia estabilidad en el registro del inclinómetro electrónico Lavas (Figura 86). De igual forma se observa estabilidad en el registro de la componente Norte del inclinómetro Florida, mientras que en la Este es visible una ligera tendencia descendente, cuya variación es de 60  $\mu$ rad desde el 1 de junio de 2016 (Figura 87).

Desde el 1 de febrero se observa un comportamiento ascendente en las componentes de inclinación de la estación Páramo, registrando 30  $\mu$ rad la Norte y 180  $\mu$ rad en la Este (Figura 88).

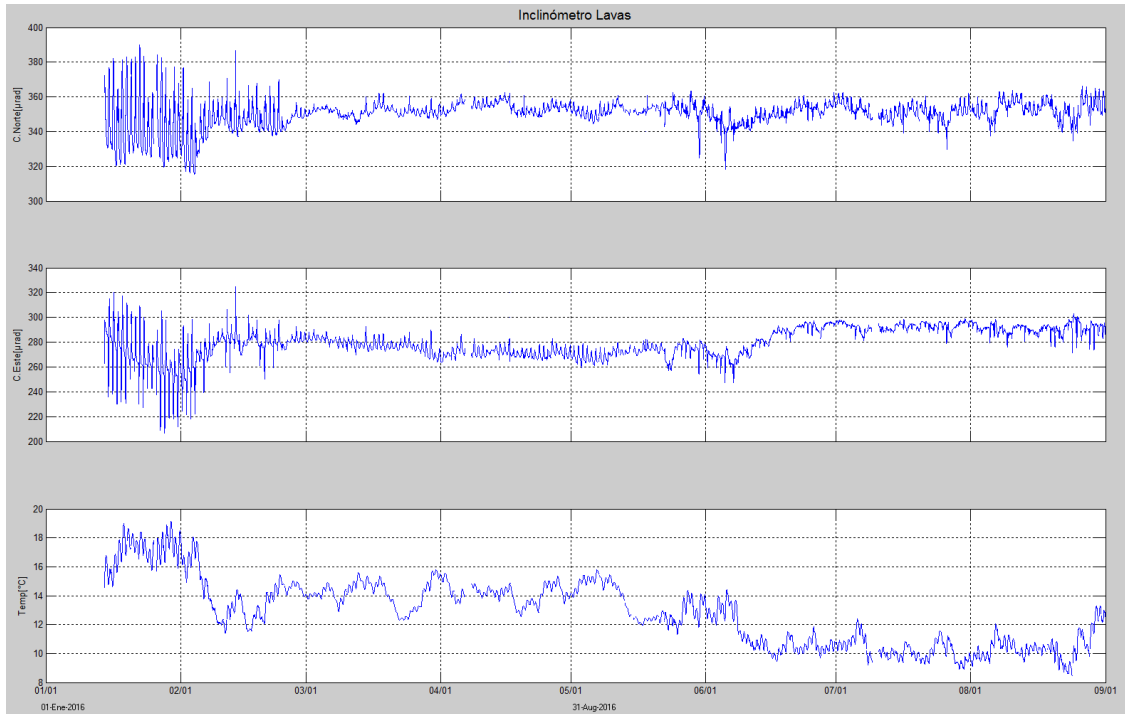
#### 4.2.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

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.

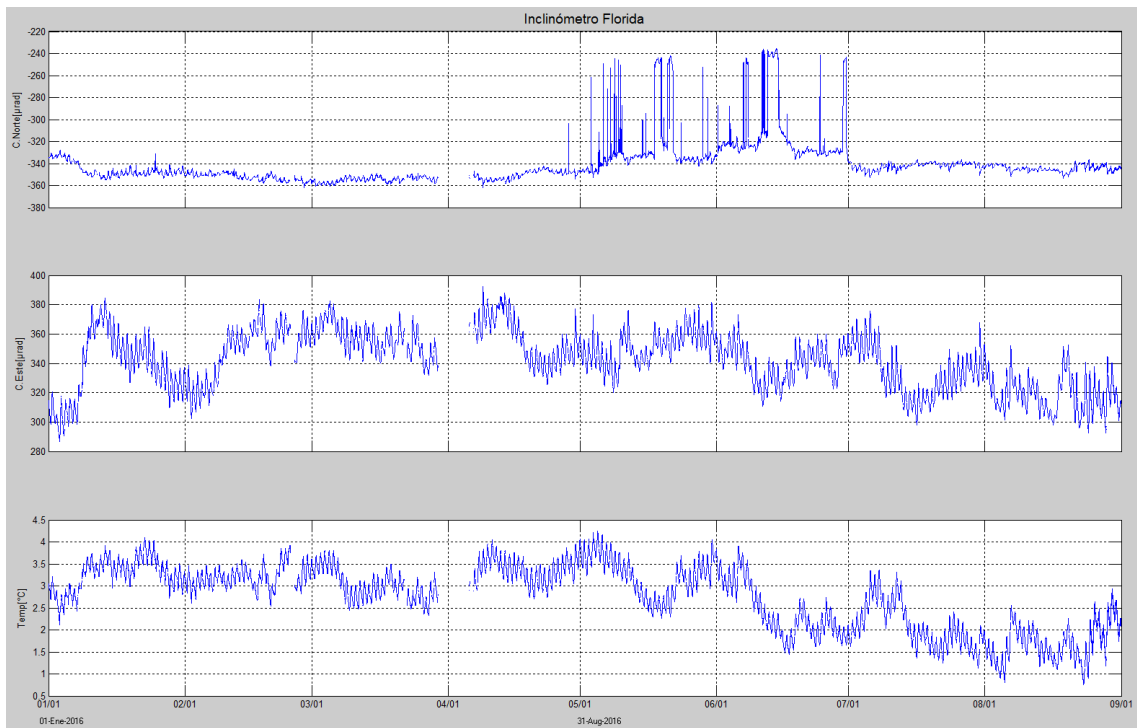
Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, 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 89, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS instalado en Doña Juana.

Se observa estabilidad en las direcciones Este y Norte, en la dirección de la Altura se evidencia un comportamiento ascendente, el cual inicia el 1 de agosto, en su pico más alto alcanza los 24 mm, posteriormente llega a los 6 mm (Figura 89). Adicionalmente, 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).

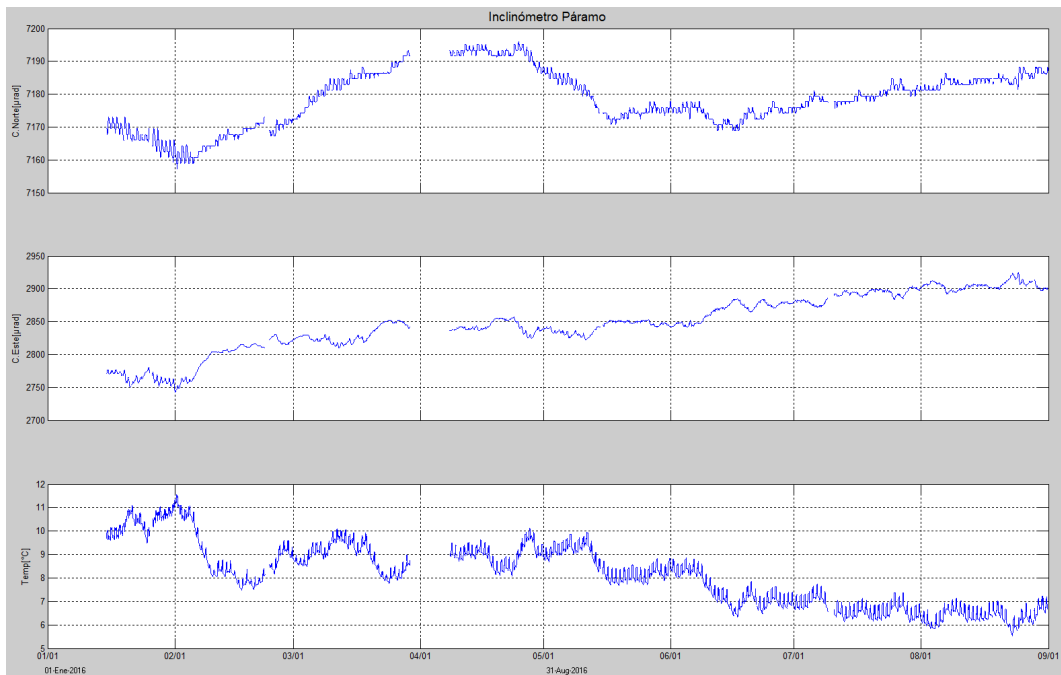




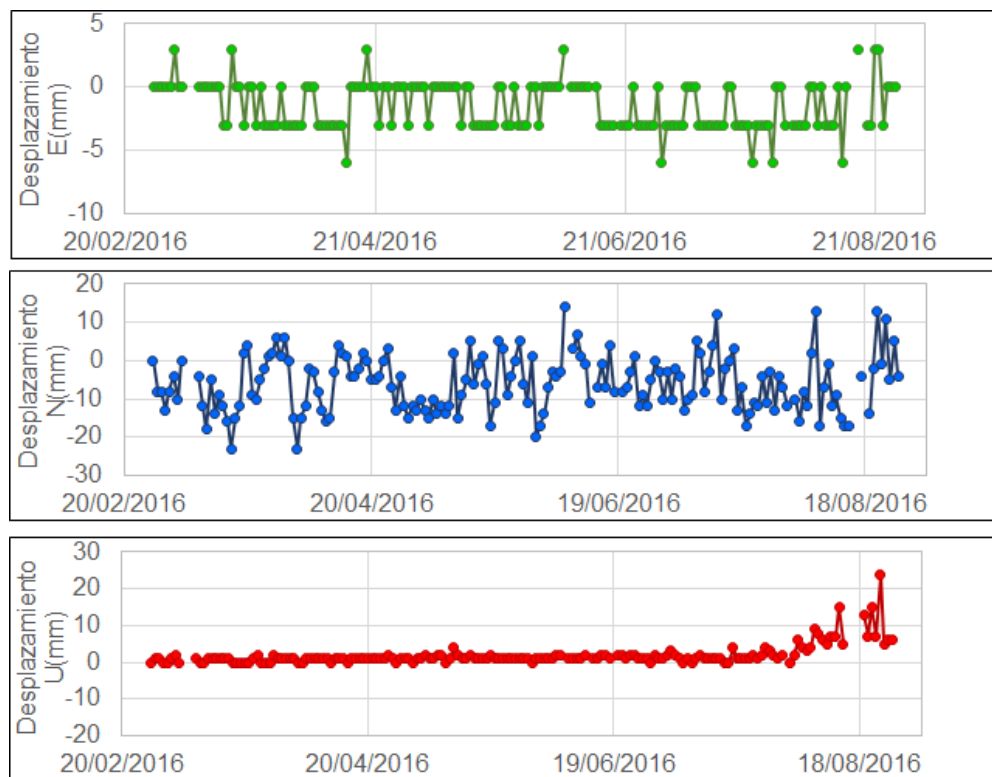
**Figura 86.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de agosto de 2016.



**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 agosto de 2016.



**Figura 88.** 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 agosto de 2016.



**Figura 89.** 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 26 de agosto de 2016.

#### 4.2.4. Actividad Superficial

Durante el mes de agosto 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 agosto 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 90, Tabla 23). 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 90).

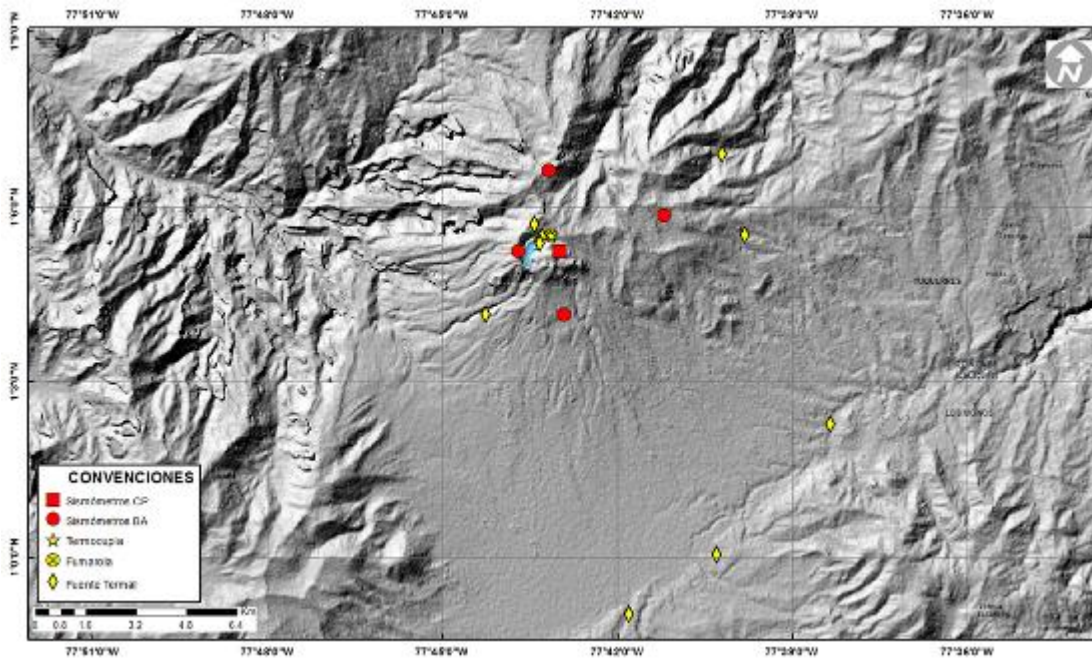
De igual forma con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tienen instaladas tres estaciones GNSS permanentes, muy próximas a las estaciones La Roca, Lobo y Laguna, estos dos últimos GNSS instalados hacia finales de mayo de 2016, así mismo se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por cuatro bases y 12 prismas reflectores (Figura 91).

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

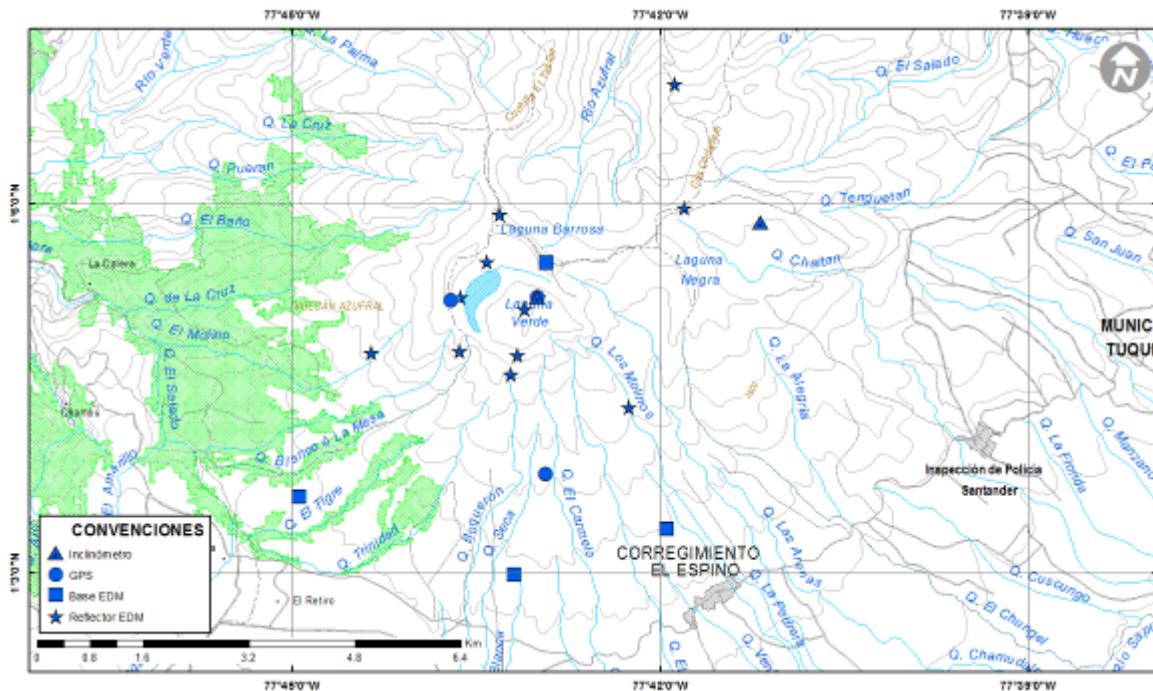
En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 89% para este mes (Figura 92).

**Tabla 23.** Estaciones telemétricas (sísmicas, inclinómetros electrónicos, climatológica, webcam) instaladas en el volcán Azufral.

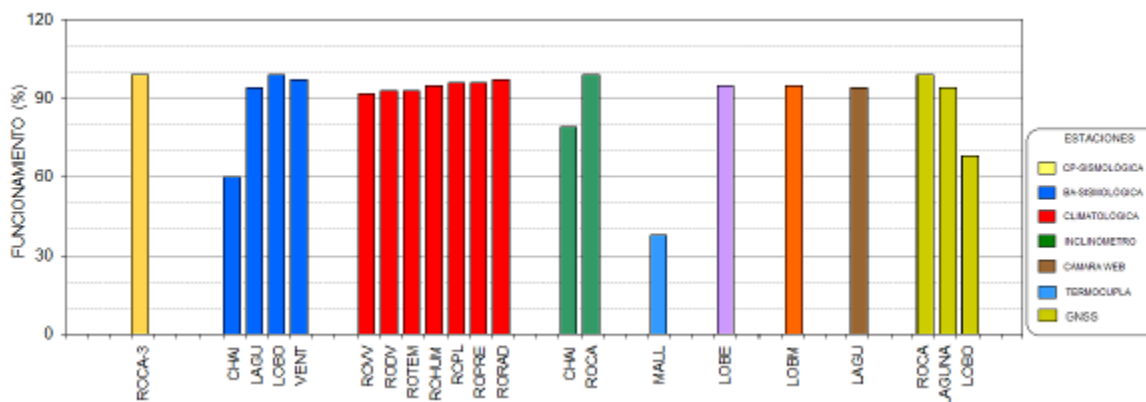
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a la Laguna (Km)	Ubicación Respecto a la Laguna	Altitud (msnm)
La Roca	Análogica	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1,2	E	4025
Chaitán	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	4,3	ENE	3730
Laguna	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	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 90.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de agosto de 2016.



**Figura 91.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación del Volcán Azufreal durante el mes de agosto de 2016.



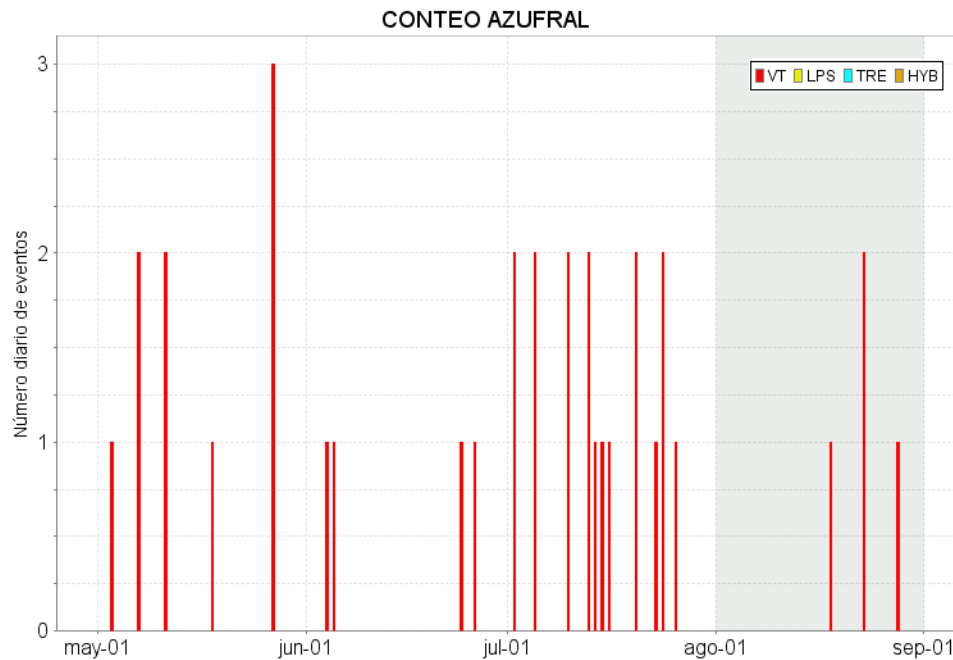
**Figura 92.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufreal durante el mes de agosto de 2016.

### 4.3.2. Sismología

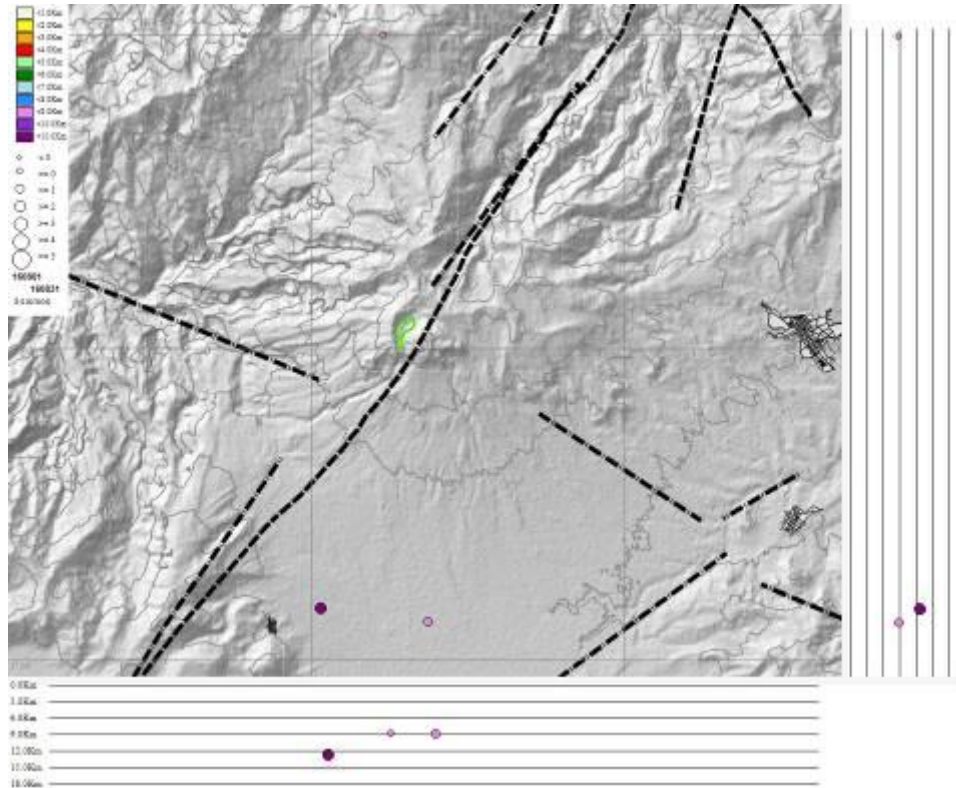
La ocurrencia sísmica en Azufreal mostro un descenso del 76% en comparación con el mes anterior, pasando de 17 a 4 sismos, eventos asociados con fractura de roca (VT) Tabla 24, Figura 93. De los cuales fue posible obtener una solución de localización para tres de ellos, dos se ubicaron hacia el sector sur del edificio volcánico y el otro hacia el costado noroccidental, con profundidades entre 8.7 y 12.7 km. La magnitud local fluctuó entre 0.6 y 2.6 en la escala de Richter (Figura 94). La energía liberada por los sismos localizados fue de  $1.46 \times 10^{15}$  ergios (Figura 95).

**Tabla 24.** Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre mayo y agosto de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

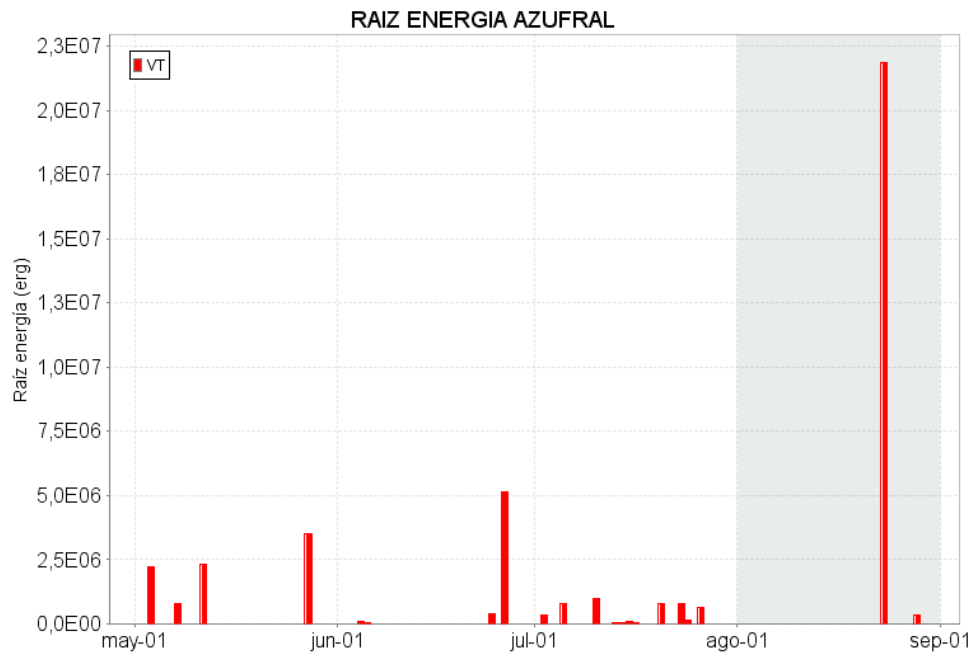
Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-may-16 a 31-may-16	9	9
01-jun-16 a 30-jun-16	4	4
01-jul-16 a 31-jul-16	17	17
01-ago-16 a 31-ago-16	4	4



**Figura 93.** Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre mayo y agosto de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.



**Figura 94.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en agosto de 2016 en el volcán Azufraal. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.



**Figura 95.** Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Azufraal entre el 1 de mayo y el 31 de agosto de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

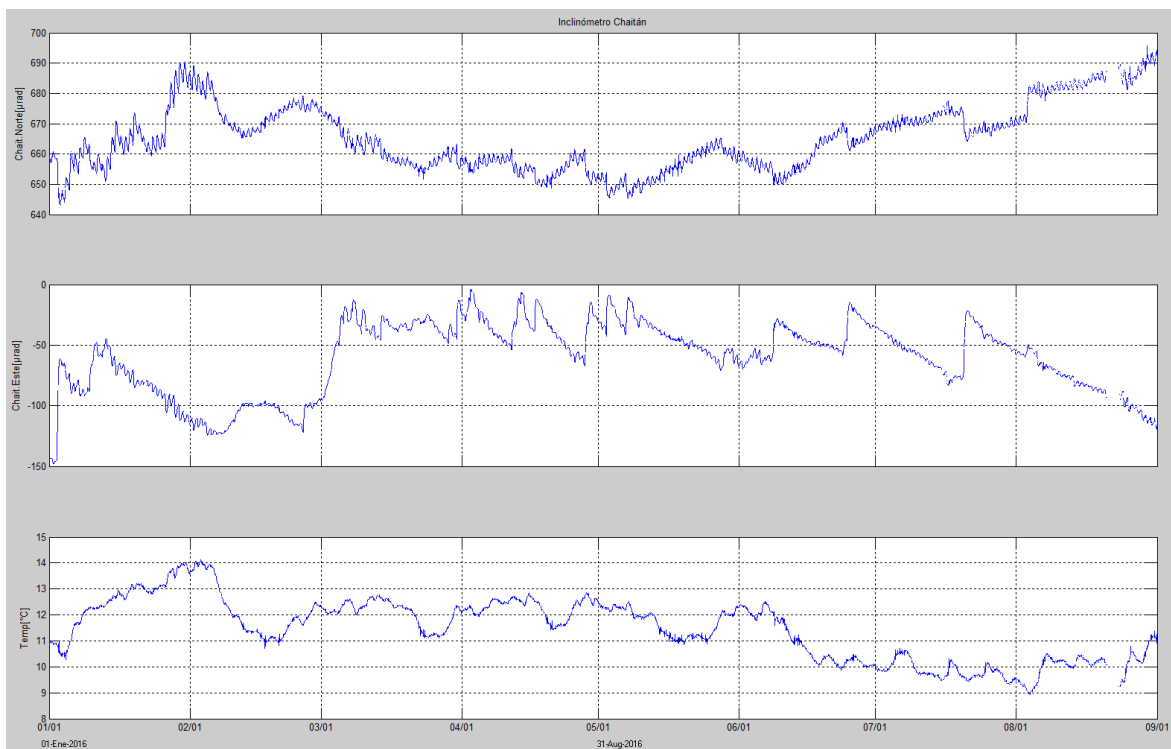
### 4.3.3. Deformación Volcánica

#### 4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Respecto a los procesos deformativos en superficie del edificio volcánico de Azufral, pese a las fluctuaciones en el registro del inclinómetro Chaitán, se observa un comportamiento ascendente en la componente Norte, registrando cerca de 50  $\mu\text{rad}$ , la Este presenta un descenso desde el 21 de julio alcanzando 120  $\mu\text{rad}$  (Figura 96). Continúa la tendencia descendente en las componentes de inclinación del inclinómetro La Roca, sobresaliendo la Este que alcanza 170  $\mu\text{rad}$  desde el 8 de enero, mientras que la Norte registra 38  $\mu\text{rad}$  (Figura 97).

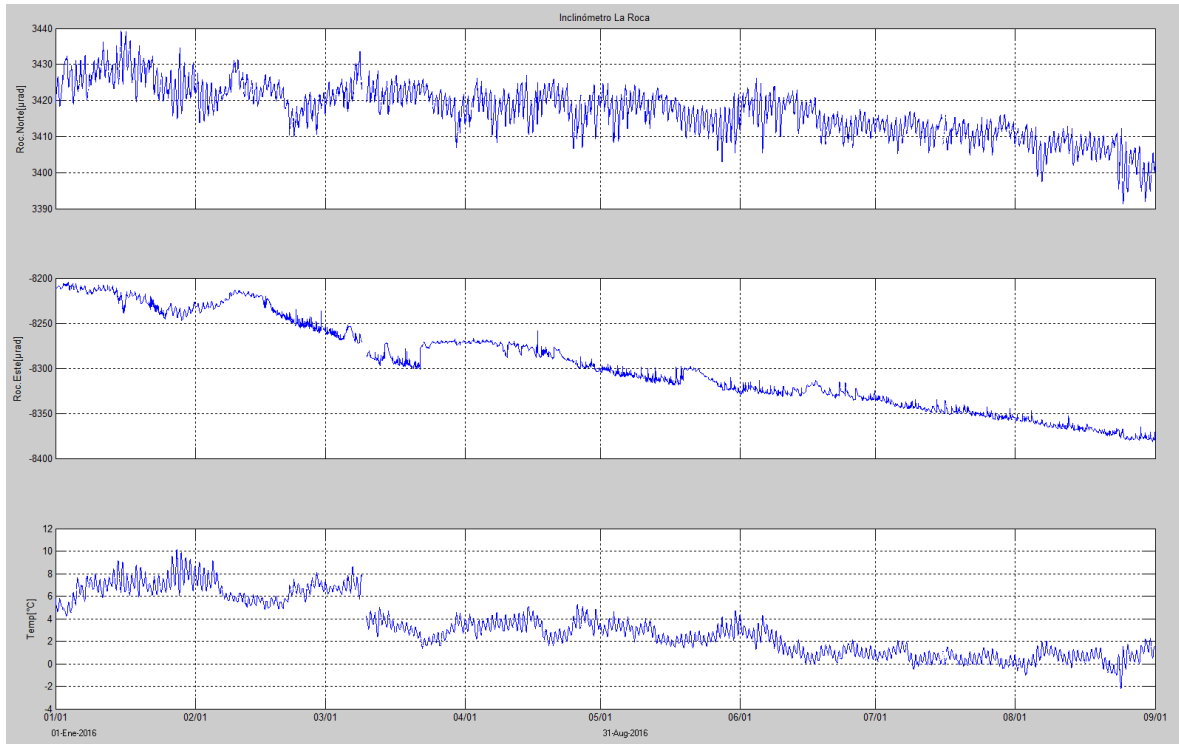
#### 4.3.3.2. Medición Electrónica de Distancias - E.D.M.

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



**Figura 96.** 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 agosto de 2016.





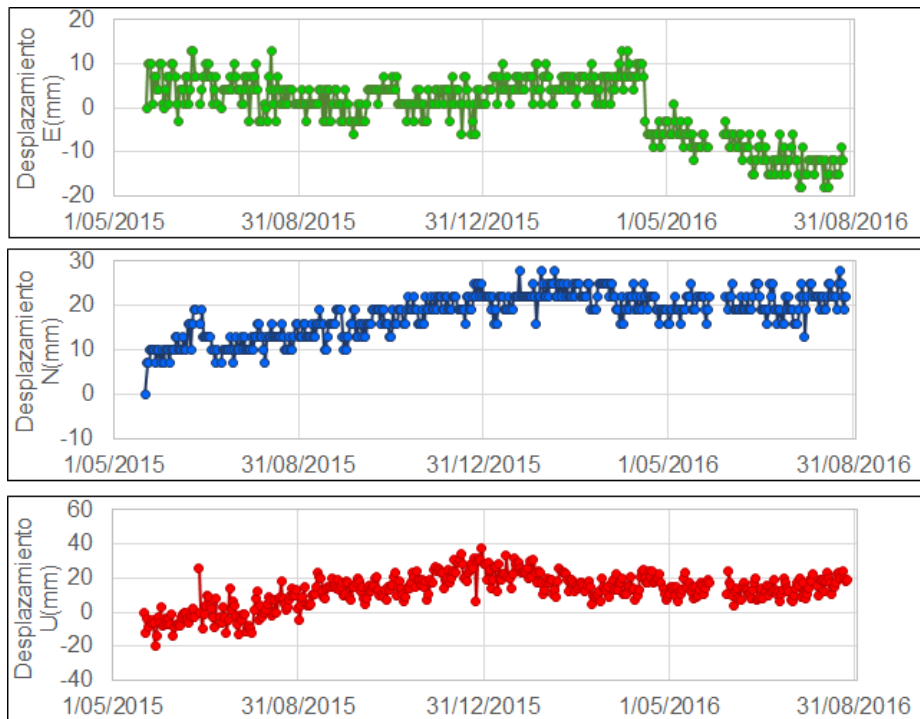
**Figura 97.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de agosto de 2016.

#### 4.3.3.3. Estaciones GNSS Permanentes

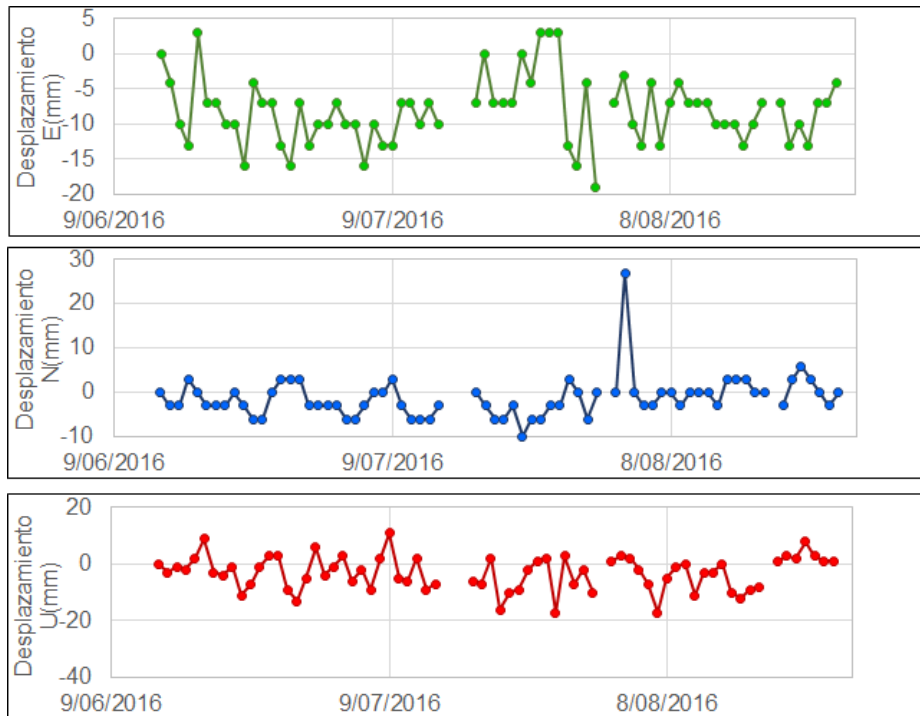
Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, 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 98, 99 y 100 se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y altura de los GNSS La Roca, Laguna y Lobo instalados en Azufral.

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.

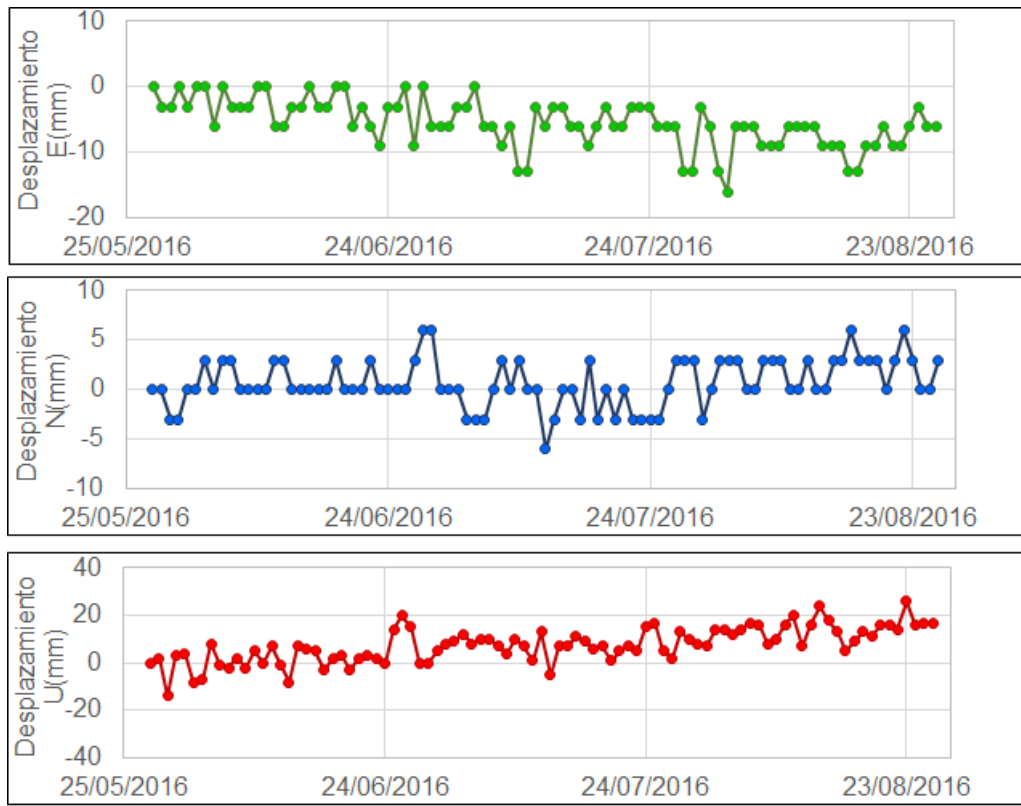
Se resalta la ligera tendencia ascendente en la dirección de la altura de la estación permanente Lobo, alcanzando 17 mm entre el 29 de junio y el 26 de agosto de 2016 (Figura 100).



**Figura 98.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 26 de agosto de 2016.



**Figura 99.** 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 26 de agosto de 2016.



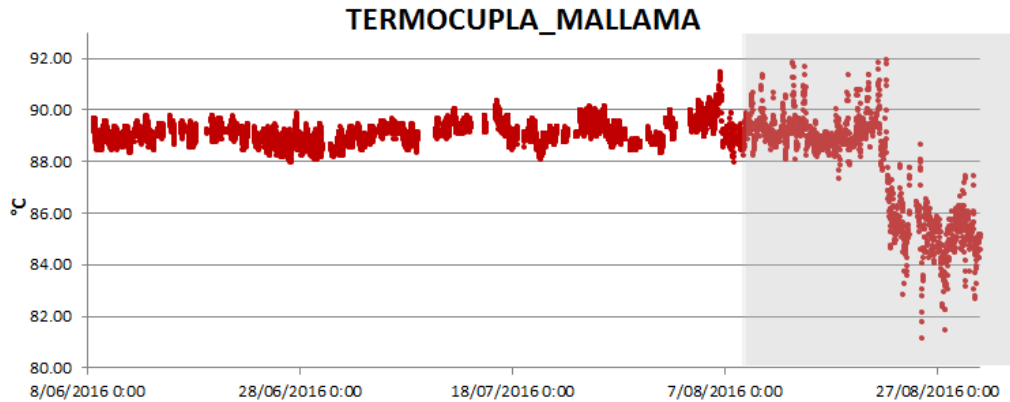
**Figura 100.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalada en el volcán Azufreal, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 26 de agosto de 2016.

#### 4.3.4. GEOQUÍMICA

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

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

En la Figura 101 se registran las variaciones que corresponden a variaciones día-noche. Durante el mes de agosto se registra un valor máximo de 92°C (Tabla 25), se observan variaciones significativas a partir de la última semana de agosto, la temperatura desciende 4°C en promedio. 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.



**Figura 101.** Temperatura estación Térmica domo Mallama – Agosto de 2016.

**Tabla 25.** Valores de temperatura en domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – agosto de 2016.

TEMPERATURA	[°C]
<b>Promedio</b>	89.1
<b>Máximo</b>	92.0
<b>Mínimo</b>	79.6

#### 4.3.5. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables para los días 5, 9, 11, 13, 17, 25, 28, 30 y 31 de agosto, 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 102 a 105 se presentan algunas imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en Azufral.



**Figura 102.** Emisión de gases del domo Mallama, 5 de agosto de 2016 a las 7:34 a.m.



**Figura 103.** Emisión de gases del domo Mallama, 13 de agosto de 2016 a las 8:14 a.m.



**Figura 104.** Emisión de gases del domo Mallama, 25 de agosto de 2016 a las 7:26 a.m.

Se destaca una emisión de gases de color blanco desde el sector de la playita ubicada al noroccidente de la Laguna Verde, que se registró el día 28 de agosto entre las 6:01 y las 9:21 a.m. (Figura 103), ese sector es importante porque fue el punto de salida de las emisiones de azufre líquido que ocurrieron en julio de 2009, agosto de 2010 y mayo de 2016.



**Figura 105.** Emisión de gases por el sector conocido como La Playita, al noroccidente de la Laguna Verde, 28 de agosto de 2016.

#### 4.3.6. Conclusiones

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