

<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	May/2016
Título		INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, CHILES, CERRO NEGRO, LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL. ABRIL 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	Inventario y Monitoreo de Geoamenazas y procesos en las capas superficiales de la tierra - 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.	Abril de 2016.

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DOMINIO</b>
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km <sup>2</sup>	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia del Volcán 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 Azuftral.
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, como 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 Azuftral.
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\abr
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido,	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y

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



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

Edición:

**GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO**

**San Juan de Pasto, mayo de 2016**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ABRIL DE 2016	4
1.1. RED DE VIGILANCIA	4
1.2. SISMOLOGÍA	9
1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	14
1.3.1. Inclínometría Electrónica	14
1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	19
1.4. GEOQUÍMICA	23
1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub>	23
1.4.2. Mediciones de gas Radón – Rn <sub>222</sub>	24
1.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	26
1.6. CONCLUSIONES	29
2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – ABRIL DE 2016	29
2.1. RED DE VIGILANCIA	29
2.2. SISMOLOGÍA	31
2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	35
2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	38
2.5. CONCLUSIONES	40
3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – ABRIL DE 2016	40
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	40
3.2. RED DE VIGILANCIA	41
3.3. SISMOLOGÍA	43
3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	47
3.5. GEOQUÍMICA	50
3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	50
3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	51
3.7. CONCLUSIONES	51
4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ABRIL DE 2016	52
4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS	52
4.1.1. Ubicación Geográfica	52
4.1.2. Red de vigilancia	53
4.1.3. Sismología	55
4.1.4. Deformación Volcánica	56
4.1.5. Actividad Superficial	58
4.1.6. Conclusiones	58
4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA	58
4.2.1. Red de vigilancia	58
4.2.2. Sismología	59
4.2.3. Deformación Volcánica	61
4.2.4. Actividad Superficial	63
4.2.5. Conclusiones	63
4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL	63
4.3.1. Red de vigilancia	63
4.3.2. Sismología	65
4.3.3. Deformación Volcánica	68

4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	68
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias – E:D:M.	68
4.3.3.3.	Estaciones GNSS Permanentes	69
4.3.4.	Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos	70
4.3.5.	Conclusiones	73

## TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de abril de 2016.	5
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de abril de 2016.	6
Tabla 3.	Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de abril 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 enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	9
Tabla 8.	Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	10
Tabla 9.	Emisiones de SO <sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de abril de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	24
Tabla 10.	Valores de concentración de flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Lavas – Abril de 2016.	26
Tabla 11.	Valores de concentración de flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – Abril de 2016.	26
Tabla 12.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de abril de 2016.	30
Tabla 13.	Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	31
Tabla 14.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de abril de 2016.	42
Tabla 15.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	42
Tabla 16.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	44
Tabla 17.	Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	47
Tabla 18.	Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – abril de 2016.	51
Tabla 19.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de abril de 2016.	53
Tabla 20.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas registrados entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	55

Tabla 21.	Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.	58
Tabla 22.	Estaciones telemétricas (sísmicas, inclinómetros electrónicos, climatológica, webcam y GNSS) instaladas en el volcán Azufral.	64
Tabla 23.	Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	66

## 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 abril de 2016.	6
Figura 2	Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros, GNSS y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de abril 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 abril de 2016.	8
Figura 4	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de abril 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 enero y abril 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 abril (barras de la derecha) respecto al mes de marzo (barras de la izquierda).	10
Figura 7	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de marzo y abril 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 enero y el 30 de abril de 2016.	11
Figura 9	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para abril de 2016 (barras de la derecha) respecto a marzo de 2016 (barras de la izquierda).	11
Figura 10	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para marzo y abril de 2016.	12
Figura 11	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de abril de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3.0 km de profundidad.	12
Figura 12	Sismograma de la estación sísmica Anganoy, ubicada a 0.8 km respecto al cráter, en el recuadro se resalta el registro del enjambre de eventos ocurrido el 24 de abril, totalizando cerca de 449 sismos.	13
Figura 13	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 9 de abril de 2016, a las 2:16 p.m., registrando 54 segundos de duración y frecuencia dominante de 6 Hz.	13
Figura 14	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 11 de abril de 2016, a las 9:26 p.m., registrando 77 segundos de duración y frecuencia dominante de 5.95 Hz.	14
Figura 15	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu$ rad), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	15

Figura 16	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Córdor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	15
Figura 17	Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	16
Figura 18	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	16
Figura 19	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	17
Figura 20	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	17
Figura 21	Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	18
Figura 22	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	18
Figura 23	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 29 de abril de 2016.	19
Figura 24	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de mayo de 2014 y el 29 de abril de 2016.	20
Figura 25	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Córdor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 29 de abril de 2016.	20
Figura 26	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 29 de abril de 2016.	21
Figura 27	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 29 de abril de 2016.	21
Figura 28	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 enero de 2015 y el 29 de abril de 2016.	22
Figura 29	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 1 de enero de 2015 y el 29 de abril de 2016.	22
Figura 30	Flujo de emisión de $\text{SO}_2$ registrado desde el 1 de enero de 2016 hasta el 30 de abril de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	23
Figura 31	Flujo de emisión de $\text{SO}_2$ , dirección y velocidad del viento para el mes de abril de 2016.	24
Figura 32	Concentración de gas radón en suelo - estación telemétrica LAVAS – Abril de 2016.	25
Figura 33	Concentración de gas radón en suelo - estación telemétrica PARQUES – Abril de 2016.	25
Figura 34	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 3 de abril de 2016, en horas de la tarde 6:01 p.m. y 6:10 p.m., capturadas desde las cámaras de Bruma y Barranco.	26
Figura 35	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 4 de abril de 2016, en horas de la mañana 6:53 a.m. y 8:24 a.m., capturadas desde las cámaras de Bruma y Barranco.	27



Figura 36	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 5 de abril de 2016, en horas de la mañana 6:31 a.m. y 6:40 a.m., capturadas desde las cámaras de Bruma y Barranco.	27
Figura 37	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 11 de abril de 2016, en horas de la tarde 3:40 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.	27
Figura 38	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 12 de abril de 2016, en horas de la mañana 6:45 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Bruma.	28
Figura 39	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 29 de abril de 2016, en horas de la mañana 5:49 a.m. y 6:33 a.m., capturadas desde la cámara de Barranco y Bruma.	28
Figura 40	Imágenes de la parte interna del cráter principal de Galeras, resaltando emisión de gases desde algunos cráteres secundarios, fotografías capturadas por personal del Observatorio el 27 de abril de 2016 en labores de campo.	29
Figura 41	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de abril de 2016.	30
Figura 42	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de abril de 2016.	31
Figura 43	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre enero y abril de 2016.	32
Figura 44	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de abril de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de marzo de 2016 (barras de la izquierda).	32
Figura 45	Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para marzo y abril de 2016.	33
Figura 46	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 30 de abril de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).	33
Figura 47	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 5 de abril de 2016, a las 5:18 p.m., registrando 80 segundos de duración y una frecuencia dominante de 5.35 Hz y subdominante de 3.39 Hz.	34
Figura 48	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 12 de abril de 2016, a las 6:11 a.m., registrando 32 segundos de duración y una frecuencia dominante de 1.9 Hz.	34
Figura 49	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de abril de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de abril de 2016.	35
Figura 50	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	36
Figura 51	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 30 de abril de 2016.	36
Figura 52	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	37
Figura 53	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	37
Figura 54	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 4 de abril de 2016.	38

Figura 55	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 5 de abril de 2016, a las 6:26 p.m.	38
Figura 56	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 14 de abril de 2016, a las 7:56 a.m.	39
Figura 57	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 29 de abril de 2016, a las 6:31 a.m.	39
Figura 58	Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	40
Figura 59	Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de abril de 2016.	41
Figura 60	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 abril de 2016.	43
Figura 61	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 abril 30 de 2016.	44
Figura 62	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 enero y abril de 2016.	45
Figura 63	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de abril de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de marzo de 2016 (barras de la izquierda).	45
Figura 64	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en abril de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	46
Figura 65	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	47
Figura 66	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	48
Figura 67	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 30 de abril de 2016.	49
Figura 68	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	49
Figura 69	Componentes de inclinación Este del inclinómetro Cerro Negro y Norte del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalados en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre octubre de 2015 y abril de 2016, resaltando el cambio de tendencia en las dos componentes.	50
Figura 70	Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – abril de 2016.	51
Figura 71	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.	52
Figura 72	Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	53
Figura 73	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de abril de 2016.	54
Figura 74	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante abril de 2016.	54

Figura 75	Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Las Ánimas, en el mes de abril de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.	55
Figura 76	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	56
Figura 77	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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	57
Figura 78	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 13 de diciembre de 2015 y el 16 de abril de 2016.	57
Figura 79	Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	59
Figura 80	Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en abril de 2016.	59
Figura 81	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de enero y abril de 2016.	60
Figura 82	Localización epicentral e hipocentral del sismo registrado en el volcán Doña Juana, en el mes de abril de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	60
Figura 83	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	61
Figura 84	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	62
Figura 85	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 30 de abril de 2016.	62
Figura 86	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 24 de febrero y el 15 de abril de 2016.	63
Figura 87	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de abril de 2016.	64
Figura 88	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de abril de 2016.	65
Figura 89	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de abril de 2016.	65
Figura 90	Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre enero y abril de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.	66
Figura 91	Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en abril 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.	67
Figura 92	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	68

Figura 93	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.	69
Figura 94	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 29 de abril de 2016.	70
Figura 95	Emisión de gases del domo Mallama, 2 de abril de 2016 a las 6:31 a.m.	71
Figura 96	Emisión de gases del domo Mallama, 3 de abril de 2016 a las 6:36 a.m.	71
Figura 97	Emisión de gases del domo Mallama, 4 de abril de 2016 a las 6:01 a.m.	72
Figura 98	Emisión de gases del domo Mallama, 14 de abril de 2016 a las 7:06 a.m.	72
Figura 99	Emisión de gases del domo Mallama, 29 de abril de 2016 a las 7:11 a.m.	73

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del mes de abril 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 abril 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 abril de 2016, la actividad sísmica de Galeras fue dominada por eventos relacionados con fracturamiento de roca (VT). En comparación con el mes anterior, para este periodo se observó un incremento en la ocurrencia de los sismos y en la energía liberada; el mayor aporte en energía provino de los eventos clasificados como VT con el 95% 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 incremento cercano al 33% en comparación con el mes anterior.

La mayoría de los sismos localizados se ubicaron en dirección suroccidente a nororiente, concentrándose principalmente muy próximos al cráter volcánico, cuyas profundidades estuvieron entre 0.1 y los 17.5 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes locales menores a 2 en la escala de Richter, los más próximos al cráter mostraron magnitudes menores a 1. Se resalta el enjambre de sismos presentado el 24 de abril, totalizando cerca de 449 eventos y de igual forma el registro de dos eventos de Largo Periodo tipo tornillo (TOR), los cuales presentaron duraciones de 54 y 77 segundos de duración.

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 14 mediciones de emisiones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) a la atmósfera, con valores entre bajos a moderados para Galeras. El valor máximo de flujo de SO<sub>2</sub> del periodo evaluado, fue de 910 Tn/día, registrado el 20 de abril 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 19, 22 y 24 de abril), 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 ligero descenso en la ocurrencia diaria de sismicidad. En este mes se tuvo registro de dos eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, cuyas frecuencias dominantes fueron de 1.9 y 5.35 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 1.8 en la escala de Richter, cerca del 97% inferior a 1.

Fue posible evidenciar emisión de gases en la zona del Complejo Volcánico Cumbal para los días 2, 4, 5, 11, 12, 14, 26, 27, 29 y 30 de abril de 2016.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de abril 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 un importante 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 magnitudes menores a 2 en la escala de Richter y mayor concentración a profundidades entre 2 y 5.5 km. Algunos de estos eventos se ubicaron en inmediaciones de la cima de Chiles. De igual forma para el mes evaluado se tiene la presencia de eventos que por sus características indican movimiento de fluidos de tipo magmático. 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 abril 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 11 eventos asociados con fractura de roca. De estos se localizaron 9 que se ubicaron en dirección suroccidente a nororiente, con magnitudes menores a 1 en la escala de Richter. En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado se tiene registro de un evento clasificado de fractura de material rocoso, el cual se ubicó al occidente del volcán, con una magnitud de 0.1 en la escala de Richter.

En relación al volcán Azufral, predominaron los sismos clasificados como VT, y en comparación con el mes anterior, la sismicidad del volcán presentó incremento en ocurrencia, totalizando 48 eventos. De esta sismicidad se localizaron 35 eventos ubicados principalmente hacia el sector sur y suroccidental del edificio volcánico, con magnitudes menores a 2.2 en la escala de Richter.

Para el periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes principalmente de uno de los domos activos ubicados al nororiente de la Laguna Verde.

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



## 1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ABRIL 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 ( $\text{SO}_2$ ), 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.
- Dos estaciones de transmisión telemétrica para la medición de emisiones del gas Radón ( $\text{Rn-222}$ ) proveniente del suelo, ubicadas por la vía de acceso a la cima del volcán, Lavas 1 y Parques (Figura 3).
- Una estación Multigas, usada para mediciones periódicas en campo.



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 93%. 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 abril de 2016.

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

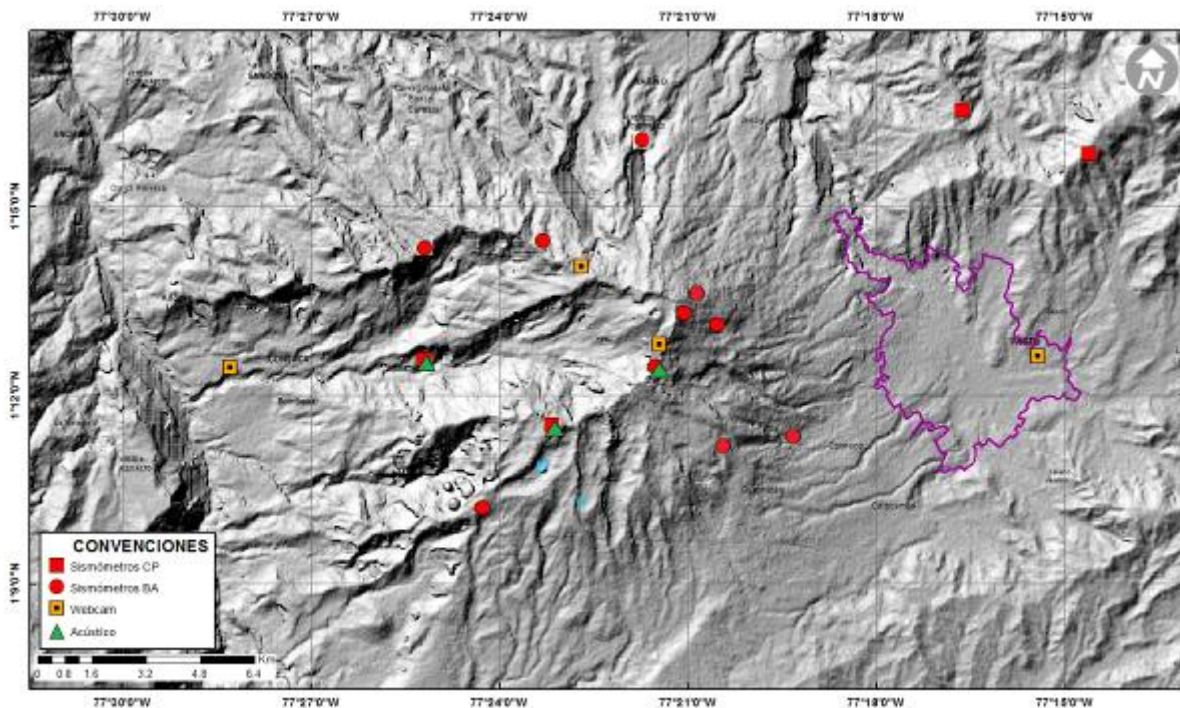
Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGV	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	0.8	E	4170
Cráter-2	CRAZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	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	NR2Z	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 abril de 2016.

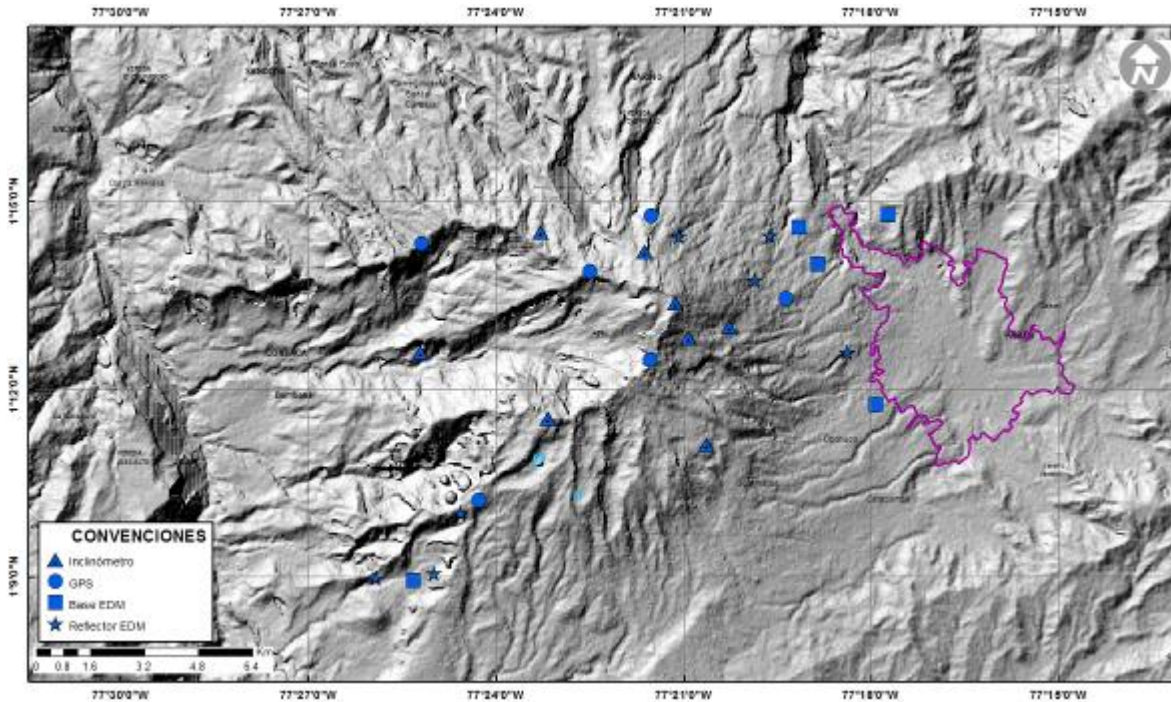
Inclínómetros Electrónicos	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Cráter	0,8	E	4060
Peladitos	1,4	SE	3850
Huairatola	1,7	N	3745
Urcunina	2,3	ESE	3494
Cobanegra	3,9	SSE	3625
Arlés	4,0	NW	3450
Cóndor	4,9	SW	3985
Calabozo	7,1	WSW	2350

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



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

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

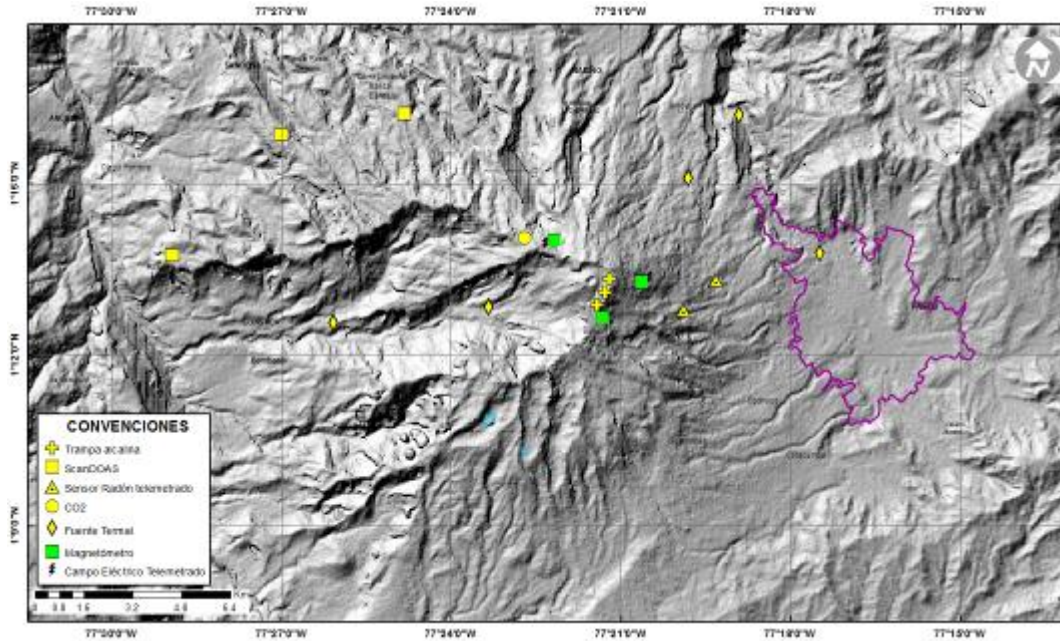
Estación	Distancia al cráter (km)	ángulo del scan (°)	Altura de referencia de la pluma* (m)	Dirección compás (° azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Santa Bárbara	7.9	60	1600	131	NNW	2600
Alto Jiménez	10.8	90	1800	295	NW	2400
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	W	2100

\* 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

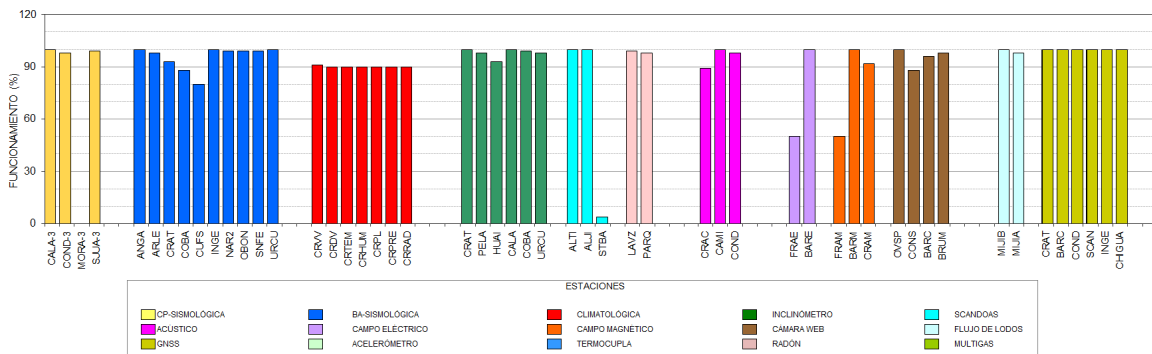




**Figura 3.** Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO<sub>2</sub>, fuentes termales y radón telemetrado que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de abril de 2016.

**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

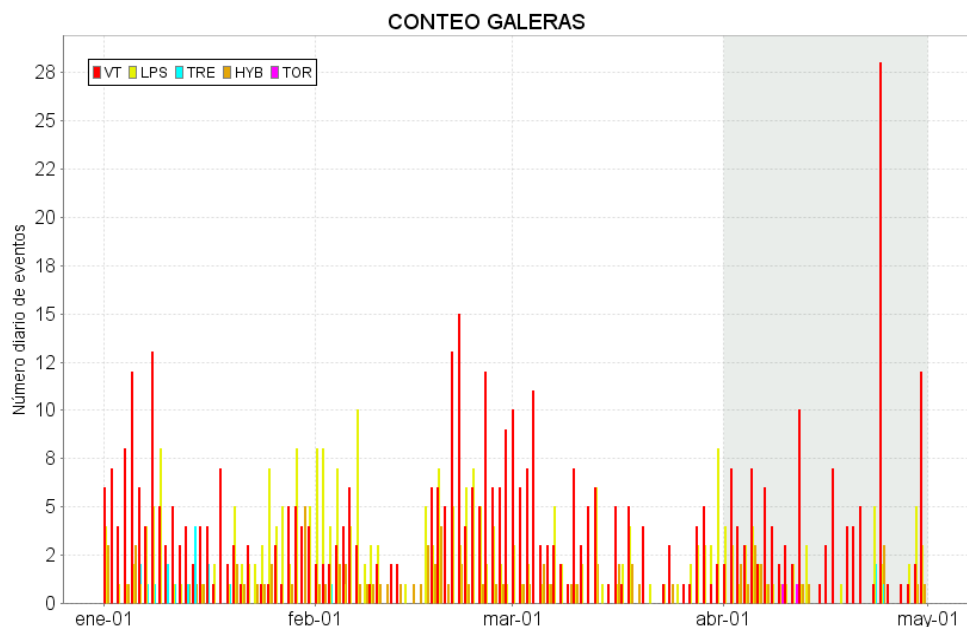


**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de abril de 2016, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

## 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 abril la sismicidad volcánica en ocurrencia mostro un incremento cercano al 11% en relación con el mes anterior, registrándose en total 188 sismos. Los eventos clasificados como LPS (Figura 6) mostraron descenso, mientras que se observó un ascenso en los otros tipos de eventos volcánicos. Los eventos de bajo nivel energético, que no cumplen con los estándares de amplitud y duración, denominados no clasificables (NC), mostraron un notable incremento, próximo al 33% del número presentado en el mes anterior, aporte que provino principalmente del enjambre presentado el 24 de abril.

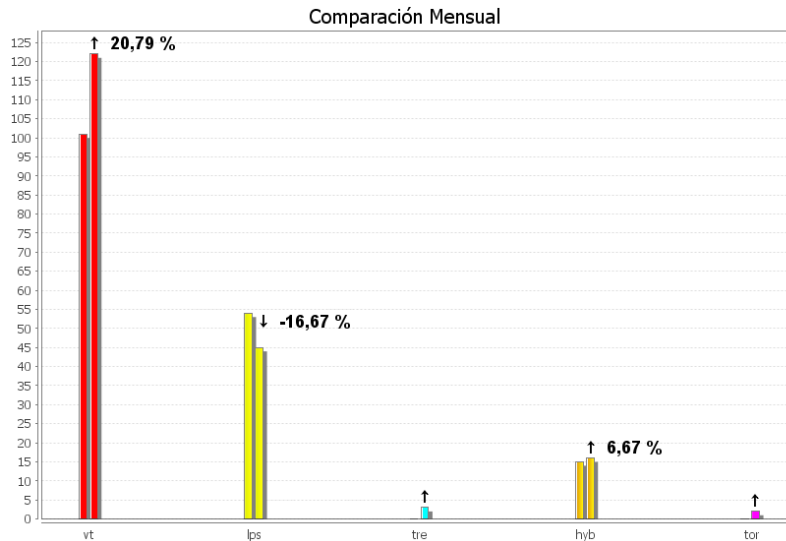
Los eventos tipo TRE presentaron duraciones entre 42 y 98 segundos en la estación Base de clasificación.



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

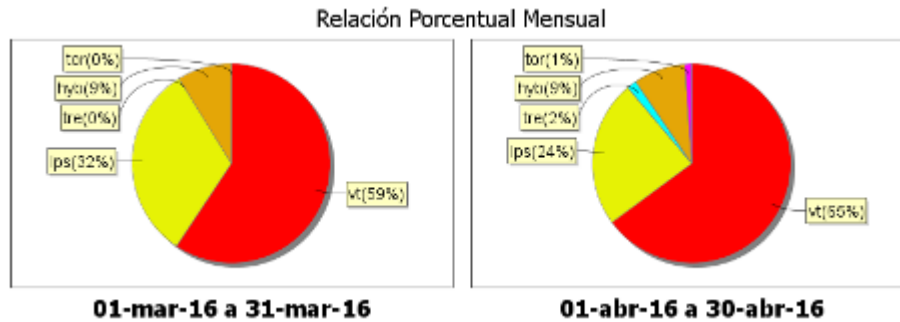
**Tabla 7.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						
	vt	lps	tre	hyb	tor	TOTAL	NO CLASIFICABLES
01-ene-16 a 31-ene-16	131	77	15	23	0	246	553
01-feb-16 a 29-feb-16	122	101	1	30	0	254	538
01-mar-16 a 31-mar-16	101	54	0	15	0	170	663
01-abr-16 a 30-abr-16	122	45	3	16	2	188	880



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

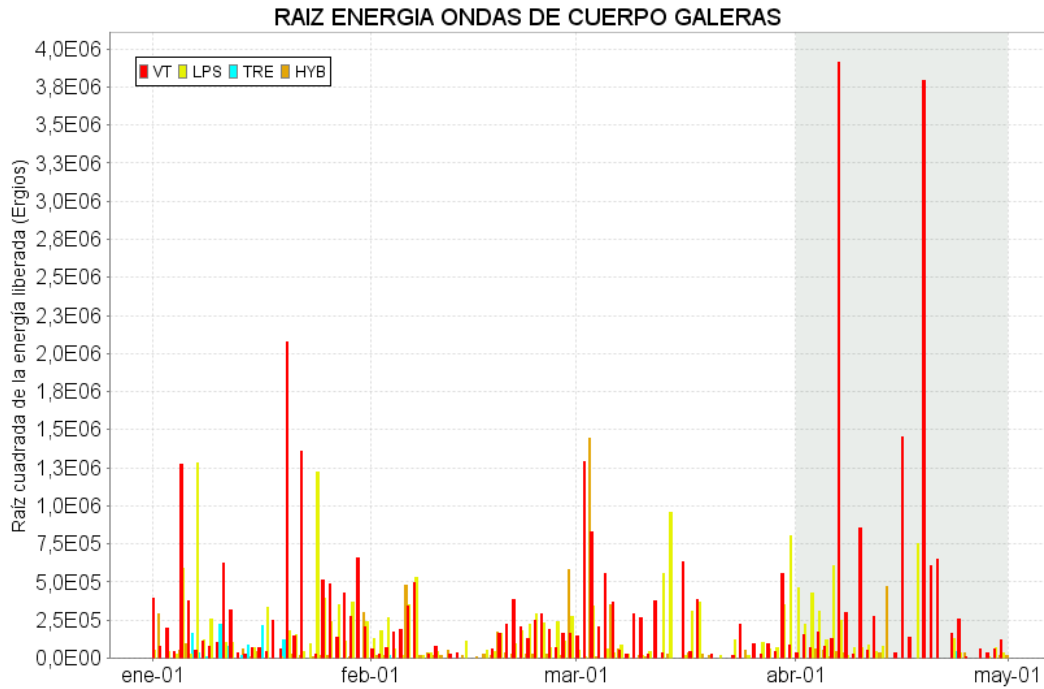


**Figura 7.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de marzo y abril de 2016.

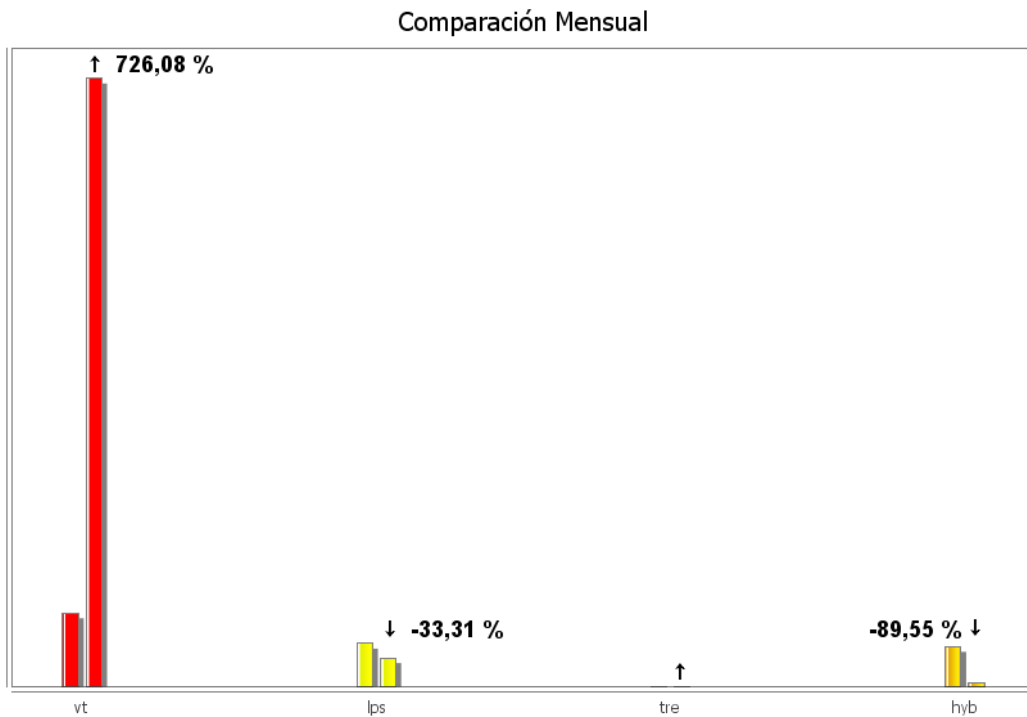
La energía sísmica liberada en abril de 2016 fue de  $3.56 \times 10^{13}$  ergios, observándose un incremento en comparación con el mes de marzo (Tabla 8, Figura 8). En el periodo evaluado, el mayor aporte provino de los eventos tipo VT con el 95% del total (Figuras 8, 9 y 10).

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

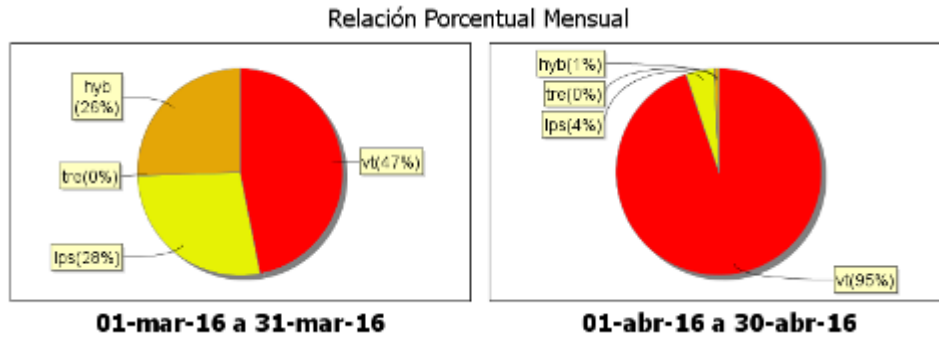
Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-ene-16 a 31-ene-16	1.00E+13	4.30E+12	1.50E+11	1.94E+11	1.46E+13
01-feb-16 a 29-feb-16	9.74E+11	9.45E+11	1.91E+08	6.09E+11	2.53E+12
01-mar-16 a 31-mar-16	4.08E+12	2.40E+12	0	2.22E+12	8.70E+12
01-abr-16 a 30-abr-16	3.37E+13	1.60E+12	1.74E+09	2.32E+11	3.56E+13



**Figura 8.** Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2016.

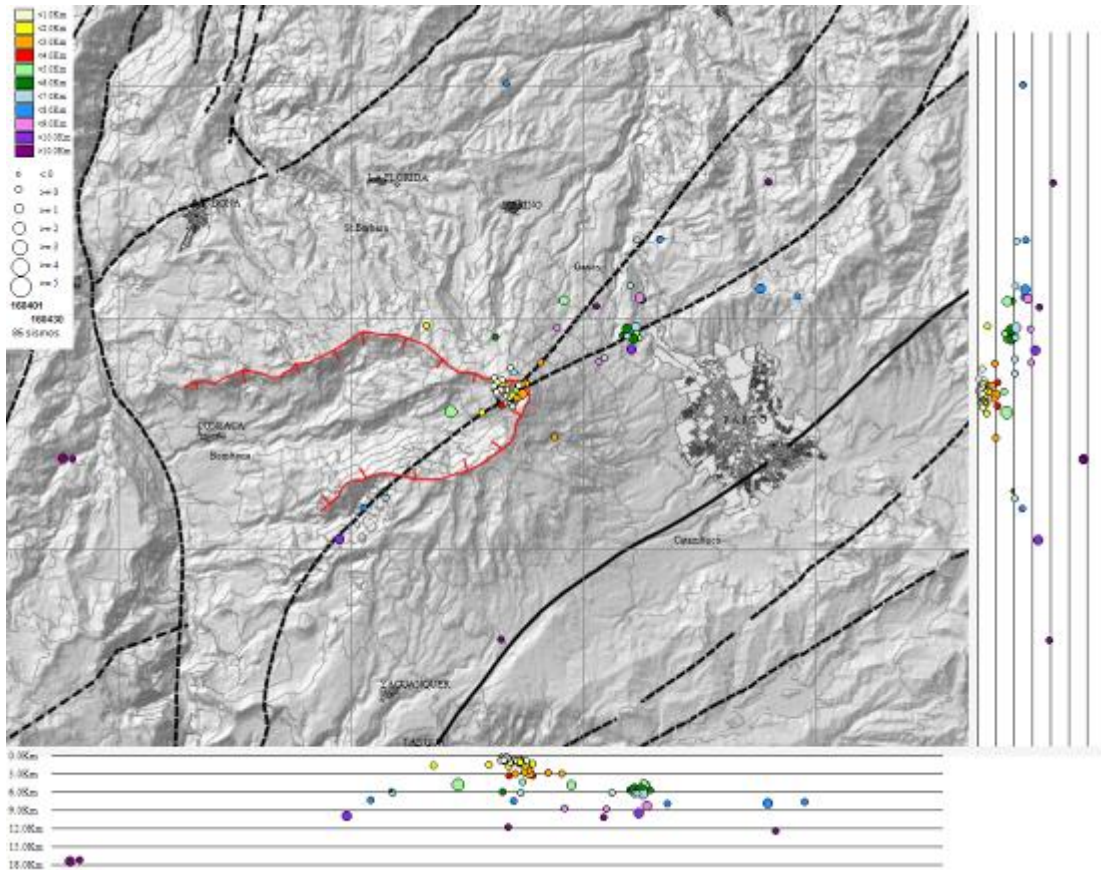


**Figura 9.** Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para abril de 2016 (barras de la derecha) respecto a marzo de 2016 (barras de la izquierda).



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

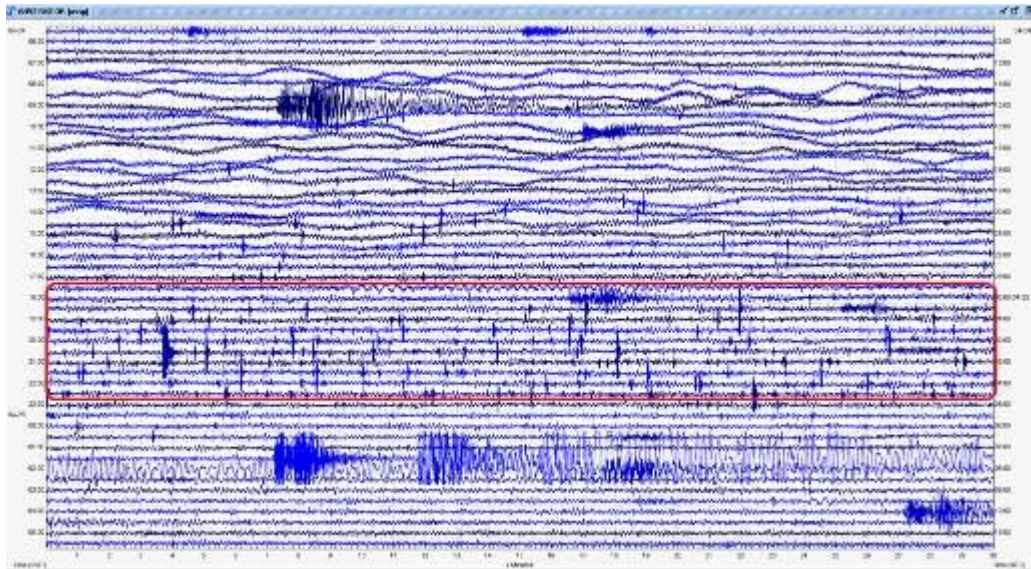
Fue posible obtener una solución de localización para 85 sismos, de los cuales 79 fueron clasificados como VT y 6 como HYB. La mayoría de los sismos se localizaron en dirección suroccidente a nororiental respecto al cráter, concentrándose principalmente muy próximos al cono volcánico, a distancias menores de 1 km y profundidades inferiores a los 3 km, los más dispersos mostraron profundidades de hasta 17.5 km. Las magnitudes locales de los sismos registrados fueron menores a 2 en la escala de Richter, el 84% presentó magnitudes menores a 1 (Figura 11).



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

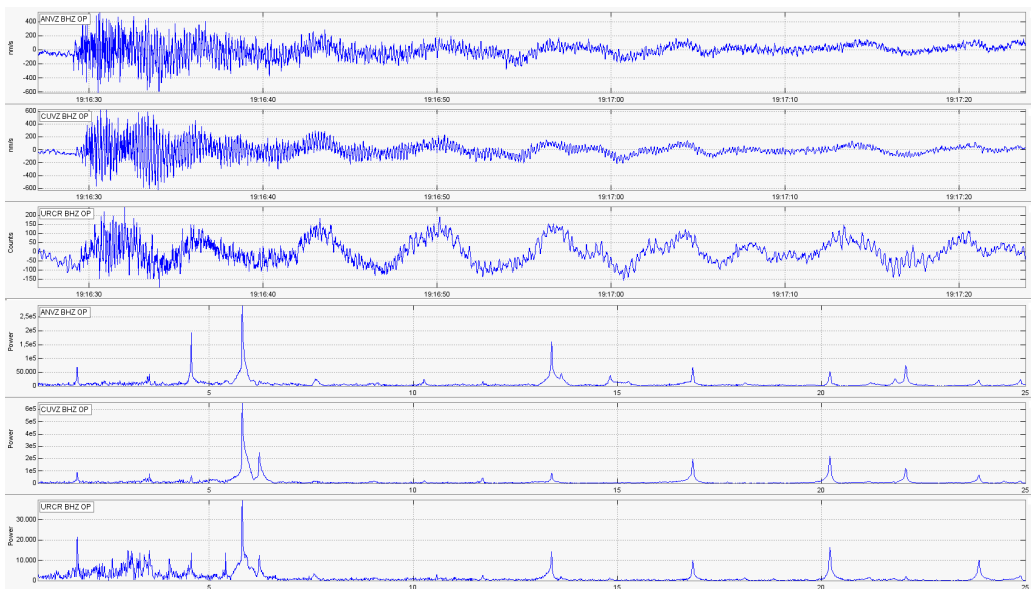


Con respecto a la actividad sísmica presentada a lo largo del periodo evaluado resaltaremos el registro del enjambre de sismos, ocurrido el 24 de abril entre las 7:00 p.m., y las 11:30 p.m., totalizando cerca de 449 eventos, de fuente transitoria (tipo VT) no clasificables (Figura 12).

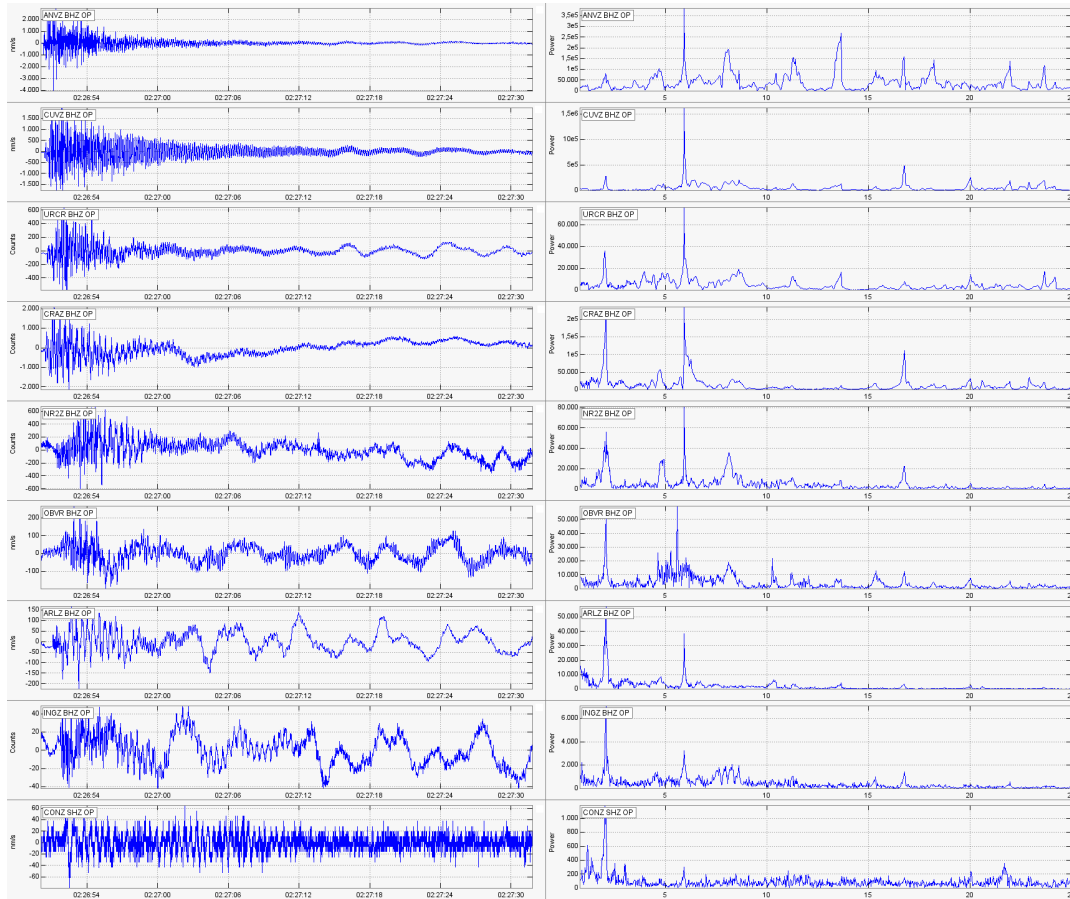


**Figura 12.** Sismograma de la estación sísmica Anganoy, ubicada a 0.8 km respecto al cráter, en el recuadro se resalta el registro del enjambre de eventos ocurrido el 24 de abril, totalizando cerca de 449 sismos.

De igual forma respecto a la actividad sísmica destacaremos la ocurrencia de dos eventos de Largo Periodo que por sus características espectrales se clasificaron como tipo Tornillo, estos presentaron frecuencias dominantes de 6 y 5.95 Hz (Figuras 13 y 14).



**Figura 13.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 9 de abril de 2016, a las 2:16 p.m., registrando 54 segundos de duración y frecuencia dominante de 6 Hz.



**Figura 14.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 11 de abril de 2016, a las 9:26 p.m., registrando 77 segundos de duración y frecuencia dominante de 5.95 Hz.

### 1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

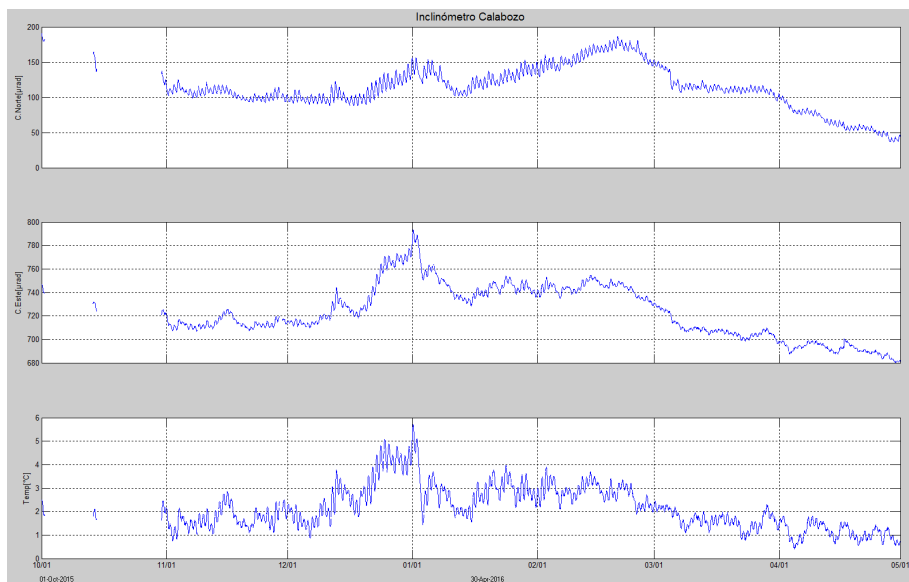
#### 1.3.1. Inclinometría Electrónica

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

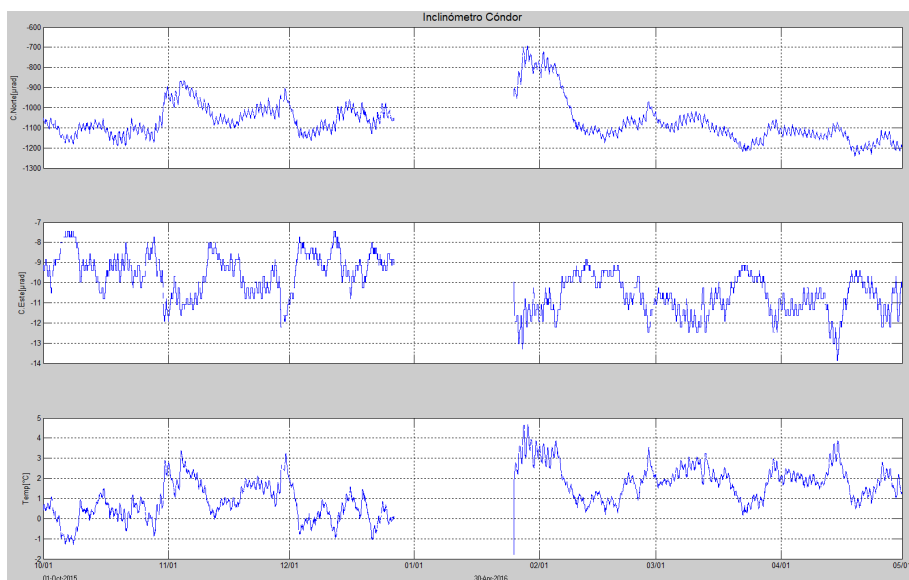
En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, se observó que continúan las tendencias descendentes en las componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Calabozo, acumulando desde el 24 de febrero de 2016, 133 y 60  $\mu$ rad respectivamente (Figura 15). De igual forma se presenta un comportamiento descendente en la componente Norte del inclinómetro Cóndor registrando desde el 11 de marzo cerca de 130  $\mu$ rad, estabilidad en la componente Esta (Figura 16). 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 diciembre de 2015 (Figura 17). En el registro del inclinómetro Arlés es posible evidenciar una tendencia ascendente en la componente Norte la cual acumula desde el mes de febrero 50  $\mu\text{rad}$  y en la Este se observa un comportamiento descendente desde el 8 de marzo con 105  $\mu\text{rad}$  (Figura 18).

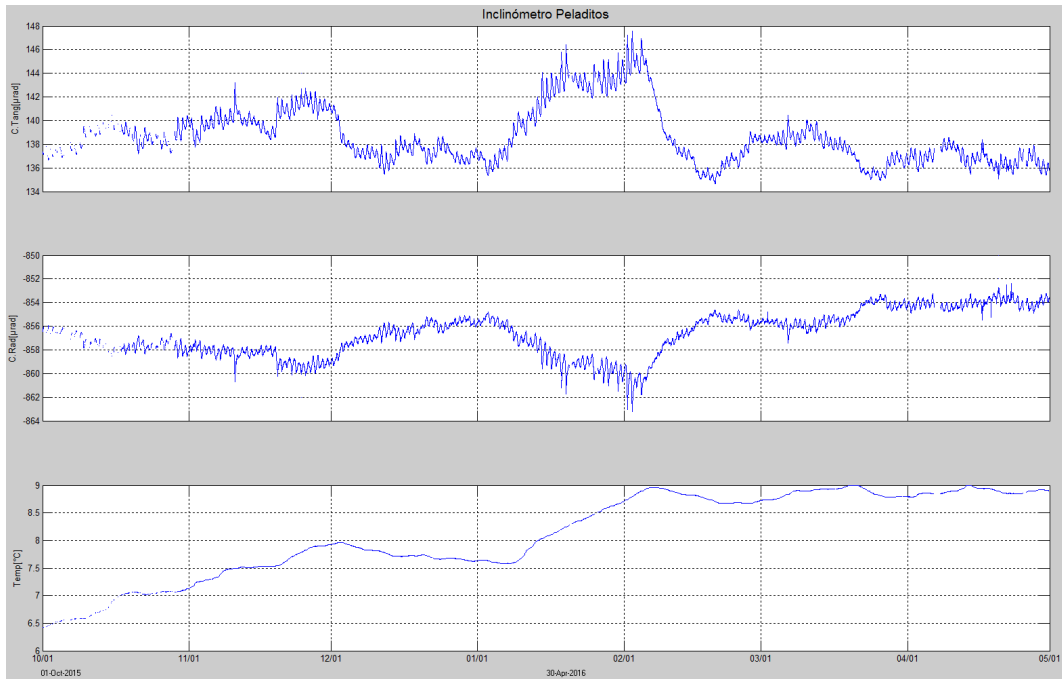
Se presenta estabilidad en los registros de los inclinómetros de Cráter, Cobanegra, Huairatola y Urcunina (Figuras 19, 20, 21 y 22).



**Figura 15.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



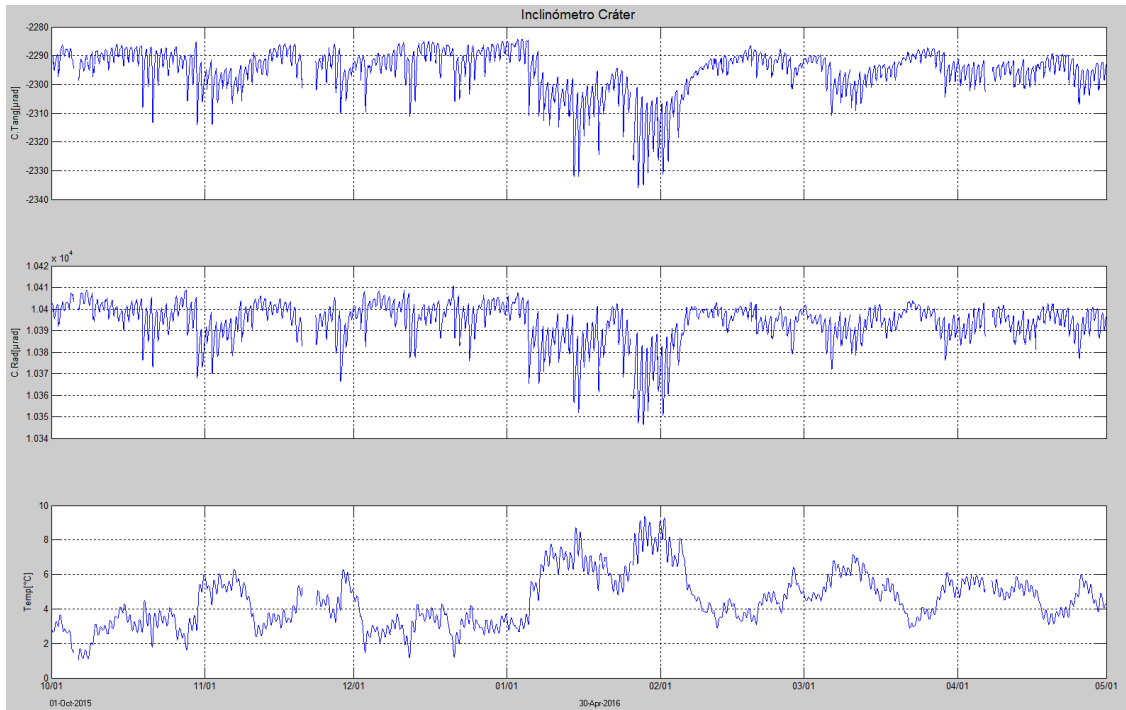
**Figura 16.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Córdor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



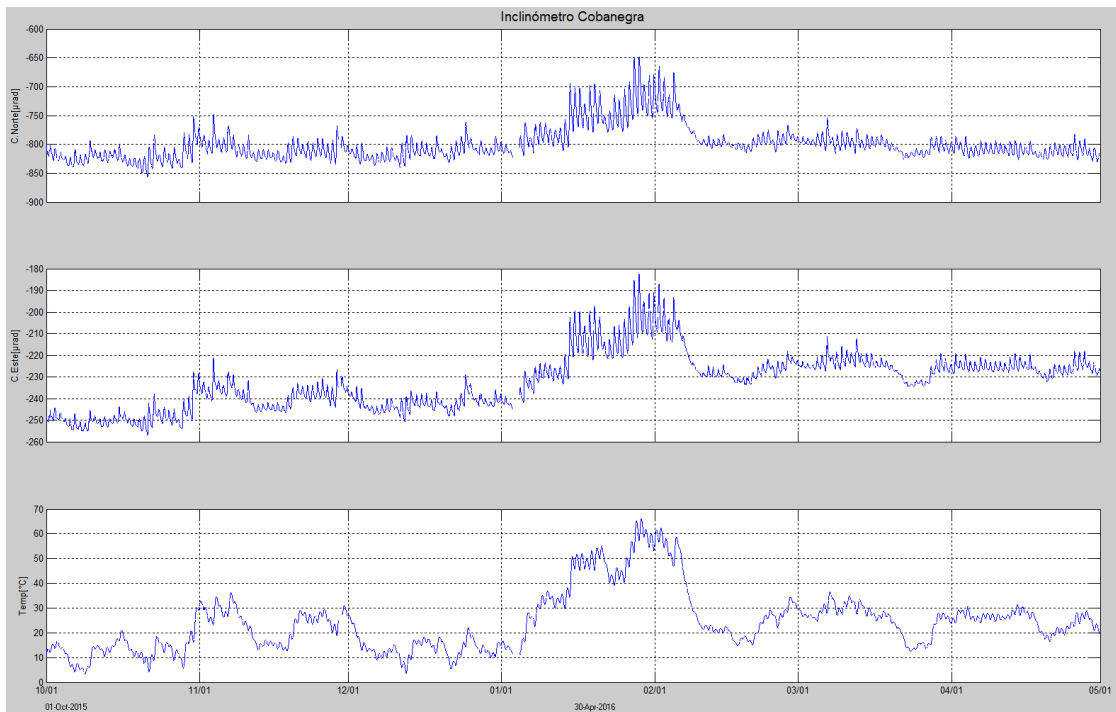
**Figura 17.** Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



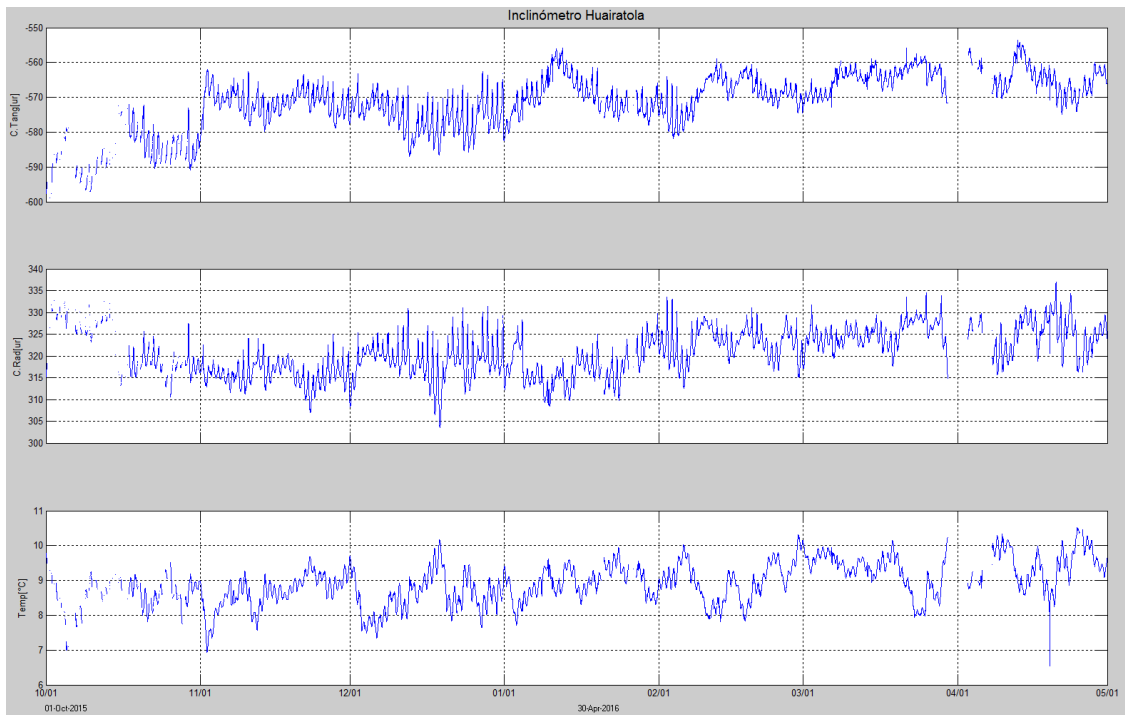
**Figura 18.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



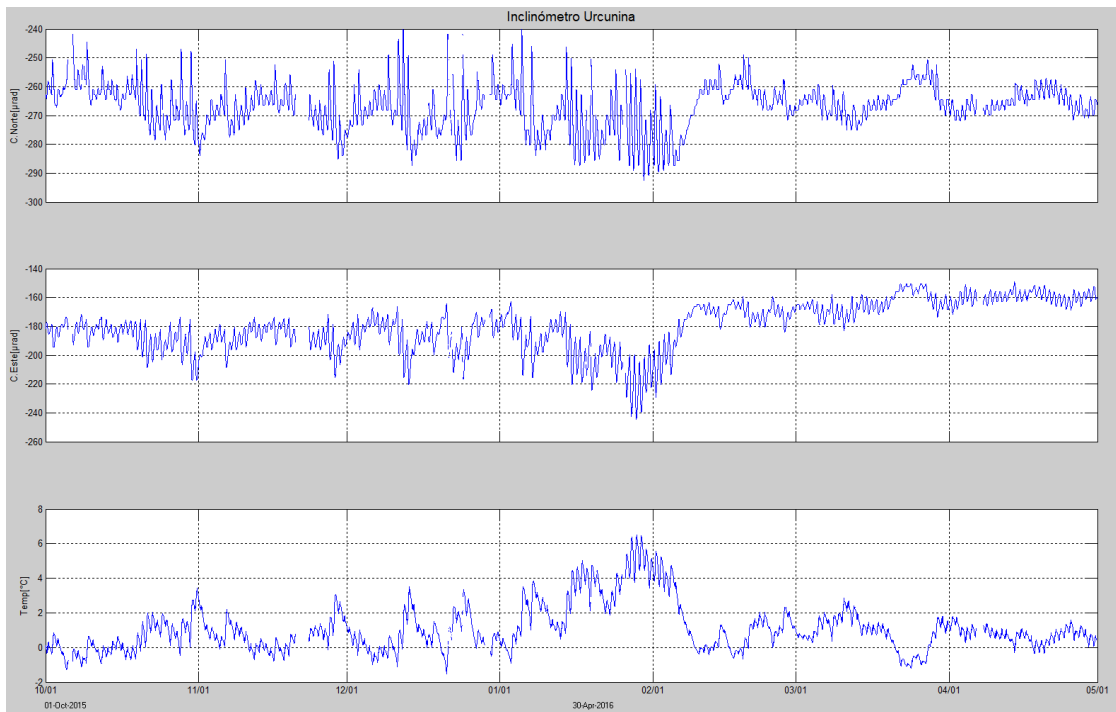
**Figura 19.** Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 20.** 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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 21.** Componentes de inclinación Tangencial y Radial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 22.** 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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.

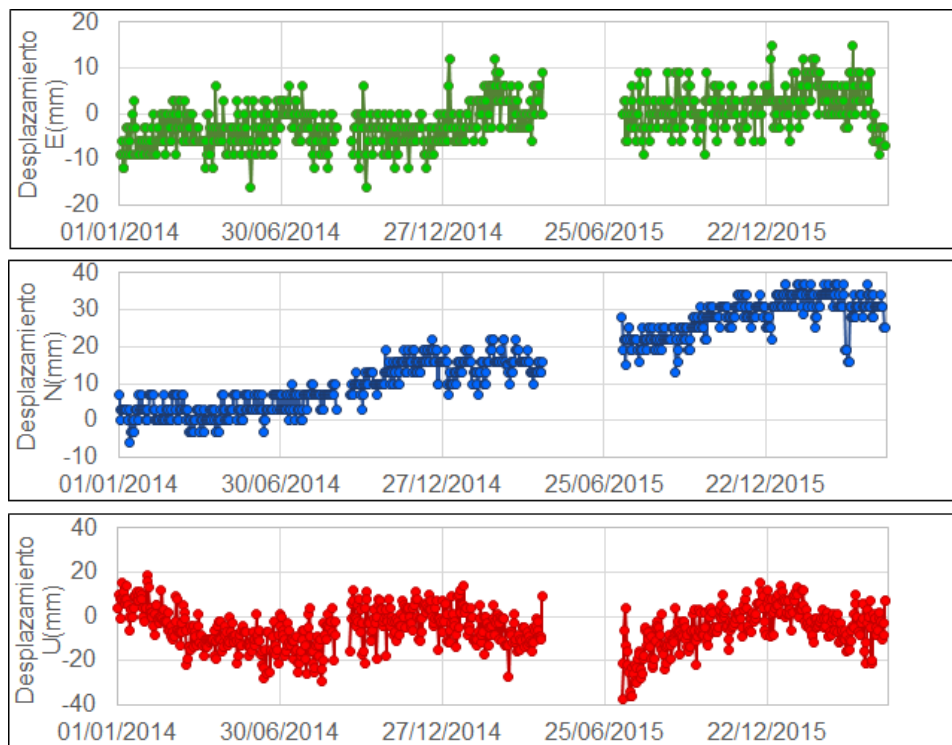


### 1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

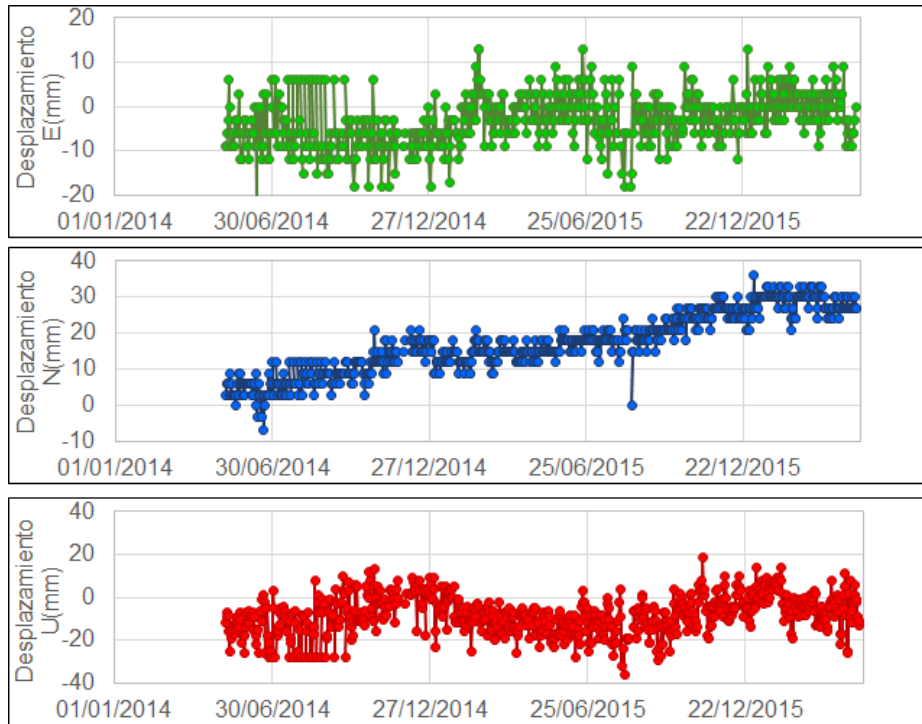
En abril de 2016 se contó con el registro de seis estaciones receptoras GNSS permanentes. Los GNSS Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014 y Córdor se reinstaló el 21 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 23 a 28, se indica el comportamiento de las direcciones de los GNSS instalados en Galeras.

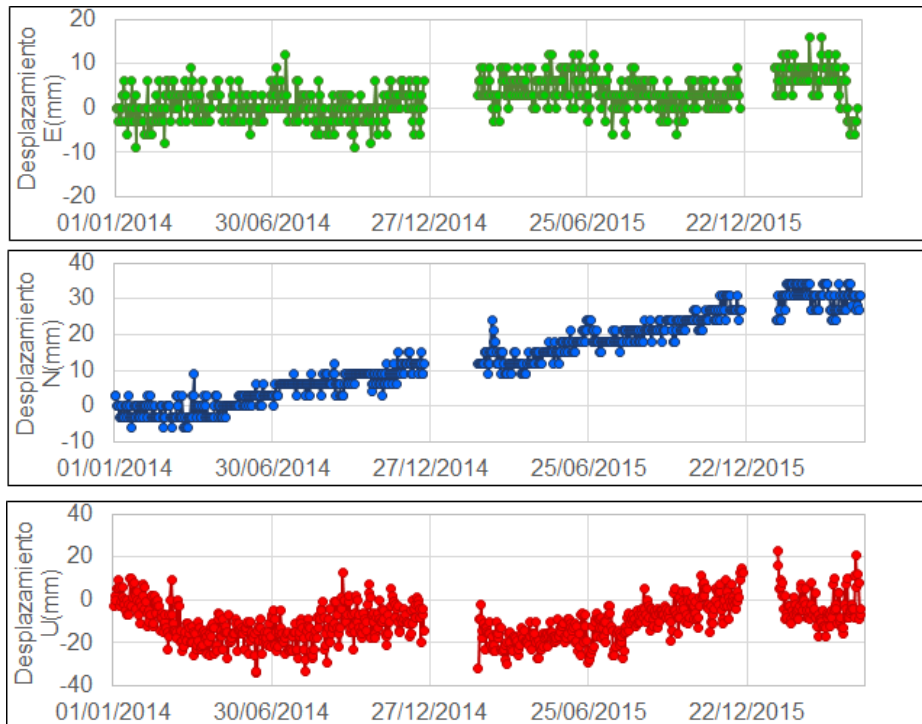
En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que 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 29).



**Figura 23.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 29 de abril de 2016.

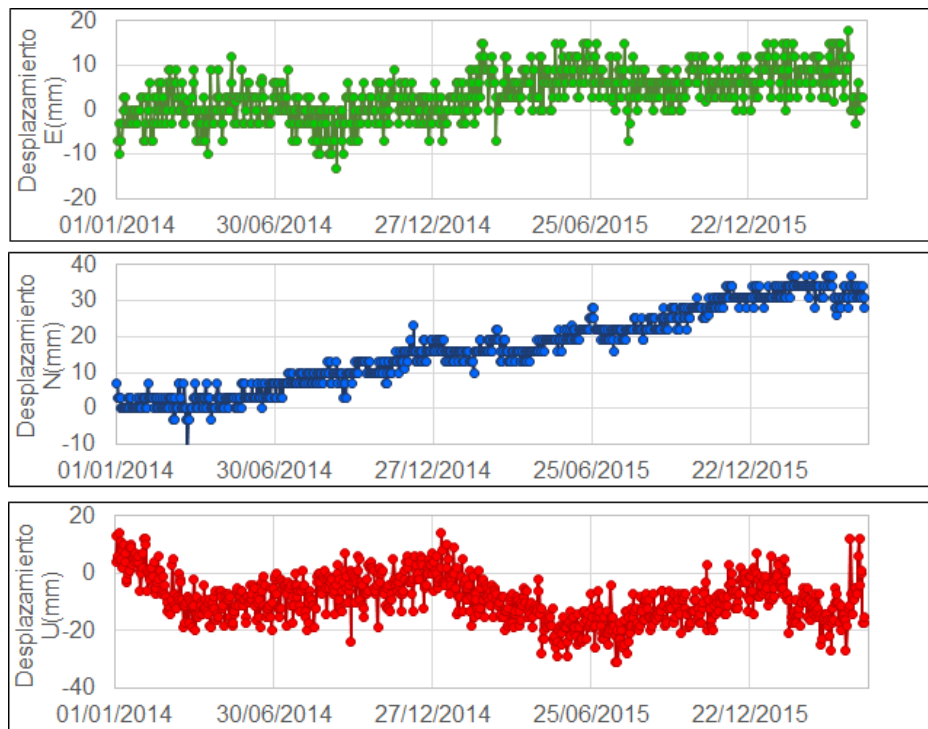


**Figura 24.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de mayo de 2014 y el 29 de abril de 2016.

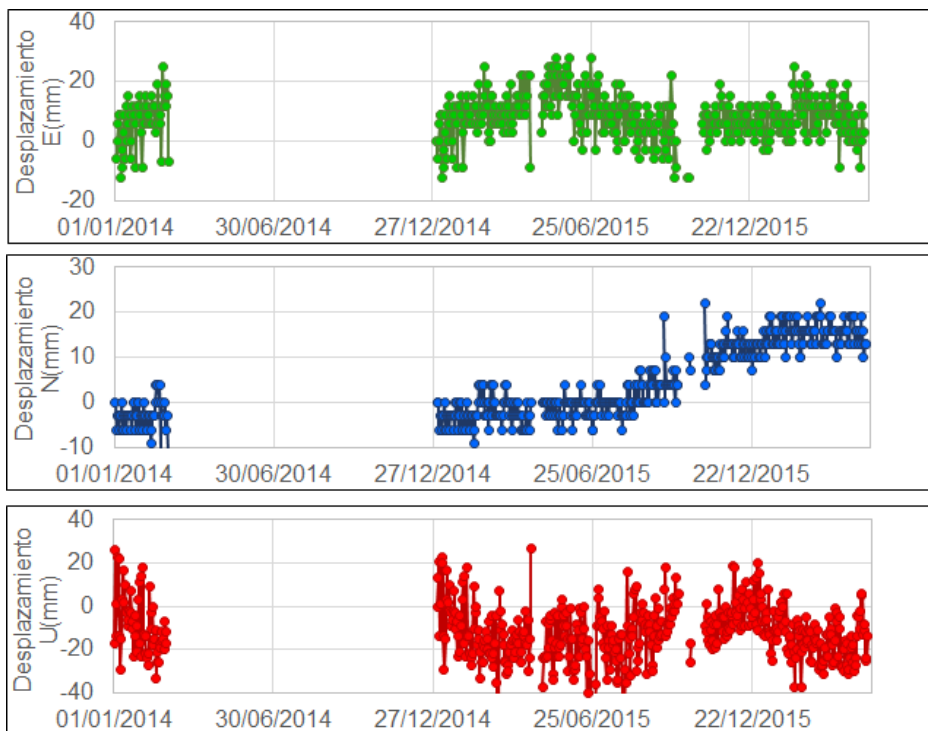


**Figura 25.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 29 de abril de 2016.

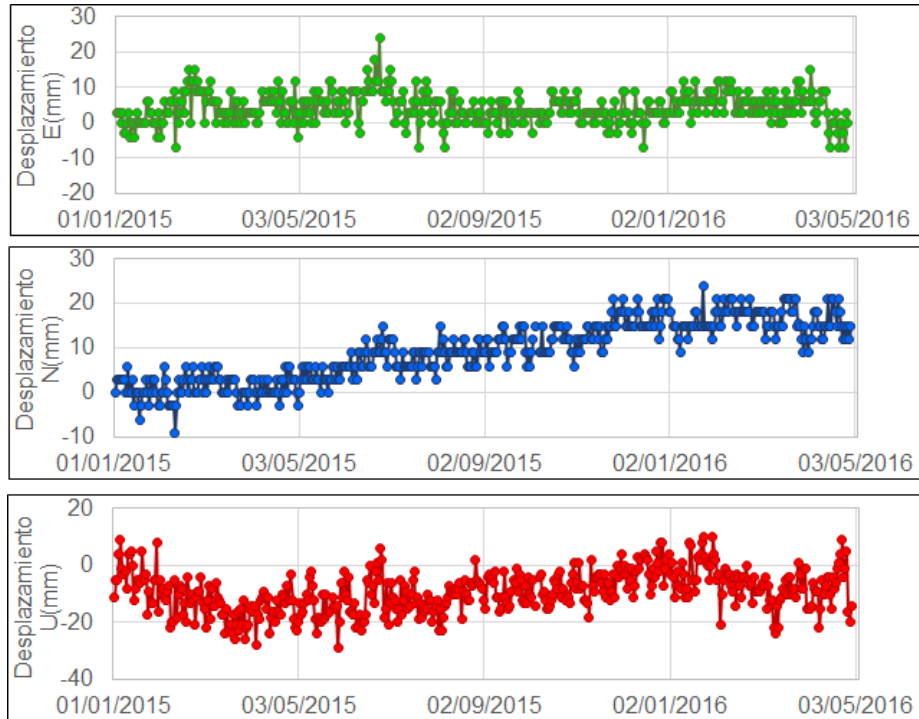




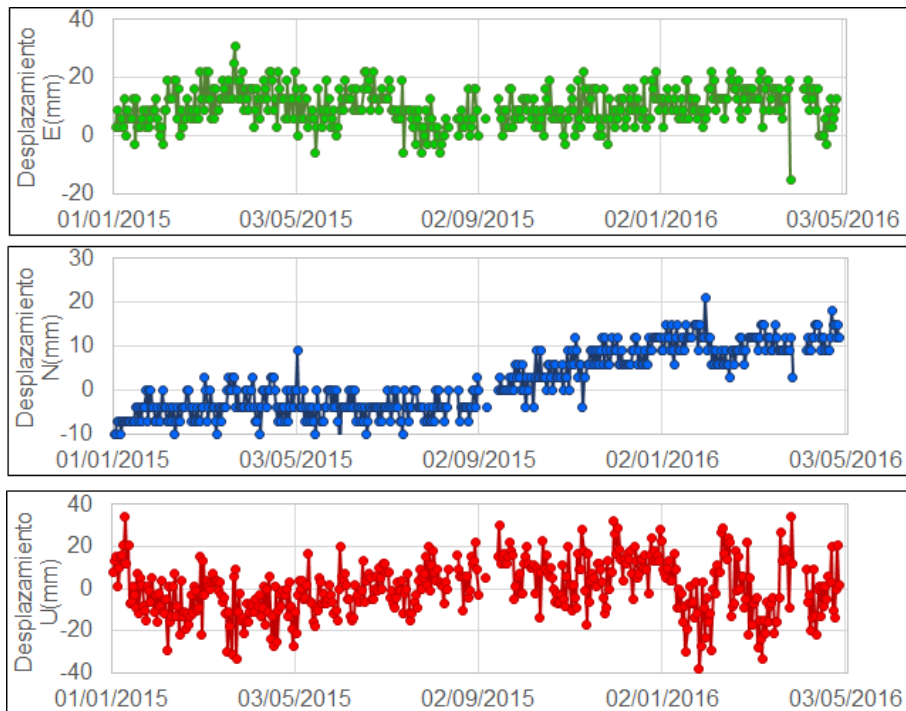
**Figura 26.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 29 de abril de 2016.



**Figura 27.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 29 de abril de 2016.



**Figura 28.** 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 enero de 2015 y el 29 de abril de 2016.



**Figura 29.** 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 1 de enero de 2015 y el 29 de abril de 2016.

## 1.4. GEOQUÍMICA

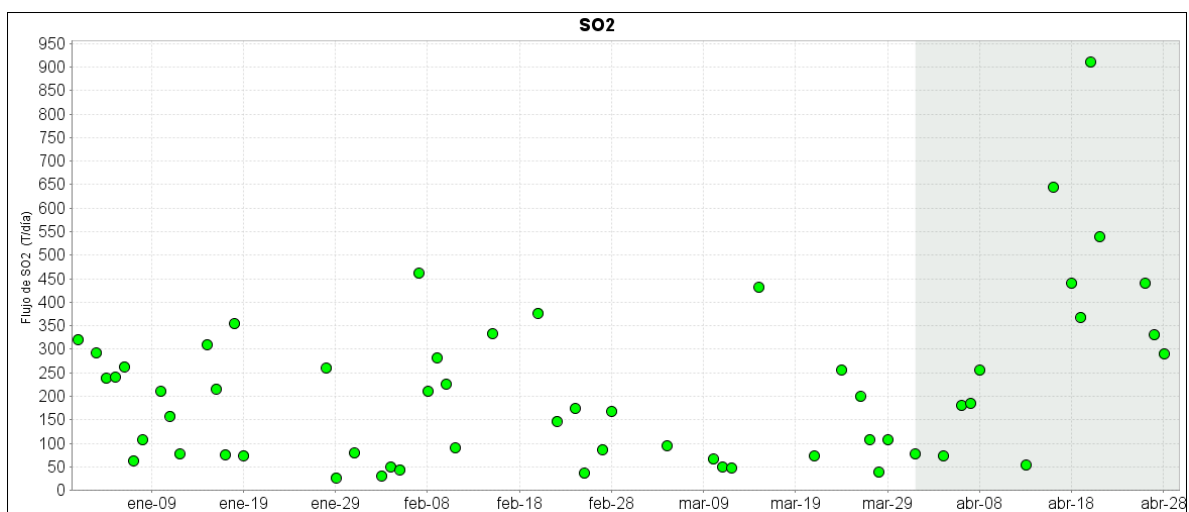
En cuanto a las emisiones de gases de origen volcánico en la zona de influencia del volcán Galeras, durante el mes de abril de 2016 se efectuaron mediciones de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) en la atmosfera, con las estaciones permanentes ScanDOAS. Además, se realizaron mediciones de emisión del 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 ubicadas 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 abril para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, registrando valores de emisión entre 73 Ton/día hasta 910 Ton/día, valores considerados como bajos a moderados para Galeras; mientras que para la estación Santa Bárbara, no se tiene registro de escaneos (Figuras 30 y 31, Tabla 9).



**Figura 30.** Flujo de emisión de  $\text{SO}_2$  registrado desde el 1 de enero de 2016 hasta el 30 de abril 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 abril 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
01-abr-16	03:48 PM	326.1	1	77	Alto Tinajillas	SCANDOAS
04-abr-16	03:45 PM	348.5	1	73	Alto Tinajillas	SCANDOAS
06-abr-16	02:11 PM	332.5	6.4	180	Alto Tinajillas	SCANDOAS
07-abr-16	02:41 PM	346.6	3.9	185	Alto Tinajillas	SCANDOAS
08-abr-16	09:13 AM	340.7	4.4	255	Alto Tinajillas	SCANDOAS
13-abr-16	03:07 PM	1.6	1	53	Alto Tinajillas	SCANDOAS
16-abr-16	01:05 PM	350.1	9.7	645	Alto Tinajillas	SCANDOAS
18-abr-16	01:23 PM	331	9.5	440	Alto Tinajillas	SCANDOAS
19-abr-16	02:00 PM	350.2	5.4	368	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-abr-16	08:04 AM	76.5	12	910	Alto Jimenez	SCANDOAS
21-abr-16	03:51 PM	338.1	7.4	539	Alto Tinajillas	SCANDOAS
26-abr-16	03:43 PM	343.6	6	440	Alto Tinajillas	SCANDOAS
27-abr-16	08:43 AM	348.6	6.2	330	Alto Jimenez	SCANDOAS
28-abr-16	01:28 PM	337.8	4	290	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 tal y como se observa en la gráfica en comparación con meses anteriores, fue posible observar actividad superficial en Galeras desde las cámaras web instaladas en cercanías del volcán. Se registran variaciones en la velocidad del viento para los flujos de SO<sub>2</sub> de hasta los 9.7 m/s y una dirección del viento predominante a 330° Azimut aproximadamente (Figura 31). El mayor flujo de SO<sub>2</sub> registrado durante el mes se presentó el día 20 de abril con un valor de 910 Ton/día, considerado como un flujo moderado para el volcán Galeras.



**Figura 31.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub>, dirección y velocidad del viento para el mes de abril de 2016.

#### 1.4.2. Mediciones del gas Radón - Rn<sub>222</sub>

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 las Figuras 32 y 33 se presentan la gráficas del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, se pueden observar en las estaciones Lavas y Parques variaciones propias de la difusión de radón en el sitio donde se ubica actualmente el sensor, sin variaciones significativas en comparación con el mes de anterior. Se continuará realizando seguimiento a estas variaciones para poder evaluar este comportamiento y su relación con la actividad volcánica. Se presentan un máximo de concentración de 93488 Bq/m<sup>3</sup> y 83095 Bq/m<sup>3</sup> para las estaciones Lavas y Parques respectivamente (Figura 32 y 33; Tablas 10 y 11).

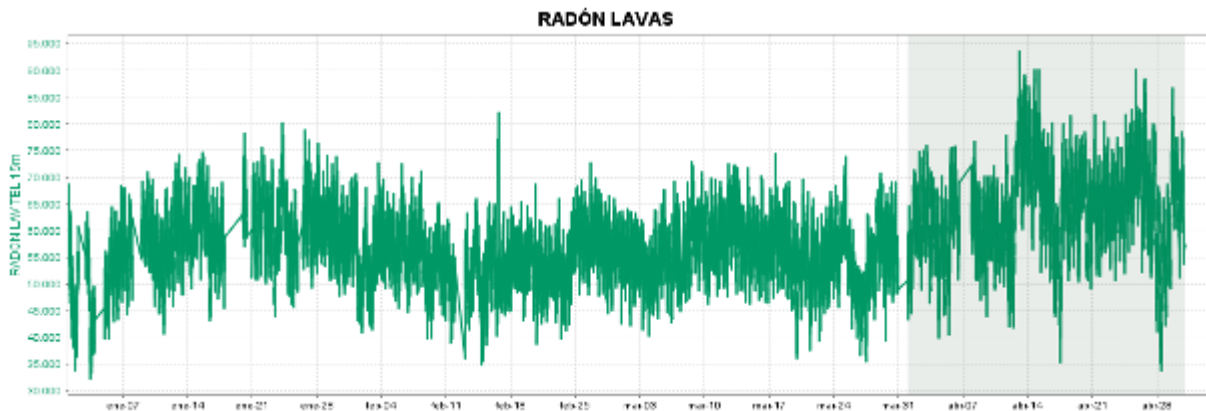


Figura 32. Concentración de gas radón en suelo - estación telemétrica LAVAS – Abril de 2016.

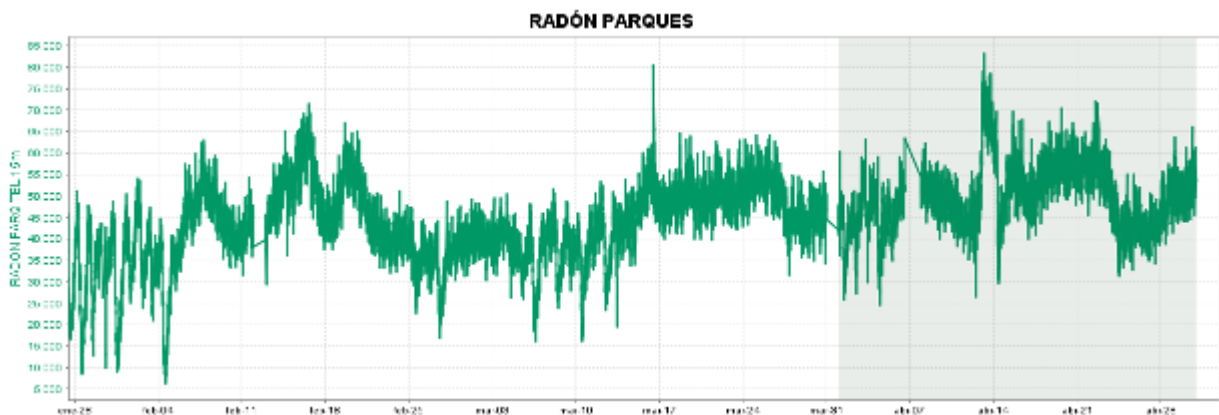


Figura 33. Concentración de gas radón en suelo - estación telemétrica PARQUES – Abril de 2016.



**Tabla 10.** Valores de concentración de flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Lavas – Abril de 2016.

CONCENTRACIÓN RADÓN	[Bq/m <sup>3</sup> ]
<b>Promedio</b>	63769
<b>Máximo</b>	93488
<b>Mínimo</b>	33865

**Tabla 11.** Valores de concentración de flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – Abril de 2016.

CONCENTRACIÓN RADÓN	[Bq/m <sup>3</sup> ]
<b>Promedio</b>	49958
<b>Máximo</b>	83095
<b>Mínimo</b>	24675

## 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 19, 22 y 24 de abril, 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, campo fumarólicos de El Paisita sector norte y cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico. En las Figuras 34 a 40 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.



**Figura 34.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 3 de abril de 2016, en horas de la tarde 6:01 p.m. y 6:10 p.m., capturadas desde las cámaras de Bruma y Barranco.



**Figura 35.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 4 de abril de 2016, en horas de la mañana 6:53 a.m. y 8:24 a.m., capturadas desde las cámaras de Bruma y Barranco.



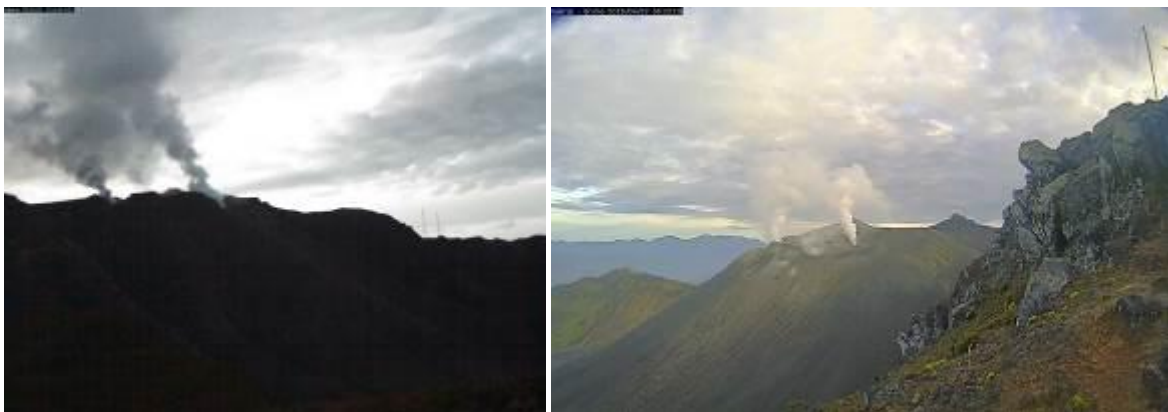
**Figura 36.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 5 de abril de 2016, en horas de la mañana 6:31 a.m. y 6:40 a.m., capturadas desde las cámaras de Bruma y Barranco.



**Figura 37.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 11 de abril de 2016, en horas de la tarde 3:40 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.



**Figura 38.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 12 de abril de 2016, en horas de la mañana 6:45 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Bruma.



**Figura 39.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 29 de abril de 2016, en horas de la mañana 5:49 a.m. y 6:33 a.m., capturadas desde la cámara de Barranco y Bruma.

De igual forma resaltaremos algunas imágenes capturadas por personal del Observatorio en labores de comisión por el cráter principal, en las fotografías es posible observar emisión de gases de algunos cráteres secundarios presentes en las paredes internas del cráter principal (Figura 40).





**Figura 40.** Imágenes de la parte interna del cráter principal de Galeras, resaltando emisión de gases desde algunos campos fumarólicos, fotografías capturadas por personal del Observatorio el 27 de abril de 2016 en labores de campo.

## 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”.

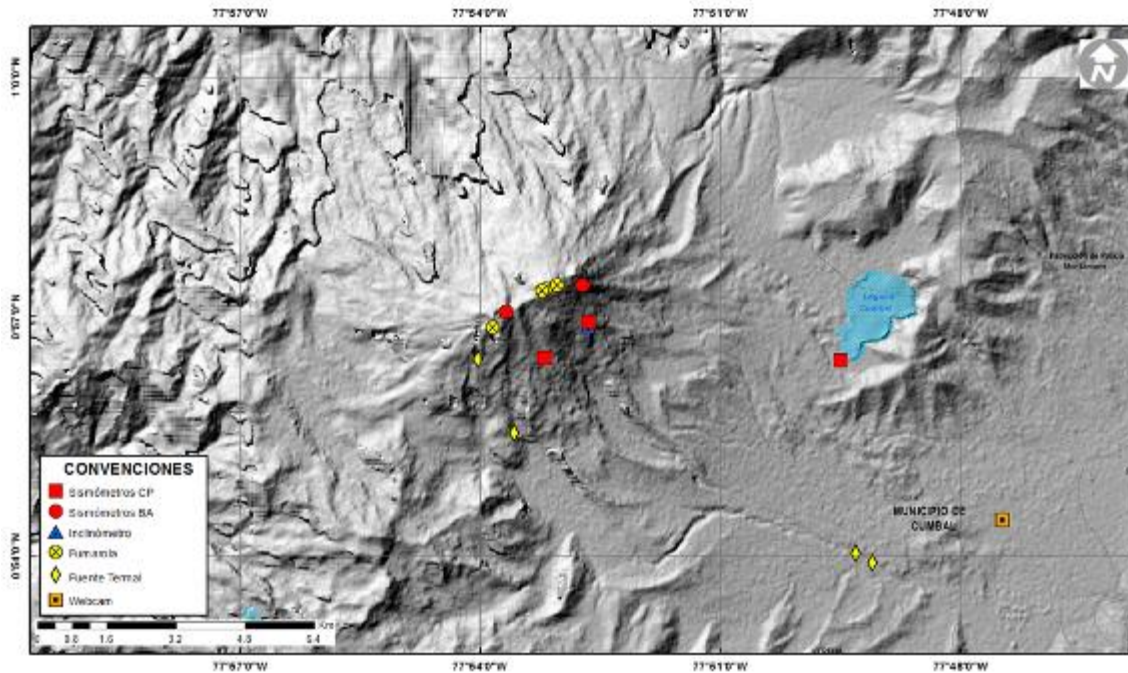
## 2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – ABRIL DE 2016

### 2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 41 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 41).

Así mismo se tiene una red de muestreo de gases in situ en fumarolas y aguas en fuentes termales (Figura 41).

En la Tabla 12, se consigna el nombre de cada estación con algunas de sus características. En la Figura 42 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones para el periodo evaluado.

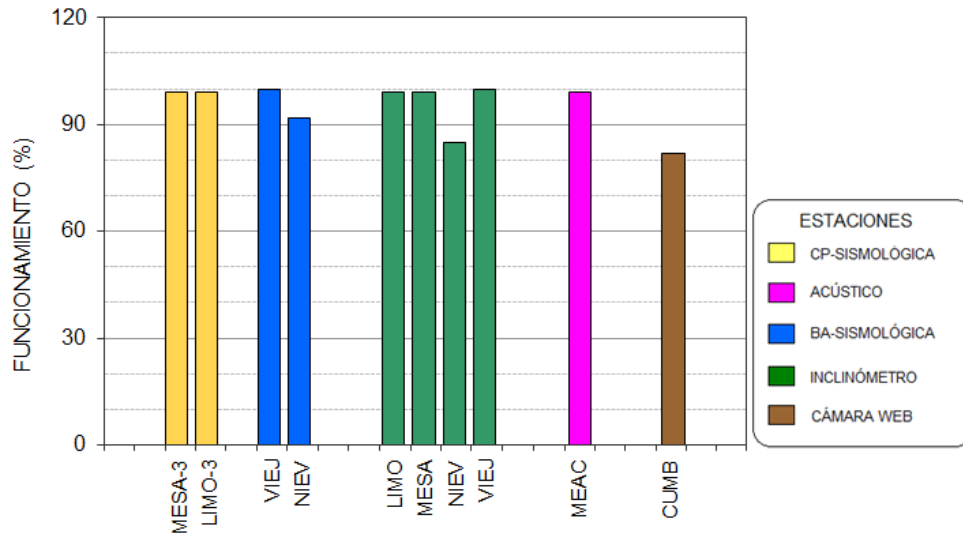


**Figura 41.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de abril de 2016.

Las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de abril de 2016, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 95% (Figura 42).

**Tabla 12.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de abril 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 42.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de abril de 2016.

## 2.2. SISMOLOGÍA

En abril de 2016 se presentó un descenso en el número total de sismos volcánicos, cercano al 9% en comparación con el mes anterior, pasando de 1140 a 1041 eventos (Tabla 13, Figura 43). En ocurrencia se observó un descenso en los sismos tipo LP e HYB, y en contraste se presentó un incremento en los eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (Figura 44). Hubo predominio de la sismicidad tipo LPS con un 42% del total de eventos sísmicos, seguido por un 34% de los sismos VT (Figura 45).

**Tabla 13.** Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	vt	lps	tre	hyb	tor	
01-ene-16 a 31-ene-16	455	446	0	183	4	1088
01-feb-16 a 29-feb-16	274	486	0	282	1	1043
01-mar-16 a 31-mar-16	316	479	0	344	1	1140
01-abr-16 a 30-abr-16	352	434	0	255	2	1043

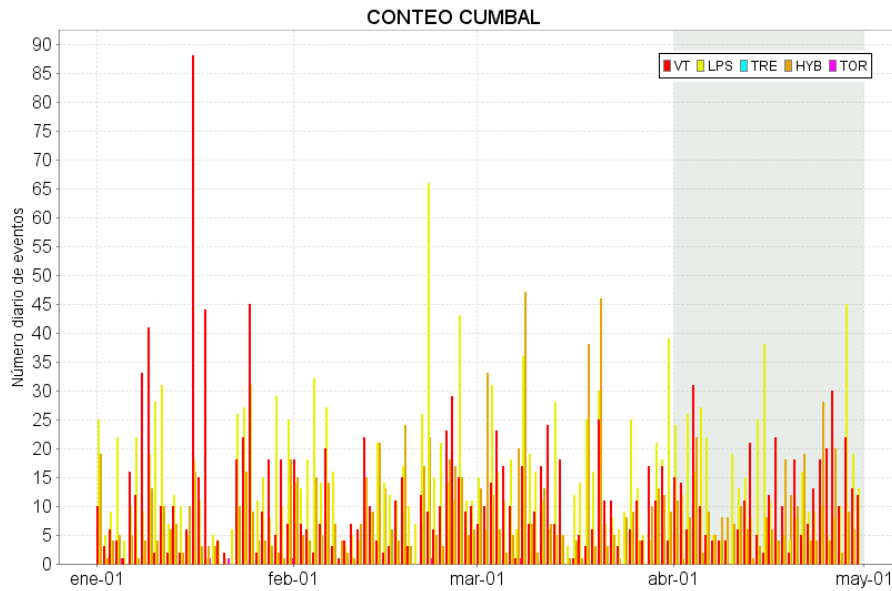


Figura 43. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre enero y abril de 2016.

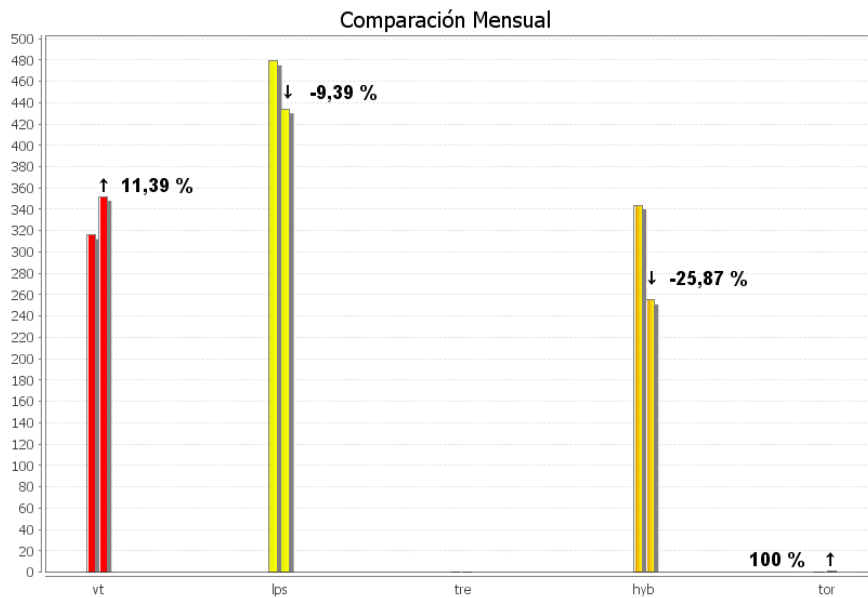
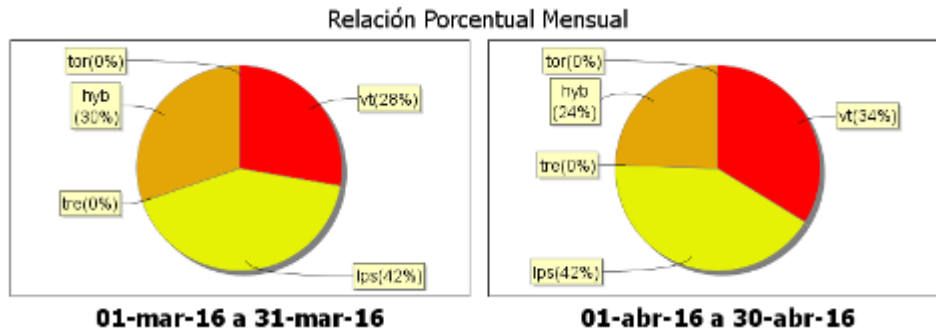
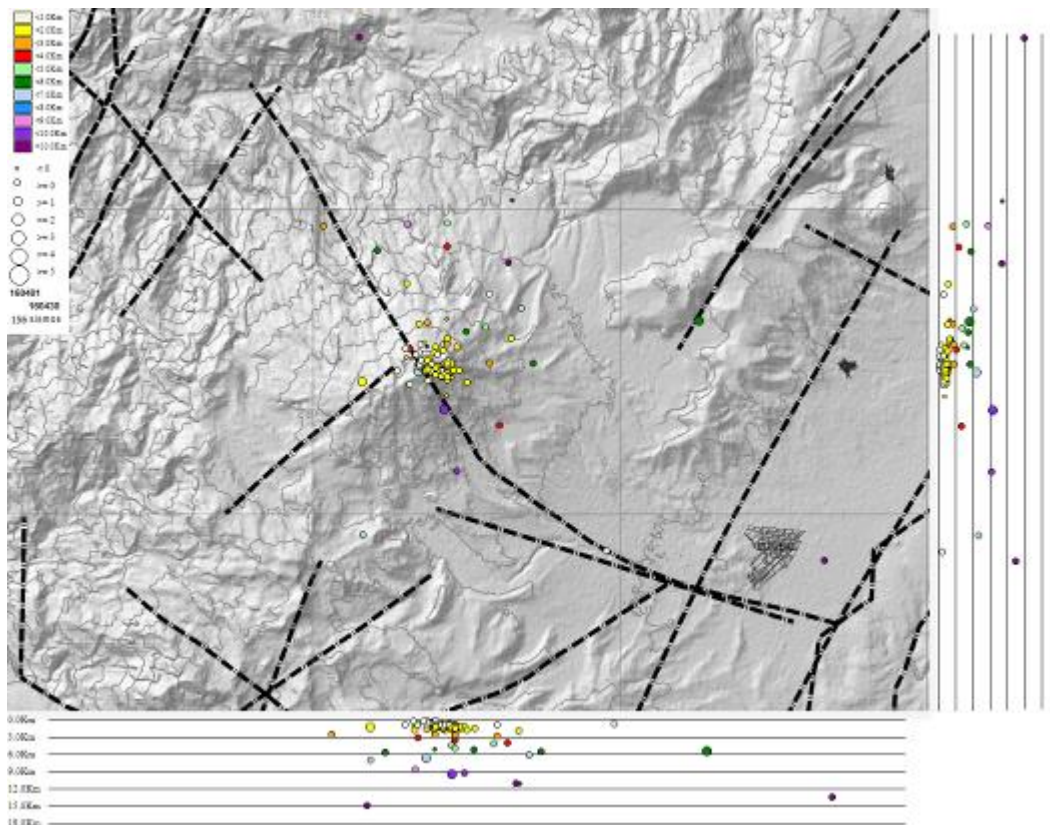


Figura 44. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de abril de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de marzo de 2016 (barras de la izquierda).



**Figura 45.** Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para marzo y abril de 2016.

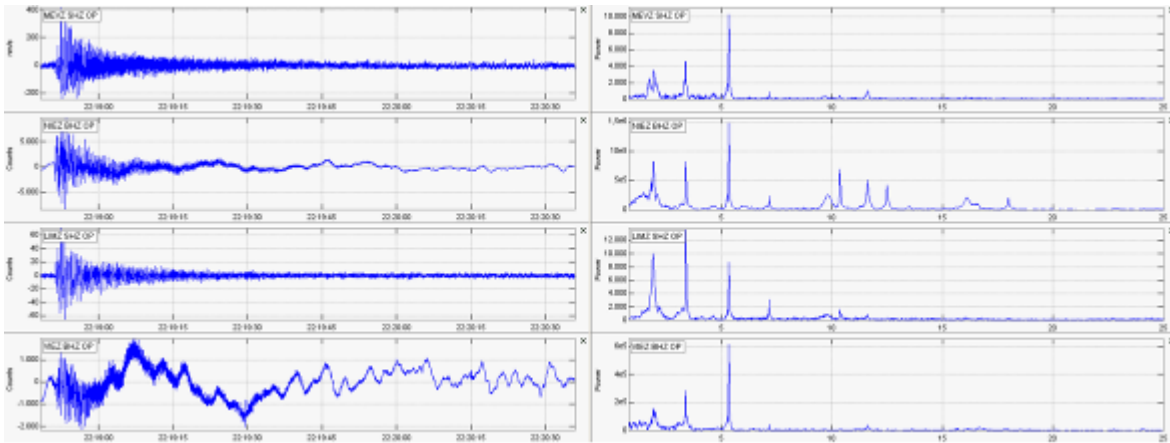
La energía liberada de los sismos localizados mostró un descenso del 61%, pasando de  $6.74 \times 10^{13}$  ergios a  $2.64 \times 10^{13}$  ergios. Fue posible localizar 156 sismos, de los cuales 138 fueron asociados con fractura de roca y 18 tipo HYB. La gran mayoría de eventos se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela, sector nororiente del complejo volcánico de Cumbal, con profundidades entre 0.1 y 2.7 km, los más dispersos presentaron profundidades de hasta 15 km. La magnitud local con valores menores a 1.8 en la escala de Richter, cerca del 97% inferior a 1 (Figura 46).



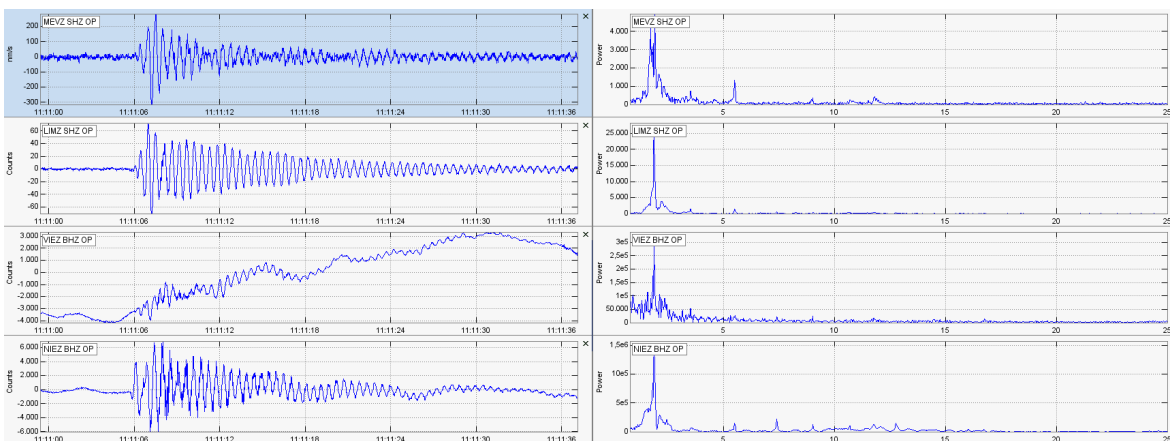
**Figura 46.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 30 de abril de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).



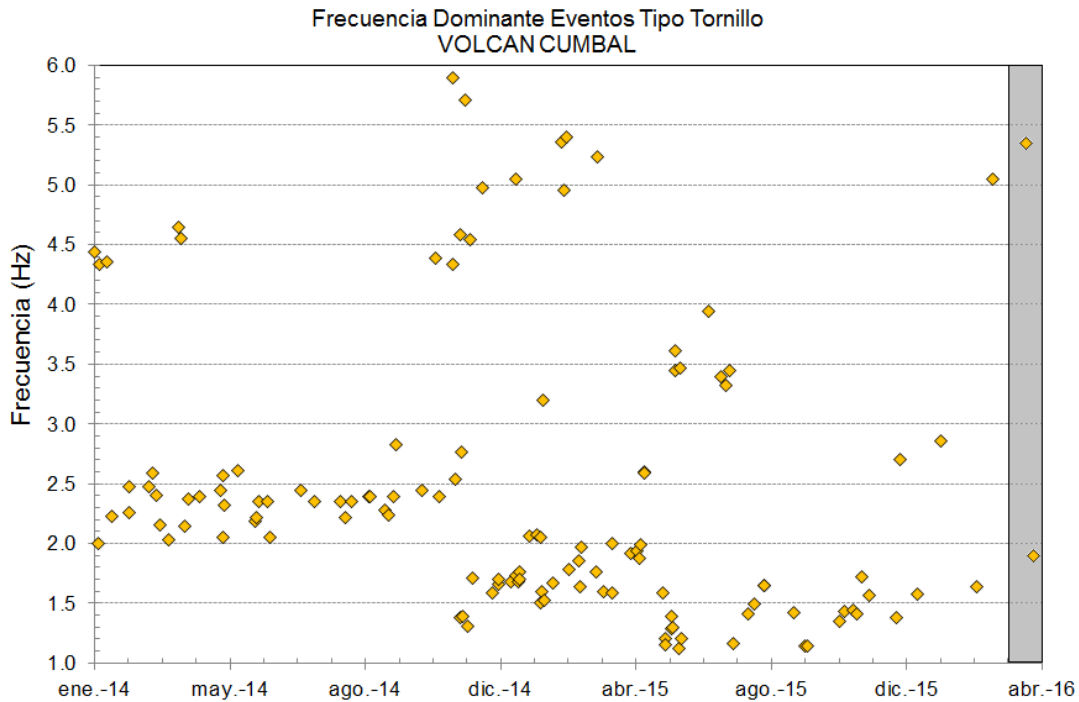
De la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de dos eventos de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR), los cuales presentaron frecuencias dominantes de 5.35 Hz y 1.9 Hz (Figuras 47 y 48), y duraciones entre de 80 y 32 segundos. En la Figura 49 se observa el comportamiento 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 47.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 5 de abril de 2016, a las 5:18 p.m., registrando 80 segundos de duración y una frecuencia dominante de 5.35 Hz y subdominante de 3.39 Hz.



**Figura 48.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 12 de abril de 2016, a las 6:11 a.m., registrando 32 segundos de duración y una frecuencia dominante de 1.9 Hz.



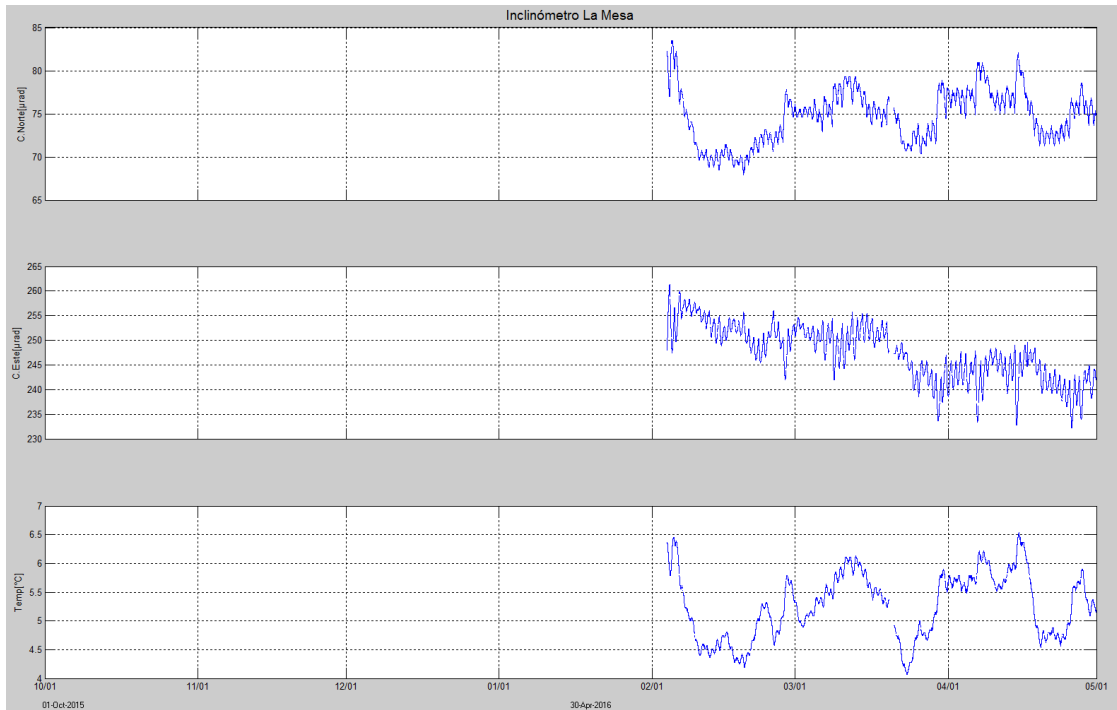
**Figura 49.** Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de abril de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de abril de 2016.

### 2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

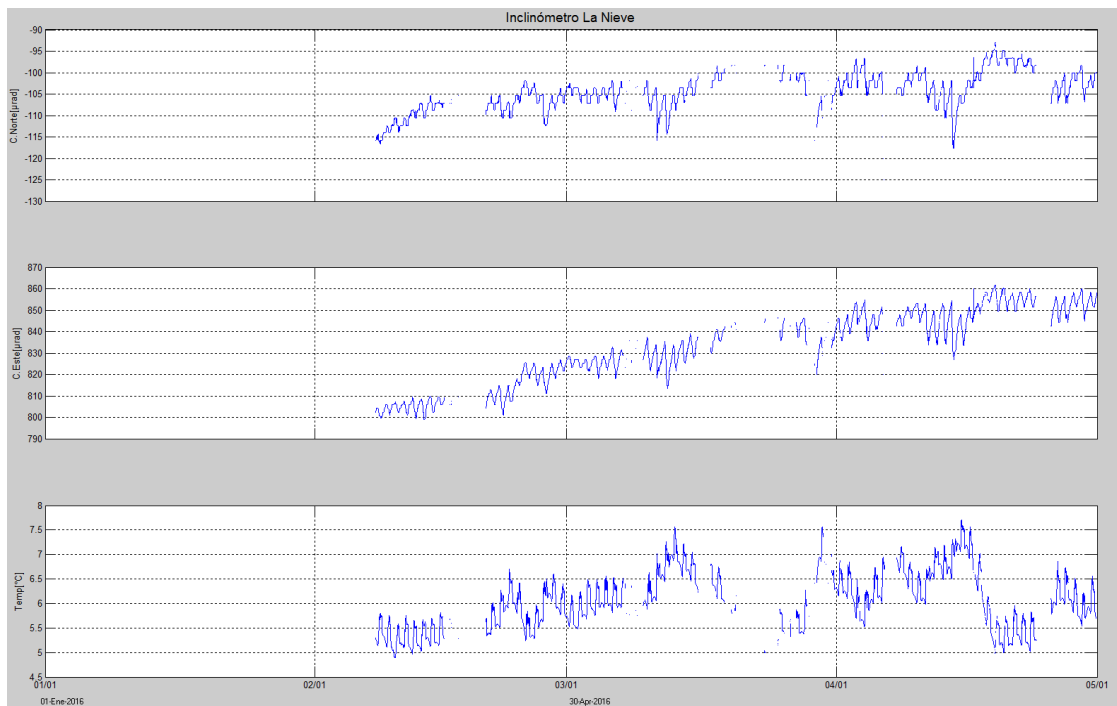
Para el inclinómetro La Mesa se observa una tendencia descendente en la componente de inclinación Este, acumulando 15  $\mu$ rad desde el 19 de marzo (Figura 50).

Desde inicios del mes de febrero y gracias al mantenimiento correctivo adelantado por el grupo de electrónica fue posible realizar el cambio de sensor de la estación La Nieve, mostrando las componentes de inclinación un comportamiento ascendente, para la Este de 60  $\mu$ rad y para la Norte de 23  $\mu$ rad hasta el 19 de abril (Figura 51).

Para las estaciones de inclinometría Limones y Punta Vieja se observa estabilidad en su registro (Figuras 52 y 53).

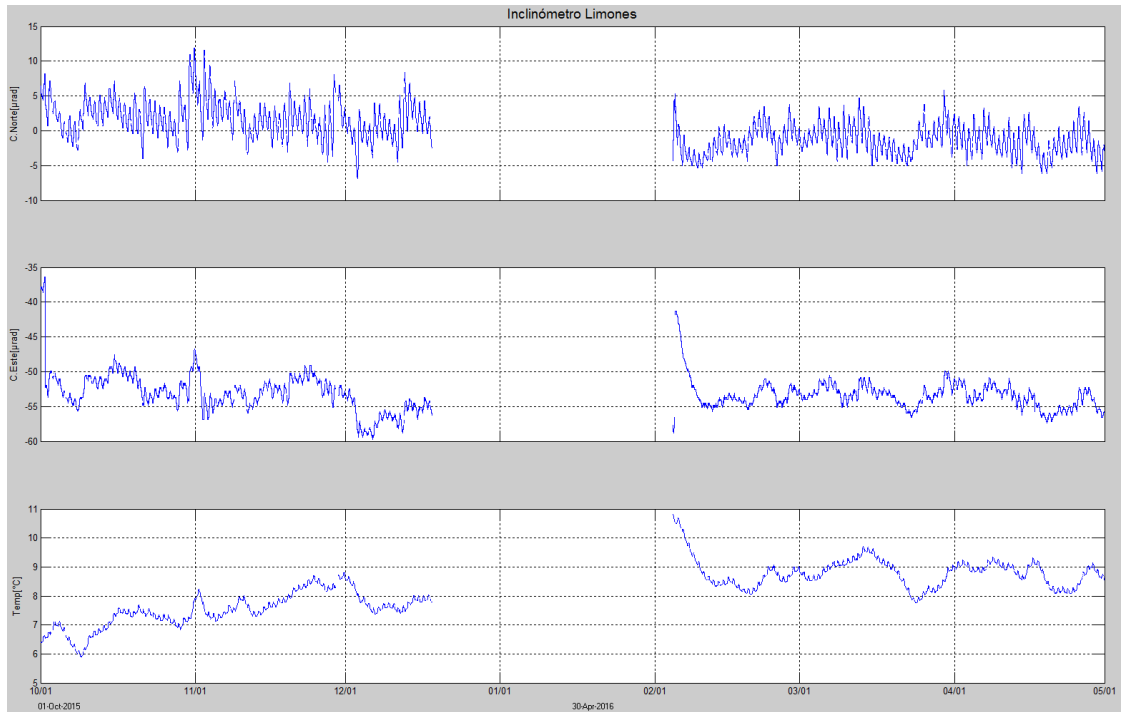


**Figura 50.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.

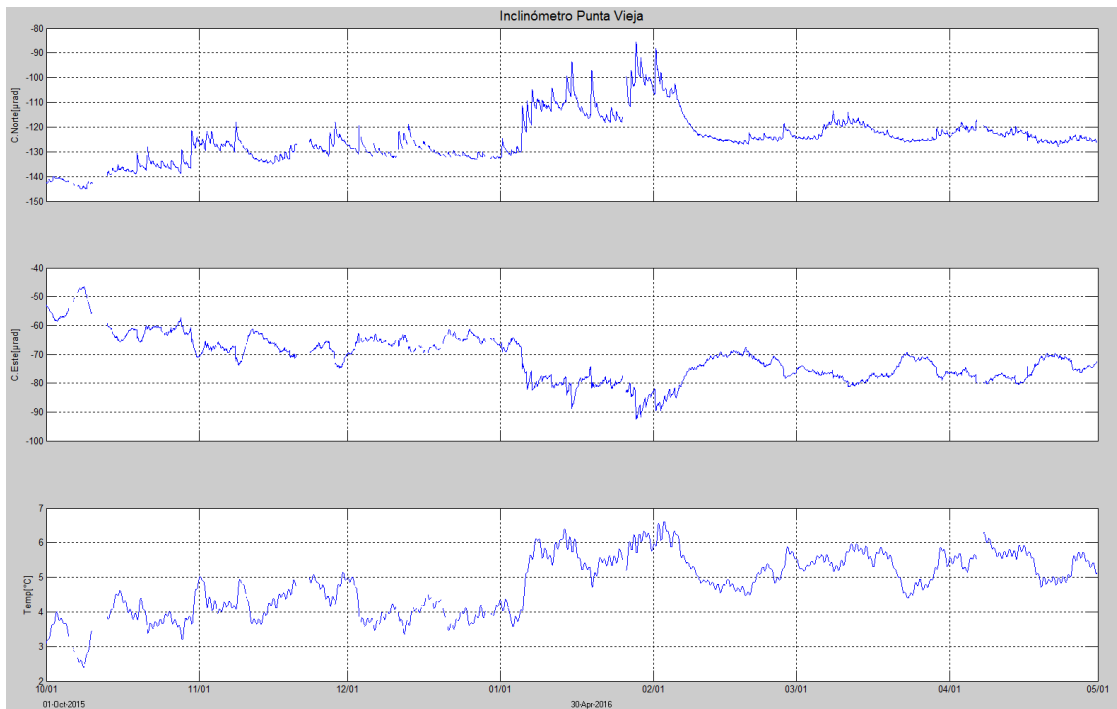


**Figura 51.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de abril de 2016.





**Figura 52.** 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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 53.** 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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.

## 2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Debido a la alta nubosidad presente solo fue posible evidenciar emisión de gases en la zona del Complejo Volcánico de Cumbal para los días 2, 4, 5, 11, 12, 14, 26, 27, 29 y 30 de abril, columnas de color blanco, de poca altura y dispersión variable por acción de los vientos, saliendo desde los campos fumarólicos de Rastrojo, Boca Vieja en Mundo Nuevo y desde el campo fumarólico El Verde en Cumbal. En las Figuras 54 y 57 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Cumbal.



**Figura 54.** Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 4 de abril de 2016.



**Figura 55.** Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 5 de abril de 2016, a las 6:26 p.m.



**Figura 56.** Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 14 de abril de 2016, a las 7:56 a.m.



**Figura 57.** Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 29 de abril de 2016, a las 6:31 a.m.

## 2.5. CONCLUSIONES

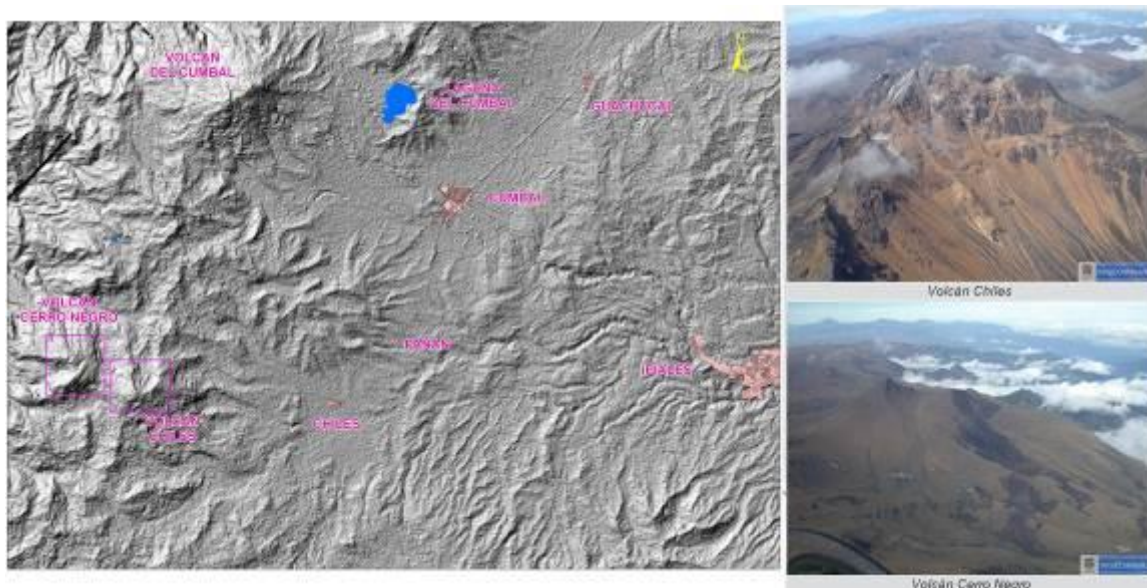
La actividad que viene mostrando Cumbal se caracteriza por fluctuaciones en los niveles de ocurrencia y energía de la sismicidad, y registro eventual de enjambres asociados con procesos predominantemente hidrotermales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de abril 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 ABRIL 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 58). El volcán Chiles tiene una altura de 4748 msnm y el volcán Cerro Negro, de 4470 msnm.



**Figura 58.** Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

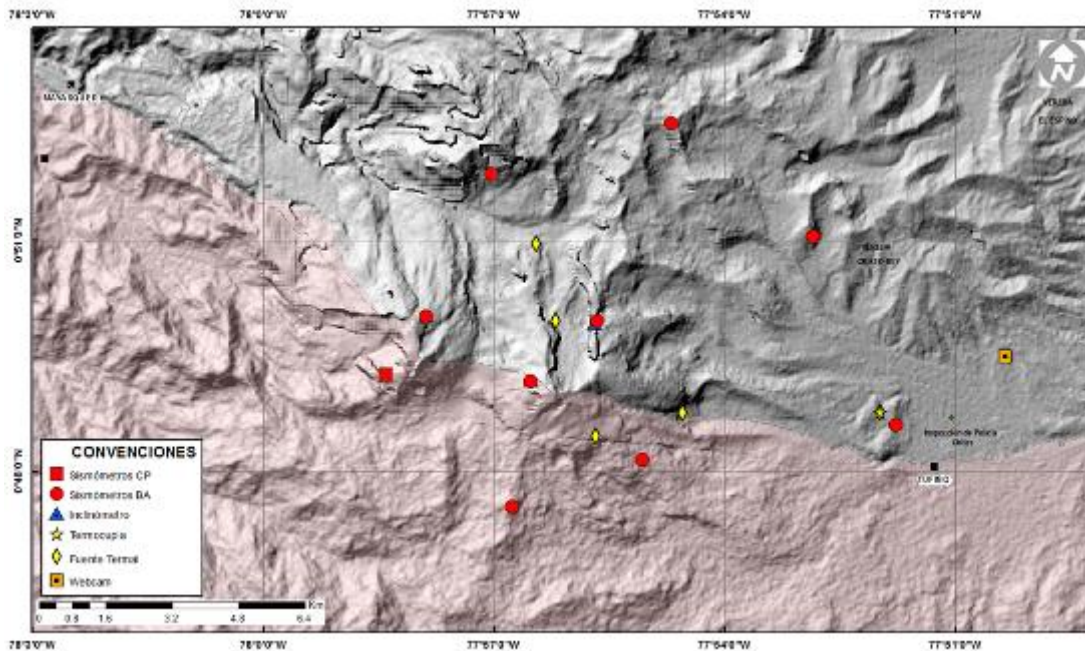


### 3.2. RED DE VIGILANCIA

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 59, Tabla 14).

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 59) y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 59, Tabla 15). De igual forma se contó con una cámara Web instalada en la población de Nazate (Figura 59). 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 99% (Figura 60).








**Figura 59.** Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de abril de 2016.




**Tabla 14.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de abril de 2016.

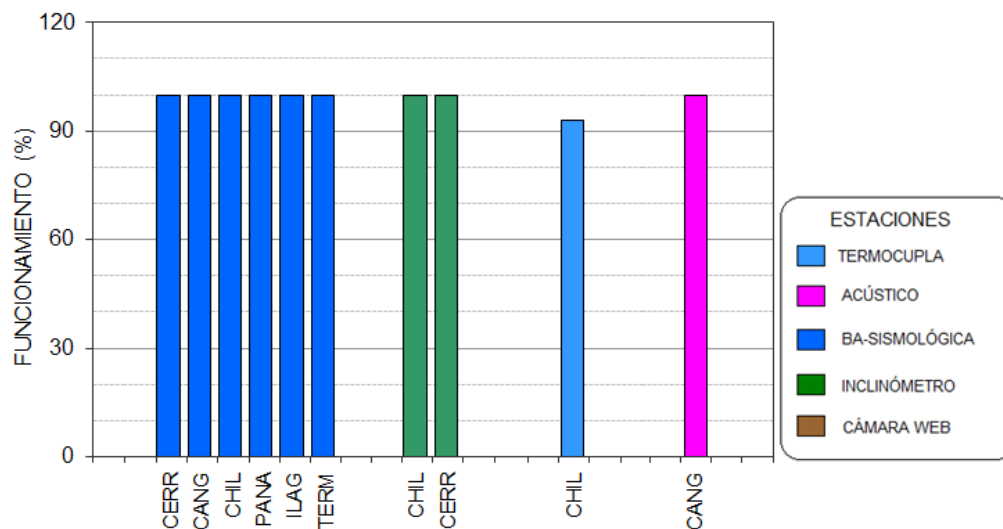
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda 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 15.** 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



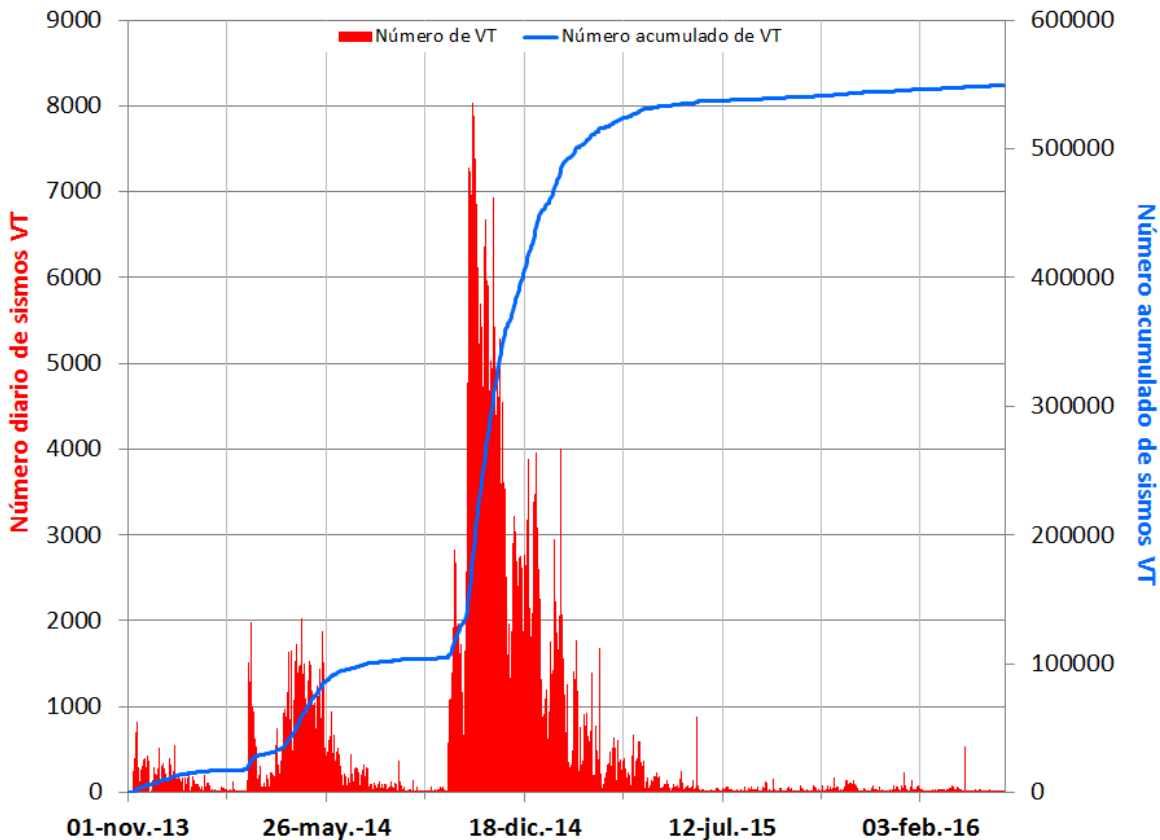
**Figura 60.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de abril de 2016.

### 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 30 de abril de 2016, se han registrado en total 548.982 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 61).

La ocurrencia sísmica en el mes de abril de 2016 mostró un importante descenso, cercano al 71% del número registrado en marzo, pasando de 1620 a 463 sismos, en su mayoría asociados con fractura de roca (VT) (Tabla 16, Figuras 62 y 63). El día 5 de abril se registró la tasa más elevada de ocurrencia diaria contabilizando 37 eventos.

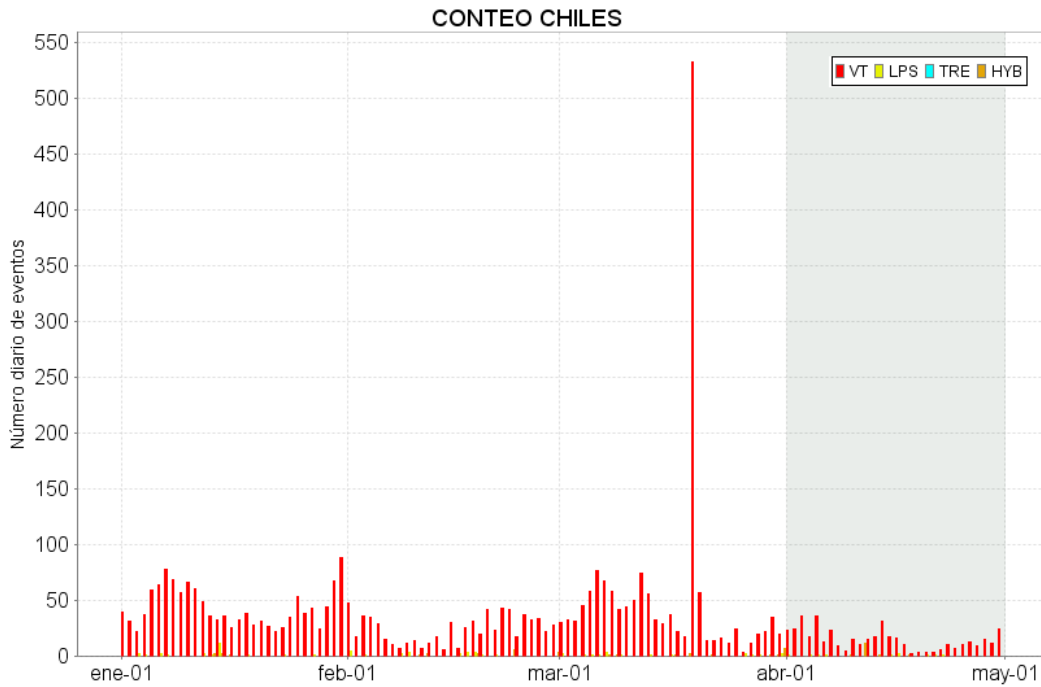
Adicionalmente en la actividad sísmica de febrero se destaca la presencia de eventos que por sus características indican movimiento de fluidos de tipo magmático.



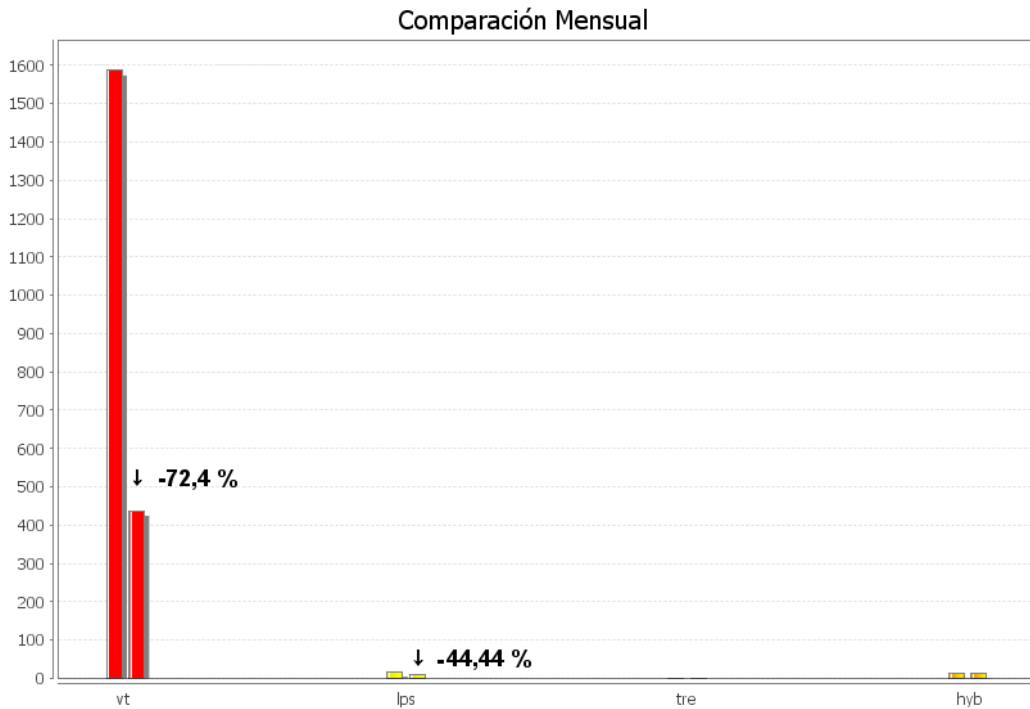
**Figura 61.** Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y abril 30 de 2016.

**Tabla 16.** Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	vt	lps	tre	hyb	TOTAL
01-ene-16 a 31-ene-16	1364	24	0	5	1393
01-feb-16 a 29-feb-16	702	22	0	15	739
01-mar-16 a 31-mar-16	1587	18	0	15	1620
01-abr-16 a 30-abr-16	438	10	0	15	463



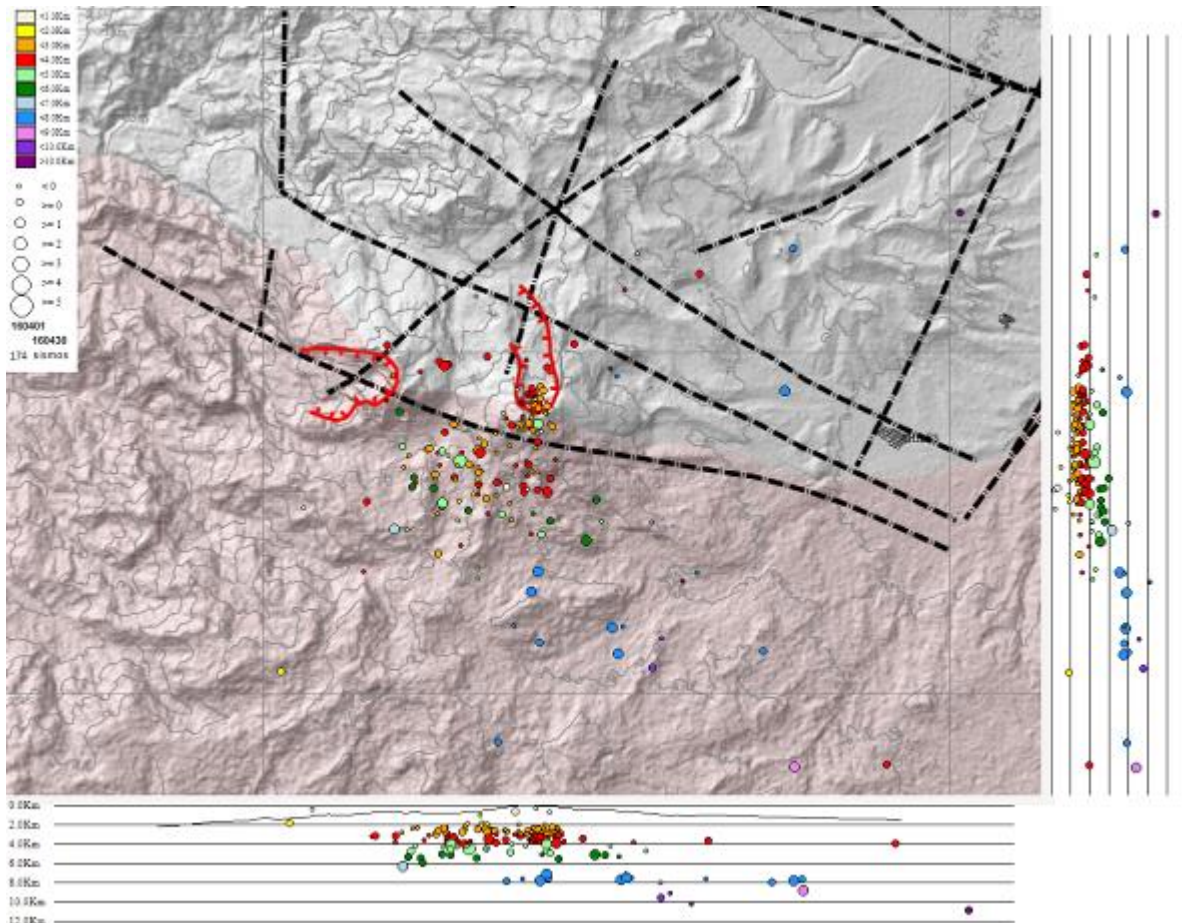
**Figura 62.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de enero y abril de 2016.



**Figura 63.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de abril de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de marzo de 2016 (barras de la izquierda).

En el periodo evaluado fue posible obtener una solución de localización para 174 sismos, 164 VT y 10 tipo HYB (Figura 64), la mayoría ubicados hacia el sector suroccidente del volcán Chiles con algunos epicentros ubicados en inmediaciones de su cima, con profundidades entre 0.2 y 5.9 km (nivel de referencia sobre los 4.700 msnm), los eventos más profundos se ubicaron hacia el costado suroriental del volcán Chiles. La magnitud local de los sismos fue menor a 2 en la escala de Richter, el 91% de la sismicidad localizada presentó magnitud menor a 1.

La energía sísmica liberada fue estimada con base en la magnitud de los sismos localizados; con respecto al mes anterior se observa un notable descenso en dos órdenes de magnitud (Tabla 17, Figura 65).



**Figura 64.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en abril de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

**Tabla 17.** Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Energía liberada por los sismos	
	VT	TOTAL
01-ene-16 a 31-ene-16	1.45E+14	1.45E+14
01-feb-16 a 29-feb-16	4.58E+13	4.58E+13
01-mar-16 a 31-mar-16	3.67E+15	3.67E+15
01-abr-16 a 30-abr-16	8.58E+13	8.58E+13



**Figura 65.** Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chile – Cerro Negro entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

### 3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Hasta el 29 de enero se observó la tendencia descendente que traía la componente de inclinación Este del sensor Chiles, tendencia presentada desde el 6 de octubre de 2015, registrando cerca de 200  $\mu$ rad, mientras que en la componente Norte hay un descenso de 63  $\mu$ rad desde el 29 de diciembre de 2015 (Figura 66).

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

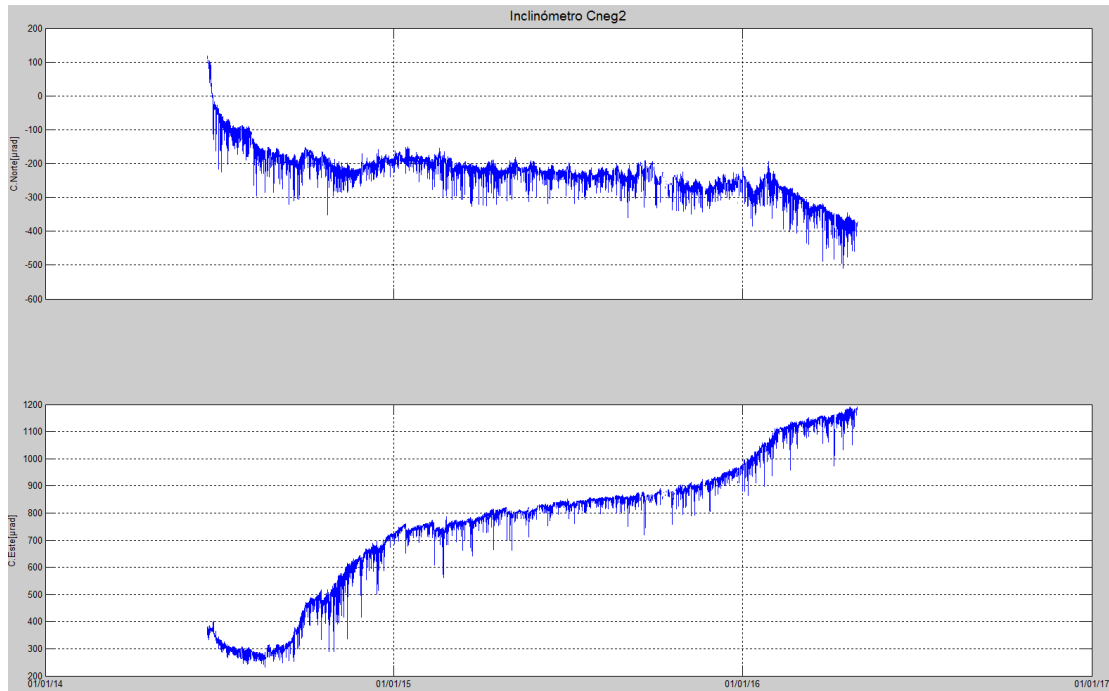
932  $\mu$ rad hasta abril de 2016; por su parte la componente Norte muestra una tendencia descendente en su registro alcanzando desde el mes de enero de 2015 cerca de 228  $\mu$ rad (Figura 67).

Con respecto a los cambios mostrados por el inclinómetro Cerro Negro se observa un comportamiento descendente en la componente Norte, registrando 54  $\mu$ rad desde el 7 de octubre de 2015, mientras que en la Este se presenta un cambio de tendencia desde el 2 de febrero, de ascendente a descendente, descenso que acumula cerca de 75  $\mu$ rad (Figura 68), es de resaltar que este cambio también se registra de manera simultánea en la componente Norte del inclinómetro Cerro Negro2 a partir del 2 de febrero de 2016 (Figura 69).

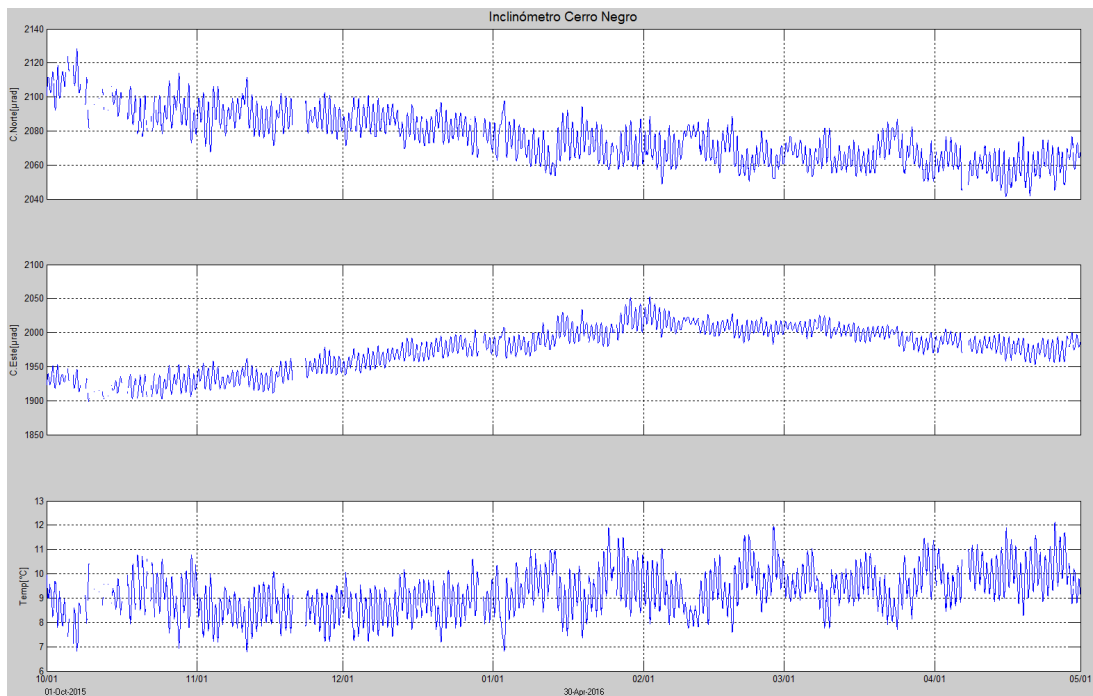


**Figura 66.** Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.

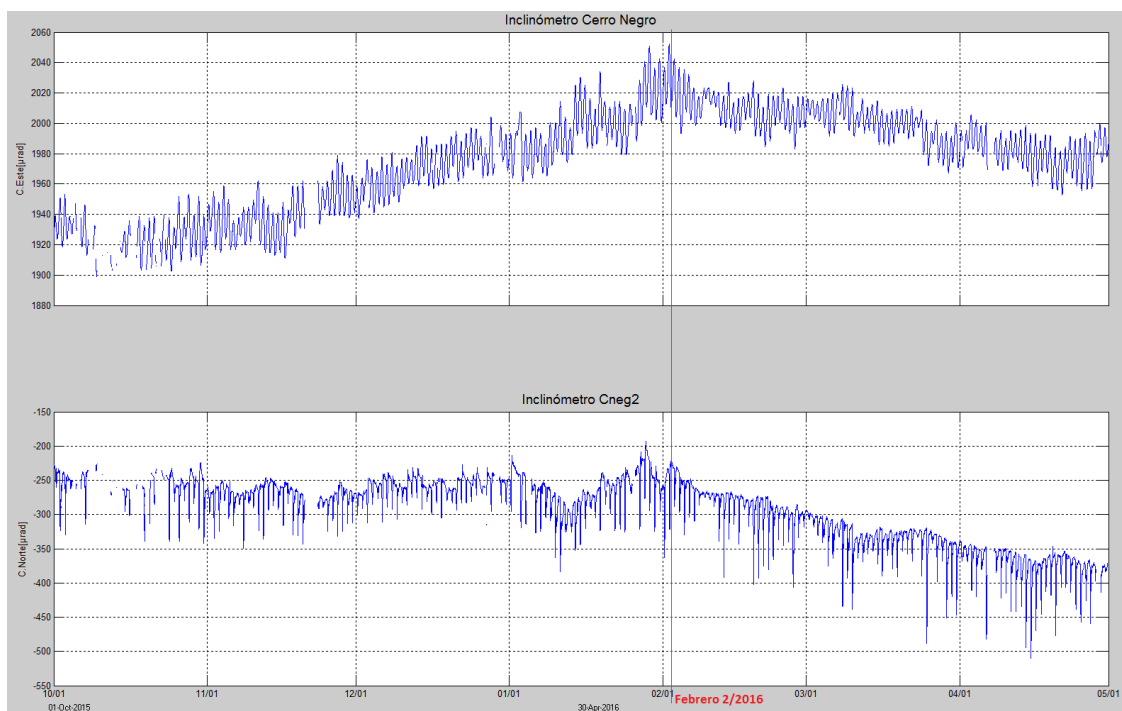




**Figura 67.** Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio de 2014 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 68.** 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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



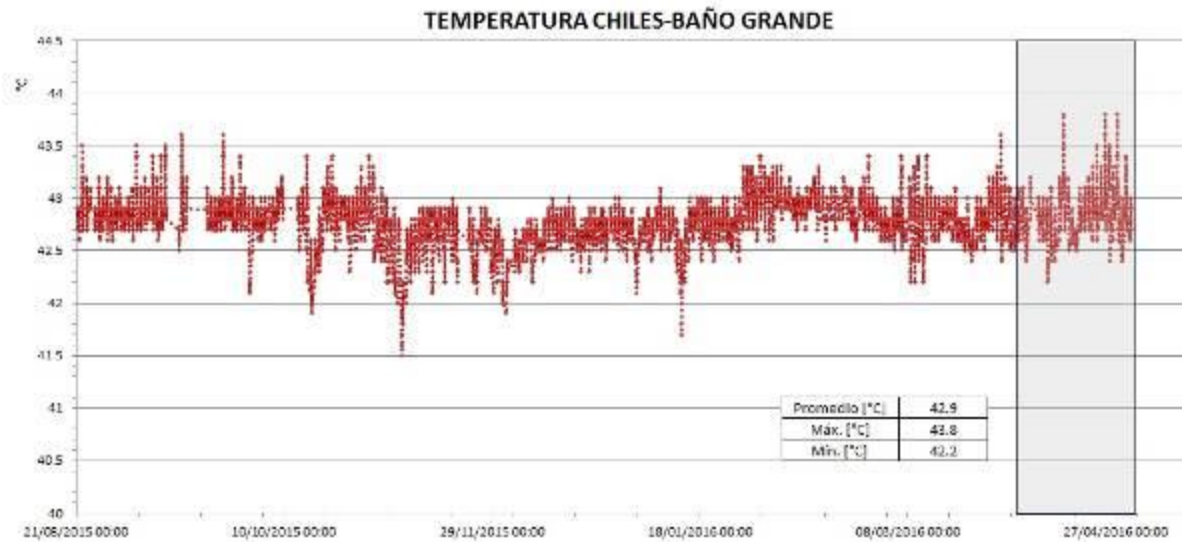
**Figura 69.** Componentes de inclinación Este del inclinómetro Cerro Negro y Norte del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalados en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre octubre de 2015 y abril de 2016, resaltando el cambio de tendencia en las dos componentes.

### 3.5. GEOQUÍMICA

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

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

En la Figura 70 se registran las variaciones que corresponden a valores medidos en el transcurso del día (desde las 9:30 a.m. a las 5:30 p.m. aproximadamente), con un promedio de 42.9°C (Tabla 18). Durante el mes de abril se registra un valor mínimo de 42.2°C, no se registran variaciones significativas. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continúa con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.



**Figura 70.** Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – abril de 2016.

**Tabla 18.** Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – abril de 2016.

TEMPERATURA	[°C]
<b>Promedio</b>	42.9
<b>Máximo</b>	43.8
<b>Mínimo</b>	42.2

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

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

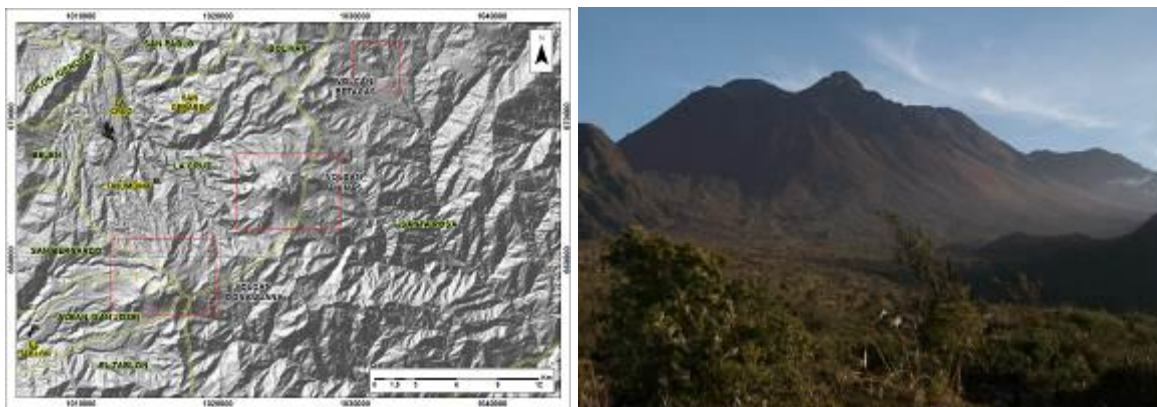
### 3.7. CONCLUSIONES

- 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 abril 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”.



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 72).



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

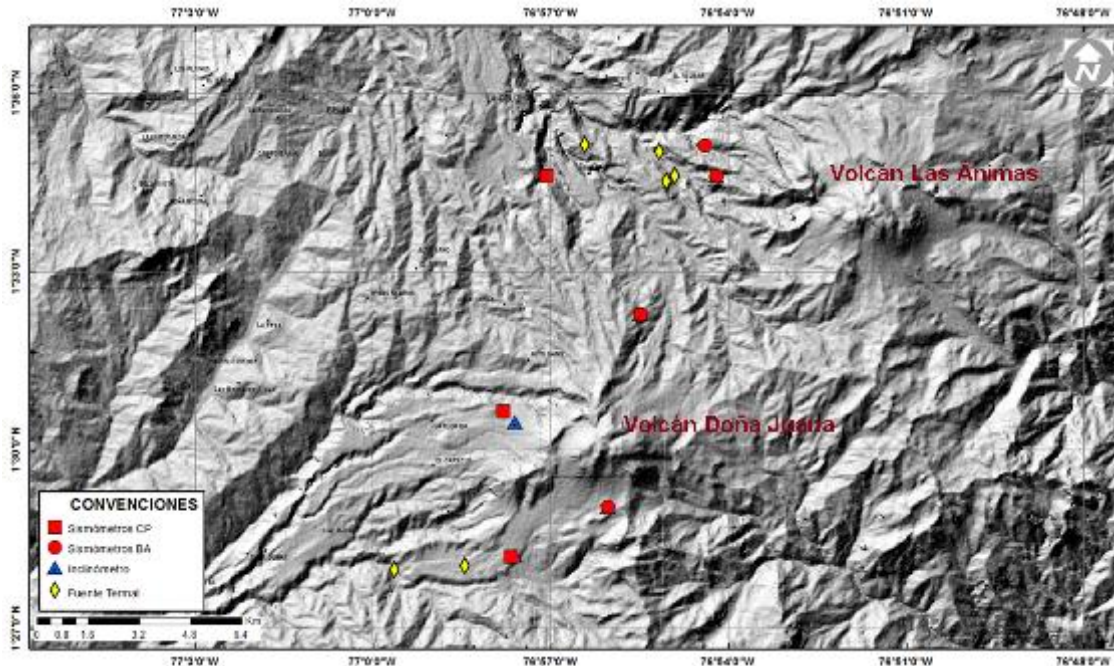
#### 4.1.2. Red de vigilancia

Actualmente la red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas localizadas en los puntos Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental y dos inclinómetros electrónicos, 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 (Tabla 19, Figura 73). 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 19.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de abril de 2016.

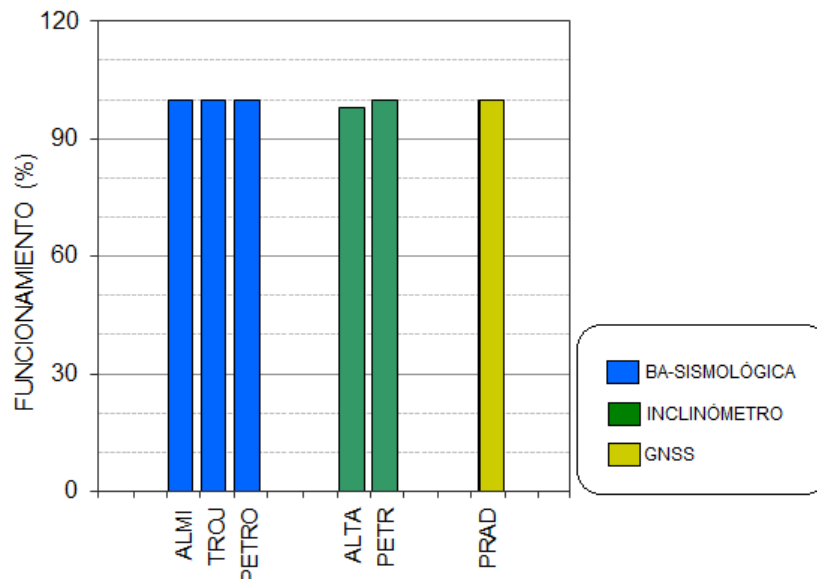
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al centro del volcán (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Altamira	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,9	SW	3137
I. Altamira	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	7,9	SW	3137
Petroglifo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4,6	W	2905
I. Petroglifo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4,6	NW	2905
Troje	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	6,2	NW	2726
Pradera	Digital	GNSS	Triaxial	4,0	WSW	2995





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

En el periodo evaluado, la red de estaciones instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento del 100% (Figura 74).



**Figura 74.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante abril de 2016.

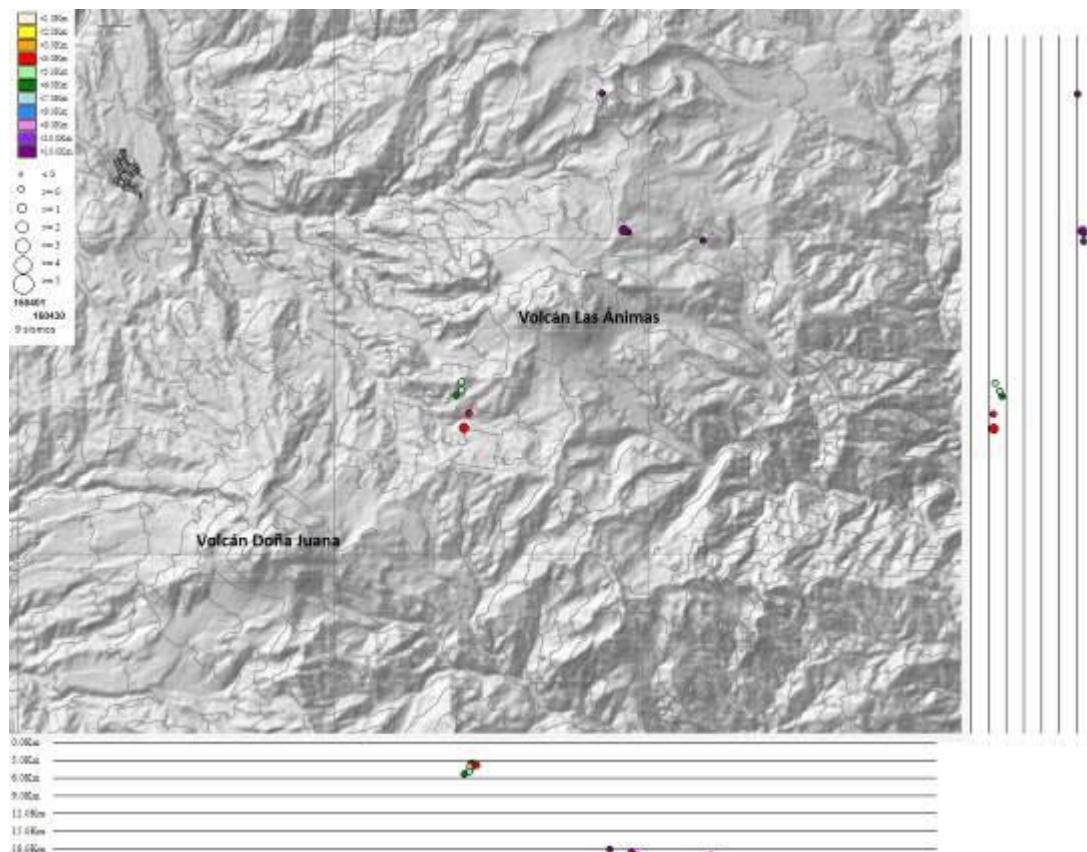


### 4.1.3. Sismología

La sismicidad en la zona de influencia del volcán Las Ánimas permaneció en niveles bajos, en abril se registraron 11 sismos asociados con fractura de roca VT (Tabla 20). De esta sismicidad de fractura fue posible localizar 9 eventos, algunos se ubicaron a 4.5 km hacia el costado suroccidental del edificio volcánico, presentando profundidades entre 3.8 y 5.4 km; los más profundos se ubicaron hacia el sector norte y nororiente del volcán Las Ánimas (Figura 75). La magnitud local es menor a 1 en la escala de Richter. La energía liberada de los sismos localizados fue de  $2.7 \times 10^{12}$  ergios.

**Tabla 20.** Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas registrados entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-ene-16 a 31-ene-16	10	10
01-feb-16 a 29-feb-16	0	0
01-mar-16 a 31-mar-16	8	8
01-abr-16 a 30-abr-16	11	11



**Figura 75.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Las Ánimas, en el mes de abril de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.

#### 4.1.4. Deformación Volcánica

Para el periodo evaluado se observa estabilidad en el registro de los inclinómetros electrónicos Petroglifo y Altamira (Figuras 76 y 77).

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. En la Figura 78 se muestra el poco tiempo de registro de esta estación, considerando como estación de referencia para el procesamiento diferencial, la estación GNSS QUIL (ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño), de igual forma se observa estabilidad en las direcciones Norte, Este y altura.



**Figura 76.** 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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 77.** 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 octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 78.** 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 13 de diciembre de 2015 y el 16 de abril de 2016.

#### 4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de abril 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 abril 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 79, Tabla 21). Y desde el 25 de febrero se cuenta con la señal de la estación GNSS permanente La Palma, estación instalada hacia el sector nororiente del volcán Doña Juana. Para el mes de abril de 2016 las estaciones presentaron un funcionamiento del 87% (Figura 80).

**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

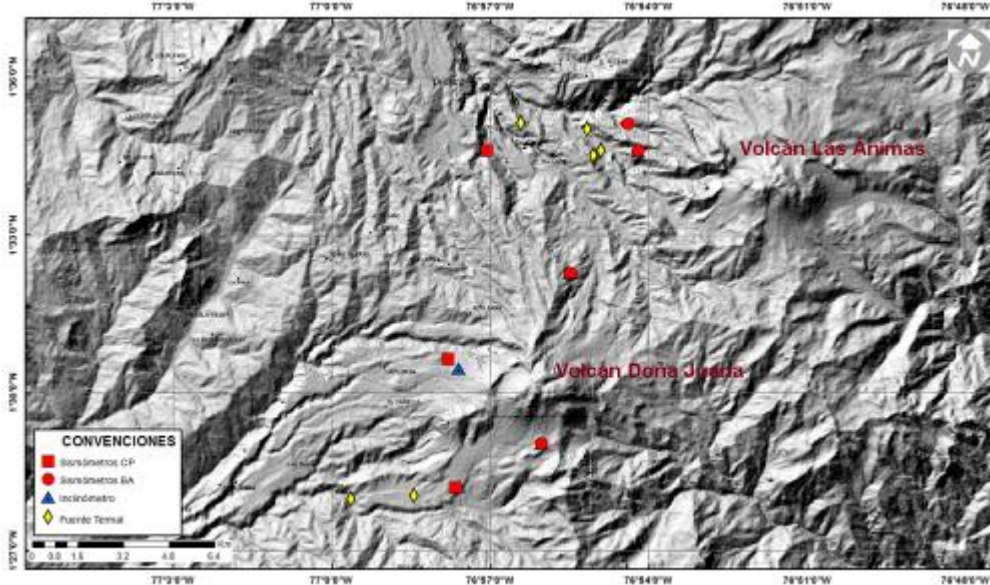


Figura 79. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

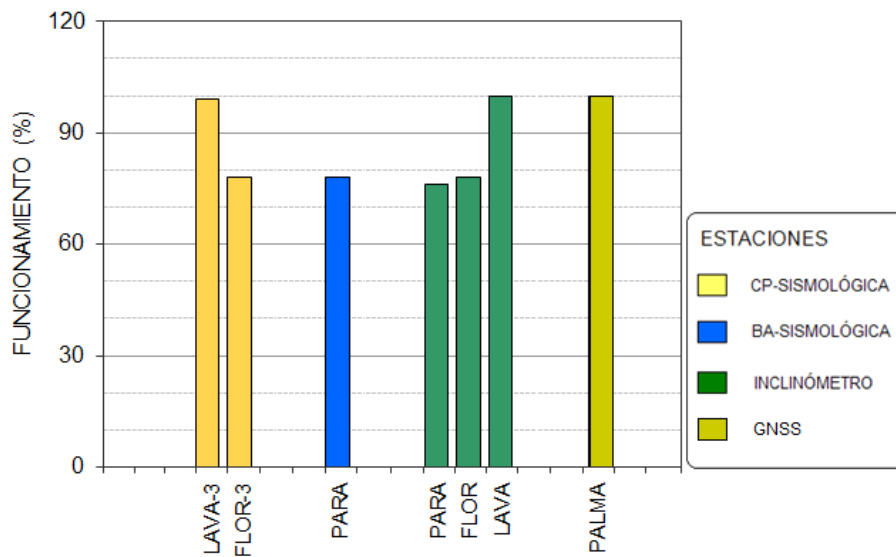
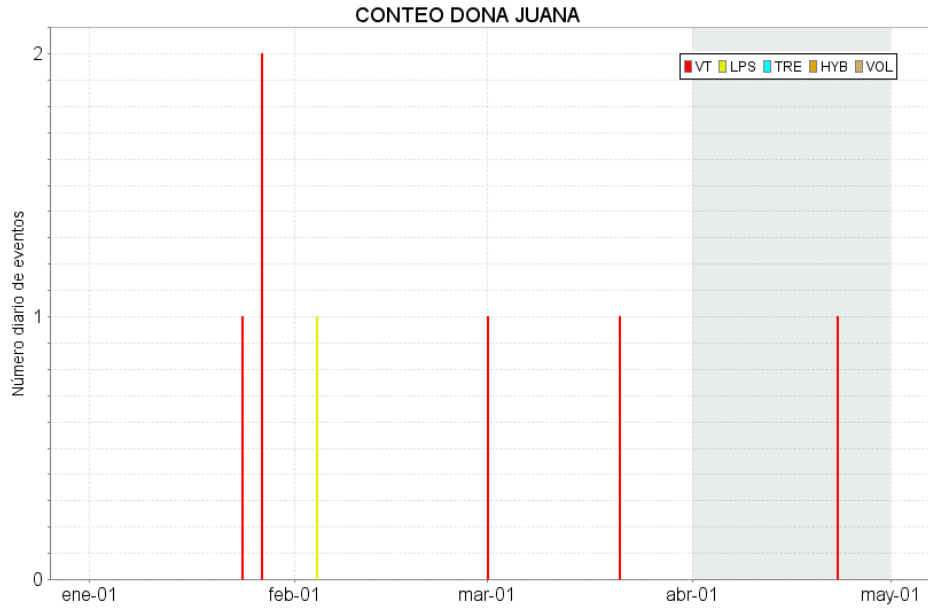


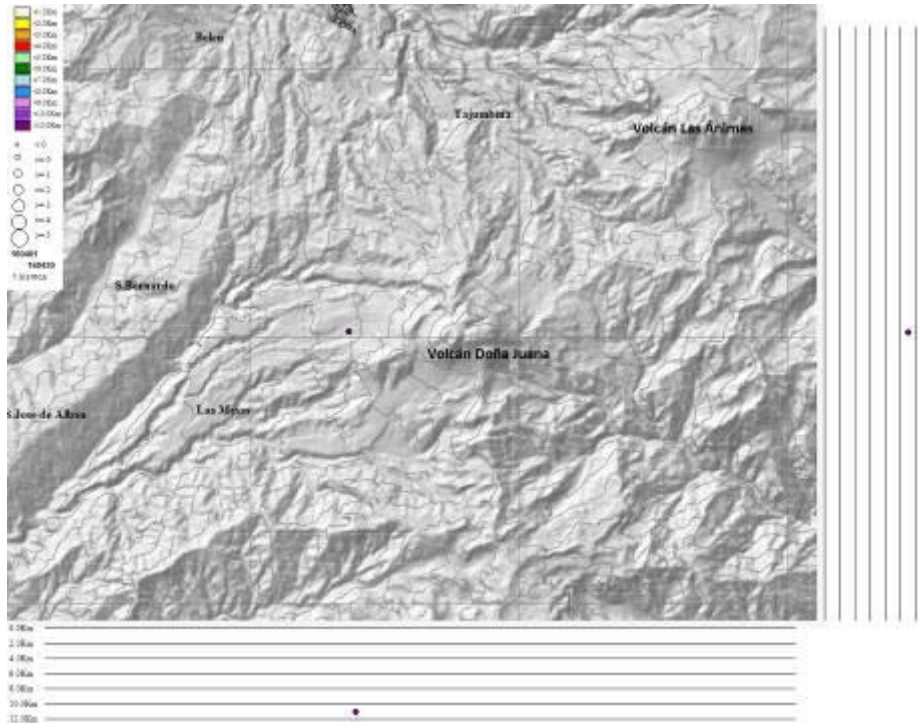
Figura 80. Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en abril de 2016.

#### 4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de un evento, que por la forma de onda y sus características espectrales se clasificó como VT, asociado con fractura de material rocoso, el cual se ubicó a 4.2 km al occidente del volcán, con una profundidad de 11 km y magnitud local de 0.1 en la escala de Richter (Figuras 81 y 82).



**Figura 81.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de enero y abril de 2016.



**Figura 82.** Localización epicentral e hipocentral del sismo registrado en el volcán Doña Juana, en el mes de abril de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

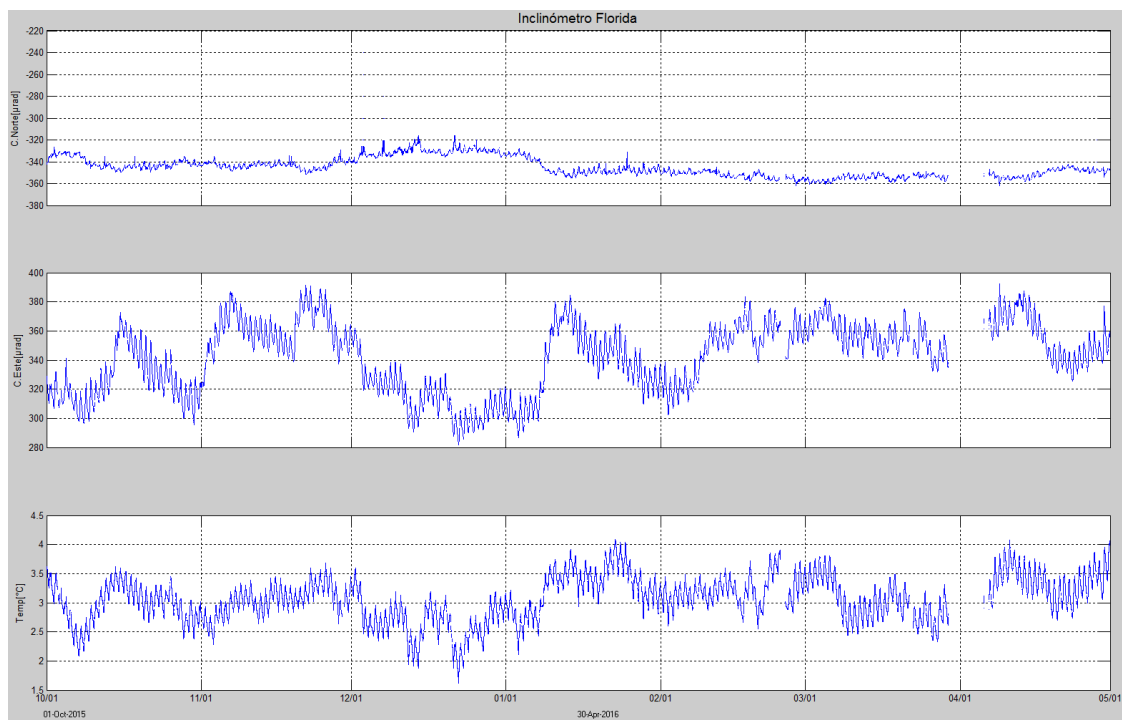


### 4.2.3. Deformación Volcánica

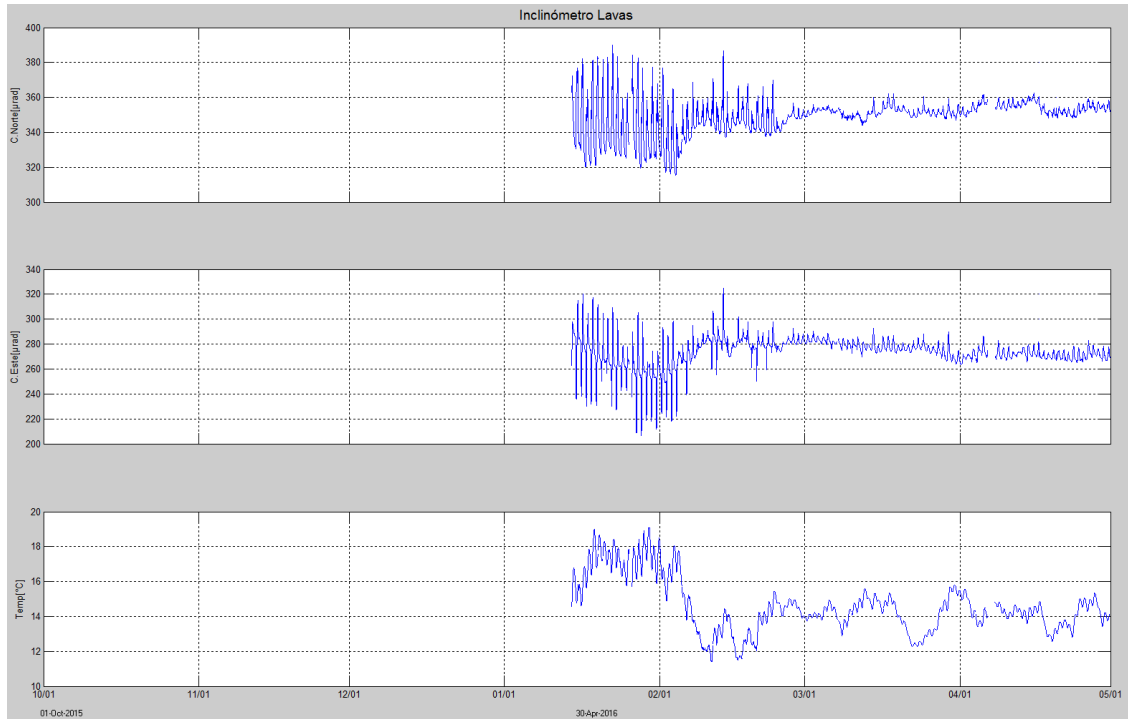
Para las estaciones de inclinometría Florida y Lavas se evidencian estabilidad en sus registros (Figuras 83 y 84).

Desde el 1 de febrero se observa un comportamiento ascendente en las componentes de inclinación de la estación Páramo, registro que es similar a lo mostrado por el sensor de temperatura, por lo cual estas variaciones pueden estar asociadas con fenómenos atmosféricos de la región (Figura 85).

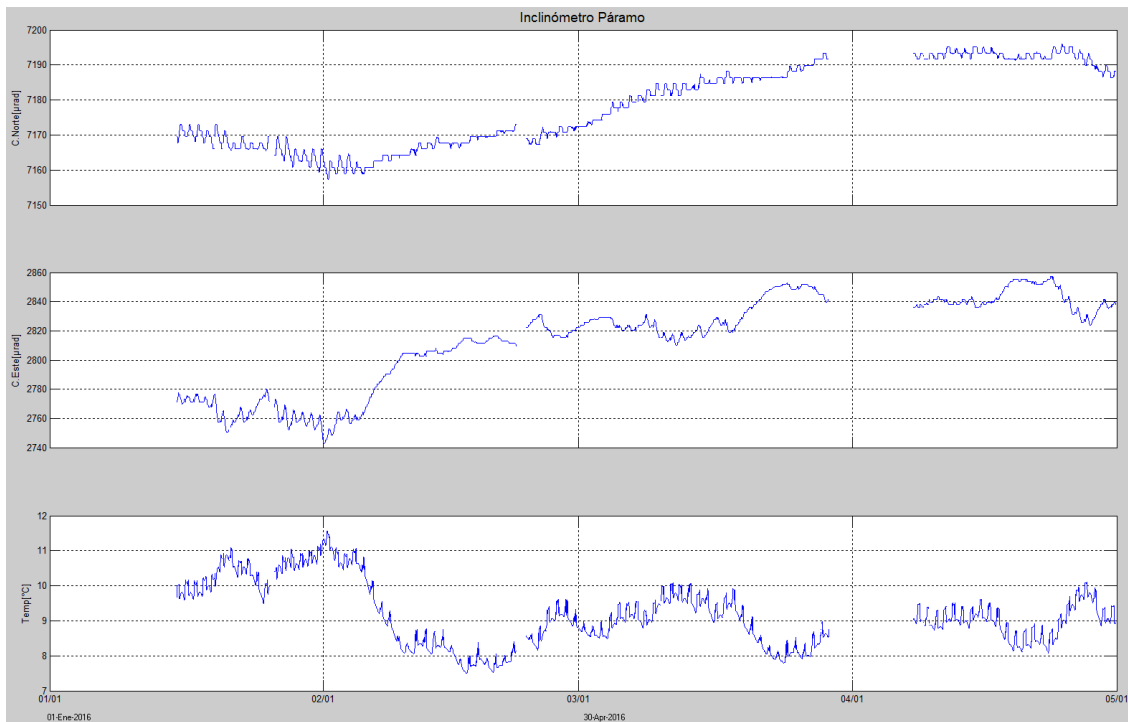
Desde el 23 de febrero de 2016, hacia el costado nororiental del volcán Doña Juana se instaló una estación GNSS permanente con el fin de detectar los cambios en superficie asociados a actividad volcánica. En la Figura 86 se muestra el poco tiempo de registro de esta estación, considerando como estación de referencia para el procesamiento diferencial, la estación GNSS QUIL (ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño), de igual forma se observa estabilidad en las direcciones Norte, Este y altura.



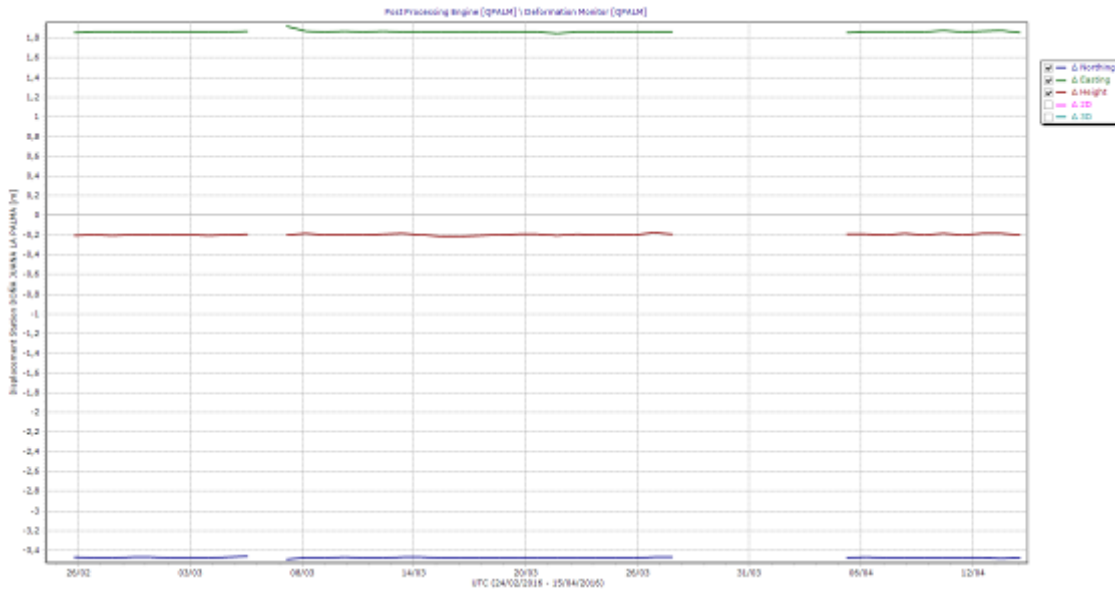
**Figura 83.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 84.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.



**Figura 85.** 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 30 de abril de 2016.



**Figura 86.** 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 24 de febrero y el 15 de abril de 2016.

#### 4.2.4. Actividad Superficial

Durante el mes de abril 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 abril 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

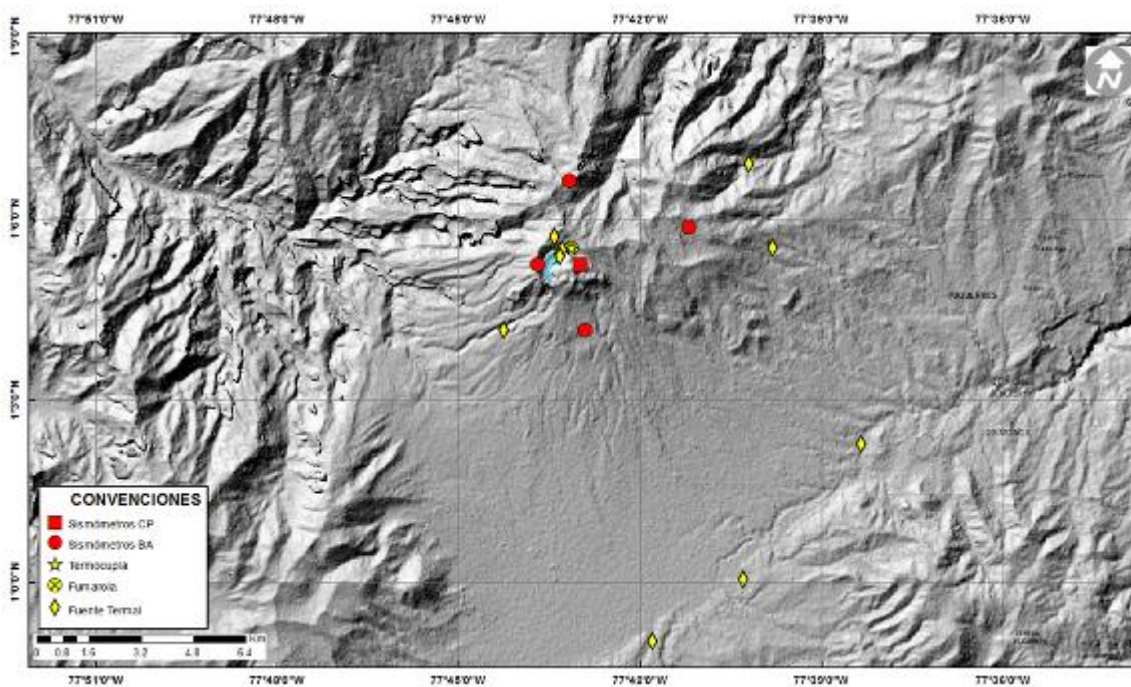
La red de vigilancia sísmica del volcán Azufral está compuesta por cinco estaciones, La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con inclinómetros electrónicos y Laguna con una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial (Figuras 87 y 88, Tabla 22). Se tiene una estación climatológica cerca de la estación La Roca, sensores para medir velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica y radiación solar. También hay una estación de medición de temperatura permanente en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica y desde el pasado mes de marzo de 2015 se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparamétrica La Roca (Figura 88).

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por cuatro bases y 12 prismas reflectores (Figura 88).

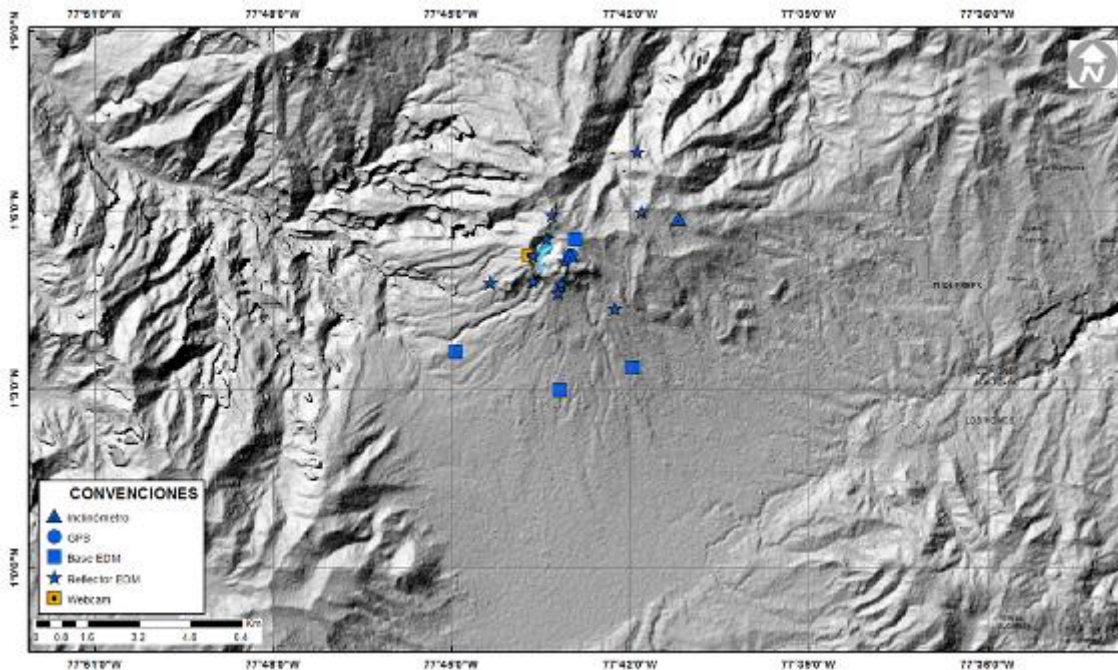
En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 99% para este mes (Figura 89).

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

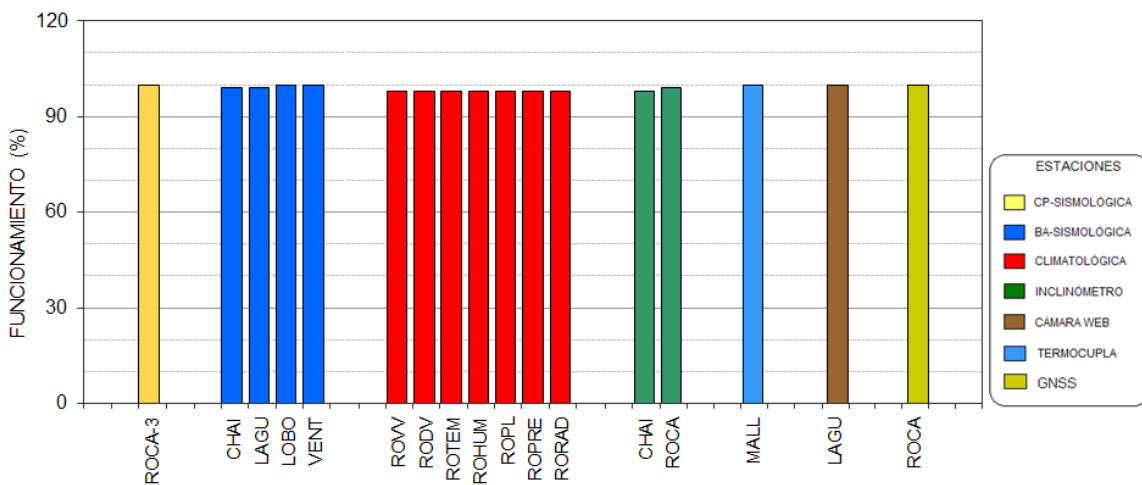
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a la Laguna (Km)	Ubicación Respecto a la Laguna	Altitud (msnm)
La Roca	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1,2	E	4025
Chaitán	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	4,3	ENE	3730
Laguna	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial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



**Figura 87.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de abril de 2016.



**Figura 88.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de abril de 2016.



**Figura 89.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de abril de 2016.

### 4.3.2. Sismología

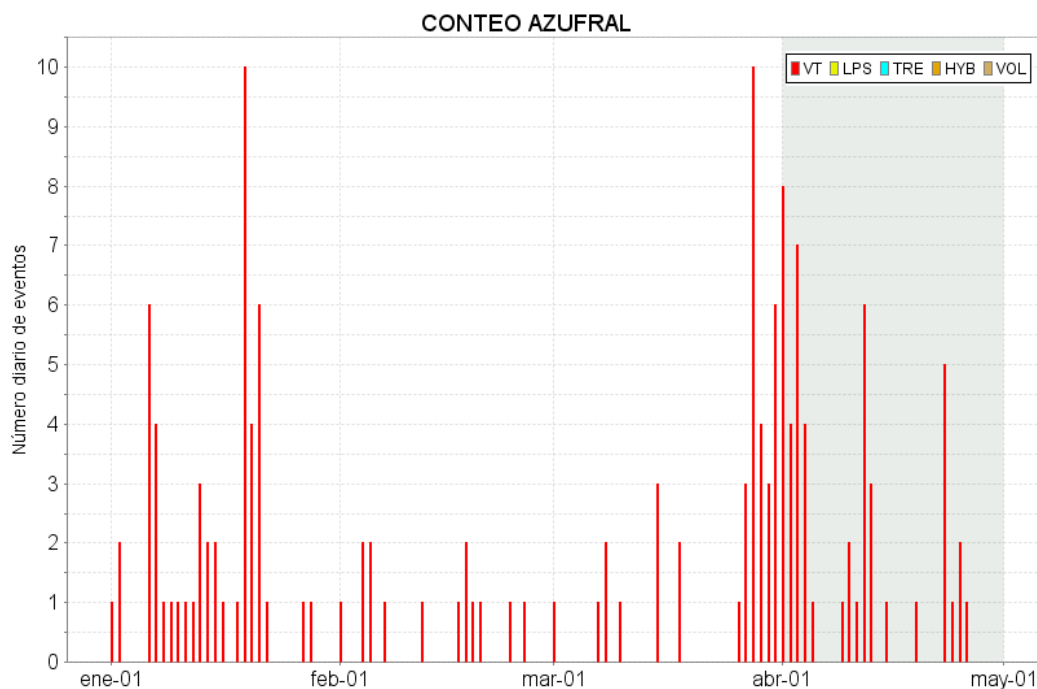
La ocurrencia sísmica en Azufral mostro un incremento del 30% en comparación con el mes anterior, pasando de 37 a 48 sismos, eventos asociados con fractura de roca (VT) Tabla 23, Figura 90. De esta sismicidad fue posible localizar 35 eventos, los cuales se ubicaron principalmente hacia el sector sur y suroccidental del edificio volcánico, algunos de los cuales se localizaron a 9.1 km de la

Laguna cratérica, con profundidades entre 6 y 9.6 km, los más próximos se concentraron entre los 2.7 y 3.5 km al suroccidente, con profundidades entre 10.2 y 12.3 km, y los más lejanos ubicados hacia el sur a 9.6 km de la Laguna cratérica presentaron profundidades de hasta 14.7 km. La magnitud local fue menor de 2.2 en la escala de Richter (Figura 91), cerca del 69% presento magnitudes menores a 1.

La energía de los sismos localizados fue de  $1.53 \times 10^{14}$  ergios (Tabla 24), mostrando un descenso respecto al mes anterior.

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-ene-16 a 31-ene-16	50	50
01-feb-16 a 29-feb-16	14	14
01-mar-16 a 31-mar-16	37	37
01-abr-16 a 30-abr-16	48	48

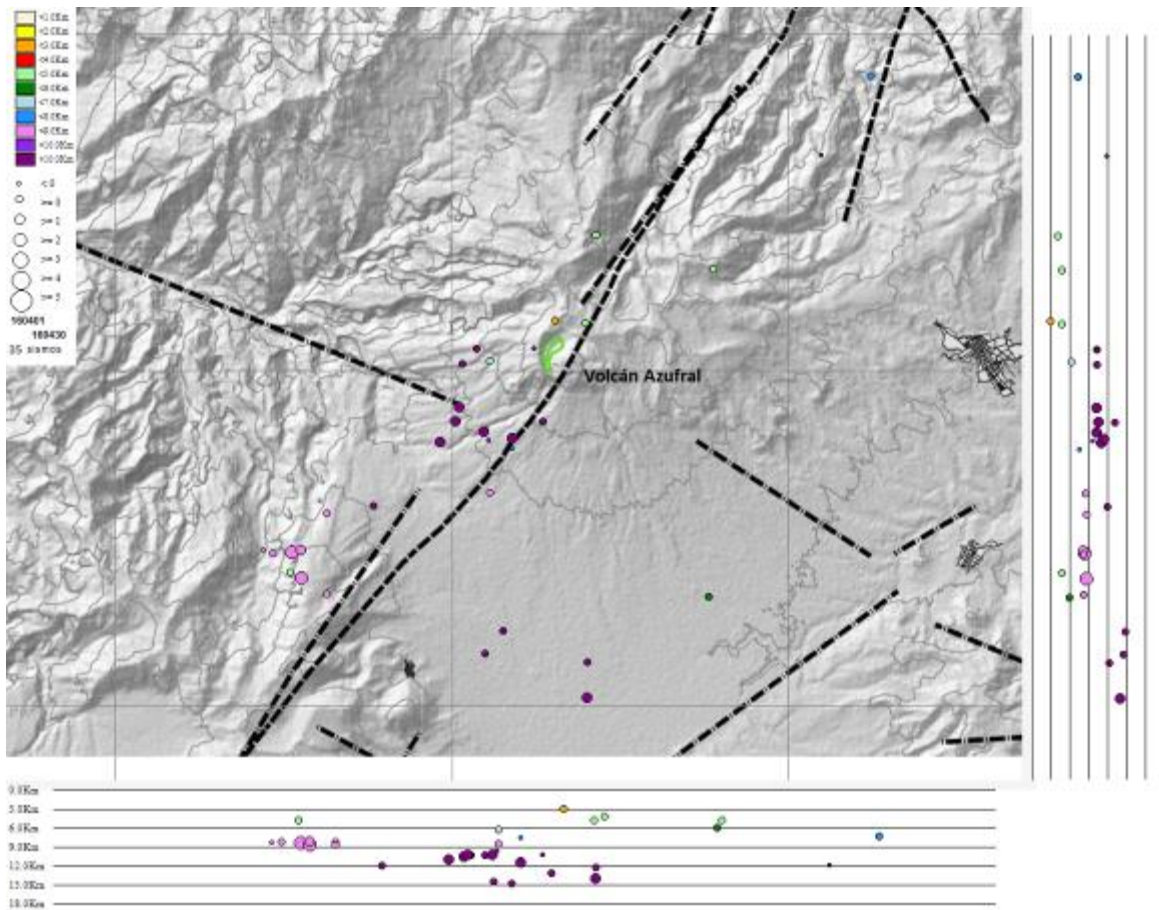


**Figura 90.** Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre enero y abril de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.



**Tabla 23.** Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Energía liberada por los sismos VT	
	VT	TOTAL
01-ene-16 a 22-ene-16	1,57E+14	1,57E+14
01-feb-16 a 26-feb-16	8,30E+13	8,30E+13
01-mar-16 a 31-mar-16	4,63E+14	4,63E+14
01-abr-16 a 26-abr-16	1,53E+14	1,53E+14



**Figura 91.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en abril de 2016 en el volcán Azufra. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.

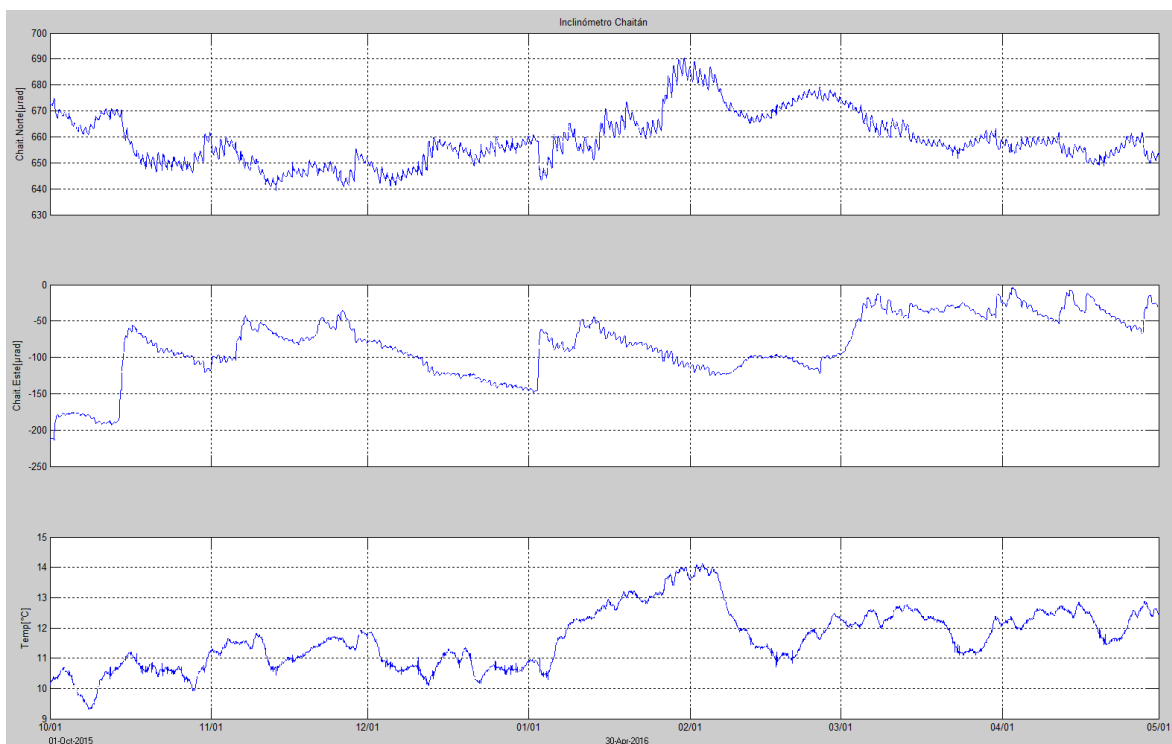
### 4.3.3. Deformación Volcánica

#### 4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

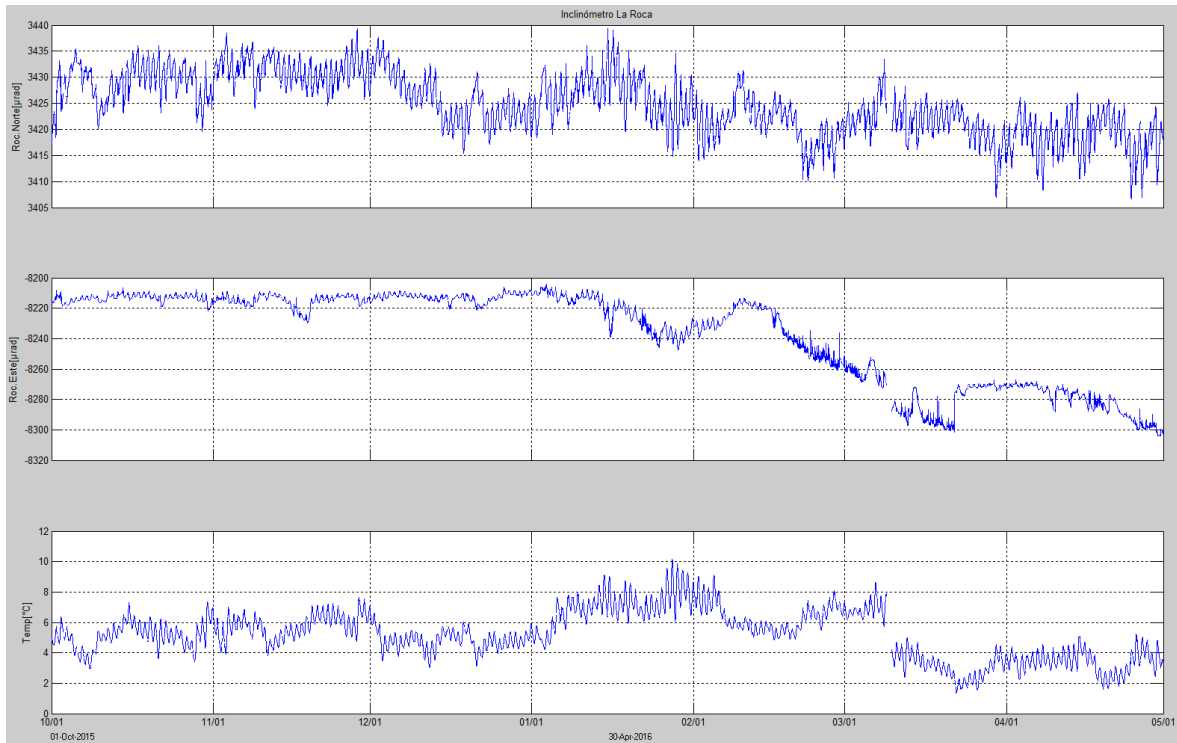
Respecto a los procesos deformativos en superficie del edificio volcánico de Azufral, pese a las fluctuaciones en el registro es posible distinguir un comportamiento ascendente en la componente Este del inclinómetro Chaitán, alcanzando cerca de 198  $\mu\text{rad}$  desde el mes de octubre de 2015, por su parte en la componente de inclinación Norte se observa una tendencia descendente, la cual registra 40  $\mu\text{rad}$  desde el 30 de enero de 2016 (Figura 92). De igual forma desde el 2 de enero de 2016 se observa una tendencia descendente en la componente Este del inclinómetro La Roca, registrando 102  $\mu\text{rad}$  hasta el 30 de abril (Figura 93).

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

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



**Figura 92.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.

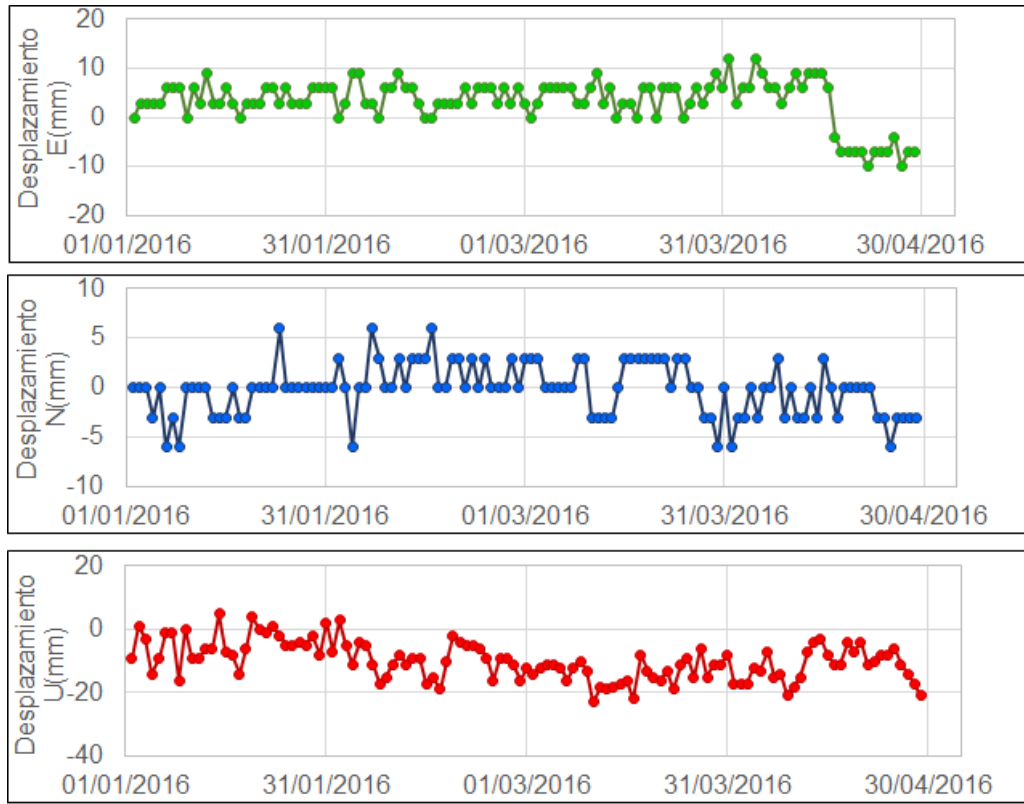


**Figura 93.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2015 y el 30 de abril de 2016.

#### 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 la Figura 94 se muestra comportamiento de las direcciones Norte, Este y altura del GNSS instalado 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.



**Figura 94.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 29 de abril de 2016.

#### 4.3.4. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables la mayor parte del tiempo evaluado, excepto los días 7, 15, 19, 20, 21, 24 y 25 de abril, fue posible a través de 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.

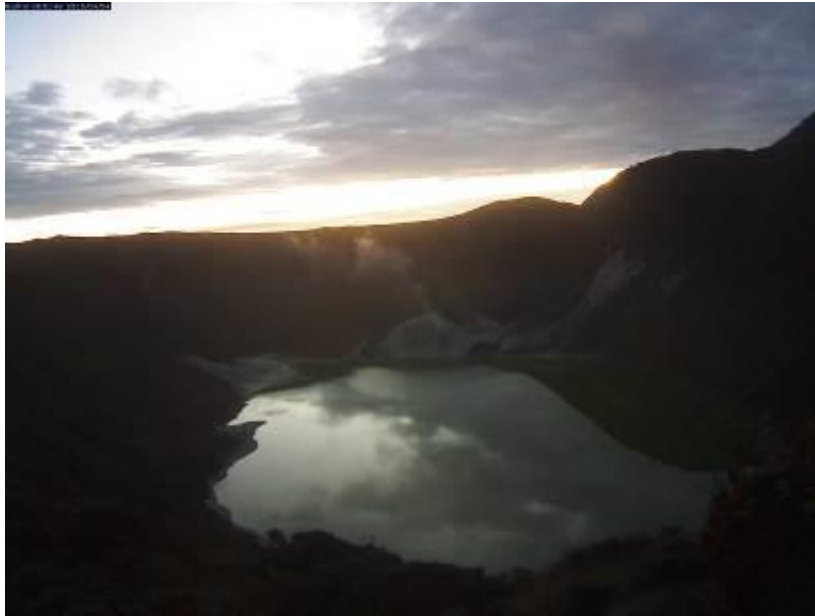
En las Figuras 95 a 99 se presentan algunas imágenes con procesos de emisión de gases en Azufra.



**Figura 95.** Emisión de gases del domo Mallama, 2 de abril de 2016 a las 6:31 a.m.



**Figura 96.** Emisión de gases del domo Mallama, 3 de abril de 2016 a las 6:36 a.m.



**Figura 97.** Emisión de gases del domo Mallama, 4 de abril de 2016 a las 6:01 a.m.



**Figura 98.** Emisión de gases del domo Mallama, 14 de abril de 2016 a las 7:06 a.m.





Figura 99. Emisión de gases del domo Mallama, 29 de abril de 2016 a las 7:11 a.m.

#### 4.3.5. Conclusiones

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