

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO
IDENTIFICACIÓN		
Información de la citación		
CITACIÓN		
Nombre del responsable	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano
Tipo de responsable	Autor Corporativo	Autor corporativo
Nombre del responsable		Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Tipo de responsable	Autor intelectual. Si hay varios autores hay que escribirlo cada uno.	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Nombre del responsable		
Tipo de responsable	Procesador: persona encargada de recibir y organizar la información	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Nombre del responsable		Darío Fernando Arcos Guerrero
Fecha	De publicación/disposición tres primeras letras del mes/año	Ene/2017
Título		INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, CHILES, CERRO NEGRO, LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL. DICIEMBRE DE 2016.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
Identificador	En proceso de definición	
Descripción	Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados	Presentación de resultados y análisis de los datos obtenidos del monitoreo continuo a la actividad del volcán Galeras en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Presentación de datos obtenidos de monitoreo continuo de la actividad de los volcanes Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Se utilizan gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones específicas donde el conjunto de datos ha sido o se está utilizando. Incluye opcionalmente lista de anexos, fuentes y documentos relacionados con el conjunto de datos.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales (Investigación, plan, programa, proyecto).	Proyecto
Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	Investigación y monitoreo de la actividad volcánica – AME13-06.
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos.	Diciembre de 2016.
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica.	Zona de influencia del Volcán Galeras.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO
	Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km ²	Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia del Volcán Chiles. Zona de influencia del Volcán Cerro Negro. Zona de influencia del Volcán Las Ánimas. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral.
Coordenadas /limites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptor primarios: -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas -Estación climática -Cenizas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios.	- Zona de influencia del Volcán Galeras, cono activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Cumbal. - Zona de influencia del Volcán Chiles. - Zona de influencia del Volcán Cerro Negro. - Zona de influencia del Volcán Las Ánimas. - Zona de influencia del Volcán Doña Juana. - Zona de influencia del Volcán Azufral.
Código temático		Capas de información.
Restricción de acceso	Limitaciones para acceso al conjunto de datos incluye restricciones que aseguren protección de privacidad o propiedad intelectual o limitaciones en obtención del conjunto de datos.	Derechos de propiedad intelectual. Prohibida su reproducción total o parcial con fines comerciales. Incluye información básica para documentos e investigación.
Muestra gráfica	Ilustración gráfica del conjunto de datos. Se especifica la dirección del computador, trayectoria, nombre y extensión del archivo.	Los datos se encuentran en el Servidor de archivos principal en la unidad VIGILANCIA en la siguiente ruta: V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2016\dic
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido, normatividad	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y sísmica en la zona de influencia del Volcán Galeras, y volcanes del suroccidente colombiano, para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO
		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	http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2015-1.aspx
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		<i>cliente@sgc.gov.co</i>



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

Edición:

DARÍO FERNANDO ARCOS GUERRERO

San Juan de Pasto, enero de 2017

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – DICIEMBRE DE 2016	4
1.1. RED DE VIGILANCIA	4
1.2. SISMOLOGÍA	9
1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	14
1.3.1. Inclinometría Electrónica	14
1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	19
1.4. GEOQUÍMICA	24
1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO ₂	24
1.4.2. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Galeras	26
1.5. ELECTROMAGNETISMO	34
1.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	36
1.7. CONCLUSIONES	38
2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – DICIEMBRE DE 2016	39
2.1. RED DE VIGILANCIA	39
2.2. SISMOLOGÍA	40
2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	46
2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	49
2.5. CONCLUSIONES	51
3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – DICIEMBRE DE 2016	52
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	52
3.2. RED DE VIGILANCIA	52
3.3. SISMOLOGÍA	55
3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	61
3.5. GEOQUÍMICA	63
3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	63
3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	64
3.7. CONCLUSIONES	65
4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – DICIEMBRE DE 2016	66
4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS	67
4.1.1. Ubicación Geográfica	67
4.1.2. Red de vigilancia	67
4.1.3. Sismología	69
4.1.4. Deformación Volcánica	70
4.1.4.1. Inclinometría Electrónica	70
4.1.4.2. Estaciones GNSS Permanentes	70
4.1.5. Actividad Superficial	72
4.1.6. Conclusiones	72
4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA	72
4.2.1. Red de vigilancia	72
4.2.2. Sismología	74
4.2.3. Deformación Volcánica	76
4.2.3.1. Inclinometría Electrónica	76
4.2.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	76
4.2.4. Actividad Superficial	79

4.2.5.	Conclusiones	79
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL	79
4.3.1.	Red de vigilancia	79
4.3.2.	Sismología	82
4.3.3.	Deformación Volcánica	84
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	84
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias – E:D:M.	84
4.3.3.3.	Estaciones GNSS Permanentes	86
4.3.4.	GEOQUÍMICA	88
4.3.4.1.	Registro de temperatura – Estación Térmica Mallama	88
4.3.5.	Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos	89
4.3.6.	Conclusiones	89

TABLAS

	Pág.	
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de diciembre de 2016.	5
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de diciembre de 2016.	5
Tabla 3.	Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de diciembre 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 septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	9
Tabla 8.	Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	11
Tabla 9.	Emisiones de SO ₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de diciembre de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	25
Tabla 10.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales de la zona de influencia del Volcán Galeras.	27
Tabla 11.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del Volcán Galeras.	27
Tabla 12.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	30
Tabla 13.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2016.	40
Tabla 14.	Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	41
Tabla 15.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre de 2016.	53
Tabla 16.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	54
Tabla 17.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	56

Tabla 18.	Energía sísmica liberada calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	58
Tabla 19.	Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – diciembre de 2016.	63
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2016.	67
Tabla 21.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del volcán Las Ánimas registrados entre septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	69
Tabla 22.	Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.	73
Tabla 23.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del Volcán Doña Juana registrados entre septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	75
Tabla 24.	Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del Volcán Azufral.	80
Tabla 25.	Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	82
Tabla 26.	Valores de temperatura en domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – diciembre de 2016.	88

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 diciembre de 2016.	6
Figura 2	Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos, GNSS permanentes y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2016.	7
Figura 3	Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO ₂ , fuentes termales y radón telemétrico que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2016.	8
Figura 4	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de diciembre de 2016, de las estaciones 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 septiembre y diciembre 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 diciembre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de noviembre (barras de la izquierda).	10
Figura 7	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de noviembre y diciembre 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 septiembre y el 31 de diciembre de 2016.	11
Figura 9	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para diciembre de 2016 (barras de la derecha) respecto a noviembre de 2016 (barras de la izquierda).	12
Figura 10	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para noviembre y diciembre de 2016.	12
Figura 11	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 18 de diciembre de 2016, a las 4:55 a.m., registrando 241 segundos de duración y una frecuencia	13

	dominante de 8.6 Hz.	
Figura 12	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de diciembre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2.0 km de profundidad.	14
Figura 13	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	15
Figura 14	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	16
Figura 15	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	16
Figura 16	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	17
Figura 17	Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	17
Figura 18	Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	18
Figura 19	Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	18
Figura 20	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	19
Figura 21	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 26 de octubre de 2011 y el 23 de diciembre de 2016.	20
Figura 22	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 23 de diciembre de 2016.	20
Figura 23	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 30 de diciembre de 2011 y el 26 de noviembre de 2016.	21
Figura 24	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de agosto de 2011 y el 23 de diciembre de 2016.	21
Figura 25	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 16 de mayo de 2014 y el 23 de diciembre de 2016.	22
Figura 26	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2012 y el 23 de diciembre de 2016.	22
Figura 27	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Peladitos instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 19 de septiembre de 2016 y el 23 de diciembre de 2016.	23

Figura 28	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 19 de septiembre de 2016 y el 23 de diciembre de 2016.	23
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 3 de marzo de 2010 y el 23 de diciembre de 2016.	24
Figura 30	Flujo de emisión de SO ₂ registrado desde el 1 de septiembre de 2016 hasta el 31 de diciembre de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	25
Figura 31	Flujo de emisión de SO ₂ , dirección y velocidad del viento para el mes de diciembre de 2016.	26
Figura 32	Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Galeras.	26
Figura 33	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.	28
Figura 34	Variación de temperatura de las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.	29
Figura 35	Variación de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.	29
Figura 36	Imagen térmica FT Río Pasto – diciembre de 2016.	30
Figura 37	Imagen térmica FT Aguas Agrías – diciembre de 2016.	31
Figura 38	Imagen térmica FT Cehani – diciembre de 2016.	31
Figura 39	Imagen térmica FT Agua Blanca – diciembre de 2016.	32
Figura 40	Imagen térmica FT Licamancha – diciembre de 2016.	32
Figura 41	Variación del pH de las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.	33
Figura 42	Variación de concentración de bicarbonato en las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.	33
Figura 43	Intensidad del Campo Magnético Total, de las estaciones de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Galeras. Frailejón (superior) para el periodo comprendido entre el 15 de octubre y el 31 de diciembre de 2016 y Barranco (inferior), para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016.	34
Figura 44	Intensidad del campo magnético Terrestre Total, registrado en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el periodo comprendido en los meses de noviembre y diciembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	35
Figura 45	Variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Frailejón (superior) y Barranco (inferior), pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo entre septiembre y diciembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.	36
Figura 46	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 2 de diciembre de 2016, en horas de la tarde, 5:17 p.m. y 5:03 p.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.	36
Figura 47	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 8 de diciembre de 2016, imágenes capturadas desde las cámaras de Barranco (izquierda 3:04 p.m.) y Bruma (derecha 5:39 p.m.).	37
Figura 48	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 16 de diciembre de 2016, en horas de la tarde 5:57 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.	37
Figura 49	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 20 de diciembre de 2016, en horas de la mañana, fotografías capturadas desde las cámaras de Bruma y Barranco.	37
Figura 50	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 24 de diciembre de 2016, en horas de la mañana, capturada desde la cámara ubicada en Bruma.	38
Figura 51	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 27 de diciembre de 2016, a las 6:13 a.m., fotografía capturada desde la cámara ubicada en Barranco.	38
Figura 52	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo	39

	volcánico Cumbal, durante el mes de diciembre de 2016.	
Figura 53	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2016.	40
Figura 54	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre septiembre y diciembre de 2016.	41
Figura 55	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de noviembre de 2016 (barras de la izquierda).	42
Figura 56	Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para noviembre y diciembre de 2016.	42
Figura 57	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de diciembre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).	43
Figura 58	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos localizados en Cumbal entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	43
Figura 59	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 5 de diciembre de 2016, a las 00:33 a.m., registrando 79 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.34 Hz.	44
Figura 60	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 15 de diciembre de 2016, a las 4:33 a.m., registrando 32 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.33 Hz.	44
Figura 61	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 25 de diciembre de 2016, a las 10:09 p.m., registrando 104 segundos de duración y una frecuencia dominante de 1.65 Hz.	45
Figura 62	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 26 de diciembre de 2016, a las 3:33 a.m., registrando 54 segundos de duración y una frecuencia dominante de 1.86 Hz.	45
Figura 63	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de diciembre de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de diciembre de 2016.	46
Figura 64	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 y el 31 de diciembre de 2016.	47
Figura 65	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	47
Figura 66	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	48
Figura 67	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	48
Figura 68	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 10 de diciembre de 2016, capturada con la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.	49
Figura 69	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 11 de diciembre de 2016, capturada con la cámara ubicada en la estación Punta	50

	Vieja.	
Figura 70	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 14 de diciembre de 2016, en horas de la mañana (7:40 a.m.), fotografía capturada desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.	50
Figura 71	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 17 de diciembre de 2016, en horas de la tarde (5:08 p.m.), fotografía capturada desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.	51
Figura 72	Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), para los días 20 y 22 de diciembre de 2016, en horas de la tarde, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.	51
Figura 73	Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	52
Figura 74	Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de diciembre de 2016.	53
Figura 75	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 diciembre de 2016.	55
Figura 76	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 diciembre 31 de 2016.	56
Figura 77	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 septiembre y diciembre de 2016.	57
Figura 78	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de diciembre de 2016 (barras de la izquierda).	57
Figura 79	Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro para noviembre y diciembre de 2016.	58
Figura 80	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en diciembre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	59
Figura 81	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, el 8 de diciembre de 2016 y que fueron reportados como sentidos por habitantes del Resguardo Indígena de Chiles, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	60
Figura 82	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	60
Figura 83	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	61
Figura 84	Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio de 2014 y el 31 de diciembre de 2016.	62
Figura 85	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de diciembre de 2016.	62
Figura 86	Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – diciembre de 2016.	63
Figura 87	Imagen de los Volcanes Chiles (izquierda) y Cerro Negro (derecha), fotografía capturada el 6	64

	de diciembre de 2016, a las 7:33 a.m.	
Figura 88	Imagen de los Volcanes Chiles (izquierda) y Cerro Negro (derecha), fotografía capturada el 10 de diciembre de 2016, a las 11:49 a.m.	64
Figura 89	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.	66
Figura 90	Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	67
Figura 91	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2016.	68
Figura 92	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2016.	68
Figura 93	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante diciembre de 2016.	69
Figura 94	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	71
Figura 95	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	71
Figura 96	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 16 de diciembre de 2015 y el 23 de diciembre de 2016.	72
Figura 97	Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	73
Figura 98	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Doña Juana para el mes de diciembre de 2016.	74
Figura 99	Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en diciembre de 2016.	74
Figura 100	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de septiembre y diciembre de 2016.	76
Figura 101	Localización epicentral e hipocentral de los sismos localizados en el volcán Doña Juana, registrados en el mes de diciembre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.	76
Figura 102	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	77
Figura 103	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 y el 31 de diciembre de 2016.	78
Figura 104	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	78
Figura 105	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 27 de febrero y el 23 de diciembre de 2016.	79
Figura 106	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2016.	81

Figura 107	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación del Volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2016.	81
Figura 108	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2016.	82
Figura 109	Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre septiembre y diciembre de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.	83
Figura 110	Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en diciembre de 2016 en el volcán Azufral. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.	83
Figura 111	Energía diaria estimada con la magnitud local de los sismos VT ocurridos en Azufral entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	84
Figura 112	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	85
Figura 113	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.	85
Figura 114	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 23 de diciembre de 2016.	86
Figura 115	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Laguna instalada en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 14 de junio de 2016 y el 23 de diciembre de 2016.	87
Figura 116	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalada en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 23 de diciembre de 2016.	87
Figura 117	Temperatura estación Térmica domo Mallama – Junio a Diciembre de 2016.	88
Figura 118	Intensidad del Campo Magnético Total, de la estación de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Azufral, Lobo, para el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2016.	89
Figura 119	Variación la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Lobo, pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.	89
Figura 120	Emisión de gases del domo Mallama, 9 de diciembre de 2016 a las 6:35 a.m.	90
Figura 121	Imágenes de la emisión de gases del domo Mallama, 18 de diciembre de 2016 a las 6:00 a.m., (izquierda) y 6:05 a.m., (derecha).	90
Figura 122	Emisión de gases del domo Mallama, 20 de diciembre de 2016 a las 6:21 a.m.	91
Figura 123	Emisión de gases del domo Mallama, 23 de diciembre de 2016 a las 7:30 a.m.	91
Figura 124	Emisión de gases del domo Mallama, 20 de diciembre de 2016 a las 7:50 a.m.	92

INTRODUCCIÓN

A lo largo del mes de diciembre 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 diciembre 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 medibles, como los apreciables de la actividad volcánica, los cuales pueden variar en intensidad, duración y frecuencia.

RESUMEN


En el mes de diciembre 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 valores similares en la ocurrencia sísmica y descenso en la energía liberada, el mayor aporte en energía provino de los eventos clasificados como VT con el 97% 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 45% en comparación con el mes anterior.

Los sismos localizados se ubicaron de manera dispersa alrededor del cráter volcánico, cuyas profundidades estuvieron entre 0.5 y los 12 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes locales menores a 1.5 en la escala de Richter.

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

En el transcurso del periodo evaluado se obtuvieron 21 mediciones de emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) a la atmósfera, con valores entre bajos y moderados para Galeras. El valor máximo de flujo de SO₂ del periodo evaluado, fue de 556 Tn/día, registrado el 3 de diciembre de 2016.

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

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

De acuerdo al monitoreo sísmico registrado por las estaciones instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado se observó que la mayor parte de eventos se asocian con fractura de roca y posterior movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico. En relación con el mes anterior, se observó un descenso del 3% en la ocurrencia diaria de sismicidad. En este mes se tuvo registro de 16 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, cuyas frecuencias dominantes estuvieron entre 1.65 y 5.5 Hz. En su mayoría la sismicidad de fractura se localizó en inmediaciones del cono volcánico de Cumbal y a profundidades superficiales, cuyas magnitudes fueron menores a 2.1 en la escala de Richter, cerca del 96% inferior a 1.

La mayor parte del periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases, de color blanco y dispersión variable por acción de los vientos, provenientes principalmente desde el campo fumarólico El Verde (sector noreste).

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de diciembre 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 incremento en la ocurrencia diaria de eventos, la mayoría ubicados hacia los sectores sur y suroriente del volcán Chiles con algunos epicentros hacia el costado suroccidente con magnitudes menores a 2.8 en la escala de Richter y mayor concentración a profundidades entre 2 y 7 km. Se resalta el registro de dos eventos tipo VT el día 8 de diciembre, el primero a las 03:41 a.m., y el segundo a las 06:49 a.m., los cuales fueron reportados como sentidos por habitantes del Resguardo Indígena de Chiles. 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 42.9 °C y un mínimo de 41.9 °C.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de diciembre 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 2 eventos tipo VT y estabilidad en los registros de los inclinómetros electrónicos. En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado se tiene registro de tres eventos clasificados de fractura de material rocoso, con magnitud local menor a 1 y profundidades entre 7.3 y 15.6 km.

En relación al volcán Azufral, predominaron los sismos clasificados como VT, y en total se registraron 16 eventos, de los cuales fue posible obtener una solución de localización para 8 de ellos, 2 se ubicaron muy próximos a la laguna cratérica y los otros 6 de manera dispersa, los más próximos presentaron profundidades entre 2.6 y 2.9 km y los más dispersos hasta los 9.5 km. La magnitud local fluctuó entre 0 y 1.9 en la escala de Richter.

La termocupla de Mallama registro valores de temperatura entre 75.8 °C y 88.8 °C.

Para el periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases la mayor parte del tiempo, excepto para los 1, 4 y 31 de diciembre, columnas de color blanco, de baja altura, provenientes principalmente de uno de los domos activos ubicados al nororiente de la Laguna Verde.

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

1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – DICIEMBRE DE 2016

1.1. RED DE VIGILANCIA

Para el periodo evaluado, la red de monitoreo del volcán Galeras, estuvo conformada por:

- Catorce estaciones sísmicas telemétricas: cuatro de corto periodo triaxiales y diez de banda ancha triaxiales (Figura 1, Tabla 1).
- Tres sensores de presión acústicos, uno ubicado en el sector occidental, en el sitio de la estación sísmica de corto periodo Calabozo, otro ubicado en el sitio de la estación sísmica de banda ancha Cráter-2 y el último ubicado en el sitio de la estación sísmica Cóndor (Tabla 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Ocho estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas alrededor del cono activo (Figura 2, Tabla 3).
- Tres estaciones con transmisión telemétrica para la detección de emisiones de dióxido de azufre (SO_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 multiparamétrica Cráter-2.
- Tres estaciones de transmisión telemétrica para la medición de emisiones del gas Radón (Rn-222) proveniente del suelo, ubicadas por la vía de acceso a la cima del volcán, Lavas 1, Parques y Lirios (Figura 3).

Adicionalmente, con el fin de monitorear los cambios en la superficie del edificio volcánico de Galeras se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por cinco bases y ocho prismas reflectores (Figura 2).

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

En el periodo evaluado, se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos a las estaciones que conforman las redes de monitoreo volcánico de Galeras; adicionalmente, se hicieron mantenimientos en las repetidoras y equipos de recepción en la sede del Observatorio. La operatividad de la red instrumental de Galeras fue cercana al 90%. 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 diciembre de 2016.

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

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGV	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	0.8	E	4170
Cráter-2	CRAZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.9	ENE	3800
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	2.3	ESE	3494
Cobanegra-3	COBZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	3.9	SSE	3625
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.0	NW	3450
Cóndor	CONZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	4.9	SW	3985
Obonuco	OBVR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.9	SE	3010
Nariño-2	NRZZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	5.0	N	2870
Calabozo	CAVZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	6.8	WSW	2353
Ingenio	INGZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.0	WNW	2907
San Felipe	SNFZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.6	SW	3491
San Juan	SJUZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	10.5	NE	2899
Morasurco	MORZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	13.7	NE	3504
Cráter Acústico	CRAC	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	1.5	S	4048
Cóndor Acústico	CONA	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	4.9	SW	3985
Calabozo Acústico	CAMI	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	6.8	WSW	2353

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

Estaciones GNSS	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Peladitos	1,4	SE	3850
Cráter	1,5	S	4048
Cufiño	1,9	ENE	3800
Barranco	2,6	NW	3904
Chiguaco	2,8	NNE	3513
San Cayetano	4,1	E	3035
Ingenio	7,0	WNW	2907
Cóndor	7,6	SW	3520

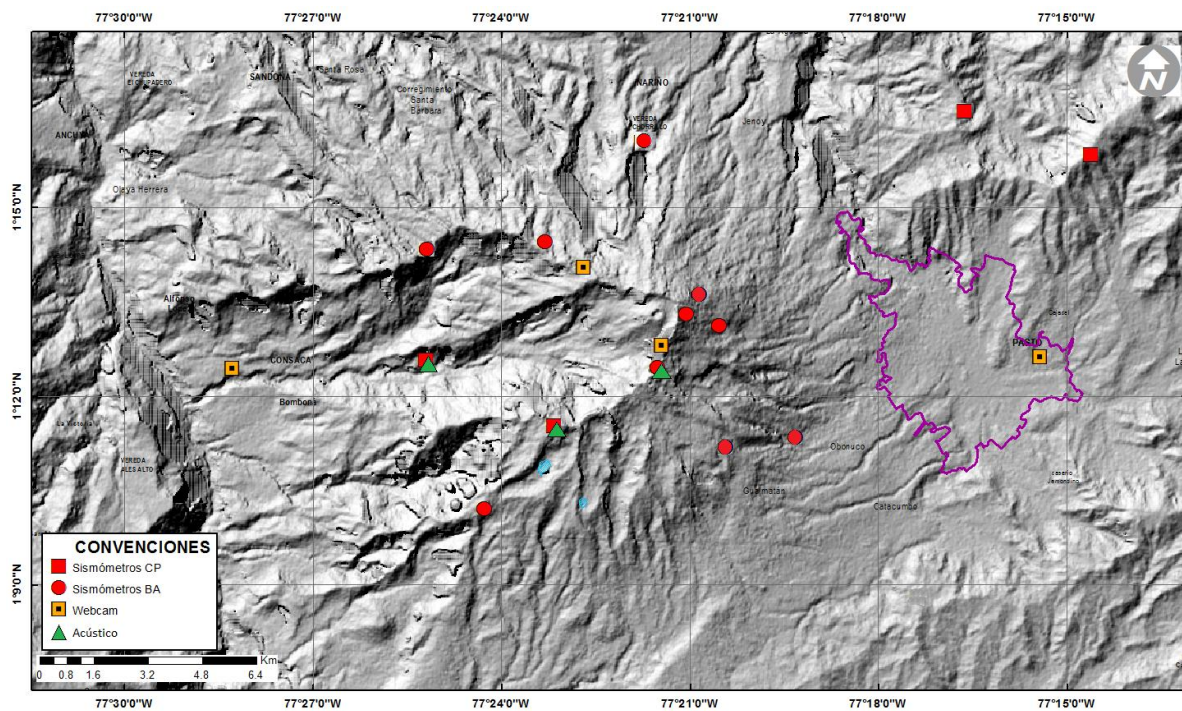


Figura 1. Mapa de localización de las estaciones sísmicas y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2016.

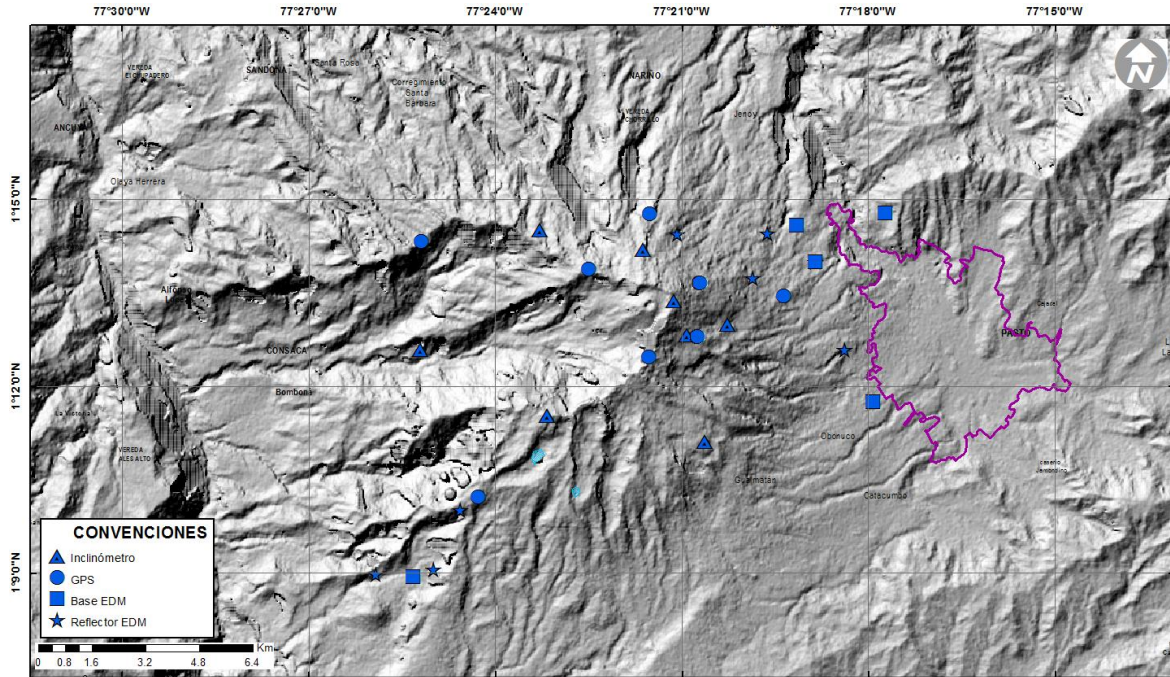


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos, GNSS permanentes y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2016.

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

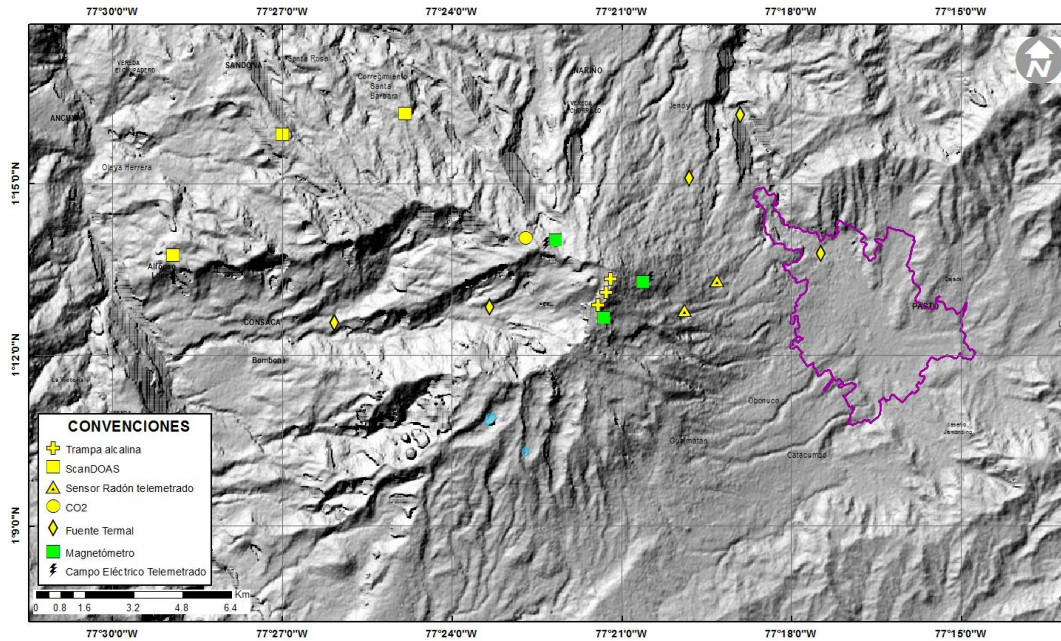


Figura 3. Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO₂, fuentes termales y radón telemétrico que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2016.

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

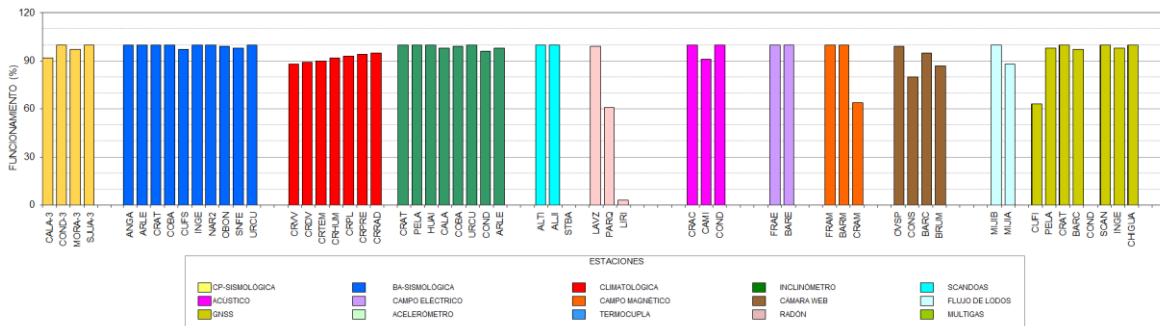


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de diciembre de 2016, de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

1.2. SISMOLOGÍA

En el periodo evaluado la actividad sísmica dominante, estuvo asociada con eventos que involucran fracturamiento de roca (VT), seguidos por sismos caracterizados por fractura y posterior movimiento de fluidos (HYB) y en menor cuantía por eventos relacionados con movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria (LPS) (Tabla 7, Figura 5). En diciembre la sismicidad volcánica mantuvo los niveles de ocurrencia similares a los reportados en el mes anterior, registrándose en total 68 sismos. Resaltándose el incremento de los eventos clasificados como LPS (Figura 6). Los eventos de bajo nivel energético, que no cumplen con los estándares de amplitud y duración, denominados no clasificables (NC), mostraron ascenso, incremento cercano al 45% del número presentado en el mes anterior (Tabla 7).

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

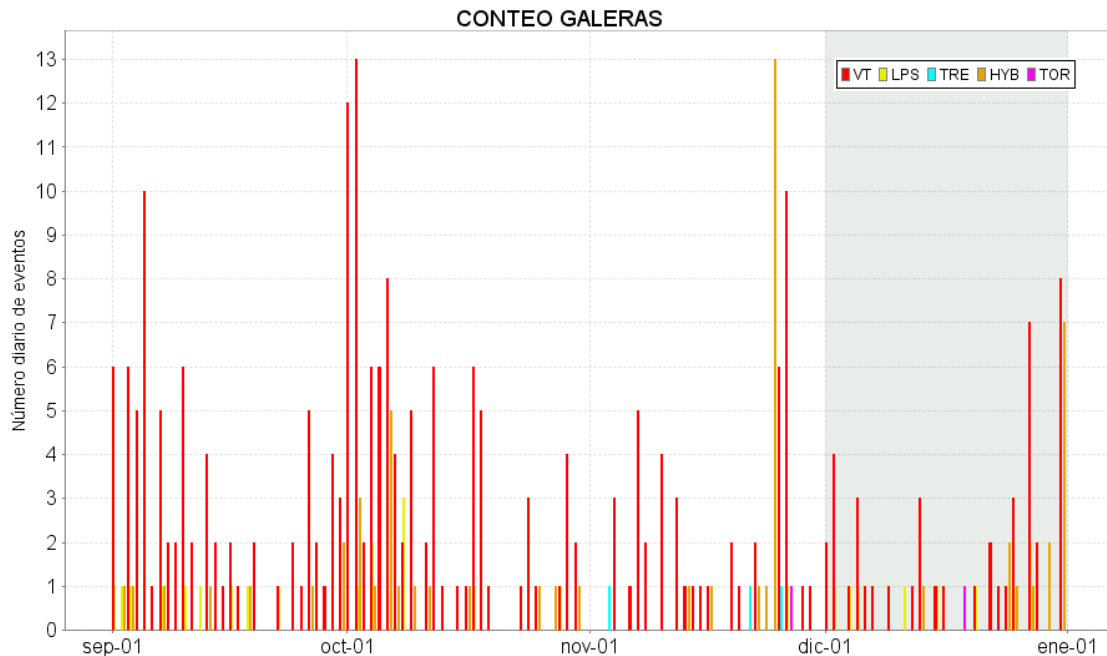


Figura 5. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre septiembre y diciembre de 2016. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL	NO CLASIFICABLES
	vt	lps	tre	hyb	tor			
01-sep-16 a 30-sep-16	76	9	0	8	0	93	200	
01-oct-16 a 31-oct-16	93	8	0	16	0	117	125	
01-nov-16 a 30-nov-16	45	1	3	17	1	67	312	
01-dic-16 a 31-dic-16	44	9	0	14	1	68	453	

Comparación Mensual

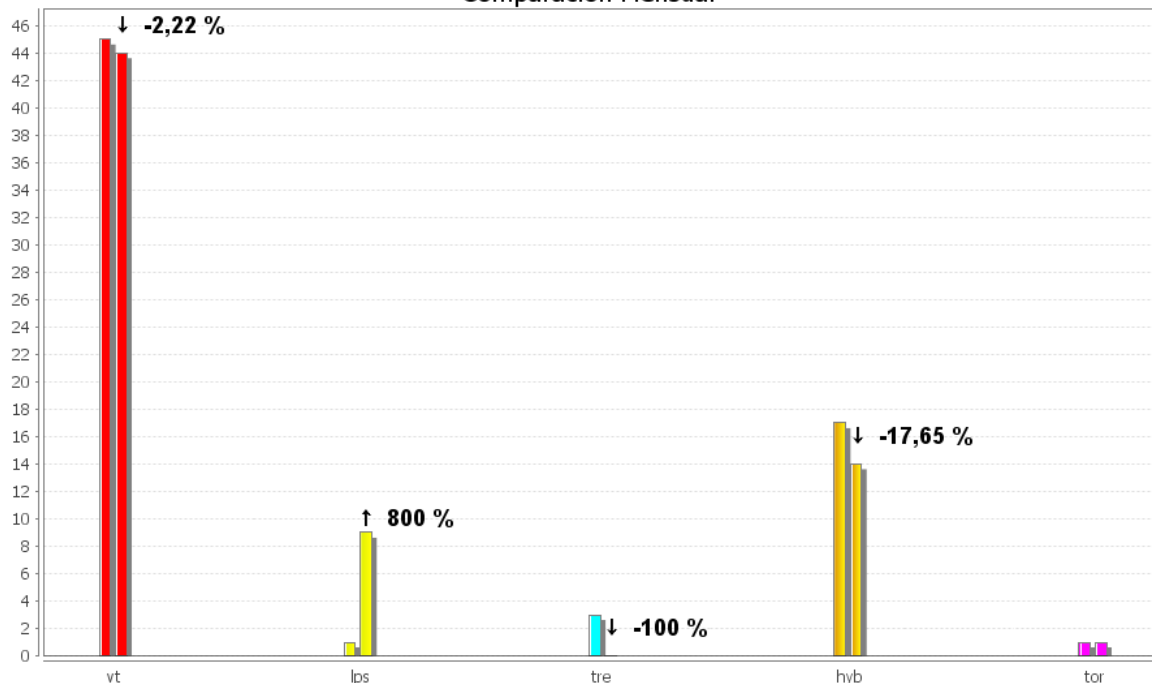


Figura 6. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de noviembre (barras de la izquierda).

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 con el 65% del total.

Relación Porcentual Mensual

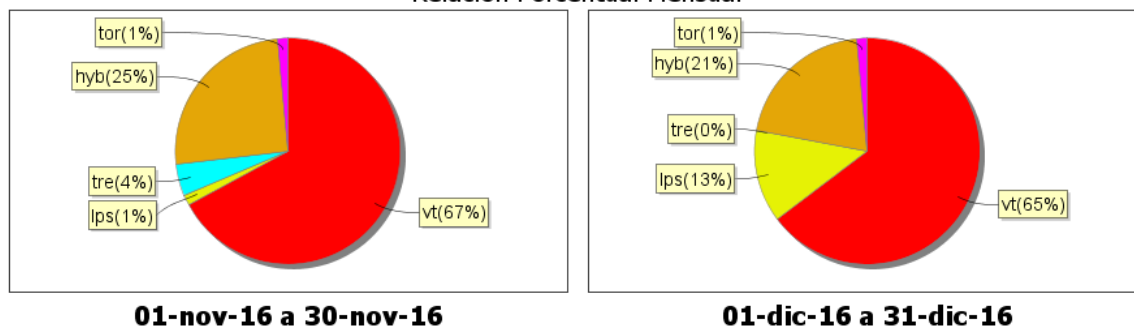


Figura 7. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de noviembre y diciembre de 2016.

La energía sísmica liberada en diciembre de 2016 fue de 6.39×10^{11} ergios, observándose un descenso del 29% respecto a lo presentado en el mes de noviembre (Tabla 8, Figura 8). En el periodo evaluado, el mayor aporte provino de los eventos tipo VT con el 97% del total (Figuras 8, 9 y 10).

Tabla 8. Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre septiembre y diciembre 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-sep-16 a 30-sep-16	9.18E+11	7.80E+10	0	5.62E+10	1.05E+12
01-oct-16 a 31-oct-16	3.72E+12	2.34E+11	0	1.40E+11	4.10E+12
01-nov-16 a 30-nov-16	8.53E+11	2.95E+10	1.57E+10	7.74E+09	9.06E+11
01-dic-16 a 31-dic-16	6.17E+11	1.87E+10	0	2.77E+09	6.39E+11

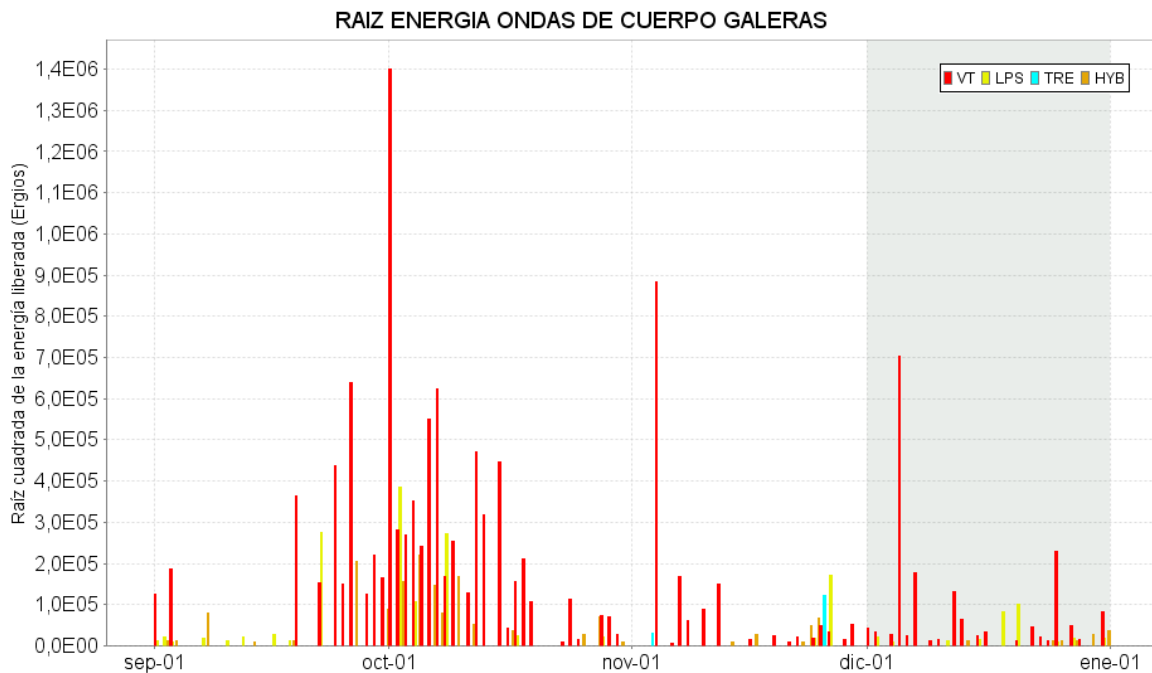


Figura 8. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016.

Comparación Mensual

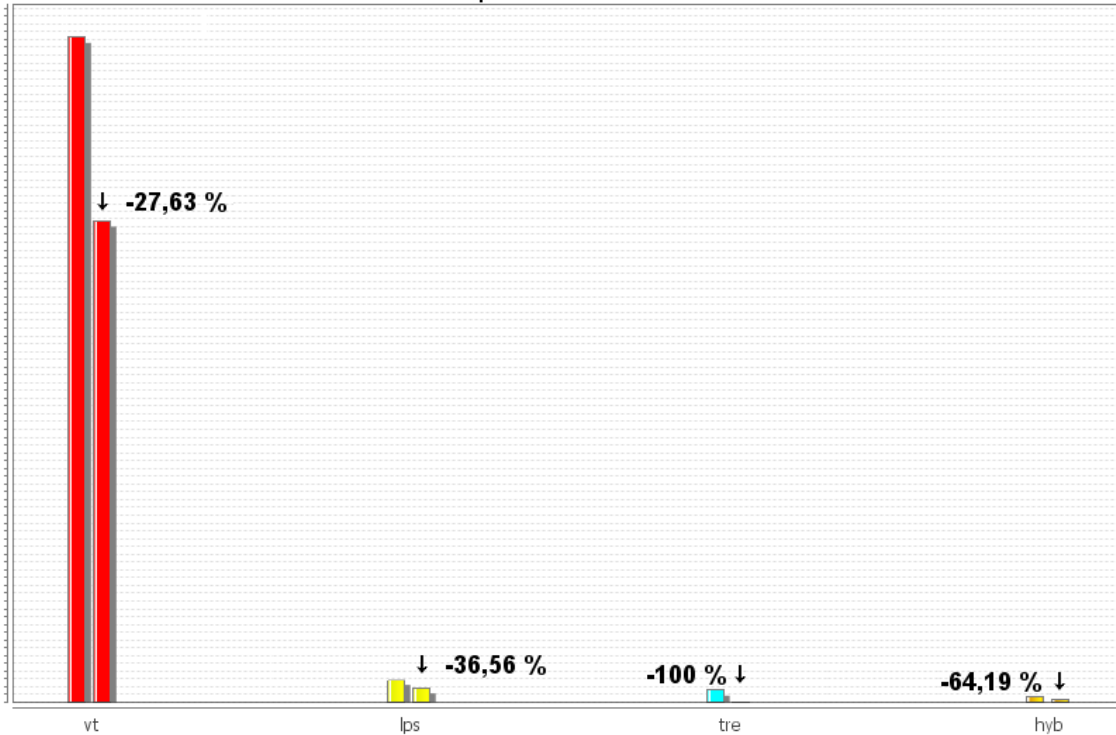


Figura 9. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para diciembre de 2016 (barras de la derecha) respecto a noviembre de 2016 (barras de la izquierda).

Relación Porcentual Mensual

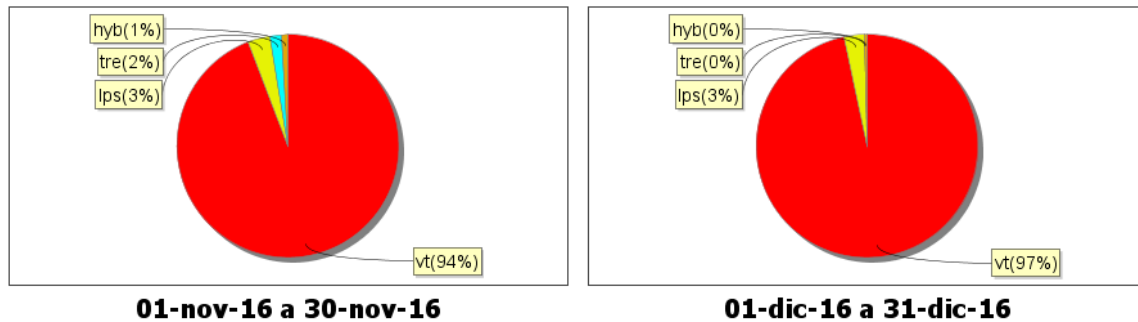


Figura 10. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para noviembre y diciembre de 2016.

De la sismicidad registrada en el periodo evaluado en el Volcán Galeras, resaltaremos la ocurrencia del evento de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR), registrado el 18 de diciembre, a las 4:55 a.m., con una frecuencia dominante de 8.6 Hz y una subdominante de 6.45 Hz (Figura 11), este evento presentó una duración de 241 segundos.

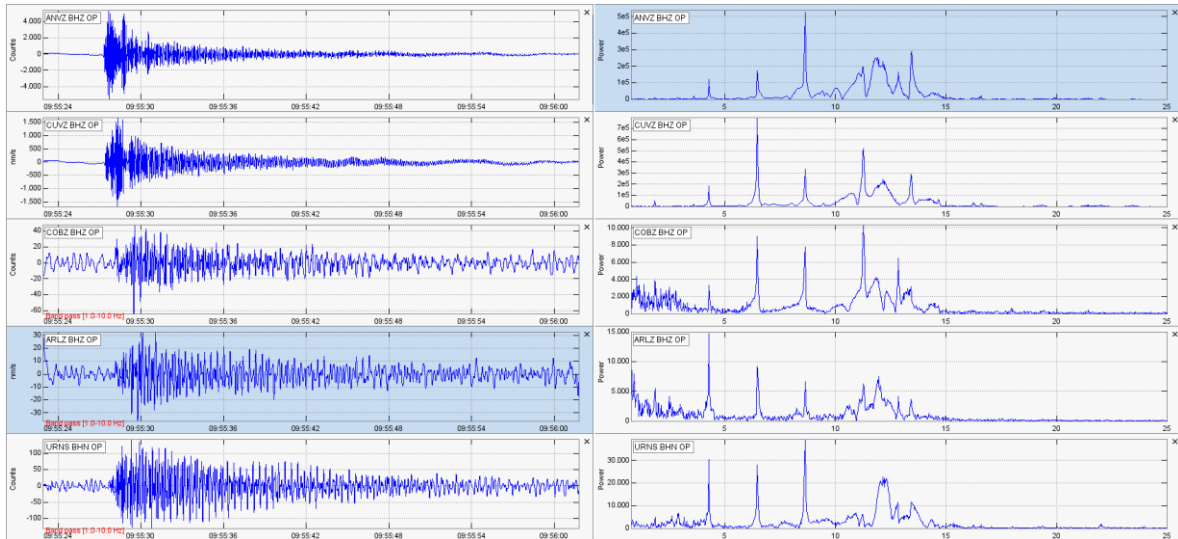


Figura 11. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 18 de diciembre de 2016, a las 4:55 a.m., registrando 241 segundos de duración y una frecuencia dominante de 8.6 Hz.

Para el periodo evaluado fue posible obtener una solución de localización para 27 sismos, clasificados como VT, los más próximos al cráter activo se ubicaron a profundidades inferiores a 3 km respecto a su cima (4270 msnm), el resto de sismicidad se localizó hacia los diferentes flancos del volcán, algunos pocos concentrados hacia los sectores noreste, suroccidente, noroccidente y suroriente, con distancias epicentrales entre 4 y 12 km, profundidades entre 5 y 11.6 km, las magnitudes locales fueron menores a 1.5 en la escala de Richter, el 89% de la sismicidad presentó magnitud local menor a 1 (Figura 12).

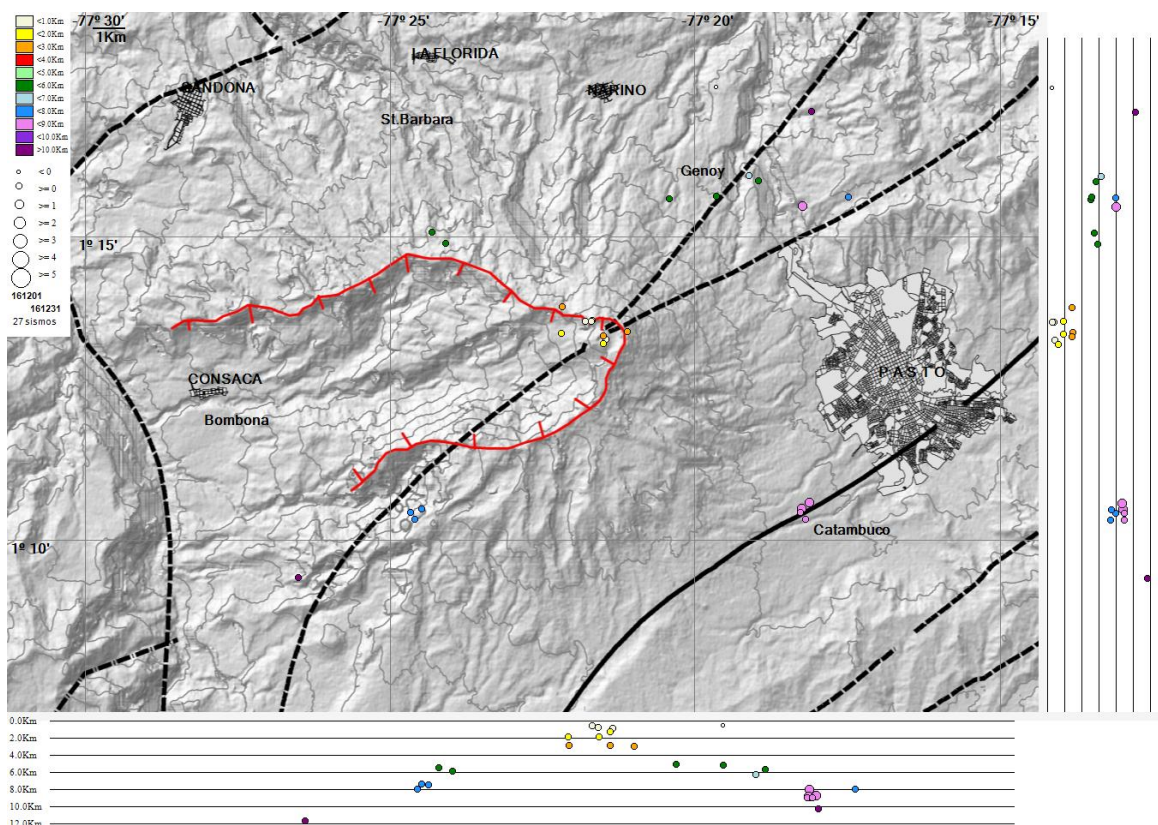


Figura 12. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de diciembre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2.0 km de profundidad.

1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

1.3.1. Inclínometría Electrónica

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

En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, se observó que continúa la tendencia descendente en la componente de inclinación Norte del inclinómetro Calabozo, acumulando desde el 27 de septiembre de 2016 cerca de $152 \mu\text{rad}$, mientras que la componente Este tiende a estabilizarse desde el 22 de diciembre (Figura 13), se resalta que este sensor fue nivelado el 27 de octubre de 2016, pese a esto continúa la tendencia descendente en la componente Norte. Desde el 25 de octubre de 2016, se presenta un comportamiento ascendente en las componentes del inclinómetro Cobanegra, registrando $30 \mu\text{rad}$ la Norte y $35 \mu\text{rad}$, componente Este (Figura 14). De igual forma se observa esta tendencia ascendente en la componente Norte del Inclinómetro Urcunina, cuya variación es de

40 μrad desde el 10 de septiembre de 2016, por su parte la componente Este muestra estabilidad (Figura 15).

Con respecto a los registros mostrados por el inclinómetro Arles, continua la tendencia ascendente de la componente Norte, alcanzando cerca de 44 μrad desde el 29 de septiembre de 2016, en contraste se observa descenso en la componente Este, variación de 75 μrad desde el 4 de octubre de 2016 (Figura 16).

Se presenta estabilidad en los registros de los inclinómetros electrónicos de Cráter, Peladitos, Huairatola y Cóndor (Figuras 17, 18, 19 y 20).

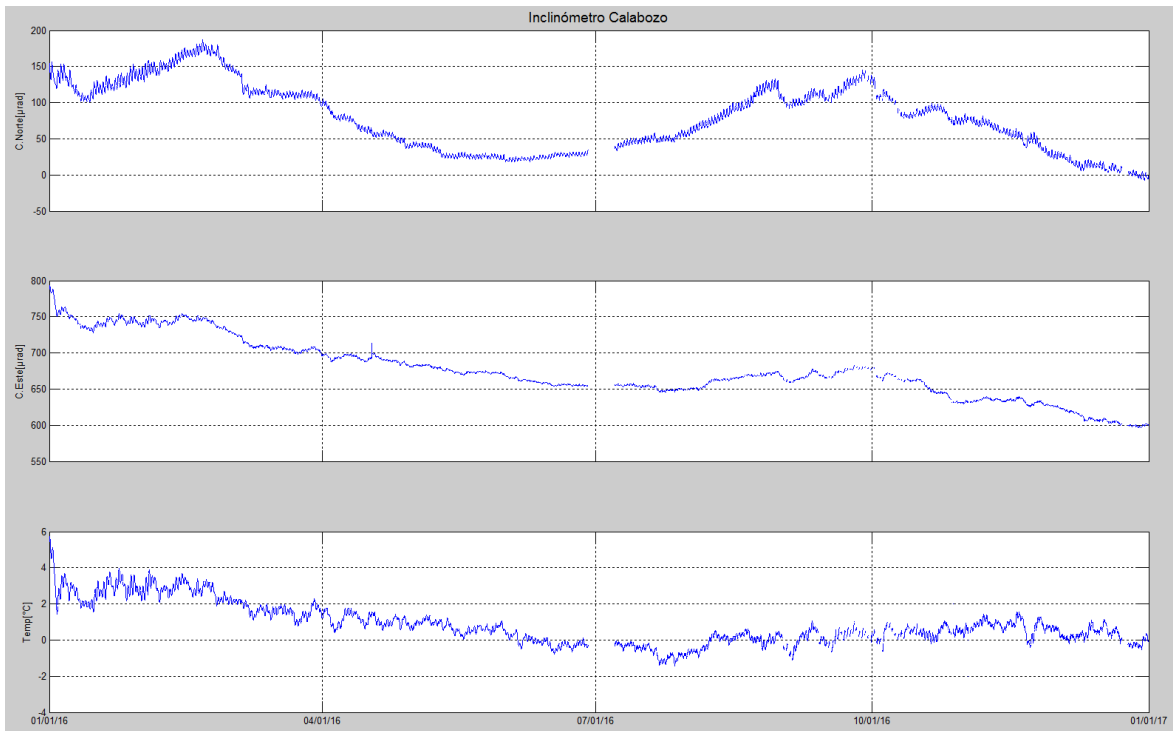


Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

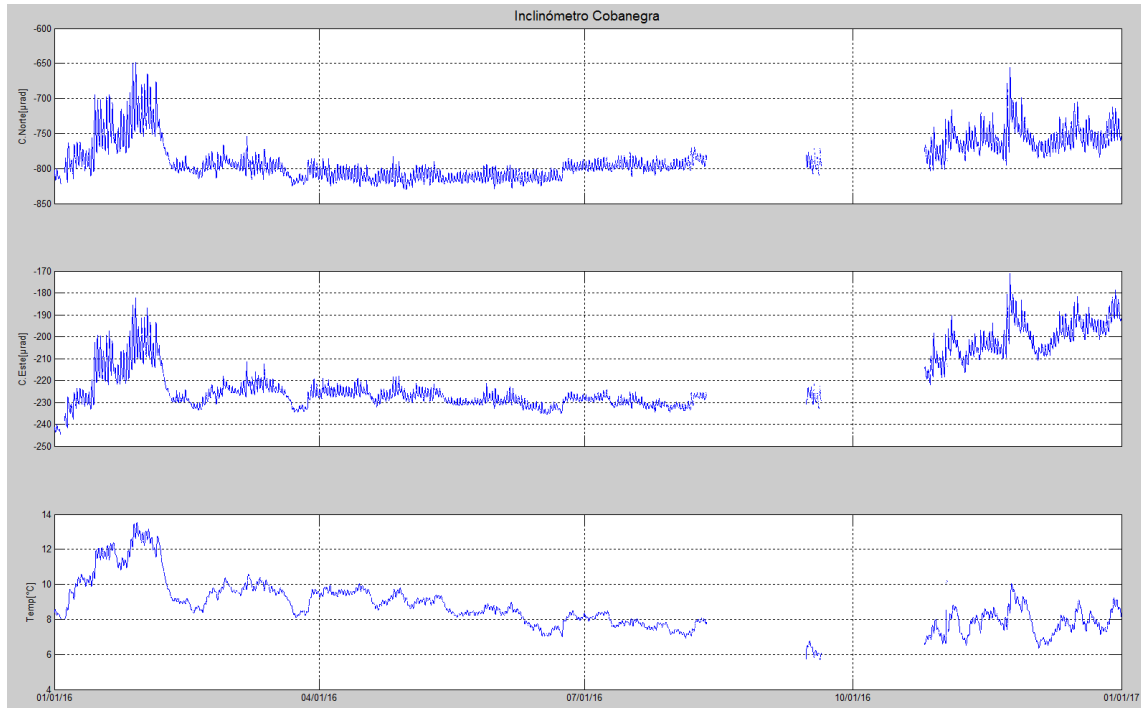


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

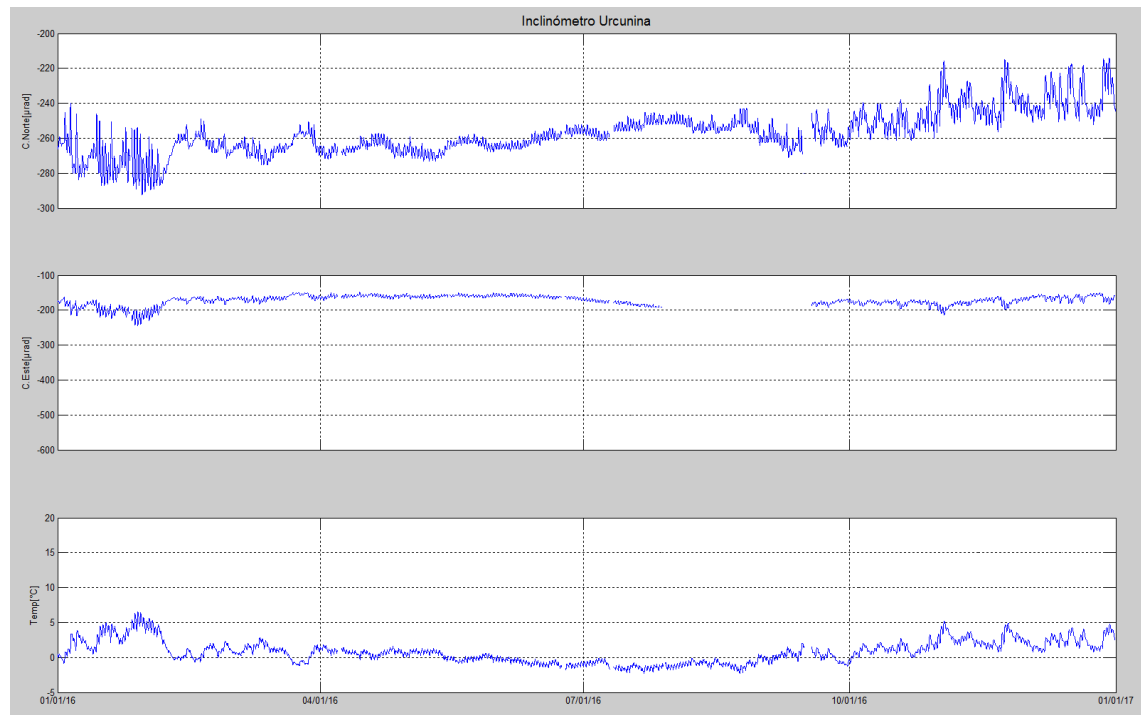


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

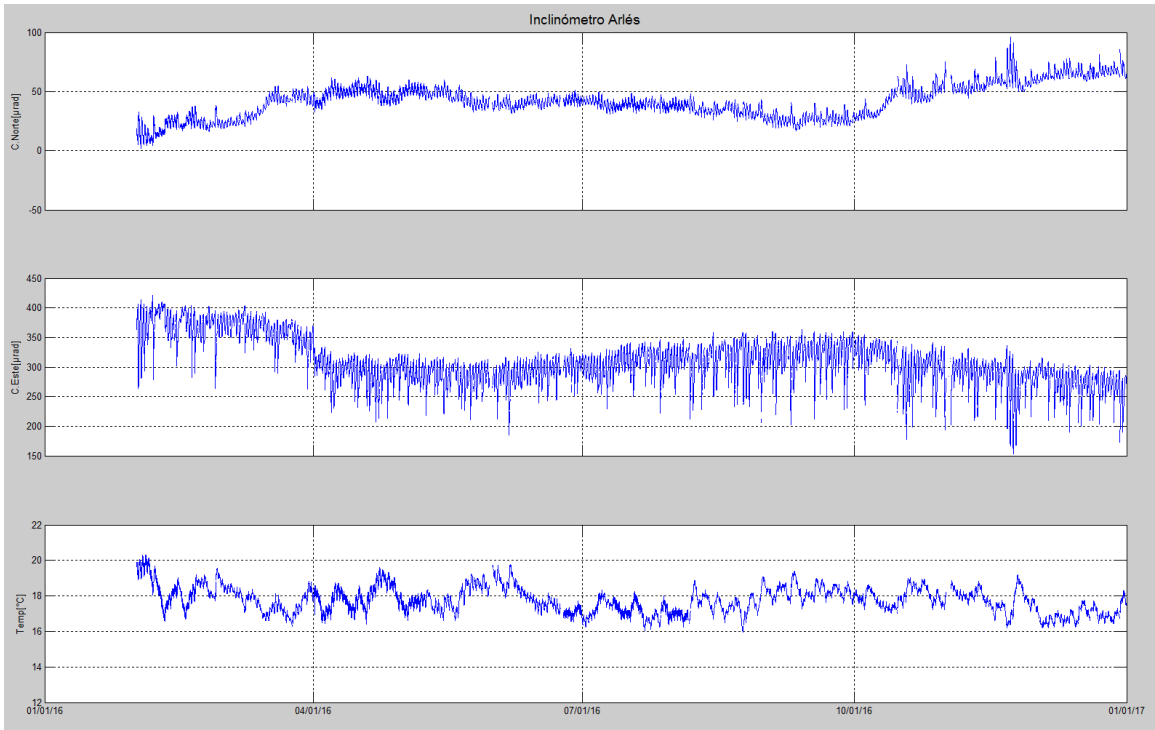


Figura 16. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

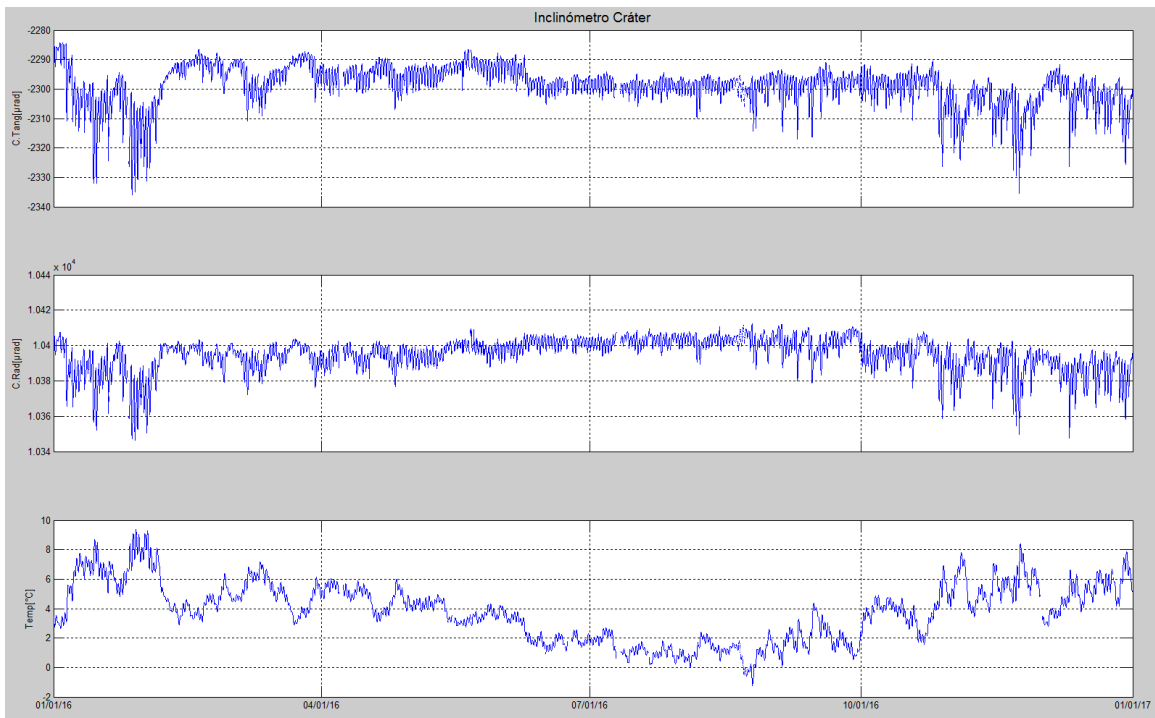


Figura 17. Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

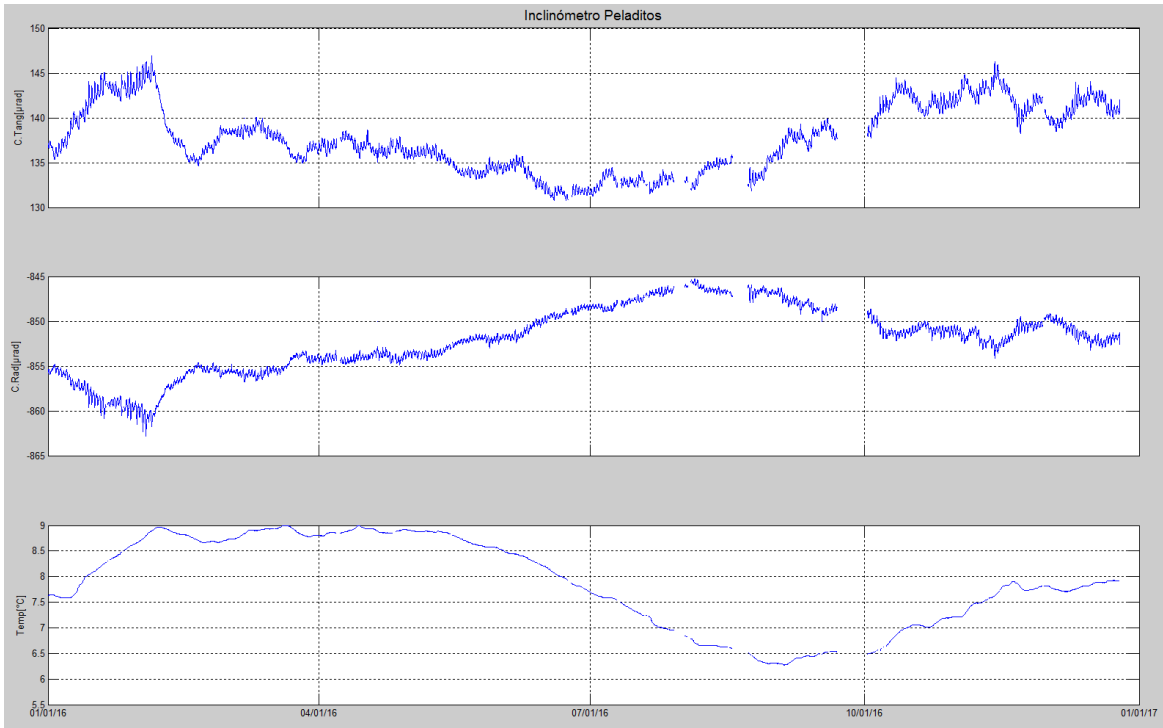


Figura 18. Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

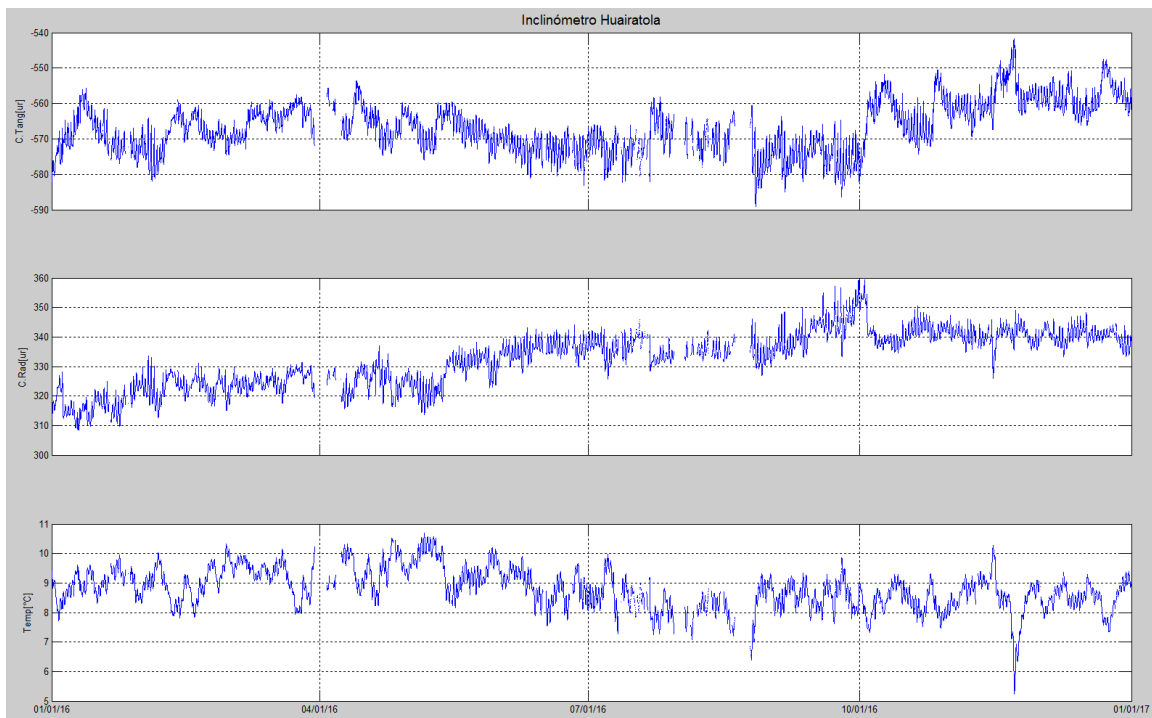


Figura 19. Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

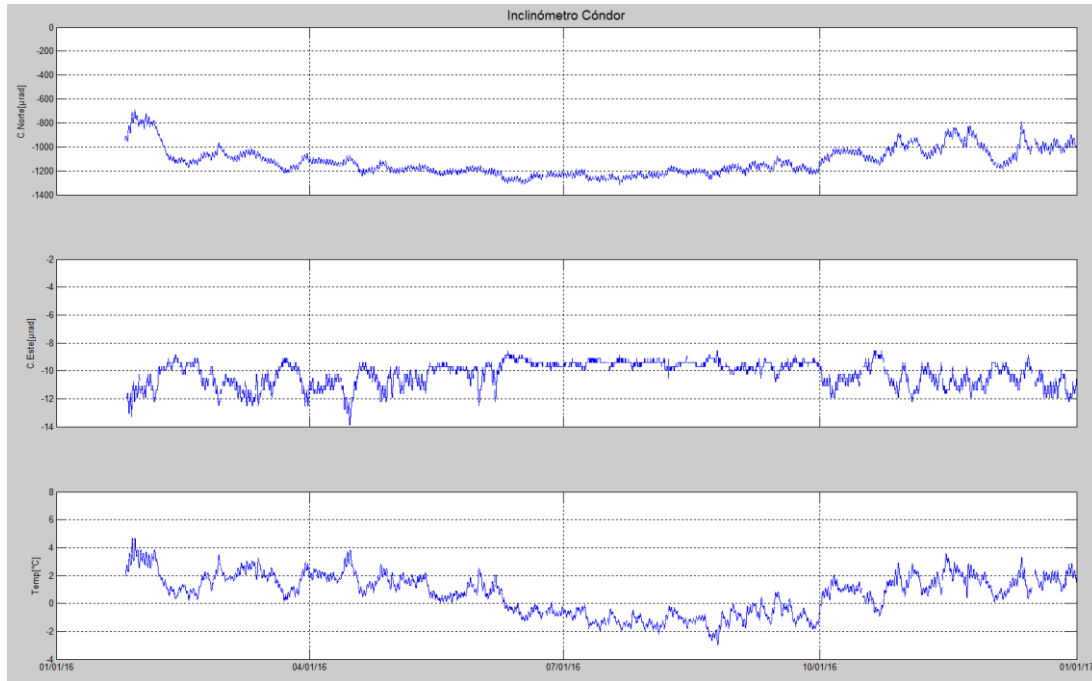


Figura 20. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Córdor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las Figuras 21 a 28, se indica el comportamiento de las direcciones de los GNSS instalados en Galeras. En la Figura 23 se muestra Córdor solo hasta el 26 de noviembre de 2016, esto debido a problemas de radio enlace.

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).

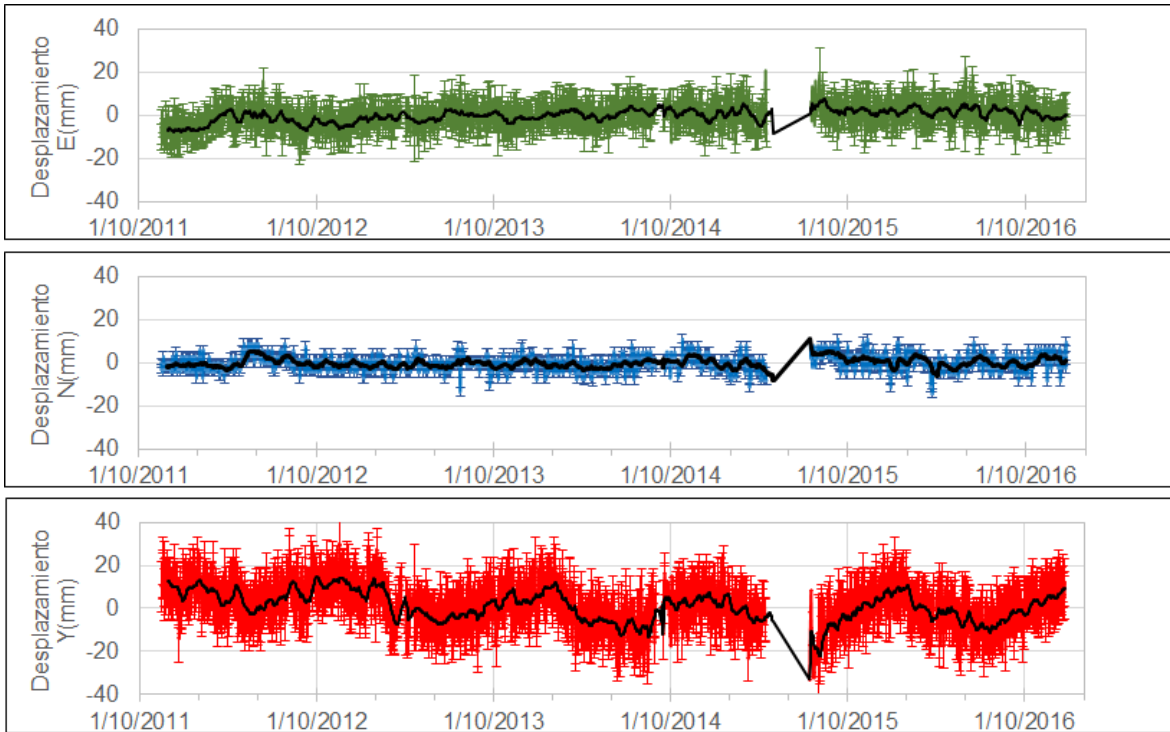


Figura 21. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 26 de octubre de 2011 y el 23 de diciembre de 2016.

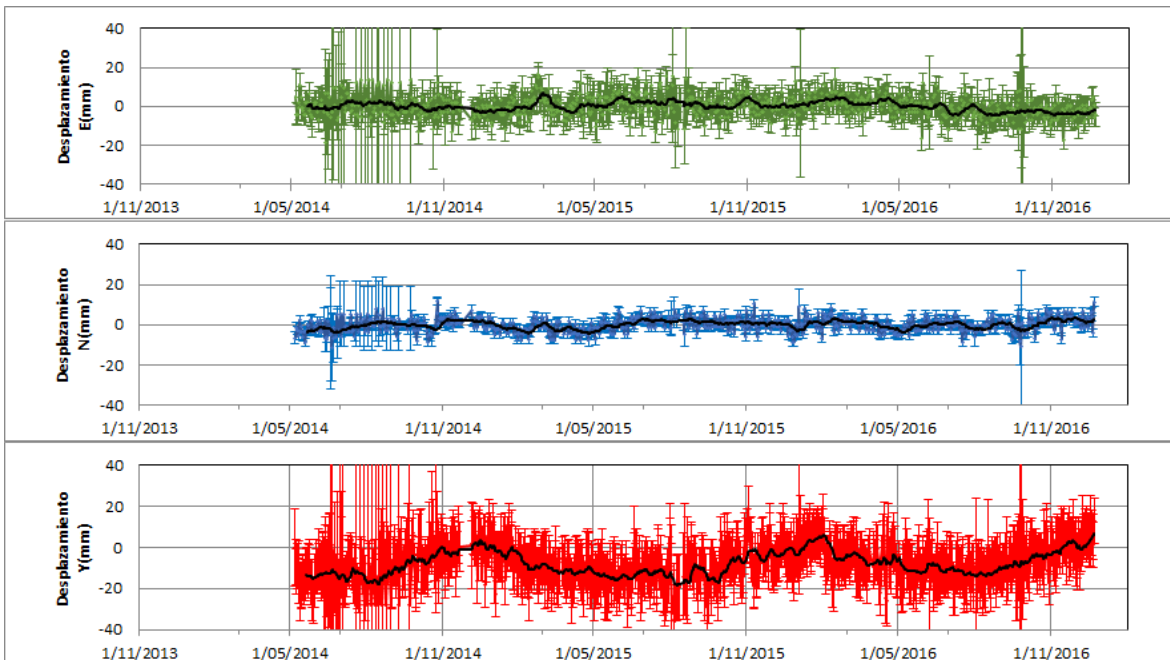


Figura 22. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 23 de diciembre de 2016.

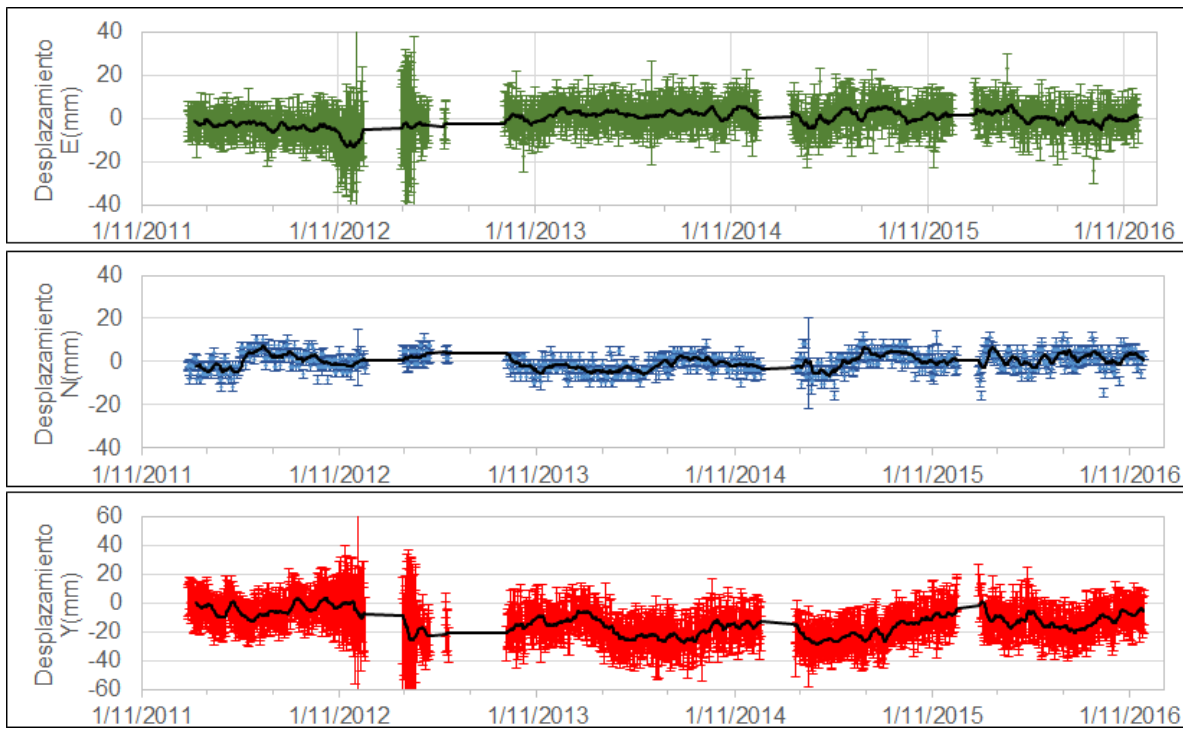


Figura 23. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 30 de diciembre de 2011 y el 26 de noviembre de 2016.

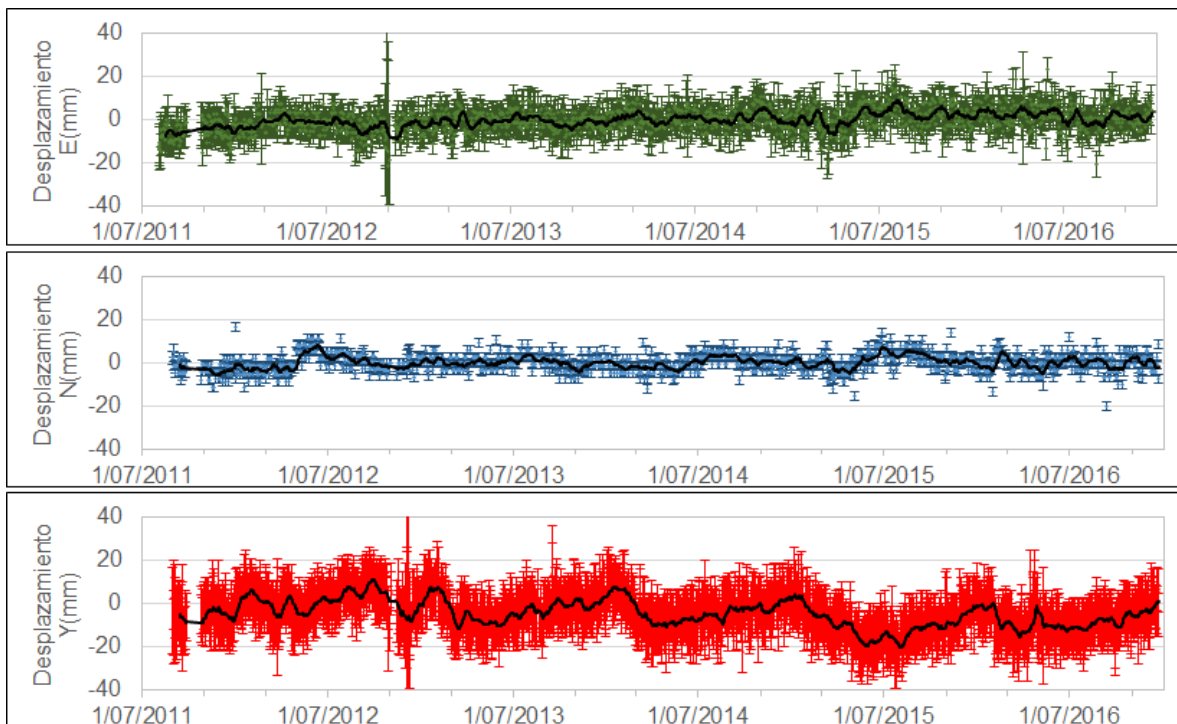


Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de agosto de 2011 y el 23 de diciembre de 2016.

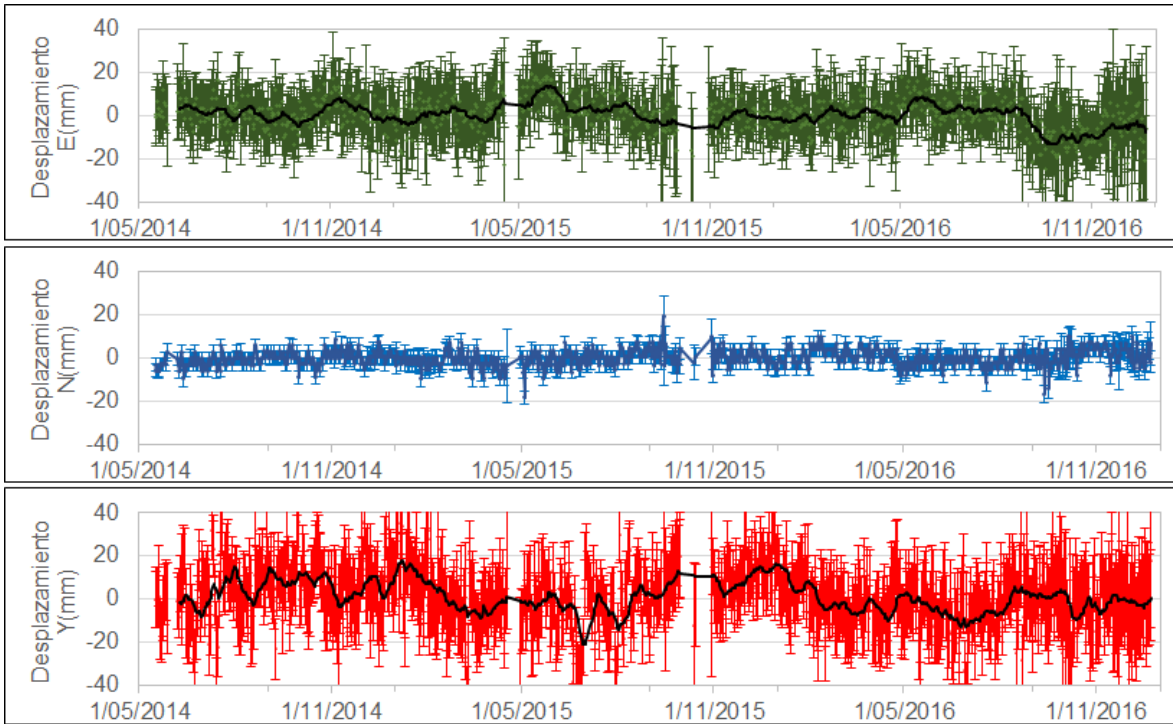


Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 16 de mayo de 2014 y el 23 de diciembre de 2016.

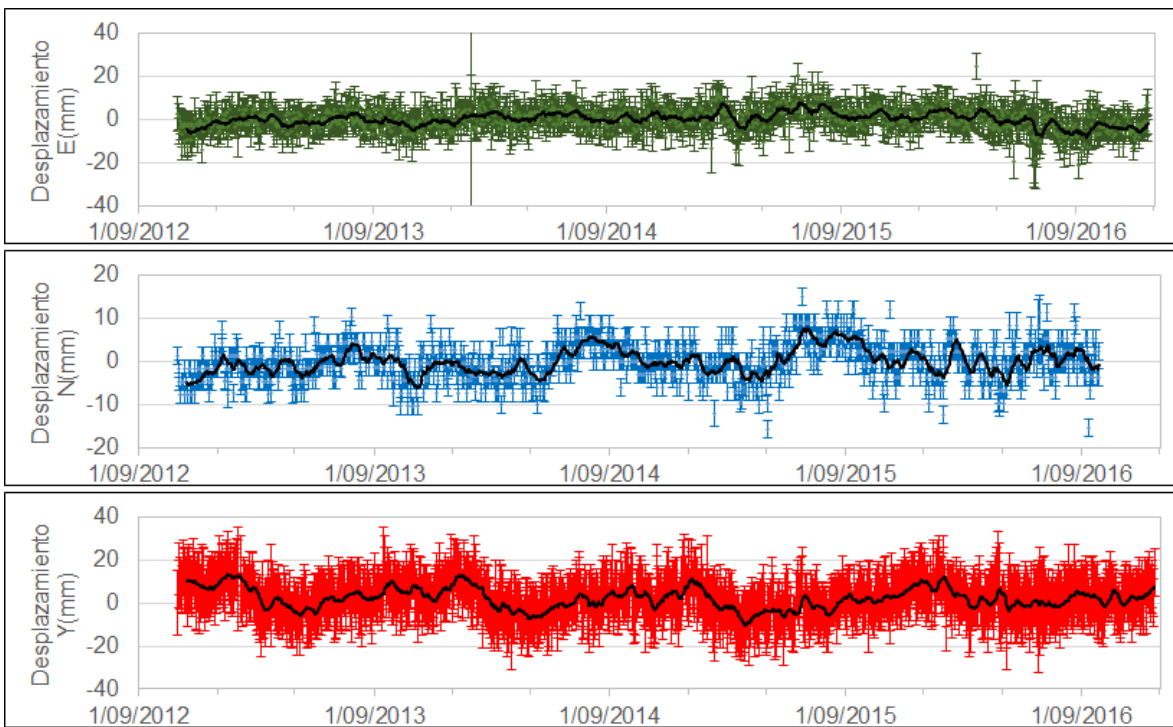


Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2012 y el 23 de diciembre de 2016.

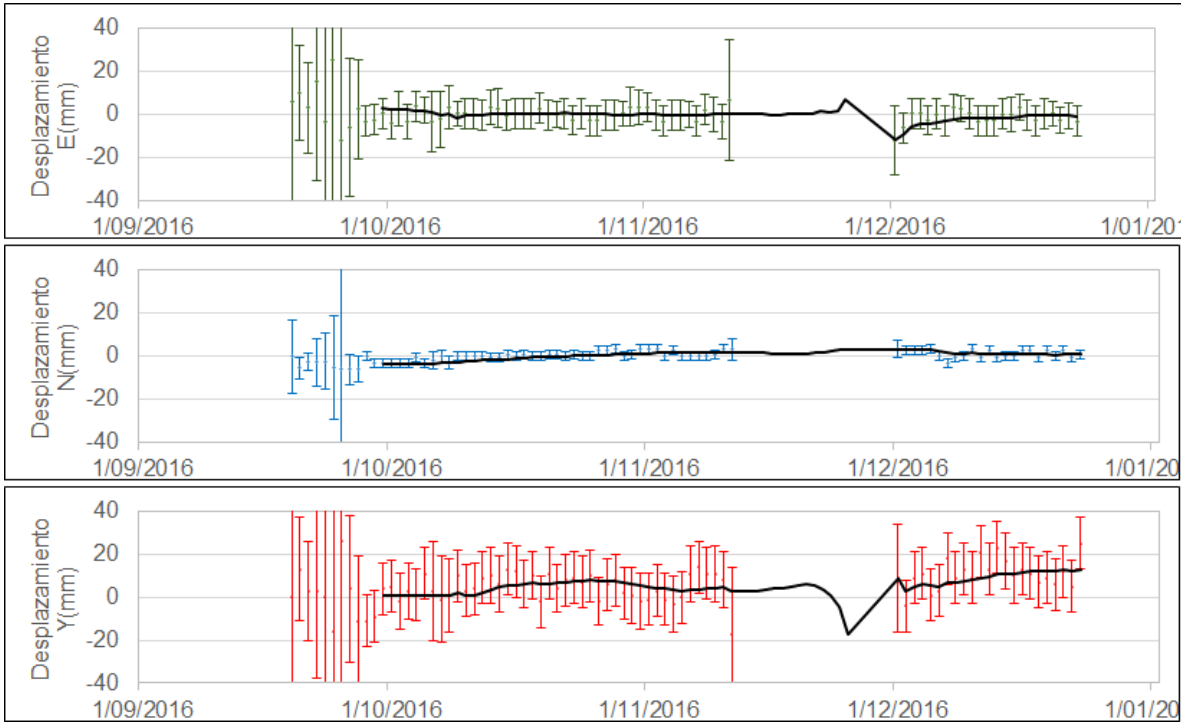


Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Peladitos instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 19 de septiembre de 2016 y el 23 de diciembre de 2016.

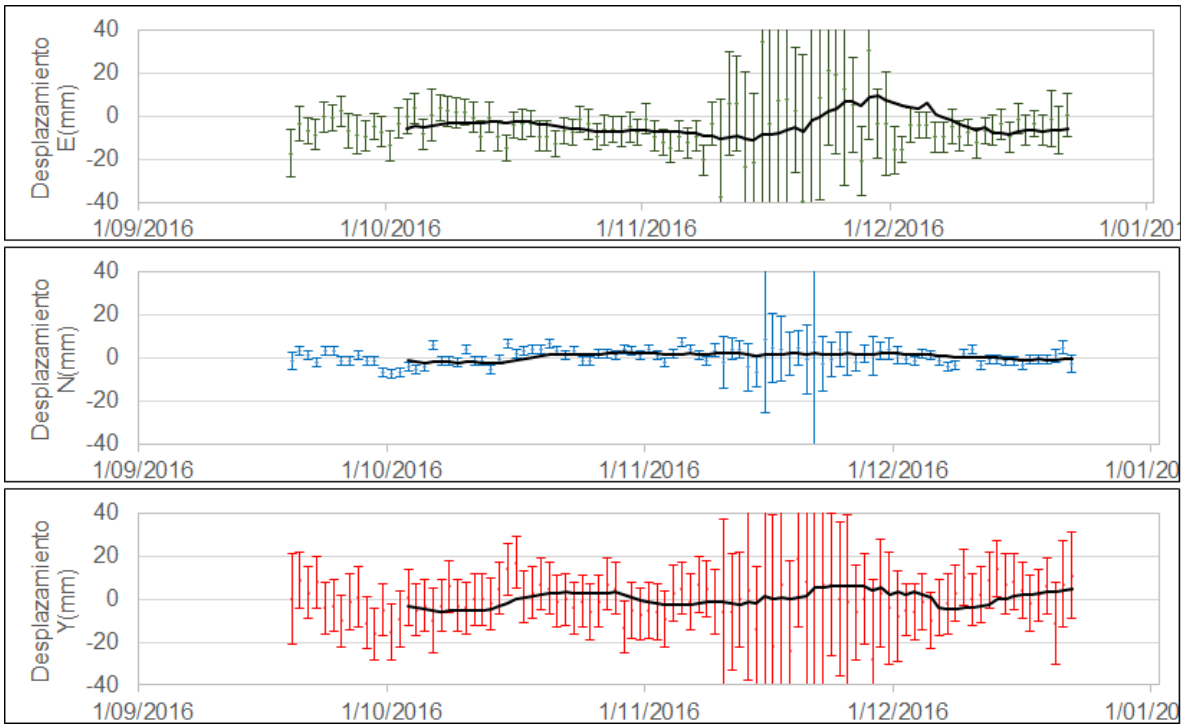


Figura 28. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 19 de septiembre de 2016 y el 23 de diciembre de 2016.

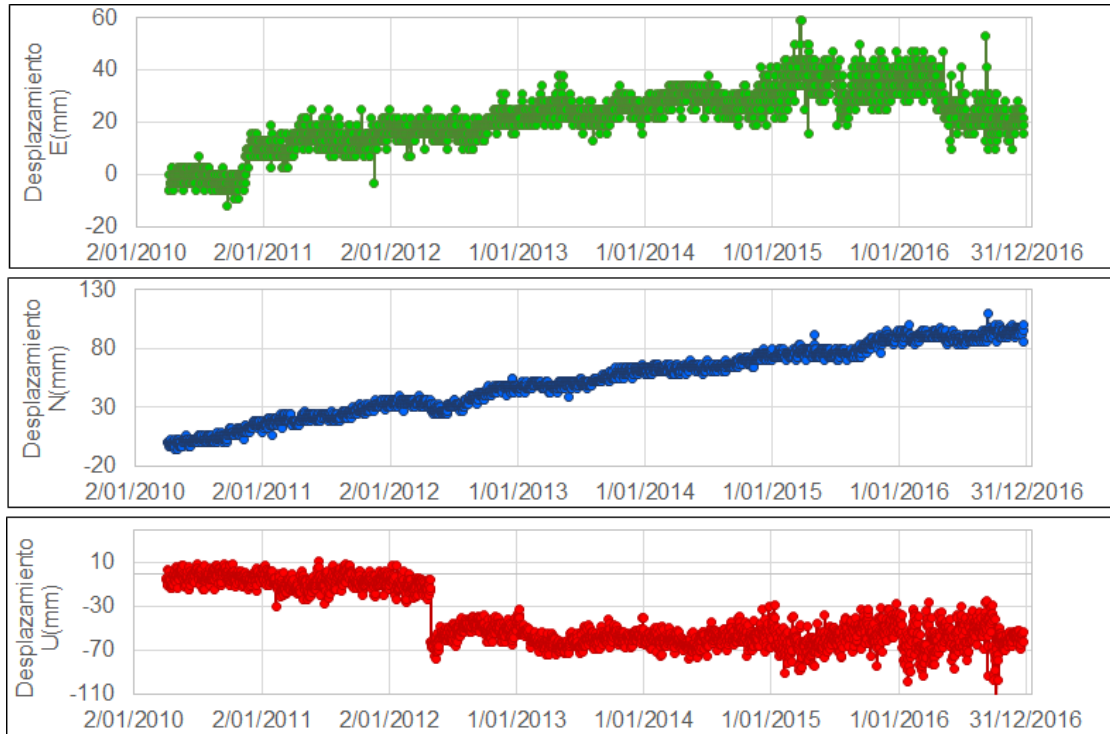


Figura 29. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, en el Municipio de Chachagui, Departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre el 3 de marzo de 2010 y el 23 de diciembre de 2016.

1.4. GEOQUÍMICA

En cuanto a las emisiones de gases de origen volcánico en la zona de influencia del volcán Galeras, durante el mes de octubre de 2016 se efectuaron mediciones de Dióxido de Azufre (SO_2) en la atmósfera, con las estaciones permanentes ScanDOAS. Además, se realizaron mediciones de emisión del isótopo 222 del elemento radiactivo Radón (Rn_{222}), que es el isótopo más estable de éste gas.

1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO_2

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

En el volcán Galeras se encuentran instaladas tres estaciones ScanDOAS telemétricas: Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara para el monitoreo de moléculas de dióxido de azufre (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 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 diciembre para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, registrando valores de emisión entre 23 Ton/día hasta 556 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).

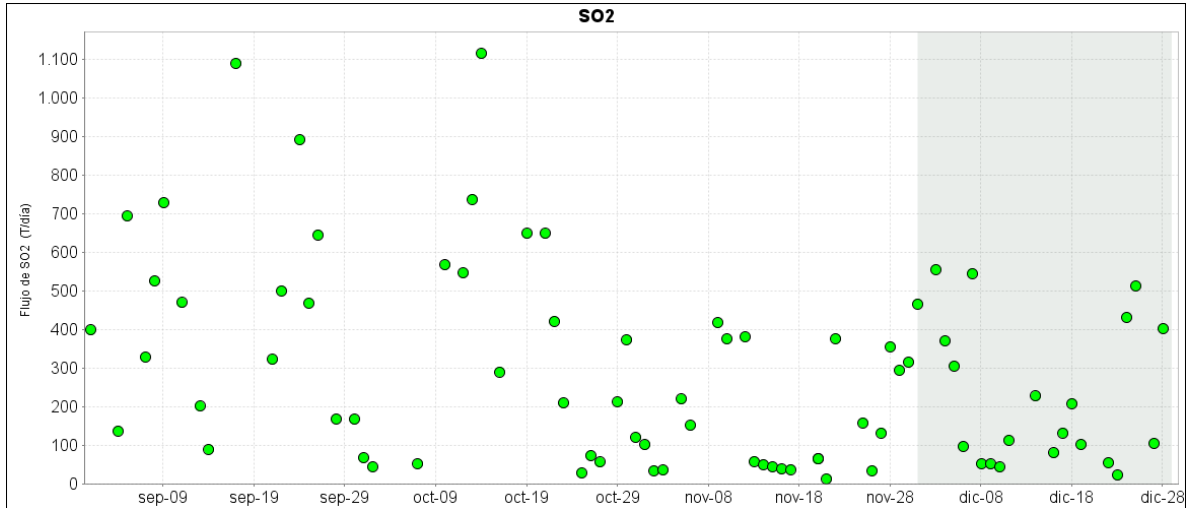


Figura 30. Flujo de emisión de SO₂ registrado desde el 1 de septiembre de 2016 hasta el 31 de diciembre de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

Tabla 9. Emisiones de SO₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de diciembre de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO2 diario	Estación de registro	Instrumento
01-dic-16	08:45 AM	318	10.7	467	Alto Jimenez	SCANDOAS
03-dic-16	01:40 PM	328	6	556	Alto Jimenez	SCANDOAS
04-dic-16	11:46 AM	331	4.8	371	Alto Jimenez	SCANDOAS
05-dic-16	12:59 PM	326	6	306	Alto Jimenez	SCANDOAS
06-dic-16	01:00 PM	318	10.7	98	Alto Jimenez	SCANDOAS
07-dic-16	03:42 PM	328	7.8	546	Alto Tinajillas	SCANDOAS
08-dic-16	01:10 PM	325	1.1	53	Alto Jimenez	SCANDOAS
09-dic-16	07:03 AM	300	1	52	Alto Tinajillas	SCANDOAS
10-dic-16	02:33 PM	353.3	1	44	Alto Tinajillas	SCANDOAS
11-dic-16	02:02 PM	340.2	3.5	114	Alto Jimenez	SCANDOAS
14-dic-16	12:37 PM	338	3.5	228	Alto Jimenez	SCANDOAS
16-dic-16	02:56 PM	335	1.6	81	Alto Jimenez	SCANDOAS
17-dic-16	03:48 PM	348.8	1.8	133	Alto Jimenez	SCANDOAS
18-dic-16	09:03 AM	335	3.4	209	Alto Jimenez	SCANDOAS
19-dic-16	07:59 AM	322	4.9	103	Alto Jimenez	SCANDOAS
22-dic-16	02:49 PM	349	1.7	56	Alto Jimenez	SCANDOAS
23-dic-16	02:57 PM	334.9	1	23	Alto Tinajillas	SCANDOAS
24-dic-16	12:57 PM	349	6.3	432	Alto Jimenez	SCANDOAS
25-dic-16	07:05 AM	113.1	7.5	513	Alto Jimenez	SCANDOAS
27-dic-16	07:36 AM	334	2	106	Alto Jimenez	SCANDOAS
28-dic-16	07:04 AM	322.8	3.9	403	Alto Tinajillas	SCANDOAS

* Flujo de emisión de SO₂ [Toneladas/día]. Bajo: < 500; moderado: > 500 y < 1000; alto: > 1000 y < 3000; muy alto: > 3000.

Para este periodo se evidencia un proceso de desgasificación bajo en comparación con meses anteriores, tal y como se observa en la gráfica (Figura 30), fue posible observar actividad superficial

en Galeras desde las cámaras web instaladas en cercanías al volcán. Se presentaron altos valores de velocidad del viento durante el periodo evaluado, los cuales alcanzaron los 10.7 m/s (Figura 31). La tendencia de dirección del viento se encuentra hacia los 321° en azimut. El mayor flujo de SO₂ registrado durante el mes, se presentó el día 3 de diciembre de 2016 con un valor de 556 Ton/día, considerado flujo moderado para el volcán Galeras.

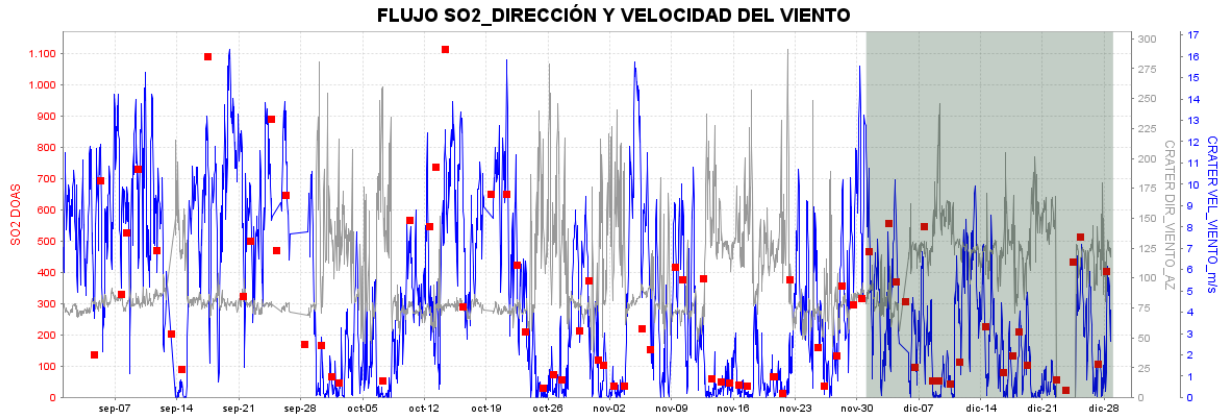


Figura 31. Flujo de emisión de SO₂, dirección y velocidad del viento para el mes de diciembre de 2016.

1.4.2. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Galeras

El volcán Galeras cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Río Pasto (A), FT Cehani (B), FT Aguas Agrías (C), FT Agua Blanca (D) y FT Licamancha (E). (Figura 32, Tablas 10 y 11).

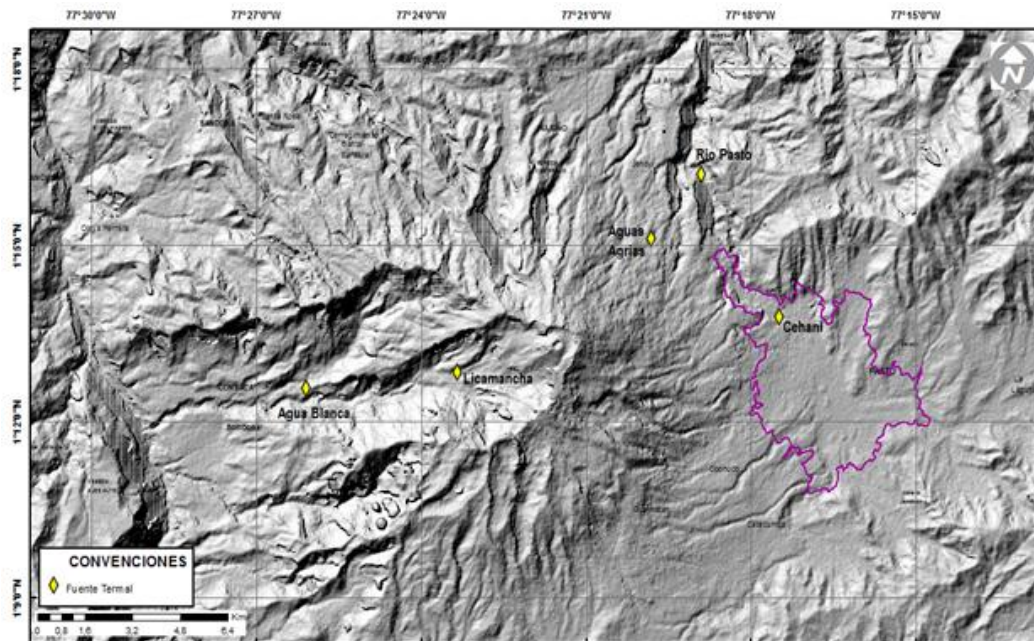


Figura 32. Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Galeras.

Tabla 10. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales de la zona de influencia del 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

Tabla 11. Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del Volcán Galeras.



En la Figura 33 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de diciembre para las FT de la zona de influencia del volcán Galeras.

Los colores en las gráfica indican el estado de acidez o basicidad del manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para pH (Figura 33). Las fuentes termales de Galeras presentan durante el mes de diciembre potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2.3 (ácida) y 6.8 (neutro).

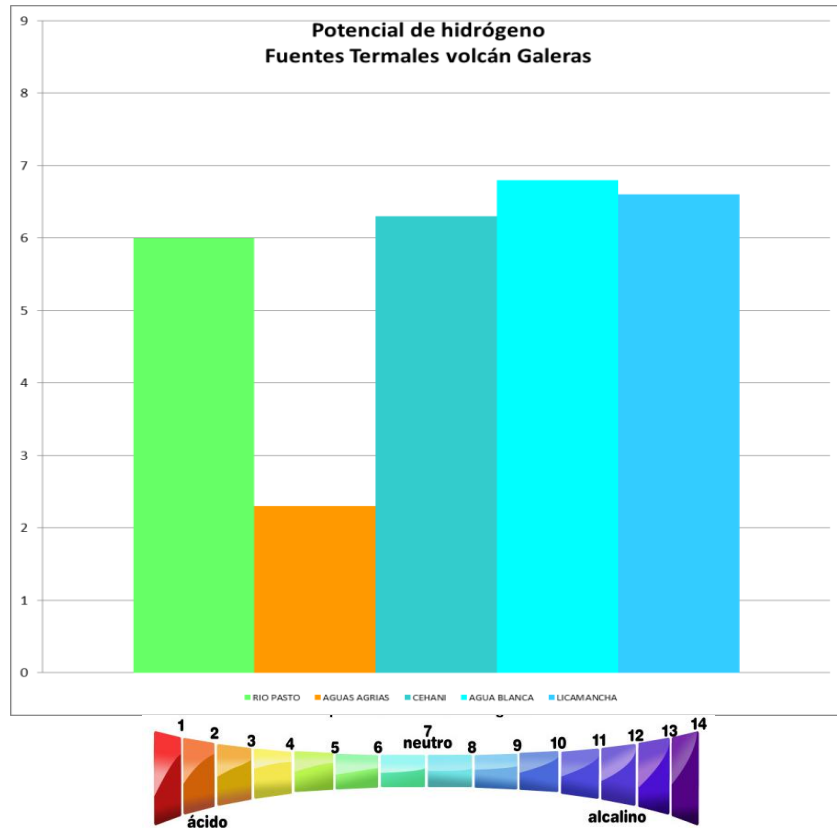


Figura 33. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.

En las Figuras 34 y 35 se puede observar las variaciones de temperatura, conductividad eléctrica, pH y alcalinidad en el tiempo con respecto a meses anteriores, correspondientes a las FT de la zona de influencia del volcán Galeras registradas en trabajo de campo durante el mes de diciembre de 2016.

Para el caso de la temperatura (Figuras 34) se observa estabilidad relativa en todos los manantiales termales en comparación con datos anteriores.

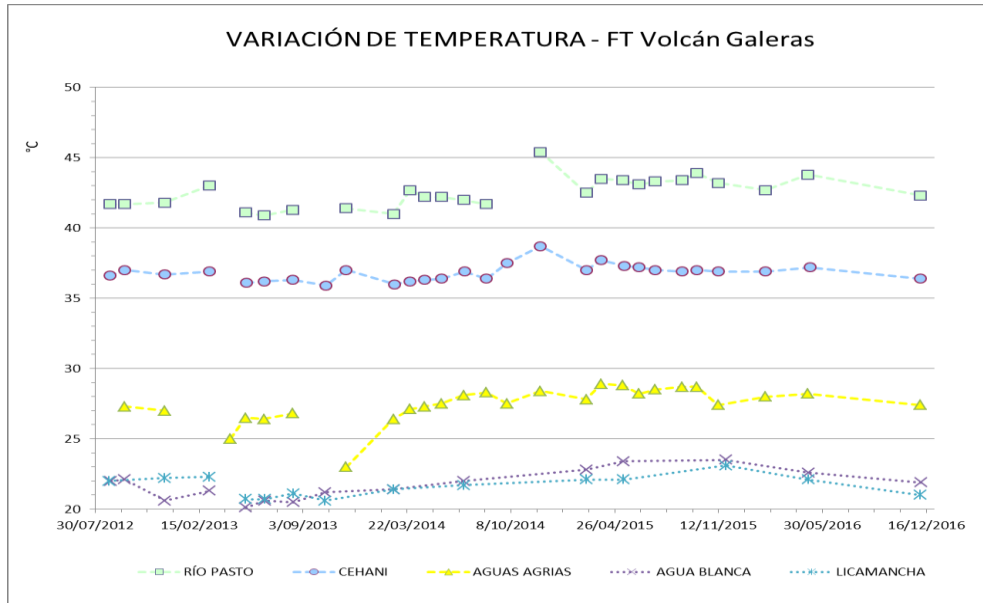


Figura 34. Variación de temperatura de las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.

Para el caso de la conductividad, se observó incremento en todos los manantiales termales, el cual puede asociarse a los altos índices de evaporación del agua en cada uno de ellos y a las bajas temporadas de lluvia que contribuye en volumen y afecta directamente en la presencia y concentración de iones en el agua y por ende a la conductividad de las mismas (Figura 35).

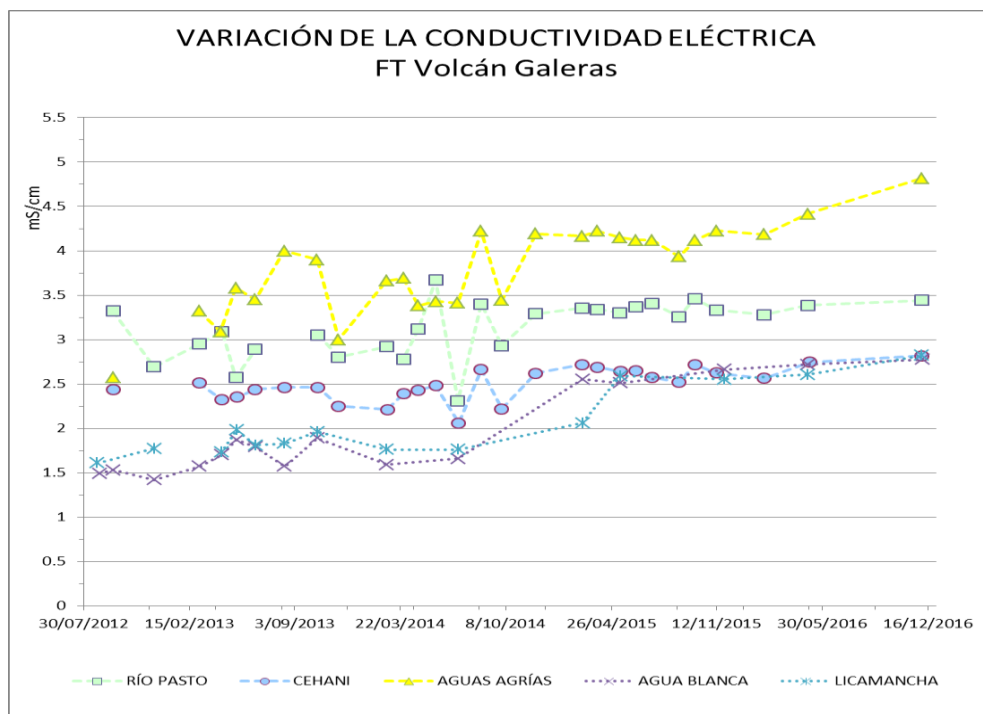


Figura 35. Variación de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.

De acuerdo a la temperatura, los manantiales de Galeras aquí registrados se clasifican como termales (Tabla 12):

Tabla 12. Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.

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

- **Fuente termal Río Pasto**

Temperatura superficial: 42.3°C (Temperatura registrada en diciembre de 2016 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 35°C y 45°C (Figura 36), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 3.44 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

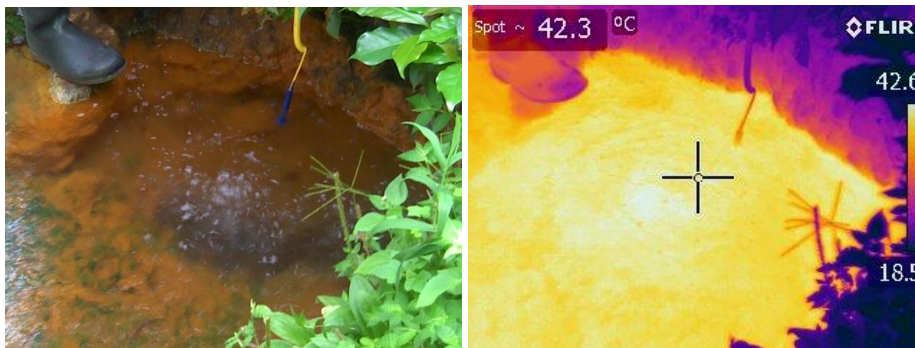


Figura 36. Imagen térmica FT Río Pasto – diciembre de 2016.

- **Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 27.4°C. (Temperatura registrada en diciembre de 2016 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 30°C (Figura 37), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 4.8 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.



Figura 37. Imagen térmica FT Aguas Agrías – diciembre de 2016.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 36.4°C. (Temperatura registrada en diciembre de 2016 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Las temperaturas de las manifestaciones termales se encuentran entre los 35°C y 45°C (Figura 38), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.8 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.



Figura 38. Imagen térmica FT Cehani – diciembre de 2016.

- **Fuente termal Agua Blanca**

Temperatura superficial: 21.9°C. (Temperatura registrada en diciembre de 2016 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 35°C (Figura 39), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.7 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

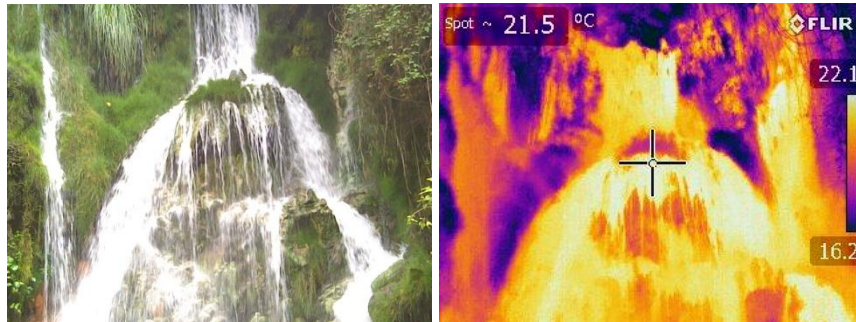


Figura 39. Imagen térmica FT Agua Blanca – diciembre de 2016.

- **Fuente termal Licamancha**

Temperatura superficial: 21°C. (Temperatura registrada en diciembre de 2016 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 35°C (Figura 40), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.8 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

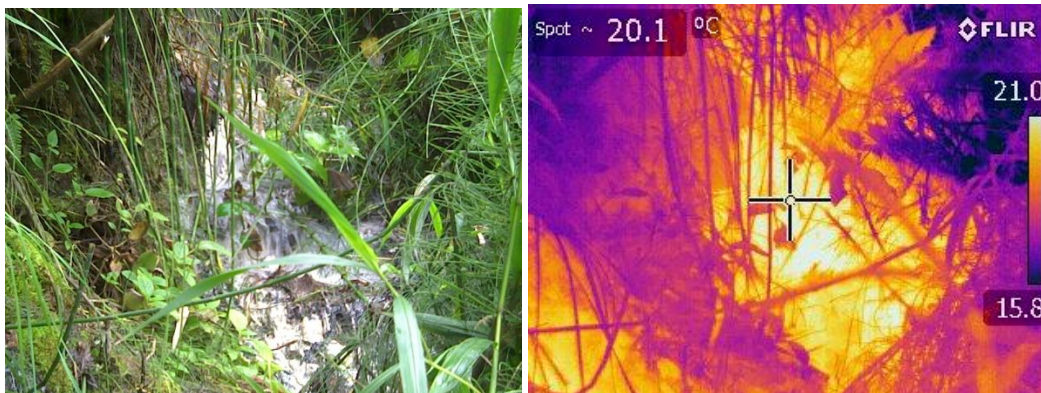


Figura 40. Imagen térmica FT Licamancha – diciembre de 2016.

En las Figuras 41 y 42 se presentan la variación del pH y la variación de la alcalinidad basada en la concentración del ión bicarbonato, para lo cual no se observan cambios relevantes. Para el caso de las FT Río Pasto y Cehani, se observa un incremento en el valor de la alcalinidad en comparación con meses anteriores, sin embargo este valor ya se había presentado en el año 2013, sin asociarse con actividad volcánica, por lo cual puede considerarse dentro del rango de datos pertenecientes a su línea base para estos manantiales (Figura 42).

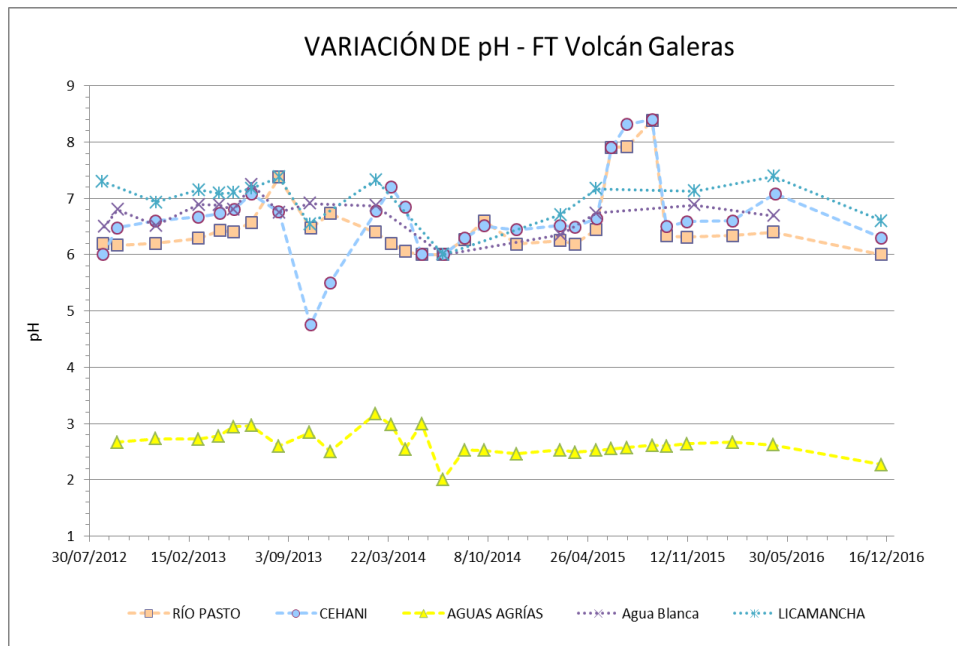


Figura 41. Variación del pH de las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.

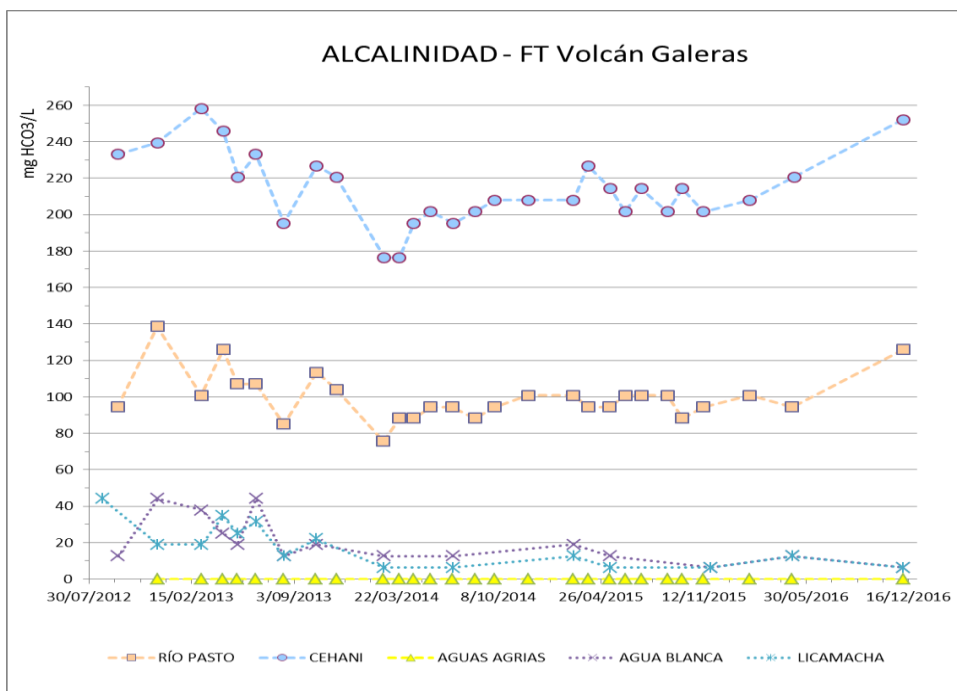


Figura 42. Variación de concentración de bicarbonato en las FT Volcán Galeras – diciembre de 2016.

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

1.5 ELECTROMAGNETISMO

Durante el mes de diciembre de 2016, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras, se realizó con los registros de dos estaciones eléctricas y tres estaciones magnéticas; las estaciones Frailejón y Barranco tienen sensores eléctricos y magnéticos, mientras que Cráter solamente tiene sensor magnético, sin embargo; la estación de campo magnético Barranco presenta problemas a partir del 8 de noviembre, por tanto su registro no se tendrá en cuenta para este periodo.

Los sensores de monitoreo magnético en Galeras mostraron una gran influencia de las variaciones asociadas principalmente con los efectos día-noche (Figura 43), haciendo evidente la influencia de la actividad del Campo Magnético Terrestre, de acuerdo con la comparación realizada con los registros de la estación magnética de Kourou (Figura 44), perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del Instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (La estación se ubica en Guayana Francesa). En el mes de diciembre de 2016, no se destaca actividad asociada con procesos volcánicos relevantes, por cuanto la actividad de Galeras se mantuvo en bajos niveles. La estación magnética de Frailejón varió en un rango de 100 nT, y tuvo un valor promedio del campo total, para el mes de diciembre de 28.530 nT (Figura 43). La estación magnética Cráter varió en un rango de 125 nT, con un valor promedio del campo total, para el mes de noviembre de 33.365 nT (Figura 43).

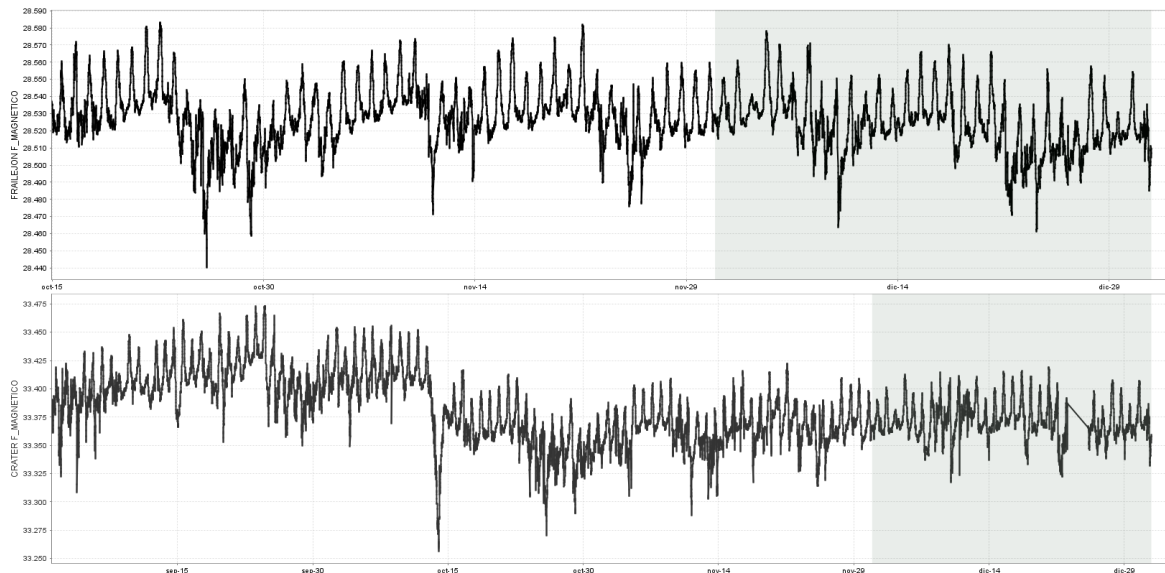


Figura 43. Intensidad del Campo Magnético Total, de las estaciones de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Galeras. Frailejón (superior) para el periodo comprendido entre el 15 de octubre y el 31 de diciembre de 2016 y Barranco (inferior), para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016.

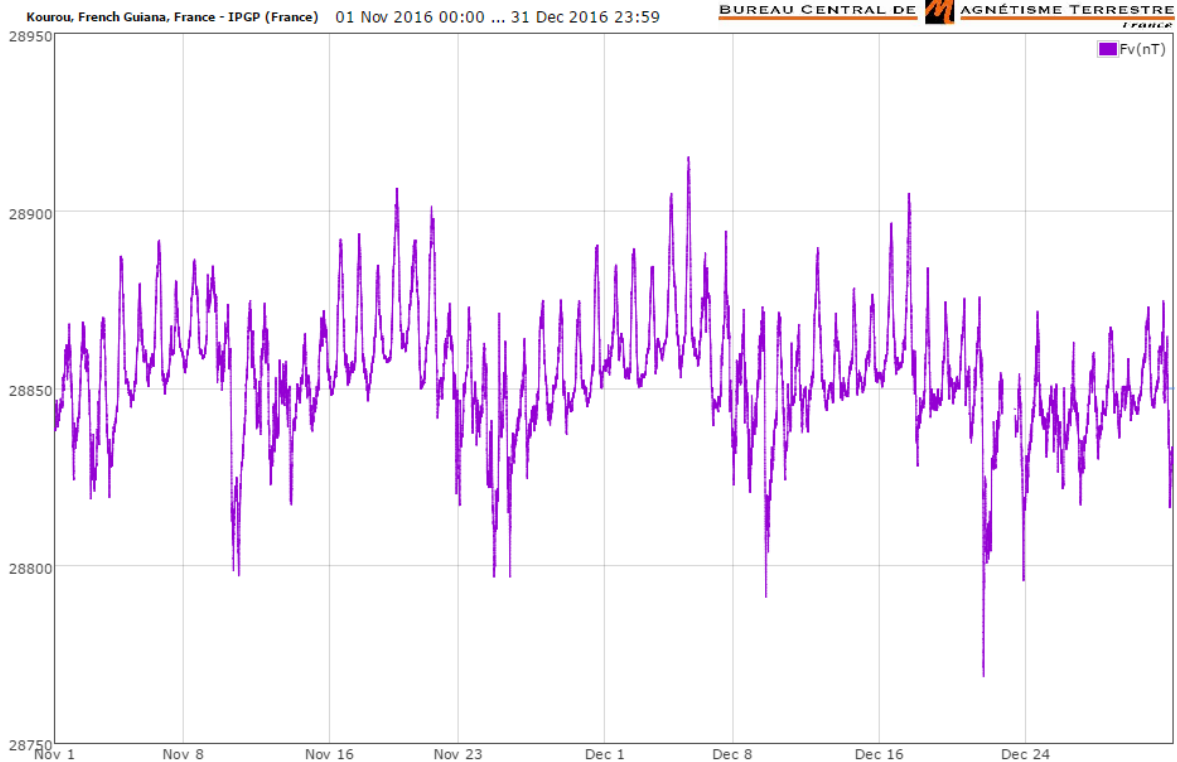


Figura 44. Intensidad del campo magnético Terrestre Total, registrado en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el periodo comprendido en los meses de noviembre y diciembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

El campo eléctrico horizontal de los sensores eléctricos de la estación Frailejón, posterior a su reinstalación a finales del mes de octubre, mostró una tendencia ligeramente descendente hasta mediados de diciembre, con un rango de variación de 25 mV, que se considera como bajo, para una zona volcánica activa, y un valor promedio de campo de 233 mV. En Barranco, el comportamiento de la componente horizontal del campo eléctrico muestra un comportamiento más variable, con un rango de oscilación de 110 mV, asociado posiblemente con las condiciones de lluvia en la zona. Para diciembre se tuvo un valor promedio del campo de 245 mV, considerado también como variaciones bajas para zonas volcánicas activas (Figura 45).

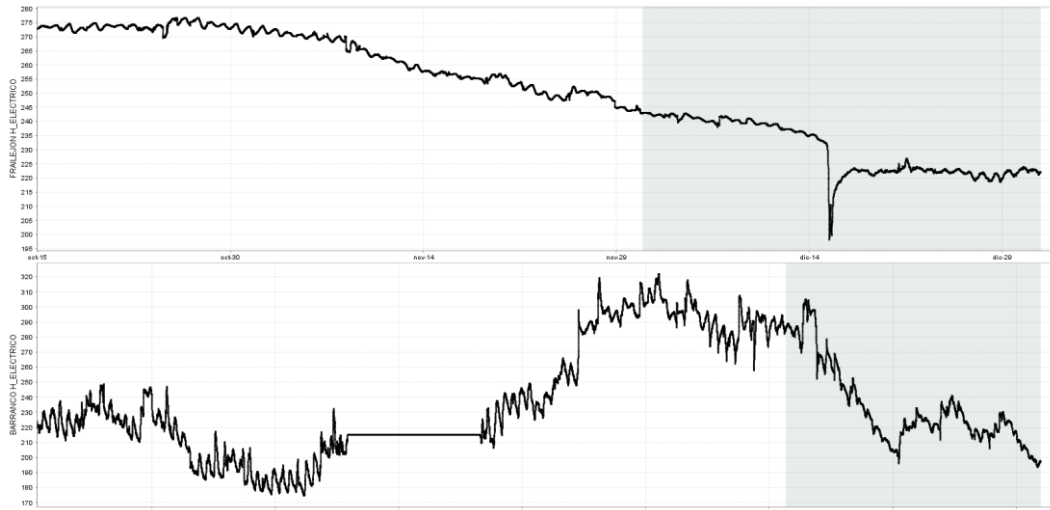


Figura 45. Variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Frailejón (superior) y Barranco (inferior), pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo entre septiembre y diciembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.

1.6 ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

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

Condiciones favorables de clima permitieron durante todo el periodo de tiempo observar emisiones de gases, de color blanco y dirección de dispersión variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, campos fumarólicos de El Paisita sector norte y cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico. En las Figuras 46 a 51 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.



Figura 46. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 2 de diciembre de 2016, en horas de la tarde, 5:17 p.m. y 5:03 p.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.



Figura 47. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 8 de diciembre de 2016, imágenes capturadas desde las cámaras de Barranco (izquierda 3:04 p.m.) y Bruma (derecha 5:39 p.m.).



Figura 48. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 16 de diciembre de 2016, en horas de la tarde 5:57 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.



Figura 49. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 20 de diciembre de 2016, en horas de la mañana, fotografías capturadas desde las cámaras de Bruma y Barranco.



Figura 50. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 24 de diciembre de 2016, en horas de la mañana, capturada desde la cámara ubicada en Bruma.



Figura 51. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 27 de diciembre de 2016, a las 6:13 a.m., fotografía capturada desde la cámara ubicada en Barranco.

1.7. 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 – DICIEMBRE DE 2016

2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 52 se presenta la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal, la cual consta de cuatro estaciones para monitorear su sismicidad (dos sensores de banda ancha y dos de corto periodo), cuatro estaciones para el seguimiento de la deformación cortical del edificio volcánico y un sensor de presión acústica. Adicionalmente, se tiene una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, instalada en el municipio de Cumbal y desde finales del mes de septiembre se tiene instalada una cámara de video en el sector de la estación Punta Vieja, enfocada hacia el campo fumarólico El Verde. De igual forma se cuenta con el registro de la estación Cumbal, muy cerca de la Laguna de Cumbal, estación de monitoreo de la Red Sismológica Nacional de Colombia - RSNC (Figura 52).

Así mismo se tiene una red de muestreo de gases in situ en fumarolas y aguas en fuentes termales (Figura 52).

En la Tabla 13, se consigna el nombre de cada estación con algunas de sus características. En la Figura 50 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones para el periodo evaluado.

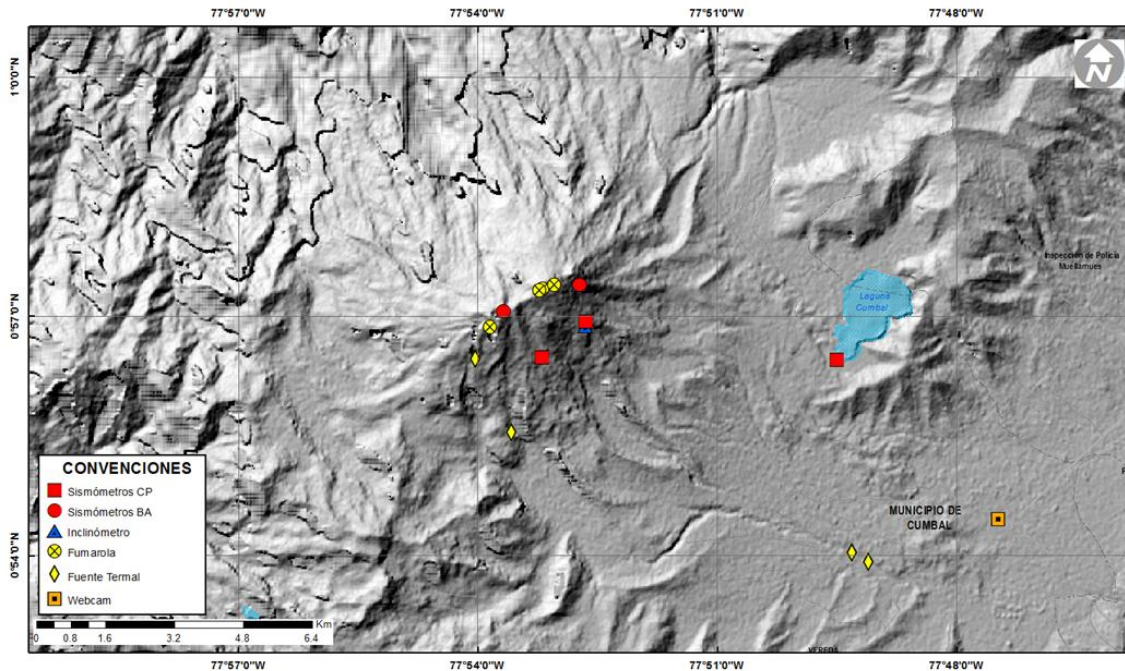


Figura 52. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de diciembre de 2016.

Tabla 13. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre 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

Las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de diciembre de 2016, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 87% (Figura 53).

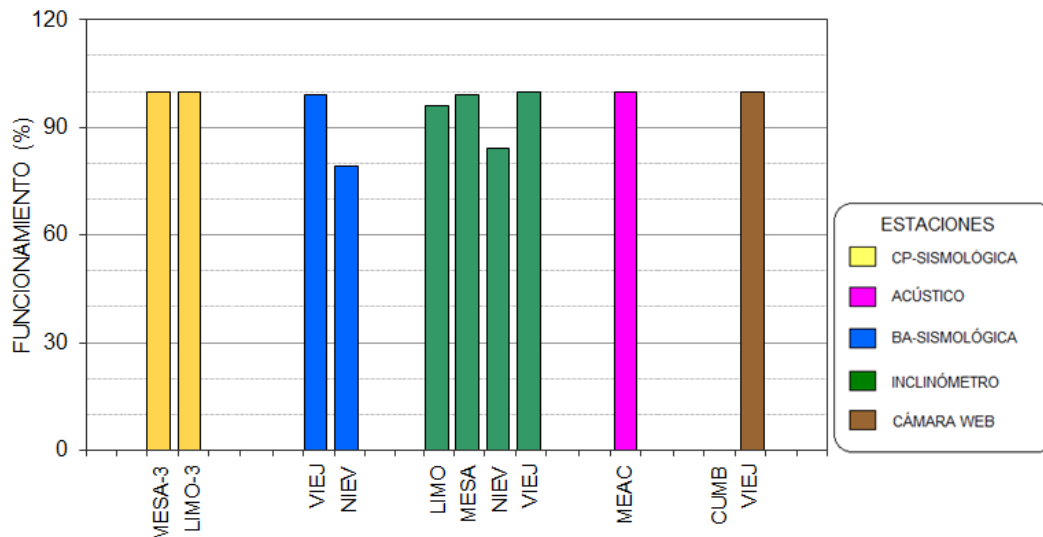


Figura 53. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2016.

2.2. SISMOLOGÍA

En diciembre de 2016 se presentó un ligero descenso en el número total de sismos volcánicos, cercano al 3% en comparación con el mes anterior, pasando de 640 a 624 eventos (Tabla 14, Figura 54). En ocurrencia se observó un descenso en los sismos tipo LP e HYB, y en contraste se presentó un incremento en los eventos tipo de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR) (Figura 55). Hubo predominio de la sismicidad tipo HYB con el 41% del total de eventos sísmicos, seguido por un 33% de los sismos LPS (Figura 56). El día que mayor se presentó ocurrencia sísmica fue el 7 de diciembre, con un total de 49 eventos.

Tabla 14. Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	vt	lps	tre	hyb	tor	TOTAL
01-sep-16 a 30-sep-16	122	210	6	277	9	624
01-oct-16 a 31-oct-16	107	296	8	323	13	747
01-nov-16 a 30-nov-16	147	221	1	261	10	640
01-dic-16 a 31-dic-16	147	203	1	257	16	624

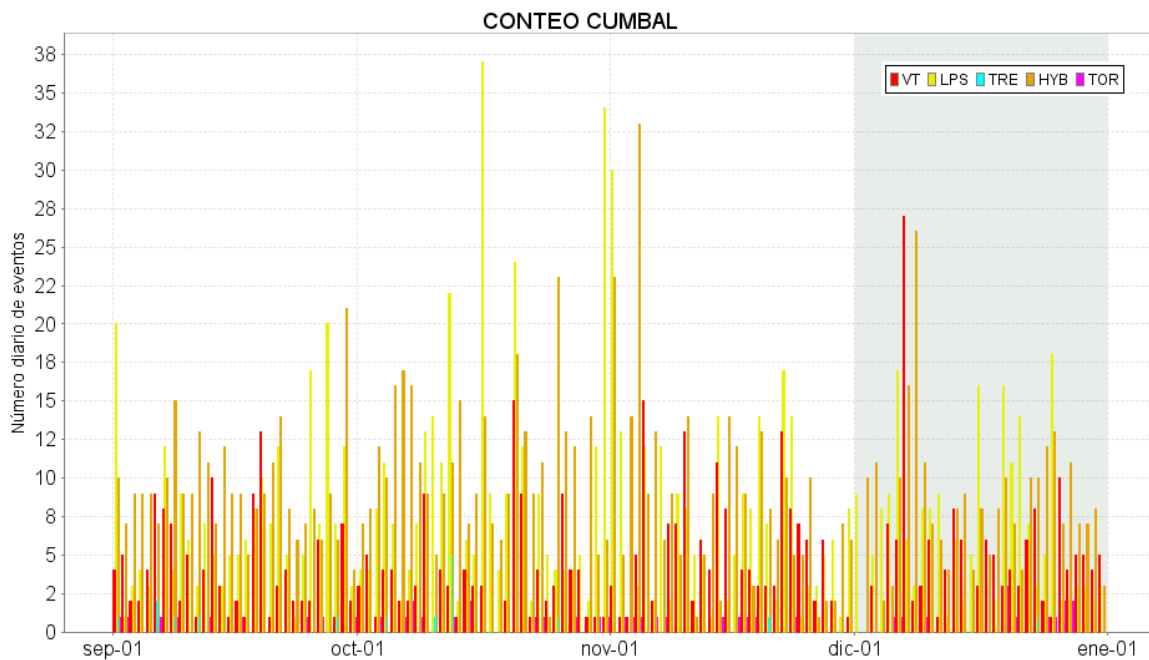


Figura 54. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre septiembre y diciembre de 2016.

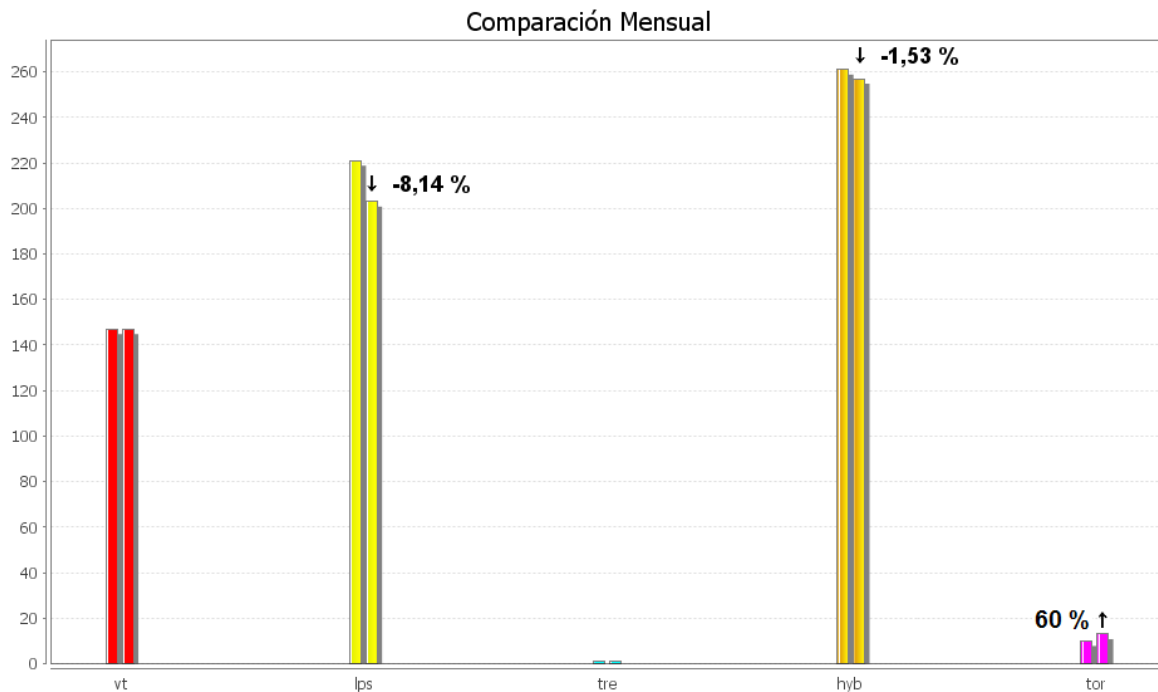


Figura 55. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de noviembre de 2016 (barras de la izquierda).

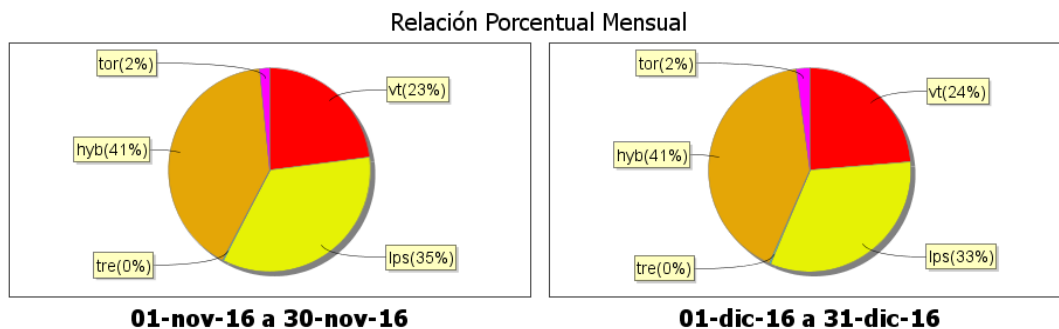


Figura 56. Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para noviembre y diciembre de 2016.

Fue posible localizar 98 sismos, de los cuales 47 fueron asociados con fractura de roca y 51 de tipo HYB. La gran mayoría de eventos se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela, sector nororiente y Mundo Nuevo, sector suroccidente del complejo volcánico de Cumbal, con profundidades entre 0.4 y 4.0 km, los más dispersos presentaron profundidades de hasta 9 km. El cálculo de la magnitud local de los sismos localizados mostró valores menores a 2.1 en la escala de Richter, cerca del 96% inferior a 1 (Figura 57). La energía liberada de los sismos localizados mostró un descenso en tres órdenes de magnitud, pasando de 5.44×10^{15} ergios a 2.34×10^{12} ergios (Figura 58).

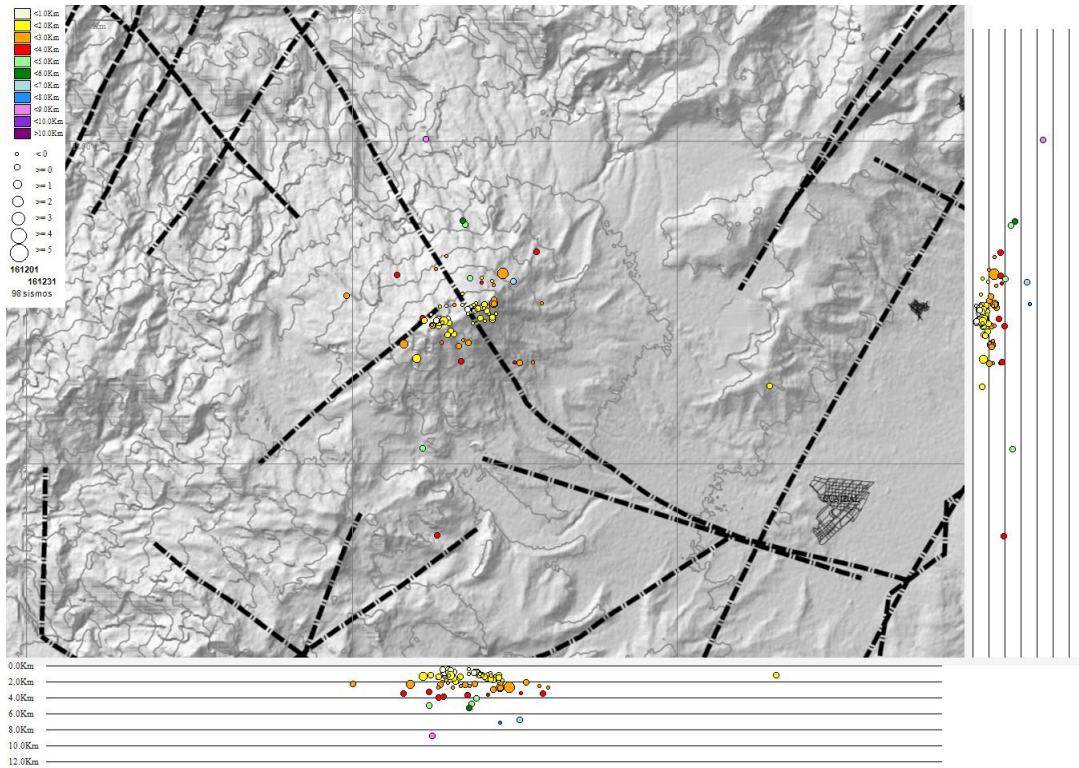


Figura 57. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de diciembre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).

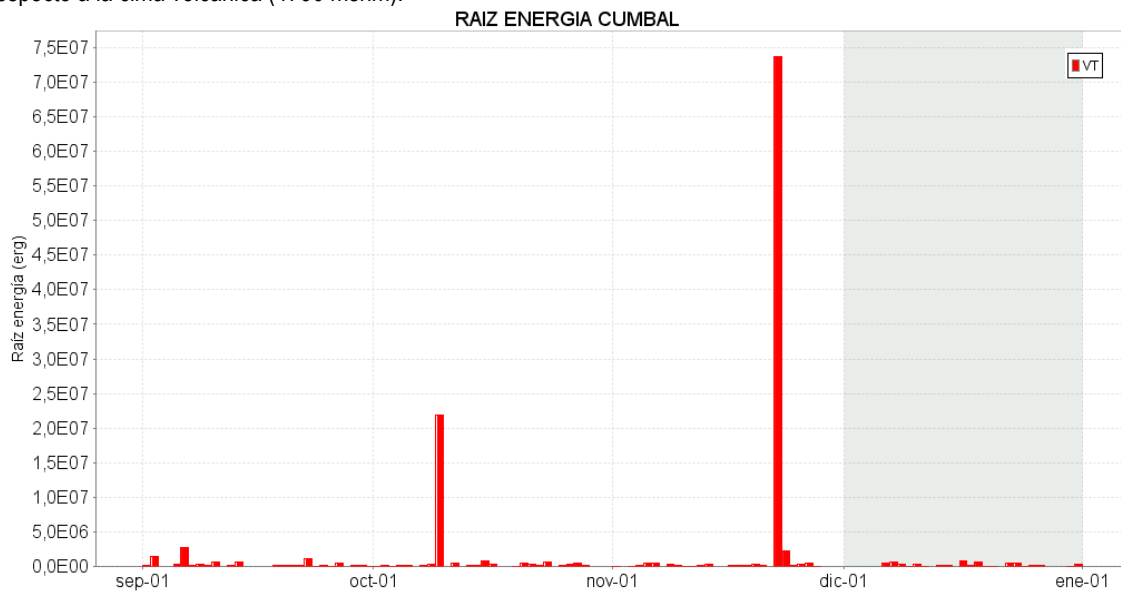


Figura 58. Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos localizados en Cumbal entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

De la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de 16 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR), los cuales presentaron frecuencias dominantes entre de 1.65 Hz y 5.5 Hz y duraciones de hasta 225 segundos, en las Figuras 59, 60, 61 y 62 se muestran algunos registros, a manera de ejemplo de este tipo de sismicidad. En la Figura 63 se observa el comportamiento a lo largo del tiempo de las frecuencias dominantes mostradas por este tipo de eventos, hasta la fecha este tipo de sismicidad no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema volcánico.

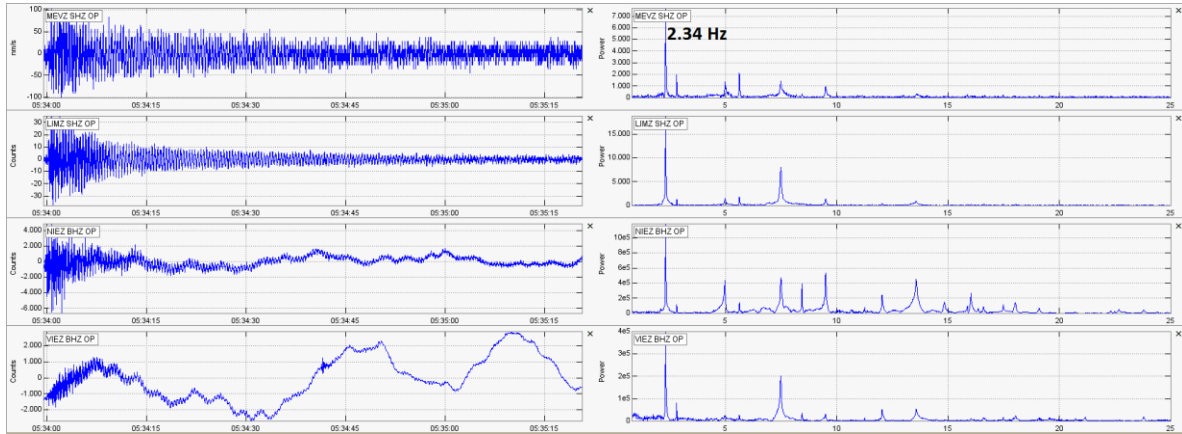


Figura 59. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 5 de diciembre de 2016, a las 00:33 a.m., registrando 79 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.34 Hz.

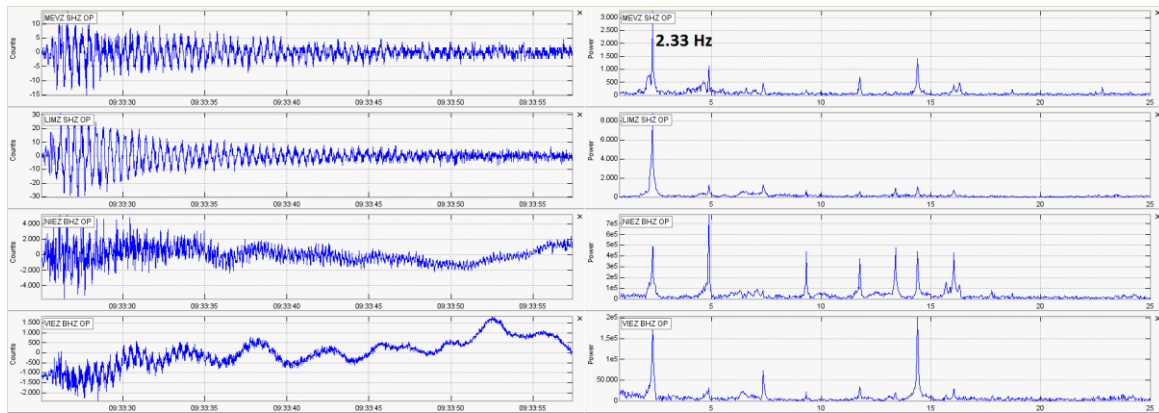


Figura 60. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 15 de diciembre de 2016, a las 4:33 a.m., registrando 32 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.33 Hz.

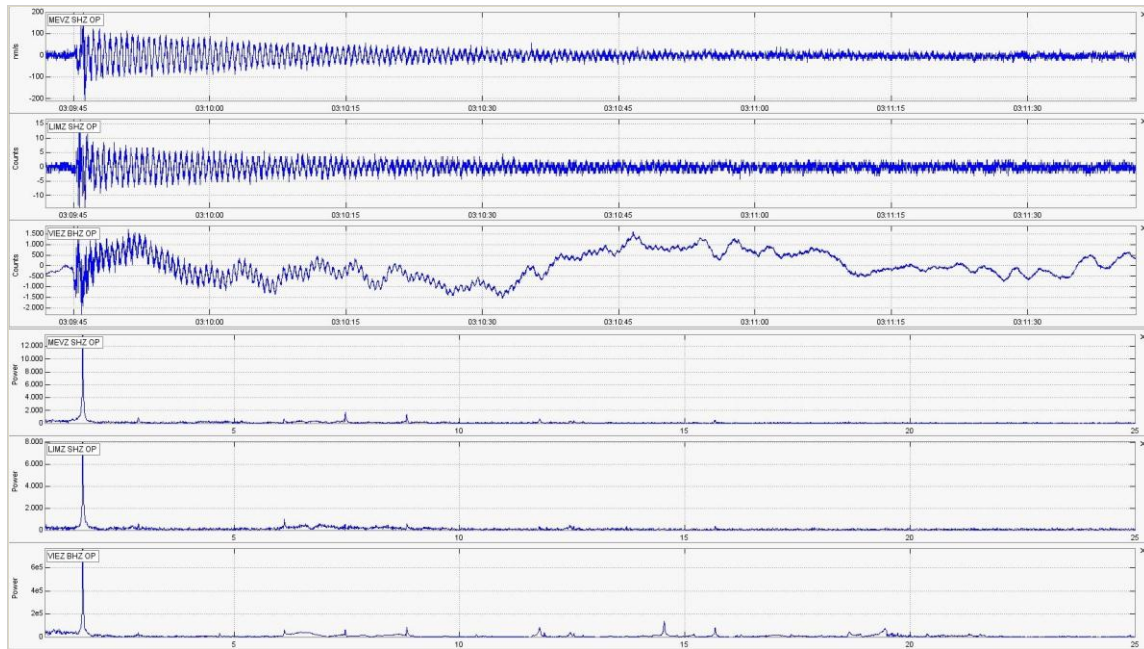


Figura 61. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 25 de diciembre de 2016, a las 10:09 p.m., registrando 104 segundos de duración y una frecuencia dominante de 1.65 Hz.

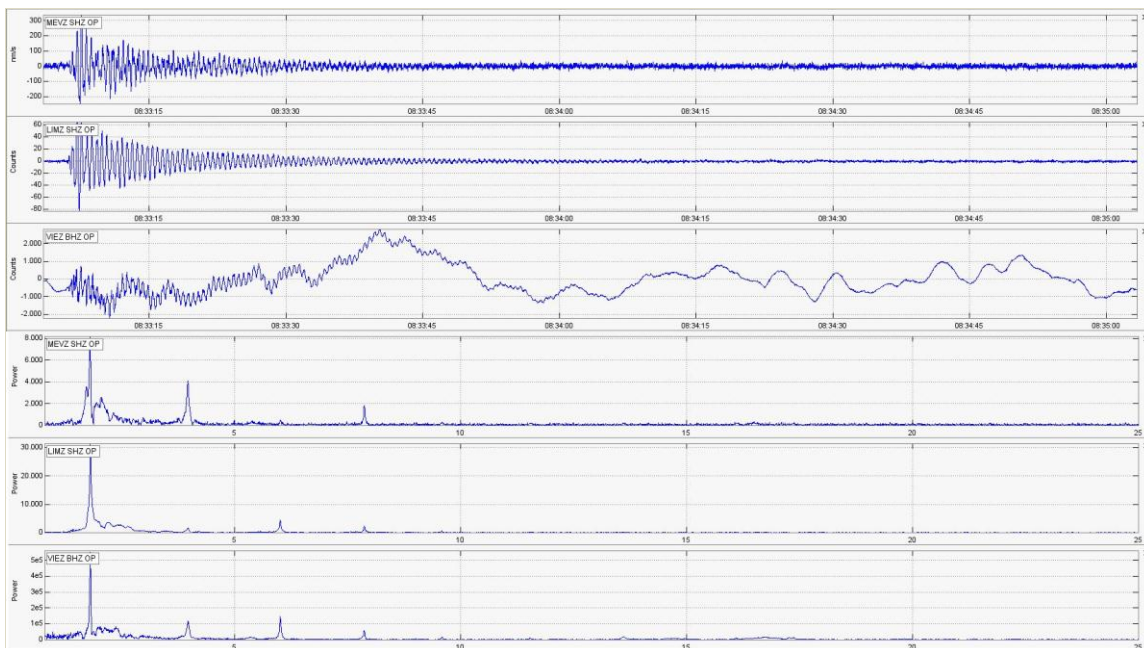


Figura 62. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 26 de diciembre de 2016, a las 3:33 a.m., registrando 54 segundos de duración y una frecuencia dominante de 1.86 Hz.

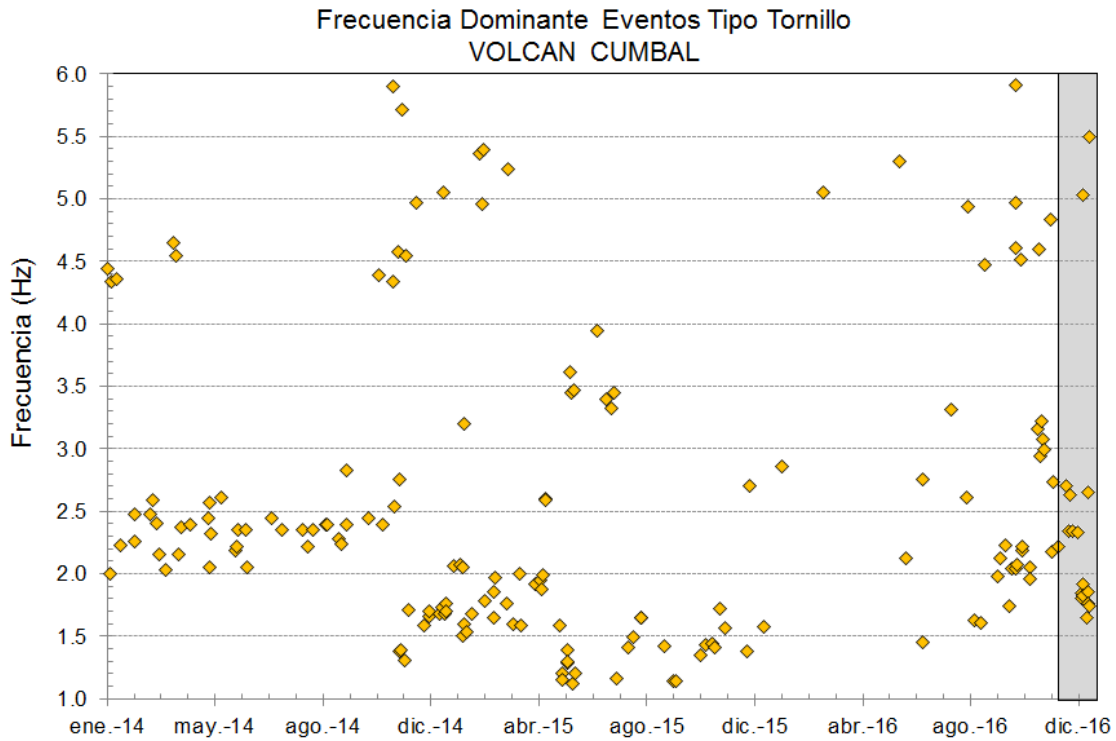


Figura 63. Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de diciembre de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de diciembre de 2016.

2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Desde el 27 de septiembre de 2016, se observa un comportamiento descendente en las componentes de inclinación de la estación La Nieve, acumulando la Norte cerca de 46 μrad y la Este alrededor de 55 μrad (Figura 64). Así mismo se evidencia una tendencia descendente en la componente Este del inclinómetro Punta Vieja, registrando desde el 3 de agosto de 2016, 38 μrad (Figura 65), mientras que su componente Norte muestra ascenso de 26 μrad desde el 30 de septiembre de 2016.

Se observa estabilidad en los registros de los inclinómetros electrónicos La Mesa y Limones (Figuras 66 y 67).



Figura 64. 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 y el 31 de diciembre de 2016.



Figura 65. Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

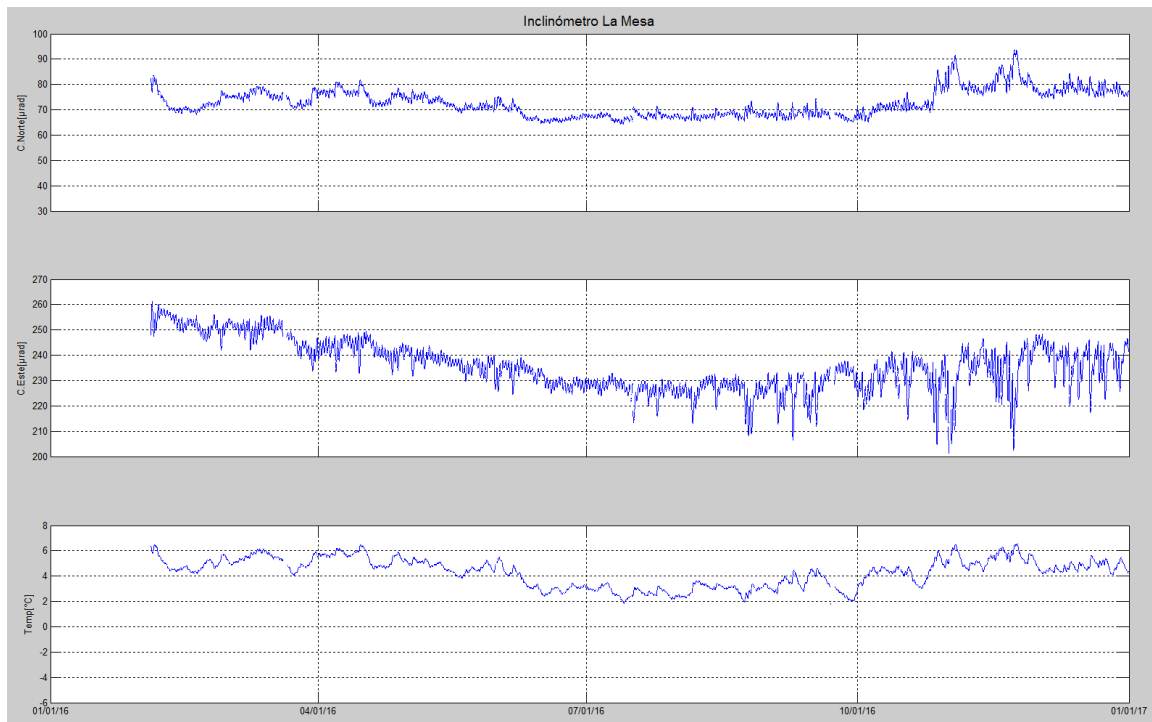


Figura 66. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

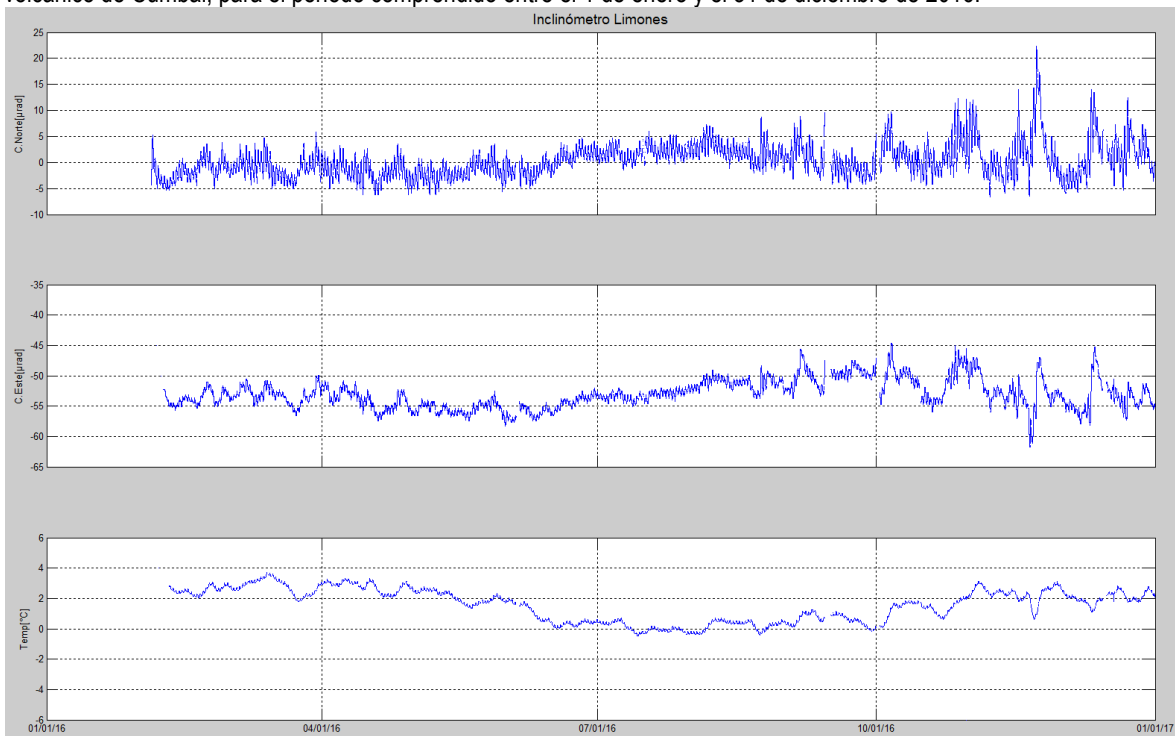


Figura 67. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del tiempo evaluado, excepto para los días 4 y 29 de diciembre, permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el sector de Punta Vieja, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura, provenientes principalmente desde el campo fumarólico El Verde (sector noreste).

En las Figuras 68 a 72 se presentan algunas imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el complejo volcánico de Cumbal.



Figura 68. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 10 de diciembre de 2016, capturada con la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.



Figura 69. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 11 de diciembre de 2016, capturada con la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.



Figura 70. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 14 de diciembre de 2016, en horas de la mañana (7:40 a.m.), fotografía capturada desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.



Figura 71. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 17 de diciembre de 2016, en horas de la tarde (5:08 p.m.), fotografía capturada desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.



Figura 72. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), para los días 20 y 22 de diciembre de 2016, en horas de la tarde, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.

2.5. CONCLUSIONES

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

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de diciembre 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 DICIEMBRE 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 73). El volcán Chiles tiene una altura de 4748 msnm y el volcán Cerro Negro, de 4470 msnm.

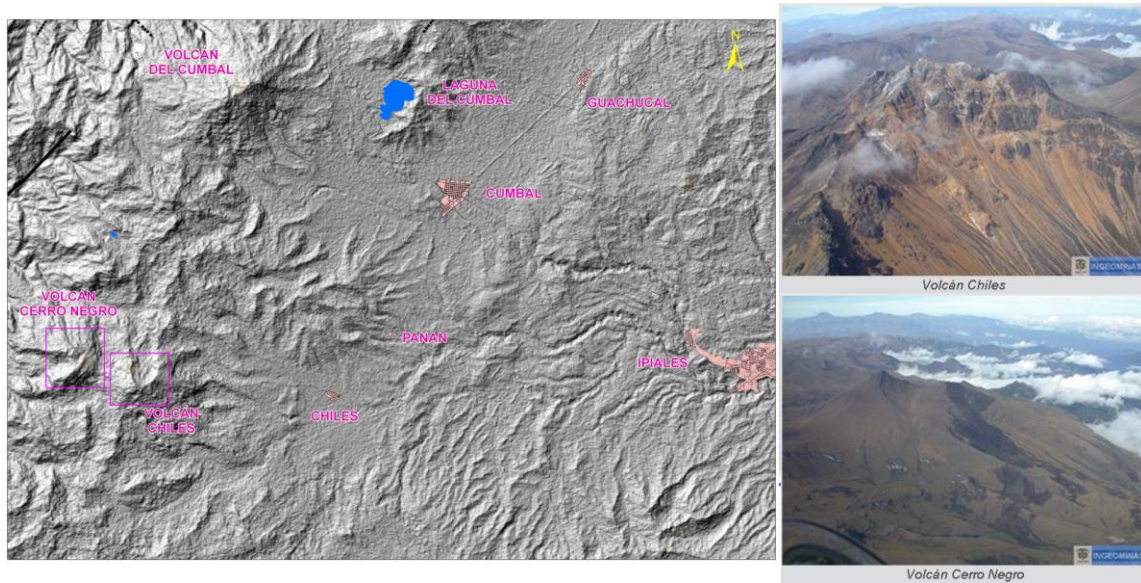


Figura 73. Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

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 74, Tabla 15). En el área de geoquímica se cuenta con la estación permanente telemétrica para el seguimiento de la temperatura en la fuente termal Baño Grande, ubicada en cercanías a la Casa del Cabildo Indígena de Chiles (Figura 74) y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 74, Tabla 16).

Desde finales del mes de noviembre de 2016, en el sector de Canguil se instaló una cámara Web

orientada hacia los volcanes Chiles y Cerro Negro encargada de registrar la actividad superficial de estos volcanes en el momento de presentarse (Figura 74).

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 75).

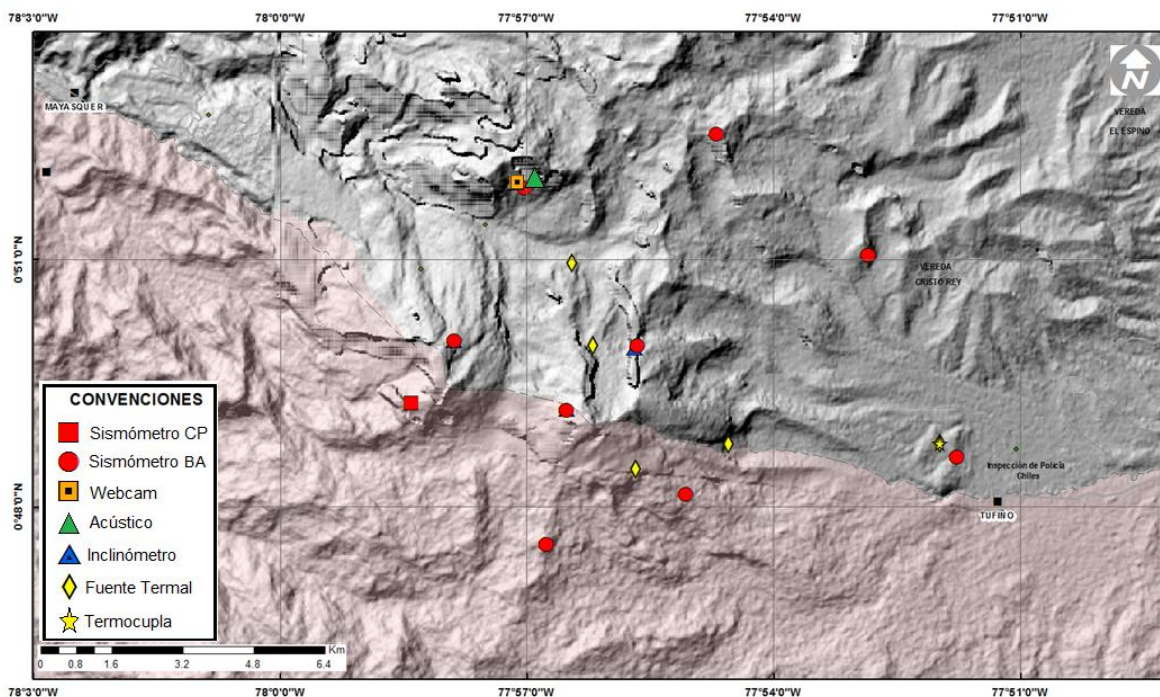


Figura 74. Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de diciembre de 2016.

Tabla 15. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre 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	Inclínometro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclínometro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750
Termales	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329

Tabla 16. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

FUENTE TERMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
(A) BAÑO GRANDE		0.81282°	77.86624°	3318
(B) AGUAS HEDIONDAS		0.81256°	77.90923°	3613
(C) LAGUNAS VERDES		0.80758°	77.92791	3894
(D) RÍO BLANCO		0.84928°	77.94092°	3611
(E) EL HONDÓN		0.832535	-77.936713	3948
FUENTE TERMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
(F) BALNEARIO		0°48'11,8"	77°51'41,4"	3269
(G) LA CALERA		0°48'17,4"N	77°51'44,8"W	3284
(H) EL INFIERNILLO		0°48'19,6"N	77°51'43,2"W	3284

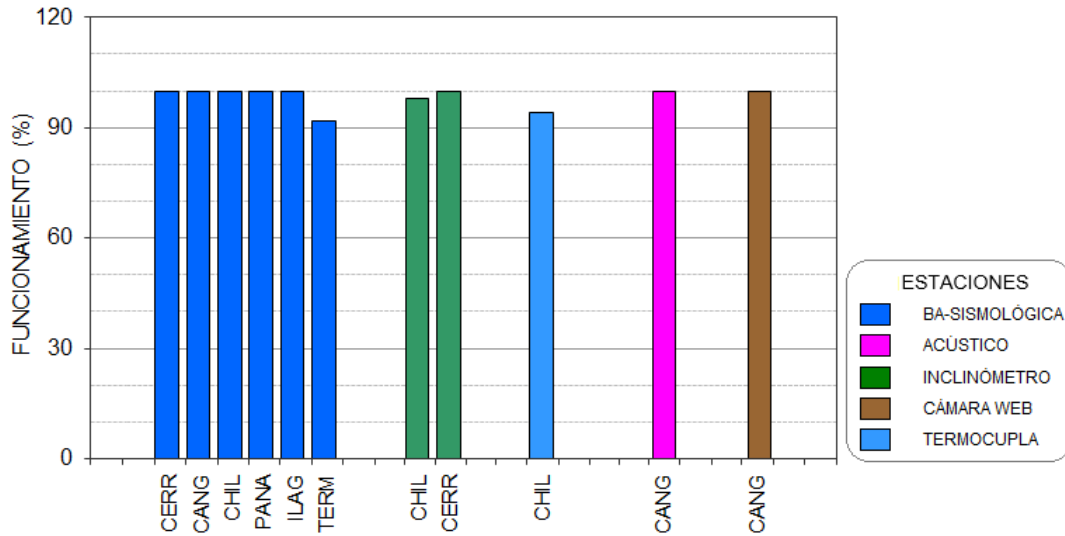


Figura 75. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre de 2016.

3.3. SISMOLOGÍA

Teniendo en cuenta el periodo desde que se inició la vigilancia instrumental de la actividad volcánica en la zona de influencia de Chiles y Cerro Negro con la instalación permanente de estaciones en noviembre 5 de 2013, hasta el 31 de diciembre de 2016, se han registrado en total 557.593 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 76).

La ocurrencia sísmica en el mes de diciembre de 2016 mostró un incremento cercano al 37.3% del número registrado en noviembre, pasando de 963 a 1322 sismos, en su mayoría asociados con fractura de roca (VT) (Tabla 17, Figuras 77, 78 y 79). El día 8 de diciembre se registró la tasa más elevada de ocurrencia diaria contabilizando 89 eventos.

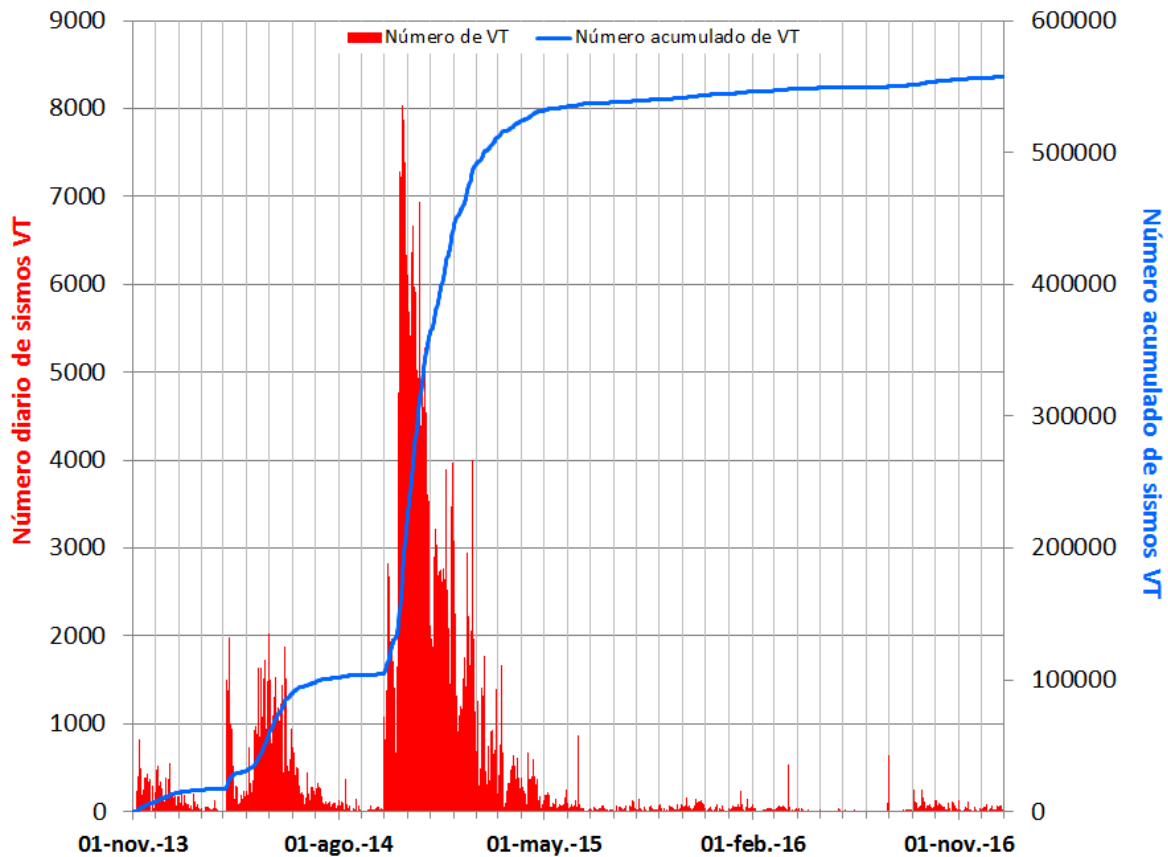


Figura 76. Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y diciembre 31 de 2016.

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo			
	vt	lps	hyb	TOTAL
01-sep-16 a 30-sep-16	2578	1	0	2579
01-oct-16 a 31-oct-16	1737	7	2	1746
01-nov-16 a 30-nov-16	923	37	3	963
01-dic-16 a 31-dic-16	1258	47	17	1322

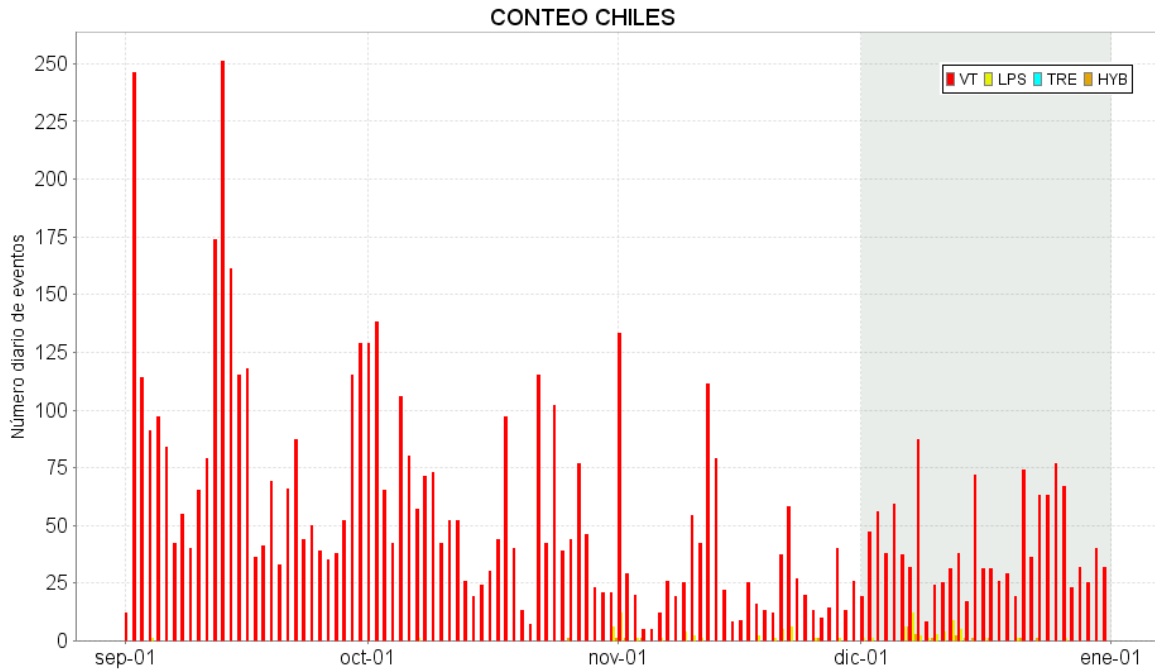


Figura 77. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de septiembre y diciembre de 2016.

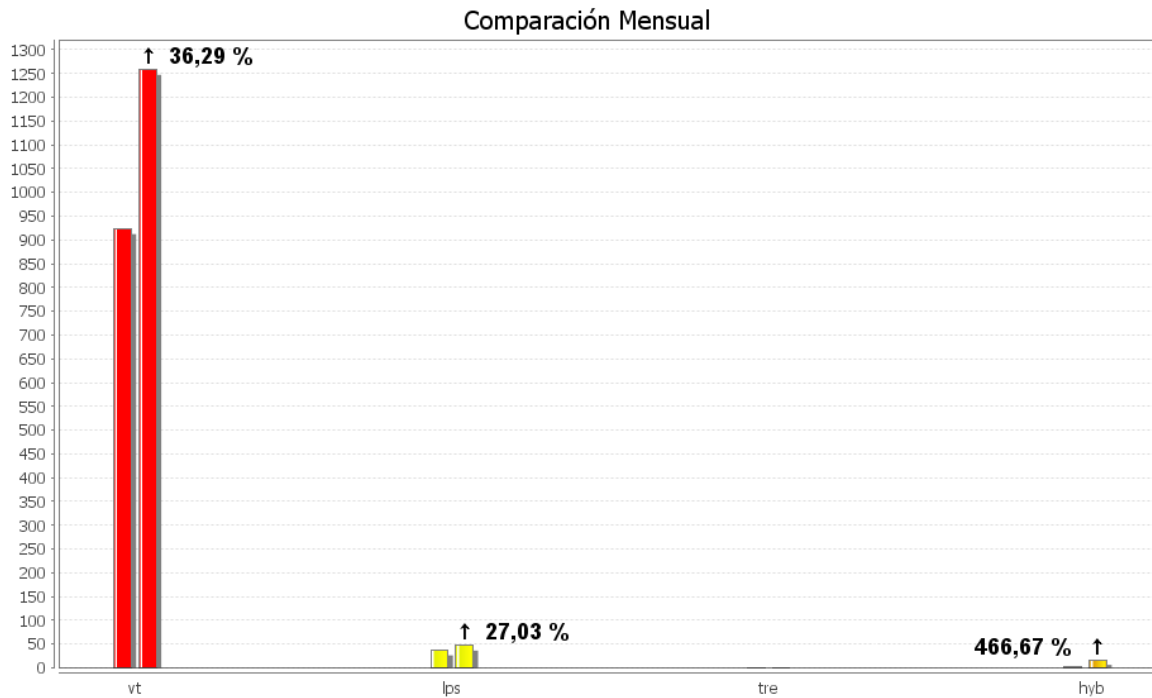


Figura 78. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2017 (barras de la derecha) respecto al mes de diciembre de 2016 (barras de la izquierda).

Relación Porcentual Mensual

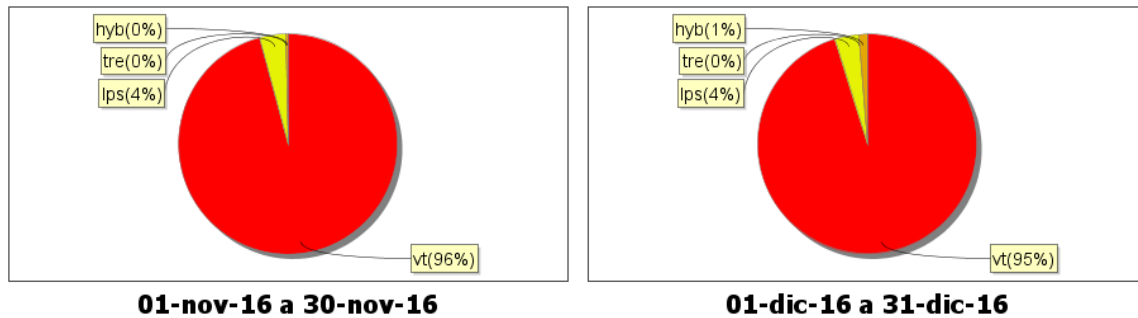


Figura 79. Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro para noviembre y diciembre de 2016.

En el periodo evaluado fue posible obtener una solución de localización para 542 sismos, tipo VT (Figura 80), la mayoría ubicados hacia los sectores sur y suroccidente del volcán Chiles con algunos epicentros hacia el costado suroriente. Teniendo en cuenta la ubicación de los eventos, es posible diferenciar cuatro fuentes sísmicas, la primera ubicada en promedio a 3.5 km al suroccidente de Chiles, con profundidades entre 1 y 4 km (nivel de referencia sobre los 4.700 msnm), la segunda con profundidades entre 4 y 6.9 km a 3.8 km al sur del edificio volcánico, la tercera y cuarta se ubicaron hacia el sector suroriente, con distancias epicentrales de 7.8 y 12.5 km, y profundidades entre 7 y 12 km (Figura 80).

La magnitud local de los sismos fue menor a 2.8 en la escala de Richter, el 86% de la sismicidad localizada presentó magnitud menor a 1, el 10% entre 1 y 2, y el 4% magnitud mayor a 2.

Se destaca la ocurrencia de dos eventos de fractura, que fueron reportados como sentidos por habitantes del Resguardo Indígena de Chiles para el día 8 de diciembre. El primero se presentó a las 03:41 a.m., localizado a 7.4 km al sureste del volcán Chiles, con una profundidad de 7.7 km respecto a la cima volcánica y una magnitud local de 2.8 en la escala de Richter y el segundo, a las 06:49 a.m., localizado a 6.8 km al sur del volcán, con una profundidad de 8.2 km respecto a la cima volcánica y una magnitud local de 2.3 en la escala de Richter (Figura 81).

La energía sísmica liberada fue estimada con la magnitud de los sismos localizados; mostrando un descenso del 83% respecto a lo reportado en el mes anterior (Tabla 18, Figura 82).

Tabla 18. Energía sísmica liberada calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Energía liberada por los sismos VT	
	VT	TOTAL
01-sep-16 a 30-sep-16	1.42E+15	1.42E+15
01-oct-16 a 31-oct-16	1.12E+15	1.12E+15
01-nov-16 a 30-nov-16	1.22E+16	1.22E+16
01-dic-16 a 31-dic-16	2.09E+15	2.09E+15

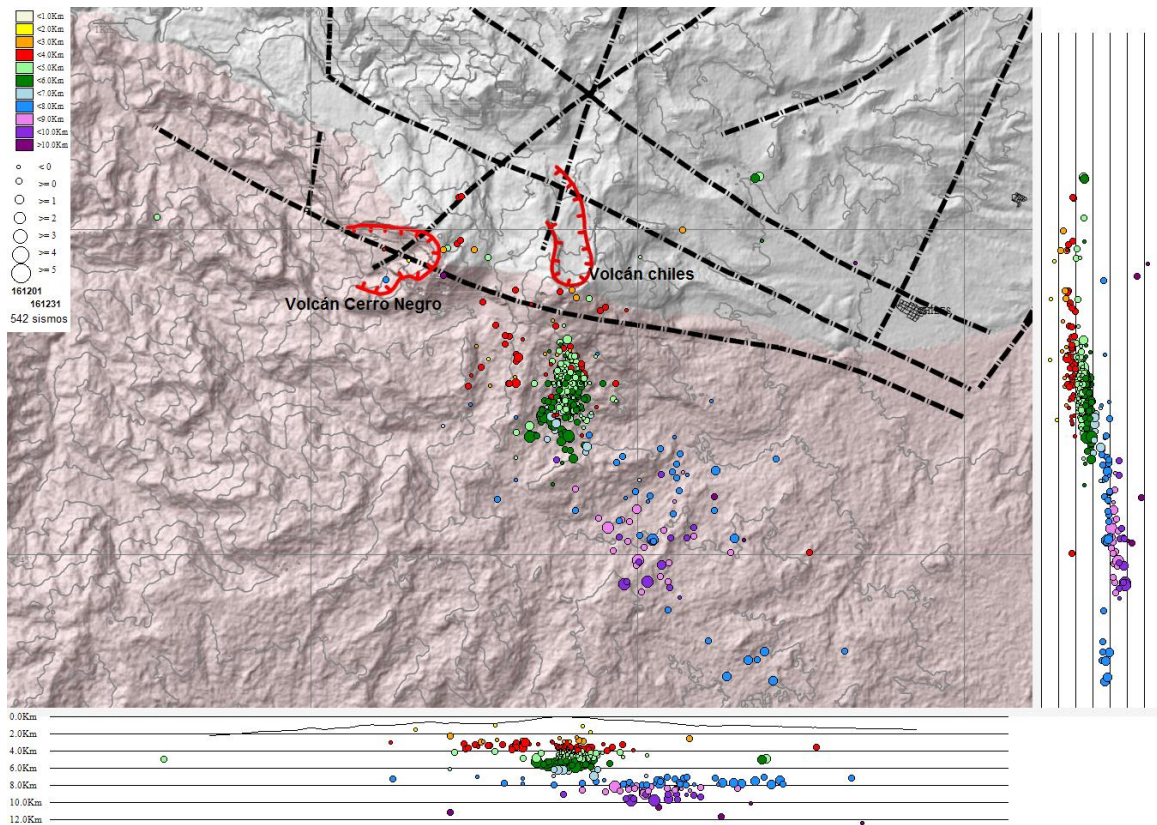


Figura 80. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en diciembre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

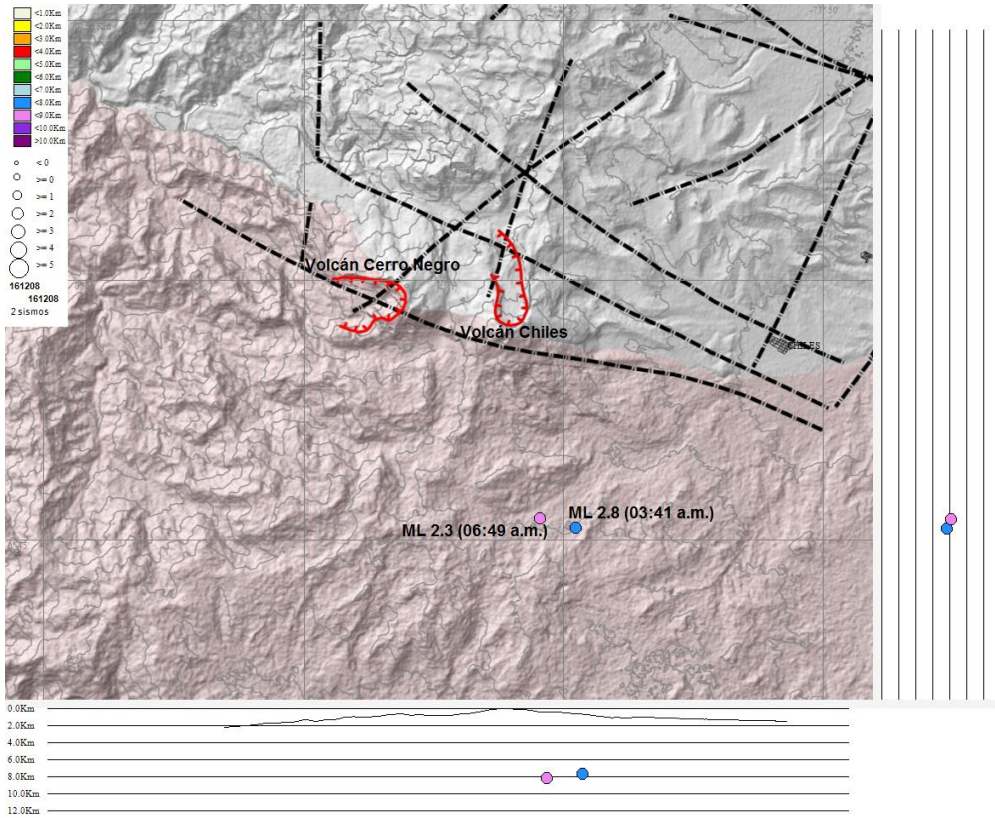


Figura 81. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, el 8 de diciembre de 2016 y que fueron reportados como sentidos por habitantes del Resguardo Indígena de Chiles, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

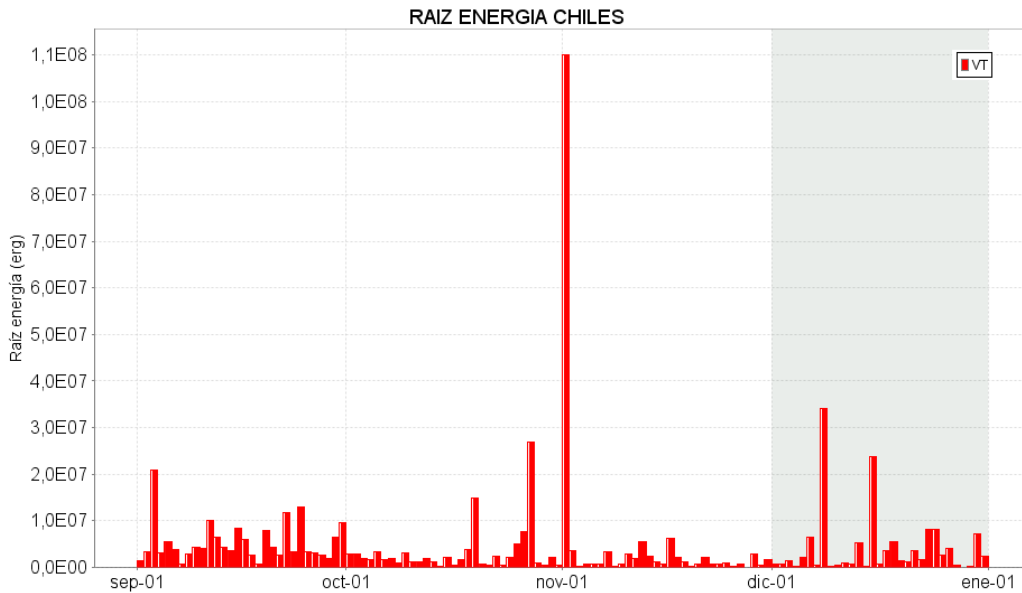


Figura 82. Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Se observa estabilidad para las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Chiles (Figura 83).

Para las estaciones instaladas sobre la superficie del volcán Cerro Negro, se tiene que en el inclinómetro Cneg2 paralelo al inclinómetro Cerro Negro (sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro), siguió mostrando el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Este, comportamiento que se viene registrando desde el 20 de agosto de 2014, cuya variación es de 1504 μ rad hasta diciembre de 2016; por su parte la componente Norte presenta la tendencia descendente que traía desde el 29 de enero de 2016, alcanzando 305 μ rad (Figura 84).

Con respecto a los cambios mostrados por el inclinómetro Cerro Negro, las componente de inclinación tienden a estabilizarse, la Norte desde el 14 de noviembre de 2016 y la Este, desde el 23 de diciembre de 2016 (Figura 85).



Figura 83. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

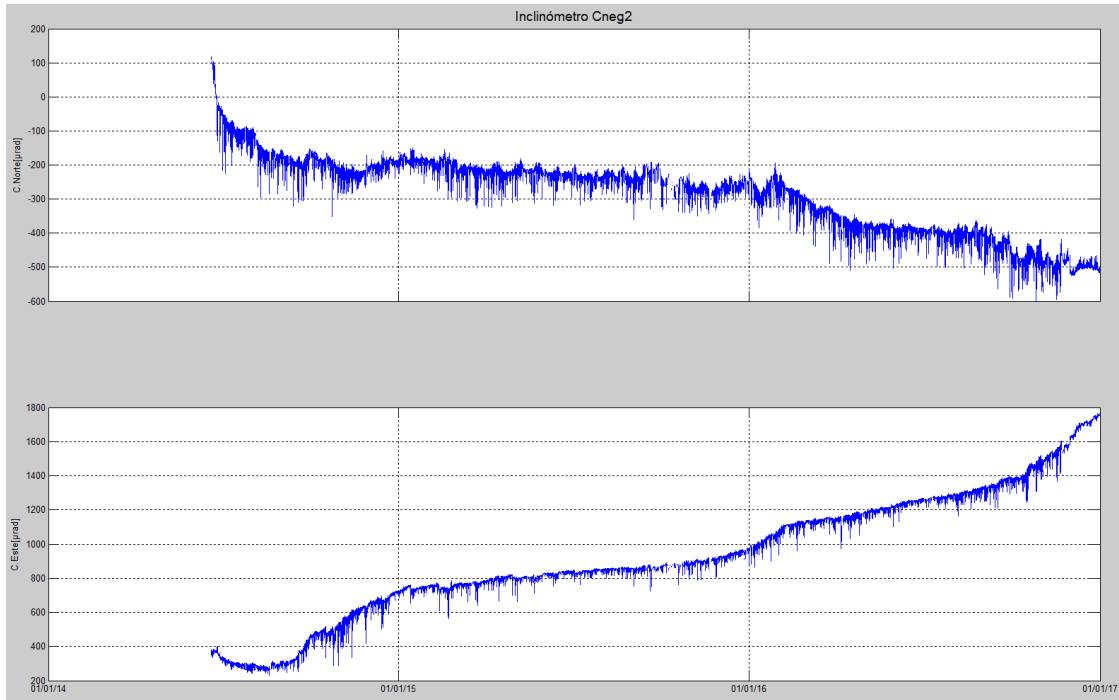


Figura 84. Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio de 2014 y el 31 de diciembre de 2016.

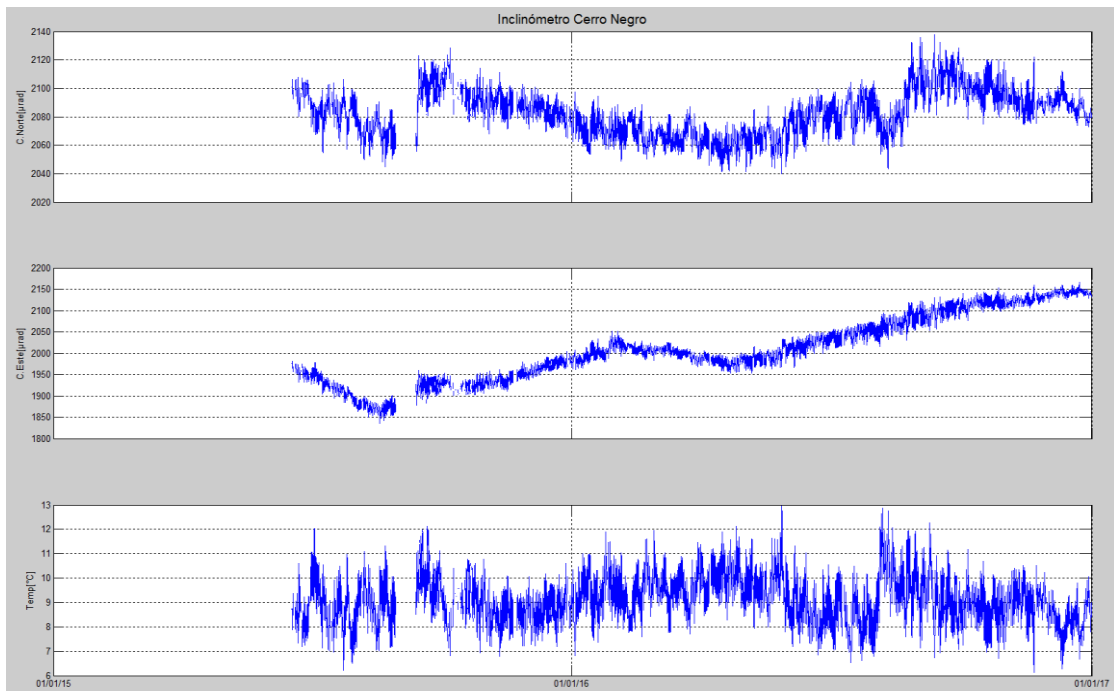


Figura 85. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de diciembre de 2016.

3.5. GEOQUÍMICA

3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande

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

En la Figura 86 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 42.5°C (Tabla 19). Durante el mes de diciembre se registra un valor máximo de 42.9°C, no se registran variaciones significativas. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.

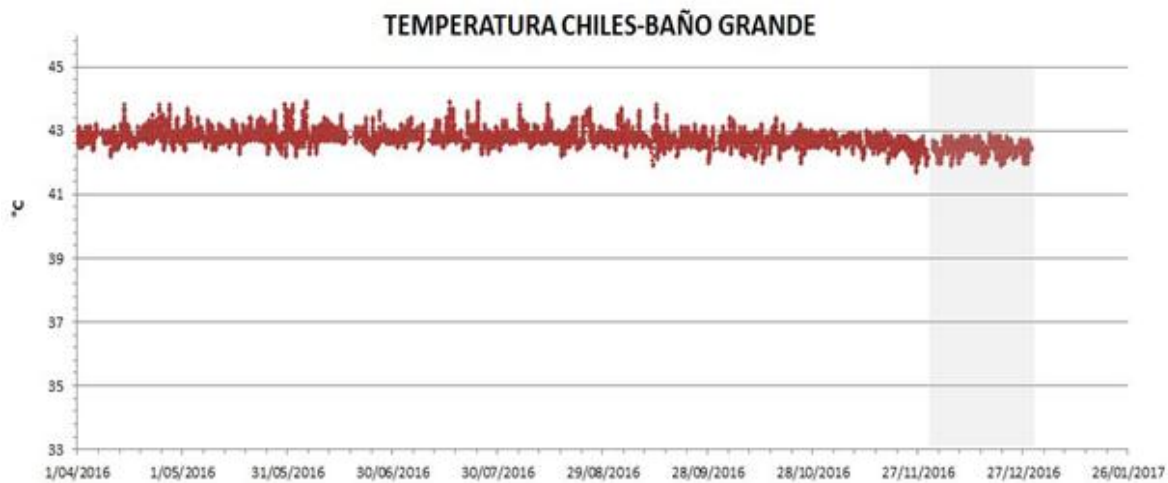


Figura 86. Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – diciembre de 2016.

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

TEMPERATURA	[°C]
Promedio	42.5
Máximo	42.9
Mínimo	41.9

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En las Figuras 87 y 88 se muestran dos imágenes de los volcanes Chiles y Cerro Negro, capturadas con la cámara Web ubicada en el sector de Canguil.




Figura 87. Imagen de los Volcanes Chiles (izquierda) y Cerro Negro (derecha), fotografía capturada el 6 de diciembre de 2016, a las 7:33 a.m.



Figura 88. Imagen de los Volcanes Chiles (izquierda) y Cerro Negro (derecha), fotografía capturada el 10 de diciembre de 2016, a las 11:49 a.m.

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 diciembre de 2016, permitió que la actividad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro permaneciera en **NIVEL AMARILLO**  (III):

“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

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

El Servicio Geológico Colombiano ha venido monitoreando de manera permanente la actividad de otros volcanes activos de Nariño, como son Doña Juana, Azufral y Las Ánimas (Figura 89), en busca de estimar un nivel base de actividad, hacer seguimiento de sus manifestaciones y en caso necesario, poder establecer situaciones anómalas y la posibilidad de ocurrencia de eventos eruptivos.

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

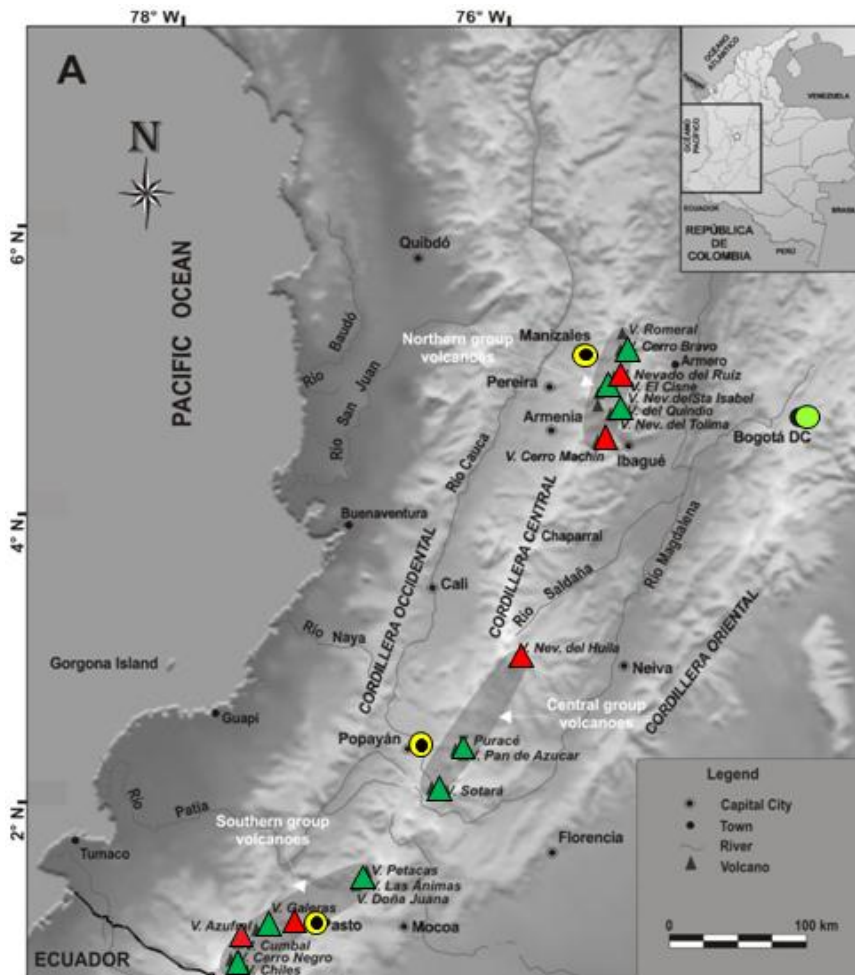


Figura 89. Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.

4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

4.1.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente de Colombia, en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 90).

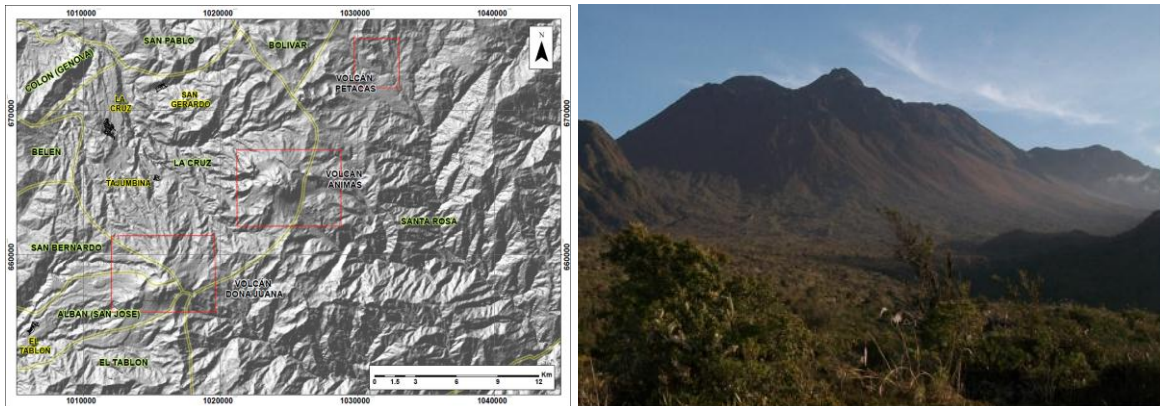


Figura 90. Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

4.1.2. Red de vigilancia

Actualmente la red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas localizadas en los puntos Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental y dos inclinómetros electrónicos (Tabla 20, Figura 91), y desde finales del mes de noviembre de 2015, se cuenta con una estación GNSS permanente encargada de detectar los cambios sobre la superficie volcánica (Figura 92). Es de resaltar que la estación Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre 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

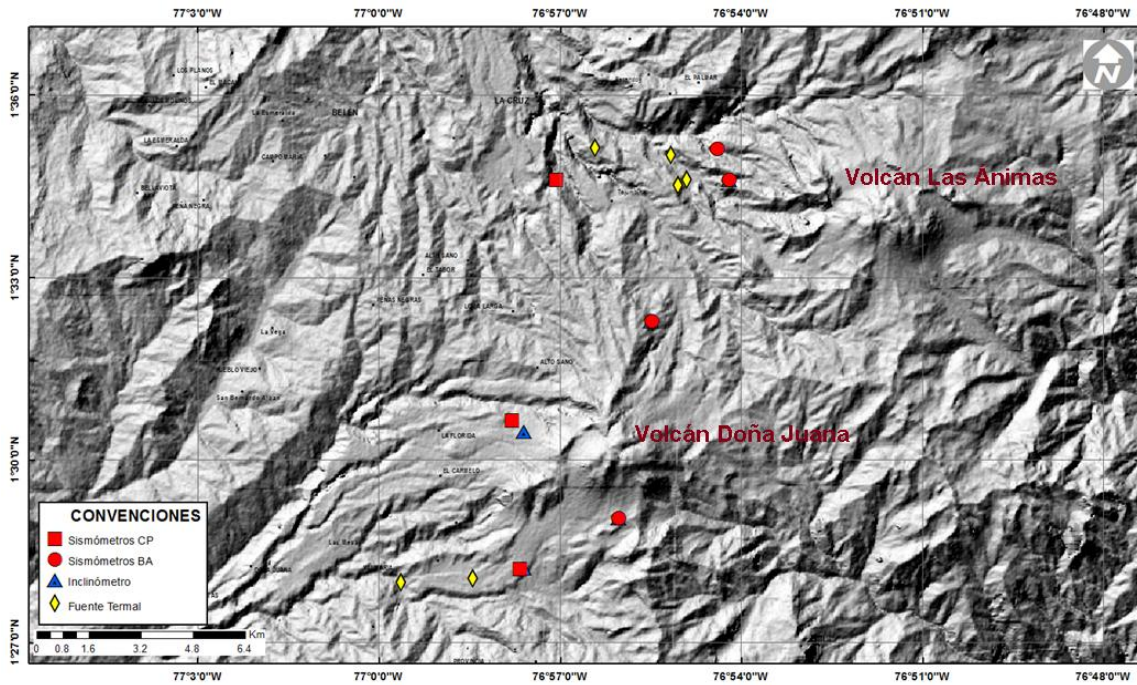


Figura 91. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2016.

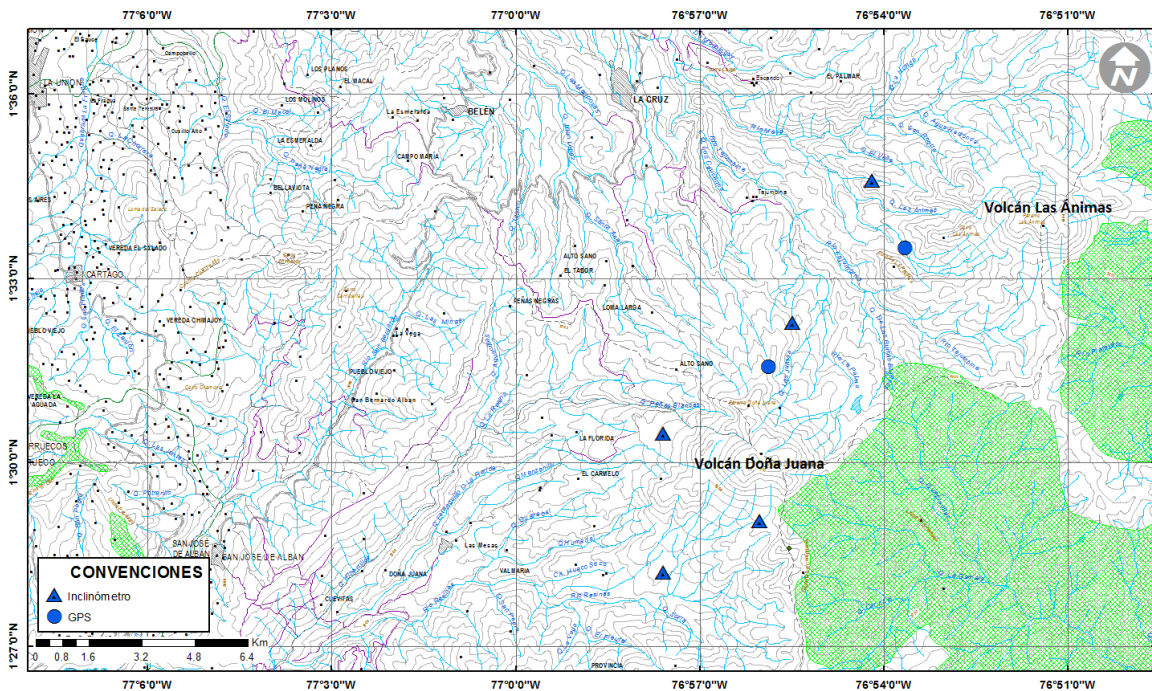


Figura 92. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2016.

En el periodo evaluado, la red de estaciones telemétricas instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento del 99.8% (Figura 93).

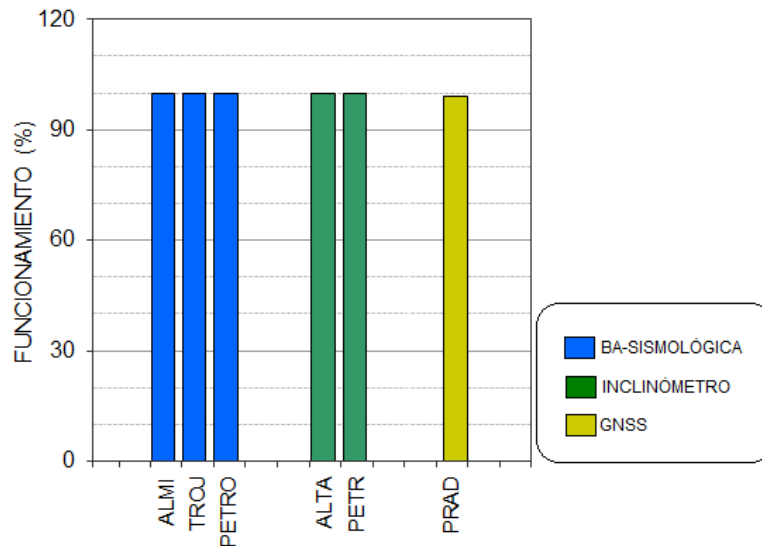


Figura 93. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante diciembre de 2016.

4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de 2 eventos, que por sus características espectrales se los puede clasificar como tipo VT, asociados a fractura de material rocoso (Tabla 21), observándose con respecto al mes anterior un descenso del 85%.

Tabla 21. Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del volcán Las Ánimas registrados entre septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-sep-16 a 30-sep-16	5	5
01-oct-16 a 31-oct-16	8	8
01-nov-16 a 30-nov-16	13	13
01-dic-16 a 31-dic-16	2	2

4.1.4. Deformación Volcánica

4.1.4.1. Inclínometría Electrónica

Para el periodo evaluado se observa estabilidad en el registro de la componente Este del inclinómetro Petroglifo, de igual forma en las componentes de inclinación del sensor de Altamira (Figuras 94 y 95).

4.1.4.2. Estaciones GNSS Permanentes

Desde finales del mes de noviembre de 2015, hacia el costado suroccidental del volcán Las Ánimas se instaló una estación GNSS permanente con el fin de detectar los cambios en superficie asociados a actividad volcánica, la cual empezó a registrar datos desde el mes de diciembre 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 la Figura 96, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS instalado en Las Ánimas.

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que puede verificarse en el registro presente en la dirección Norte de la estación GNSS QUIL (Figura 29 - ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño).

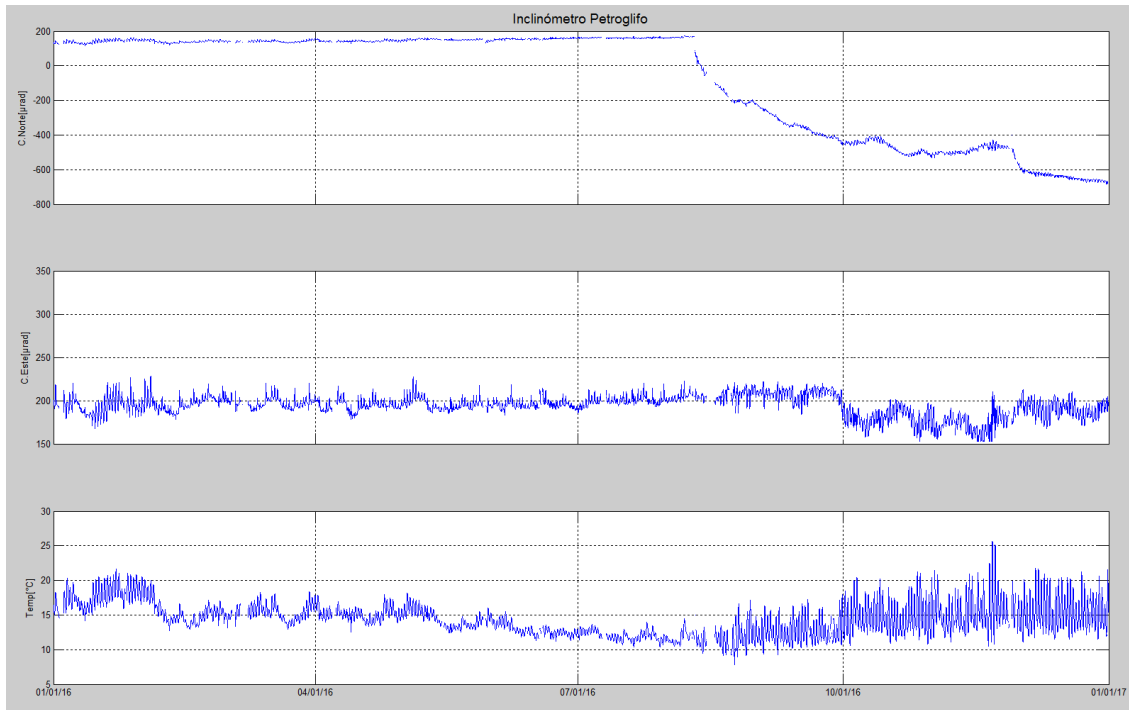


Figura 94. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

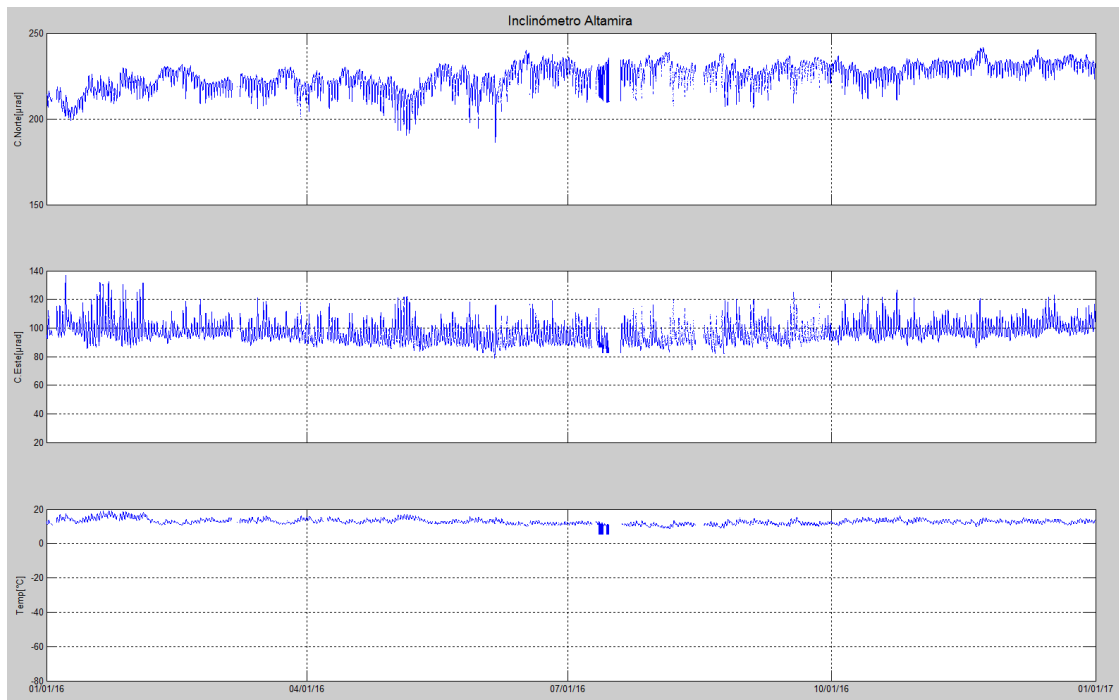


Figura 95. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

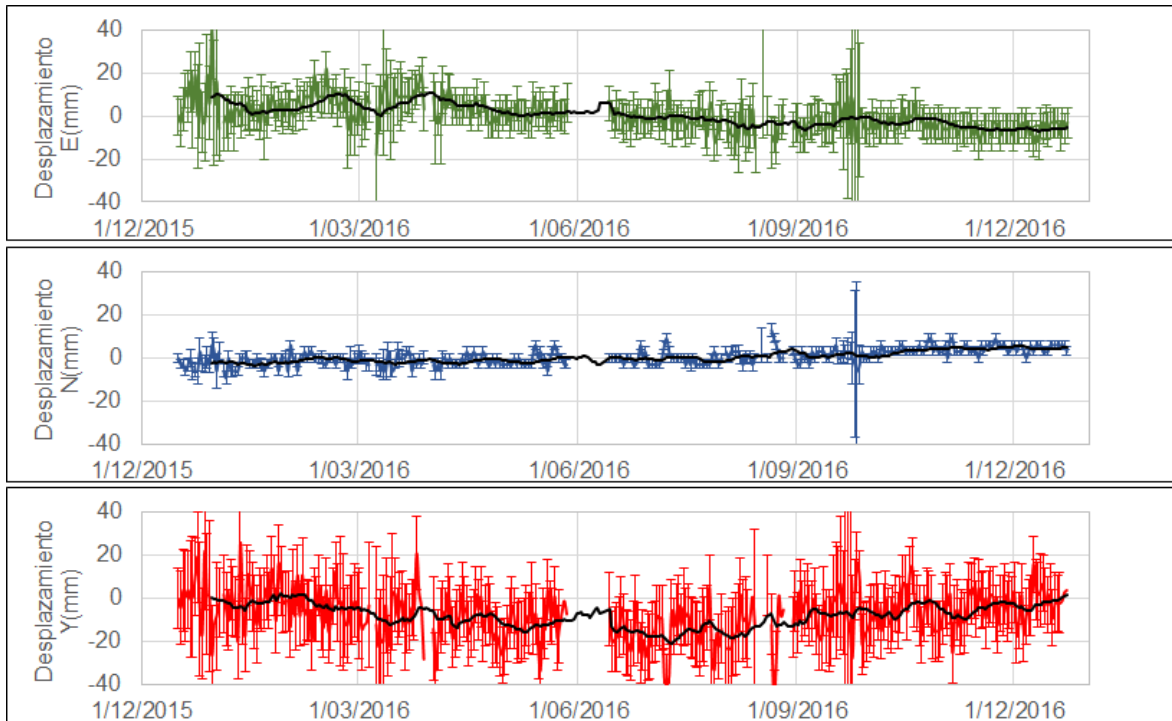


Figura 96. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 16 de diciembre de 2015 y el 23 de diciembre de 2016.

4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de diciembre 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 diciembre 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 sísmica La Cruz, que pertenece a la RSNC (Figura 97, Tabla 22). Y desde el 25 de febrero de 2016 se cuenta con la señal de la estación GNSS permanente La Palma, estación instalada hacia el sector nororiental del volcán Doña Juana (Figura 98). Para el mes de diciembre de 2016 las estaciones presentaron un

funcionamiento del 98% (Figura 99).

Tabla 22. 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

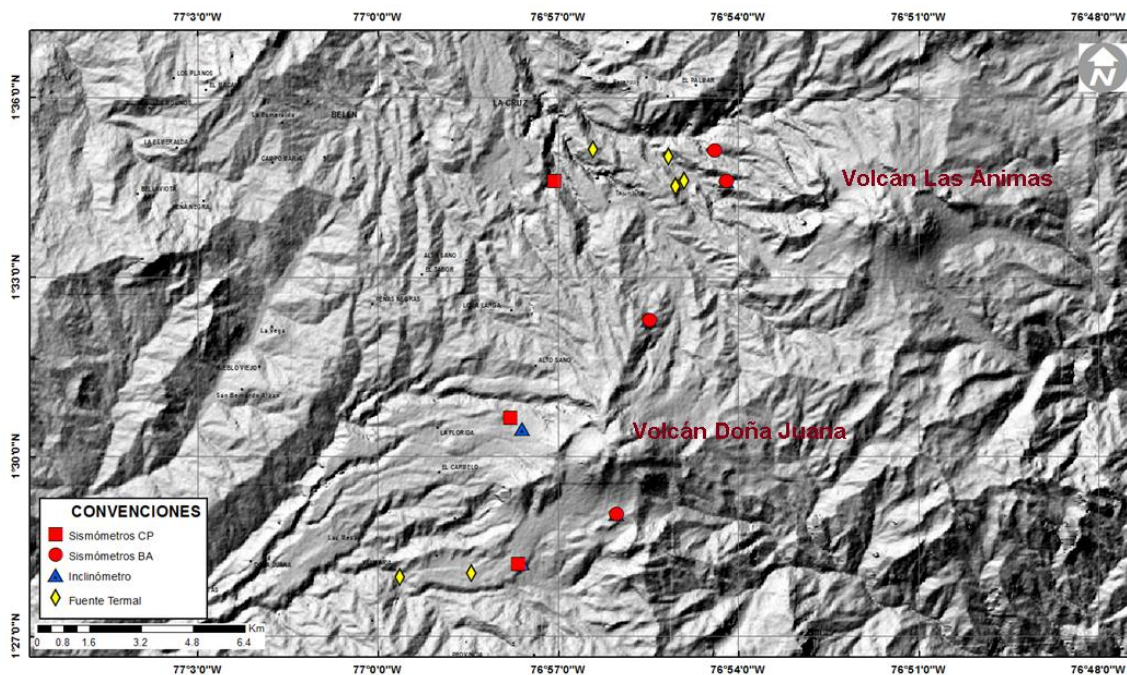


Figura 97. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

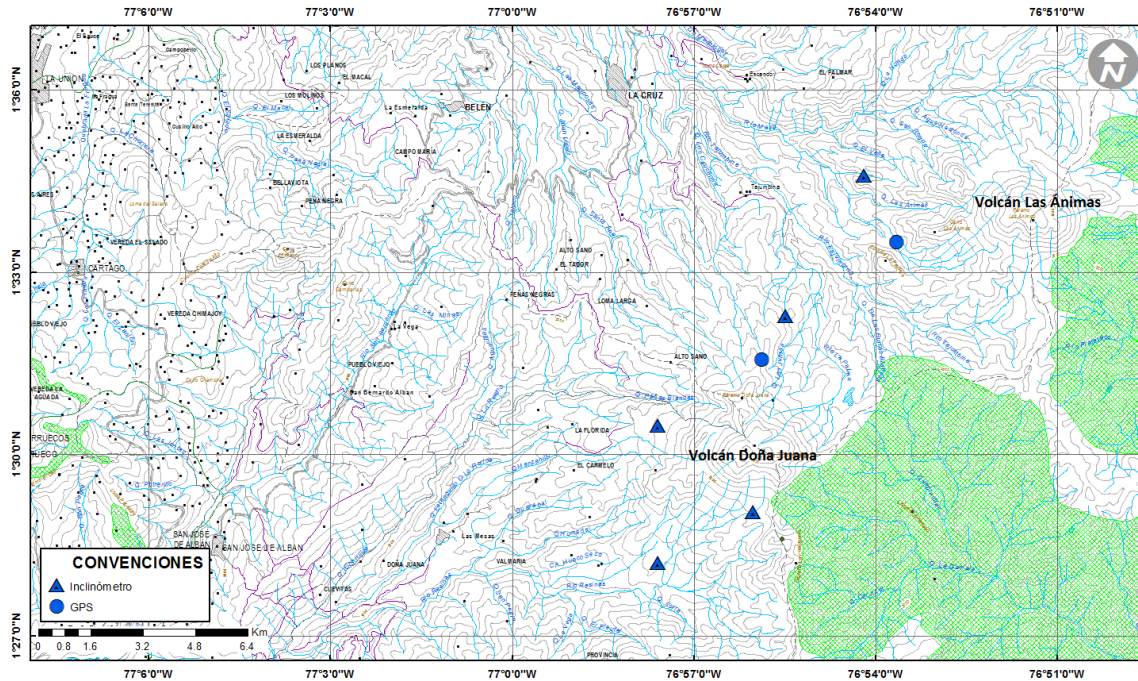


Figura 98. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de Deformación del volcán Doña Juana para el mes de diciembre de 2016.

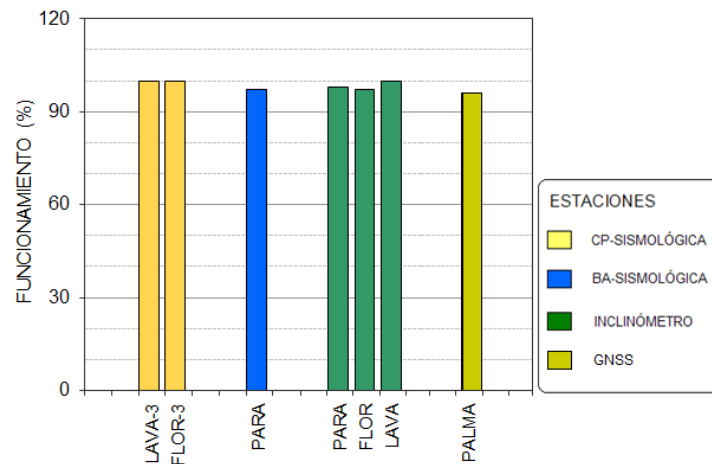


Figura 99. Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en diciembre de 2016.

4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de tres eventos, que por la forma de onda y sus características espectrales se clasificaron como VT (Figura 100, Tabla 23), asociados con fractura de material rocoso, dos de ellos se ubicaron hacia el sector sur-sureste del Volcán Doña Juana, con distancias epicentrales de 17.1 y 17.7 km, el otro evento se localizó a 12.7 km al sureste del volcán, las magnitudes locales estuvieron entre 0.1 y 0.9 en la escala de Richter, las profundidades entre 7.3

y 15.6 km (Figura 101). La energía sísmica liberada y estimada con la magnitud local fue de 4.2×10^{11} ergios.

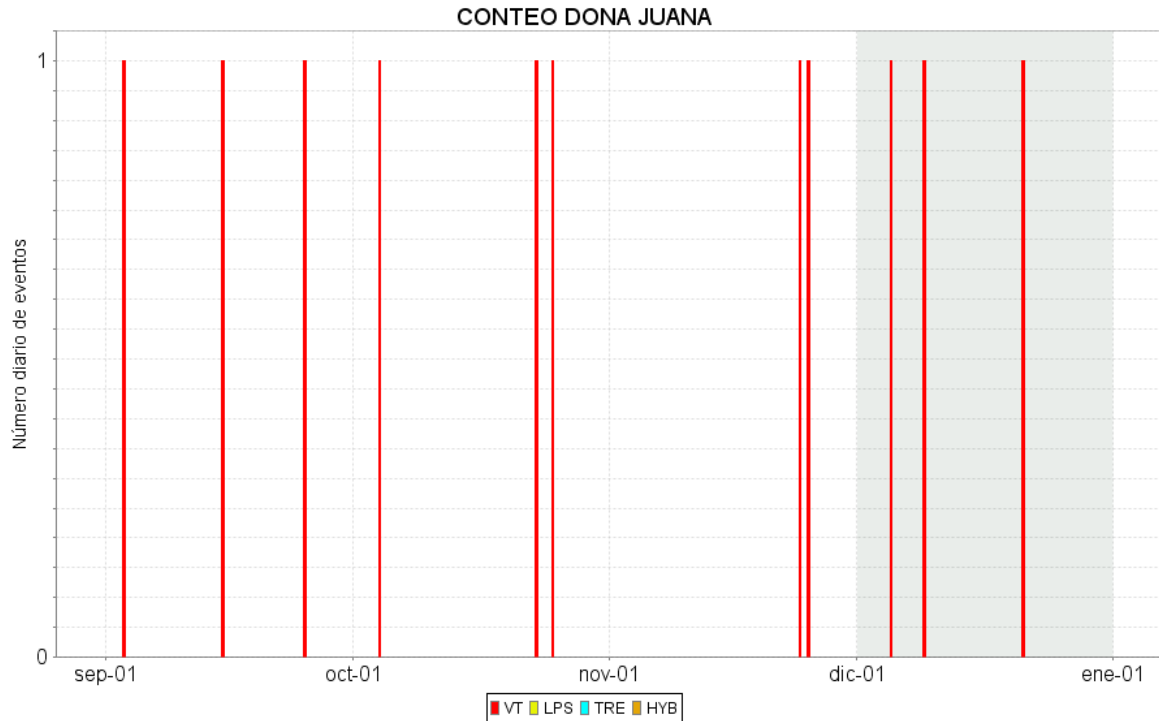


Figura 100. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de septiembre y diciembre de 2016.

Tabla 23. Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia del Volcán Doña Juana registrados entre septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-sep-16 a 30-sep-16	3	3
01-oct-16 a 31-oct-16	3	3
01-nov-16 a 30-nov-16	2	2
01-dic-16 a 31-dic-16	3	3

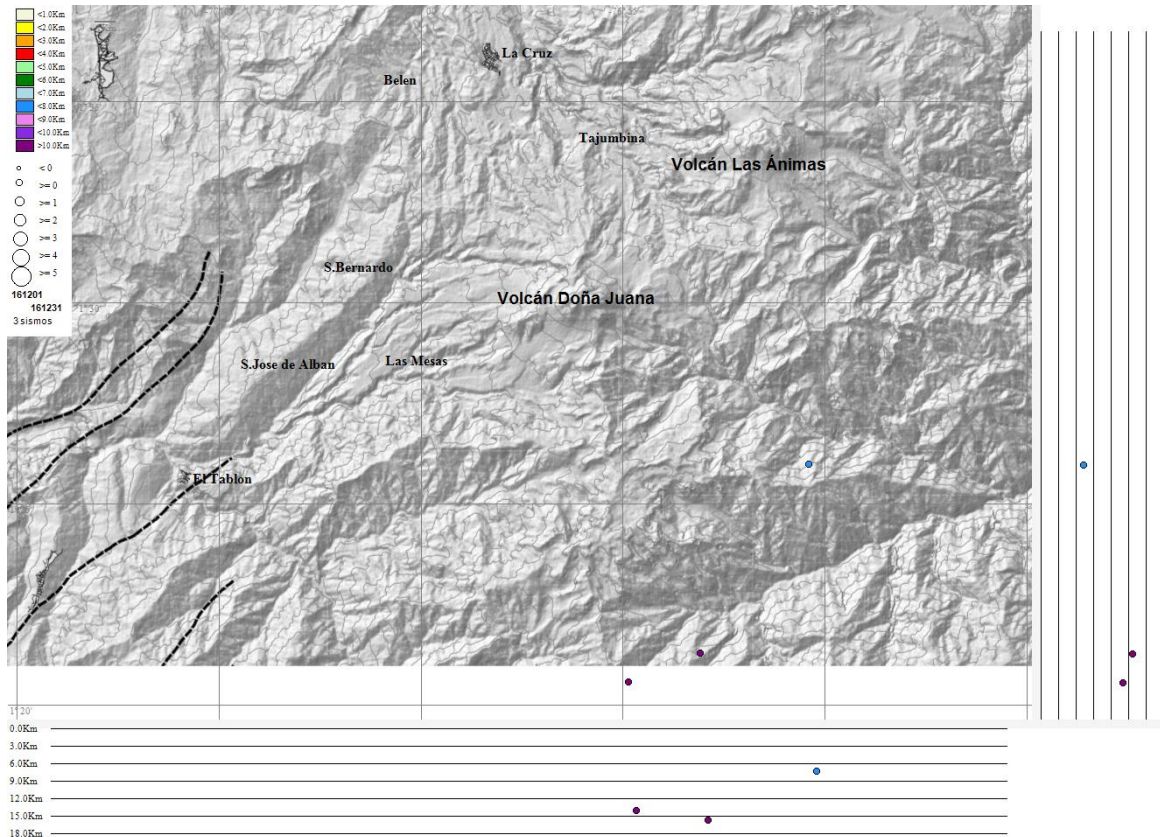


Figura 101. Localización epicentral e hipocentral de los sismos localizados en el volcán Doña Juana, registrados en el mes de diciembre de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.

4.2.3. Deformación Volcánica

4.2.3.1. Inclínometría Electrónica

Continúa la tendencia ascendente en las componentes de inclinación de la estación Lavas, la Norte registrando desde el 24 de agosto de 2016, cerca de $74 \mu\text{rad}$ y la Este, $47 \mu\text{rad}$ desde el 27 de octubre de 2016 (Figura 102).

Los registros del inclinómetro electrónico Páramo, muestran estabilidad, la componente Norte desde el 16 de noviembre de 2016 y la Este desde el 5 de octubre de 2016 (Figura 103), de igual forma se evidencia estabilidad en las componentes del inclinómetro Florida (Figura 104).

4.2.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En la Figura 105, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS instalado en Doña Juana.

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que puede verificarse en el registro presente en la dirección Norte de la estación GNSS QUIL (Figura 29 - ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño).

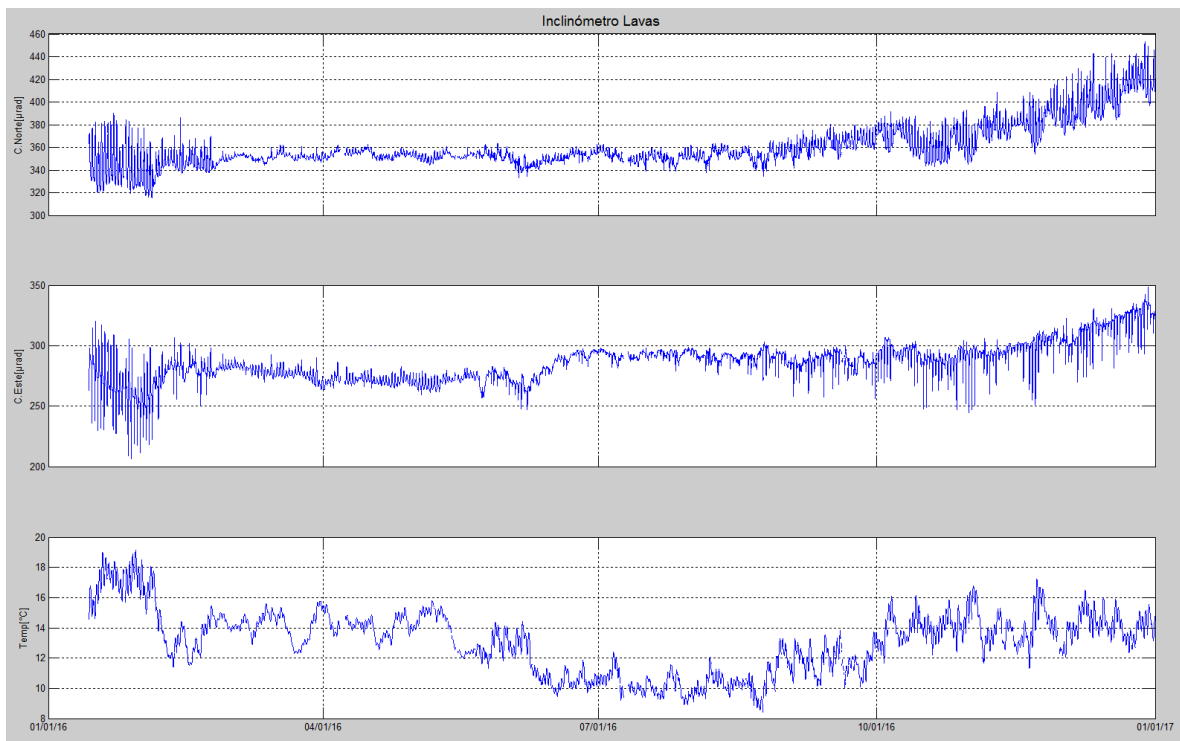


Figura 102. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

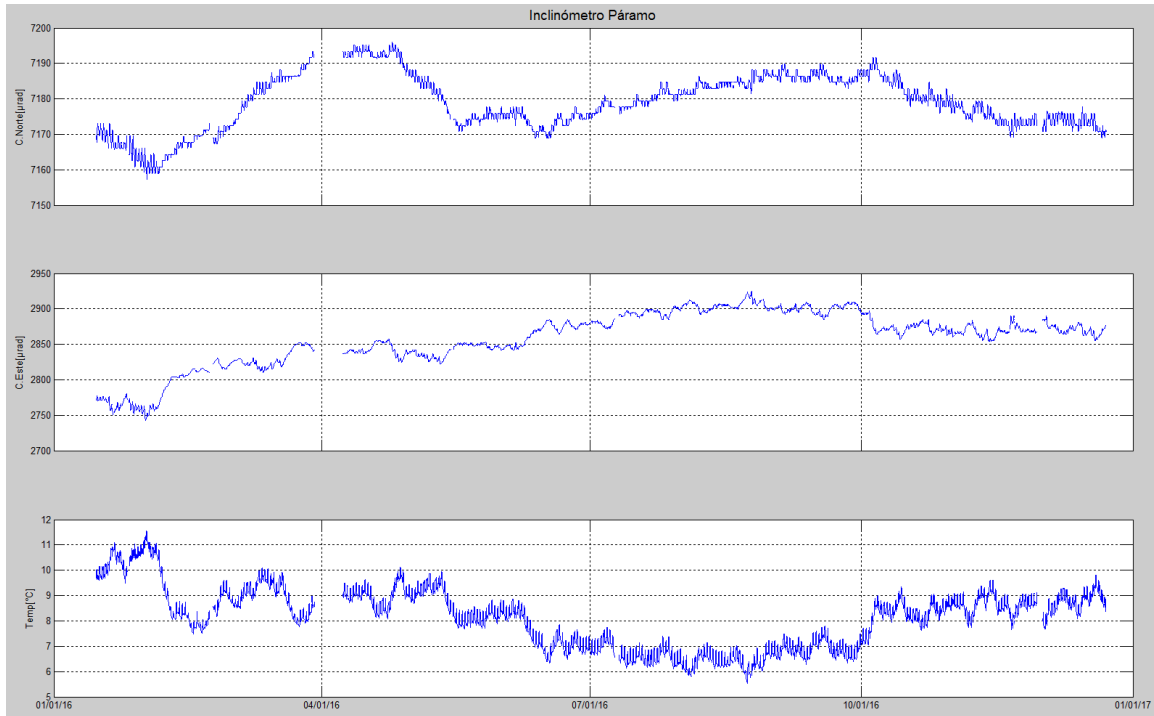


Figura 103. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

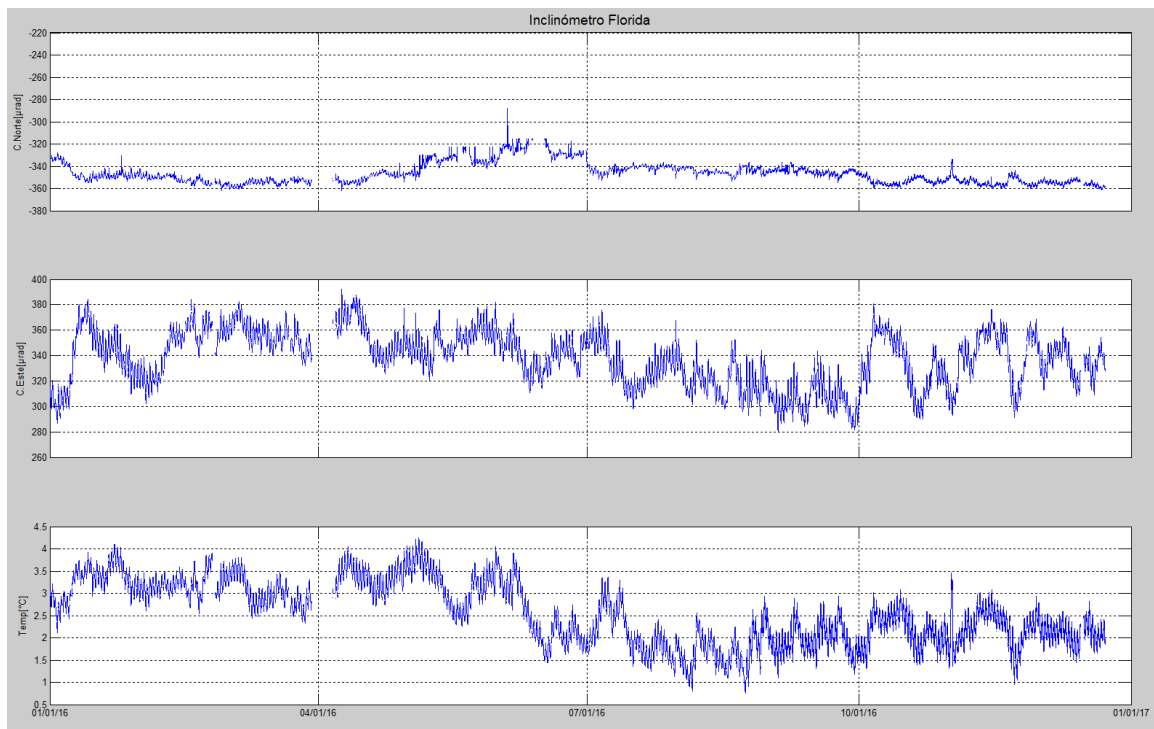


Figura 104. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.



Figura 105. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 27 de febrero y el 23 de diciembre de 2016.

4.2.4. Actividad Superficial

Durante el mes de diciembre 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 diciembre de 2016, permitieron establecer el **NIVEL VERDE** (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”.

4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

4.3.1. Red de vigilancia

La red de vigilancia sísmica del volcán Azufral está compuesta por cinco estaciones, La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con inclinómetros electrónicos y Laguna con una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial (Figura 106, Tabla 24). Se tiene una estación climatológica cerca de la estación La Roca (sensores para medir velocidad y dirección

del viento, temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica y radiación solar). También hay una estación de medición de temperatura permanente en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica (Figura 106).

De igual forma con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tienen instaladas tres estaciones GNSS permanentes, muy próximas a las estaciones La Roca, Lobo y Laguna, estos dos últimos GNSS instalados hacia finales de mayo de 2016, así mismo se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por cuatro bases y 12 prismas reflectores (Figura 107).

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

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 94% para este mes (Figura 108).

Tabla 24. Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del 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

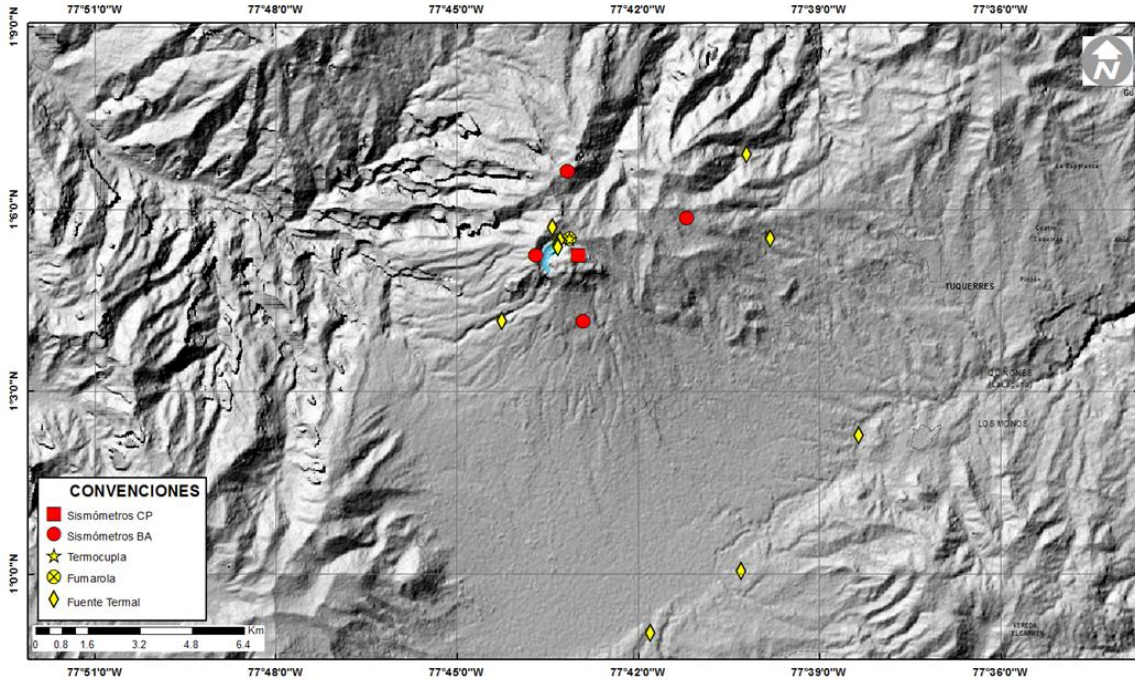


Figura 106. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2016.

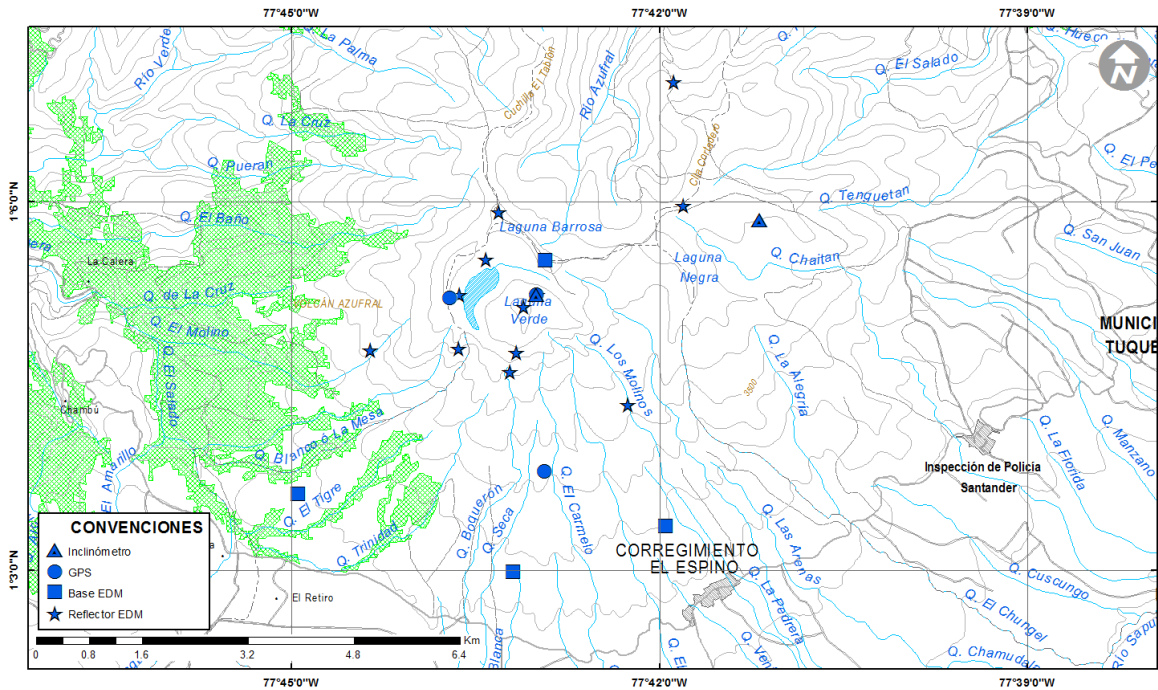


Figura 107. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación del Volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2016.

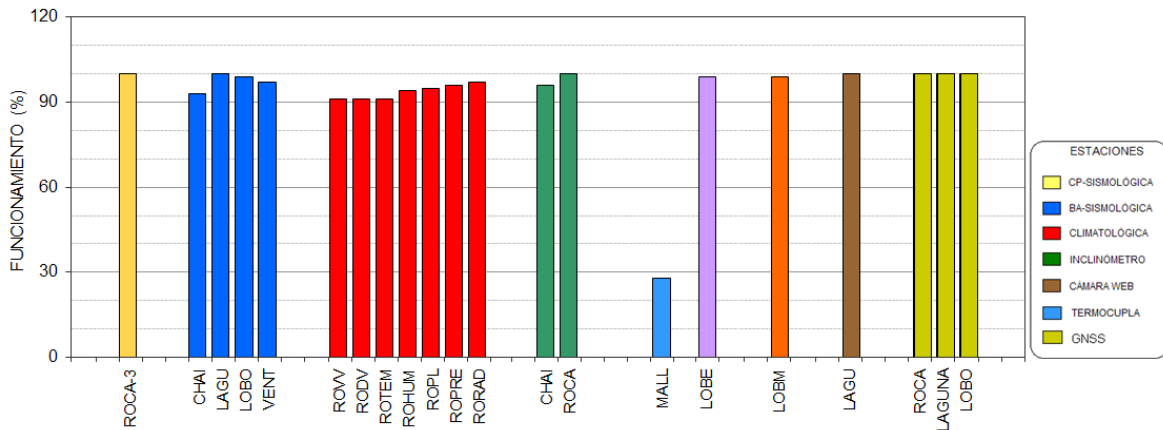


Figura 108. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2016.

4.3.2. Sismología

La ocurrencia sísmica en Azufral mostró estabilidad en comparación con el mes anterior, pasando de 15 a 16 sismos, en su mayoría eventos asociados con fractura de roca (VT) Tabla 25, Figura 109. De los cuales fue posible obtener una solución de localización para 8 de ellos, 2 se ubicaron muy próximos a la laguna cratérica y los otros 6 de manera dispersa, los más próximos presentaron profundidades entre 2.6 y 2.9 km y los más dispersos hasta los 9.5 km. La magnitud local fluctuó entre 0 y 1.9 en la escala de Richter (Figura 110), el 50% presentó magnitud menor a 1. La energía liberada por los sismos localizados fue de 3.22×10^{13} ergios (Figura 111).

Tabla 25. Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre septiembre y diciembre de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo		
	vt	hyb	TOTAL
01-sep-16 a 30-sep-16	5	0	5
01-oct-16 a 31-oct-16	49	0	49
01-nov-16 a 30-nov-16	15	0	15
01-dic-16 a 31-dic-16	15	1	16

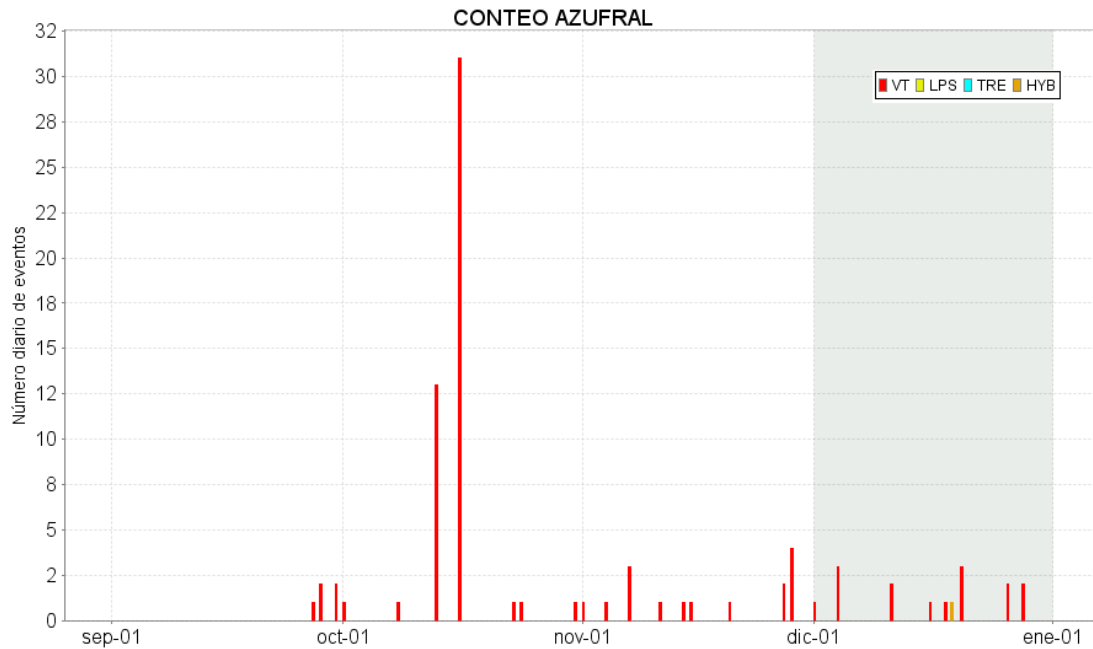


Figura 109. Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre septiembre y diciembre de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.

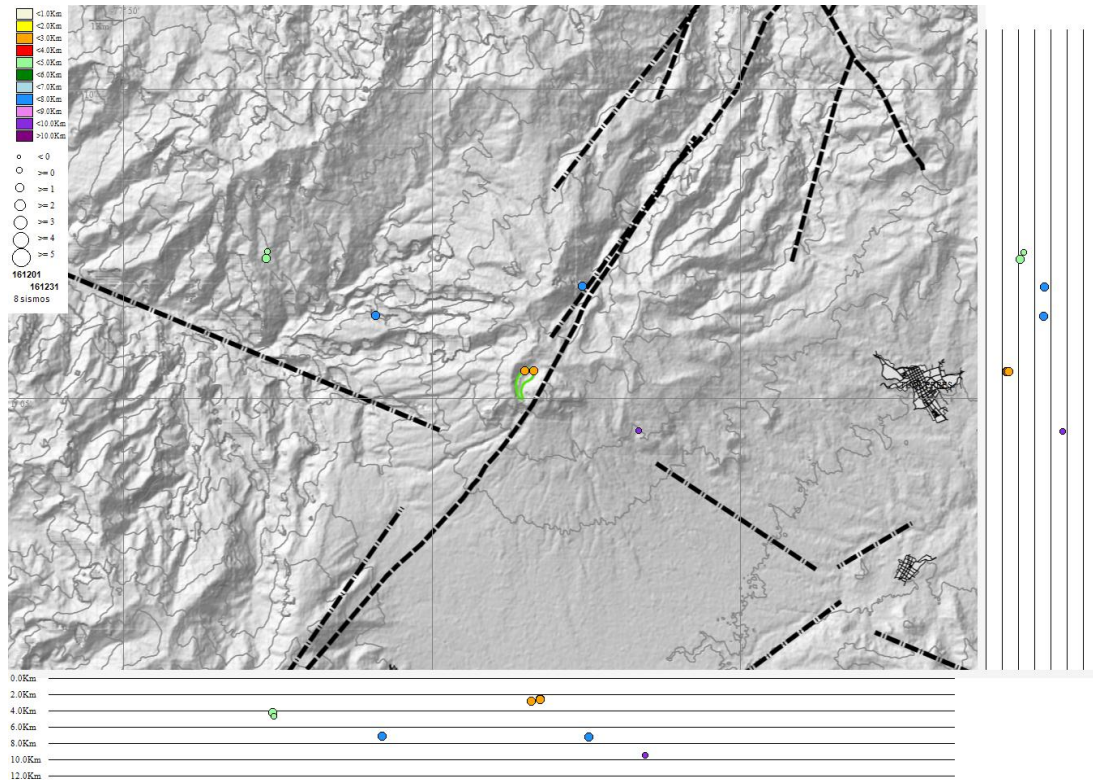


Figura 110. Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en diciembre de 2016 en el volcán Azufral. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.

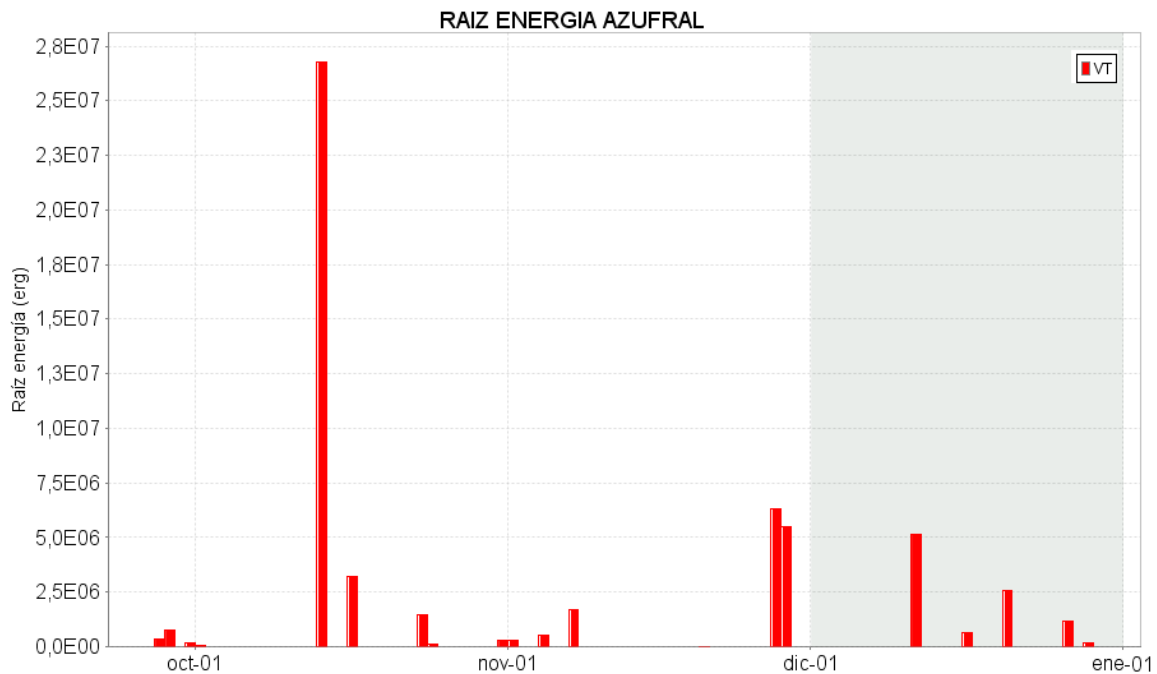


Figura 111. Energía diaria estimada con la magnitud local de los sismos VT ocurridos en Azufral entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

4.3.3. Deformación Volcánica

4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Respecto a los procesos deformativos en superficie del edificio volcánico de Azufral, desde el 9 de noviembre se evidencia una tendencia estable en la componente Este del inclinómetro Chaitán, de igual forma se observa estabilidad en la Norte desde el 25 de Noviembre de 2016 (Figura 112). Así mismo se presenta estabilidad en el registro de la componente Norte del inclinómetro La Roca y desde el 21 de noviembre, en la Este (Figura 113).

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

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

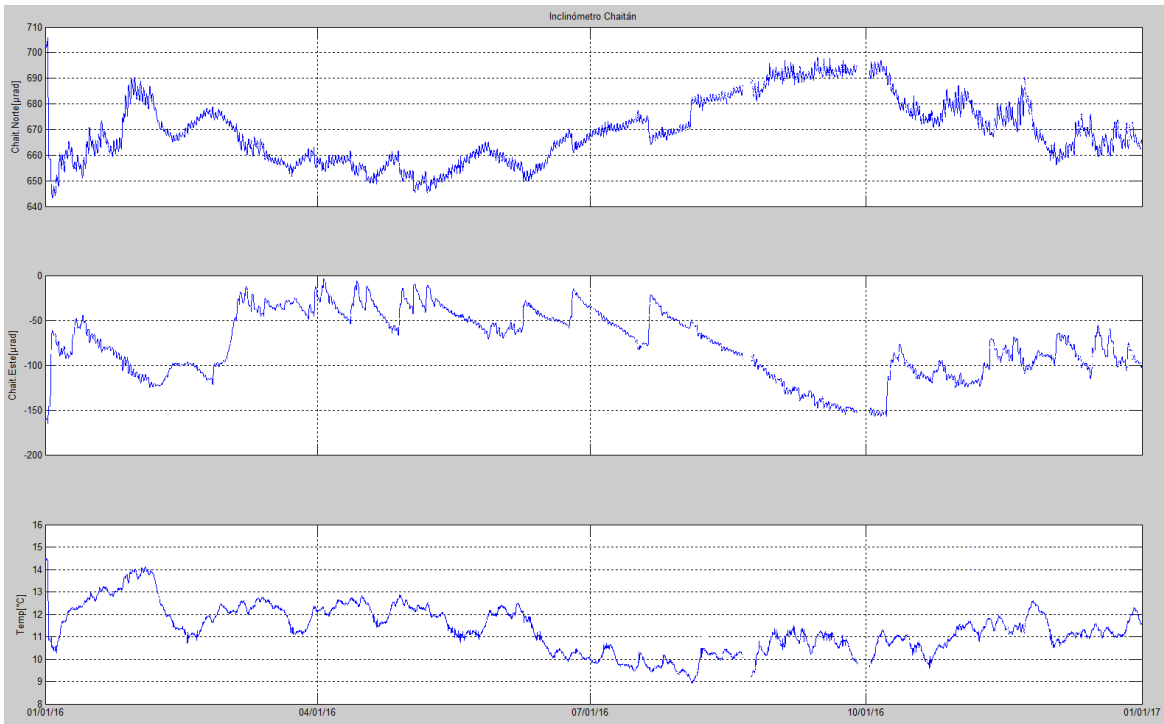


Figura 112. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

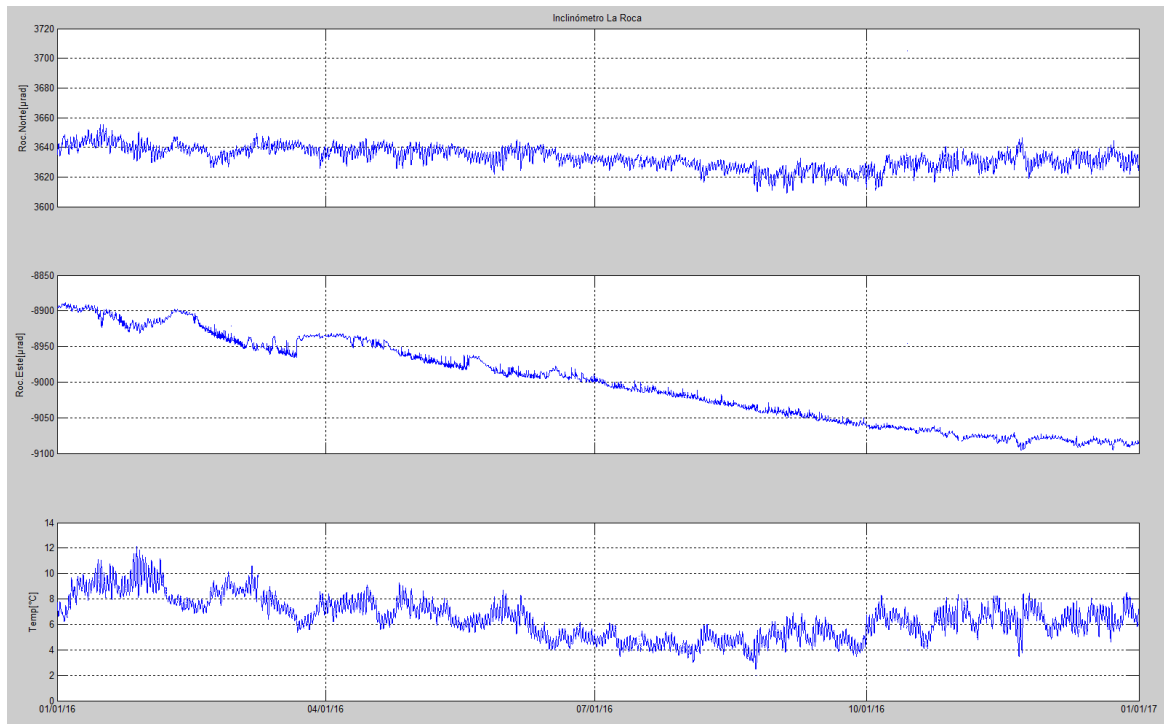


Figura 113. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2016.

4.3.3.3. Estaciones GNSS Permanentes

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las Figuras 114, 115 y 116 se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y altura de los GNSS La Roca, Laguna y Lobo instalados en Azufral.

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

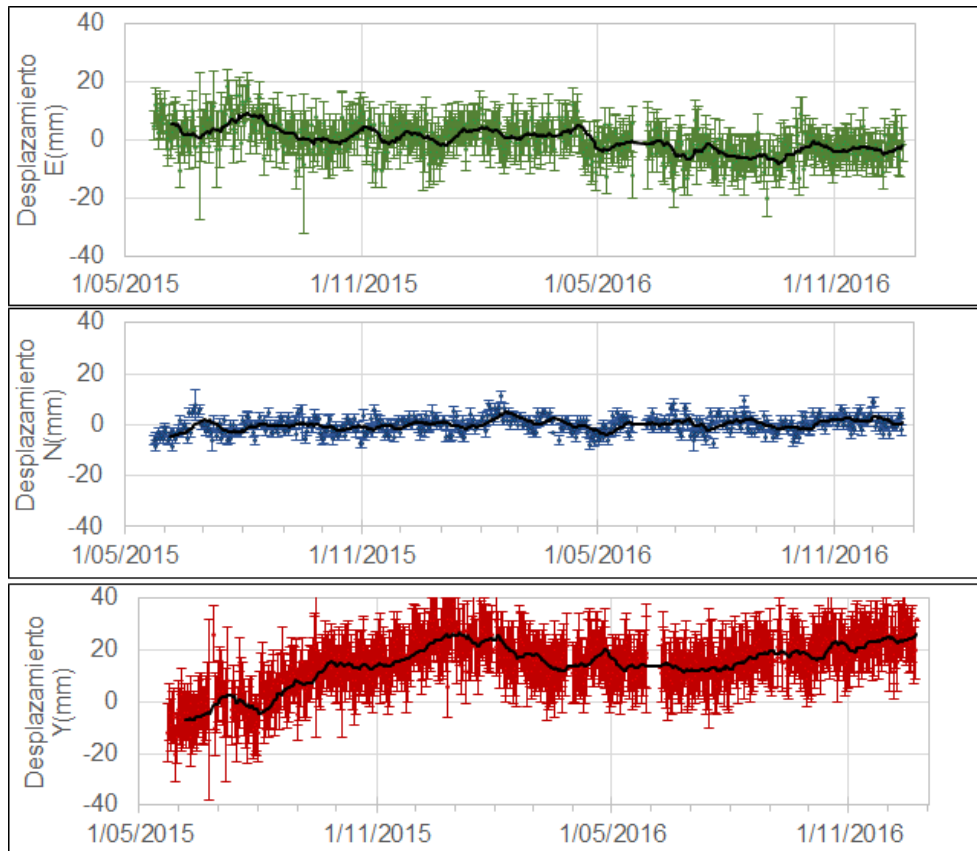


Figura 114. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 23 de diciembre de 2016.

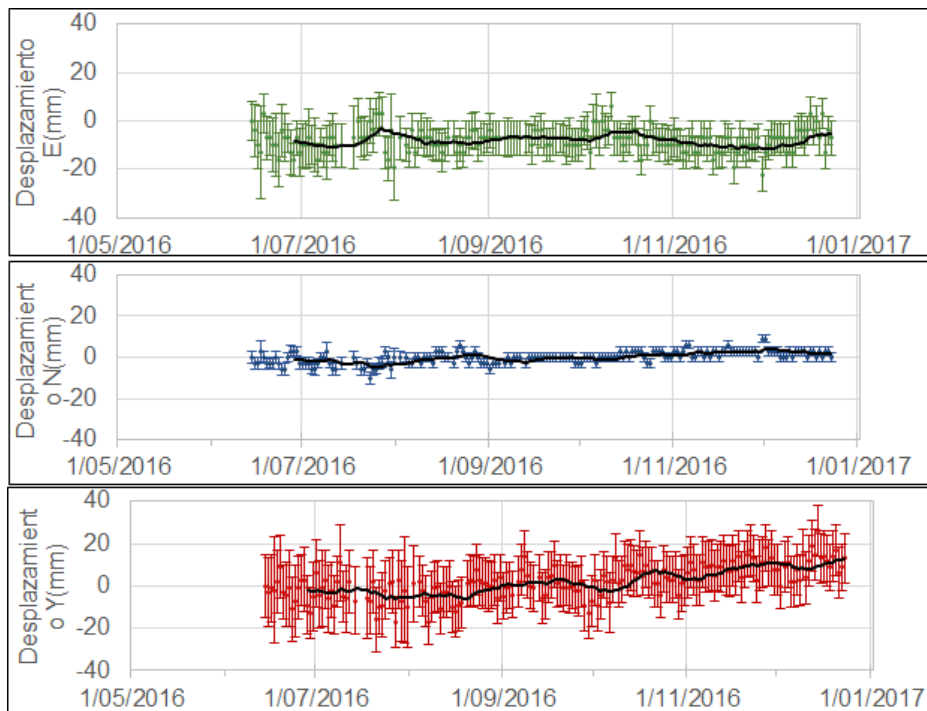


Figura 115. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Laguna instalada en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 14 de junio de 2016 y el 23 de diciembre de 2016.

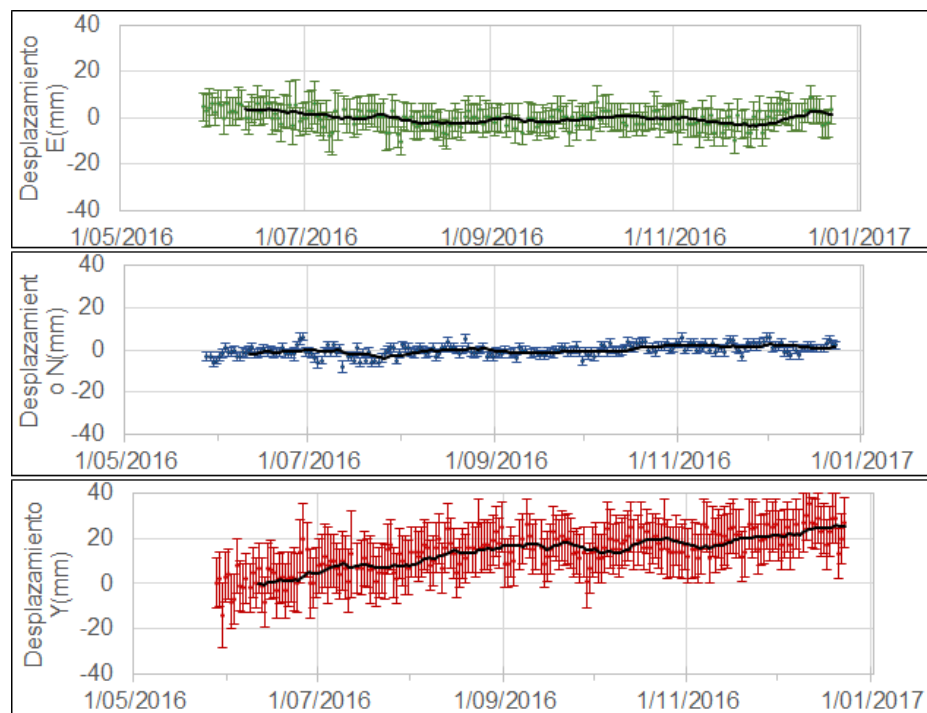


Figura 116. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalada en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 23 de diciembre de 2016.

4.3.4. GEOQUÍMICA

4.3.4.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Mallama

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

En la Figura 117 se registran las variaciones que corresponden a variaciones día-noche. Durante el mes de diciembre se registró un valor máximo de 88.8°C (Tabla 26), continúan presentándose los valores de manera aleatoria, tal y como se evidencia en la gráfica a partir del mes de agosto de 2016.

El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continuará con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.

En la Figura 117 se encuentra la gráfica de la variación de temperatura con respecto al tiempo registrado por la estación térmica Mallama, desde el mes de junio de 2016 hasta el 31 de diciembre de 2016.

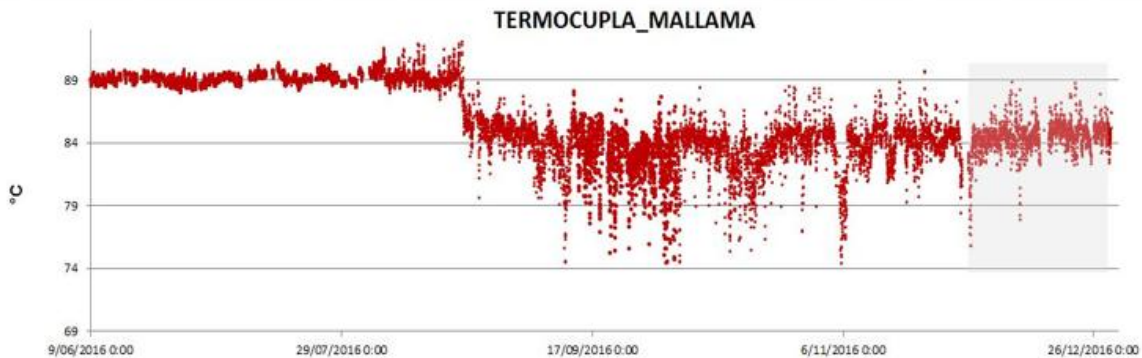


Figura 117. Temperatura estación Térmica domo Mallama – Junio a Diciembre de 2016.

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

TEMPERATURA	[°C]
Promedio	84.5
Máximo	88.8
Mínimo	75.8

4.3.5. Electromagnetismo

El sensor magnético de la estación de Lobo, ubicado en el sector oriental del volcán mostro, para el mes de diciembre de 2016, variaciones asociadas principalmente con los efectos día-noche (Figura 118), haciendo evidente la influencia de la actividad del Campo Magnético Terrestre, de acuerdo con la comparación realizada con los registros de la estación magnética de Kourou (Figura 44). El rango de variación del campo magnético total, en la estación Lobo fue de alrededor de 75 nT, con un valor promedio del campo de alrededor de 25.455 nT.

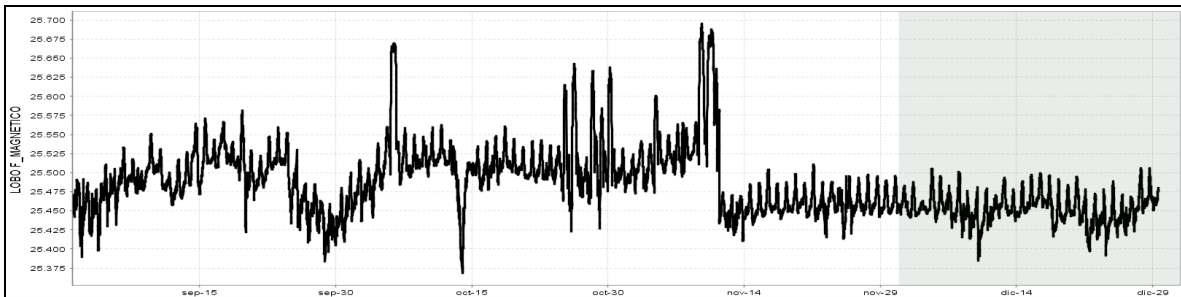


Figura 118. Intensidad del Campo Magnético Total, de la estación de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Azufral, Lobo, para el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2016.

El campo eléctrico horizontal de los sensores eléctricos de la estación Lobo, desde octubre de 2016 ha venido mostrando un comportamiento relativamente estable, con un rango de variación de 24 mV, que se considera como bajo, para una zona volcánica activa, y un valor promedio de campo de 225 mV (Figura 119).

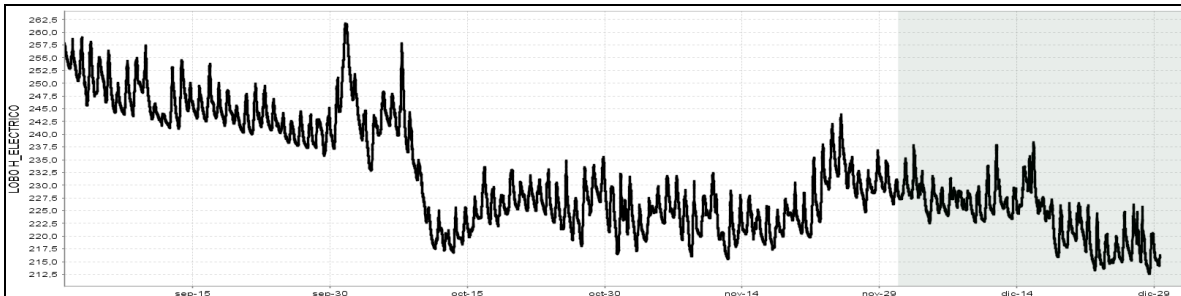


Figura 119. Variación la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Lobo, pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.

4.3.6. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables para la mayor parte del tiempo evaluado, excepto para los días 1, 4 y 31 de diciembre, permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco, de baja altura, provenientes principalmente de las fumarolas del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde.

En las Figuras 120 a 124 se presentan algunas imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en Azufral.



Figura 120. Emisión de gases del domo Mallama, 9 de diciembre de 2016 a las 6:35 a.m.

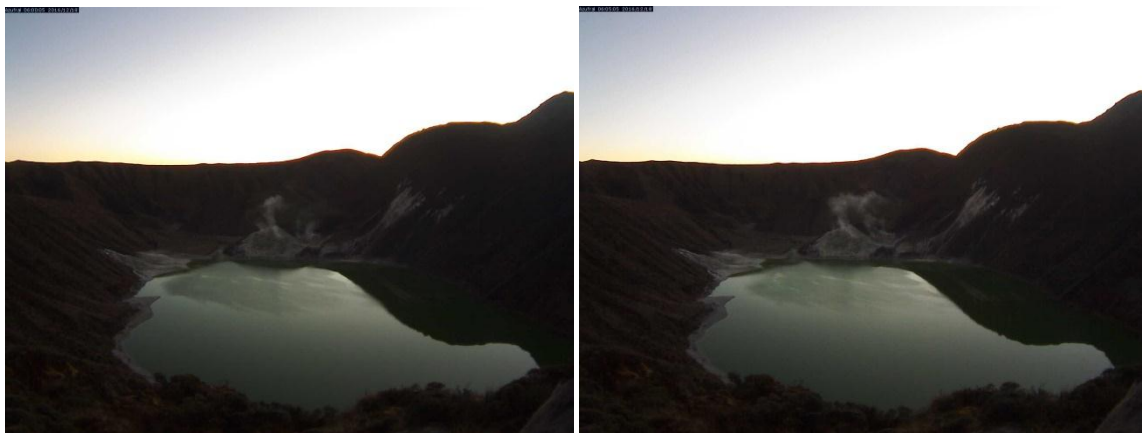


Figura 121. Imágenes de la emisión de gases del domo Mallama, 18 de diciembre de 2016 a las 6:00 a.m., (izquierda) y 6:05 a.m., (derecha).



Figura 122. Emisión de gases del domo Mallama, 20 de diciembre de 2016 a las 6:21 a.m.



Figura 123. Emisión de gases del domo Mallama, 23 de diciembre de 2016 a las 7:30 a.m.



Figura 124. Emisión de gases del domo Mallama, 20 de diciembre de 2016 a las 7:50 a.m.

4.3.7. Conclusiones

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