

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	Jul/2016
Título		INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, CHILES, CERRO NEGRO, LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL. JUNIO 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, Azufra, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Se utilizan gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones específicas donde el conjunto de datos ha sido o se está utilizando. Incluye opcionalmente lista de anexos, fuentes y documentos relacionados con el conjunto de datos.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales (Investigación, plan, programa, proyecto).	Proyecto
Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	Inventario y Monitoreo de Geoamenazas y procesos en las capas superficiales de la tierra - Investigación y monitoreo de la actividad volcánica – AME13-06.
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos.	Junio de 2016.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km ²	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia del Volcán Chiles. Zona de influencia del Volcán Cerro Negro. Zona de influencia del Volcán Las Ánimas. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufra.
Coordenadas /limites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptores		
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptores 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 Azufra.
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\jun
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido,	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y

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



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

Edición:

DARÍO FERNANDO ARCOS GUERRERO

San Juan de Pasto, julio de 2016

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – JUNIO DE 2016	4
1.1. RED DE VIGILANCIA	4
1.2. SISMOLOGÍA	9
1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	13
1.3.1. Inclínometría Electrónica	13
1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	18
1.4. GEOQUÍMICA	22
1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO ₂	22
1.4.2. Mediciones de gas Radón – Rn ₂₂₂	24
1.5. ELECTROMAGNETISMO	26
1.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	28
1.7. CONCLUSIONES	30
2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – JUNIO DE 2016	30
2.1. RED DE VIGILANCIA	30
2.2. SISMOLOGÍA	32
2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	36
2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	39
2.5. CONCLUSIONES	39
3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – JUNIO DE 2016	40
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	40
3.2. RED DE VIGILANCIA	40
3.3. SISMOLOGÍA	43
3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	47
3.5. GEOQUÍMICA	50
3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	50
3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	51
3.7. CONCLUSIONES	51
4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – JUNIO DE 2016	51
4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS	52
4.1.1. Ubicación Geográfica	52
4.1.2. Red de vigilancia	53
4.1.3. Sismología	55
4.1.4. Deformación Volcánica	55
4.1.4.1. Inclínometría Electrónica	55
4.1.4.2. Estaciones GNSS Permanentes	55
4.1.5. Actividad Superficial	57
4.1.6. Conclusiones	57
4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA	58
4.2.1. Red de vigilancia	58
4.2.2. Sismología	59
4.2.3. Deformación Volcánica	60
4.2.3.1. Inclínometría Electrónica	60
4.2.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	60
4.2.4. Actividad Superficial	63

4.2.5.	Conclusiones	63
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL	64
4.3.1.	Red de vigilancia	64
4.3.2.	Sismología	66
4.3.3.	Deformación Volcánica	69
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	69
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias – E:D:M.	69
4.3.3.3.	Estaciones GNSS Permanentes	70
4.3.4.	GEOQUÍMICA	71
4.3.3.1.	Registro de temperatura – Estación Térmica Mallama	71
4.3.5.	Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos	72
4.3.6.	Conclusiones	74

TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de junio de 2016.	5
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de junio de 2016.	6
Tabla 3.	Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de junio 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 marzo y junio de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	9
Tabla 8.	Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre enero y abril de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	10
Tabla 9.	Emisiones de SO ₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de junio de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	23
Tabla 10.	Valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – mes de junio 2016.	24
Tabla 11.	Valores de concentración de flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – Junio de 2016.	25
Tabla 12.	Valores de concentración de flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Los Lirios – Junio de 2016.	25
Tabla 13.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de junio de 2016.	31
Tabla 14.	Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	32
Tabla 15.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de junio de 2016.	41
Tabla 16.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	42

Tabla 17.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre marzo y junio de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	44
Tabla 18.	Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre marzo y junio de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	47
Tabla 19.	Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – junio de 2016.	50
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de junio de 2016.	53
Tabla 21.	Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.	58
Tabla 22.	Estaciones telemétricas (sísmicas, inclinómetros electrónicos, climatológica, webcam) instaladas en el volcán Azufral.	64
Tabla 23.	Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre marzo y junio de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	66
Tabla 24.	Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre marzo y junio de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	67
Tabla 25.	Valores de temperatura en domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – junio de 2016.	72

FIGURAS

Figura 1	Mapa de localización de las estaciones sísmicas y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de junio de 2016.	Pág. 6
Figura 2	Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros, GNSS y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de junio de 2016.	7
Figura 3	Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO ₂ , fuentes termales y radón telemetrado que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de junio de 2016.	8
Figura 4	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de junio de 2016, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.	8
Figura 5	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre marzo y junio 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 junio (barras de la derecha) respecto al mes de mayo (barras de la izquierda).	10
Figura 7	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de mayo y junio 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 marzo y el 30 de junio de 2016.	11
Figura 9	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para junio de 2016 (barras de la derecha) respecto a mayo de 2016 (barras de la izquierda).	11
Figura 10	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para mayo y junio de 2016.	12
Figura 11	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de junio de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2.0 km de profundidad.	12
Figura 12	Localización epicentral (figura cruz) del sismo registrado el 28 de junio de 2016, a las 11:32 p.m., reportado como sentido por algunos pobladores del Municipio de La Florida (N).	13

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 30 de junio de 2016.	14
Figura 14	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 30 de junio de 2016.	14
Figura 15	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 30 de junio de 2016.	15
Figura 16	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 30 de junio de 2016.	15
Figura 17	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 30 de junio de 2016.	16
Figura 18	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 30 de junio de 2016.	16
Figura 19	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 30 de junio de 2016.	17
Figura 20	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 30 de junio de 2016.	17
Figura 21	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 17 de junio de 2016.	18
Figura 22	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de mayo de 2014 y el 17 de junio de 2016.	19
Figura 23	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 17 de junio de 2016.	19
Figura 24	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 17 de junio de 2016.	20
Figura 25	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 15 de mayo de 2014 y el 17 de junio de 2016.	20
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 31 de octubre de 2012 y el 17 de junio de 2016.	21
Figura 27	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 16 de enero de 2013 y el 17 de junio de 2016.	21
Figura 28	Flujo de emisión de SO_2 registrado desde el 1 de abril de 2016 hasta el 30 de junio de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	22
Figura 29	Flujo de emisión de SO_2 , dirección y velocidad del viento para el mes de junio de 2016.	23
Figura 30	Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica LAVAS – Junio de 2016.	24
Figura 31	Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica PARQUES – Junio de 2016.	25
Figura 32	Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica Los Lirios – Junio de 2016.	25

Figura 33	Campo magnético total (F), registrado en las estación Barranco (arriba) y Cráter (abajo), perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de marzo y junio de 2016. La zona sombreada corresponde al mes evaluado, junio de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	26
Figura 34	Intensidad del campo magnético Terrestre total (F), del campo magnético Terrestre, registrados en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de junio de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	27
Figura 35	Variaciones la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Barranco, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre abril y junio de 2016). La escala de medición del campo eléctrico está en mili voltios por metro y el pluviómetro en cuentas.	27
Figura 36	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 1 de junio de 2016, en horas de la mañana, capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.	28
Figura 37	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 4 de junio de 2016, en horas de la mañana 6:35 a.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.	28
Figura 38	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 5 de junio de 2016, en horas de la mañana 9:00 a.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Consacá.	29
Figura 39	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 7 de junio de 2016, en horas de la mañana y tarde 6:15 a.m. y 5:40 p.m., capturadas desde la cámara de Barranco.	29
Figura 40	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 9 de junio de 2016, en horas de la tarde 2:01 p.m. y 4:12 p.m., capturadas desde la cámara de Barranco.	29
Figura 41	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 19 de junio de 2016, en horas de la tarde 6:08 p.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.	30
Figura 42	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de junio de 2016.	31
Figura 43	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de junio de 2016.	32
Figura 44	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre marzo y junio de 2016.	33
Figura 45	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de junio de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de mayo de 2016 (barras de la izquierda).	33
Figura 46	Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para mayo y junio de 2016.	34
Figura 47	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Cumbal entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	34
Figura 48	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 30 de junio 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).	35
Figura 49	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 6 de junio de 2016, a las 12:12 p.m., registrando 34 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.12 Hz y subdominante de 3.98 Hz.	35
Figura 50	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 25 de junio de 2016, a las 10:38 p.m., registrando 25 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.76 Hz y subdominante de 5.61 Hz.	36
Figura 51	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de junio de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de junio de 2016.	36

Figura 52	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 30 de junio de 2016.	37
Figura 53	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de junio de 2016.	38
Figura 54	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de junio de 2016.	38
Figura 55	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de junio de 2016.	39
Figura 56	Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	40
Figura 57	Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de junio de 2016.	41
Figura 58	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 junio de 2016.	43
Figura 59	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 junio 30 de 2016.	44
Figura 60	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 marzo y junio de 2016.	45
Figura 61	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de junio de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de mayo de 2016 (barras de la izquierda).	45
Figura 62	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en junio de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	46
Figura 63	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	47
Figura 64	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 30 de junio de 2016.	48
Figura 65	Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio de 2014 y el 30 de junio de 2016.	49
Figura 66	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 30 de junio de 2016.	49
Figura 67	Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – junio de 2016.	50
Figura 68	Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.	52
Figura 69	Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	53
Figura 70	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de junio de 2016.	54

Figura 71	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante junio de 2016.	54
Figura 72	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 30 de junio de 2016.	56
Figura 73	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 30 de junio de 2016.	56
Figura 74	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 1 de enero de 2016 y el 17 de junio de 2016.	57
Figura 75	Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	58
Figura 76	Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en junio de 2016.	59
Figura 77	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de marzo y junio de 2016.	59
Figura 78	Localización epicentral e hipocentral del sismo registrado en el volcán Doña Juana, en el mes de junio de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 1 km de profundidad.	60
Figura 79	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 30 de junio de 2016.	61
Figura 80	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 30 de junio de 2016.	62
Figura 81	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de junio de 2016.	62
Figura 82	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 17 de junio de 2016.	63
Figura 83	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de junio de 2016.	65
Figura 84	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de junio de 2016.	65
Figura 85	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de junio de 2016.	66
Figura 86	Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre marzo y junio de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.	67
Figura 87	Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en junio de 2016 en el volcán Azufral. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.	68
Figura 88	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Azufral entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	68
Figura 89	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 30 de junio de 2016.	69
Figura 90	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 30 de junio de 2016.	70

Figura 91	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 23 de mayo de 2015 y el 17 de junio de 2016.	71
Figura 92	Temperatura estación Térmica domo Mallama – Junio de 2016.	72
Figura 93	Emisión de gases del domo Mallama, 9 de junio de 2016 a las 4:55 p.m.	73
Figura 94	Emisión de gases del domo Mallama, 19 de junio de 2016 a las 3:06 p.m.	73

INTRODUCCIÓN

A lo largo del mes de junio 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 junio 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 junio de 2016, la actividad sísmica de Galeras fue dominada por eventos relacionados con fracturamiento de roca (VT). En comparación con el mes anterior, para este periodo se observó un descenso en la ocurrencia de los sismos y un incremento en la energía liberada; el mayor aporte en energía provino de los eventos clasificados como VT con el 99% del total. Los eventos no clasificables (sismos que no alcanzan el umbral de amplitud y duración para su clasificación en una estación de referencia) mostraron descenso cercano al 51% en comparación con el mes anterior.

La mayoría de los sismos localizados se ubicaron en dirección occidente del cráter volcánico, cuyas profundidades estuvieron entre 2 y los 4 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes locales menores a 2.6 en la escala de Richter, los más próximos al cráter mostraron magnitudes menores a 1. Se resalta el sismo registrado el 28 de junio a las 11:32 p.m., el cual presentó la magnitud de 2.6 y fue reportado como sentido por algunos habitantes del Municipio de La Florida (N).

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, cinco 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 22 mediciones de emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2) a la atmósfera, con valores entre bajos, moderados y altos para Galeras. El valor máximo de flujo de SO_2 del periodo evaluado, fue de 1700 Tn/día, registrado el 25 de junio de 2016.

Tomando la información que aportan las imágenes capturadas del cono activo, fue posible evidenciar la mayor parte del tiempo evaluado emisiones de gases (excepto los días 6, 12, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29 y 30 de junio), en su mayoría de color blanco y baja altura. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos.

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

De acuerdo al monitoreo sísmico registrado por las estaciones instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado se observó que la mayor parte de eventos se asocian con movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico. En relación con el mes anterior, se observó un descenso del 25% en la ocurrencia diaria de sismicidad. En este mes se tuvo registro de dos eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, cuyas frecuencias dominantes fueron de 2.1 y 2.8 Hz. En su mayoría la sismicidad de fractura se localizó en inmediaciones del cono volcánico de Cumbal y a profundidades superficiales, cuyas magnitudes fueron menores a 1.1 en la escala de Richter, cerca del 98% inferior a 1.

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

Haciendo referencia a los volcanes Chiles y Cerro Negro, se observó descenso en la ocurrencia diaria de eventos, la mayoría de los eventos localizados se ubicaron principalmente hacia el sector suroccidental del edificio volcánico de Chiles, con algunos en inmediaciones de su cima, con magnitudes menores a 1.5 en la escala de Richter y mayor concentración a profundidades entre 0.8 y 5 km. De igual forma para el mes evaluado se tiene la presencia de eventos que por sus características indican movimiento de fluidos de tipo magmático. En los últimos meses se nota una clara tendencia descendente de la sismicidad con algunas fluctuaciones en la ocurrencia diaria. La temperatura en la fuente termal Baño Grande, mostró un máximo de 43.9 °C y un mínimo de 42.2 °C.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de junio 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 no se tiene registro de actividad sísmica. En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado se tiene registro de un evento clasificado de fractura de material rocoso, el cual se ubicó al occidente del volcán, con una magnitud local de -0.2 en la escala de Richter.

En relación al volcán Azufral, predominaron los sismos clasificados como VT, y en comparación con el mes anterior, la sismicidad del volcán presentó descenso en ocurrencia, totalizando 4 eventos, los cuales se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, con magnitudes menores a 1.9 en la escala de Richter.

Para el periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases para los días 9, 14 y 19 de junio, 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 – JUNIO DE 2016

1.1. RED DE VIGILANCIA

Se resalta que desde el 9 de junio se adiciono una estación más a la red de monitoreo, estación permanente ubicada hacia el sector oriental del edificio volcánico dispuesta para el seguimiento de emanaciones de gas radón desde la tierra a la atmosfera, y es así como, para el periodo evaluado, la red de monitoreo del volcán Galeras, estuvo conformada por:

- Catorce estaciones sísmicas telemétricas: cuatro de corto periodo triaxiales y diez de banda ancha triaxiales (Figura 1, Tabla 1).
- Tres sensores de presión acústicos, uno ubicado en el sector occidental, en el sitio de la estación sísmica de corto periodo Calabozo, otro ubicado en el sitio de la estación sísmica de banda ancha Cráter-2 y el último ubicado en el sitio de la estación sísmica Cóndor (Tabla 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Seis estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas alrededor del cono activo (Figura 2, Tabla 3).
- Tres estaciones con transmisión telemétrica para la detección de emisiones de dióxido de azufre (SO_2), localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 3, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de variación del campo Magnético, Cráter, Frailejón y Barranco. Adicionalmente, las estaciones EM-Frailejón y EM-Barranco cuentan con sistemas de medición de variación de campo eléctrico (Figura 3, Tabla 5).
- Cuatro cámaras de video permanentes para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, otra en el municipio de Consacá, otra instalada en el flanco norte de la cima de Galeras, en el sitio denominado Barranco Alto y la última Bruma, hacia el sector suroccidental del cono (Figura 1).
- Dos estaciones para monitoreo constante de flujos de lodos, con transmisión telemétrica, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo.
- Una estación climática, conformada con sensores para medición de velocidad y dirección del viento, pluviometría, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente. Esta estación se encuentra ubicada en el sitio de la estación sísmica Cráter-2.

- 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).
- Una estación Multigas, usada para mediciones periódicas en campo.

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

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

En el periodo evaluado, se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos a las estaciones que conforman las redes de monitoreo volcánico de Galeras; adicionalmente, se hicieron mantenimientos en las repetidoras y equipos de recepción en la sede del Observatorio. La operatividad de la red instrumental de Galeras fue cercana al 88%. 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 junio de 2016.

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

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGV	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	0.8	E	4170
Cráter-2	CRAZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.9	ENE	3800
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	2.3	ESE	3494
Cobanegra-3	COBZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	3.9	SSE	3625
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.0	NW	3450
Cóndor	CONZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	4.9	SW	3985
Obonuco	OBVR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.9	SE	3010
Nariño-2	NR2Z	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	5.0	N	2870
Calabozo	CAVZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	6.8	WSW	2353
Ingenio	INGZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.0	WNW	2907
San Felipe	SNFZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.6	SW	3491
San Juan	SJUZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	10.5	NE	2899
Morasurco	MORZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	13.7	NE	3504
Cráter Acústico	CRAC	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	1.5	S	4048
Cóndor Acústico	CONA	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	4.9	SW	3985
Calabozo Acústico	CAMI	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	6.8	WSW	2353

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

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

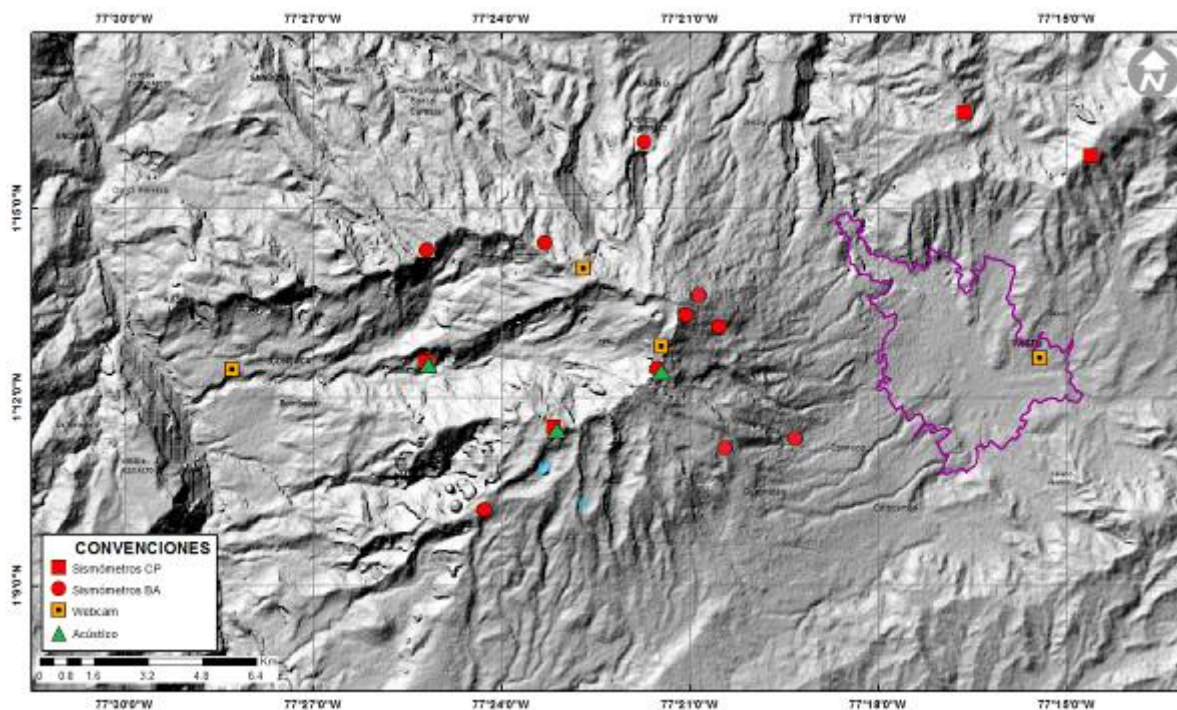


Figura 1. Mapa de localización de las estaciones sísmicas y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de junio de 2016.

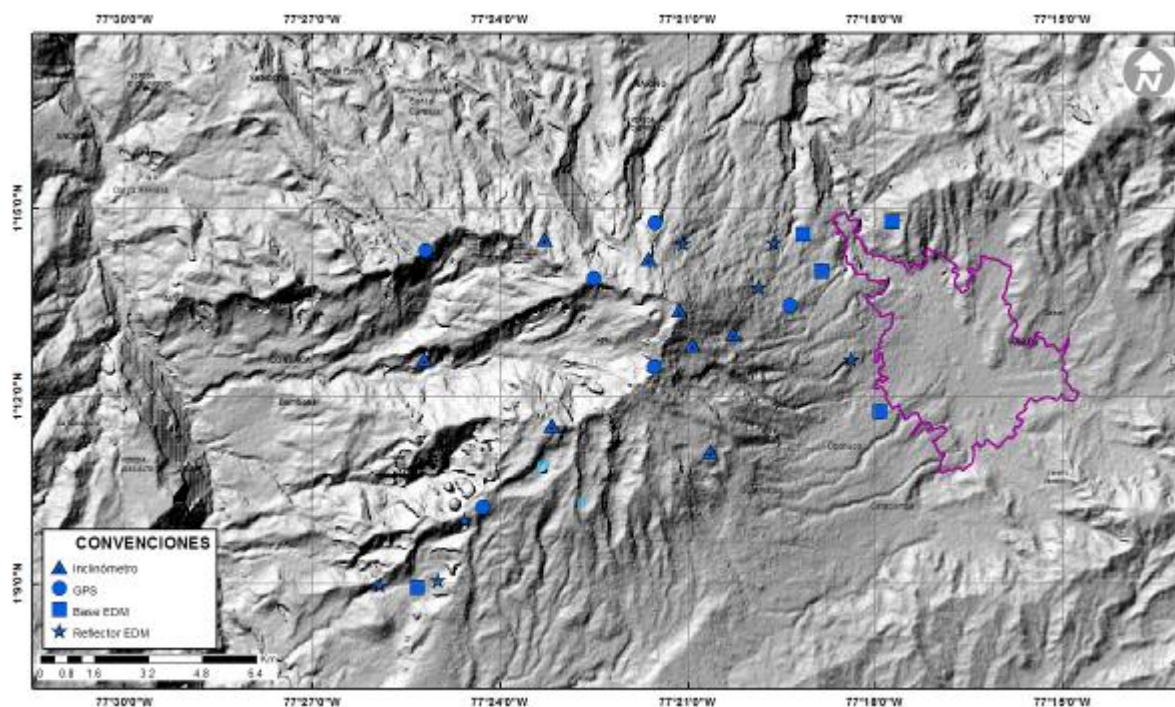


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros, GNSS y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de junio de 2016.

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

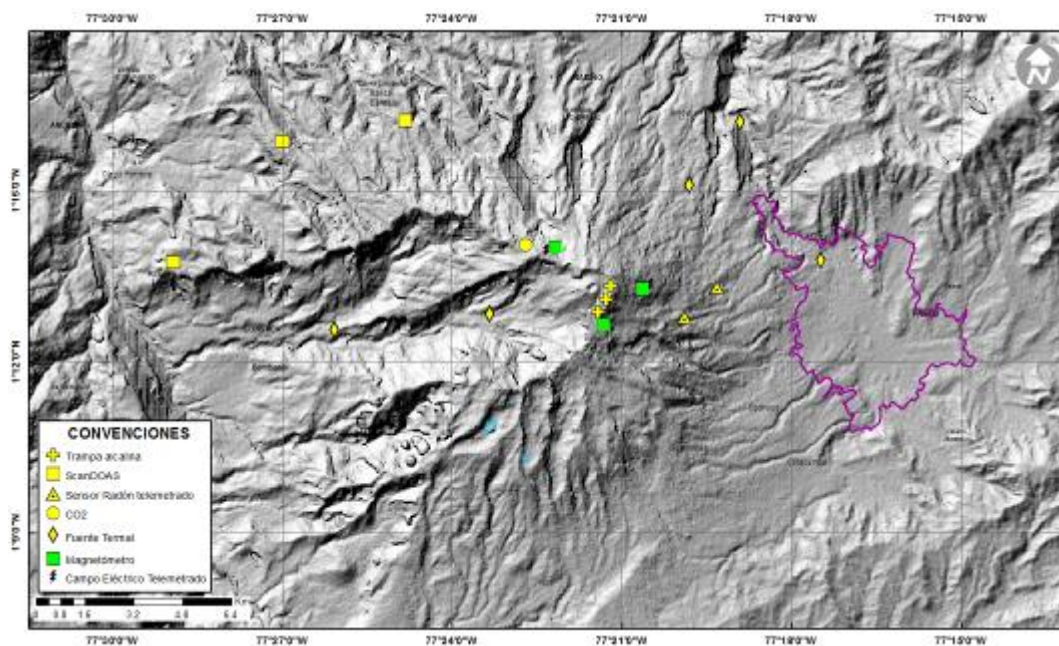


Figura 3. Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO₂, fuentes termales y radón telemetrado que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de junio de 2016.

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

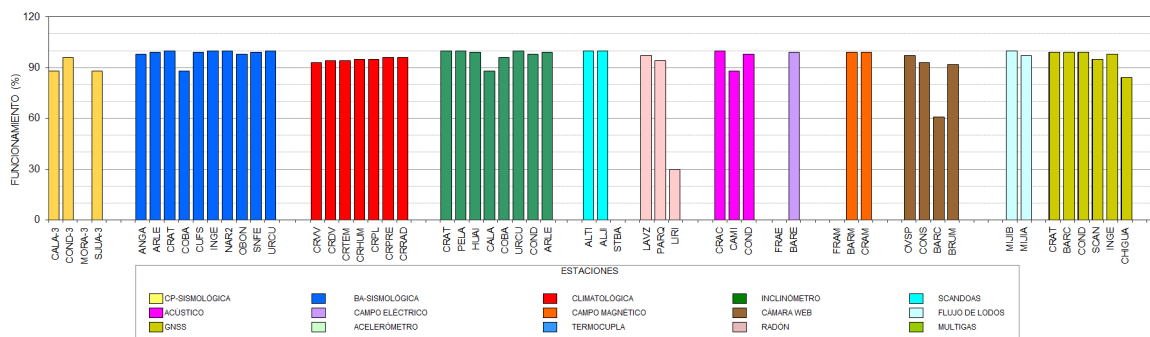


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de junio de 2016, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

1.2. SISMOLOGÍA

En el periodo evaluado la actividad sísmica dominante, estuvo asociada con eventos que involucran fracturamiento de roca (VT), seguidos por sismos caracterizados por movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria en el tiempo (LPS) y en menor cuantía por eventos relacionados con fractura y posterior movimiento de fluidos (HYB) (Tabla 7, Figura 5). En junio la sismicidad volcánica en ocurrencia mostro un descenso cercano al 38% en relación con el mes anterior, registrándose en total 80 sismos. Todos los tipos de clasificación de eventos mostraron descenso (Figura 6). De igual forma los eventos de bajo nivel energético, que no cumplen con los estándares de amplitud y duración, denominados no clasificables (NC), mostraron descenso, próximo al 51% del número presentado en el mes anterior (Tabla 7).

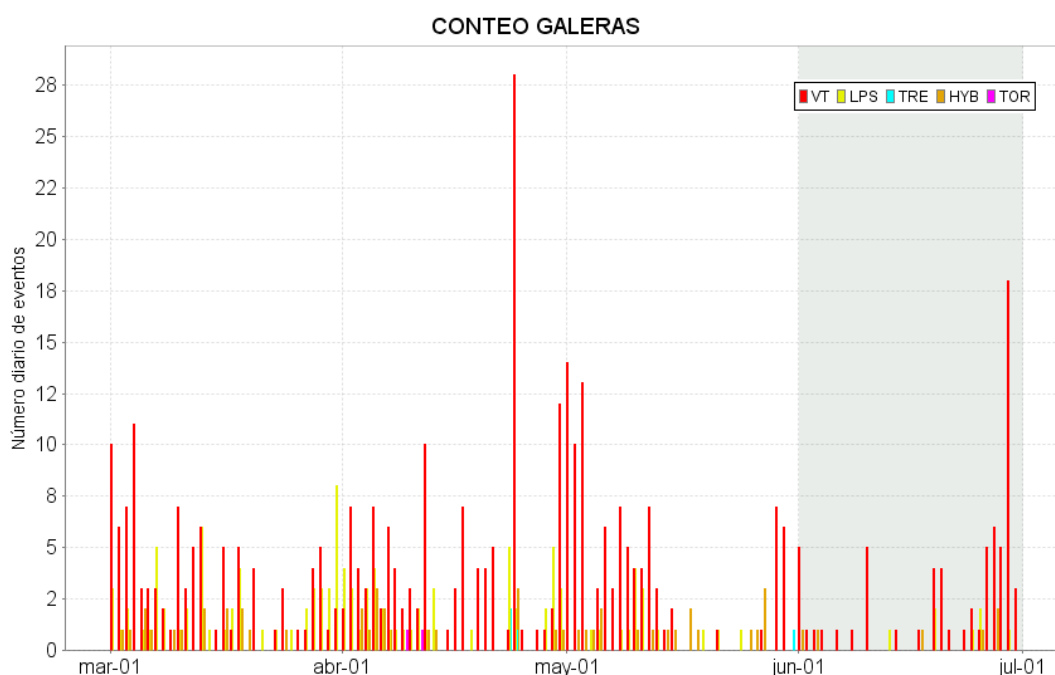


Figura 5. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre marzo y junio de 2016. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre marzo y junio 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-mar-16 a 31-mar-16	101	54	0	15	0		170	663
01-abr-16 a 30-abr-16	122	45	3	16	2		188	880
01-may-16 a 31-may-16	97	15	1	17	0		130	216
01-jun-16 a 30-jun-16	67	7	0	6	0		80	105

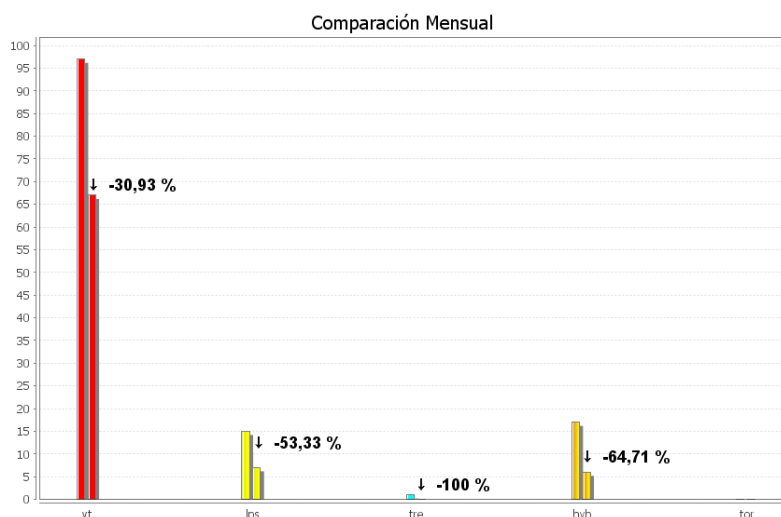


Figura 6. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de junio (barras de la derecha) respecto al mes de mayo (barras de la izquierda).

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

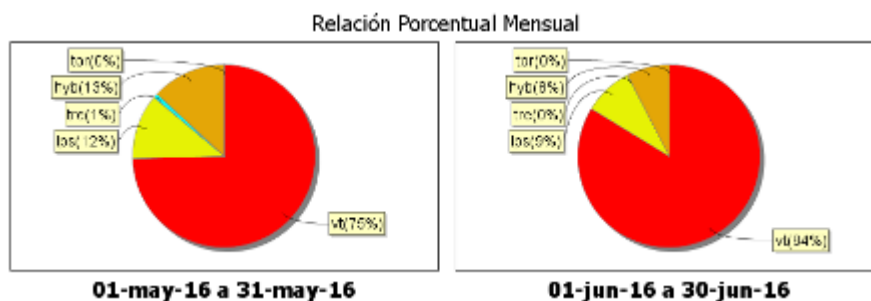


Figura 7. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de mayo y junio de 2016.

La energía sísmica liberada en junio de 2016 fue de 1.42×10^{13} ergios, observándose un incremento en comparación con el mes de mayo (Tabla 8, Figura 8). En el periodo evaluado, el mayor aporte provino de los eventos tipo VT casi con el 100% del total (Figuras 8, 9 y 10), debido principalmente al evento reportado como sentido de magnitud local 2.6.

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

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-mar-16 a 31-mar-16	4.08E+12	2.40E+12	0	2.22E+12	8.70E+12
01-abr-16 a 30-abr-16	3.37E+13	1.60E+12	1.74E+09	2.32E+11	3.56E+13
01-may-16 a 31-may-16	9.97E+11	3.24E+10	4.13E+08	7.38E+10	1.10E+12
01-jun-16 a 30-jun-16	1.42E+13	4.70E+09	0	5.05E+09	1.42E+13

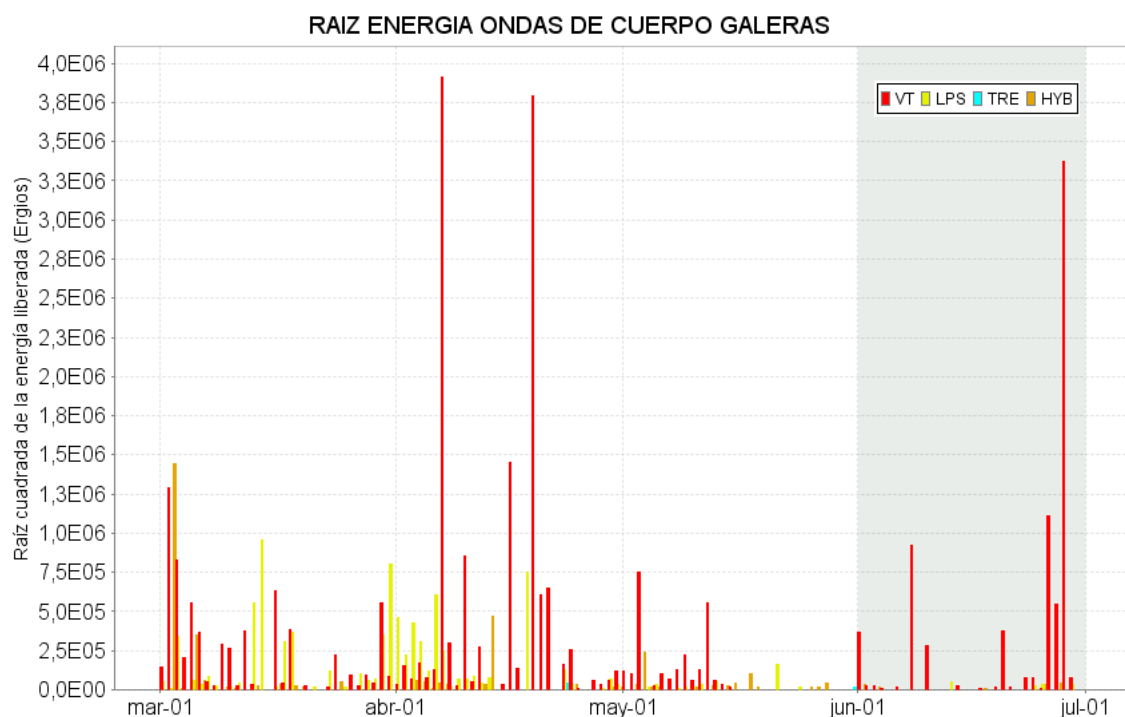


Figura 8. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016.

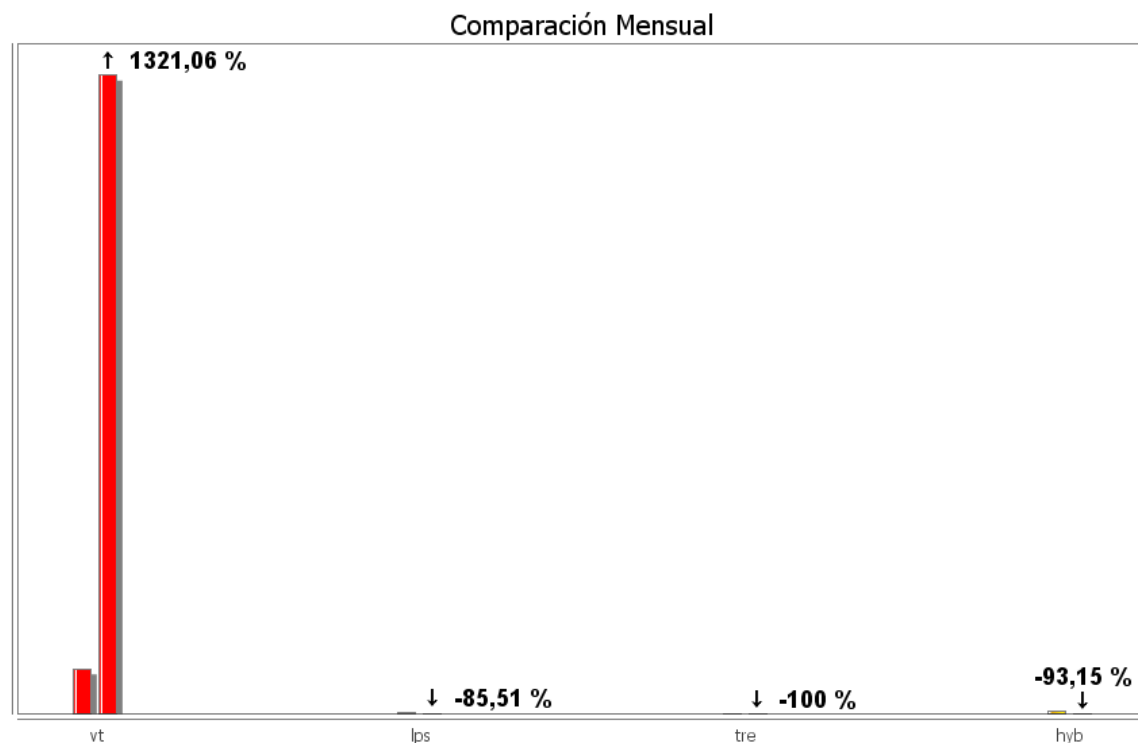


Figura 9. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para junio de 2016 (barras de la derecha) respecto a mayo de 2016 (barras de la izquierda).

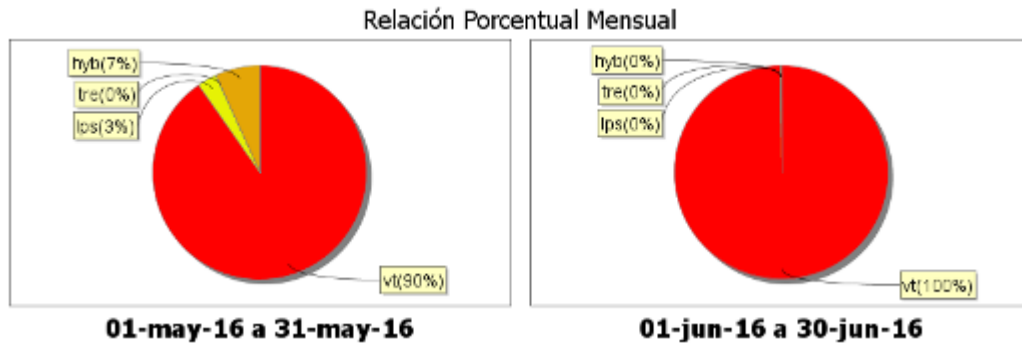


Figura 10. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para mayo y junio de 2016.

Fue posible obtener una solución de localización para 63 sismos, de los cuales 62 fueron clasificados como VT y 1 como HYB. Algunos de ellos se concentraron a unos 2.2 km al occidente del cráter principal con una profundidad entre 2 y 4 km respecto a la cima de Galeras, los más dispersos mostraron profundidades de hasta 14 km. Las magnitudes locales de los sismos registrados fueron menores a 2.6 en la escala de Richter, el 68% presentó magnitudes menores a 1 (Figura 11).

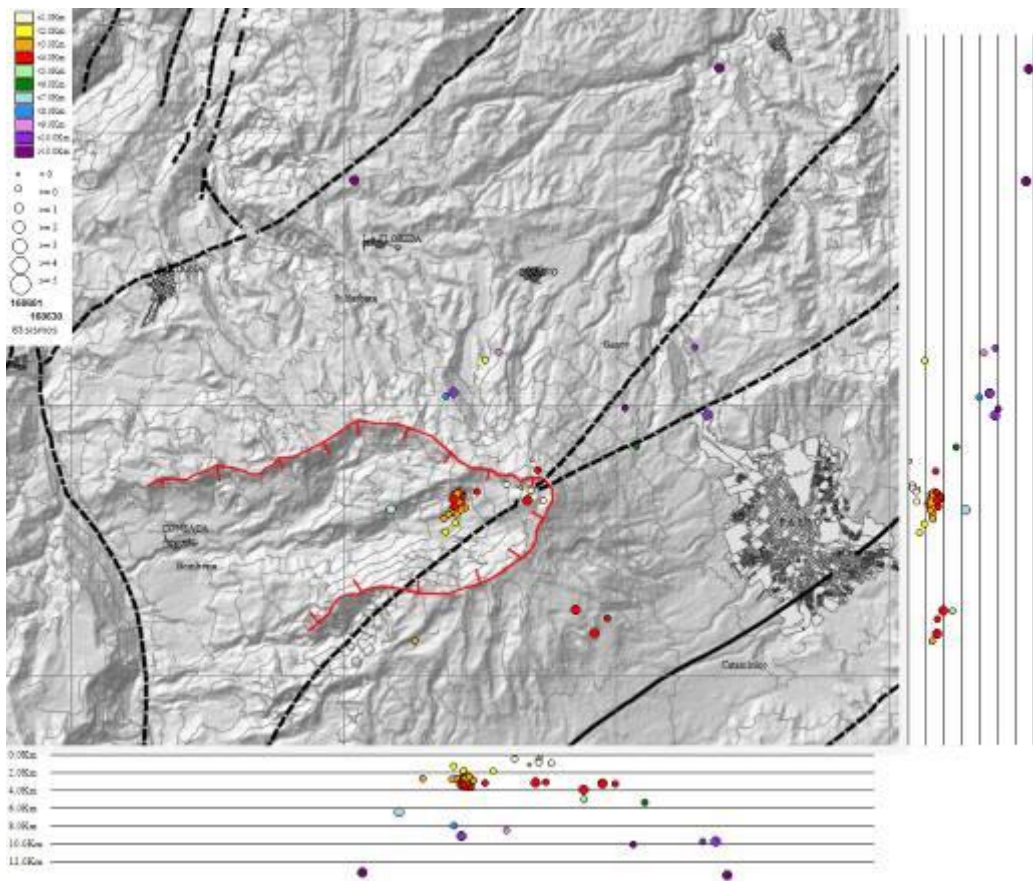


Figura 11. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de junio de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2.0 km de profundidad.

De esta sismicidad se resalta el registro del evento ocurrido el 28 de junio a las 11:32 p.m., con magnitud local de 2.6 en la escala de Richter, el cual fue reportado como sentido por habitantes del Municipio de La Florida (N) Figura 12.

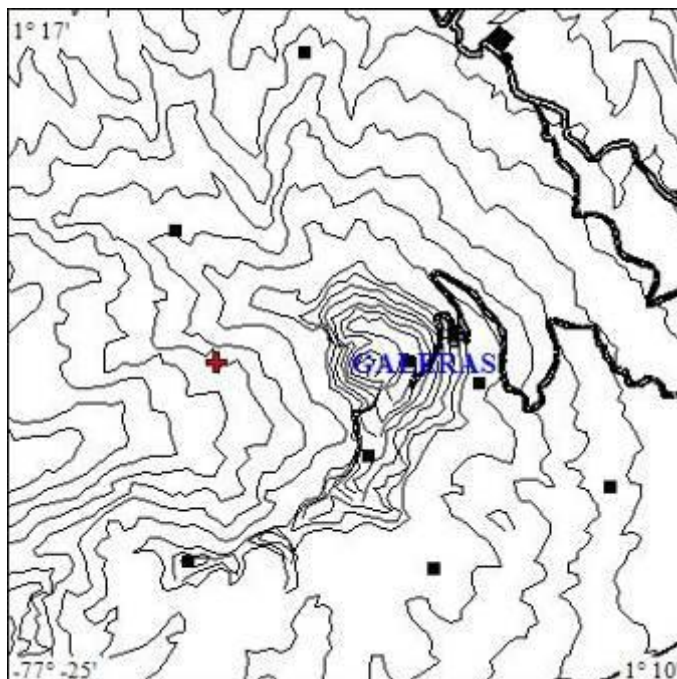


Figura 12. Localización epicentral (figura cruz) del sismo registrado el 28 de junio de 2016, a las 11:32 p.m., reportado como sentido por algunos pobladores del Municipio de La Florida (N).

1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

1.3.1. Inclínometría Electrónica

Durante el mes de junio 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 Este del inclinómetro Calabozo, acumulando desde el 24 de febrero de 2016, 95 μ rad, por su parte la componente Este presenta estabilidad desde el 1 de junio (Figura 13). De igual forma se presenta un comportamiento descendente en la componente Norte del inclinómetro Cóndor registrando desde el 11 de marzo cerca de 180 μ rad, estabilidad en la componente Este (Figura 14). Pese a las fluctuaciones en el registro es posible evidenciar una tendencia ascendente en la componente de inclinación Radial de la estación Peladitos, alcanzando 16 μ rad desde febrero de 2016 (Figura 15). Desde el 10 de mayo de 2016 se observa una tendencia ascendente en la componente Norte del inclinómetro Urcunina, alcanzando cerca de 20

μrad (Figura 16). De igual forma se observa un comportamiento ascendente en la componente Radial del inclinómetro Huairatola, cambio de 25 μrad desde el 8 de mayo (Figura 17).

Se presenta estabilidad en los registros de los inclinómetros de Cráter, Cobanegra y Arlés (Figuras 18, 19 y 20).

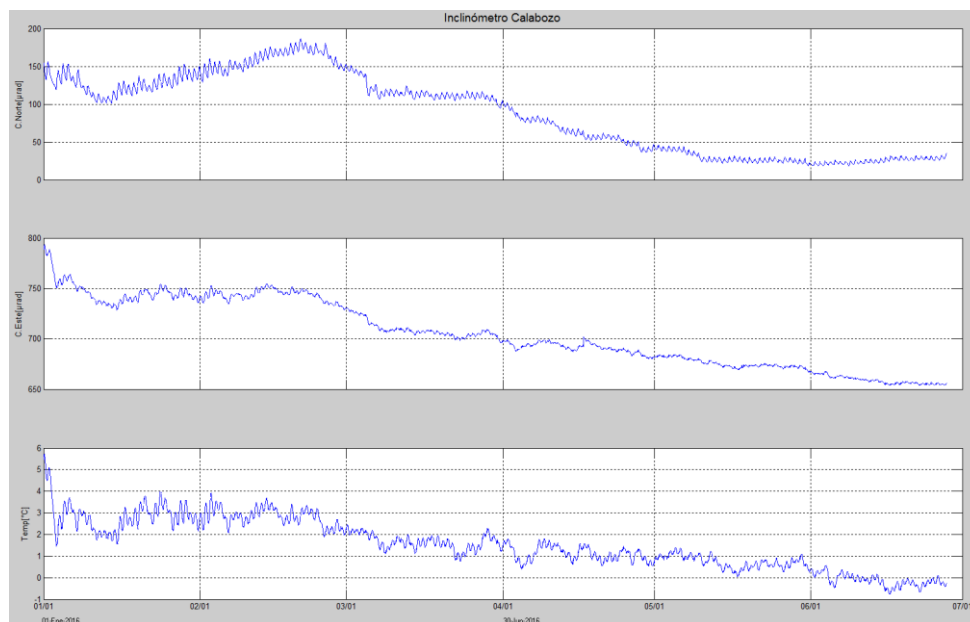


Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

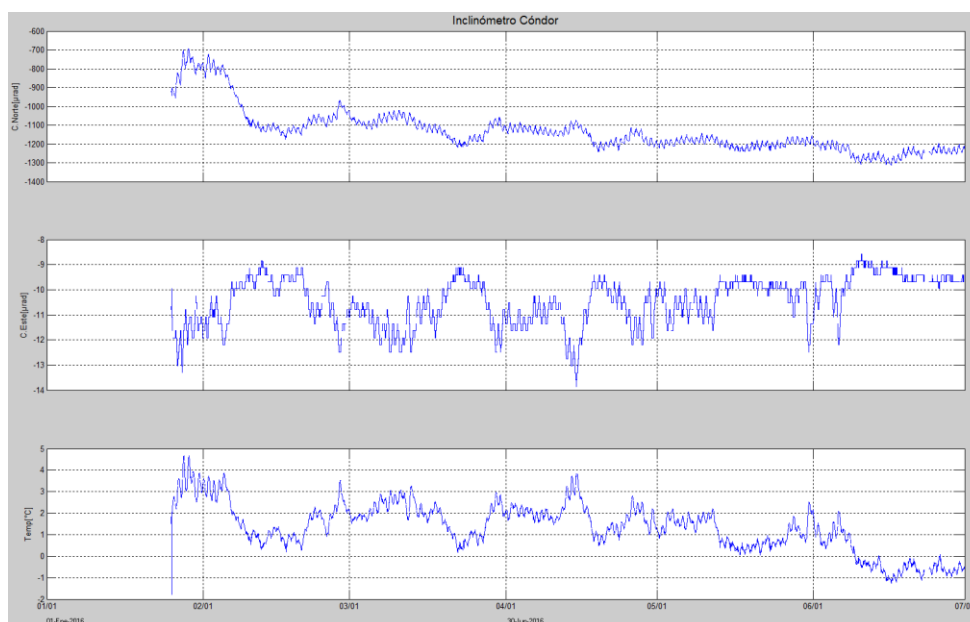


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cónдор, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

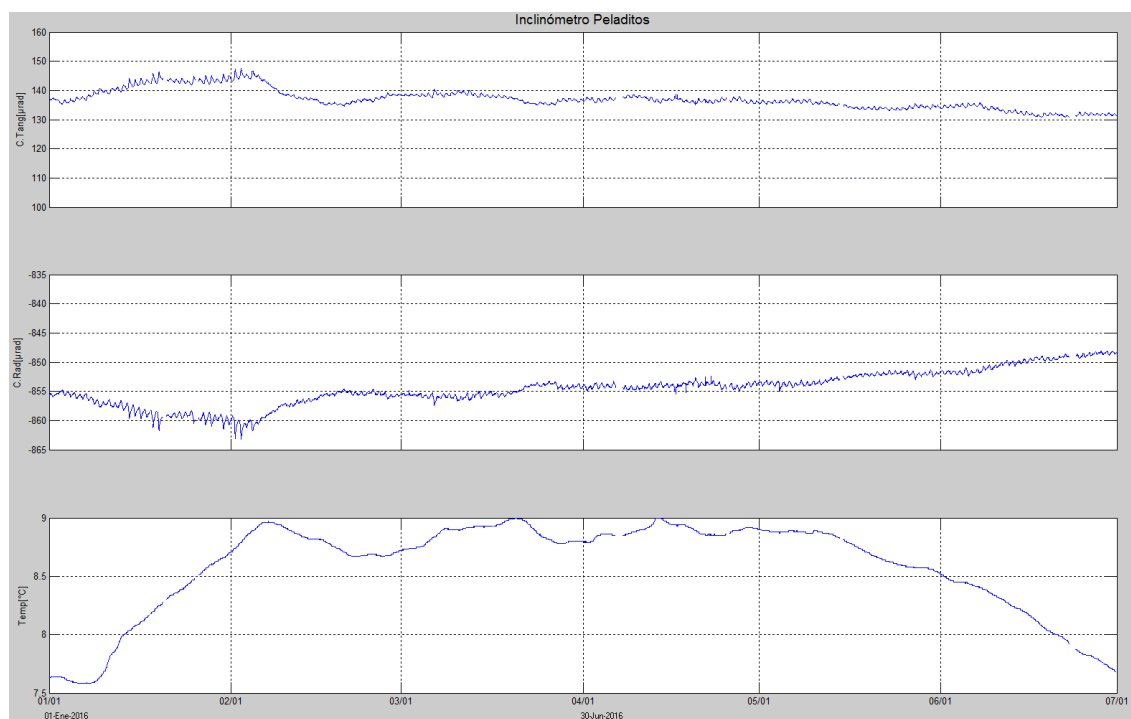


Figura 15. Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

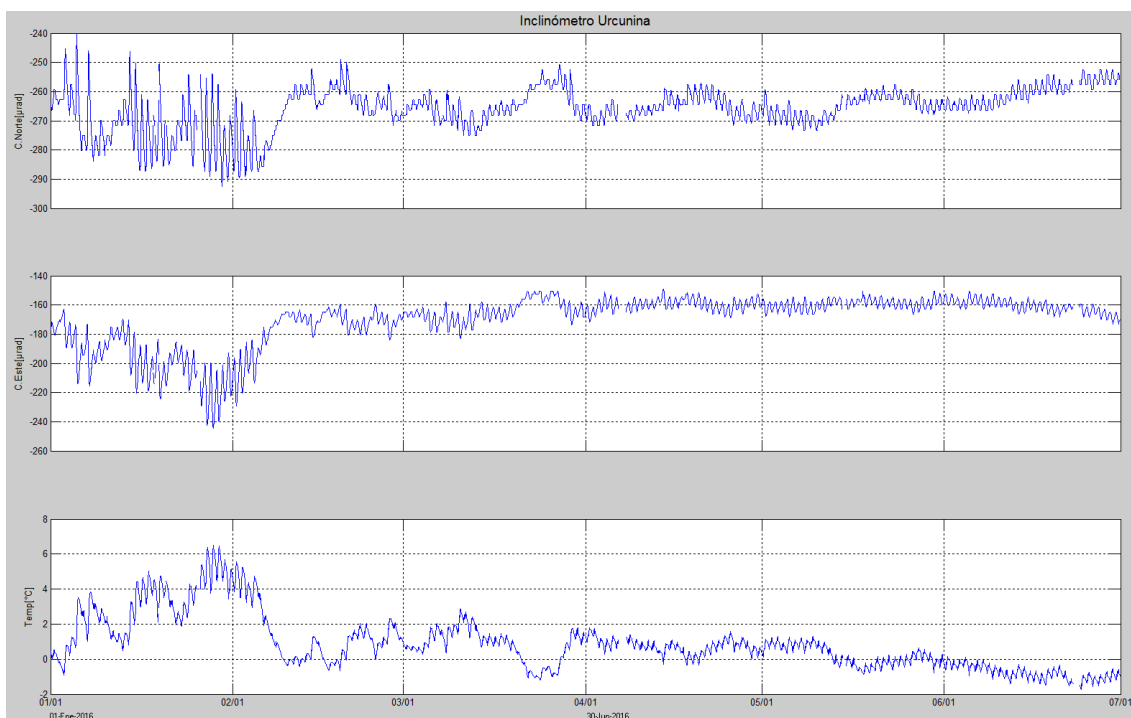


Figura 16. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

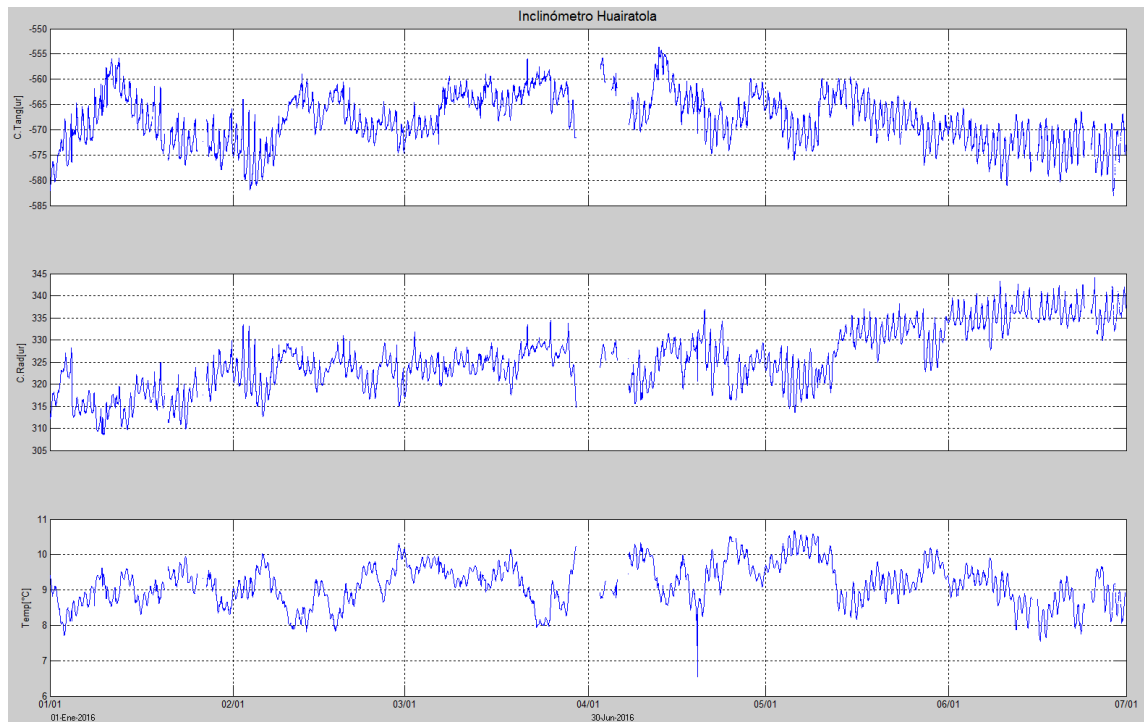


Figura 17. Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), registro de temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

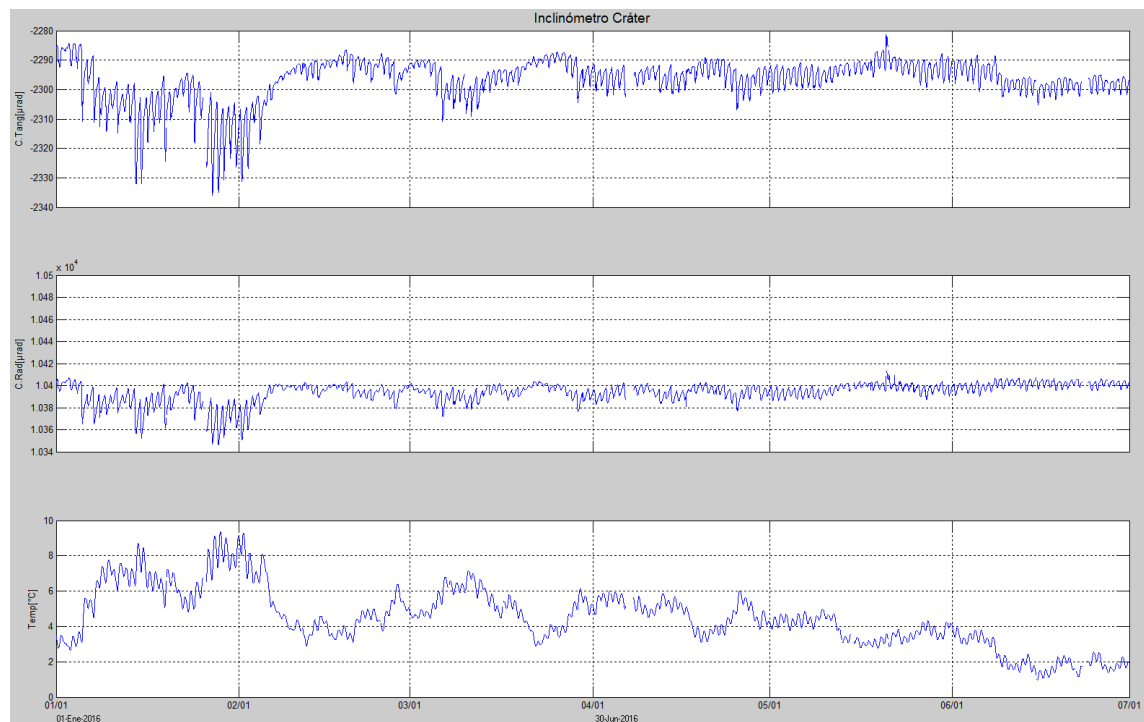


Figura 18. Componentes de inclinación Tangencial y Radial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

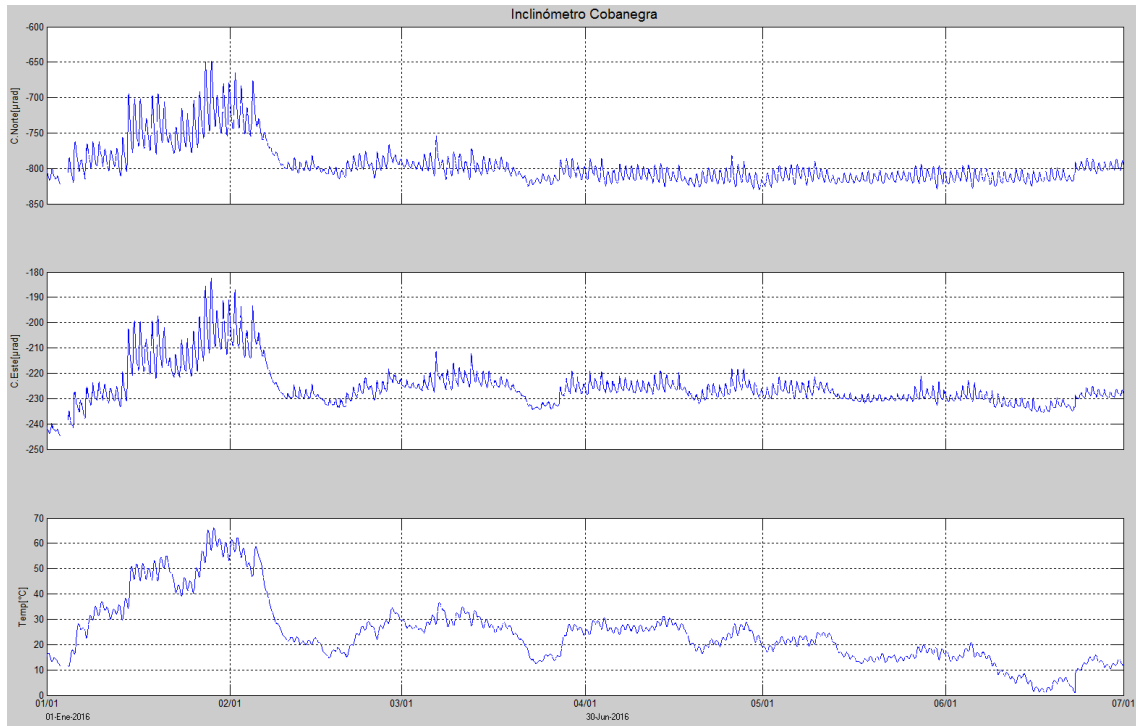


Figura 19. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

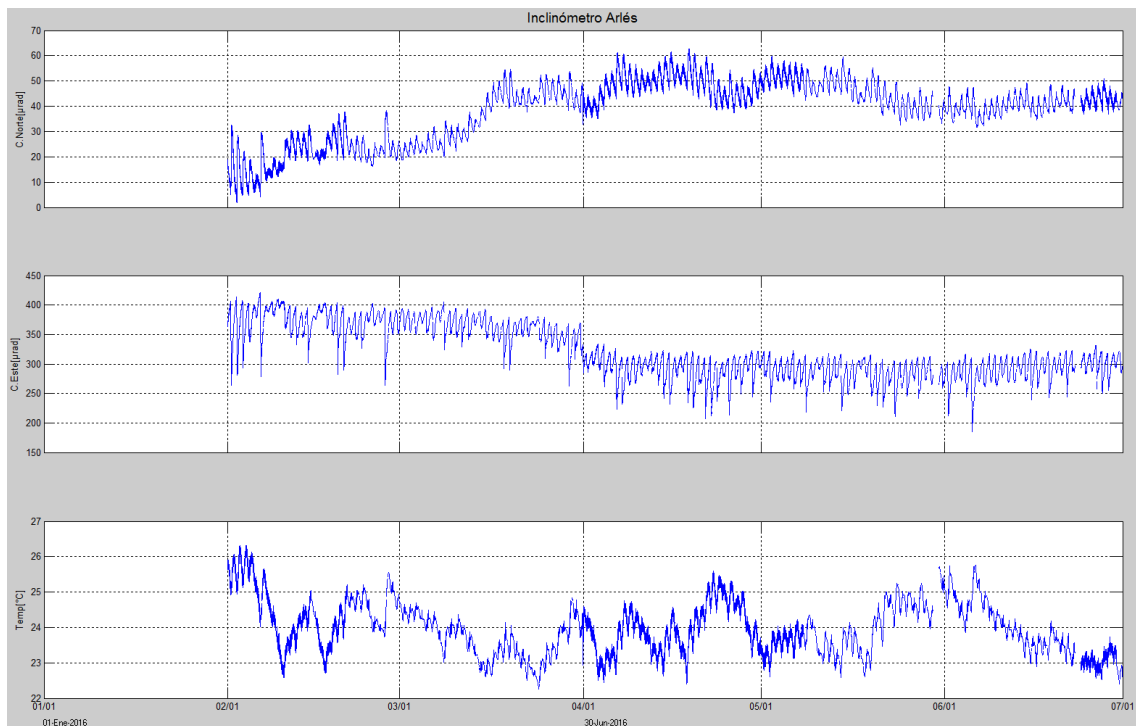


Figura 20. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

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

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

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que puede verificarse en el registro presente en la dirección Norte de la estación QUILL, ubicada fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20.6 km de distancia respecto al cráter, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano (Figura 27).

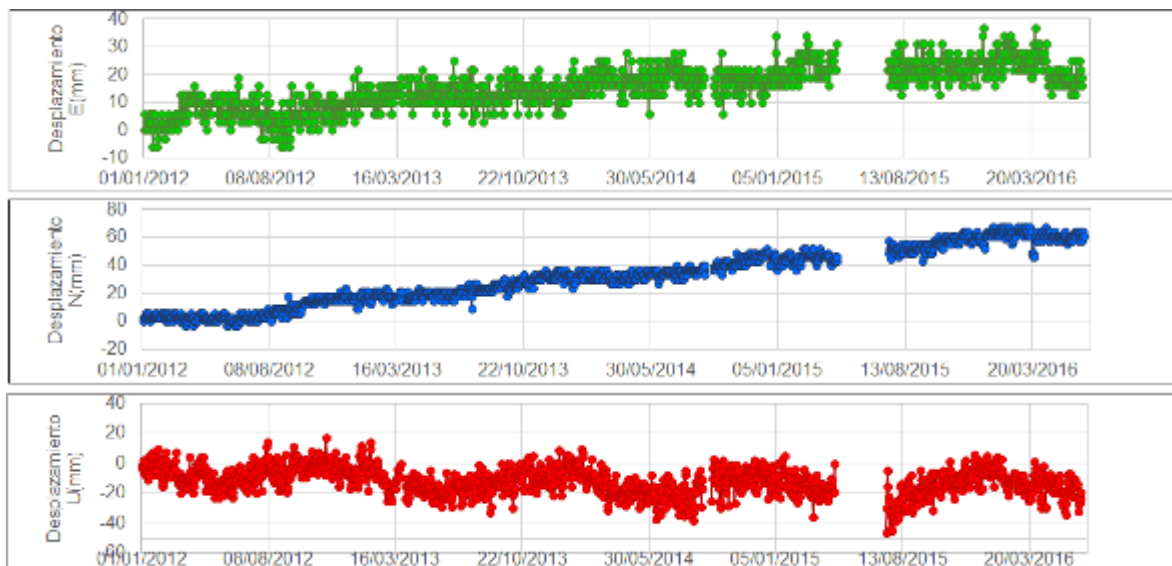


Figura 21. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 17 de junio de 2016.

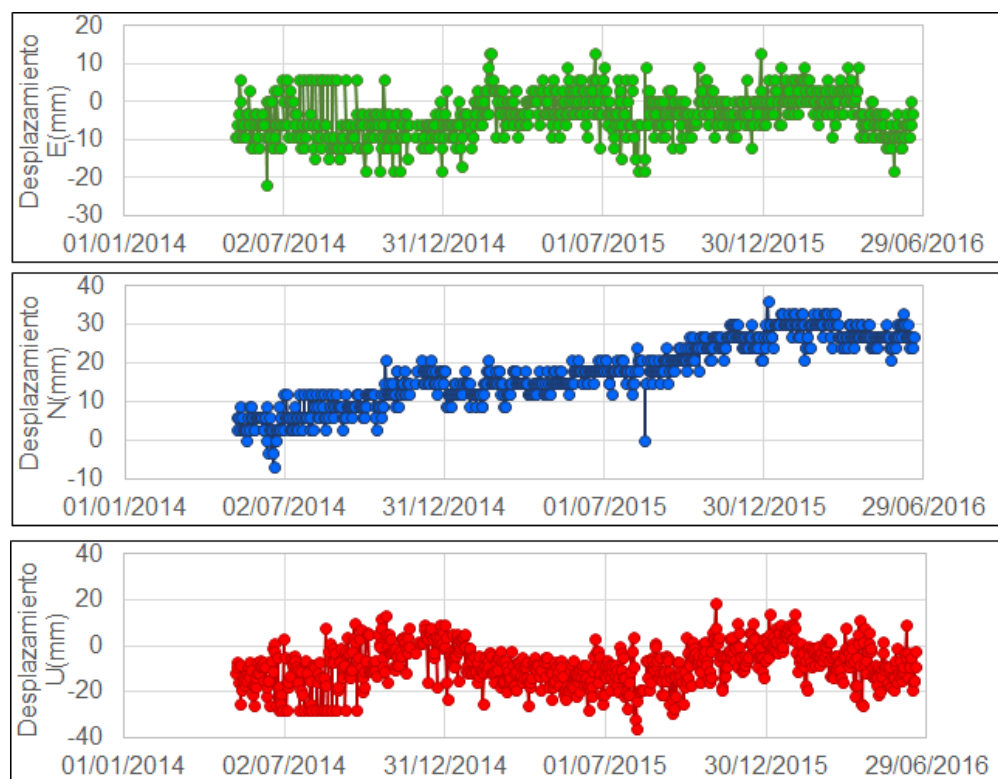


Figura 22. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de mayo de 2014 y el 17 de junio de 2016.

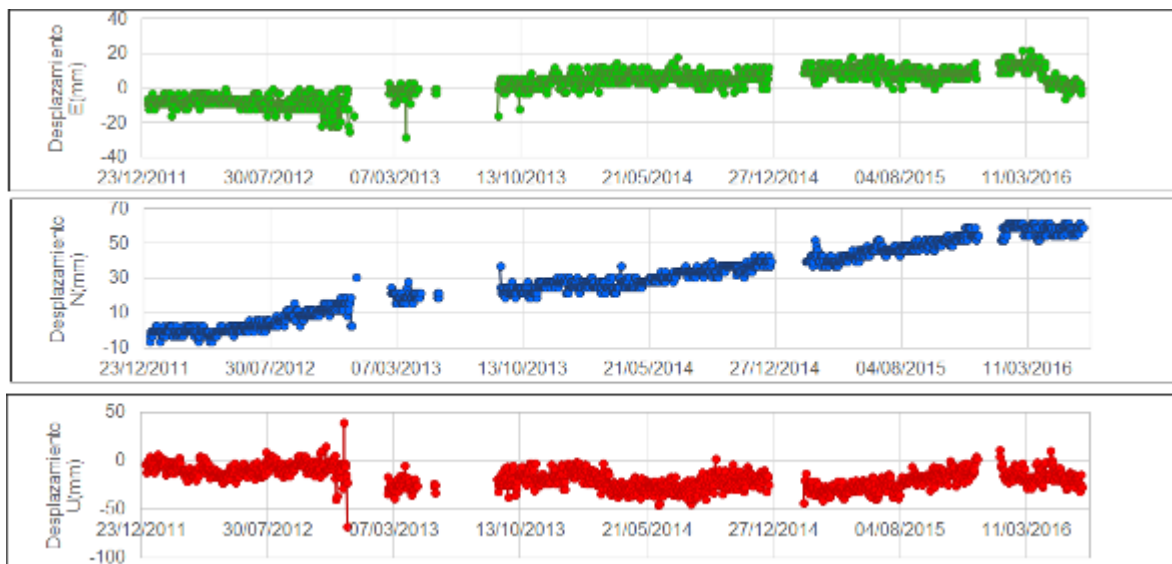


Figura 23. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 17 de junio de 2016.

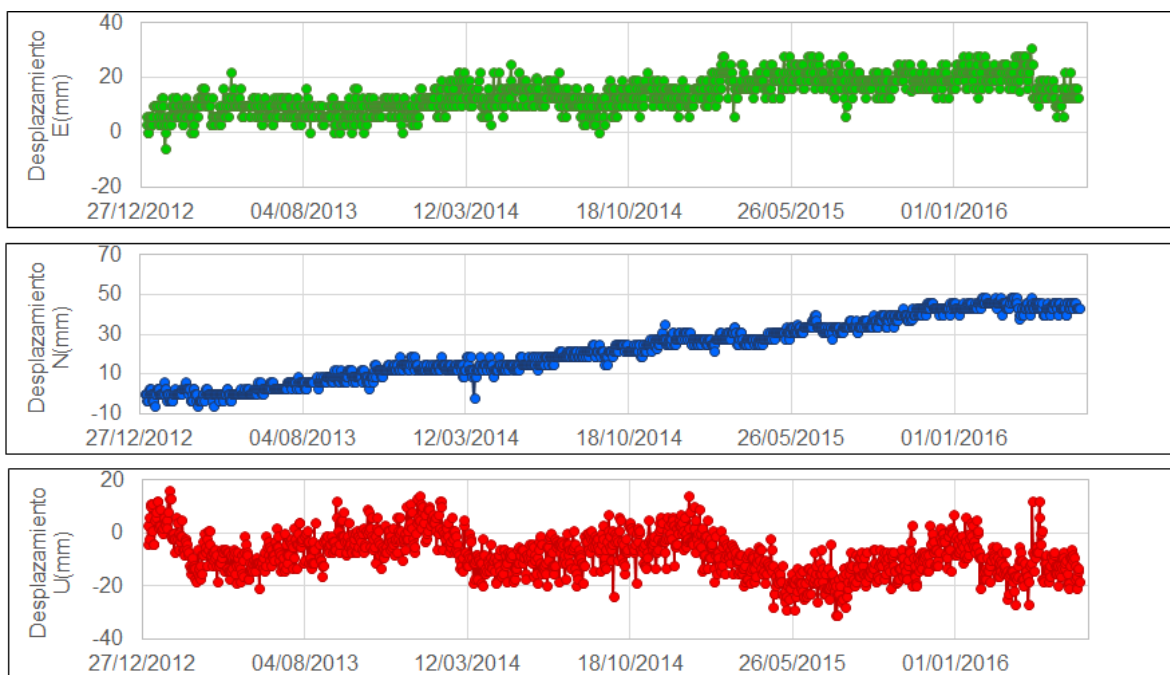


Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 17 de junio de 2016.

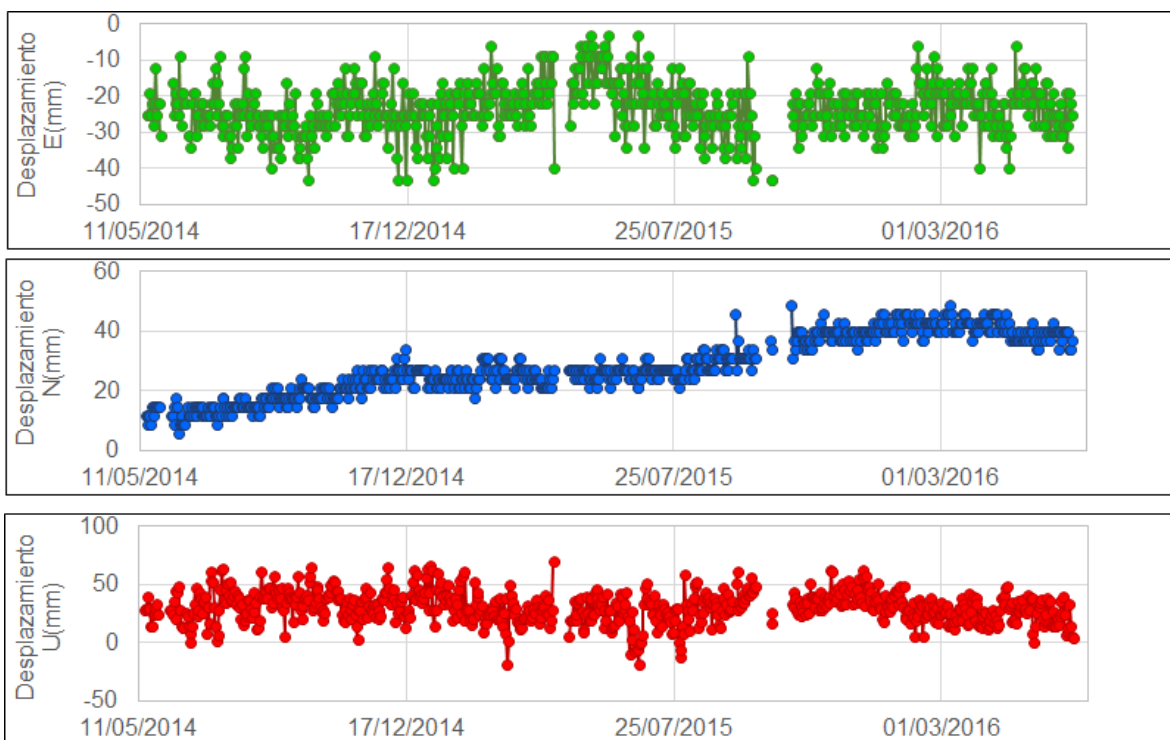


Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 15 de mayo de 2014 y el 17 de junio de 2016.

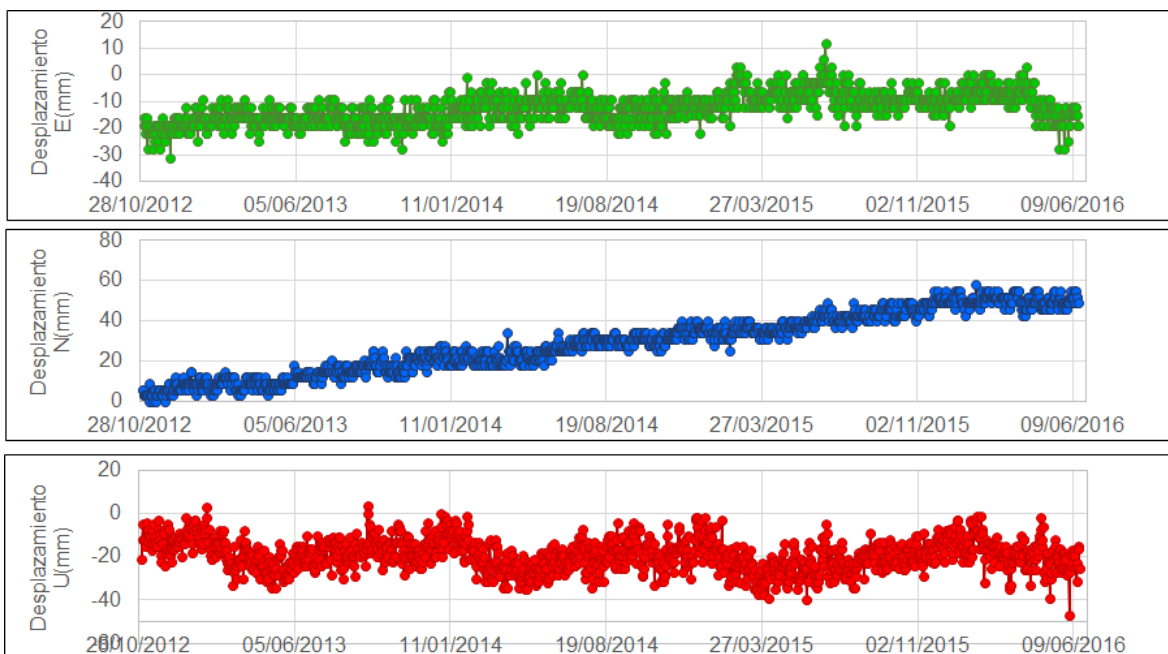


Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 31 de octubre de 2012 y el 17 de junio de 2016.

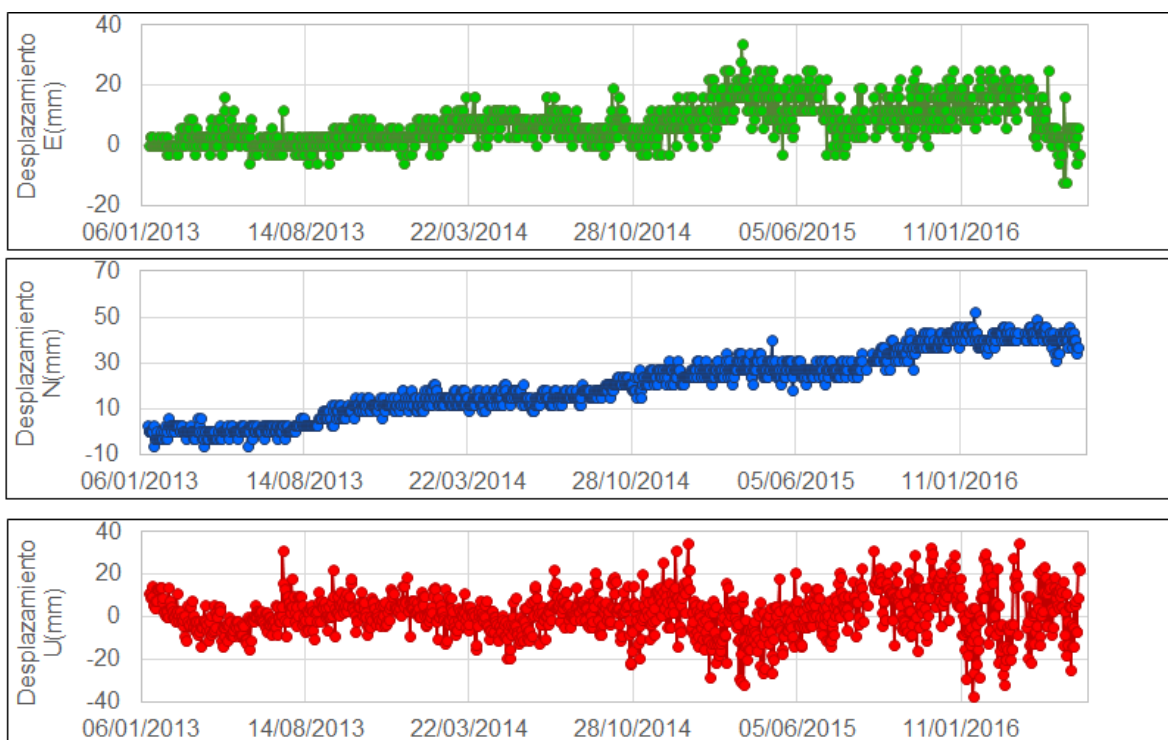


Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, en el Municipio de Chachagui, Departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre el 16 de enero de 2013 y el 17 de junio de 2016.

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 junio 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 ubicadas 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 junio para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, registrando valores de emisión entre 193 Ton/día hasta 1700 Ton/día, valores considerados como bajos a altos para Galeras; mientras que para la estación Santa Bárbara, no se tiene registro de escaneos (Figuras 28 y 29, Tabla 9).

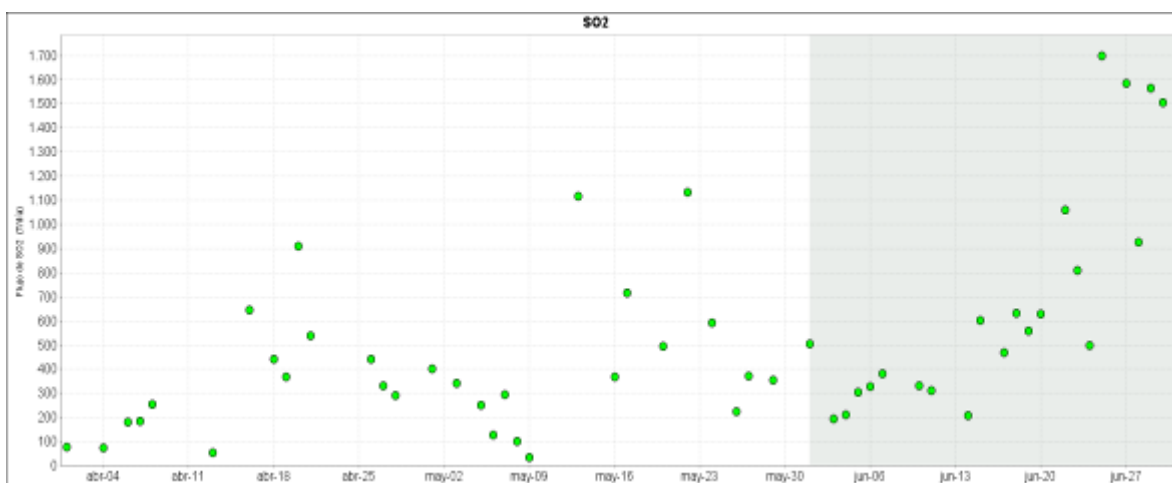


Figura 28. Flujo de emisión de SO_2 registrado desde el 1 de abril de 2016 hasta el 30 de junio de 2016, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

Tabla 9. Emisiones de SO₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de junio 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-jun-16	07:33 AM	348	9.8	504	Alto Jimenez	SCANDOAS
03-jun-16	09:22 AM	66.5	4.4	193	Alto Jimenez	SCANDOAS
04-jun-16	12:43 PM	348.8	2.7	211	Alto Jimenez	SCANDOAS
05-jun-16	03:51 PM	347.4	3.4	304	Alto Tinajillas	SCANDOAS
06-jun-16	01:21 PM	329.6	6.7	327	Alto Jimenez	SCANDOAS
07-jun-16	07:34 AM	73.35	8.8	380	Alto Jimenez	SCANDOAS
10-jun-16	12:22 PM	346.2	8.5	332	Alto Tinajillas	SCANDOAS
11-jun-16	12:46 PM	345.4	10.8	312	Alto Tinajillas	SCANDOAS
14-jun-16	02:43 PM	340.3	6.4	208	Alto Jimenez	SCANDOAS
15-jun-16	08:04 AM	325	14.7	603	Alto Jimenez	SCANDOAS
17-jun-16	01:39 PM	343.4	9	470	Alto Tinajillas	SCANDOAS
18-jun-16	08:57 AM	75	11	631	Alto Jimenez	SCANDOAS
19-jun-16	03:41 PM	351.3	6.2	558	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-jun-16	02:42 PM	349.3	9.5	629	Alto Tinajillas	SCANDOAS
22-jun-16	07:27 AM	78.1	7.3	1059	Alto Tinajillas	SCANDOAS
23-jun-16	08:34 AM	68.4	12.1	810	Alto Jimenez	SCANDOAS
24-jun-16	01:29 PM	75	6.6	497	Alto Jimenez	SCANDOAS
25-jun-16	04:33 PM	75	9.8	1700	Alto Tinajillas	SCANDOAS
27-jun-16	01:20 PM	75	13.8	1584	Alto Tinajillas	SCANDOAS
28-jun-16	03:52 PM	73	11	927	Alto Jimenez	SCANDOAS
29-jun-16	02:26 PM	76	13	1565	Alto Tinajillas	SCANDOAS
30-jun-16	03:35 PM	67	12	1506	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 registra un importante incremento en el proceso de desgasificación en comparación con meses anteriores, tal y como se observa en la gráfica (Figura 28), fue posible observar actividad superficial en Galeras desde las cámaras web instaladas en cercanías al volcán. Los valores de SO₂ considerados como altos, se podrían asociar principalmente al incremento de actividad sísmica presentada la última semana de junio. También se presentaron altos valores de velocidad del viento durante el periodo evaluado, el cual alcanzaron los 13.8 m/s (Figura 29). La dirección del viento fue variable durante el mes de junio. El mayor flujo de SO₂ registrado para el volcán Galeras durante el mes, se presentó el día 25 de junio de 2016 con un valor de 1700 Ton/día, considerado flujo alto para el volcán Galeras.

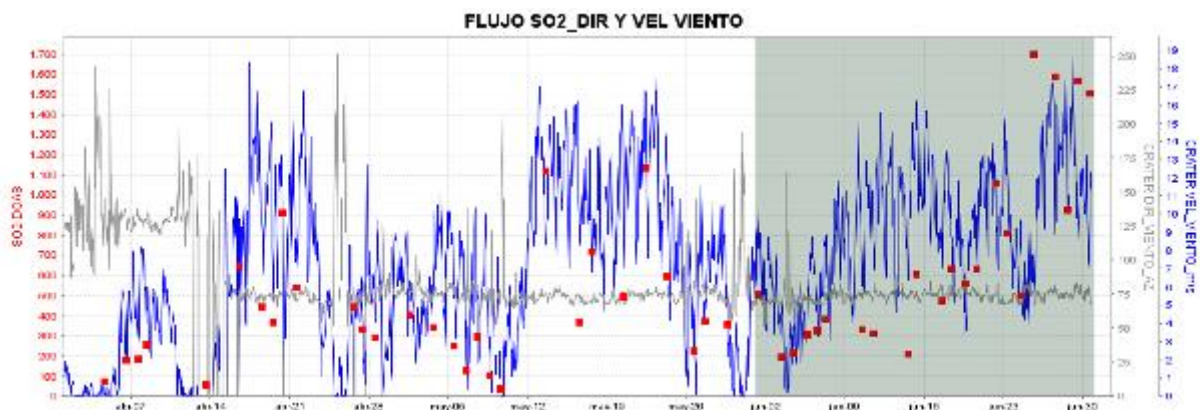


Figura 29. Flujo de emisión de SO₂, dirección y velocidad del viento para el mes de junio de 2016.

1.4.2. Concentración de gas radón difuso en suelo

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

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 235, tiene una vida media de 3.8 días y no se encuentra más allá de los 50 a 60 m de profundidad, entonces su difusión es la única responsable de su dispersión (Dyck y Smith 1969).

En las Figuras 30, 31 y 32 se presentan la gráficas del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, se puede observar para la estación Lavas, que las variaciones presentadas al parecer pertenecen a la difusión normal de radón en este sitio, sin presentar cambios significativos hasta el momento; sin embargo, en las estación Parques se observa un ascenso en el comportamiento general de la gráfica, presentando para este mes una concentración máxima con un valor mayor a los registrados en la estación Lavas, el cuál hasta el momento registraba los mayores valores de concentración. La estación Lirios estuvo en funcionamiento hasta el día 20 de junio de 2016, por esta razón aún no es claro observar claramente su comportamiento. La concentración de radón registrada en Los Lirios, parece ser menor en comparación con las concentraciones presentes en Lavas y Parques. Se continuará realizando seguimiento a estas variaciones para poder evaluar este comportamiento y su relación con la actividad volcánica. Se presenta un máximo de concentración de 83751 Bq/m³, 92394 Bq/m³ y 52276 Bq/m³ para las estaciones Lavas, Parques y Los Lirios respectivamente (Tablas 10, 11 y 12).

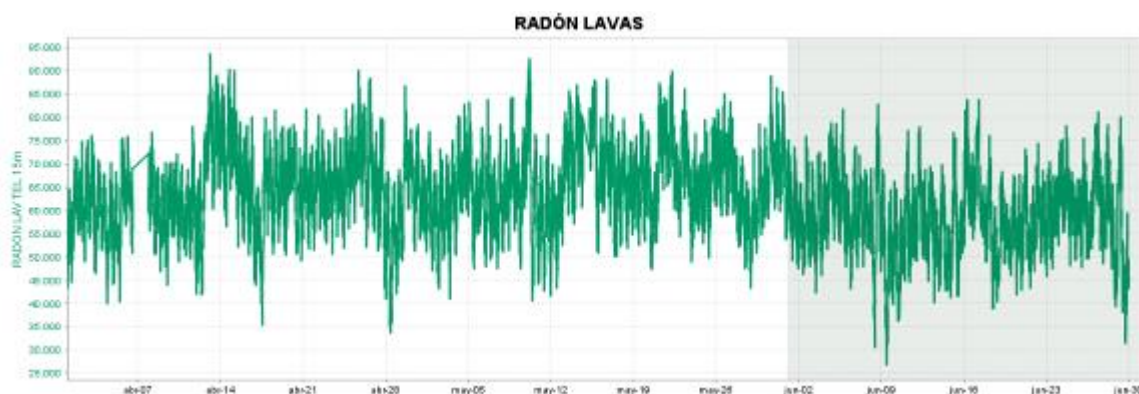


Figura 30. Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica LAVAS – Junio de 2016.

Tabla 10. Valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – mes de junio 2016.

CONCENTRACIÓN RADÓN	[Bq/m ³]
Promedio	58176
Máximo	83751
Mínimo	26910

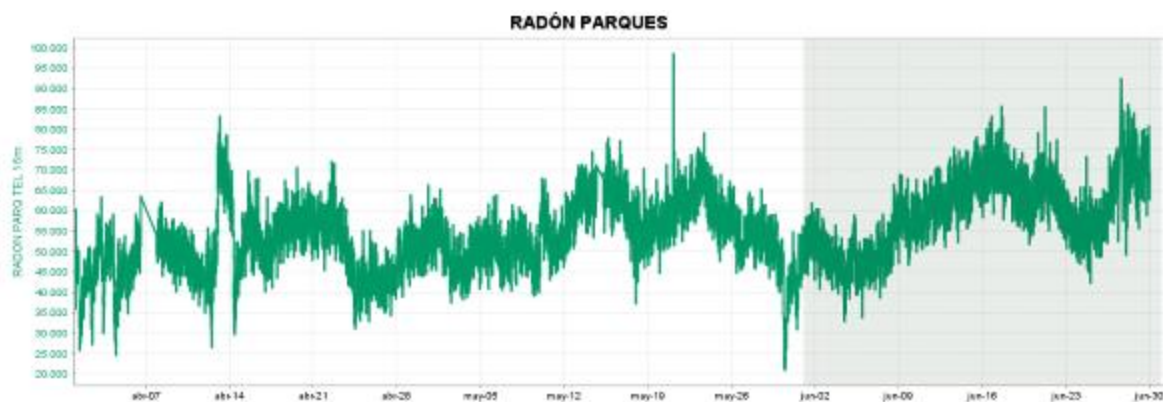


Figura 31. Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica PARQUES – Junio de 2016.

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

CONCENTRACIÓN RADÓN	[Bq/m³]
Promedio	59712
Máximo	92394
Mínimo	32771

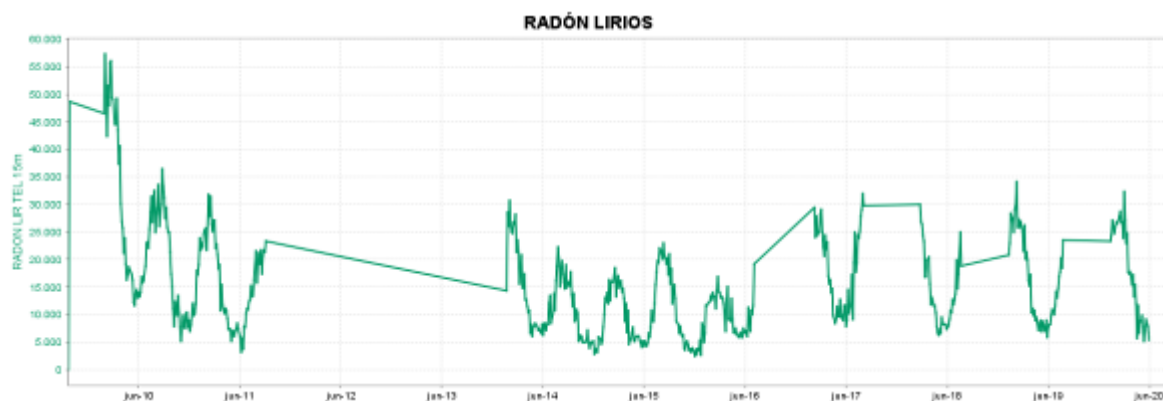


Figura 32. Concentración radón difuso en suelo – Volcán Galeras - estación telemétrica Los Lirios – Junio de 2016.

Tabla 12. Valores de concentración de flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Los Lirios – Junio de 2016.

CONCENTRACIÓN RADÓN	[Bq/m³]
Promedio	15579
Máximo	57276
Mínimo	2576

1.5. ELECTROMAGNETISMO

Durante el mes de junio de 2016, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras, se realizó con base en los registros de dos estaciones magnéticas y una eléctrica, Barranco con sensores eléctricos y magnético y Cráter con sensor solamente magnético. La estación Frailejón estuvo fuera de funcionamiento debido a una tormenta eléctrica registrada en la zona el 30 de mayo.

Las variaciones del Campo Magnético Total (F) (Figura 33), en las estaciones, Barranco y Cráter, correspondientes a la red de monitoreo electromagnético en Galeras, muestran un comportamiento estable, durante el mes de junio de 2016, con excepción del cambio que se observa entre los días 15 y 16 de junio, asociado con variaciones del campo magnético externo. El valor promedio de las variaciones del Campo Magnético Total para el mes de junio, fue de 28.480 nT para Barranco y 33.330 nT, para Cráter.

La estabilidad en cuanto a las mediciones de la información de las estaciones de monitoreo magnética en Galeras, se corroboran con los registros del campo magnético horizontal (H) y total (F) de la estación de referencia Kourou, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del Instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (La estación se ubica en Guayana Francesa). El valor promedio del campo magnético total, en la estación de Kourou, para el mes de junio de 2016, fue de alrededor de 28.880 nT para el campo total (F) (Figura 34).

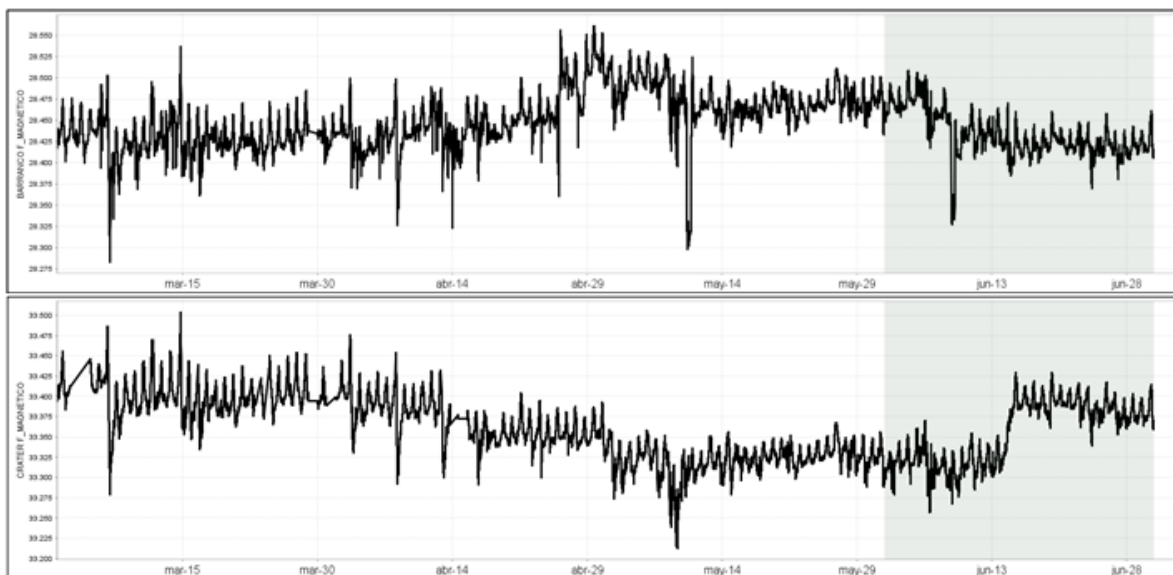


Figura 33. Campo magnético total (F), registrado en las estación Barranco (arriba) y Cráter (abajo), perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de marzo y junio de 2016. La zona sombreada corresponde al mes evaluado, junio de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

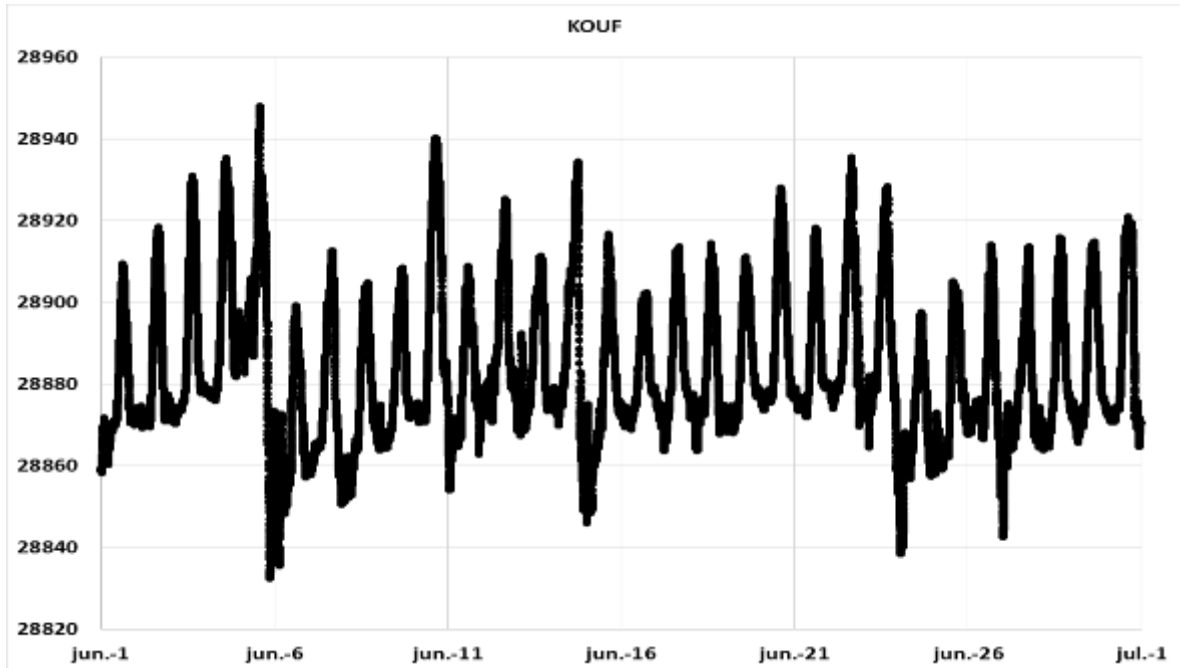


Figura 34. Intensidad del campo magnético Terrestre total (F), del campo magnético Terrestre, registrados en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de junio de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

En cuanto a las variaciones eléctricas; la Estación Barranco muestra influencia de los procesos de lluvias, aunque para el periodo evaluado éstas disminuyeron en comparación a dos meses atrás. Al comparar el comportamiento del campo eléctrico de Barranco, con los registros de los procesos de lluvias en la estación de Mijitayo_Bajo, se observa que estos procesos se correlacionan muy acertadamente con la mayoría de las variaciones de gran amplitud de los campos eléctricos monitoreados en Galeras (Figura 35).

Para el mes de junio las variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico en la estación Barranco fue de alrededor de 40 mV/m (Figura 35).

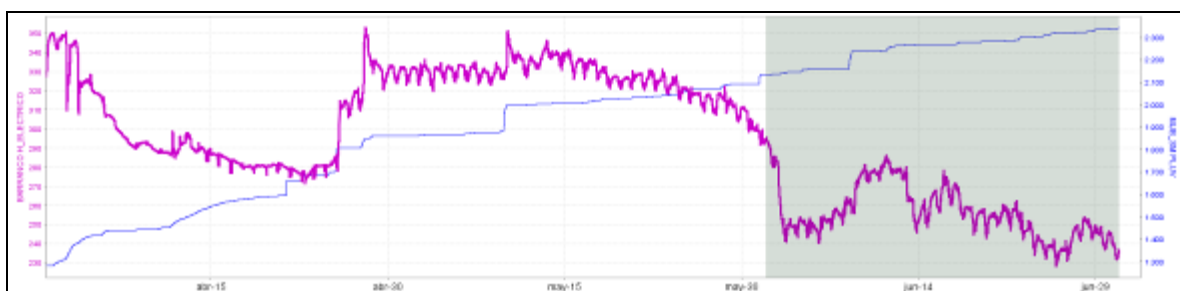


Figura 35. Variaciones la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Barranco, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre abril y junio de 2016). La escala de medición del campo eléctrico está en mili voltios por metro y el pluviómetro en cuentas.

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, por reportes de las comisiones de personal en campo, de la comunidad o las autoridades y por videos e imágenes de las cámaras instaladas en el OVSP, Consacá, Barranco y Bruma.

Condiciones favorables de clima permitieron la mayor parte del tiempo observar emisiones de gases, excepto para los días 6, 12, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29 y 30 de junio, debido a la alta nubosidad presente en la cima volcánica. La dispersión de las columnas de gases fue variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, campo fumarólicos de El Paisita sector norte y cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico. En las Figuras 36 a 41 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.



Figura 36. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 1 de junio de 2016, en horas de la mañana, capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.

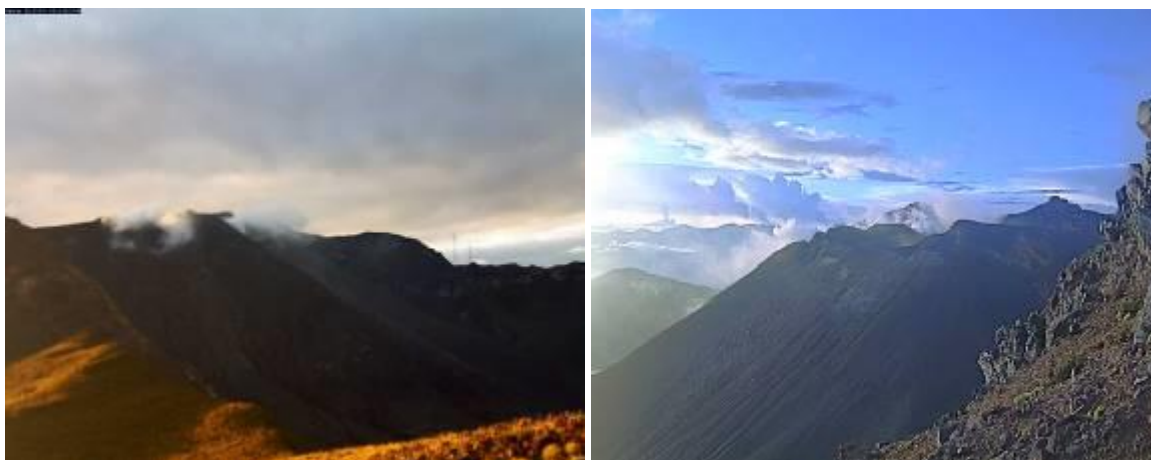


Figura 37. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 4 de junio de 2016, en horas de la mañana 6:35 a.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.



Figura 38. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 5 de junio de 2016, en horas de la mañana 9:00 a.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Consacá.



Figura 39. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 7 de junio de 2016, en horas de la mañana y tarde 6:15 a.m. y 5:40 p.m., capturadas desde la cámara de Barranco.

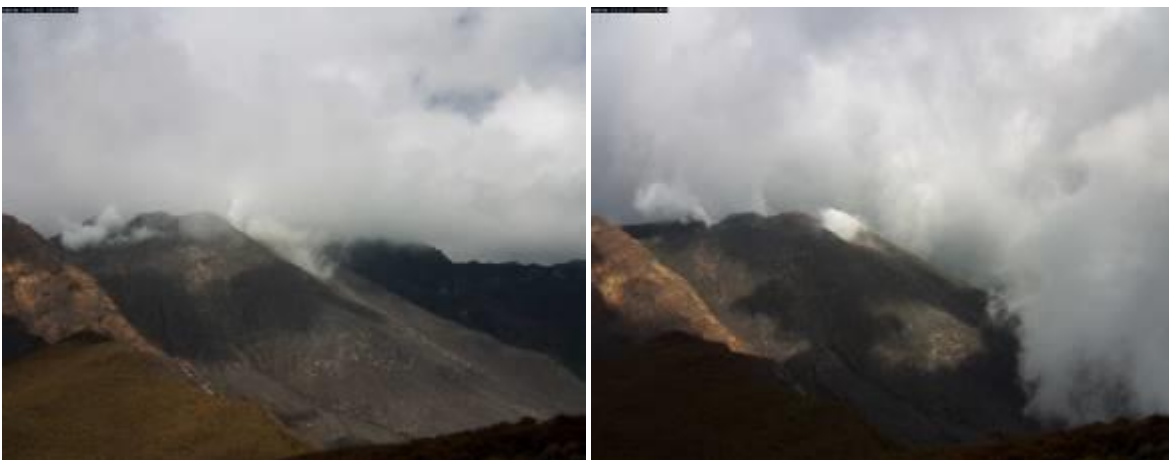


Figura 40. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 9 de junio de 2016, en horas de la tarde 2:01 p.m. y 4:12 p.m., capturadas desde la cámara de Barranco.



Figura 41. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 19 de junio de 2016, en horas de la tarde 6:08 p.m., 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 – JUNIO DE 2016

2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 42 se presenta la red de vigilancia del Complejo Volcánico Cumbal, la cual consta de cuatro estaciones para monitorear su sismicidad (dos sensores de banda ancha y dos de corto periodo), cuatro estaciones para el seguimiento de la deformación cortical del edificio volcánico y un sensor de presión acústica. Adicionalmente, se tiene una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, instalada en el municipio de Cumbal. De igual forma se cuenta con el registro de la estación Cumbal, muy cerca de la Laguna de Cumbal, estación de monitoreo de la Red Sismológica Nacional de Colombia - RSNC (Figura 42).

Así mismo se tiene una red de muestreo de gases in situ en fumarolas y aguas en fuentes termales (Figura 42).

En la Tabla 13, se consigna el nombre de cada estación con algunas de sus características. En la Figura 43 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones para el periodo evaluado.

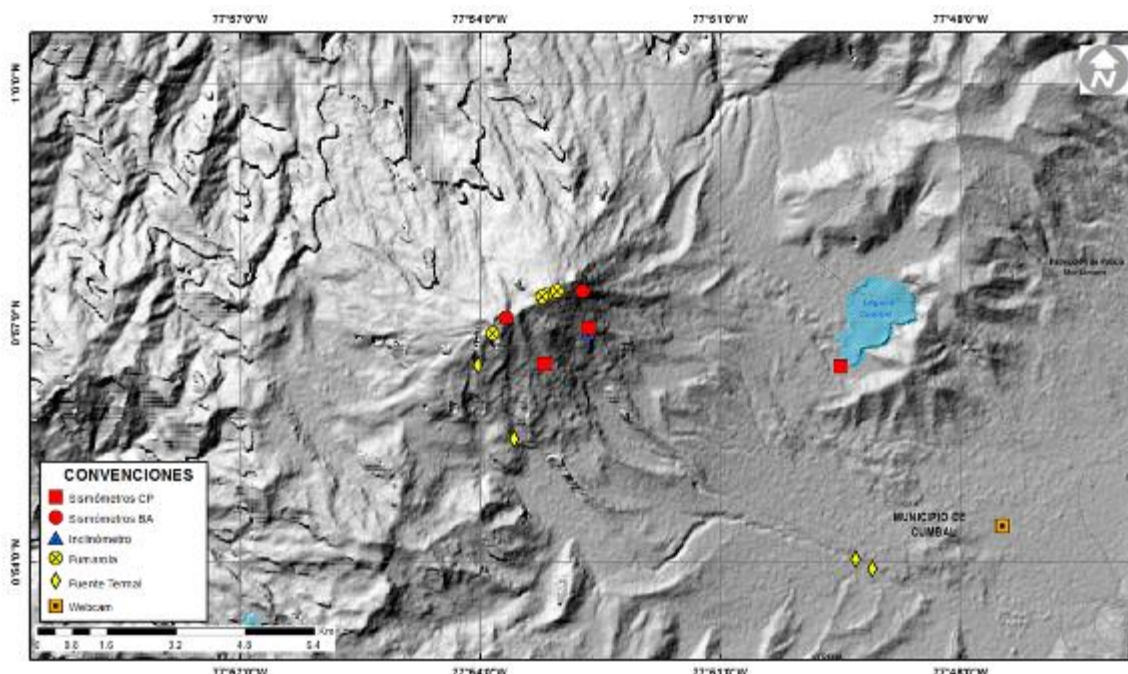


Figura 42. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de junio de 2016.

Las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de junio de 2016, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 75% (Figura 43).

Tabla 13. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de junio de 2016.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter Mundo Nuevo (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Mundo Nuevo	Altitud (msnm)
La Nieve	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	0,2	E	4696
Limones	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1,5	SE	4232
Punta Vieja	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2.0	NE	4519
La Mesa	Digital	Sismómetro Corto periodo	Vertical	2,5	ESE	4270
La Nieve	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	0,2	E	4696
Limones	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1,5	SE	4232
Punta Vieja	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2.0	NE	4519
La Mesa	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,5	ESE	4270
La Mesa Acústico	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	2,5	ESE	4270

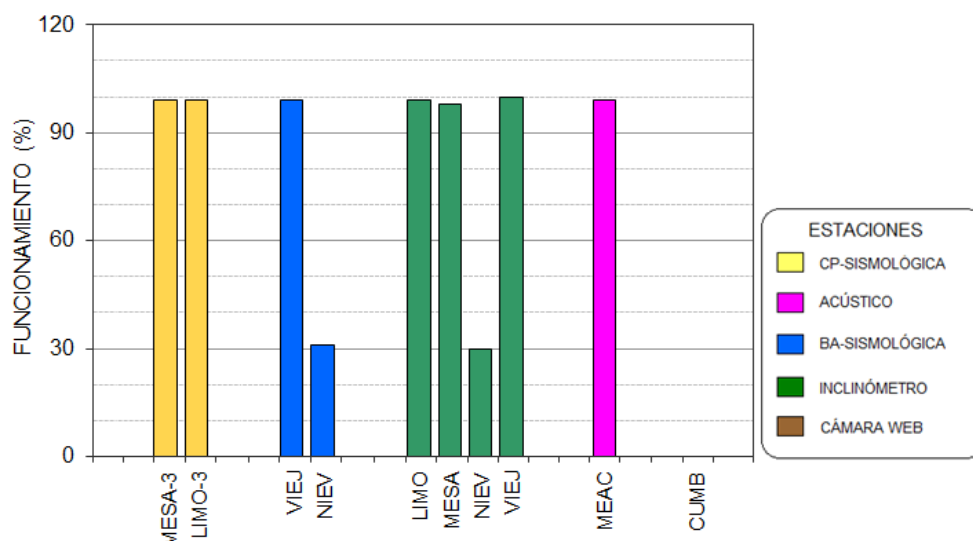


Figura 43. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de junio de 2016.

2.2. SISMOLOGÍA

En junio de 2016 se presentó un descenso en el número total de sismos volcánicos, cercano al 25% en comparación con el mes anterior, pasando de 1495 a 1128 eventos (Tabla 14, Figura 44). En ocurrencia se observó un descenso en los sismos tipo VT, LP e HYB, y en contraste se presentó un incremento en los eventos tipo TOR (Figura 45). Hubo predominio de la sismicidad tipo LPS con un 49% del total de eventos sísmicos, seguido por un 29% de los sismos HYB (Figura 46). El día que mayor se presentó ocurrencia sísmica fue el 30 de junio, con un total de 101 eventos.

Tabla 14. Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	vt	lps	tre	hyb	tor	TOTAL
01-mar-16 a 31-mar-16	316	479	0	344	1	1140
01-abr-16 a 30-abr-16	352	434	0	255	2	1043
01-may-16 a 31-may-16	426	641	0	427	1	1495
01-jun-16 a 30-jun-16	239	556	0	331	2	1128

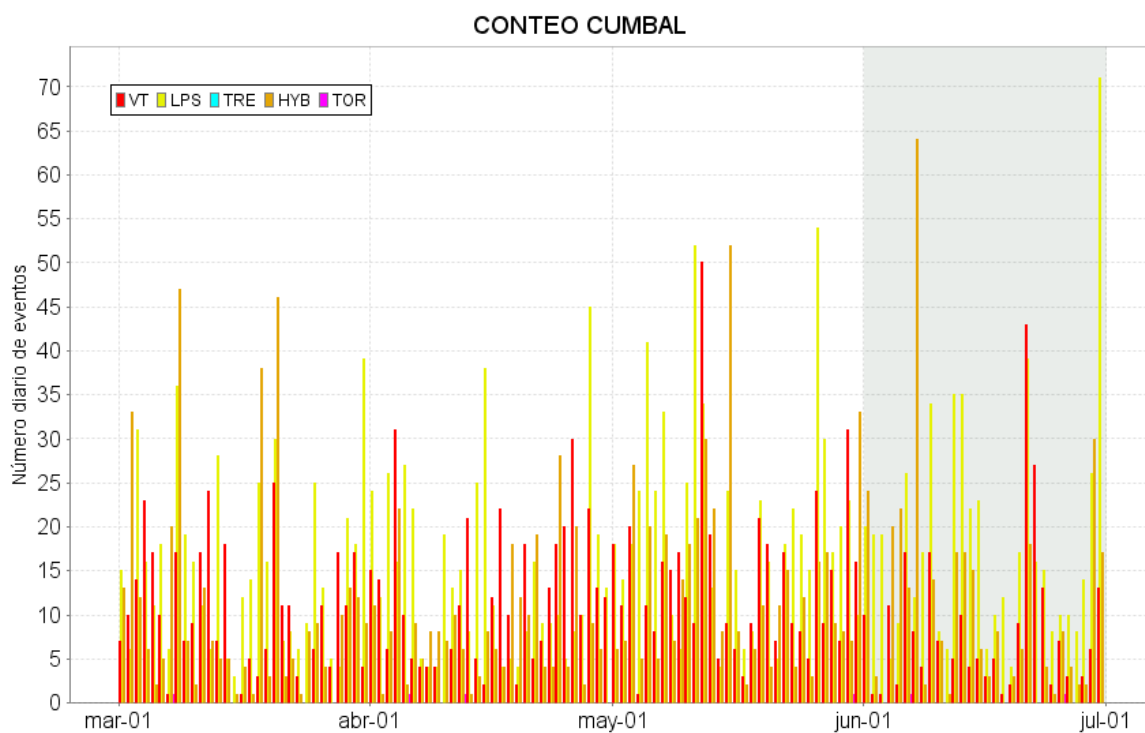


Figura 44. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre marzo y junio de 2016.

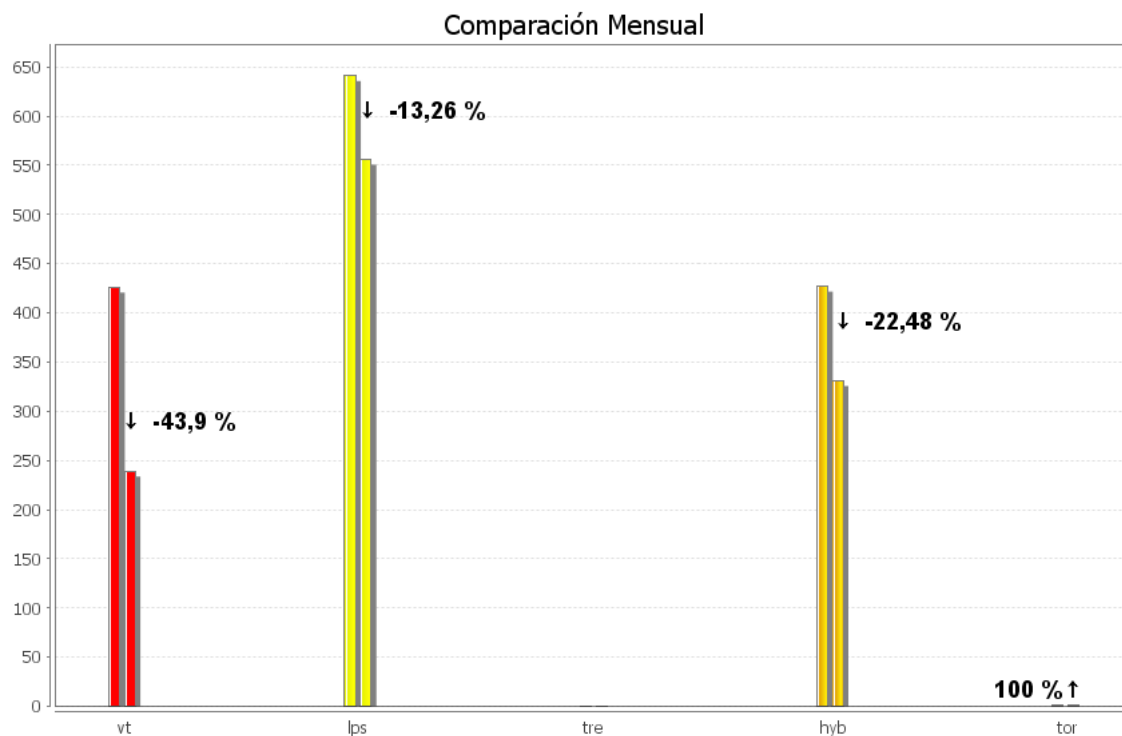


Figura 45. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de junio de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de mayo de 2016 (barras de la izquierda).

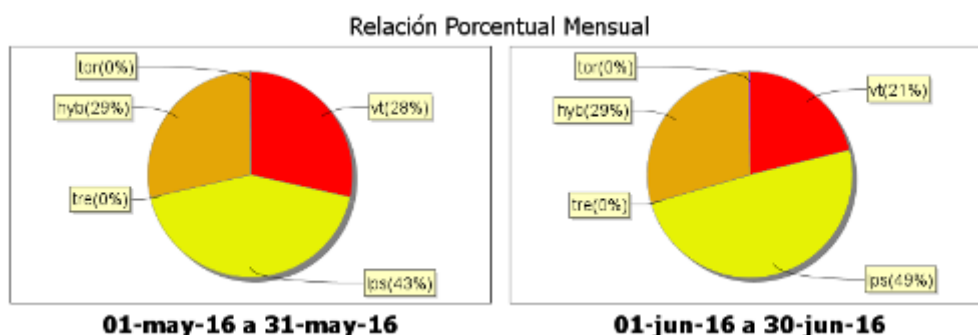


Figura 46. Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para mayo y junio de 2016.

La energía liberada de los sismos localizados mostró un descenso del 33%, pasando de 7.95×10^{12} ergios a 5.32×10^{12} ergios (Figura 47). Fue posible localizar 124 sismos, de los cuales 86 fueron asociados con fractura de roca y 38 de tipo HYB. La gran mayoría de eventos se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela, sector nororiente del complejo volcánico de Cumbal, con profundidades entre 0.1 y 3.4 km, los más dispersos presentaron profundidades de hasta 12 km. El cálculo de la magnitud local de los sismos localizados mostró valores menores a 1.1 en la escala de Richter, cerca del 98% inferior a 1 (Figura 48).

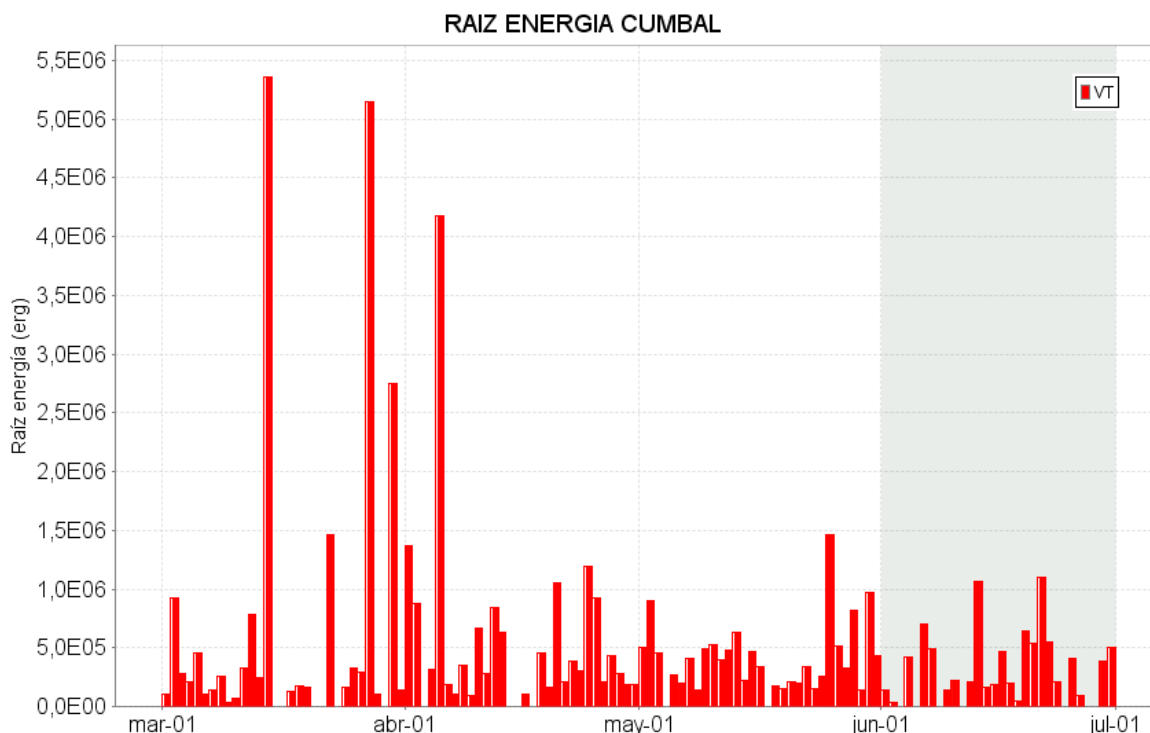


Figura 47. Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Cumbal entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

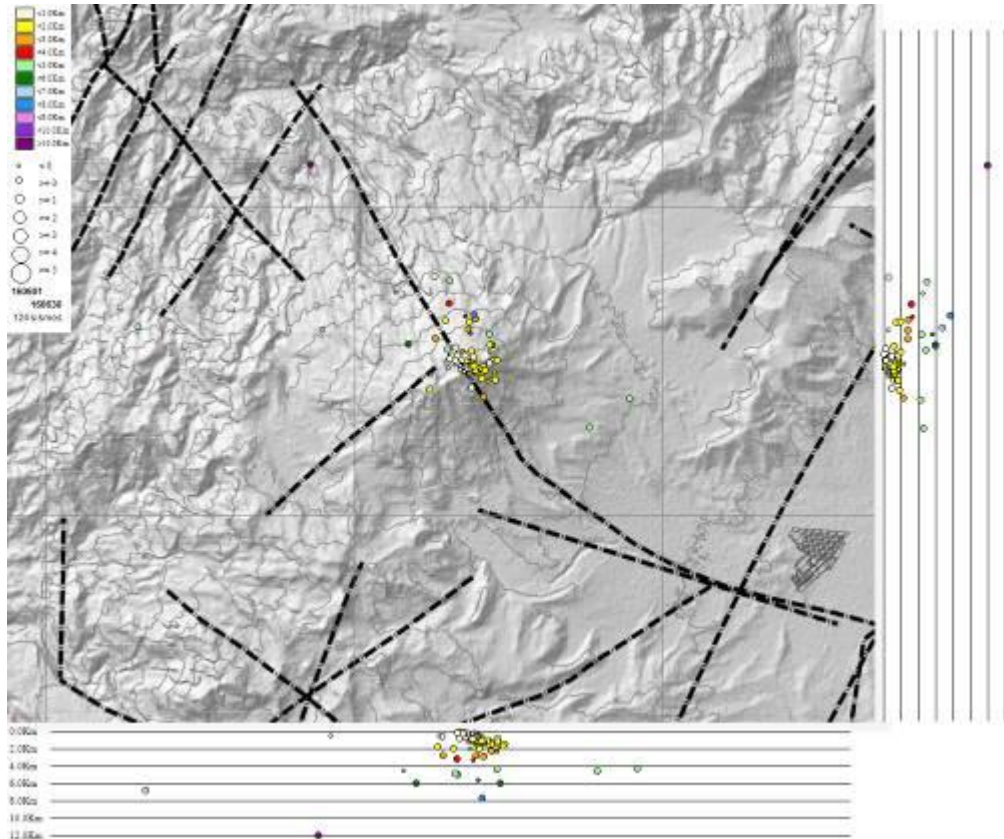


Figura 48. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 30 de junio de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).

De la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de dos eventos de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR), los cuales presentaron frecuencias dominantes de 2.12 Hz y 2.76 Hz (Figuras 49 y 50), y duraciones de 34 y 25 segundos. En la Figura 51 se observa el comportamiento a lo largo del tiempo de las frecuencias mostradas por este tipo de eventos, hasta la fecha este tipo de sismicidad no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema volcánico.

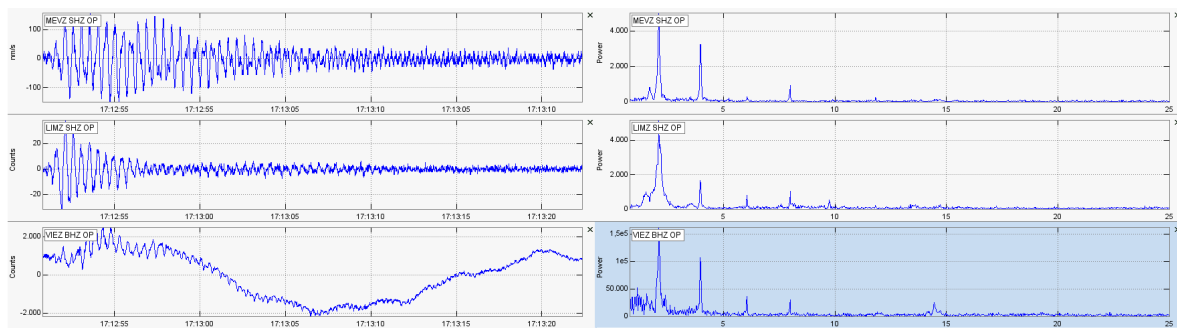


Figura 49. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 6 de junio de 2016, a las 12:12 p.m., registrando 34 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.12 Hz y subdominante de 3.98 Hz.

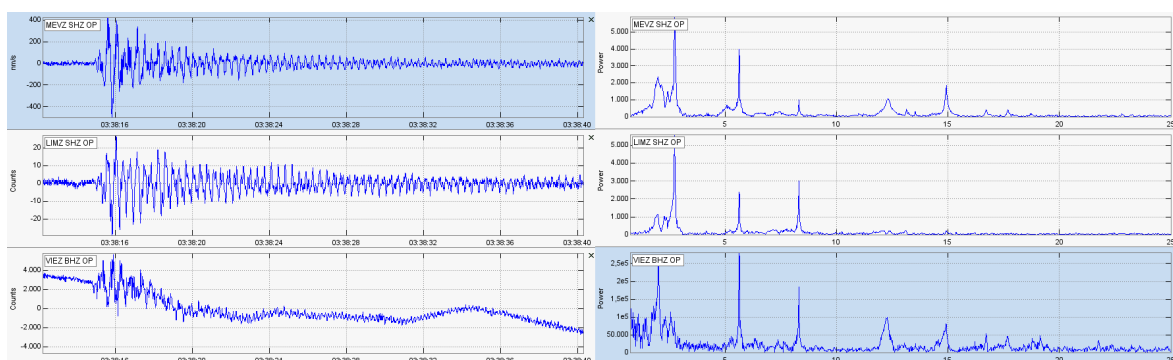


Figura 50. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 25 de junio de 2016, a las 10:38 p.m., registrando 25 segundos de duración y una frecuencia dominante de 2.76 Hz y subdominante de 5.61 Hz.

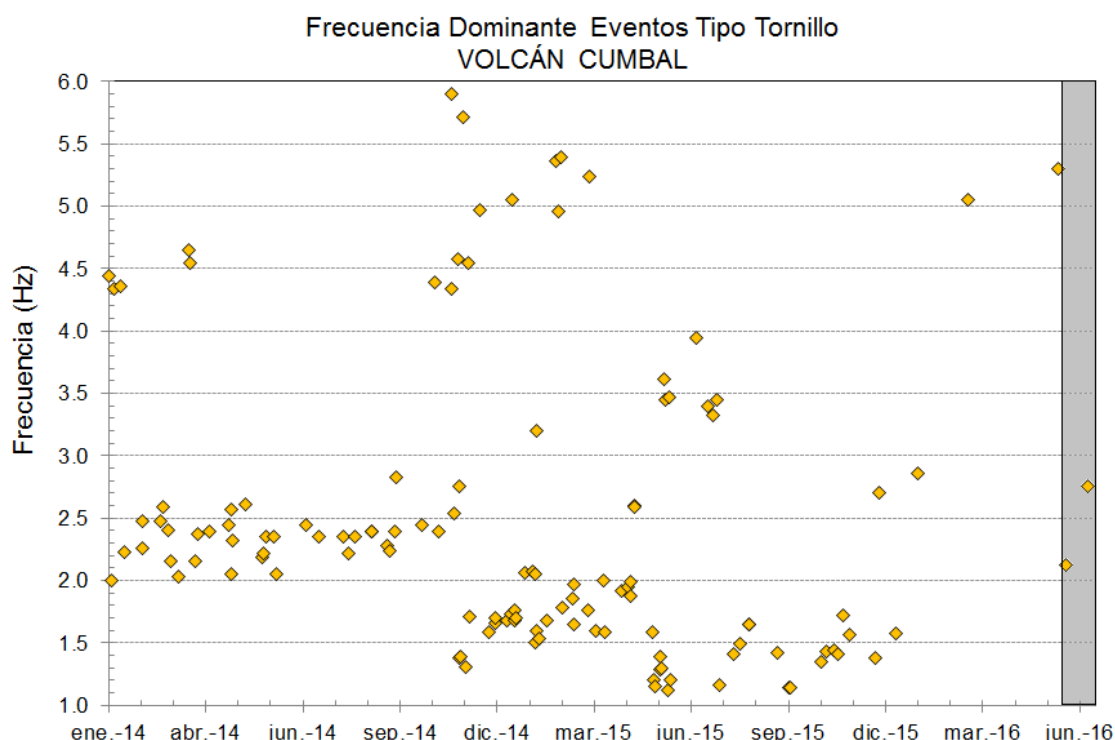


Figura 51. Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de junio de 2016, resaltando en el recuadro gris los eventos registrados en el mes de junio de 2016.

2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

En el inclinómetro La Mesa continúa la tendencia descendente en las componentes de inclinación, cambios mostrados desde inicios de febrero, registrando 35 μ rad para la Este y 16 μ rad en la Norte (Figura 52). De igual forma se observa un comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte de la estación Punta Vieja, acumulando 12 μ rad desde el 12 de abril de 2016, en

contraste de observa un ascenso en la componente Este, de 28 μ rad desde el 2 de febrero de 2016 (Figura 53).

Desde inicios del mes de febrero y gracias al mantenimiento correctivo adelantado por el grupo de electrónica fue posible realizar el cambio de sensor de la estación La Nieve, mostrando las componentes de inclinación un comportamiento ascendente, para la Este de 76 μ rad y para la Norte de 25 μ rad hasta el 15 de junio (Figura 54).

Para el inclinómetro de Limones se evidencia una tendencia ascendente en sus dos componentes, la cual desde el 9 de junio alcanza 8 μ rad en la Norte y 6 μ rad en la Este (Figura 55).

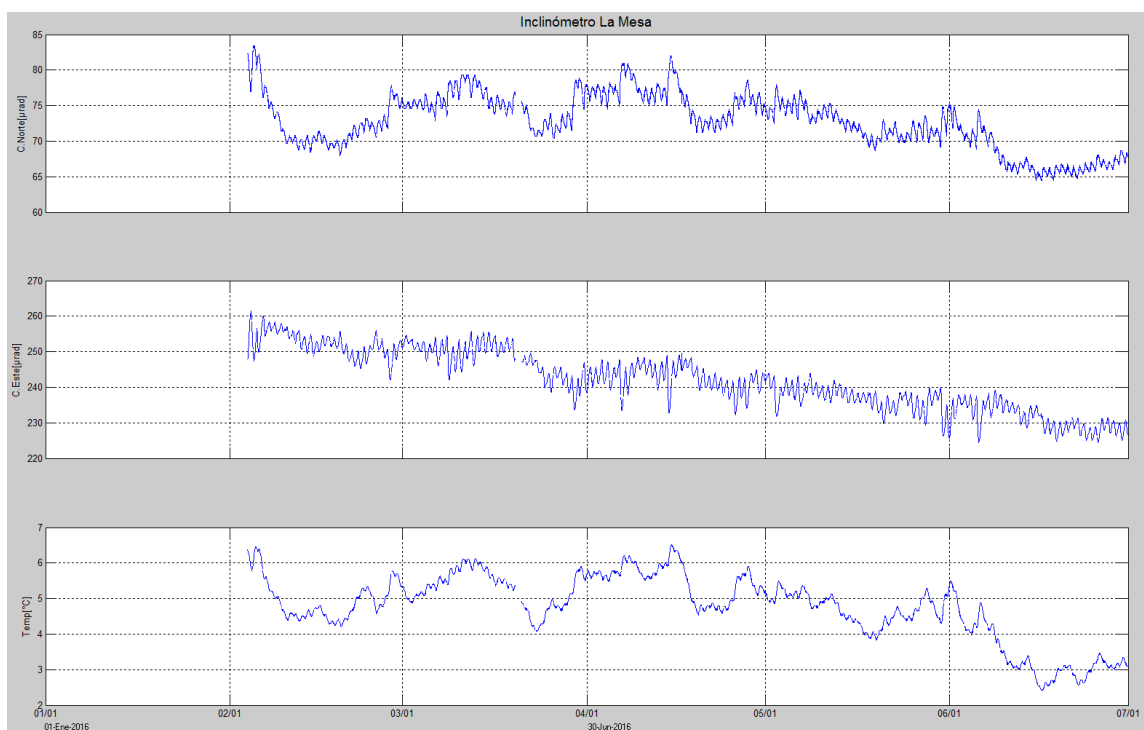


Figura 52. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

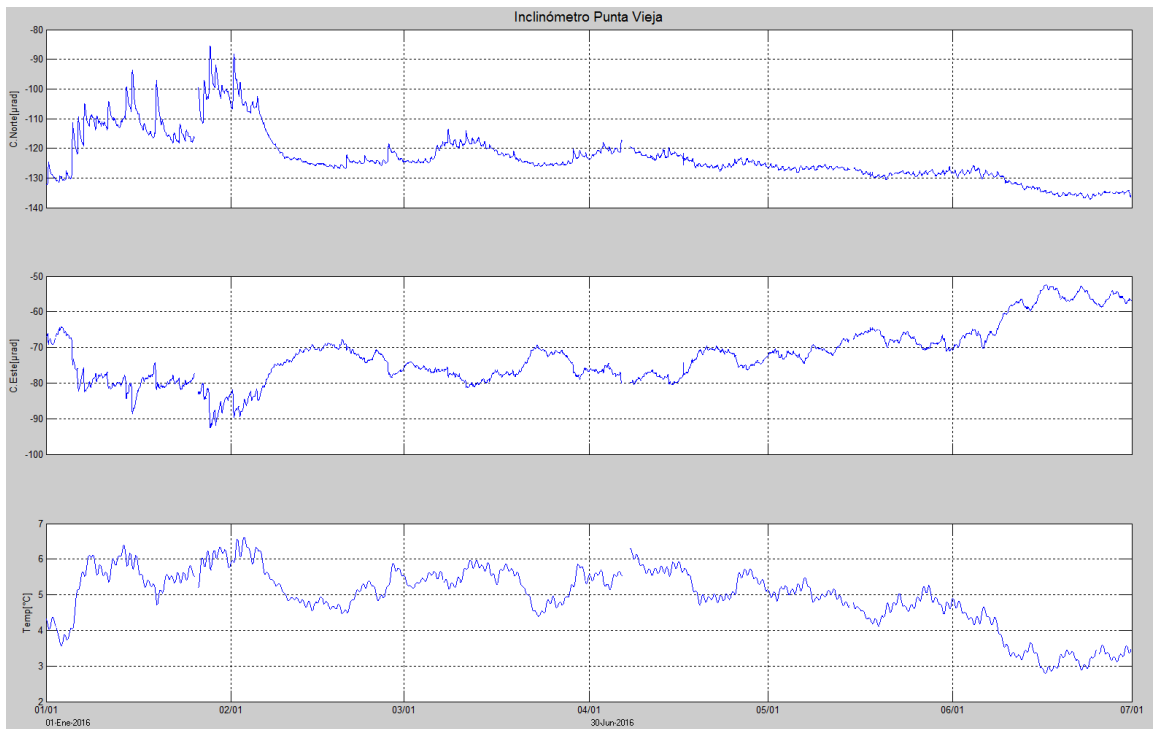


Figura 53. Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de junio de 2016.

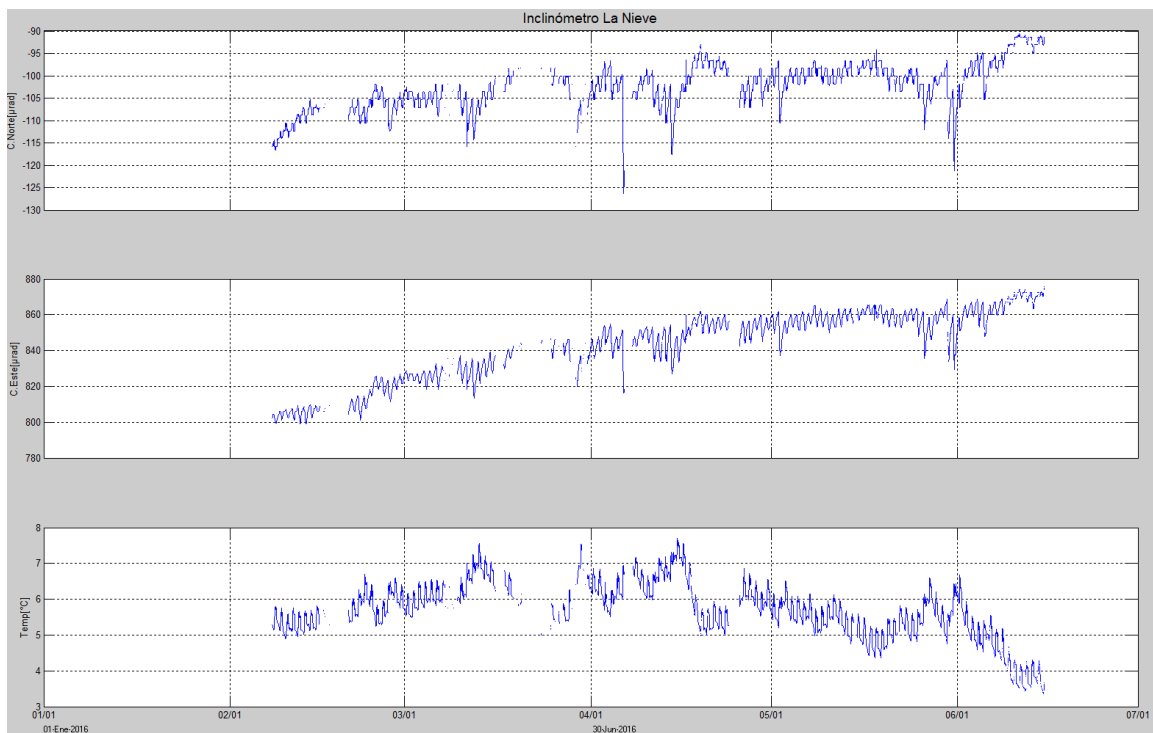


Figura 54. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de junio de 2016.

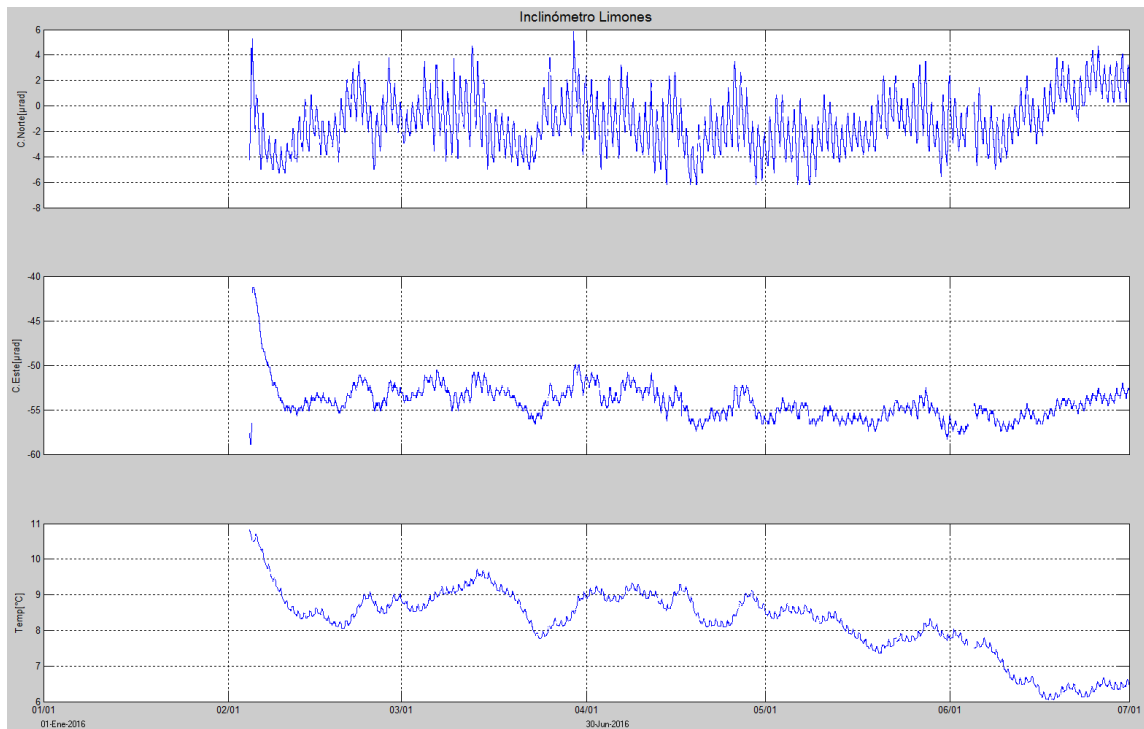


Figura 55. Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de junio de 2016.

2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

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

2.5. 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 junio 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 JUNIO 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 56). El volcán Chiles tiene una altura de 4748 msnm y el volcán Cerro Negro, de 4470 msnm.

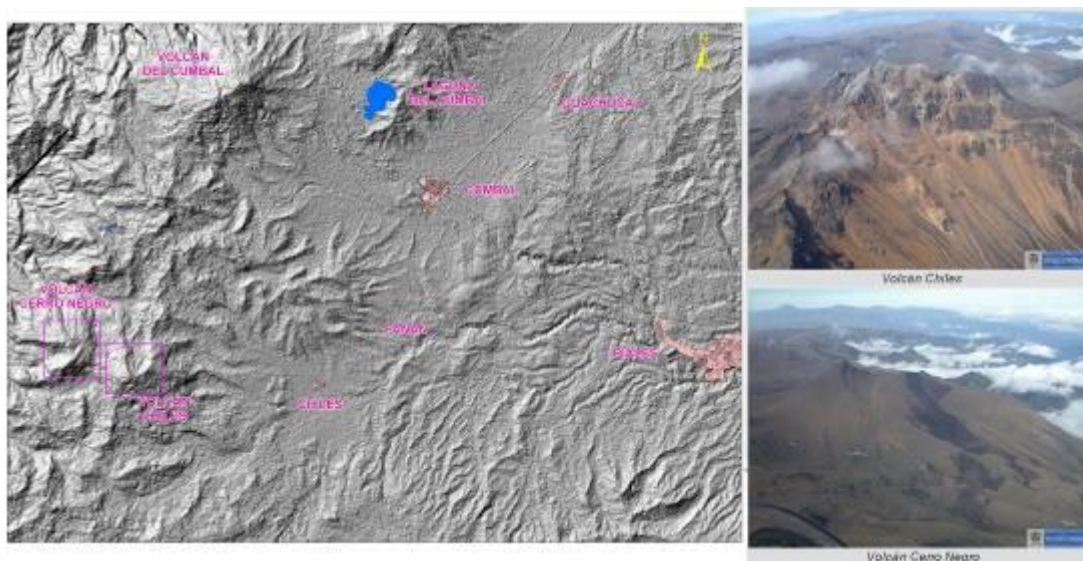


Figura 56. Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

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 57, 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 57) y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 57, Tabla 16). De igual forma se contó con una cámara Web instalada en la población de Nazate (Figura 57). Esta cámara dejó de funcionar desde el pasado 22 de enero, debido a

problemas con el servicio de internet en la zona por parte de los proveedores comerciales; adicionalmente, el dueño del predio manifestó que ya no daba más permiso para tener el equipo funcionando, por lo cual se decidió retirar los equipos el 25 de febrero de 2016.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvieron un funcionamiento promedio del 97% (Figura 58).

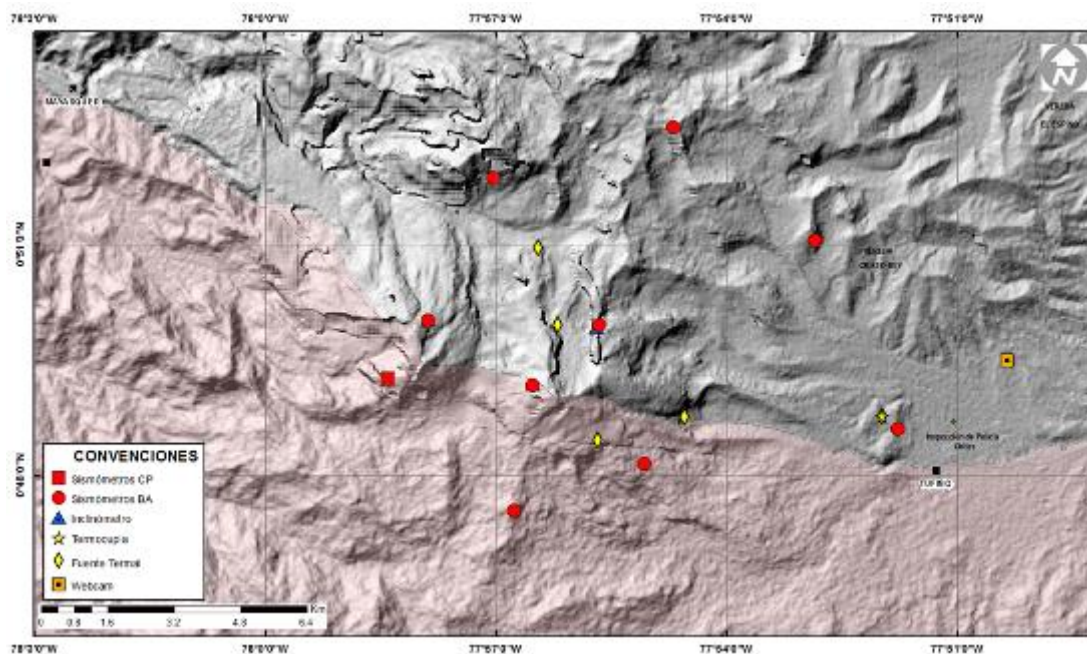


Figura 57. Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de junio de 2016.

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

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750
Termales	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329

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

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

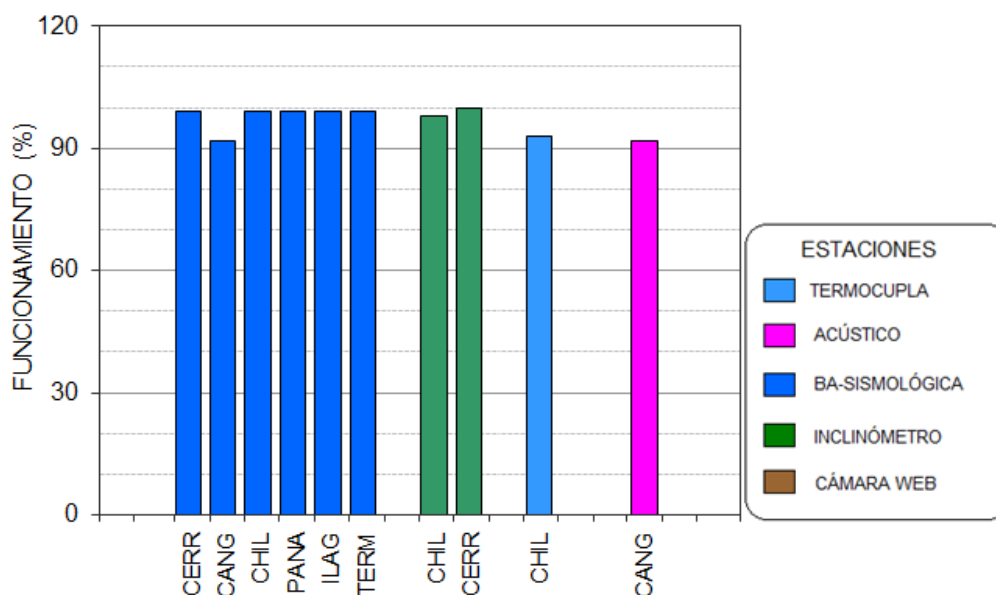


Figura 58. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de junio de 2016.

3.3. SISMOLOGÍA

Teniendo en cuenta el periodo desde que se inició la vigilancia instrumental de la actividad volcánica en la zona de influencia de Chiles y Cerro Negro con la instalación permanente de estaciones en noviembre 5 de 2013, hasta el 30 de junio de 2016, se han registrado en total 549.581 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 59).

La ocurrencia sísmica en el mes de junio de 2016 mostró descenso, cercano al 32% del número registrado en mayo, pasando de 364 a 247 sismos, en su mayoría asociados con fractura de roca (VT) (Tabla 17, Figuras 60 y 61). El día 2 de junio se registró la tasa más elevada de ocurrencia diaria contabilizando 34 eventos.

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

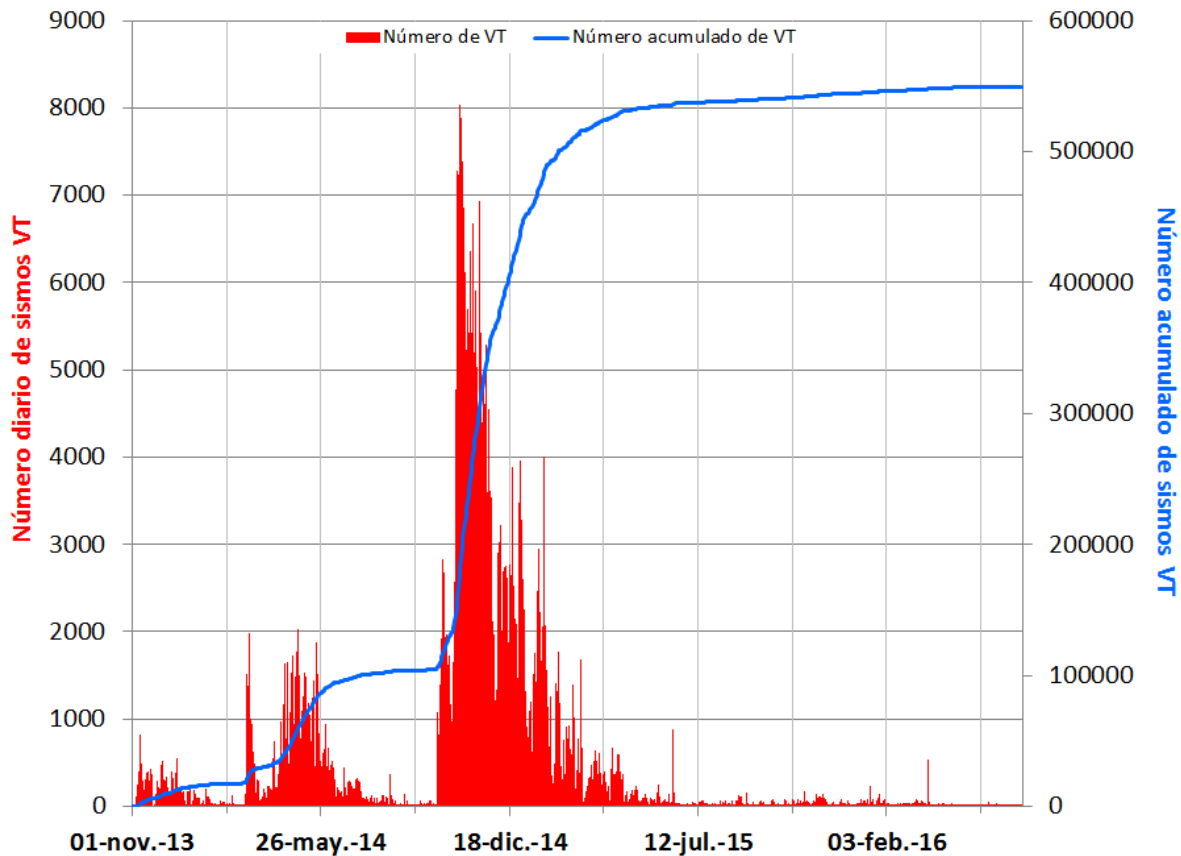


Figura 59. Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y junio 30 de 2016.

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	vt	lps	tre	hyb	TOTAL
01-mar-16 a 31-mar-16	1587	18	0	15	1620
01-abr-16 a 30-abr-16	438	10	0	15	463
01-may-16 a 31-may-16	358	2	0	4	364
01-jun-16 a 30-jun-16	242	2	0	3	247

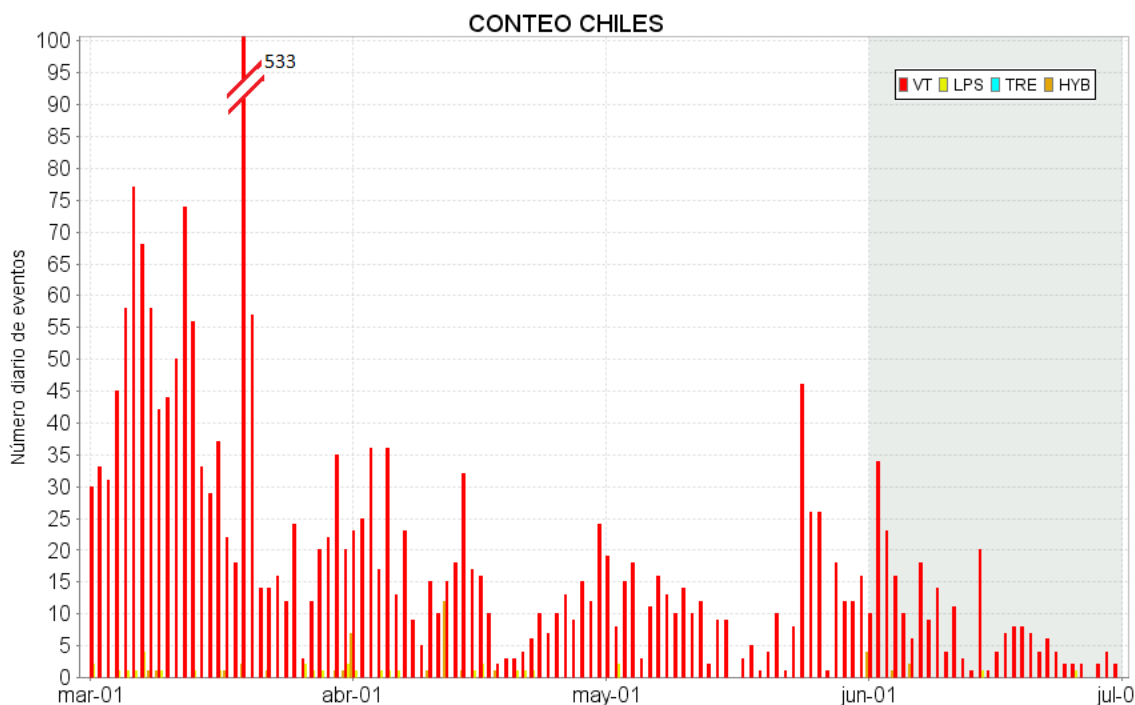


Figura 60. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de marzo y junio de 2016.

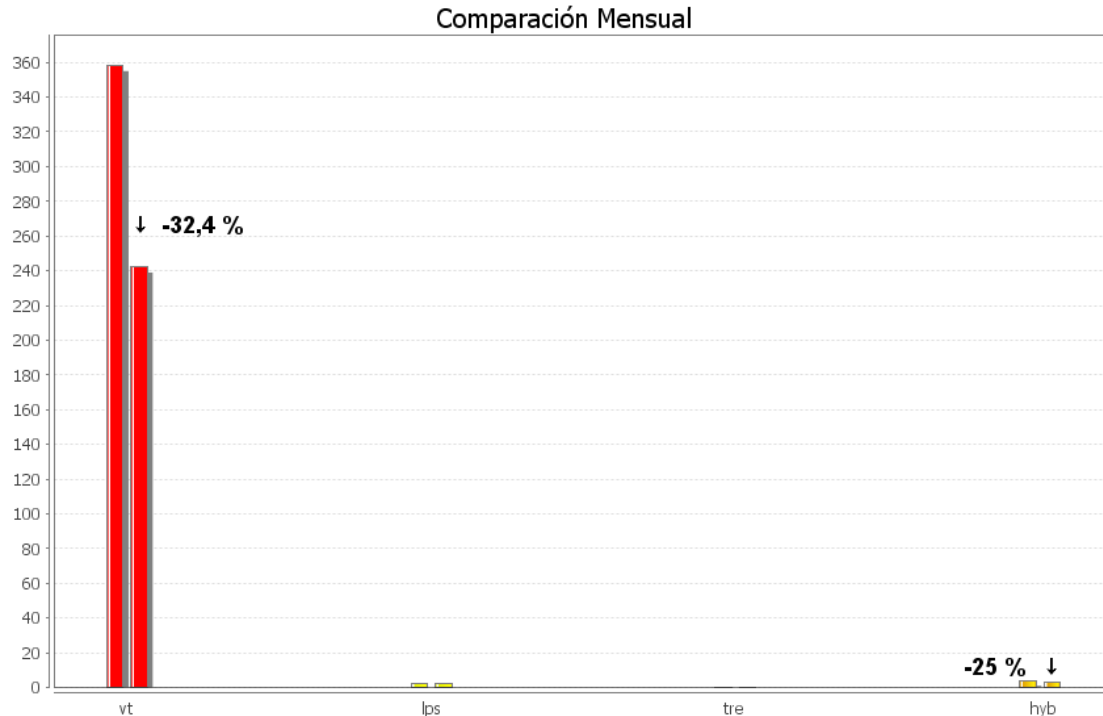


Figura 61. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de junio de 2016 (barras de la derecha) respecto al mes de mayo de 2016 (barras de la izquierda).

En el periodo evaluado fue posible obtener una solución de localización para 111 sismos, tipo VT (Figura 62), la mayoría ubicados hacia el sector suroccidente del volcán Chiles con algunos epicentros ubicados en inmediaciones de su cima, con profundidades entre 0.8 y 5 km (nivel de referencia sobre los 4.700 msnm), los eventos más profundos se ubicaron hacia el costado suroriental del volcán Chiles. La magnitud local de los sismos fue menor a 1.5 en la escala de Richter, el 93% de la sismicidad localizada presentó magnitud menor a 1.

La energía sísmica liberada fue estimada con la magnitud de los sismos localizados; con respecto al mes anterior se observa un descenso del 76% (Tabla 18, Figura 63).

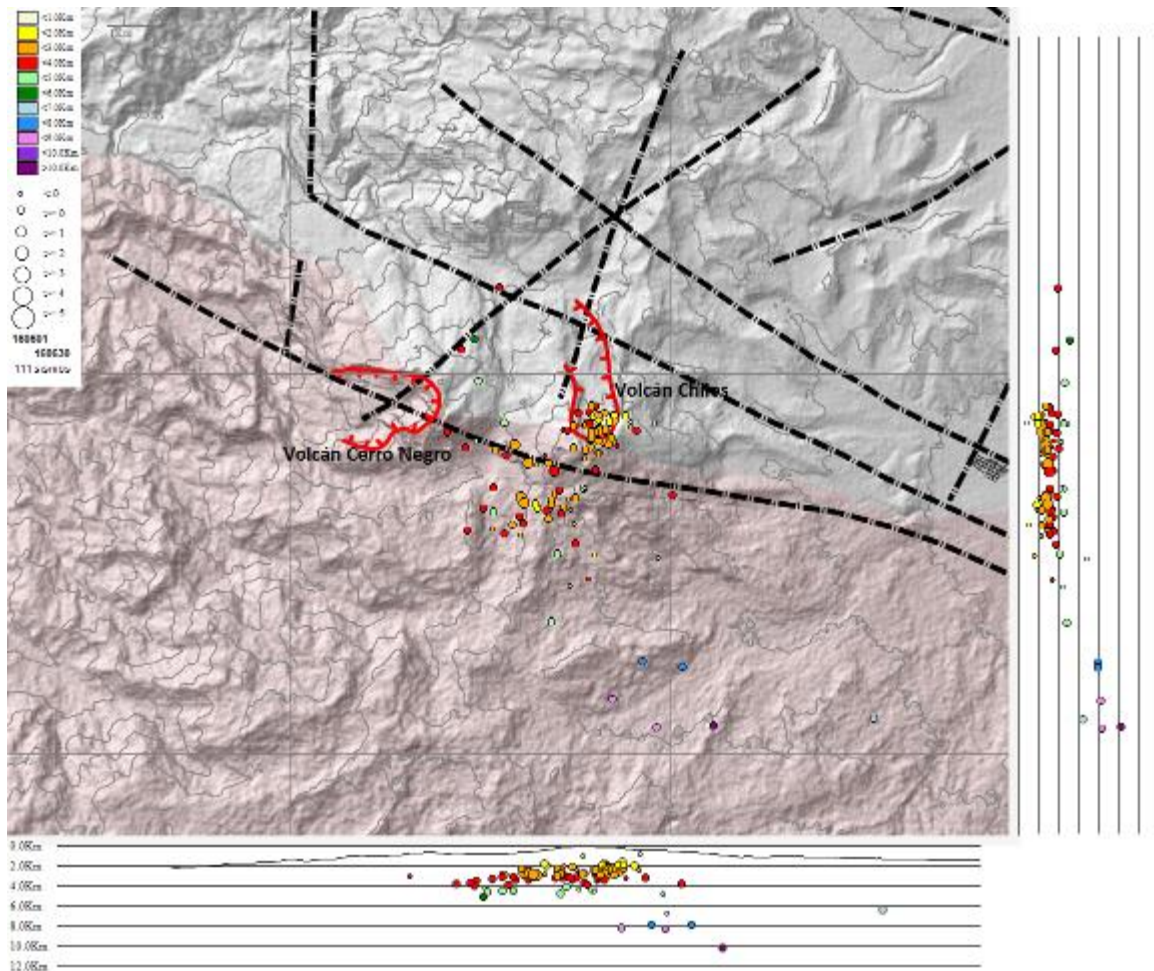


Figura 62. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en junio de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

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

Periodo Evaluado	Energía liberada por los sismos VT	
	VT	TOTAL
01-mar-16 a 31-mar-16	3.67E+15	3.67E+15
01-abr-16 a 30-abr-16	8.58E+13	8.58E+13
01-may-16 a 31-may-16	8.18E+13	8.18E+13
01-jun-16 a 30-jun-16	1.95E+13	1.95E+13

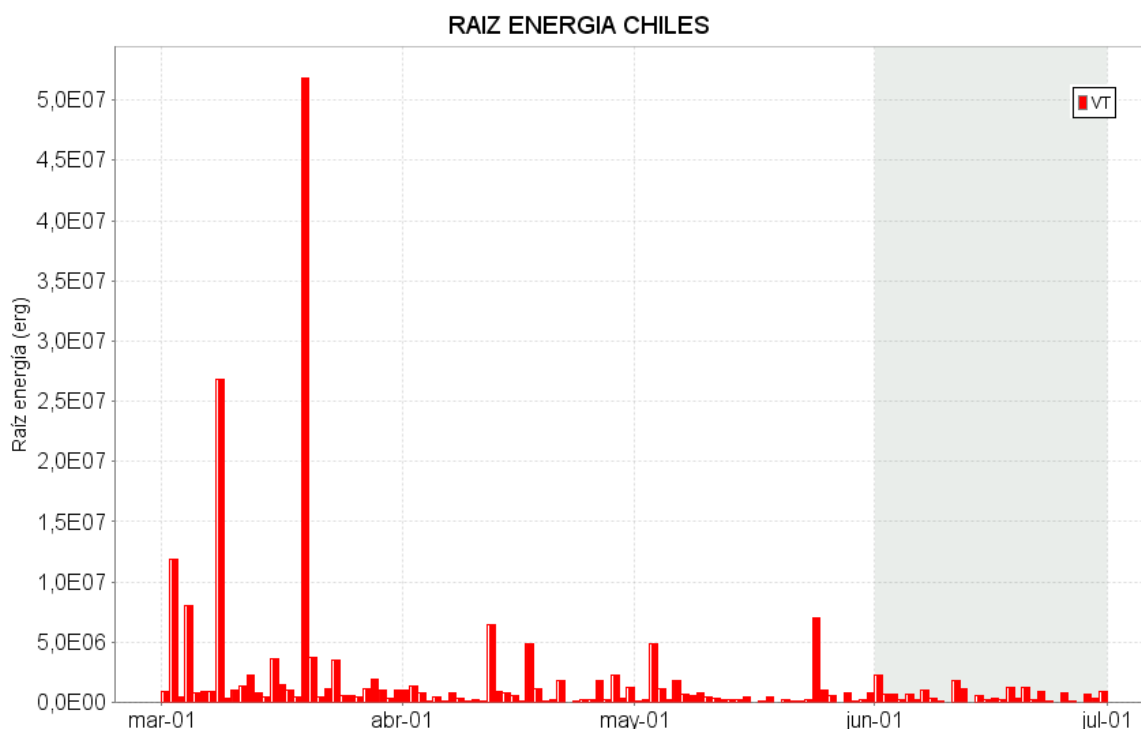


Figura 63. Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Se observa estabilidad para la componente Norte del inclinómetro Chiles, mientras que en la Este se evidencia un ascenso desde el 6 de junio, acumulando hasta el 30 cerca de 50 μ rad (Figura 64).

Para las estaciones instaladas sobre la superficie del volcán Cerro Negro, se tiene que en el inclinómetro Cneg2 paralelo al inclinómetro Cerro Negro (sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro), siguió mostrando el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Este, comportamiento que se viene registrando desde el 20 de agosto de 2014, cuya variación es de 945

μrad hasta junio de 2016; por su parte la componente Norte muestra una tendencia descendente en su registro alcanzando desde el mes de enero de 2015 cerca de 228 μrad (Figura 65).

Con respecto a los cambios mostrados por el inclinómetro Cerro Negro se observa un comportamiento ascendente en la componente Norte, registrando 40 μrad desde el 20 de abril de 2016, de igual forma se evidencia esta tendencia en la componente Este, alcanzando 93 μrad (Figura 66)



Figura 64. 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 30 de junio de 2016.

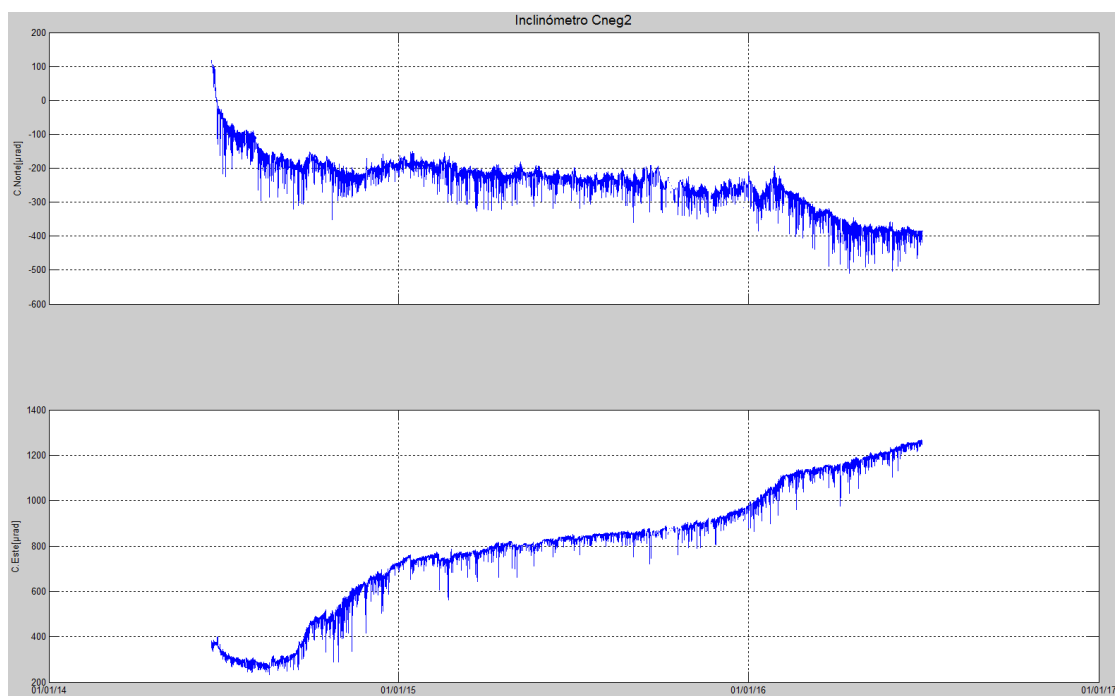


Figura 65. Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio de 2014 y el 30 de junio de 2016.

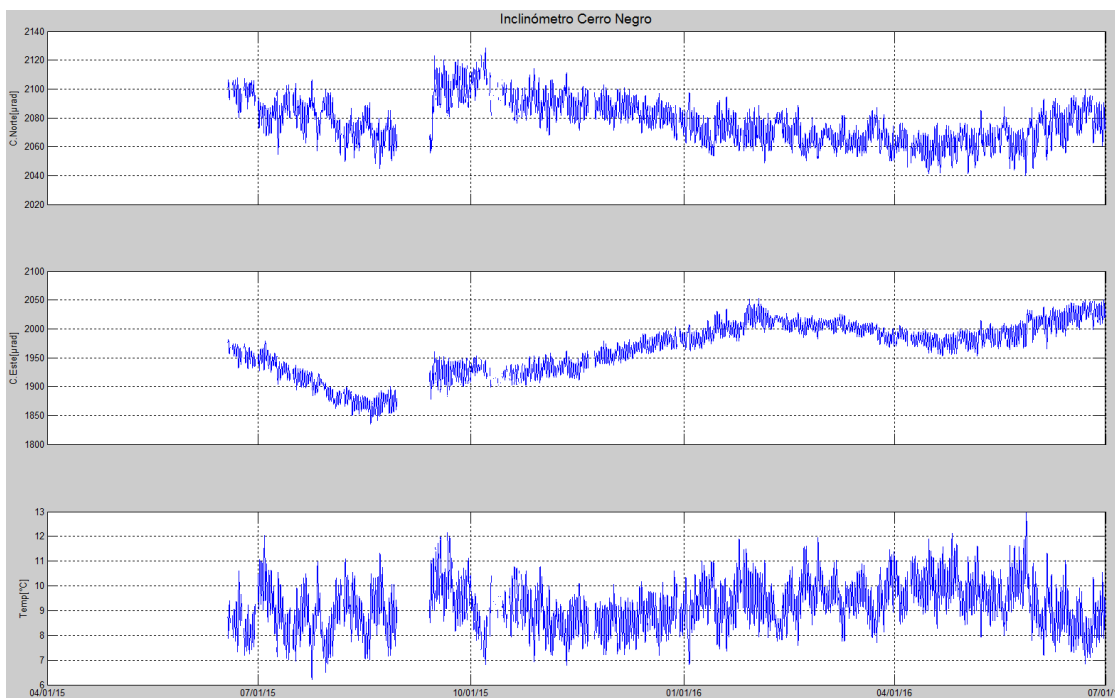


Figura 66. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 30 de junio de 2016.

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 67 se registran las variaciones que corresponden a valores medidos en el transcurso del día (desde las 9:30 a.m. a las 5:30 p.m. aproximadamente), con un promedio de 42.8°C (Tabla 19). Durante el mes de junio se registra un valor máximo de 43.9°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.

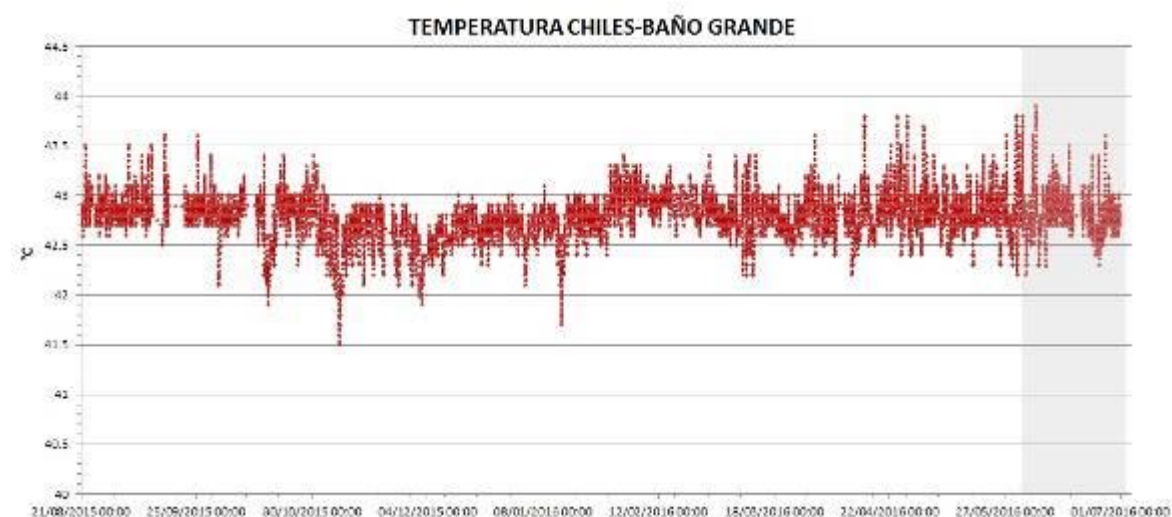


Figura 67. Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – junio de 2016.

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

TEMPERATURA	[°C]
Promedio	42.8
Máximo	43.9
Mínimo	42.2

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

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

3.7. CONCLUSIONES

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

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de junio 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 – JUNIO 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 68), 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.

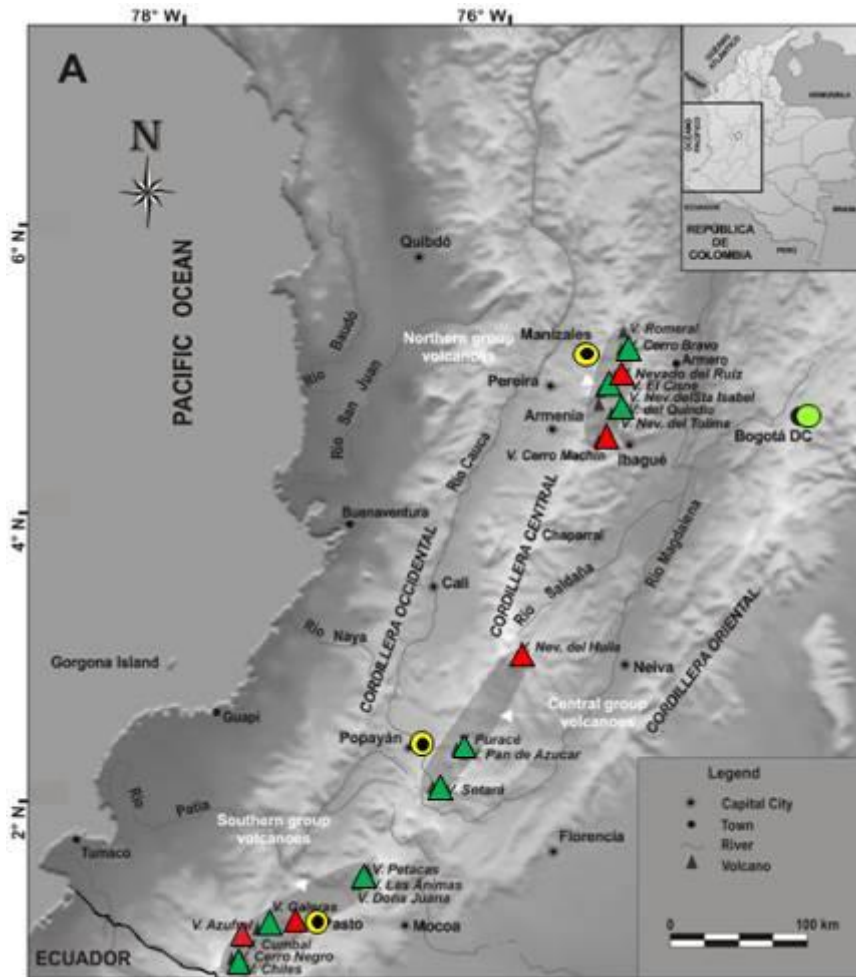


Figura 68. Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.

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 69).

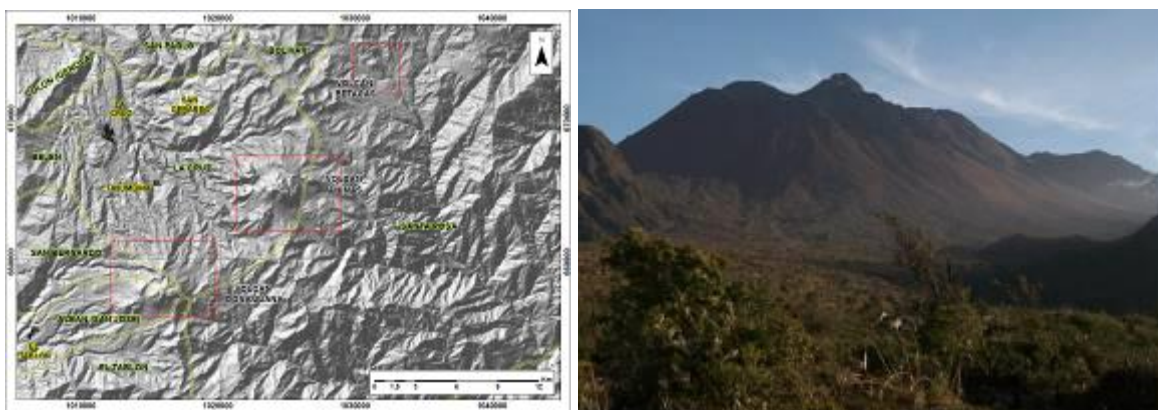


Figura 69. Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

4.1.2. Red de vigilancia

Actualmente la red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas localizadas en los puntos Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental y dos inclinómetros electrónicos, y desde finales del mes de noviembre de 2015, se cuenta con una estación GNSS permanente encargada de detectar los cambios sobre la superficie volcánica (Tabla 20, Figura 70). 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 junio 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

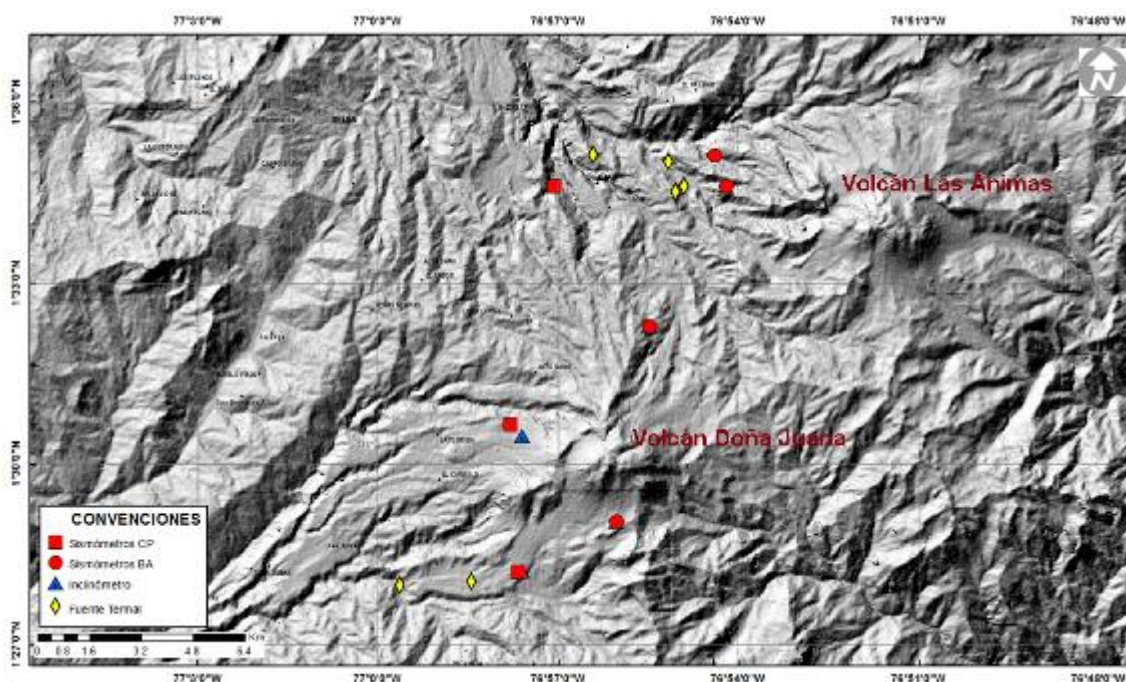


Figura 70. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de junio de 2016.

En el periodo evaluado, la red de estaciones telemétricas instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento del 95% (Figura 71).

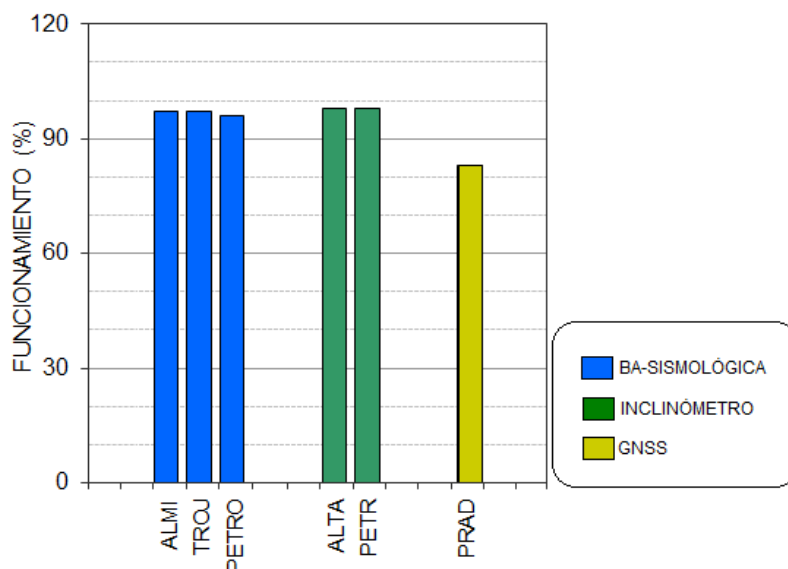


Figura 71. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante junio de 2016.

4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado no se tiene registro de actividad sísmica del volcán Las Ánimas.

4.1.4. Deformación Volcánica

4.1.4.1. Inclínometría Electrónica

Para el periodo evaluado se observa que continúa el comportamiento ascendente en la componente Norte del inclinómetro Petroglifo, alcanzando cerca de 29 μ rad desde el 1 de mayo (Figura 72), de igual forma se observa esta tendencia en la componente Norte de Altamira, registrando cerca de 15 μ rad (Figura 73).

4.1.4.2. Estaciones GNSS Permanentes

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

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En la Figura 74, 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 27 - ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño).

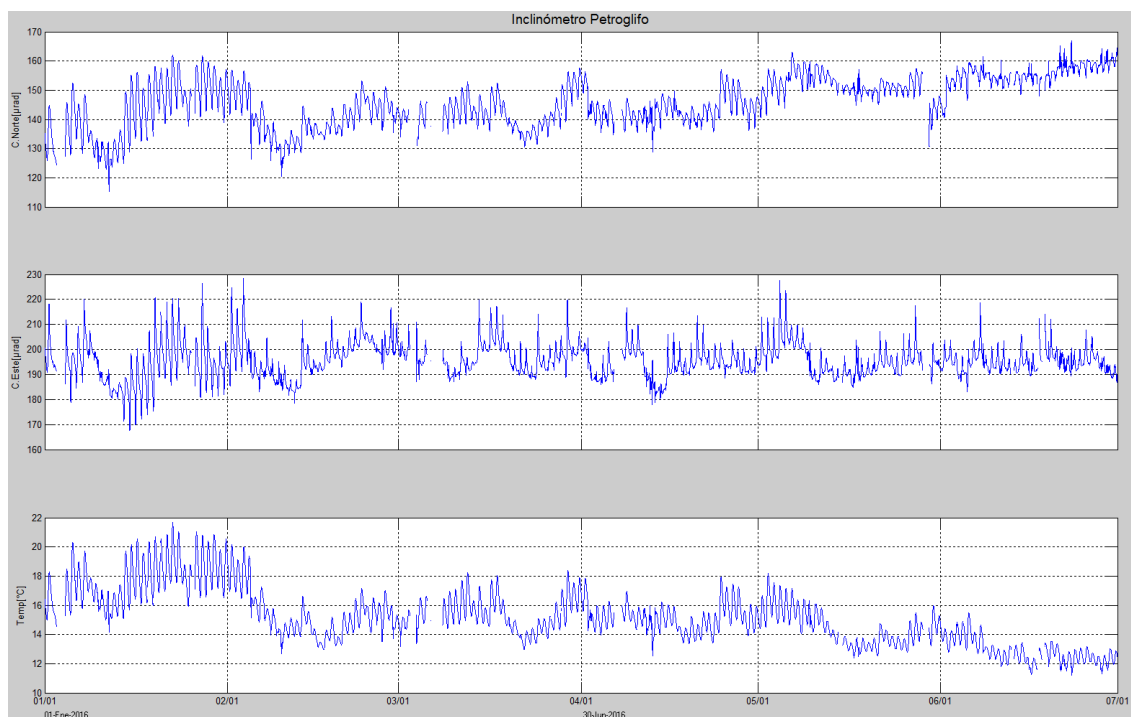


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

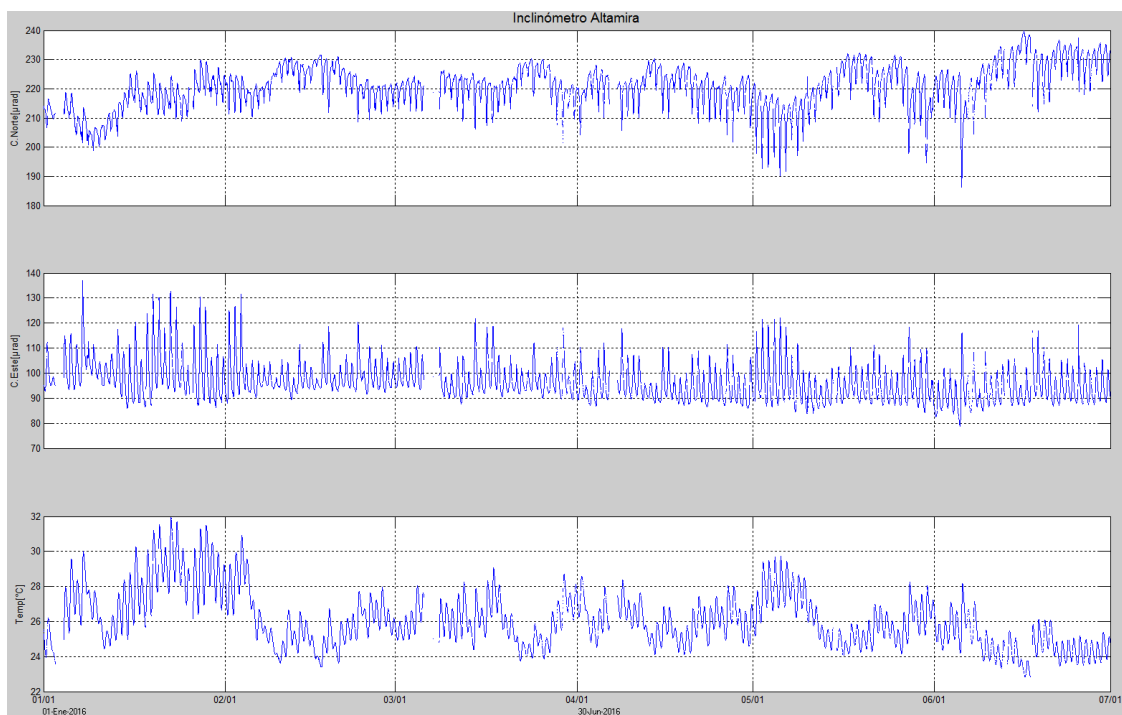


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

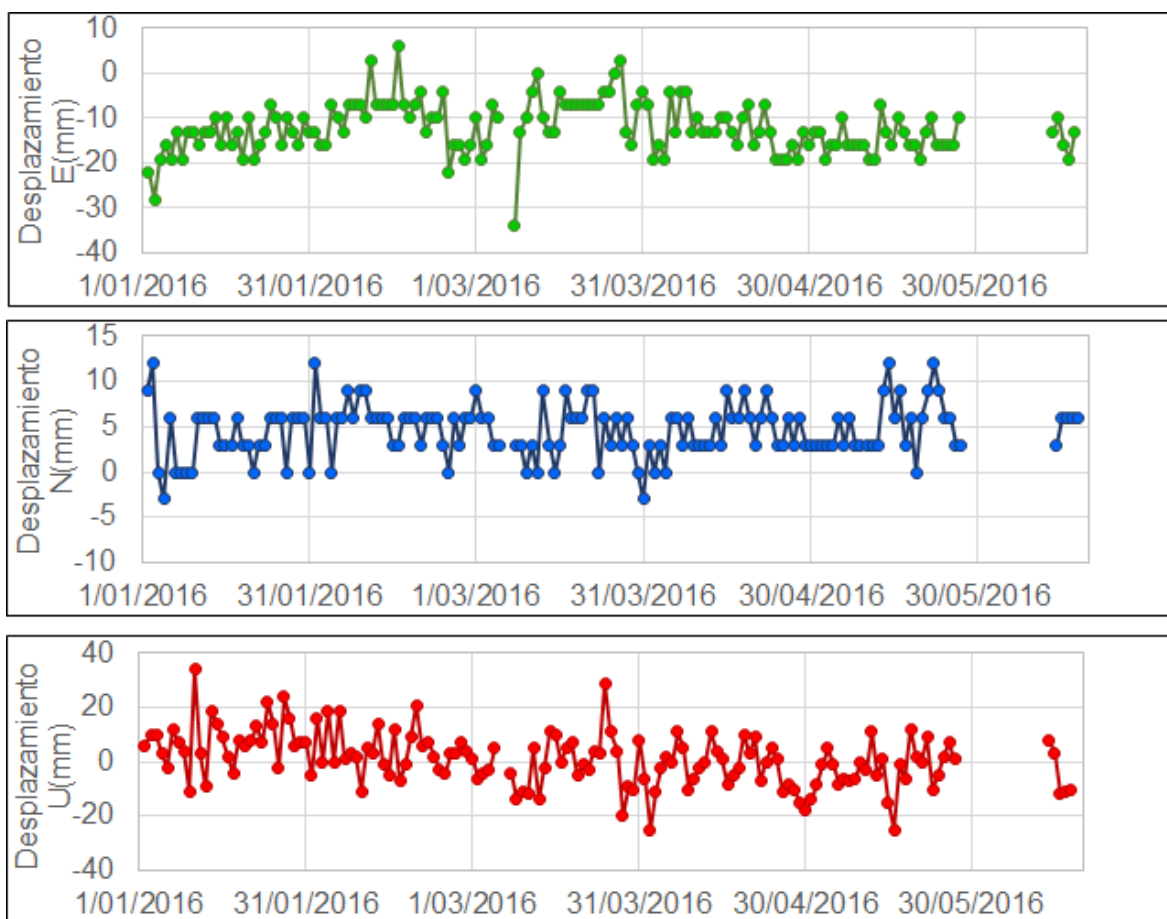


Figura 74. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 17 de junio de 2016.

4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de junio 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 junio de 2016 permitió establecer el **NIVEL VERDE** ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”.

4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA

4.2.1. Red de vigilancia

La red de vigilancia del volcán Doña Juana consta de dos estaciones sísmicas de corto periodo y una de banda ancha y tres estaciones para seguimiento de los cambios sobre la superficie del edificio volcánico, adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz, que pertenece a la RSNC (Figura 75, Tabla 21). Y desde el 25 de febrero se cuenta con la señal de la estación GNSS permanente La Palma, estación instalada hacia el sector nororiente del volcán Doña Juana. Para el mes de junio de 2016 las estaciones presentaron un funcionamiento del 96% (Figura 76).

Tabla 21. Estaciones de monitoreo que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al centro del volcán (Km)	Dirección respecto al volcán	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,1	SE	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,1	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	2,3	W	3140
I. Florida	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,3	W	3140
Lavas	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4,1	SW	3145
I. Lavas	Analógica	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4,1	SW	3145
La Cruz	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Uniaxial	7.5	NNW	2761
La Palma	Digital	GNSS	Triaxial	2,7	NNW	3478

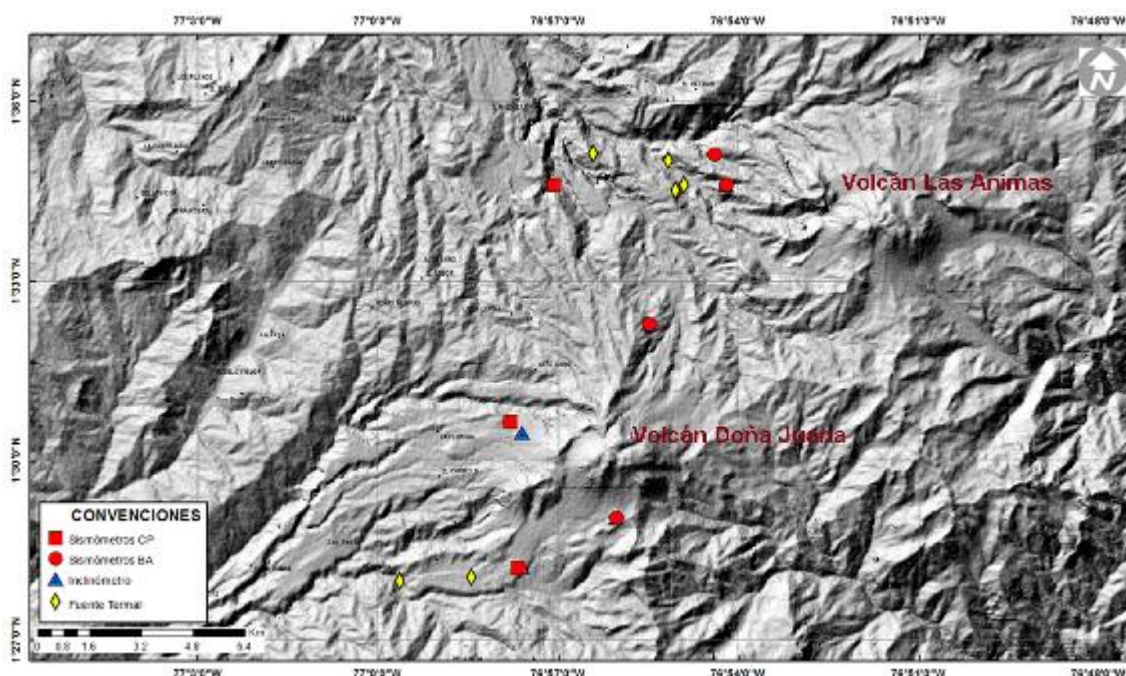


Figura 75. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

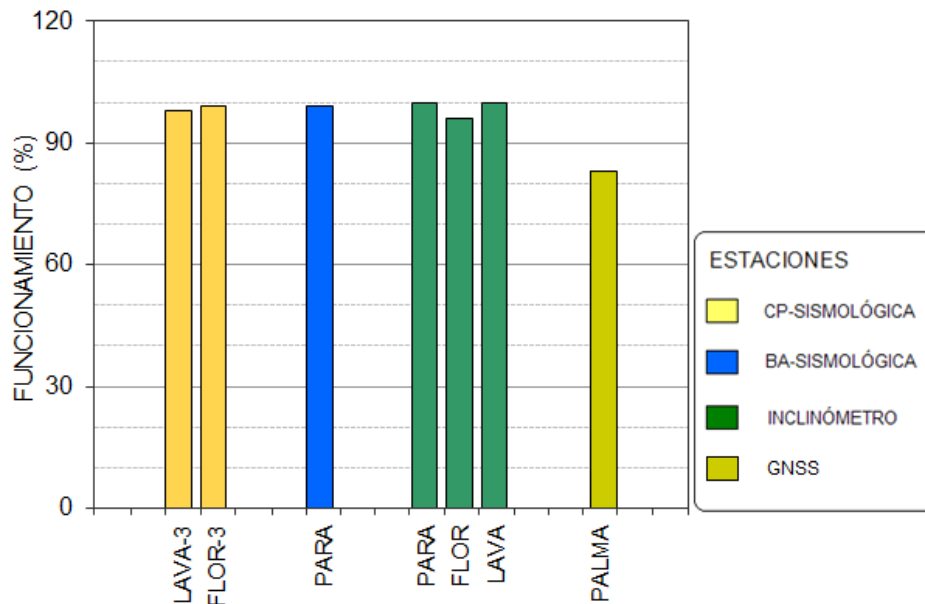


Figura 76. Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en junio de 2016.

4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de un evento, que por la forma de onda y sus características espectrales se clasificó como VT, asociado con fractura de material rocoso, el cual se ubicó a 3.5 km al occidente del volcán, con una profundidad de 4.2 km y magnitud local de -0.2 en la escala de Richter (Figuras 77 y 78). La energía liberada por este sismo fue de 3.3×10^{09} ergios.

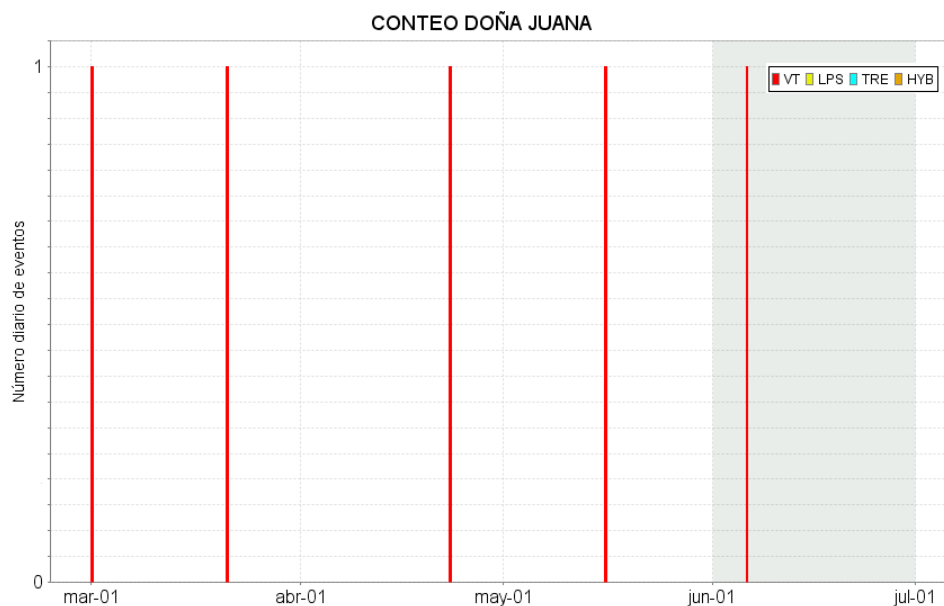


Figura 77. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de marzo y junio de 2016.

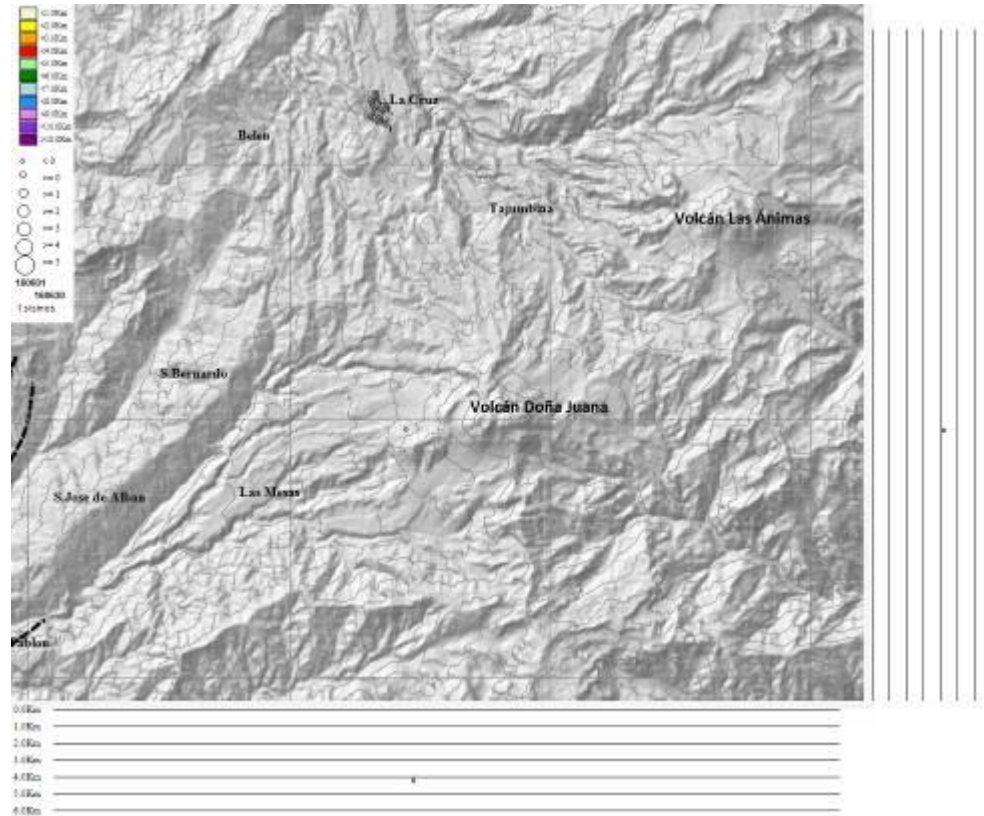


Figura 78. Localización epicentral e hipocentral del sismo registrado en el volcán Doña Juana, en el mes de junio de 2016, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 1 km de profundidad.

4.2.3. Deformación Volcánica

4.2.3.1. Inclínometría Electrónica

Continúa el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Norte del inclinómetro Florida, registrando 30 μ rad desde el 13 de abril de 2016, mientras que en la componente Este se muestra estabilidad (Figura 79). De igual forma en el inclinómetro Lavas se evidencia estabilidad en las dos componentes de inclinación (Figura 80).

Desde el 1 de febrero se observa un comportamiento ascendente en las componentes de inclinación de la estación Páramo, registrando 15 μ rad la Norte y 120 μ rad en la Este (Figura 81).

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 82, 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 27 - ubicada fuera del edificio volcánico, instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, cerca de la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño).

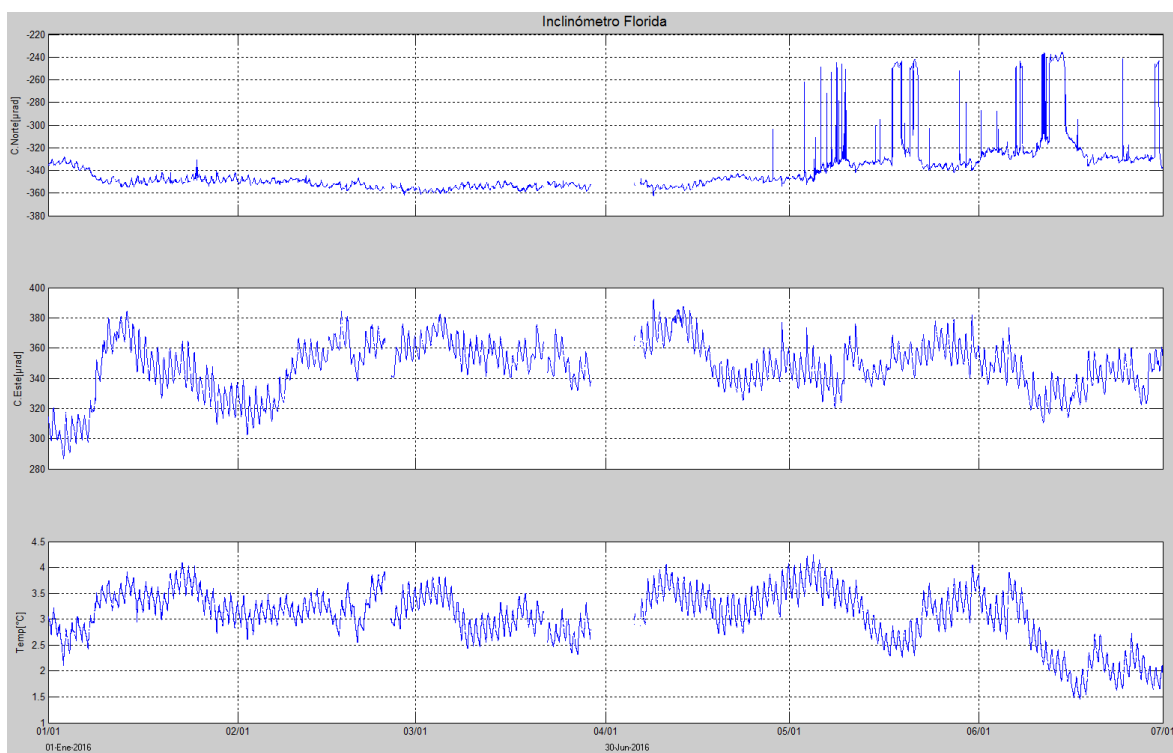


Figura 79. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

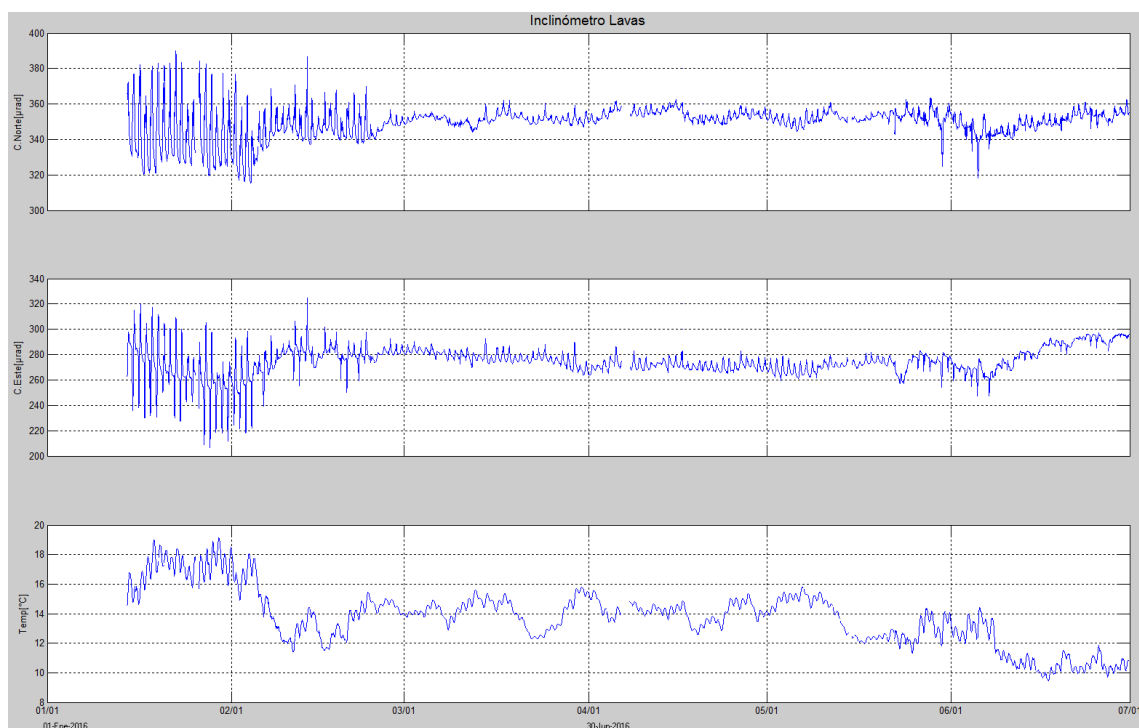


Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

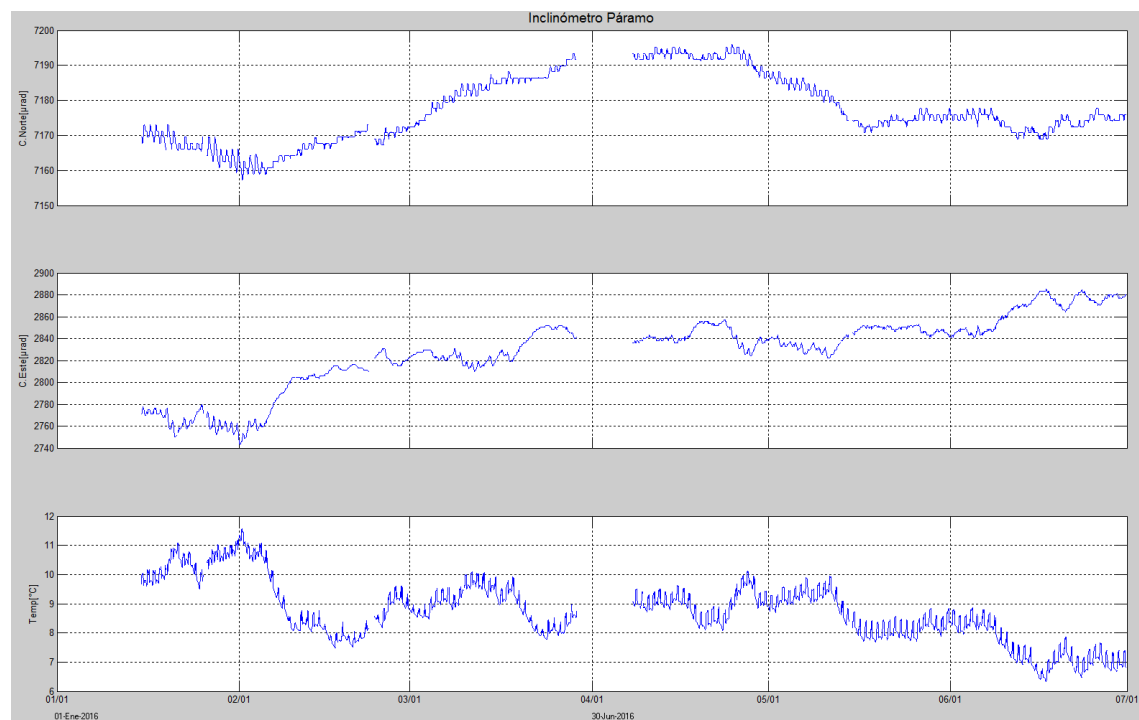


Figura 81. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de junio de 2016.

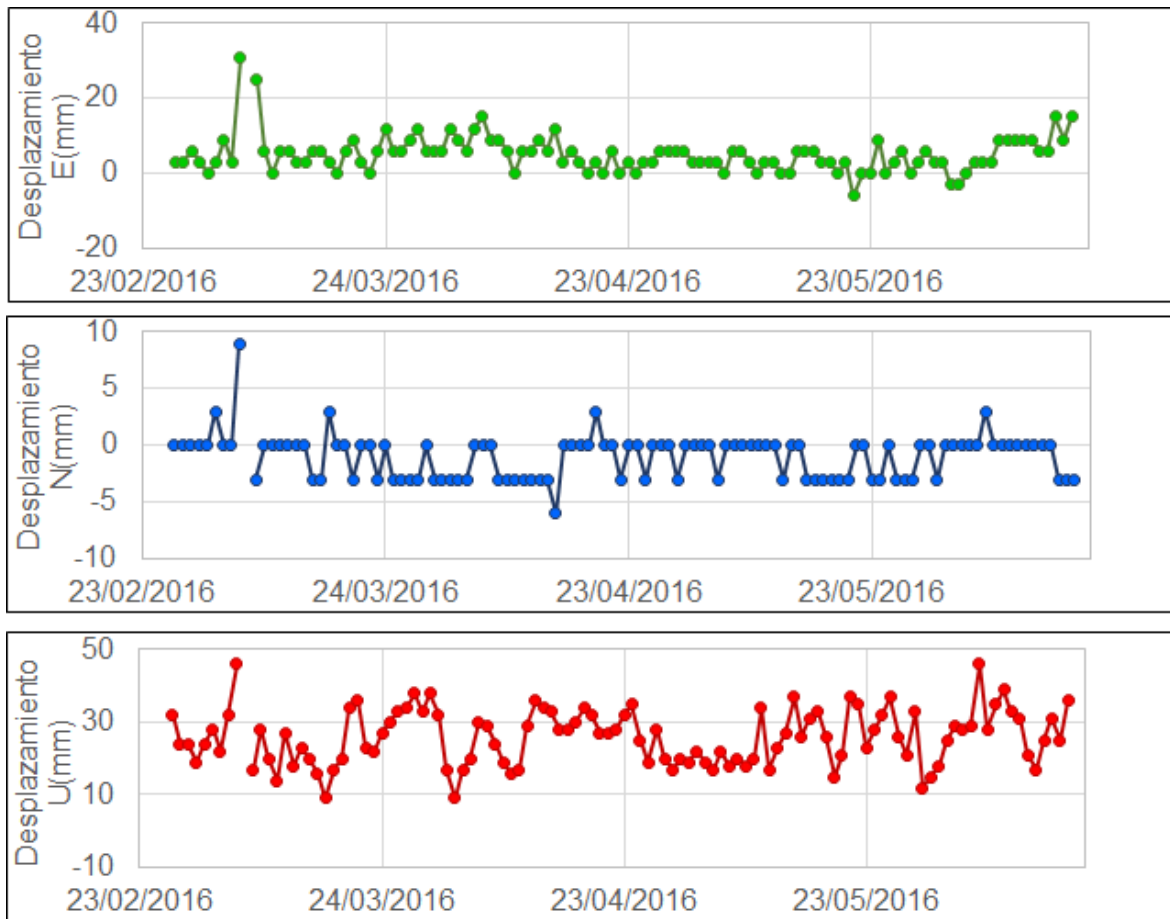


Figura 82. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 27 de febrero y el 17 de junio de 2016.

4.2.4. Actividad Superficial

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

4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

4.3.1. Red de vigilancia

La red de vigilancia sísmica del volcán Azufral está compuesta por cinco estaciones, La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con inclinómetros electrónicos y Laguna con una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial (Figuras 83 y 84, Tabla 22). Se tiene una estación climatológica cerca de la estación La Roca, sensores para medir velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica y radiación solar. También hay una estación de medición de temperatura permanente en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica (Figura 83).

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, así mismo se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por cuatro bases y 12 prismas reflectores (Figura 84).

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

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 84% para este mes (Figura 85).

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

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

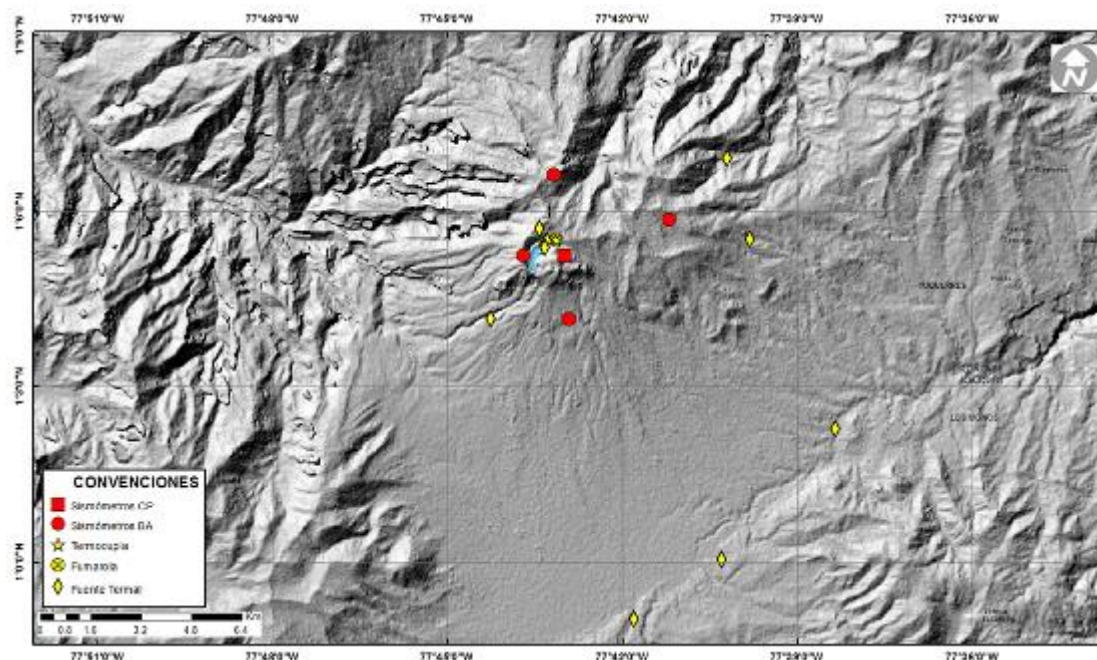


Figura 83. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de junio de 2016.

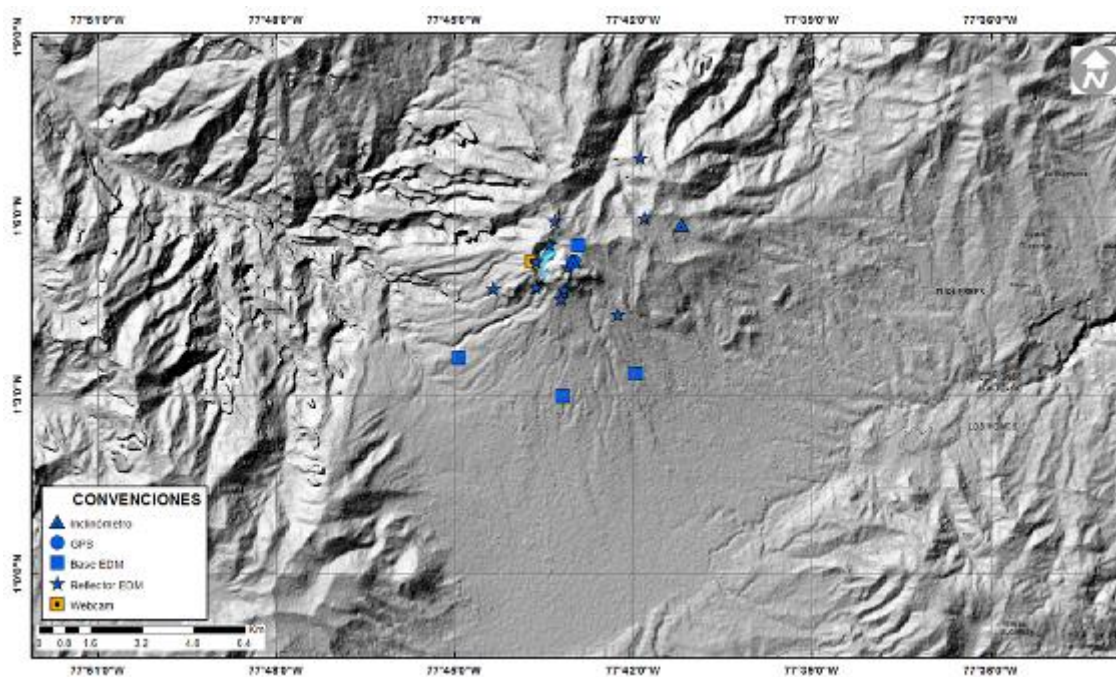


Figura 84. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de junio de 2016.

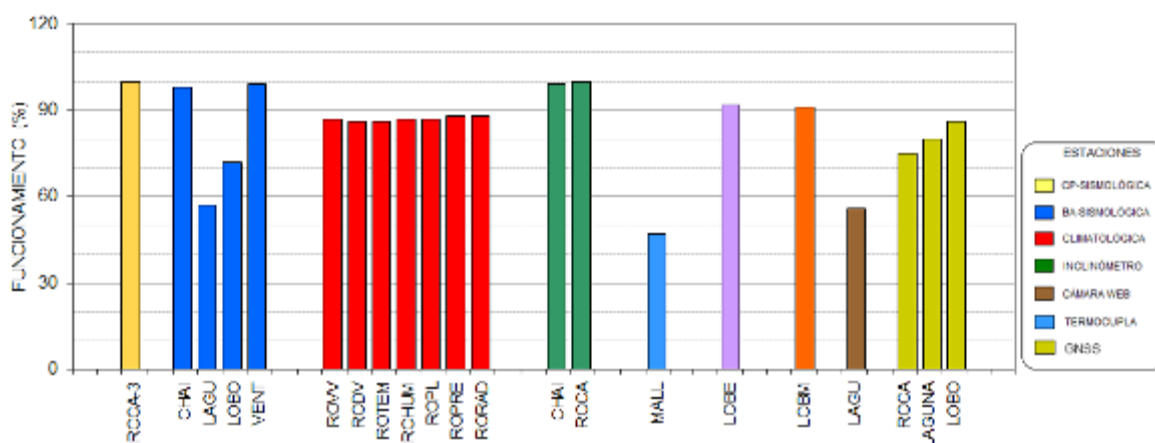


Figura 85. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones telemétricas que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de junio de 2016.

4.3.2. Sismología

La ocurrencia sísmica en Azufral mostro un descenso del 56% en comparación con el mes anterior, pasando de 9 a 4 sismos, eventos asociados con fractura de roca (VT) Tabla 23, Figura 86. Los cuales se ubicaron de manera dispersa, con distancias epicentrales entre 2.1 y 12.3 km respecto a la Laguna cratérica, con profundidades entre 4.3 y 15.6 km. La magnitud local fue menor de 1.9 en la escala de Richter (Figura 87), los otros eventos presentaron magnitudes menores a 1.

La energía de los sismos localizados fue de 2.67×10^{13} ergios (Tabla 24, Figura 88), mostrando un ligero incremento del 15% respecto al mes anterior.

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-mar-16 a 31-mar-16	37	37
01-abr-16 a 30-abr-16	48	48
01-may-16 a 31-may-16	9	9
01-jun-16 a 30-jun-16	4	4

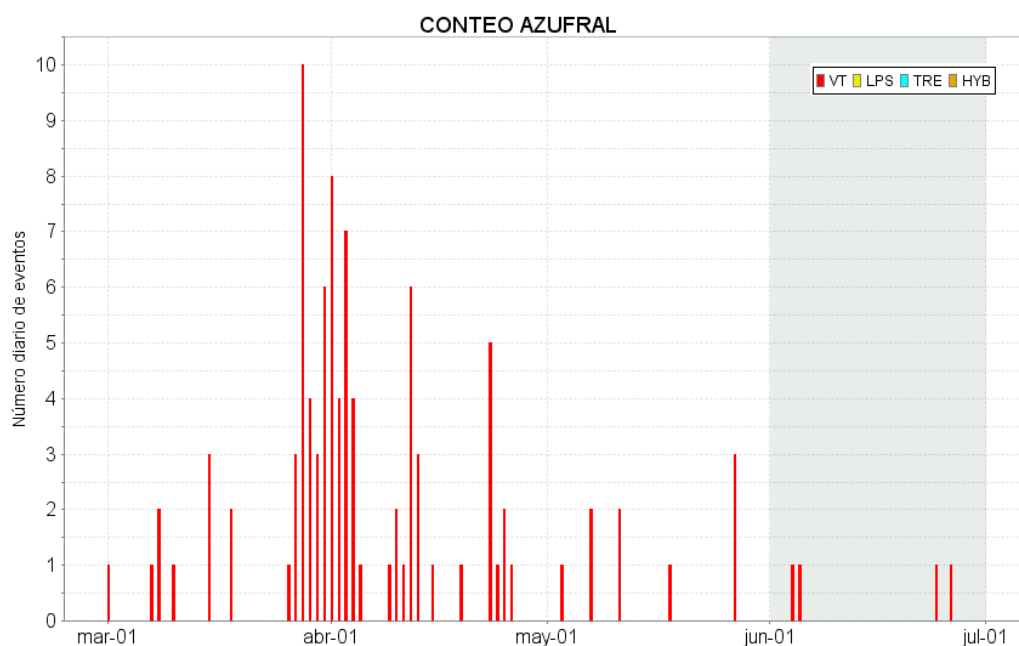


Figura 86. Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre marzo y junio de 2016. El recuadro en gris indica el periodo evaluado.

Tabla 24. Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre marzo y junio de 2016, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Energía liberada por los sismos VT	
	vt	TOTAL
01-mar-16 a 31-mar-16	4.63E+14	4.63E+14
01-abr-16 a 26-abr-16	1.53E+14	1.53E+14
03-may-16 a 27-may-16	2.32E+13	2.32E+13
04-jun-16 a 26-jun-16	2.67E+13	2.67E+13

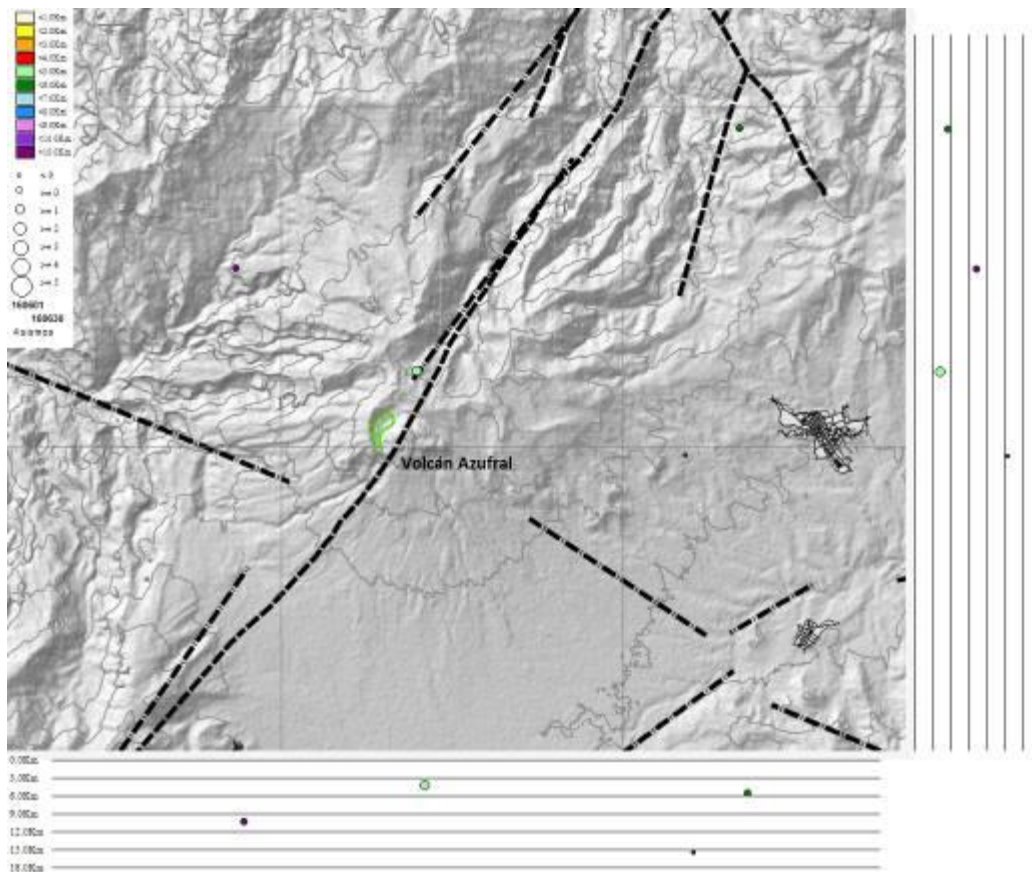


Figura 87. Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en junio de 2016 en el volcán Azufral. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.

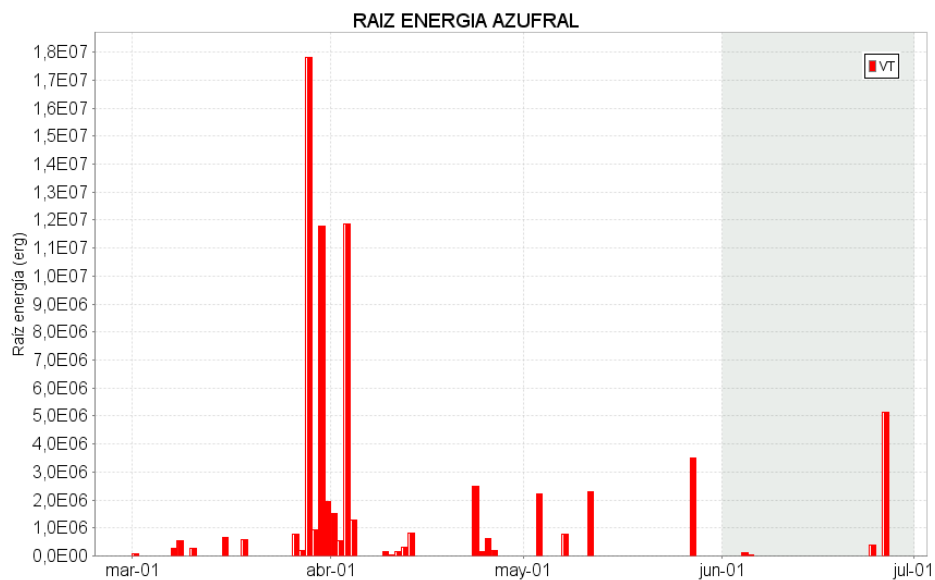


Figura 88. Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Azufral entre el 1 de marzo y el 30 de junio de 2016. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

4.3.3. Deformación Volcánica

4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Respecto a los procesos deformativos en superficie del edificio volcánico de Azufral, pese a las fluctuaciones en el registro del inclinómetro Chaitán, se observa estabilidad en las componentes (Figura 89). Continúa la tendencia descendente en las componentes de inclinación del inclinómetro La Roca, sobresaliendo la Este que alcanza 140 μrad desde el 8 de enero, mientras que la Norte registra 23 μrad (Figura 90).

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

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

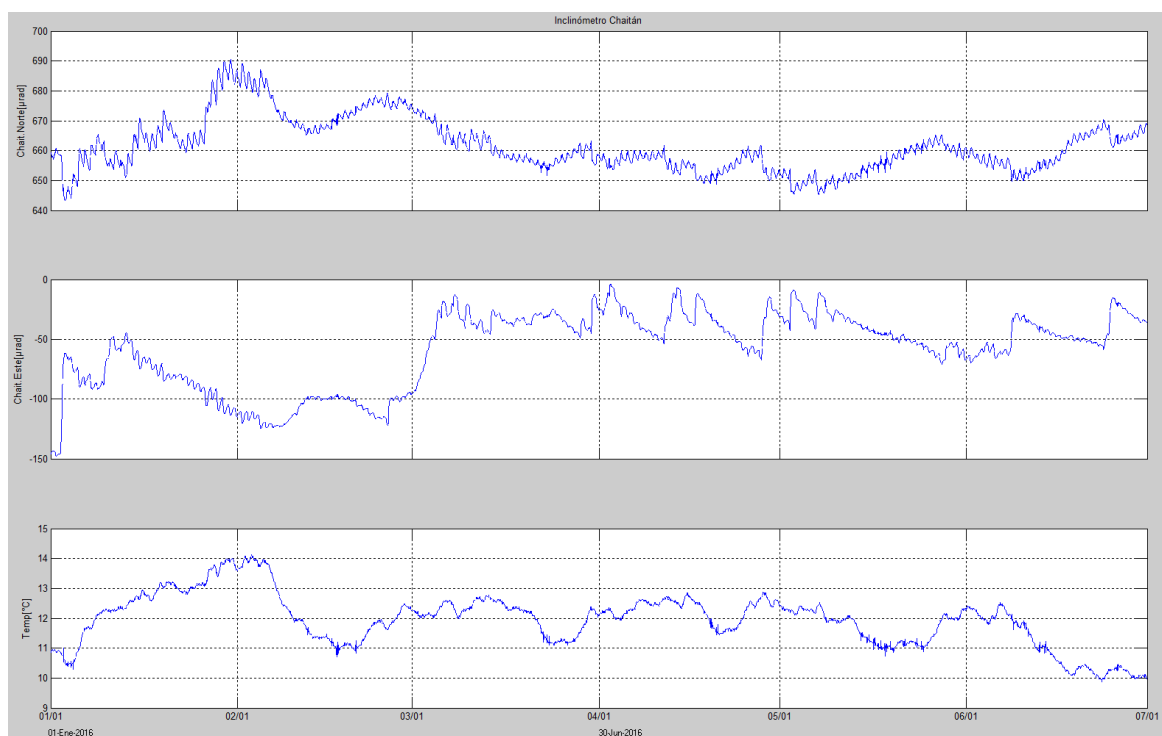


Figura 89. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

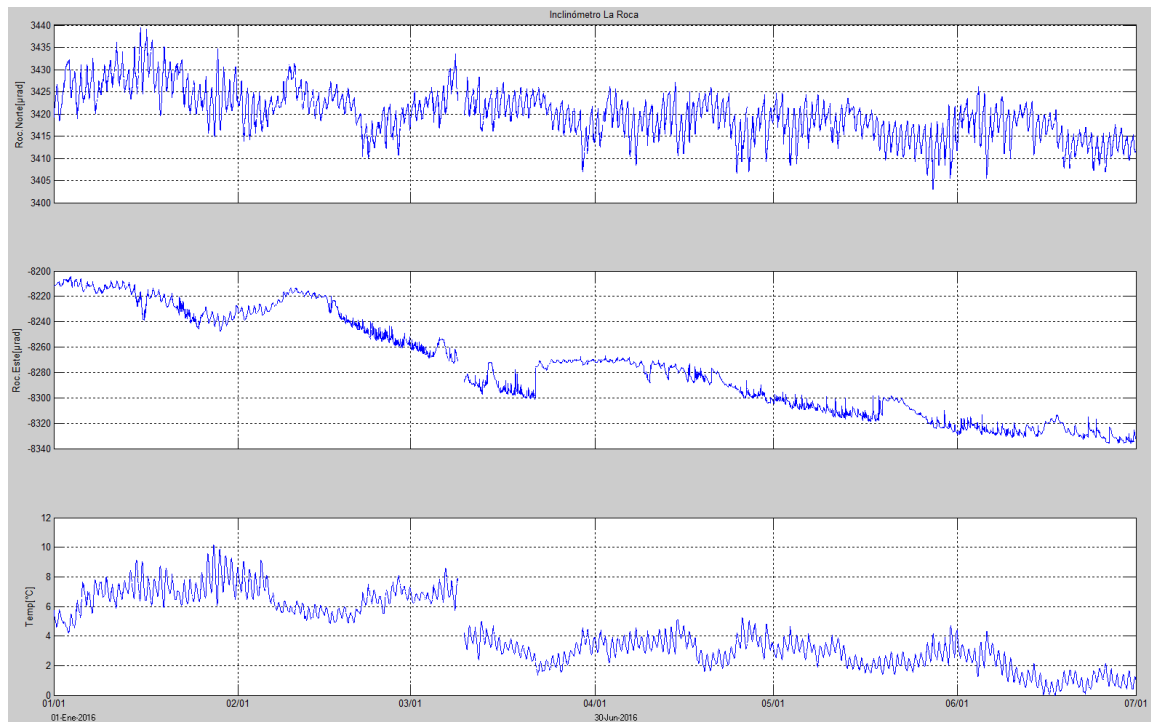


Figura 90. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2016.

4.3.3.3. Estaciones GNSS Permanentes

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En la Figura 91 se muestra comportamiento de las direcciones Norte, Este y altura del GNSS La Roca instalado en Azufral.

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La dirección Norte indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año. En este informe no se muestran graficas de los GNSS Laguna y Lobo debido a que es muy poco tiempo de registro teniendo en cuenta que el procesamiento se muestra con 15 días de retraso.

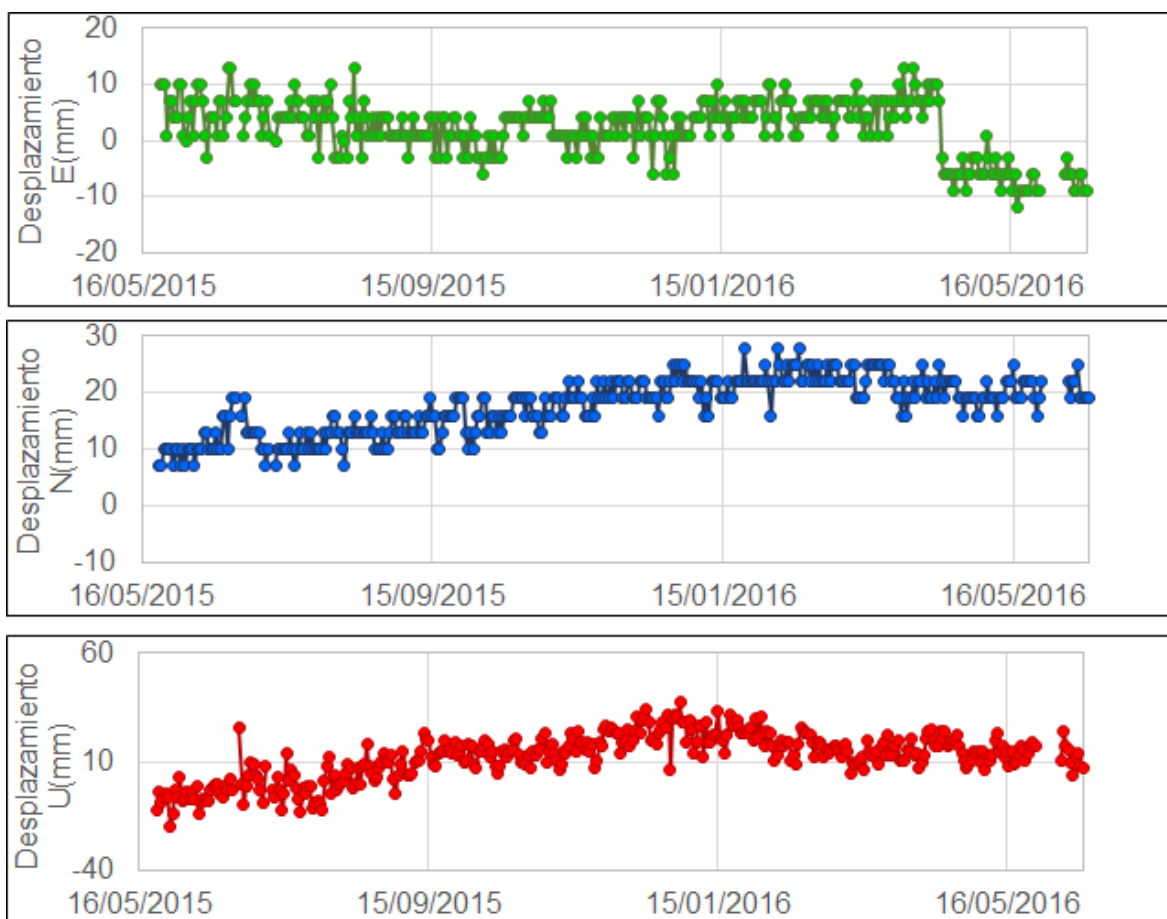


Figura 91. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 23 de mayo de 2015 y el 17 de junio de 2016.

4.3.4. GEOQUÍMICA

4.3.3.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Mallama

Los datos sobre la variación de temperatura en el campo fumarólico “Domo Mallama” del volcán 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. La estación fue adecuada y reinstalada en el mes de mayo de 2016, por lo cual no se cuenta con registro en algunos días del mes de mayo.

En la Figura 92 se registran las variaciones de temperatura desde el mes de mayo hasta el 30 de junio de 2016, durante el periodo evaluado se registró un valor máximo de 89.9°C (Tabla 25), no se observan 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.

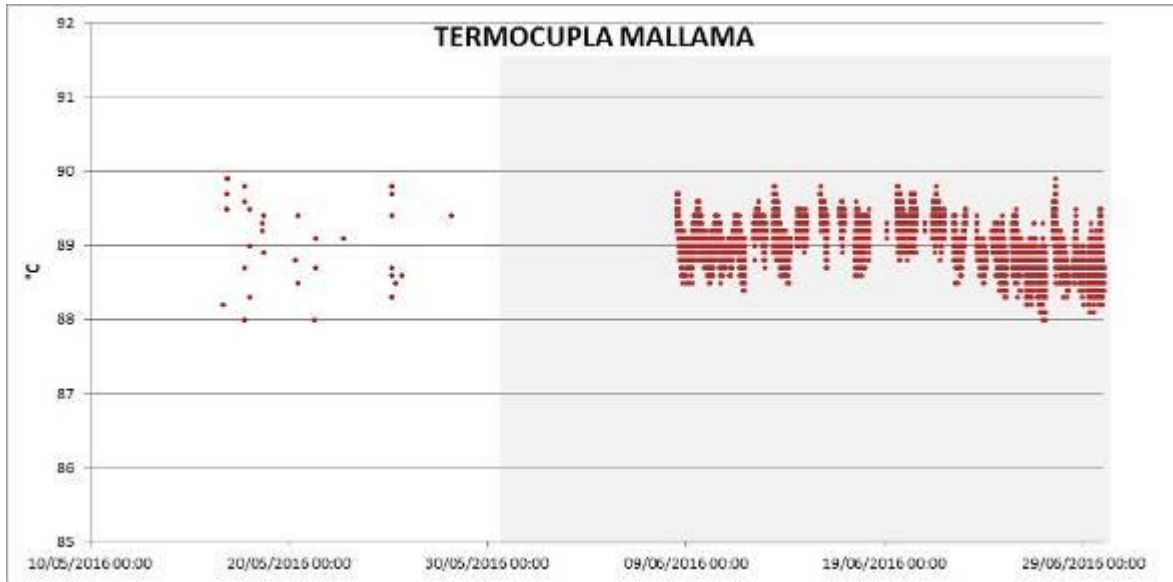


Figura 92. Temperatura estación Térmica domo Mallama – Junio de 2016.

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

TEMPERATURA	[°C]
Promedio	89.0
Máximo	89.9
Mínimo	88

4.3.5. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables para los días 9, 14 y 19 de junio, 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 93 y 94 se presentan algunas imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en Azufral.



Figura 93. Emisión de gases del domo Mallama, 9 de junio de 2016 a las 4:55 p.m.



Figura 94. Emisión de gases del domo Mallama, 19 de junio de 2016 a las 3:06 p.m.

4.3.6. Conclusiones

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