

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		Edgar Antonio Muñoz Hidalgo
Fecha	De publicación/disposición tres primeras letras del mes/año	Dic/2016
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Noviembre 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 de los volcanes Galeras, Doña Juana, Las Ánimas, Cumbal, Azufral, Chiles y Cerro Negro en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Se utiliza gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones específicas donde el conjunto de datos ha sido o se está utilizando. Incluye opcionalmente lista de anexos, fuentes y documentos relacionados con el conjunto de datos.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales.(Investigación, plan, programa, proyecto)	Proyecto
Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	Investigación y Monitoreo de la Actividad Volcánica (AME13-06).
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos	Noviembre de 2016.
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 de los volcanes Chiles y Cerro Negro. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de

		influencia del Volcán Azufral. Zona de influencia del Volcán Las Ánimas.
Coordenadas /limites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptor		
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	<p>Descriptor primarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación -Electromagnetismo -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios	<ul style="list-style-type: none"> - Zona de influencia del Volcán Galeras, como activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Cumbal - Zona de influencia del Volcán Doña Juana - Zona de influencia del Volcán Azufral - Zona de influencia del Volcán Las Ánimas - Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro
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 el directorio: V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2016\nov
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido, normatividad	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y sísmica en la zona de influencia de los Volcanes Galeras, Cumbal, Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Chiles y Cerro Negro 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	CDROM
Contacto		
Organización	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano.
Cargo/persona	Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos	Cristian López, Jefe de Proyecto Ame09-42
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) 222 07 97
Correo electrónico		cliente@sgc.gov.co



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

Edición:

EDGAR A. MUÑOZ HIDALGO

San Juan de Pasto, diciembre de 2016

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	9
	INTRODUCCION	11
1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – NOVIEMBRE DE 2016	12
1.1.	RED DE VIGILANCIA	12
1.2.	SISMOLOGÍA	16
1.3.	DEFORMACIÓN	22
1.3.1.	Estaciones de Inclinometría Electrónica	22
1.3.2.	Estaciones GNSS permanentes	26
1.3.3.	Medición Electrónica de Distancias - EDM	31
1.4.	ELECTROMAGNETISMO	31
1.5.	GEOQUÍMICA	33
1.5.1.	Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras	33
1.5.1.1.	Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO ₂) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS	33
1.5.1.2.	Concentración de gas radón difuso en suelo	35
1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	37
1.7.	CONCLUSIONES	39
2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – NOVIEMBRE DE 2016	40
2.1.	RED DE VIGILANCIA	40
2.2.	SISMOLOGÍA	41
2.3.	DEFORMACIÓN	43
2.4.	GEOQUÍMICA	46
2.5.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	46
2.6.	CONCLUSIONES	47
3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – NOVIEMBRE DE 2016	48
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	48
3.2.	RED DE VIGILANCIA	48
3.3.	SISMOLOGÍA	51
3.4.	DEFORMACIÓN	53
3.5.	GEOQUÍMICA	55
3.5.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales del volcán Chiles	55
3.5.2.	Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	55
3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	56
3.7.	CONCLUSIÓN	56
4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – NOVIEMBRE DE 2016	57
4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	58
4.1.1.	Ubicación Geográfica	58
4.1.2.	Red de Vigilancia	58
4.1.3.	Sismología	60
4.1.4.	Deformación	60
4.1.5.	Estaciones GNSS permanente	61
4.1.6.	Actividad Superficial	62
4.1.7.	Conclusión	62
4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	63
4.2.1.	Red de vigilancia	63
4.2.2.	Sismología	64

4.2.3.	Deformación	64
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	64
4.2.3.2.	Estacione GNSS Permanentes	66
4.2.4.	GEOQUÍMICA	67
4.2.5.	Actividad Superficial	67
4.2.6.	Conclusión	67
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	68
4.3.1.	Red de vigilancia	68
4.3.2.	Sismología	70
4.3.3.	Deformación	71
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	71
4.3.3.2.	Estaciones GNSS permanente.	73
4.3.3.3.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	75
4.3.4.	Electromagnetismo	75
4.3.5.	Geoquímica	76
4.3.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales en el volcán Azufral	76
4.3.5.2.	Registro de temperatura – Estación térmica Mallama – Volcán Azufral.	76
4.3.6.	Actividad Superficial	78
4.3.7.	Conclusión	78

FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2016.	13
Figura 2.	Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2016.	14
Figura 3.	Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2016.	15
Figura 4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en noviembre de 2016.	16
Figura 5.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de agosto y noviembre de 2016.	17
Figura 6.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016. La región sombreada corresponde al mes de noviembre de 2016.	18
Figura 7.	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).	18
Figura 8.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.	19
Figura 9.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para noviembre de 2016 (barras de la derecha) respecto a octubre de 2016 (barras de la izquierda).	20
Figura 10.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos entre los meses de agosto a noviembre de 2016.	20
Figura 11.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 30 de noviembre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,5 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).	21
Figura 12.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de Noviembre de 2016.	22
Figura 13.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 30 de noviembre de 2016.	23
Figura 14.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2016.	23
Figura 15.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.	24
Figura 16.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2011 y el 30 de noviembre de 2016.	24
Figura 17.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 30 de noviembre de 2016.	25
Figura 18.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2016.	25
Figura 19.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2011 y el 30 de noviembre de 2016.	26

Figura 20.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2011 y el 15 de noviembre de 2016.	27
Figura 21.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 15 de noviembre de 2016.	27
Figura 22.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 29 de diciembre de 2011 y el 15 de noviembre de 2016.	28
Figura 23.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de agosto de 2011 y el 15 de noviembre de 2016	28
Figura 24.	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 15 de noviembre de 2016.	29
Figura 25.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 31 de octubre de 2012 y el 15 de noviembre de 2016.	29
Figura 26.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y noviembre 2016.	30
Figura 27.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Peladitos instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y noviembre 2016.	30
Figura 28.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, en el Municipio de Chachaguí, Departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre el 25 de octubre de 2012 y el 15 de noviembre de 2016.	31
Figura 29.	Intensidad del Campo Magnético Total, de las estaciones de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Galeras. Frailejón (superior), Barranco (medio) y Cráter (inferior), para periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2016.	32
Figura 30.	Intensidad del campo magnético Terrestre Total, registrado en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de noviembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	32
Figura 31.	Variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Frailejón (superior) y Barranco (inferior), pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.	33
Figura 32.	Flujo de dióxido de azufre (SO ₂) Volcán Galeras - mes de noviembre 2016.	34
Figura 33.	Flujo de dióxido de azufre (SO ₂), velocidad y dirección del viento - mes de noviembre de 2016.	34
Figura 34.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras.	36
Figura 35.	Concentración radón difuso en suelo- volcán Galeras - estación telemétrica Parques – noviembre 2016.	36
Figura 36.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco Alto el 1 de noviembre de 2016 a las 6:24 a.m.	37
Figura 37.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en la repetidora Bruma el 18 de noviembre de 2016 a las 6:09 a.m.	38
Figura 38.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 21 de noviembre de 2016 a las 11:01 a.m.	38
Figura 39.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 28 de noviembre de 2016 a las 6:14 p.m.	38
Figura 40.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de noviembre de 2016.	40
Figura 41.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de	41

	monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en noviembre de 2016.	
Figura 42.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre agosto y noviembre de 2016. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	42
Figura 43.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.	42
Figura 44.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 30 de septiembre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3,0 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).	43
Figura 45.	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2009 y el 30 de noviembre de 2016.	44
Figura 46.	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 2014 y el 30 de noviembre de 2016.	45
Figura 47.	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.	45
Figura 48.	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.	46
Figura 49.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el municipio de Cumbal el 3 de noviembre de 2016 a las 5:39 p.m.	47
Figura 50.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el 12 noviembre de 2016 a las 10:54 p.m.	47
Figura 51.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	48
Figura 52.	Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de noviembre de 2016.	49
Figura 53.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante noviembre de 2016.	50
Figura 54.	Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de agosto y noviembre de 2016.	51
Figura 55.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de noviembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	52
Figura 56.	Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.	53
Figura 57.	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 de 2015 y el 30 de noviembre de 2016.	54
Figura 58.	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 el 25 junio de 2014 y el 30 de noviembre de 2016.	54
Figura 59.	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 enero de 2015 y el 30 de noviembre de 2016.	55
Figura 60.	Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles entre el 1 de abril de 2016 y el 30 de noviembre de 2016.	56

Figura 61.	Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.	57
Figura 62.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	58
Figura 63.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de noviembre de 2016. En el mapa se distingue también el volcán Doña Juana. Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos.	59
Figura 64.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante noviembre de 2016.	59
Figura 65.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas, en el mes de noviembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	60
Figura 66.	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 enero de 2014 y noviembre de 2016.	61
Figura 67.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 16 de diciembre de 2015 y el 15 de noviembre de 2016.	62
Figura 68.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	63
Figura 69.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de noviembre de 2016.	64
Figura 70.	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 30 de noviembre de 2016.	65
Figura 71.	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 de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.	65
Figura 72.	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 de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.	66
Figura 73.	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 de 2016 y el 15 de noviembre de 2016.	67
Figura 74.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2016.	68
Figura 75.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2016.	69
Figura 76.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2016.	70
Figura 77.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.	70
Figura 78.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de noviembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	71
Figura 79.	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2013 y el 30 de	72

	Noviembre de 2016.	
Figura 80.	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de Noviembre de 2016.	72
Figura 81.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 15 de Noviembre de 2016.	73
Figura 82.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 15 de noviembre de 2016.	74
Figura 83.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 14 de junio de 2016 y el 15 de Noviembre de 2016.	74
Figura 84.	Intensidad del Campo Magnético Total, de la estación de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Azufra, Lobo, para el periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2016.	75
Figura 85.	Intensidad del campo magnético Terrestre total F, registrado en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de noviembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	75
Figura 86.	Variación la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Lobo, pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el mes de julio de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.	76
Figura 87.	Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufra-año 2016.	77
Figura 88.	Imagen registrada por la cámara web ubicada en el sector sur de la Laguna Verde del volcán Azufra el 1 de noviembre a las 7:43 a.m. (Izquierda) y el 22 de noviembre a las 7:33 a.m. (Derecha).	77

TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en noviembre de 2016.	14
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en noviembre de 2016.	15
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en noviembre de 2016.	15
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en noviembre de 2016.	16
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	16
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras.	16
Tabla 7.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de agosto 2016 y el 30 de noviembre de 2016, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	17
Tabla 8.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016, resaltando en color verde el mes evaluado.	19
Tabla 9.	Emisión dióxido de azufre a la atmósfera volcán Galeras – mes de noviembre de 2016.	35
Tabla 10.	Valores de concentración de radón en la estación Parques – Volcán Galeras – noviembre 2016.	37
Tabla 11.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante noviembre de 2016.	41
Tabla 12.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016 (resaltado en color verde).	41
Tabla 13.	Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	49
Tabla 14.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.	50
Tabla 15.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.	51
Tabla 16.	Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – noviembre de 2016.	56
Tabla 17.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en noviembre de 2016.	59
Tabla 18.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en noviembre de 2016.	64
Tabla 19.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante noviembre de 2016.	69
Tabla 20.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.	71
Tabla 21.	Valores de temperatura en Domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – noviembre de 2016.	77

RESUMEN

Durante el mes de noviembre de 2016, tanto la ocurrencia sísmica registrada en el volcán Galeras como la energía liberada disminuyeron en comparación a los valores registrados en octubre. Los sismos asociados con fracturamiento de material cortical (VT) seguidos por aquellos asociados a fracturamiento de roca con el consiguiente movimiento de fluidos (Eventos Tipo HYB) fueron los que aportaron el mayor número. Los eventos asociados con fracturamiento de material cortical fueron los que aportaron la mayor fracción de energía liberada.

Respecto a la localización de sismos relacionados con fracturamiento de roca (VT) e (HYB) se identifica que algunos sismos se concentraron muy próximos al cono volcánico, a distancias epicentrales menores a 2,0 km y profundidades superficiales por debajo de los 3 km respecto a la cima volcánica – 4276 msnm. Algunos de los eventos se ubicaron hacia los sectores nororiental y suroccidental a menos de 10 km de distancia y a profundidades de hasta 14 km respecto a la cima. Las magnitudes calculadas fueron menores a 1,9 en la escala de Richter.

Los sensores que monitorean las deformaciones volcánicas continúan mostrando cambios en algunos de los flancos del volcán, siendo más relevante la deformación hacia el lado occidental.

En cuanto a la actividad superficial con base en la información que aportan las imágenes capturadas del cráter activo, fue posible evidenciar emisiones de gases durante todos el mes, exceptuando el día 15 y 19 de noviembre, en su mayoría de coloración blanca; los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental de la cima del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos y con alturas relativamente bajas sobre la cima de Galeras.

El análisis de los diferentes parámetros para el monitoreo volcánico permitió mantener el nivel de actividad en **AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

Con relación al monitoreo del Complejo volcánico de Cumbal, la evaluación de los registros sísmicos en la estaciones instaladas en este volcán muestran que la mayoría de eventos ocurridos se asocian a fracturamiento de roca con el consiguiente movimiento de fluidos al interior del sistema volcánico (HYB).

Respecto a la localización de sismos VT e HYB, para el periodo evaluado fue posible localizar 116 sismos, que en su mayoría se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela, a profundidades inferiores a 7,5 km respecto de la cima. Las magnitudes locales de los eventos localizados estuvieron por debajo de 3,2 en la escala de Richter.

El análisis de los diferentes parámetros para el monitoreo del complejo volcánico Cumbal permitió mantener el nivel de actividad en **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

La ocurrencia sísmica de los Volcanes Chiles y Cerro Negro, en el mes de noviembre disminuyó en un 49,9%6,2 veces en comparación al mes de agosto, pasando de 1746 a 963 sismos. De esta sismicidad fue posible localizar 255 eventos, la mayoría se ubicaron hacia el sur y suroccidente del volcán Chiles a distancias epicentrales menores a 5 km, y profundidades menores a 6 km respecto a la cima volcánica (4.700 msnm); unos cuantos se ubicaron en el cuadrante suroriental del volcán a profundidades menores a los 12 km y distancias epicentrales menores a 12,5 km respecto al centro del volcán Chiles; unos cuantos eventos se localizaron hacia el sector noroccidental del volcán Chiles a menos de 3 km de distancia y a profundidades de hasta 3, 5 km respecto a la cima volcánica. Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 3,4 en la escala de Richter, sin embargo la mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 2 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta la magnitud local presentada por los eventos localizados, se logró obtener un estimativo de la energía liberada en términos de su raíz cuadrada, observándose que ésta aumentó en comparación a la energía liberada en el mes anterior pasando de $1,12 \times 10^{15}$ ergios a $1,22 \times 10^{16}$ ergios.

Adicionalmente, cabe mencionar que continúan registrándose cambios en la deformación cortical del edificio del volcán Cerro Negro.

La evaluación del proceso volcánico para los volcanes Chiles – Cerro Negro durante noviembre de 2016 permitió mantener el **NIVEL AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

En los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral se tuvo registro de 13, 2 y 15 eventos tipo VT respectivamente, los cuales fueron de bajo nivel energético.

Con base en el análisis de la información suministrada por las redes de vigilancia, instaladas alrededor de los volcanes monitoreados, se concluye que el nivel de actividad de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral, se mantiene en **NIVEL VERDE** ● (IV): **“Volcán activo y comportamiento estable”**.

INTRODUCCION

Durante el mes de noviembre de 2016, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles y Cerro Negro, Doña Juana, Azufral y Las Ánimas, mediante el monitoreo continuo y en tiempo real durante las 24 horas del día. Esto permitió evaluar el estado de actividad de cada uno de estos volcanes.

El estado y 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 de un volcán, mediante la aplicación de una serie de disciplinas geofísicas y geoquímicas. Cambios en el comportamiento de la actividad son el reflejo de distintos procesos al interior del sistema volcánico y que pueden ser provocados por procesos hidrotermales o magmáticos que conllevan a variaciones de presión-temperatura en el sistema volcánico, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza, movimiento de material fluido (magma, volátiles o gases) desde niveles más profundos a reservorios más someros o a la superficie misma.

El análisis presentado en este informe corresponde a los resultados preliminares derivados a partir del procesamiento de los datos instrumentales y de las observaciones directas de algunas manifestaciones de la actividad volcánica. Se realiza también una recopilación del funcionamiento de los equipos que conforman la red de monitoreo volcánico en sus diferentes áreas.

1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – NOVIEMBRE DE 2016

1.1. RED DE VIGILANCIA

En noviembre de 2016 la red de vigilancia 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, el segundo en el sitio de la estación sísmica de banda ancha Cráter-2 y el último ubicado en el sitio de la estación sísmica Cóndor (Figura 1, Tabla 1).
- 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).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2)
- Ocho estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas en el sitio de la estación sísmica Cráter-2, sector de Barranco Alto, San Felipe al noroccidente, otro hacia el sector de San Cayetano hacia el oriente de Galeras, en el sector de la estación sismológica Ingenio, uno instalado en el sector nororiente de Galeras y los dos últimos instalados en los sitios de la estación Cufiño y el inclinómetro Peladitos los días 15 y 16 de septiembre de 2016 (Figura 2, Tabla 3).
- 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 5 bases y 8 prismas reflectores (Figura 2).
- Tres estaciones de detección de emisiones de dióxido de azufre (SO₂) con transmisión telemétrica 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 Cráter (Figura 3, Tabla 5).
- 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 meteorológica, 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 emplazada en el sitio de la estación sísmica Cráter-2.

- Tres estaciones telemétricas para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón ($Rn-222$) proveniente del suelo denominadas Lavas 1, Parques y Lirios ubicadas hacia el sector oriental del volcán, por la vía de acceso a la cima del volcán (Tabla 6).

Durante noviembre de 2016, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 90,4 %, garantizando la obtención de información confiable para la evaluación de la actividad volcánica. La Figura 4, muestra el histograma con el porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo volcánico.

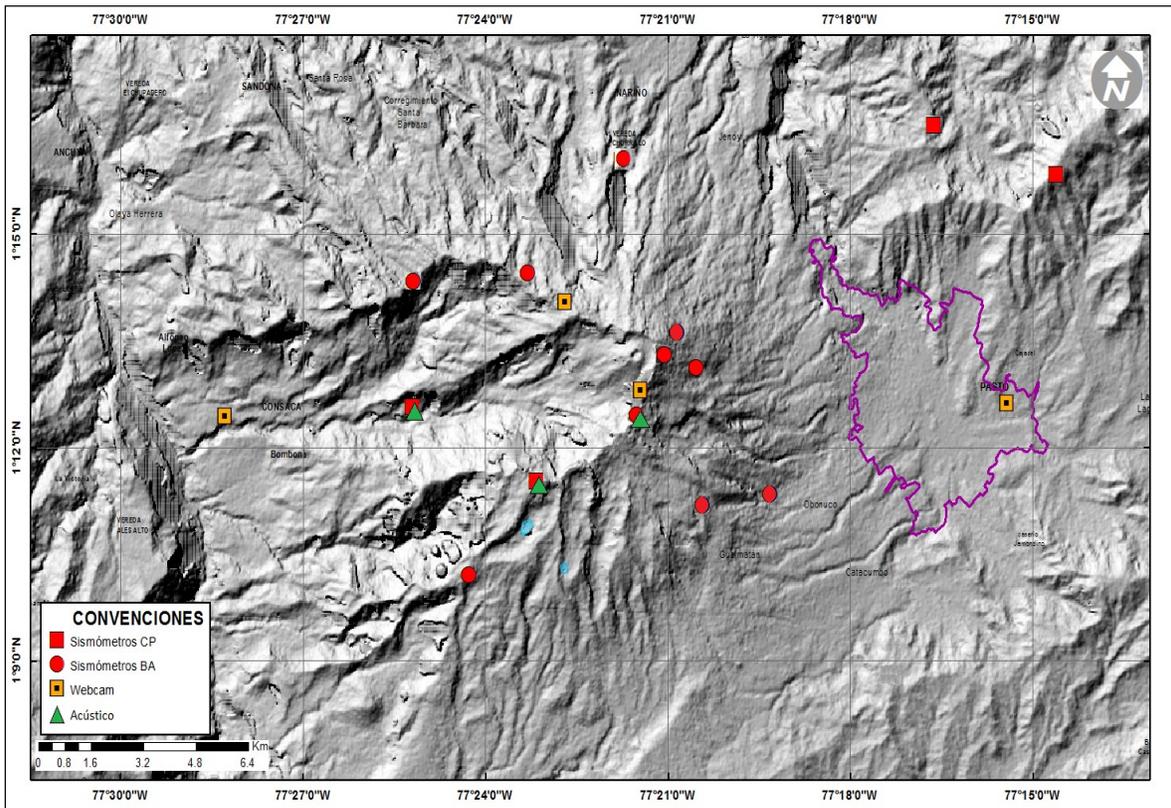


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2016.

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en noviembre de 2016.

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGA	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	0.8	E	4170
Cráter-2	CR2R	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño-BB	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.9	ENE	3800
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	2.3	ESE	3494
Cobanegra-3	COB3	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	3.9	SSE	3625
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.0	NW	3450
Cóndor	COND	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	4.9	SW	3985
Obonuco	OBVR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.9	SE	3010
Nariño-2	NAR2	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Vertical	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	MORA	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

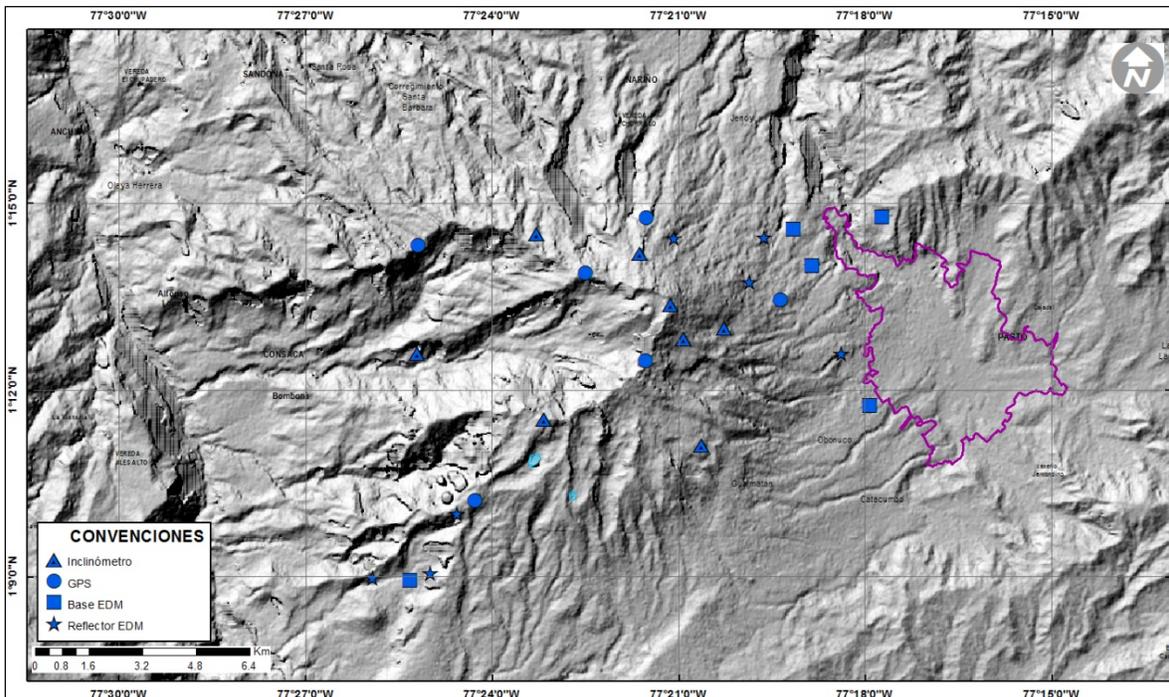


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2016.

Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en noviembre de 2016.

Inclínómetros Electrónicos	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación 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
Condor	4,9	SW	3985
Calabozo	7,1	WSW	2350

Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en noviembre de 2016.

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

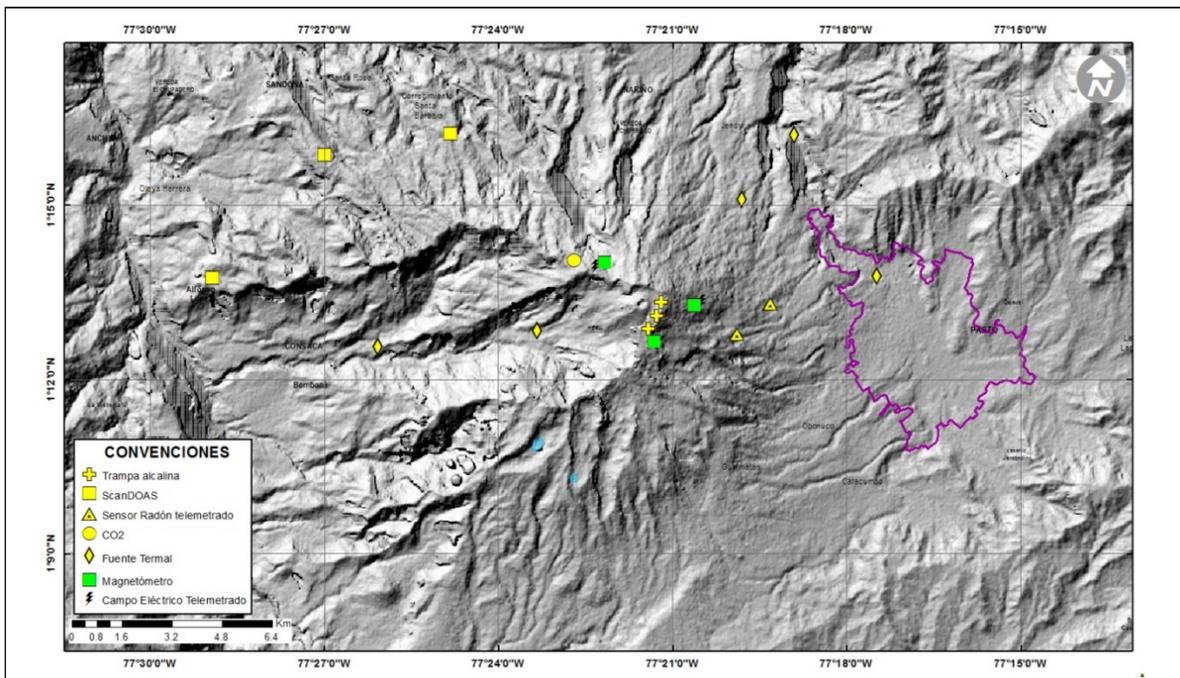


Figura 3. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2016.

Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en noviembre de 2016.

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

Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.

Tabla 6. Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras.

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Parques	3,6	ESE	3358
Lava1	4,5	E	3000

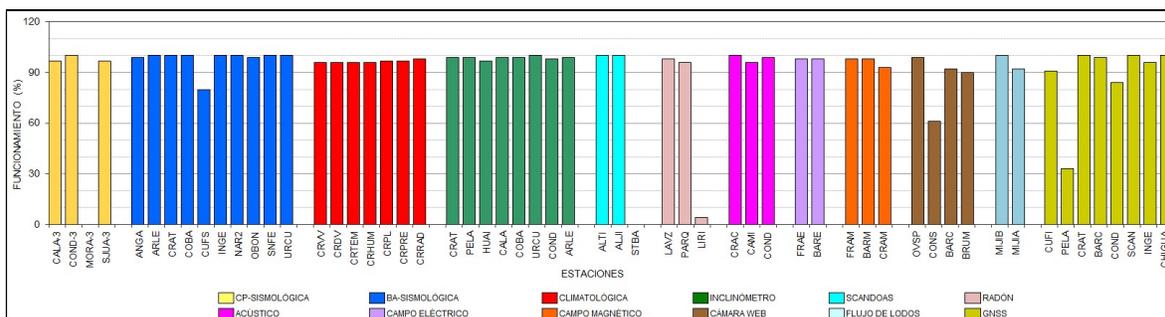


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en noviembre de 2016.

1.2. SISMOLOGIA

En el mes de noviembre de 2016, la actividad sísmica de Galeras disminuyó en un 43,6% respecto al mes de octubre de 2016 pasando de 117 a 66 eventos. La sismicidad se caracterizó por el predominio de eventos asociados con fracturamiento de roca al interior de la estructura volcánica (sismos tipo VT) con un 68,2% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de

ocurrencia por eventos asociados a fracturamiento de roca con el consiguiente movimiento de fluidos (Eventos Tipo HYB) y eventos asociados a movimientos de fluidos de fuente persistente (tremor volcánico, TRE) los cuales aportaron con un 25,8 y 4,5% respectivamente. Por su parte, los eventos tipo LP aportaron con un 1% (Tabla 7, Figuras 5, 6 y 7). La Figura 5 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos.

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de agosto 2016 y el 30 de noviembre de 2016, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					NO CLASIFICABLES
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL	
01-ago-16 a 31-ago-16	35	24	2	6	67	87
01-sep-16 a 30-sep-16	76	9	0	8	93	200
01-oct-16 a 31-oct-16	93	8	0	16	117	125
01-nov-16 a 30-nov-16	45	1	3	17	66	312

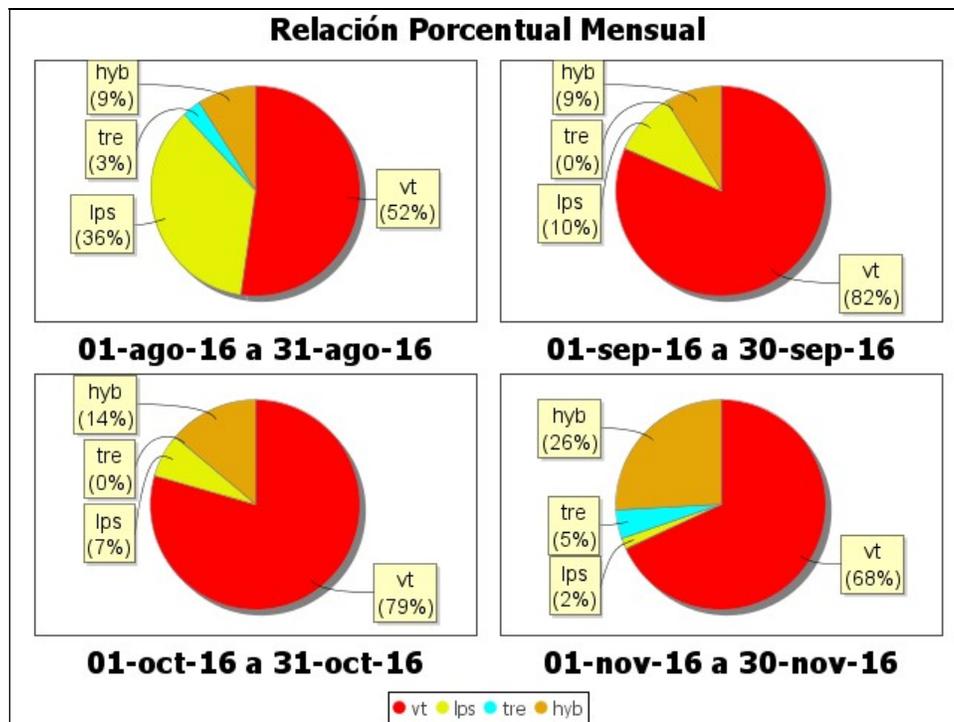


Figura 5. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de agosto y noviembre de 2016.

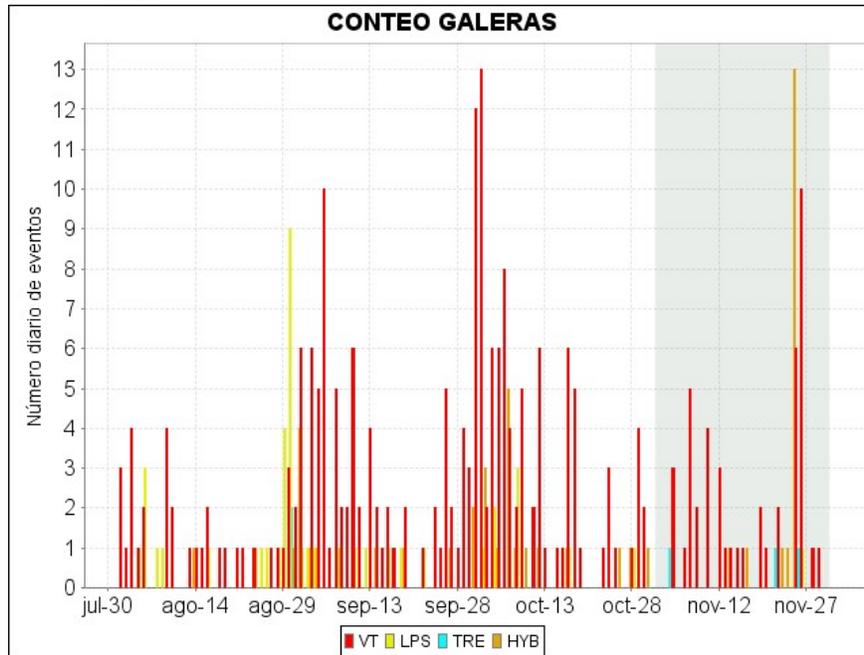


Figura 6. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016. La región sombreada corresponde al mes de noviembre de 2016.

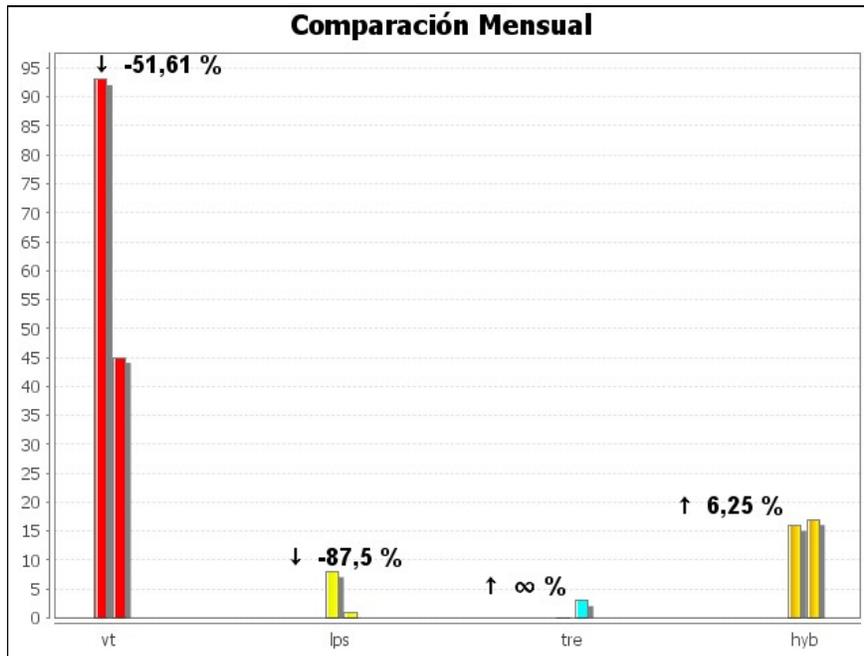


Figura 7. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada disminuyó en comparación a lo registrado en octubre, pasando de $4,10 \times 10^{12}$ ergios a $9,06 \times 10^{11}$ ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos VT con un 94,2%, seguidos por los eventos tipo LPS y TRE con

un 3,3% y 1,7% respectivamente, por su parte los eventos tipo HYB aportaron con un 0,9% (Tabla 8, Figuras 8, 9 y 10).

Tabla 8. Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016, resaltando en color verde el mes evaluado.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-ago-16 a 31-ago-16	1,87E+12	1,21E+10	7,70E+08	1,15E+09	1,88E+12
01-sep-16 a 30-sep-16	9,18E+11	7,80E+10	0,00E+00	5,62E+10	1,05E+12
01-oct-16 a 31-oct-16	3,72E+12	2,34E+11	0,00E+00	1,40E+11	4,10E+12
01-nov-16 a 30-nov-16	8,53E+11	2,95E+10	1,57E+10	7,74E+09	9,06E+11

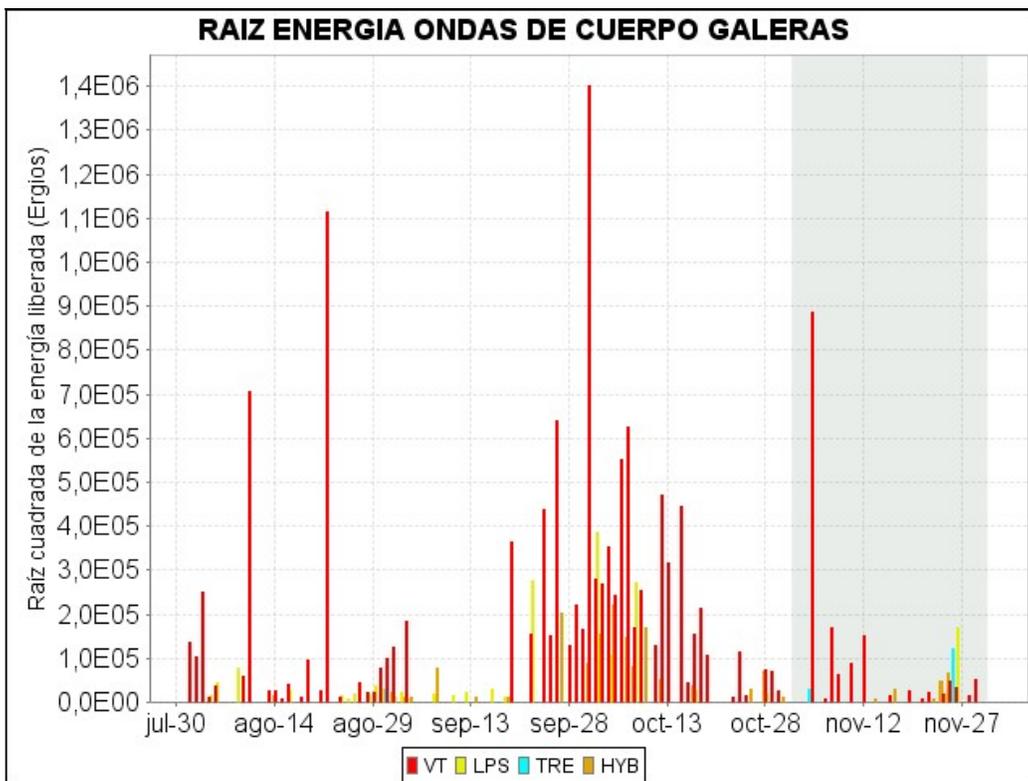


Figura 8. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.

Comparación Mensual

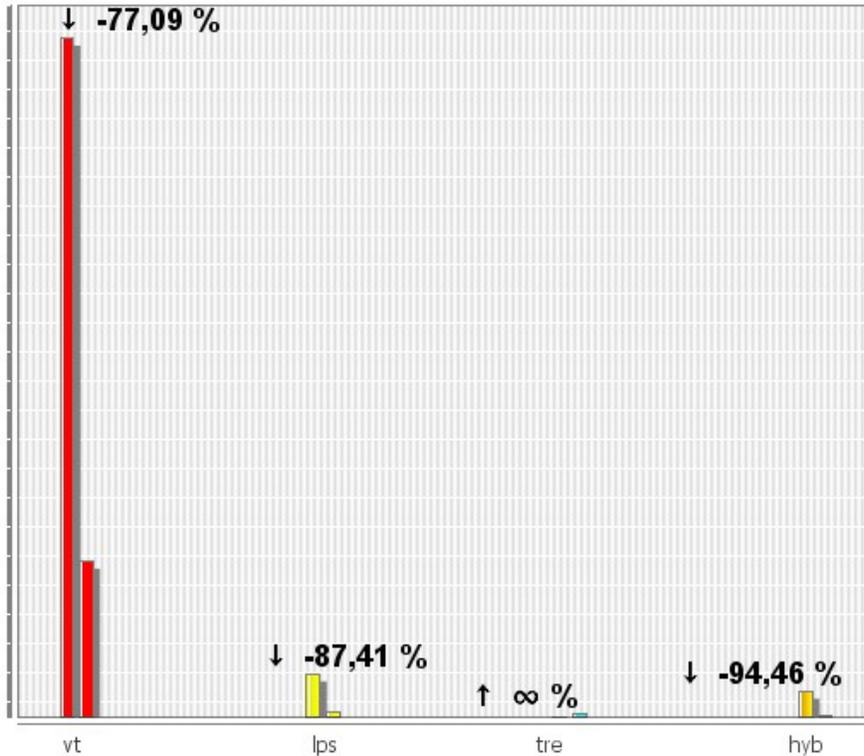


Figura 9. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para noviembre de 2016 (barras de la derecha) respecto a octubre de 2016 (barras de la izquierda).

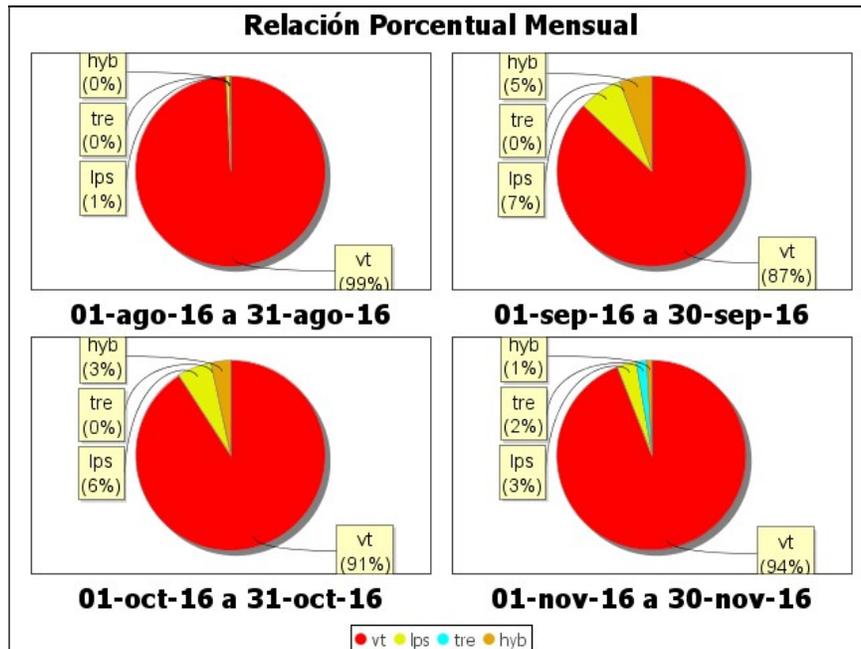


Figura 10. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos entre los meses de agosto a noviembre de 2016.

La sismicidad asociada con fracturamiento de material cortical al interior del edificio volcánico fue localizada utilizando la minimización de los residuales de tiempos de arribo de las ondas P y S en las estaciones de monitoreo volcánico de la red de Galeras. Fue posible estimar la localización de 35 sismos, 32 de ellos tipo VT y 3 HYB. De las localizaciones obtenidas se identifica que algunos sismos se concentraron muy próximos al cono volcánico, a distancias epicentrales menores a 2,0 km y profundidades superficiales por debajo de los 3 km respecto a la cima volcánica – 4276 msnm. Algunos de los eventos se ubicaron hacia los sectores nororiental y suroccidental a menos de 10 km de distancia y a profundidades de hasta 14 km respecto a la cima. Las magnitudes calculadas fueron menores a 1,9 en la escala de Richter (Figura 11).

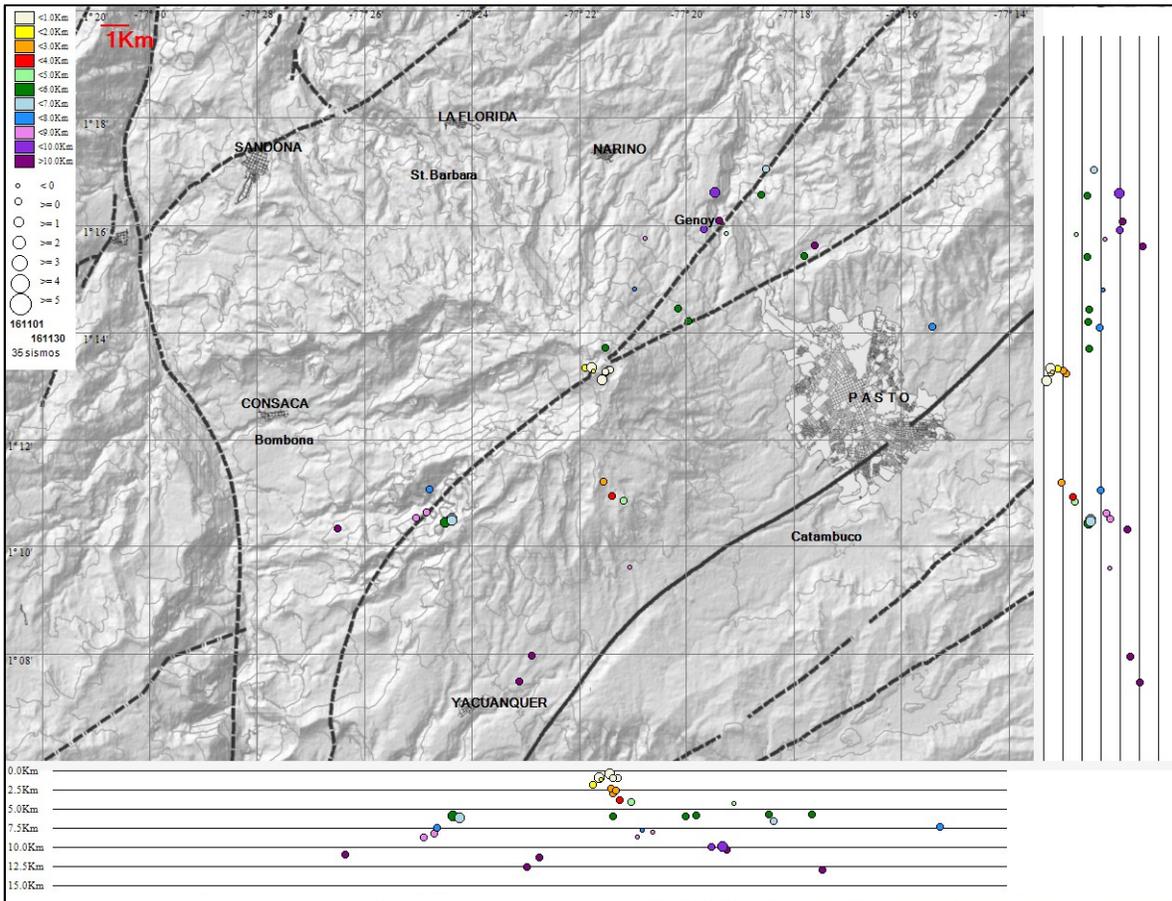


Figura 11. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 30 de noviembre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,5 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).

1.3. DEFORMACIÓN

1.3.1. Estaciones de Inclinometría Electrónica

En el mes de noviembre 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.

El comportamiento de deformación registrada por los equipos instalados en el edificio volcánico, se analiza por periodos de cambios y se resume a continuación. El comportamiento de los inclinómetros Cráter, Cóndor y Arlés, continúa estable, con variaciones que se asocian a los cambios de temperatura de la zona y al sistema de alimentación (Figuras 12, 13 y 14).

El inclinómetro Huairatola, está indicando en su componente Radial un cambio aproximado de 40 μrad , con una tendencia ascendente; su componente Tangencial muestra estabilidad (Figura 15). La componente de inclinación Tangencial de Peladitos presenta una leve tendencia descendente acumulando unos 20 μrad desde finales del 2011 hasta la fecha, y para el mismo periodo la componente Radial, tiene tendencia ascendente de unos 50 μrad (Figura 16). A partir de marzo de 2016, el inclinómetro Calabozo presenta cambios en sus componentes cercanos a 100 μrad , cada una (Figura 17). En Cobanegra continúa el comportamiento ascendente en la componente Norte, cercano a los 150 μrad , y en la Este, para los últimos meses, de unos 20 μrad (Figura 18). Una vez se realizó el cambio de sensor en el inclinómetro Urcunina se puede observar que los cambios en cada una de las componentes se mantiene, siendo estable para la Este y una tendencia ascendente de unos 40 μrad , para la Norte (Figura 19).

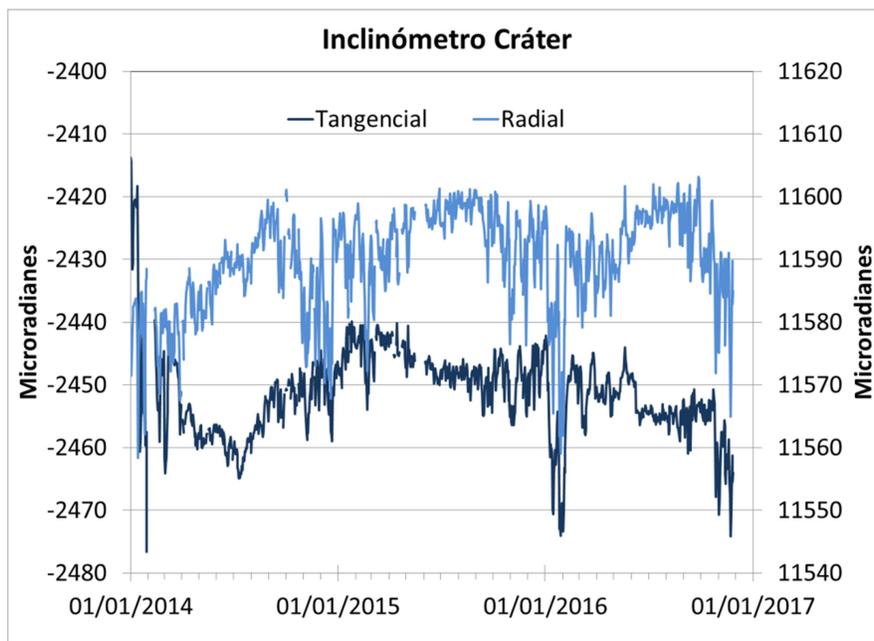


Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de Noviembre de 2016.

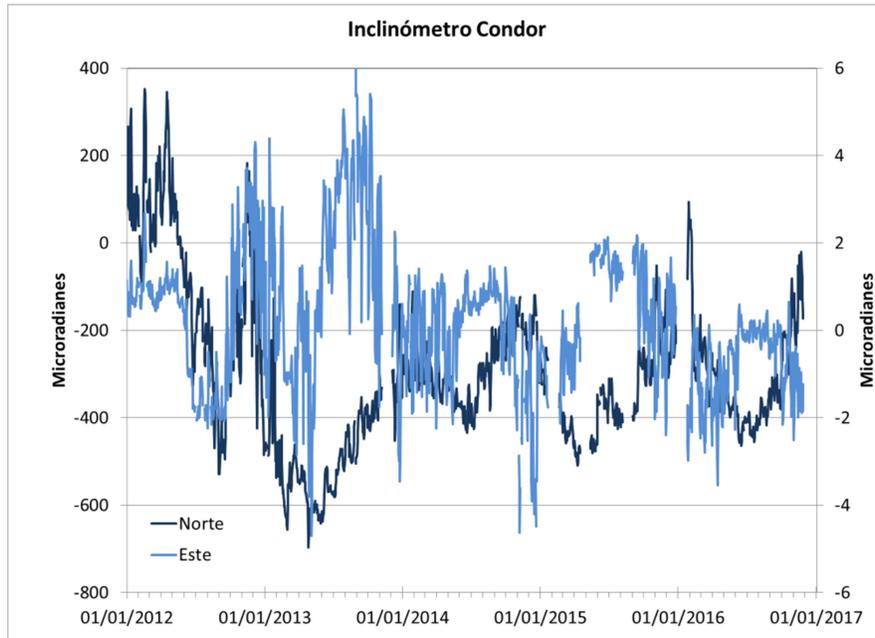


Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cónдор, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 30 de noviembre de 2016.

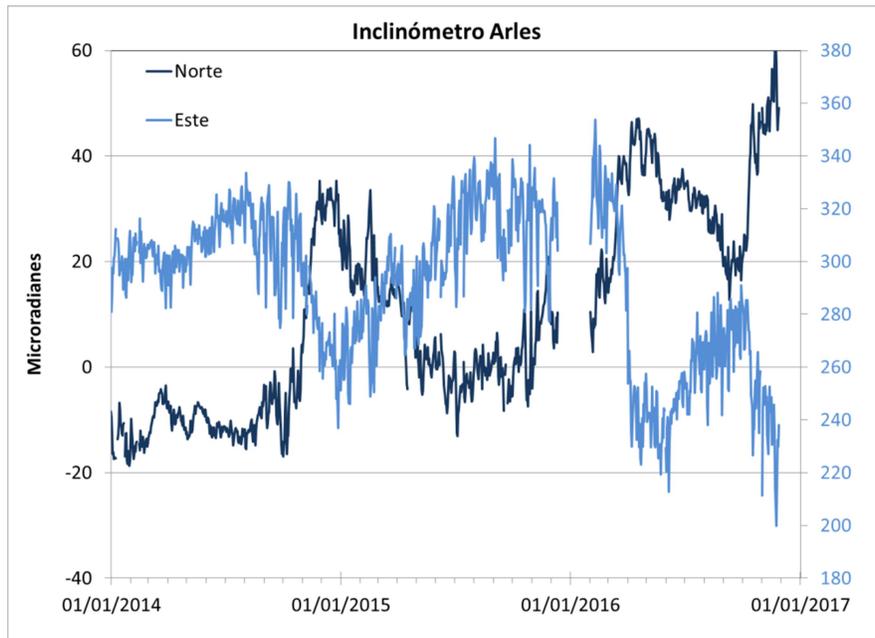


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2016.

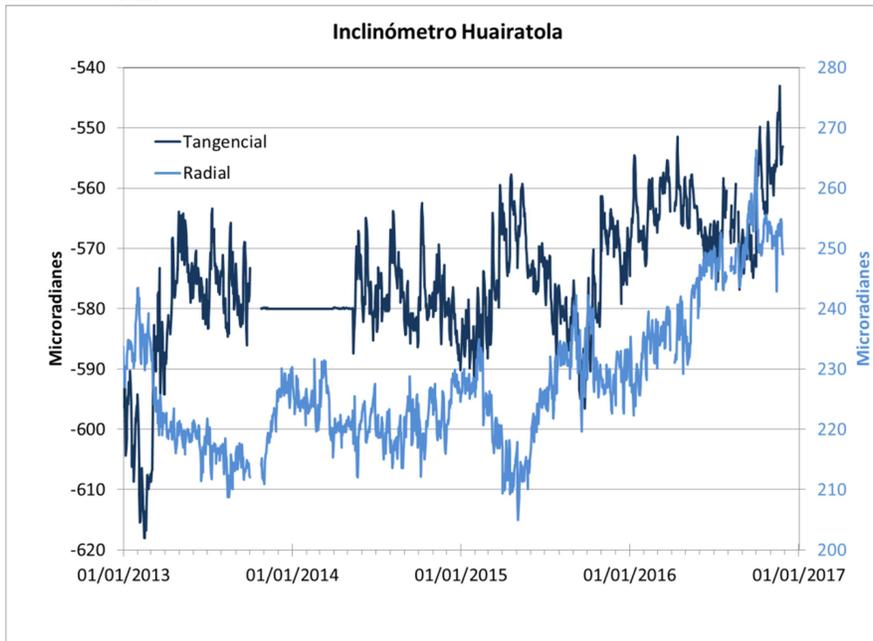


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.

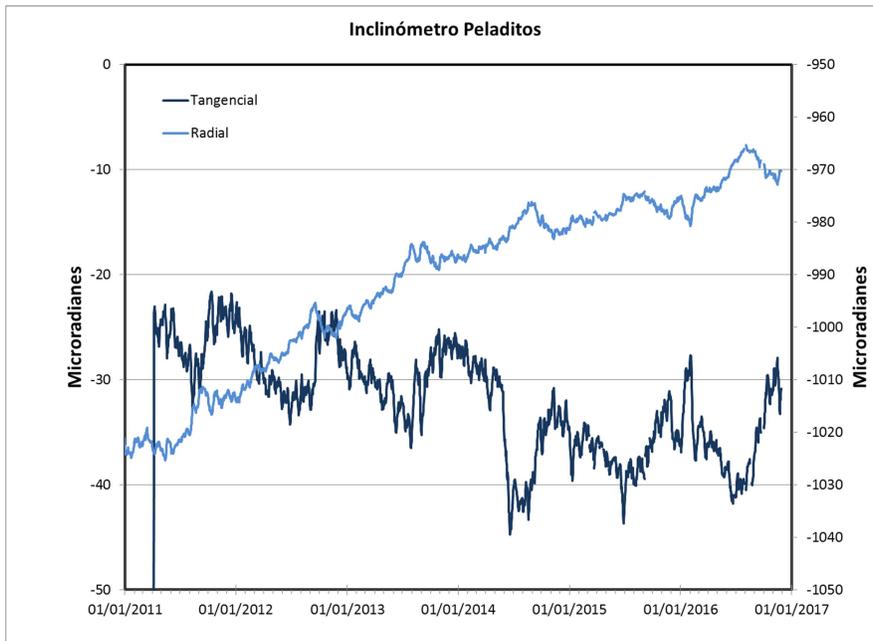


Figura 16. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2011 y el 30 de noviembre de 2016.

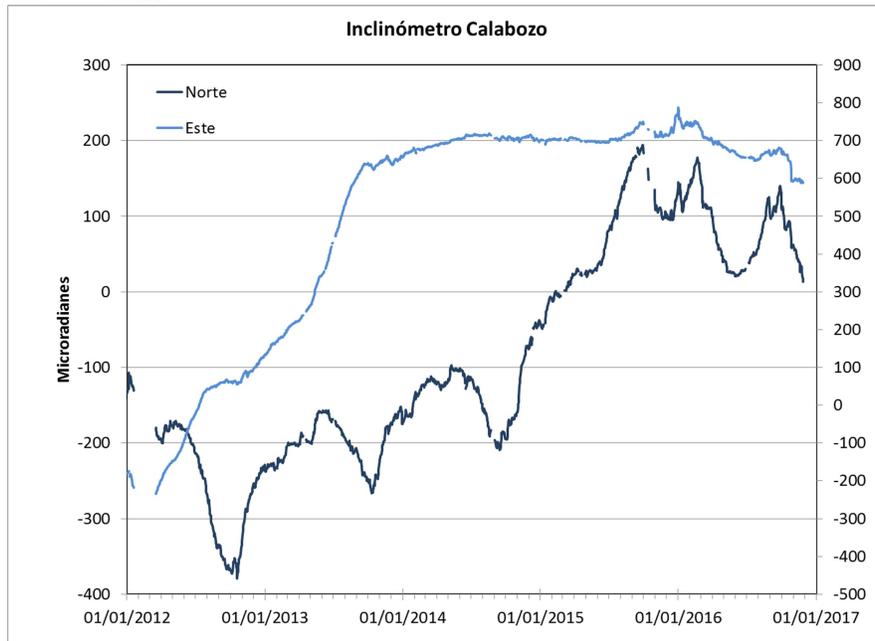


Figura 17. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 30 de noviembre de 2016.

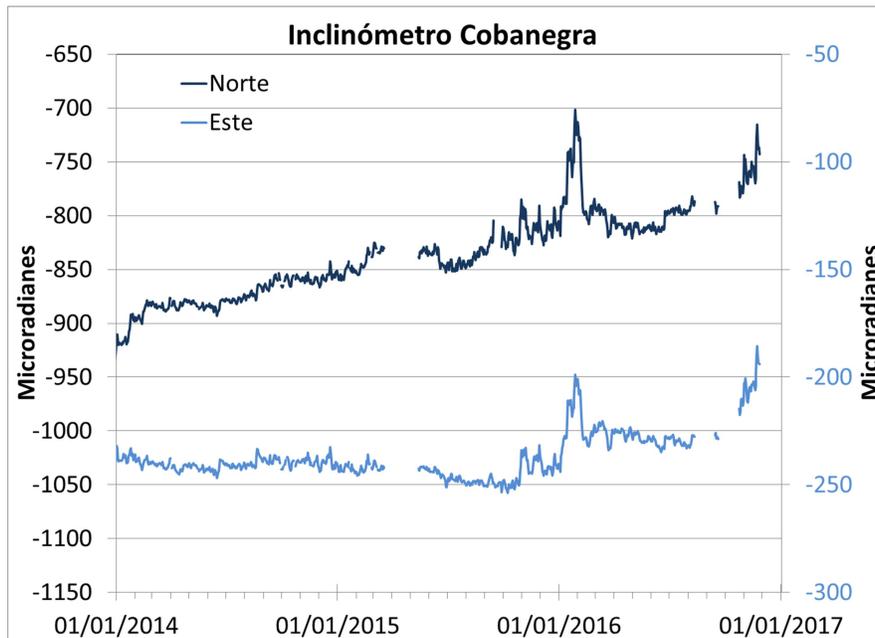


Figura 18. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2016.

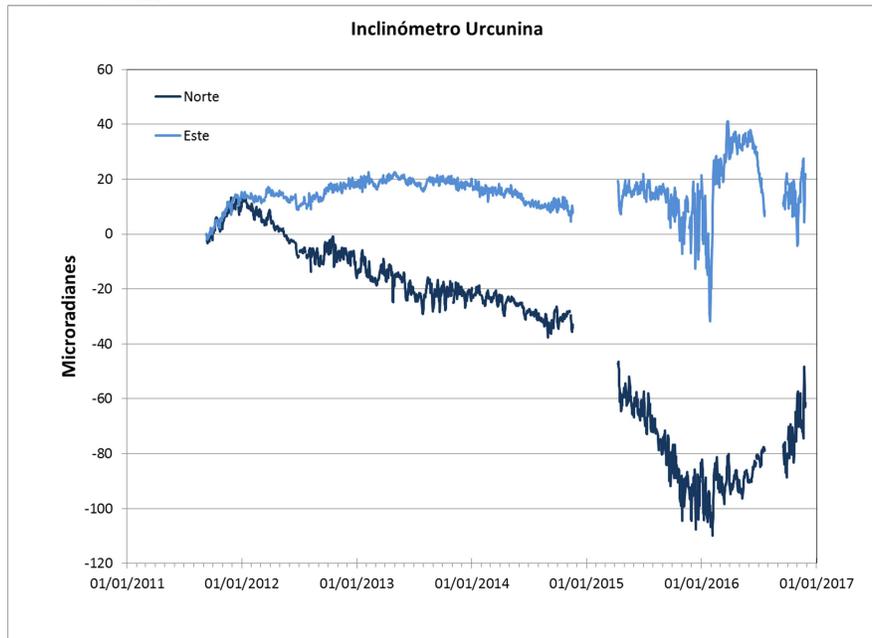


Figura 19. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2011 y el 30 de noviembre de 2016.

1.3.2. Estaciones GNSS permanentes

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

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

En general en todas las estaciones de GNSS, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La estación de referencia para la red de Galeras es el GNSS QUILL, ubicado fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20.6 km de distancia respecto al cráter, instalado por el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano; la componente Norte de este GNSS 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. Esta tendencia se remueve de las componentes Norte de las ocho estaciones de la red de GNSS (Figura 28).

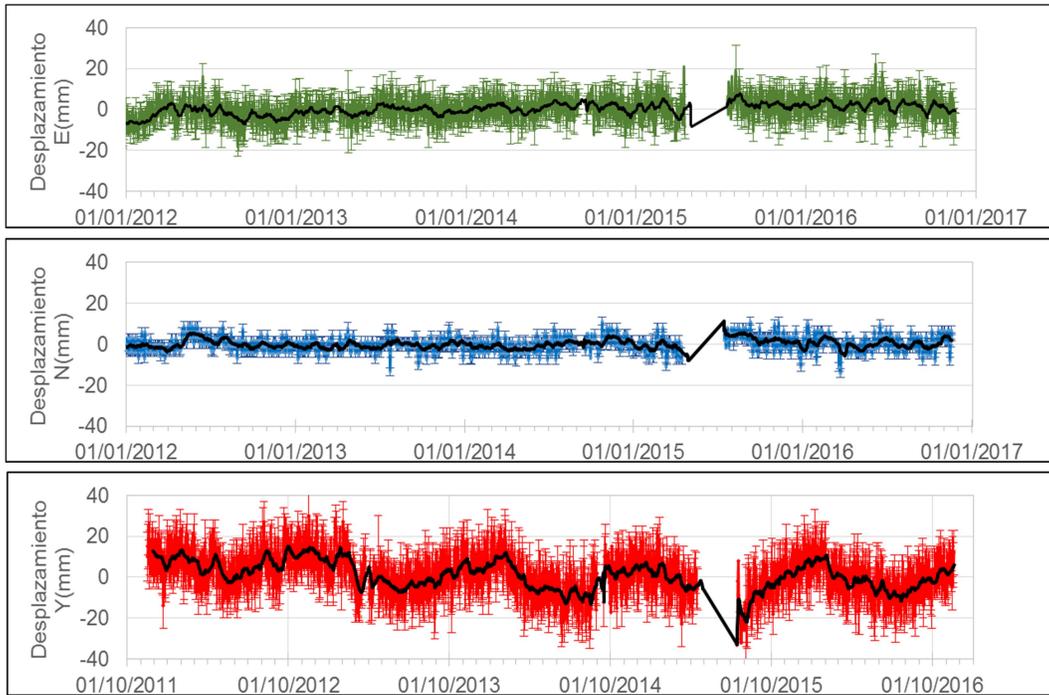


Figura 20. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2011 y el 15 de noviembre de 2016.

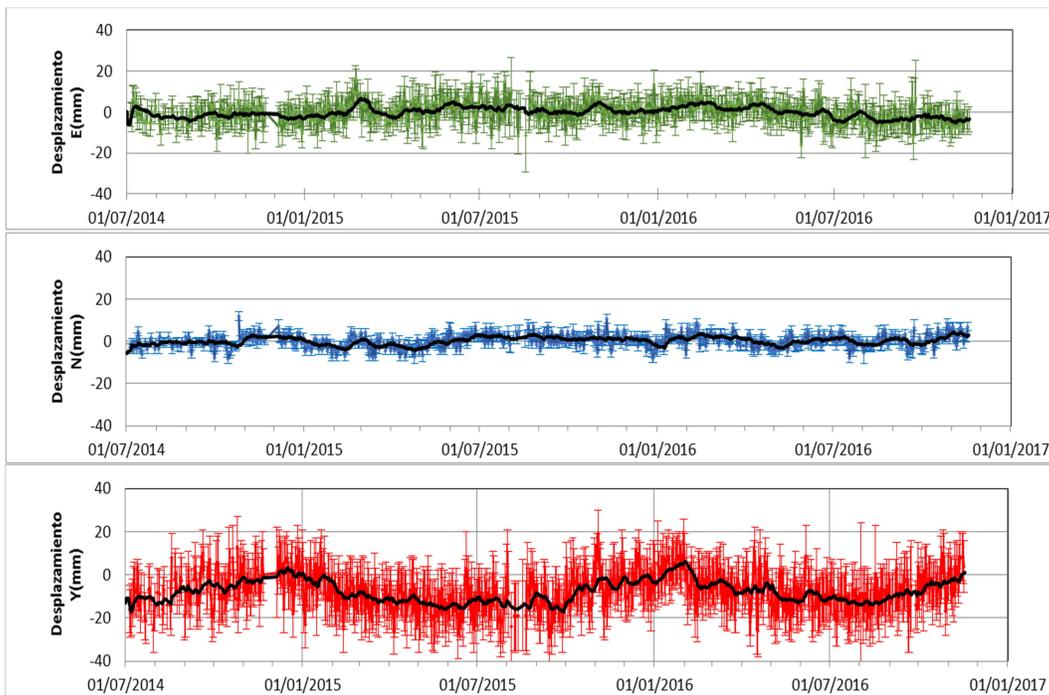


Figura 21. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 15 de noviembre de 2016.

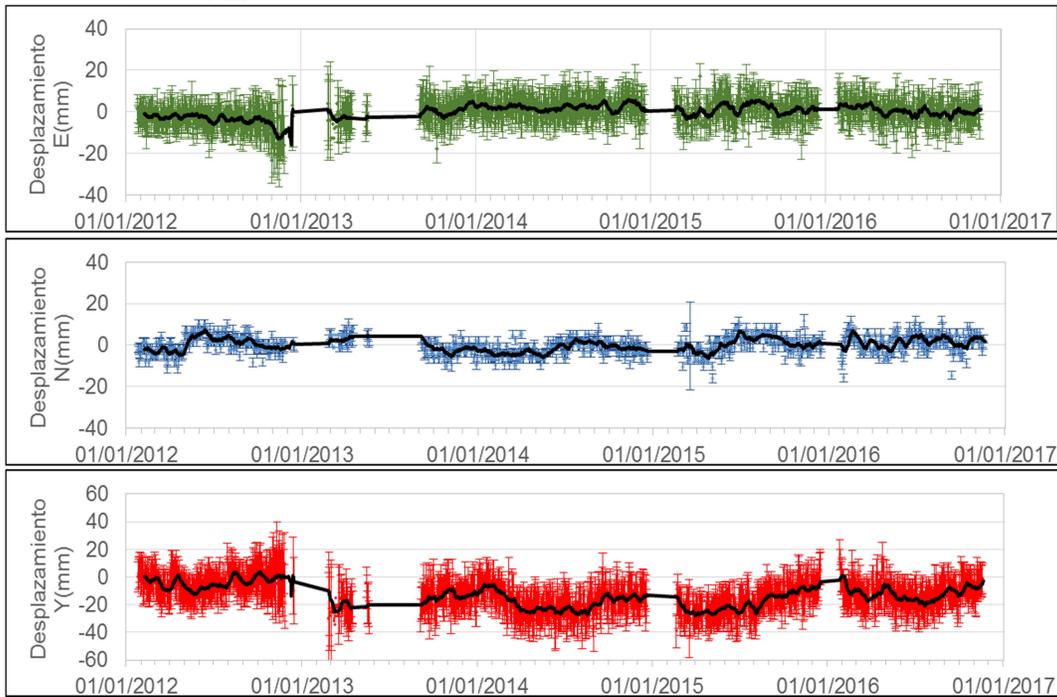


Figura 22. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cándor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 29 de diciembre de 2011 y el 15 de noviembre de 2016.

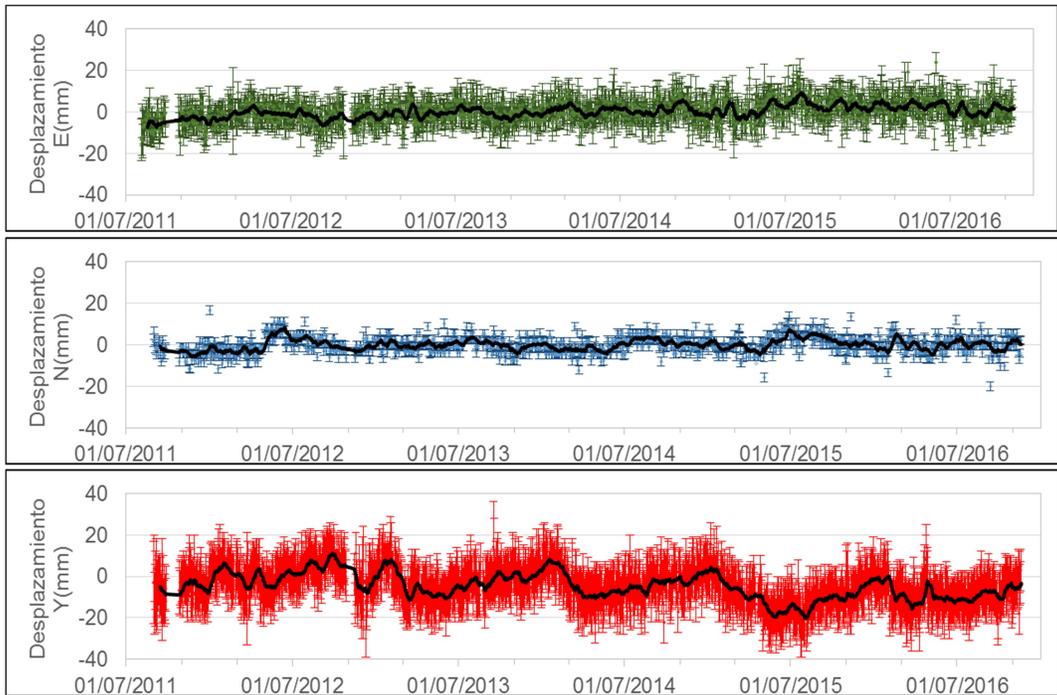


Figura 23. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de agosto de 2011 y el 15 de noviembre de 2016.

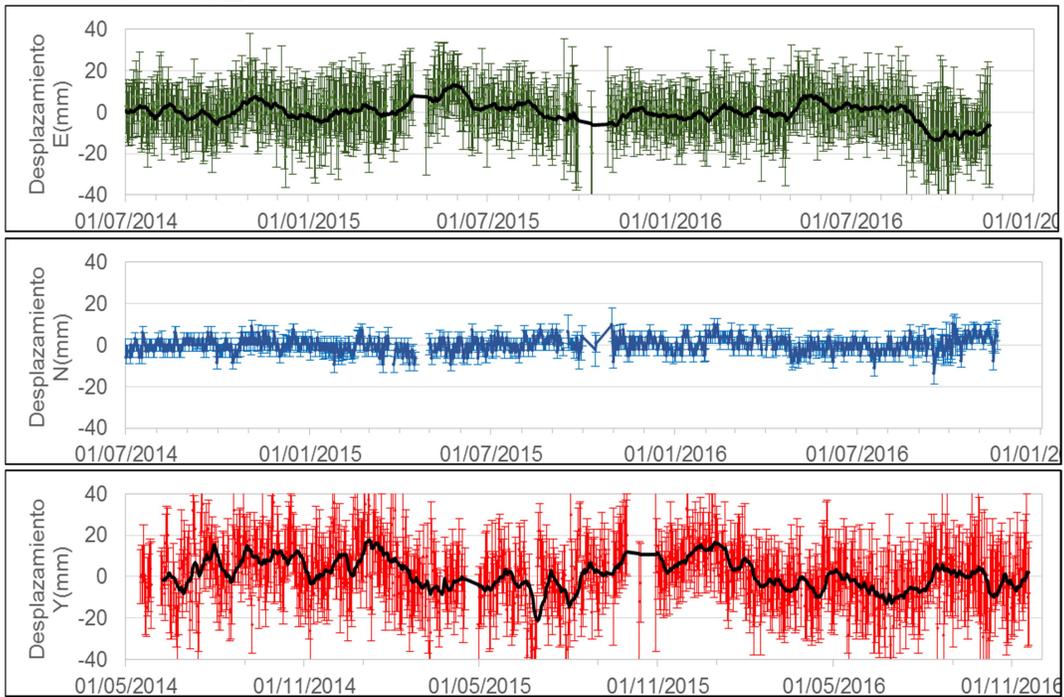


Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 15 de mayo de 2014 y el 15 de noviembre de 2016.

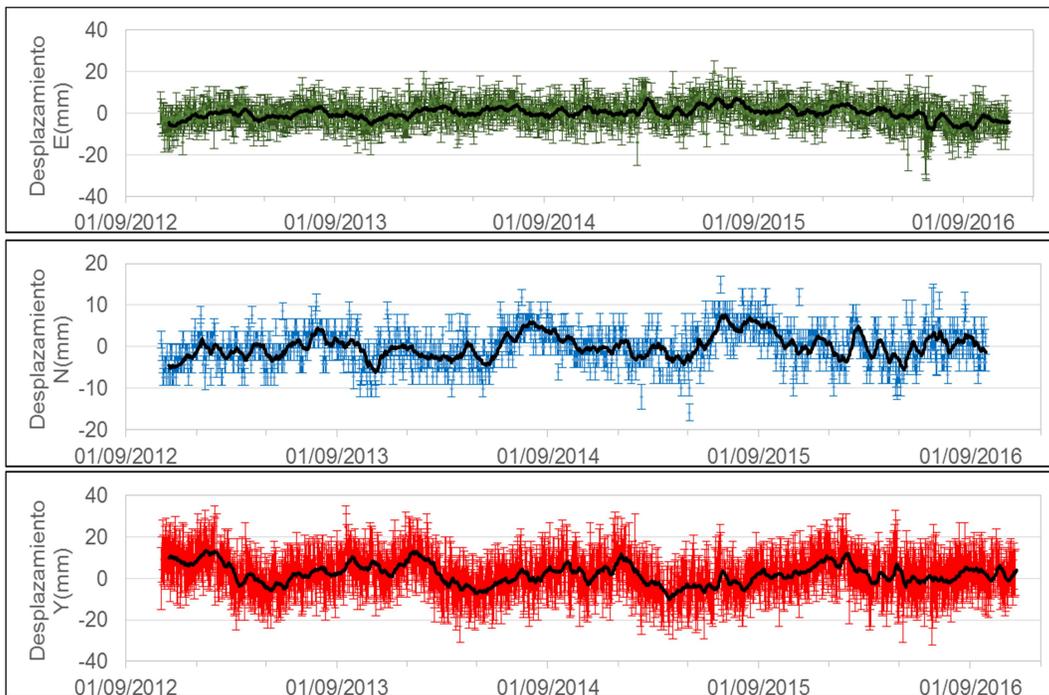


Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 31 de octubre de 2012 y el 15 de noviembre de 2016.

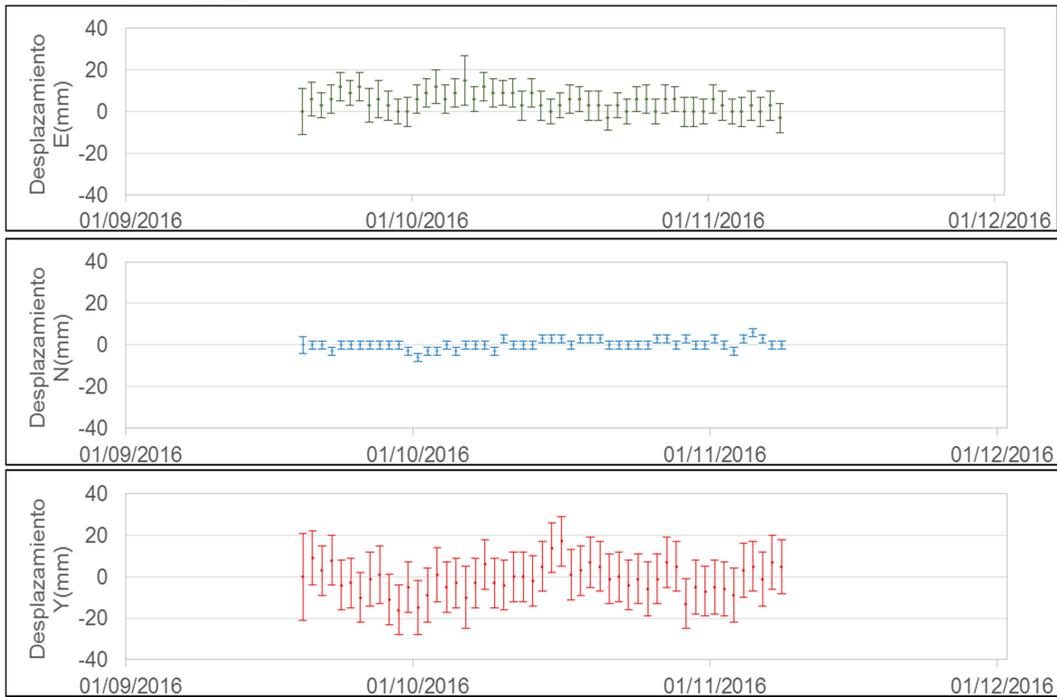


Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y noviembre 2016.

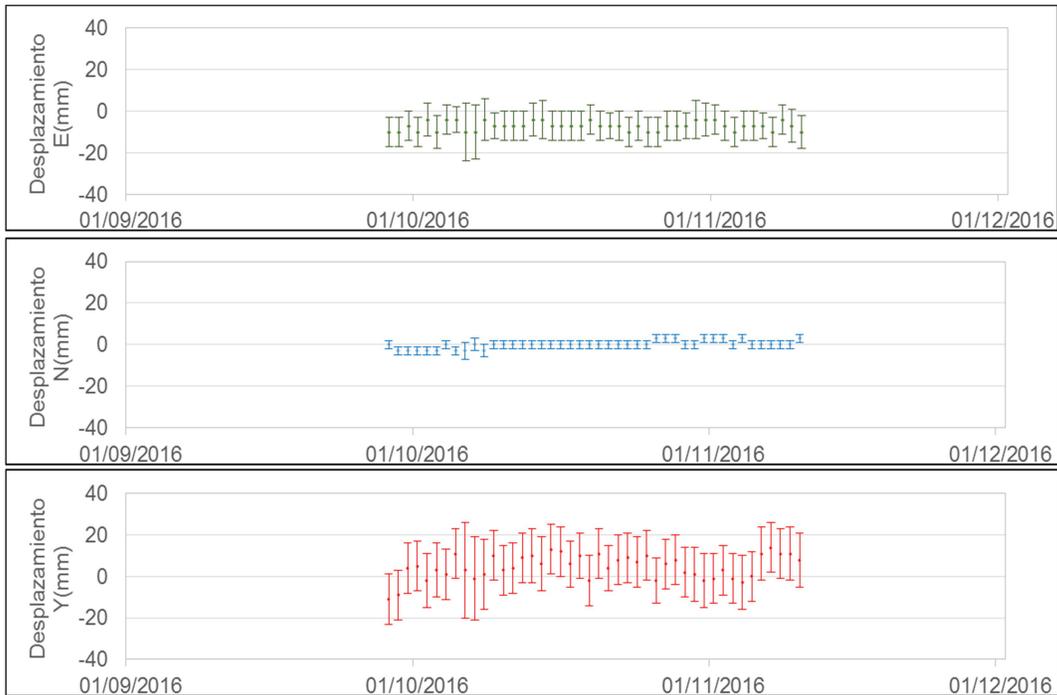


Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Peladitos instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y noviembre 2016.

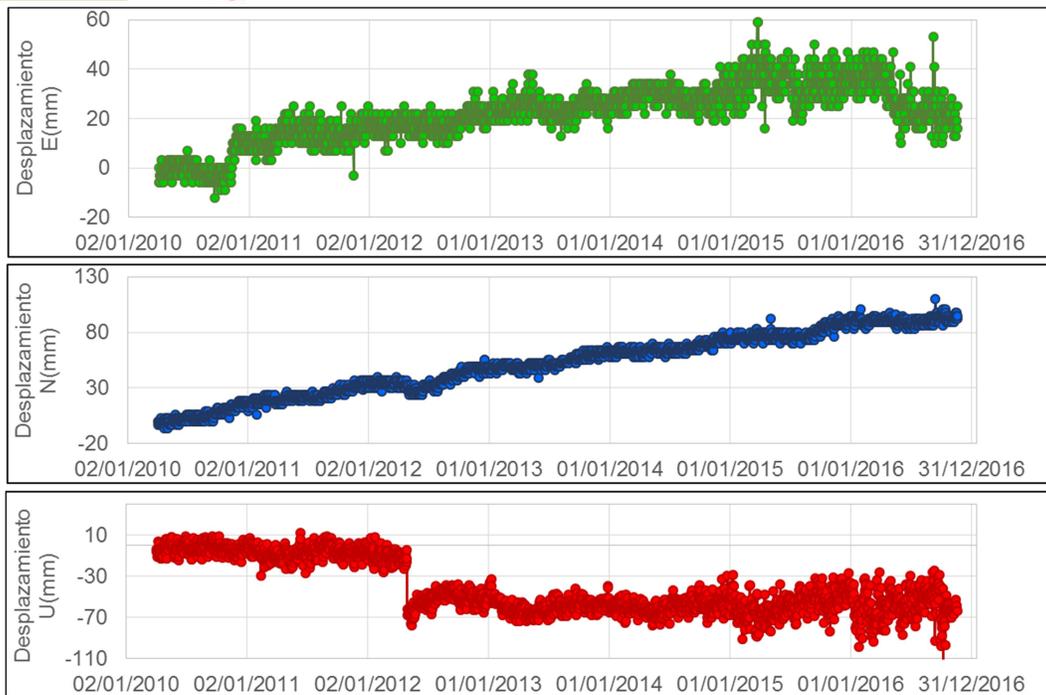


Figura 28. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, en el Municipio de Chachagüí, Departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre el 25 de octubre de 2012 y el 15 de noviembre de 2016.

1.3.3. Medición electrónica de distancias EDM

Para el periodo evaluado no se realizaron medidas de EDM.

1.4. ELECTROMAGNETISMO.

Durante el mes de noviembre de 2016, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras, se realizó con los registros de dos estaciones eléctricas y tres estaciones magnéticas; las estaciones Frailejón y Barranco tienen sensores eléctricos y magnéticos, en tanto que Cráter solamente tiene sensor magnético.

Los sensores de monitoreo magnético en Galeras mostraron una gran influencia de las variaciones asociadas principalmente con los efectos día-noche (Figura 29), haciendo evidente la influencia de la actividad del Campo Magnético Terrestre, de acuerdo con la comparación realizada con los registros de la estación magnética de Kourou (Figura 30), perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del Instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (La estación se ubica en Guayana Francesa). En el mes de noviembre, 2016, no se destaca actividad asociada con procesos volcánicos relevantes, por cuanto la actividad de Galeras se mantuvo en bajos niveles. La estación magnética de Frailejón varió en un rango de 110 nT, y tuvo un valor promedio del campo total, para el mes de noviembre de 28.535 nT (Figura 29). La estación magnética de Barranco varió en un rango de 200 nT, y tuvo un valor promedio del campo total, para el mes de noviembre de 28.400 nT

(Figura 29). La estación magnética Cráter varió en un rango de 134 nT, con un valor promedio del campo total, para el mes de noviembre de 33.370 nT (Figura 29).

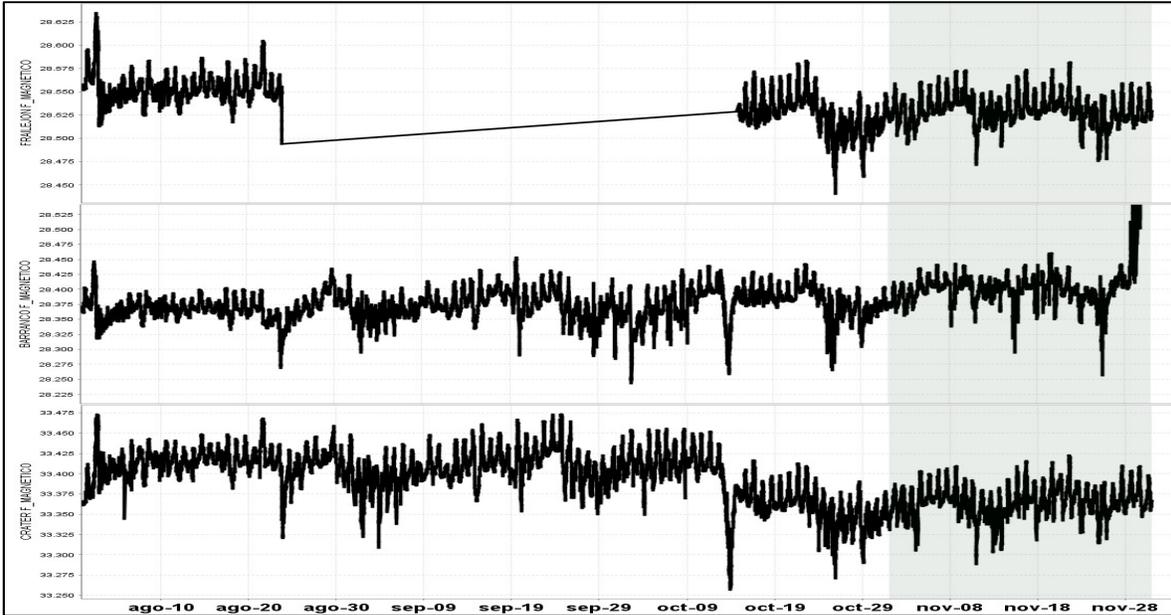


Figura 29. Intensidad del Campo Magnético Total, de las estaciones de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Galeras. Frailejón (superior), Barranco (medio) y Cráter (inferior), para periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2016.

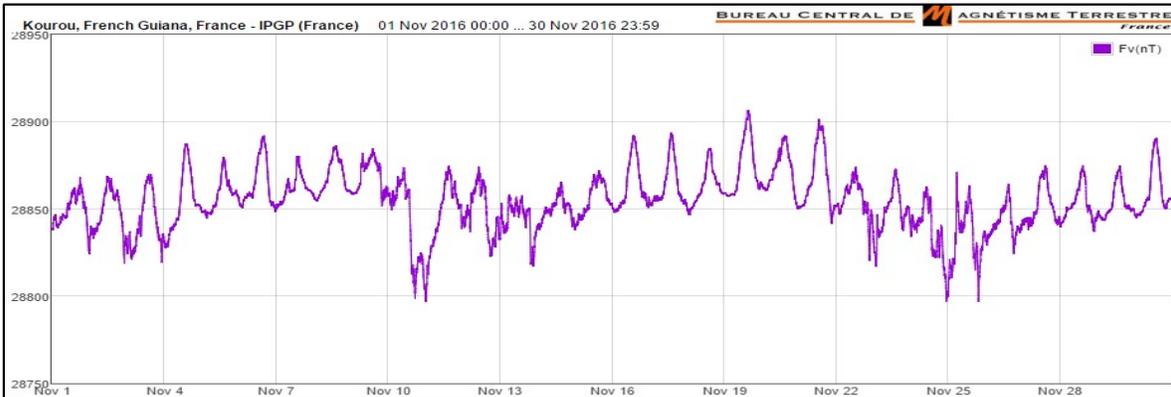


Figura 30. Intensidad del campo magnético Terrestre Total, registrado en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de noviembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

El campo eléctrico horizontal de los sensores eléctricos de la estación Frailejón, posterior a su reinstalación a finales del mes de octubre, mostró una tendencia ligeramente descendente, con un rango de variación de 32 mV, que se considera como bajo, para una zona volcánica activa, y un valor promedio de campo de 257 mV. En Barranco, el comportamiento de la componente horizontal del campo eléctrico muestra un comportamiento más variable, con un rango de oscilación de 96 mV, asociado posiblemente con las condiciones de lluvia en la zona, en ese mes; además, tuvo un valor

promedio del campo de 295 mV. En general estos son rangos bajos de variación para zonas volcánicas activas (Figura 31).

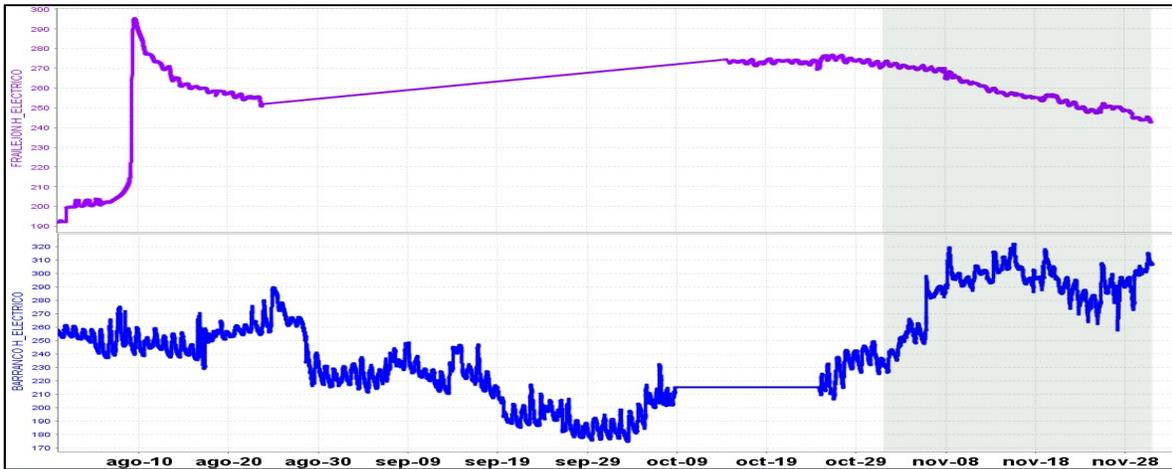


Figura 31. Variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Frailejón (superior) y Barranco (inferior), pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.

1.5. GEOQUIMICA.

1.5.1. Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras

1.5.1.1. Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO₂) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS

En el volcán Galeras se encuentran ubicadas tres estaciones telemétricas de SCANDOAS (Figura 3, tabla 4): Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara para la captura de moléculas de dióxido de azufre (SO₂), partículas provenientes de la desgasificación del magma en el reservorio profundo del volcán Galeras.

El SCANDOAS es un sistema de espectroscopia de absorción UV que funciona mediante absorción óptica diferencial, diseñado para medir la emisión de gas SO₂, convirtiendo la luz ultravioleta detectada en señales digitales, éstas señales son el espectro para la evaluación del gas. (Instructivo del APLICATIVO ISOLUCIÓN: IN-AME-OVS-020).

Se registran escaneos durante todos los días del mes de noviembre de 2016, para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, de la estación Santa Bárbara aún no se tiene registro de escaneos; los valores para emisión de SO₂ a la atmósfera se encuentran entre 14 y 418 Ton/día, valores considerados como bajos para el volcán Galeras (Figura 32 y 33, Tabla 9).

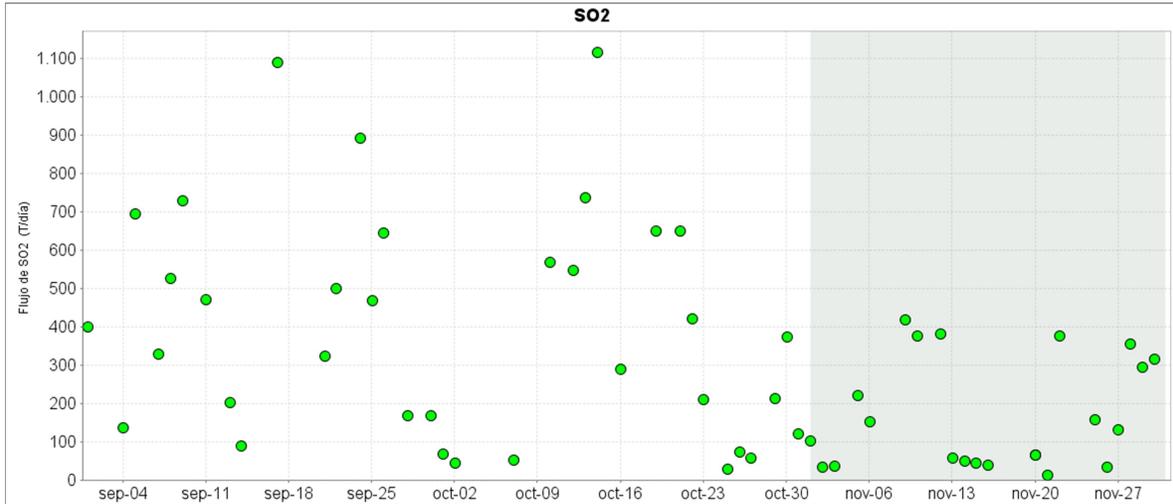


Figura 32. Flujo de dióxido de azufre (SO₂) Volcán Galeras - mes de noviembre 2016.

Para este periodo se evidencia un proceso de desgasificación más bajo en comparación con meses anteriores, tal y como se observa en la Figura 32, fue posible observar actividad superficial en Galeras desde las cámaras web instaladas en cercanías al volcán. En general se presentaron bajos valores de velocidad del viento durante el periodo evaluado, alcanzando los 11,0 m/s. La tendencia de dirección del viento se encuentra hacia los 323° en azimut. El mayor flujo de SO₂ registrado para el volcán Galeras durante el mes, se presenta el día 9 de noviembre de 2016 con un valor de 418 Ton/día, considerado como un flujo bajo para el volcán Galeras.

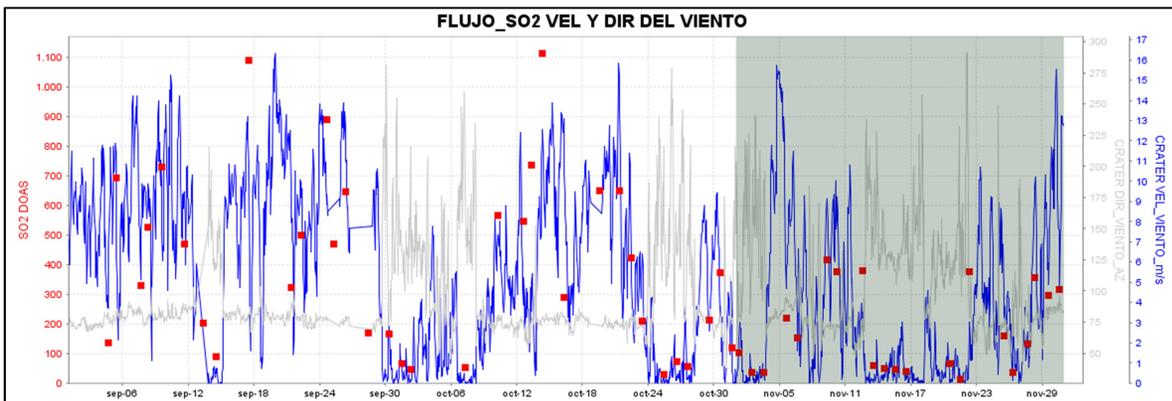


Figura 33. Flujo de dióxido de azufre (SO₂), velocidad y dirección del viento - mes de noviembre de 2016.

Tabla 9. Emisión dióxido de azufre a la atmósfera volcán Galeras – mes de noviembre de 2016.

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO ₂ diario	Estación de registro	Instrumento
1-Nov-16	07:54 AM	310	2	102	Alto Tinajillas	SCANDOAS
2-Nov-16	12:10 PM	317	1	35	Alto Jimenez	SCANDOAS
3-Nov-16	02:24 PM	339	1	36	Alto Jimenez	SCANDOAS
5-Nov-16	03:01 PM	327	5	220	Alto Jimenez	SCANDOAS
6-Nov-16	03:27 PM	327	3	152	Alto Jimenez	SCANDOAS
9-Nov-16	09:10 AM	342	9	418	Alto Jimenez	SCANDOAS
10-Nov-16	07:03 AM	312	5	376	Alto Tinajillas	SCANDOAS
12-Nov-16	02:49 PM	310	4	381	Alto Tinajillas	SCANDOAS
13-Nov-16	01:42 PM	335	1	59	Alto Jimenez	SCANDOAS
14-Nov-16	02:36 PM	342	1	51	Alto Jimenez	SCANDOAS
15-Nov-16	02:57 PM	339	1	45	Alto Jimenez	SCANDOAS
16-Nov-16	02:28 PM	334	1	39	Alto Jimenez	SCANDOAS
20-Nov-16	12:43 PM	314	1	65	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-Nov-16	02:43 PM	314	1	65	Alto Tinajillas	SCANDOAS
21-Nov-16	12:38 PM	286	1	14	Alto Tinajillas	SCANDOAS
22-Nov-16	09:25 AM	333	8	377	Alto Jimenez	SCANDOAS
25-Nov-16	12:55 PM	340	5	159	Alto Jimenez	SCANDOAS
26-Nov-16	07:05 AM	100	1	35	Alto Jimenez	SCANDOAS
27-Nov-16	03:48 PM	349	2	133	Alto Jimenez	SCANDOAS
28-Nov-16	08:00 AM	85	11	356	Alto Jimenez	SCANDOAS
29-Nov-16	02:09 PM	337	5	295	Alto Jimenez	SCANDOAS
30-Nov-16	01:14 PM	324	8	316	Alto Jimenez	SCANDOAS

*Valores de flujo de SO₂ para Galeras: Bajo (0<500 Ton/d); Moderados (>500<1000 Ton/d); Alto (>1000<3000 Ton/d); Muy alto (>3000 Ton/d).

1.5.1.2 Concentración de gas radón difuso en suelo.

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

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 235, tiene una vida media de 3,8 días y no se encuentra más allá de los 50 a 60 m de profundidad, entonces su difusión es la única responsable de su dispersión (Dyck y Smith 1969). En la Figura 34 se muestra el mapa con las estaciones para medición de flujo de gas Radón ubicadas en la zona de influencia del volcán Galeras, entre ellas se encuentran las estaciones Lavas, Parques y Lirios.

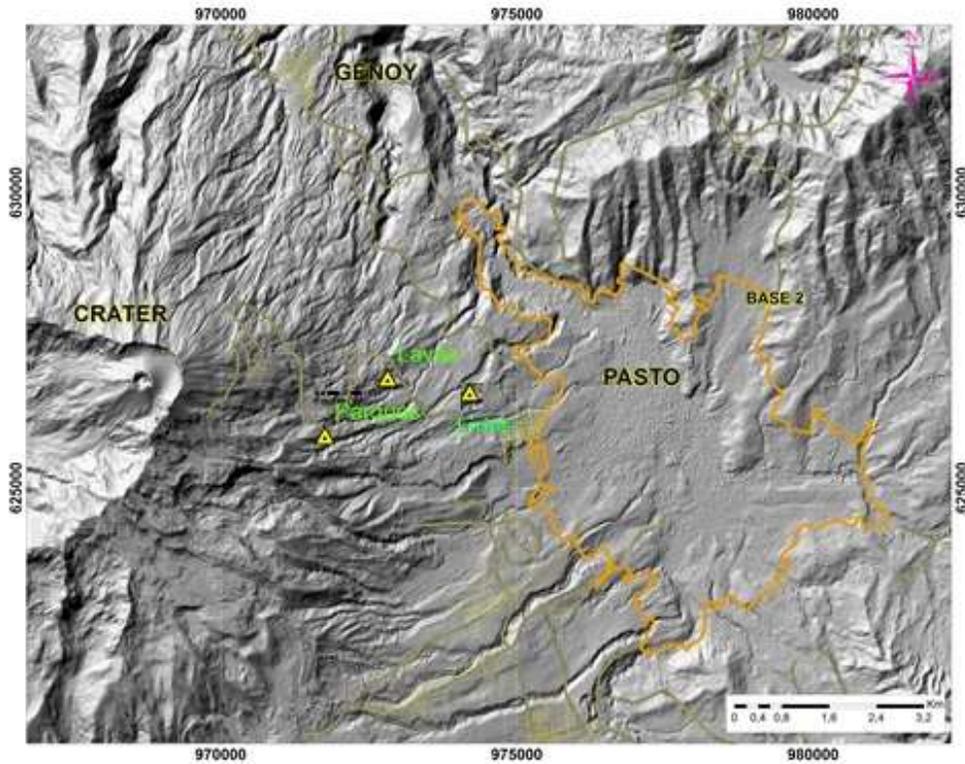


Figura 31. Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras.

En la figura 35 se presenta la gráfica del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, registrado desde la estación Parques, las variaciones presentadas pertenecen a la difusión típica de radón en este sitio, no se presentan cambios significativos en el periodo evaluado. No fue posible realizar mediciones desde los Lirios y Lavas por algunos problemas con el sistema telemétrico.

Se presenta un máximo de concentración de 71498 Bq/m^3 (Tabla 10). Se continuará realizando seguimiento a estas variaciones para evaluar el comportamiento y su relación con la actividad volcánica.

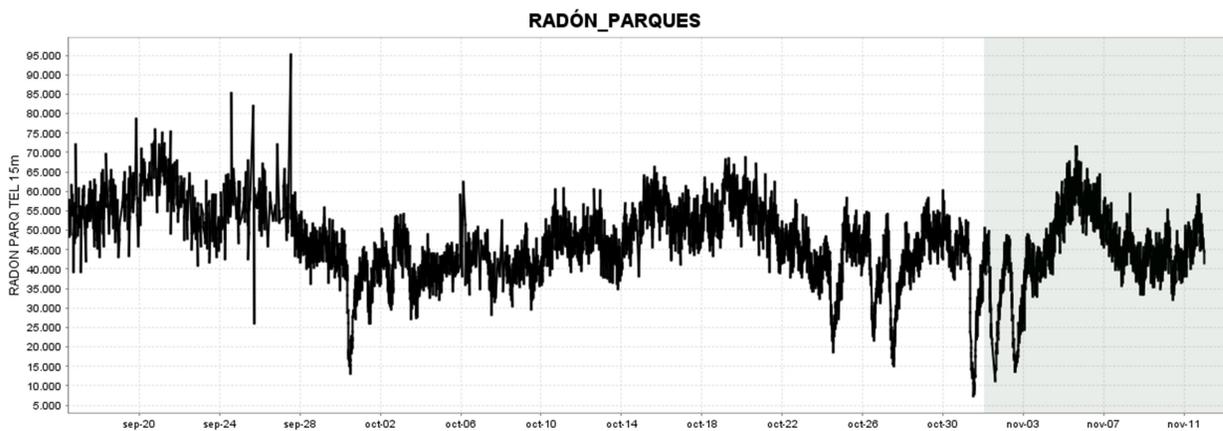


Figura 32. Concentración radón difuso en suelo- volcán Galeras - estación telemétrica Parques – noviembre 2016.

Tabla 10. Valores de concentración de radón en la estación Parques – Volcán Galeras – noviembre 2016.

CONCENTRACIÓN RADÓN	[Bq/m3]
Promedio	44978.68
Máximo	71498.37
Mínimo	11109.57

1.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas a la cima de Galeras desde la sede del OVSP y por videos e imágenes de las cámaras Web instaladas en la sede del OVSP en Pasto (SE del volcán), en Consacá (W del volcán) y en la cima de Galeras en el sector denominado Bruma (S del cono activo) y en el sector denominado Barranco (NW del volcán). Condiciones de clima favorables permitieron observar emisiones de gases de color blanco durante todo el mes exceptuando los días 15 y 19 de noviembre de 2016. La altura alcanzada por las columnas de gas fue baja respecto a la cima volcánica y la dispersión de éstas fue variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, sector norte y occidente de la parte alta del cono volcánico, principalmente en los campos fumarólicos Chavas al occidente y El Paisita al norte.

En las Figuras 36 a 39 se presentan imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en noviembre de 2016.

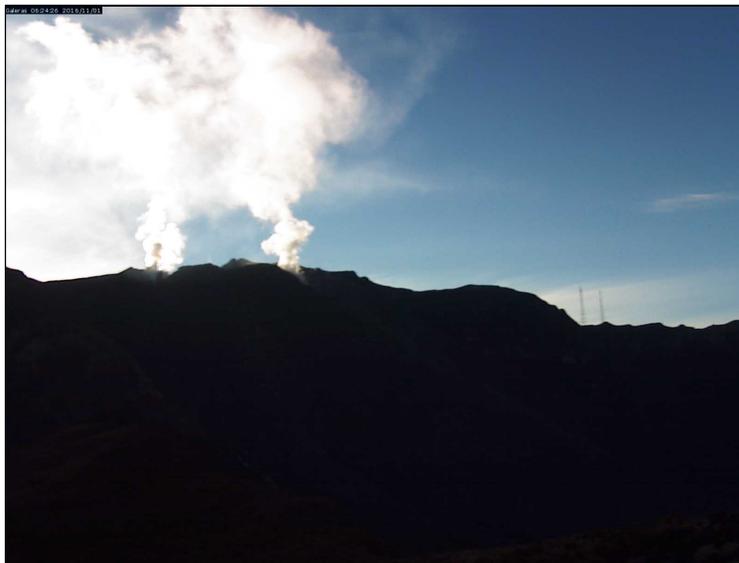


Figura 36. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco Alto el 1 de noviembre de 2016 a las 6:24 a.m.



Figura 37. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en la repetidora Bruma el 18 de noviembre de 2016 a las 6:09 a.m.

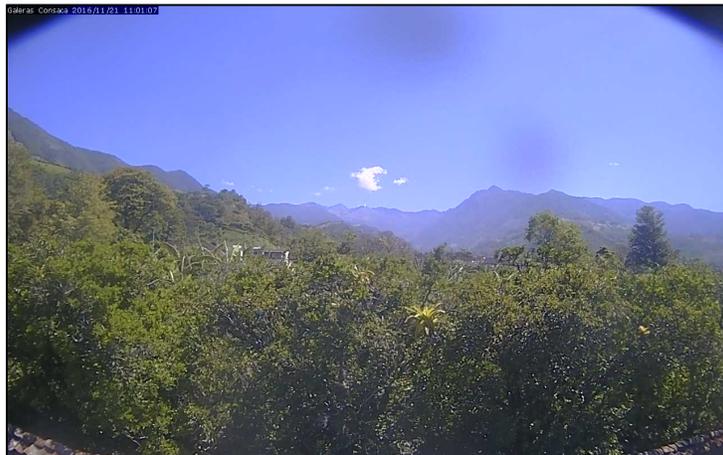


Figura 38. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 21 de noviembre de 2016 a las 11:01 a.m.



Figura 39. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 28 de noviembre de 2016 a las 6:14 p.m.

1.7. CONCLUSIONES

- Continúa observándose cambios en el comportamiento de la actividad del volcán, reflejados en las fluctuaciones de la actividad sísmica, siendo la sismicidad dominante aquella asociada a fracturamiento de material cortical, seguida por eventos asociados fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos.
- Por medio de la red de cámaras de video del OVSP y gracias a las condiciones climáticas, durante la mayor parte del mes se evidenció emisiones de gases con columnas de baja altura respecto a la cima de Galeras, las cuales se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos. Los principales focos de emisión continúan siendo el Cráter principal y los cráteres secundarios El Paisita y Chavas ubicados en el sector norte y occidente de la cima del cono volcánico.

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 VOLCÁN CUMBAL – NOVIEMBRE DE 2016

2.1. RED DE VIGILANCIA

En noviembre de 2016 la red de vigilancia del complejo volcánico de Cumbal estuvo conformada por:

- Cuatro estaciones sísmicas telemétricas: Dos de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 40, Tabla 11).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos ubicados en los sitios donde se encuentran emplazadas las estaciones sísmicas (Figura 40, Tabla 11).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 40).
- Dos cámaras de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en el municipio de Cumbal y otra en el sitio de la estación Punta Vieja (Figura 40).

Para este periodo la estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 89,3% (Figura 41).

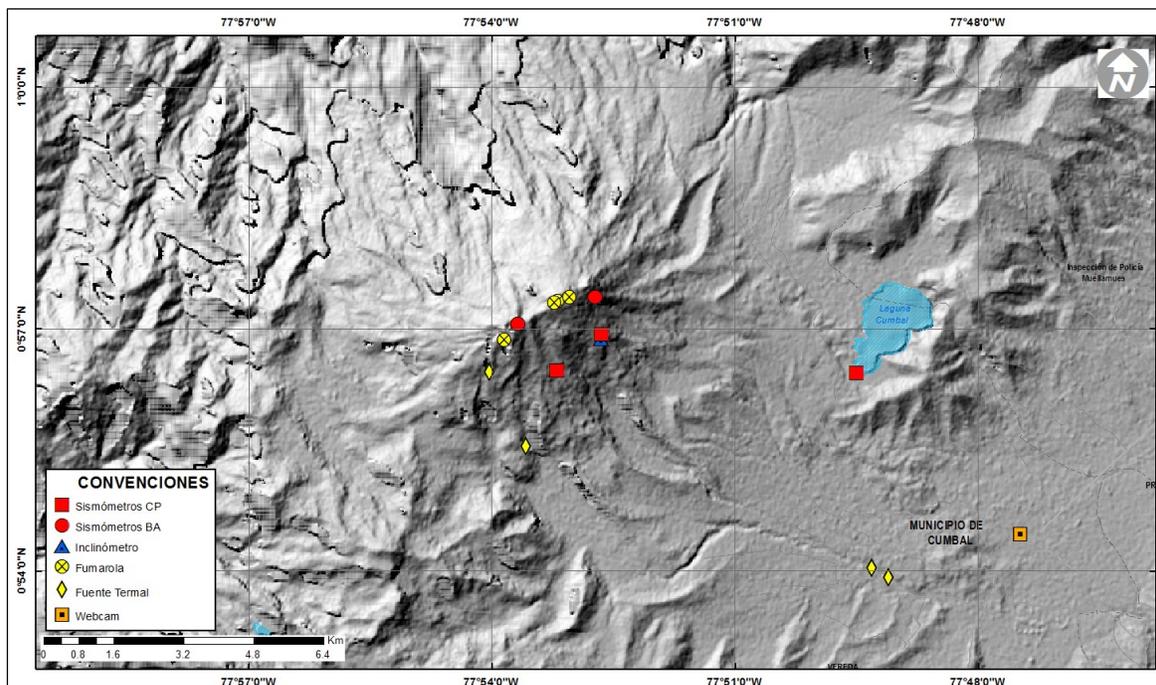


Figura 40. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de noviembre de 2016.

Tabla 11. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante noviembre 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
Limonos	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	Triaxial	2,5	ESE	4270
La Nieve	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	0,2	E	4696
Limonos	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

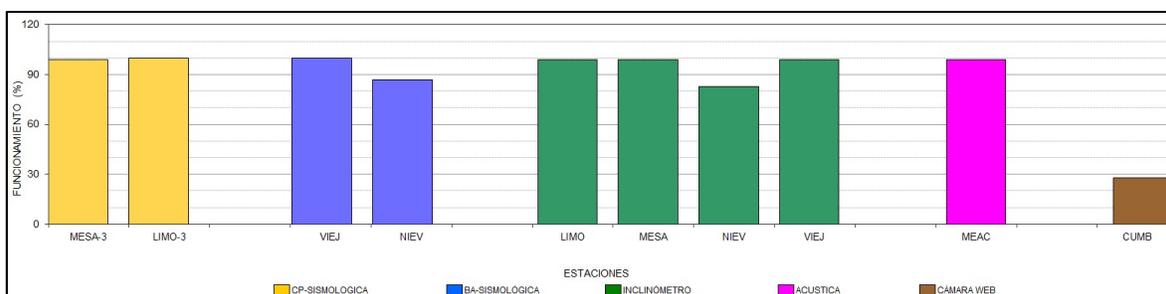


Figura 41. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en noviembre de 2016.

2.2. SISMOLOGÍA

En el mes de noviembre de 2016, la ocurrencia sísmica disminuyó en un 14,3% en comparación al mes octubre, pasando de 747 a 640 eventos. La sismicidad dominante fue la de tipo HYB con un porcentaje del 40,8%, seguido por los eventos tipo LPS con un 36,1% (de este porcentaje un 1,6% corresponden al registro de eventos tipo TOR), los sismos tipo VT aportaron con el 23%. Por su parte los eventos tipo TRE aportaron con el 0,2% (Tabla 11, Figuras 42 y 43).

Tabla 12. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016 (resaltado en color verde).

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	TOTAL
01-ago-16 a 31-ago-16	269	503	1	442	7	1222
01-sep-16 a 30-sep-16	122	210	6	277	9	624
01-oct-16 a 31-oct-16	107	296	8	323	13	747
01-nov-16 a 30-nov-16	147	221	1	261	10	640

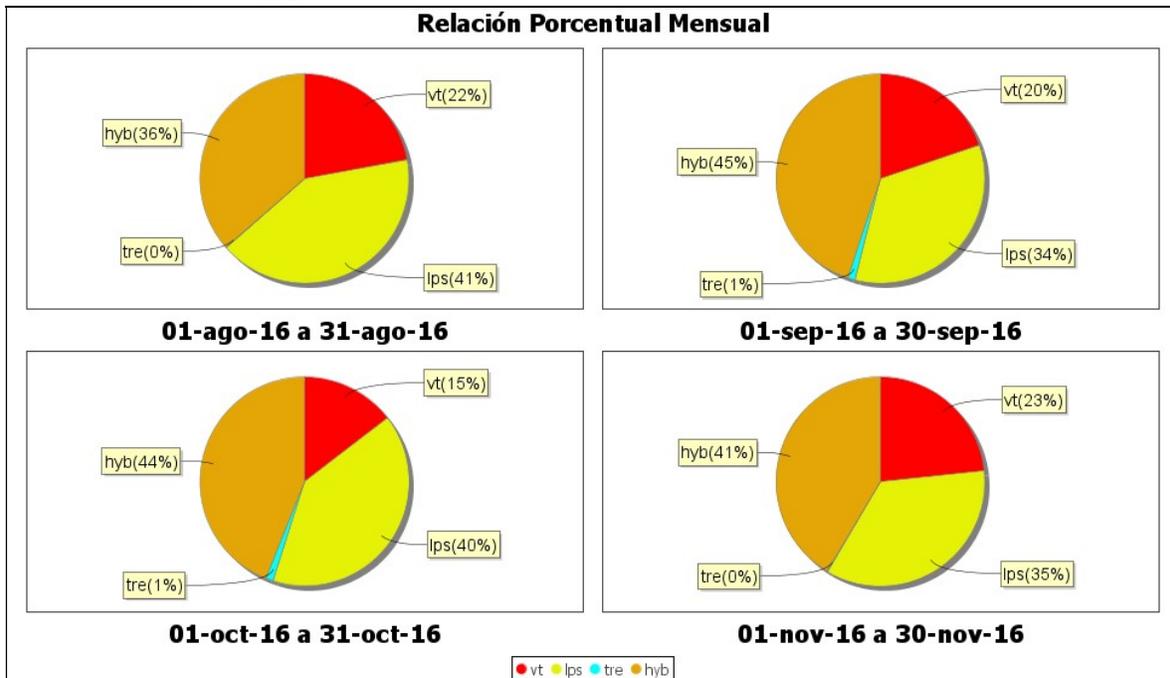


Figura 42. Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre agosto y noviembre de 2016. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.

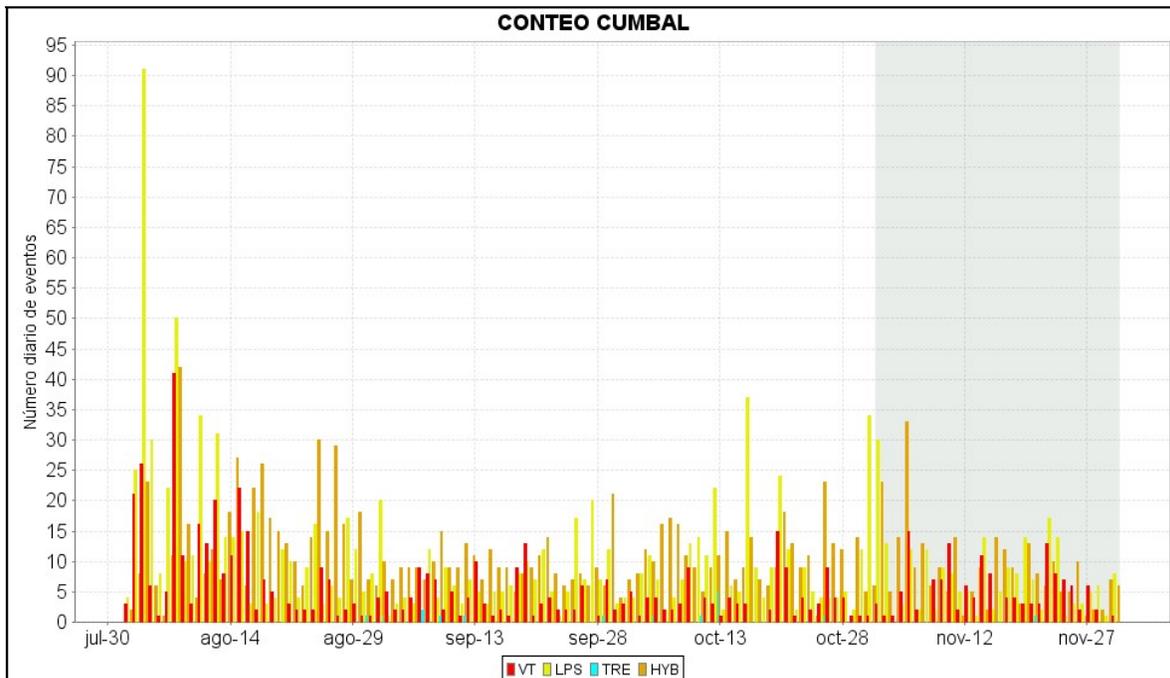


Figura 43. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.

En relación con la sismicidad asociada con fracturamiento de material cortical al interior del Complejo Volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado fue posible localizar 116 sismos, 60 de ellos tipo VT

y 56 HYB, la mayoría de los eventos se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela al nororiente del complejo volcánico, con profundidades inferiores a 7,5 km (nivel de referencia a 4700 msnm), los más dispersos se localizaron a distancias de hasta 5 km con profundidades de hasta 6,5 km. La magnitud local mostró valores menores a 3,2 en la escala de Richter sin embargo la mayoría presentaron magnitudes locales por debajo de 1,5 (Figura 44). Se resalta el sismo registrado el 22 de noviembre de 2016 a las 11:16 p.m.

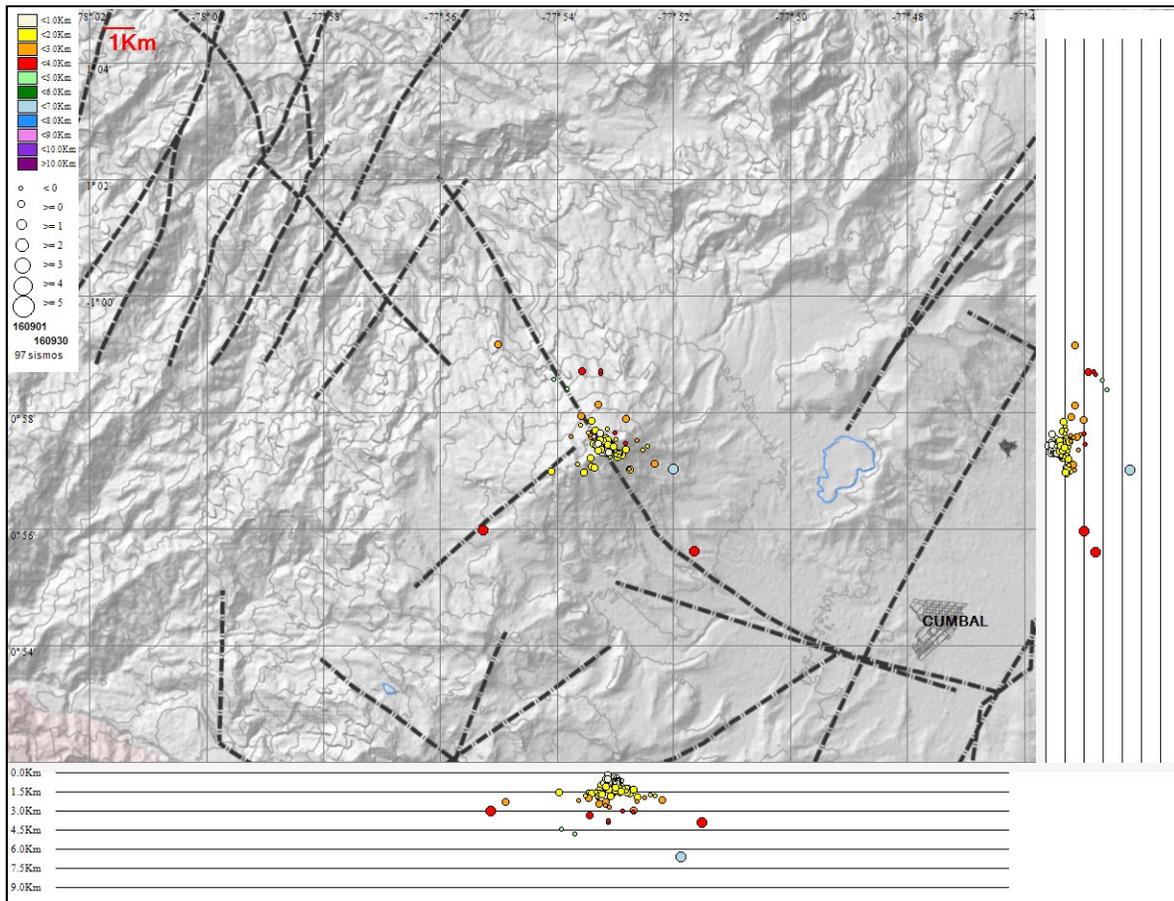


Figura 44. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 30 de septiembre de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3,0 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

2.3. DEFORMACIÓN

Para el mes de septiembre de 2016, se contó con cuatro inclinómetros electrónicos, Limones, La Mesa, Punta Vieja y La Nieve.

Los inclinómetros La Mesa, Limones muestran tendencia estable en sus componentes, con variaciones que probablemente están asociadas con la temperatura ambiente (Figura 45, figura 46).

El inclinómetro Punta Vieja, en su componente Este desde 2014 hasta la fecha, acumula cerca de 50 μrad , y la componente Este unos 100 μrad , aunque para el último año esta componente ha mostrado estabilidad (Figura 47).

En septiembre se reinstaló el inclinómetro La Nieve, y hasta el momento muestra cambios que se pueden enmarcar en su comportamiento estable (Figura 48).

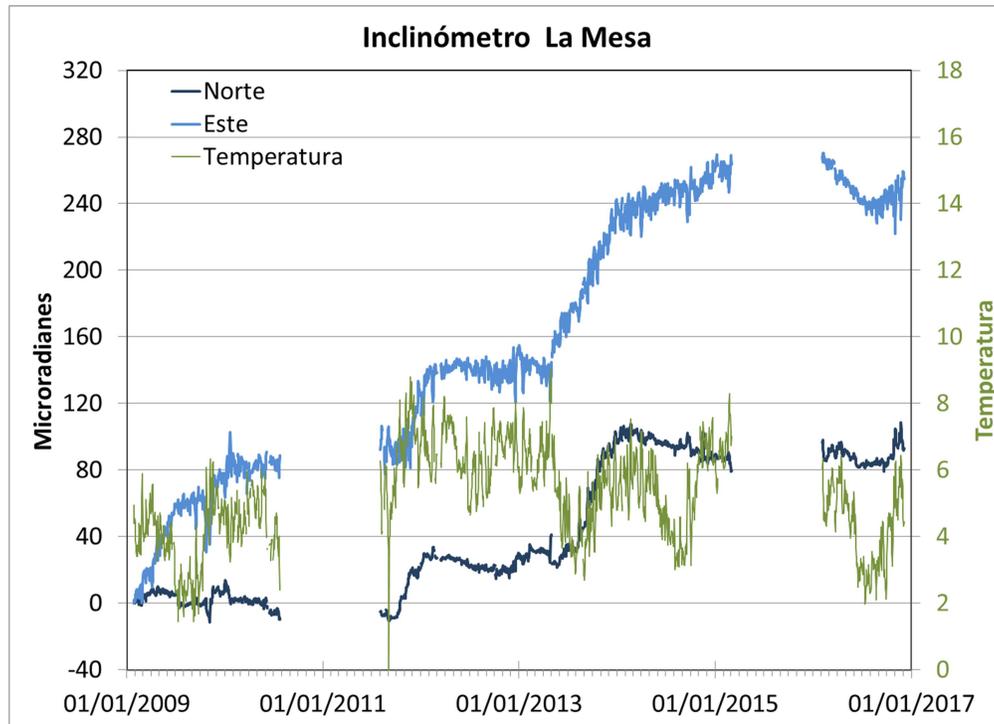


Figura 45. Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2009 y el 30 de noviembre de 2016.

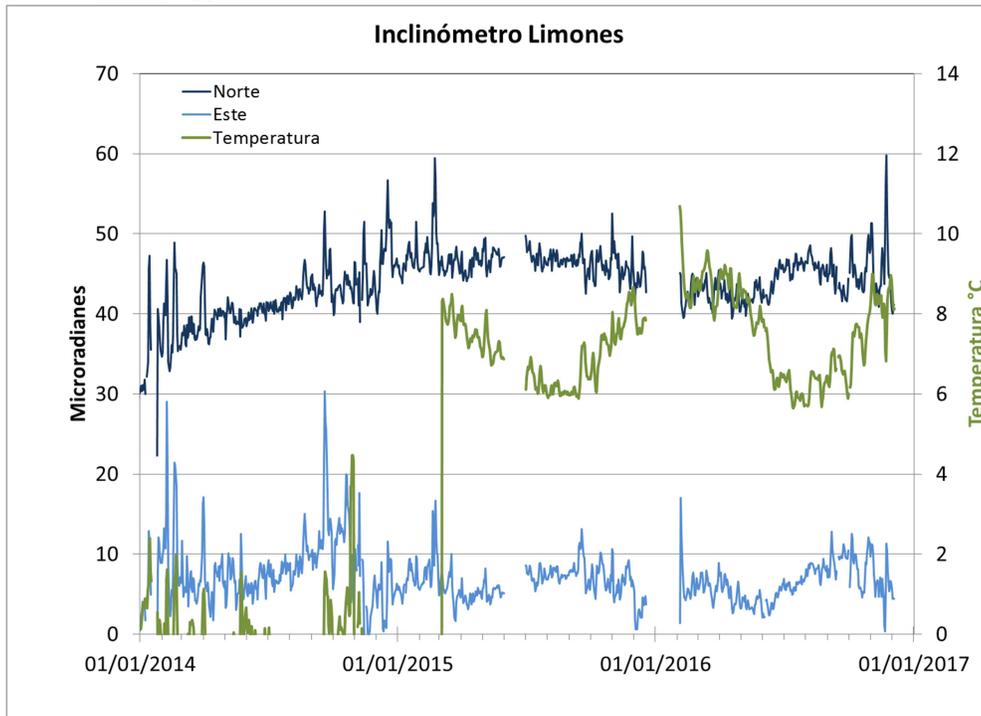


Figura 46. Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2016.

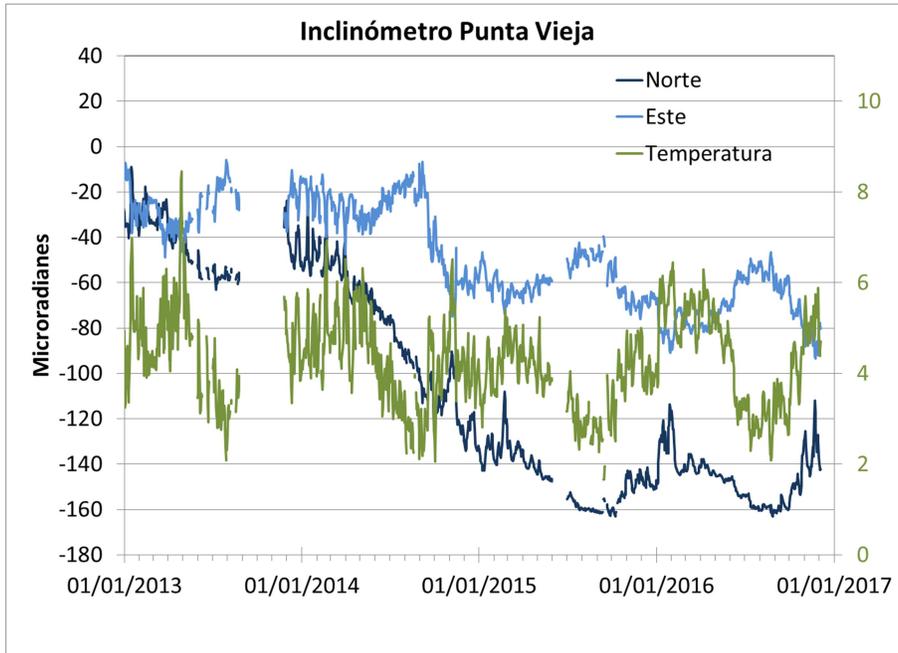


Figura 47. Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.

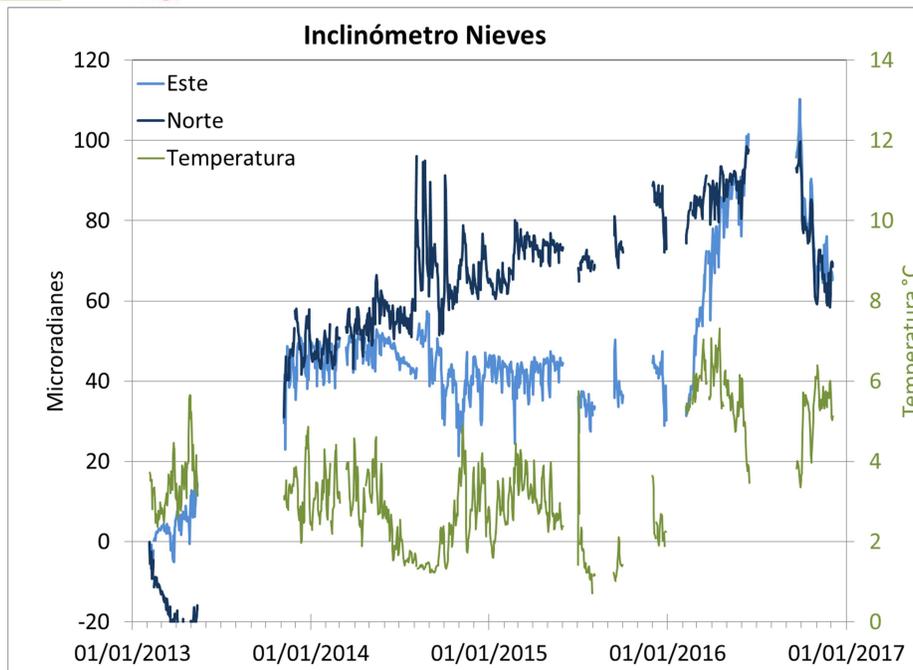


Figura 48. Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.

2.4. GEOQUIMICA.

En el mes de noviembre no se realizó muestreo de aguas en fuentes termales ni muestreo de gases en el volcán Cumbal.

2.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas a la cima desde las cámaras Web instaladas en el municipio de Cumbal y en el sitio de la estación Punta Vieja. Condiciones de clima favorables permitieron observar emisiones de gases de color blanco durante todo el mes exceptuando los días 4, 5, 9, 14, 15, 16, 19, 24, 26, 27, 29 y 30 de noviembre de 2016. La altura alcanzada por las columnas de gas fue baja respecto a la cima volcánica y la dispersión de éstas fue variable debido a la acción de los vientos. El principal foco de emisión continúa siendo el Cráter El Verde ubicado al nororiente del complejo volcánico (Figura 49 y Figura 50).



Figura 49. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el municipio de Cumbal el 3 de noviembre de 2016 a las 5:39 p.m.



Figura 50. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el 12 noviembre de 2016 a las 10:54 p.m.

2.6. CONCLUSIONES

- La actividad que viene mostrando el Complejo Volcánico de Cumbal se caracteriza por fluctuaciones en los niveles de ocurrencia sísmica y registro eventual de sismicidad asociada con actividad hidrotermal.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de noviembre de 2016 permitió mantener para la actividad del volcán Cumbal, en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO NOVIEMBRE DE 2016

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran ubicados al suroeste del país, en el departamento de Nariño, más exactamente en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15,5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal. Por su parte el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16,5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 51).

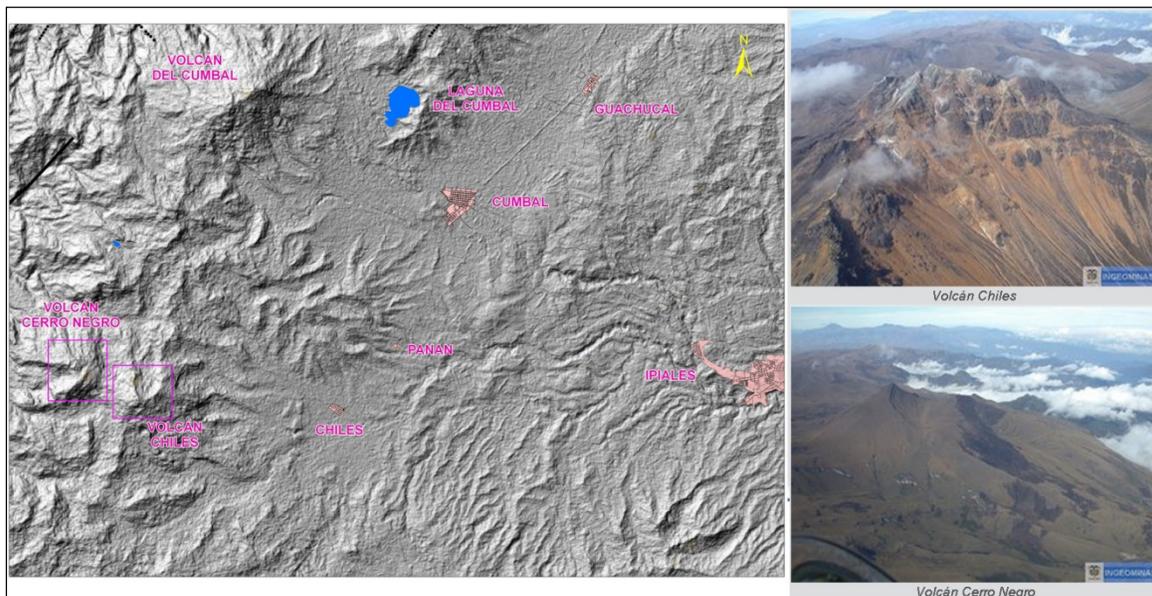


Figura 51. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

3.2. RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha y 2 inclinómetros electrónicos, una de las estaciones ubicada en la cima volcánica en el costado occidental de Chiles (sismómetro e inclinómetro), otra en el sector denominado Canguil (sismómetro y sensor de presión acústica) al nor-noroccidente del volcán Chiles, otra se encuentra en cercanías del volcán Cerro Negro y está conformada por una estación sísmica de banda ancha y un inclinómetro electrónico, ubicada al noroccidente de la parte alta del volcán, la estación Panán, a 7,4 km al nororiente del volcán Chiles, la estación Laguna ubicada al nor-nororiente del volcán Chiles y la estación Termales (Sismómetro), ubicada en el sector de Baño Grande. Además se cuenta con una estación para el monitoreo de la temperatura en la fuente termal Baño Grande ubicada en cercanías del cabildo de Chiles y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 52, Tablas 13 y 14).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvo un funcionamiento promedio del 84 (Figura 53).

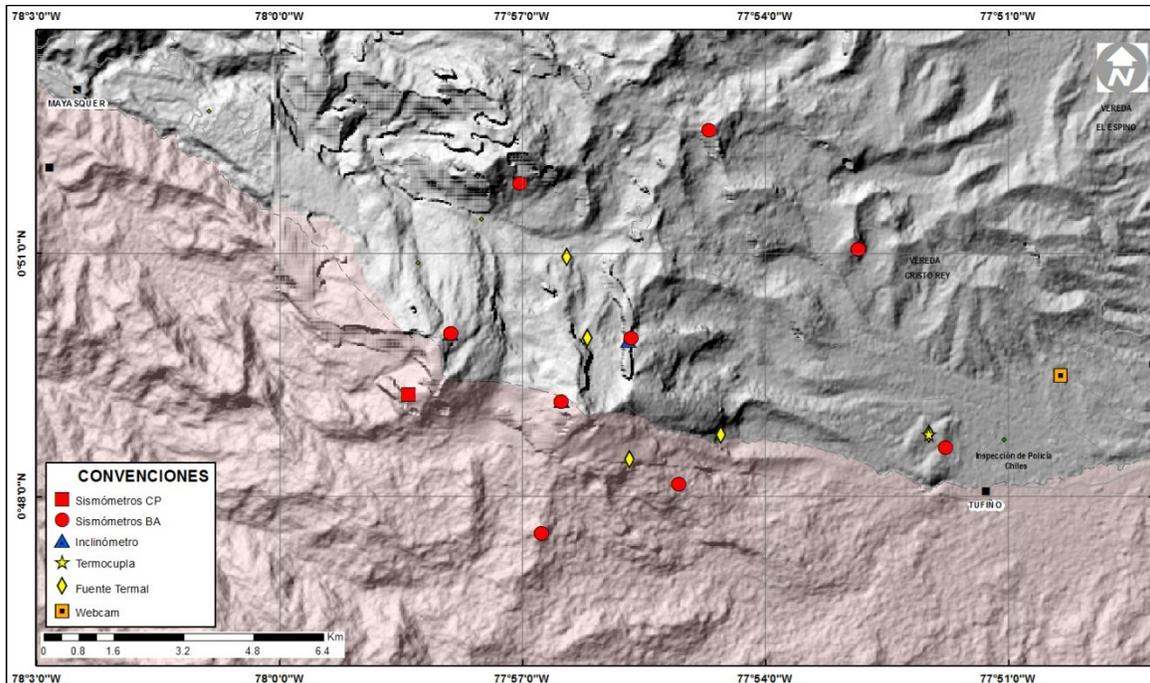


Figura 52. Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de noviembre de 2016.

Tabla 13. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

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

Tabla 14. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.

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

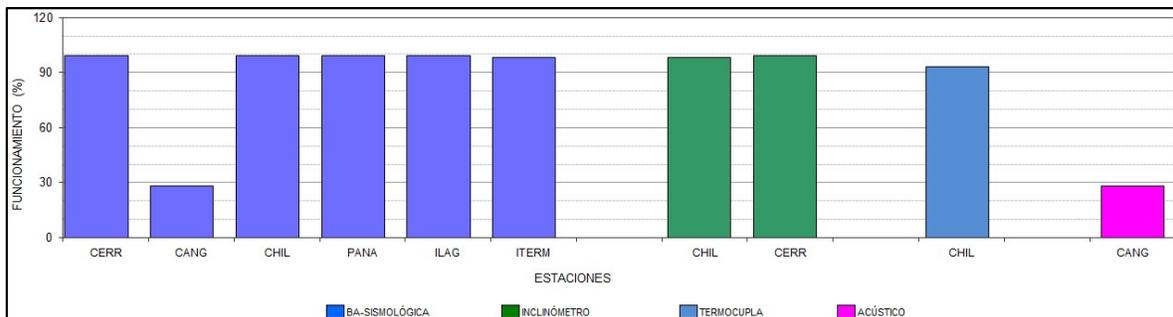


Figura 53. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante noviembre de 2016.

3.3. SISMOLOGÍA

Respecto a la actividad del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de noviembre de 2016 la ocurrencia sísmica disminuyó en un 44,9% en comparación a la sismicidad registrada en octubre, pasando de un total de 1746 a 963 sismos. La sismicidad dominante fue la de tipo VT con un porcentaje del 96%, seguido por los eventos tipo LPS con un 3,8%, los sismos tipo HYB aportaron con el 0,2%. No se tuvo registro de eventos tipo TRE (Figura 54 Tabla 15).

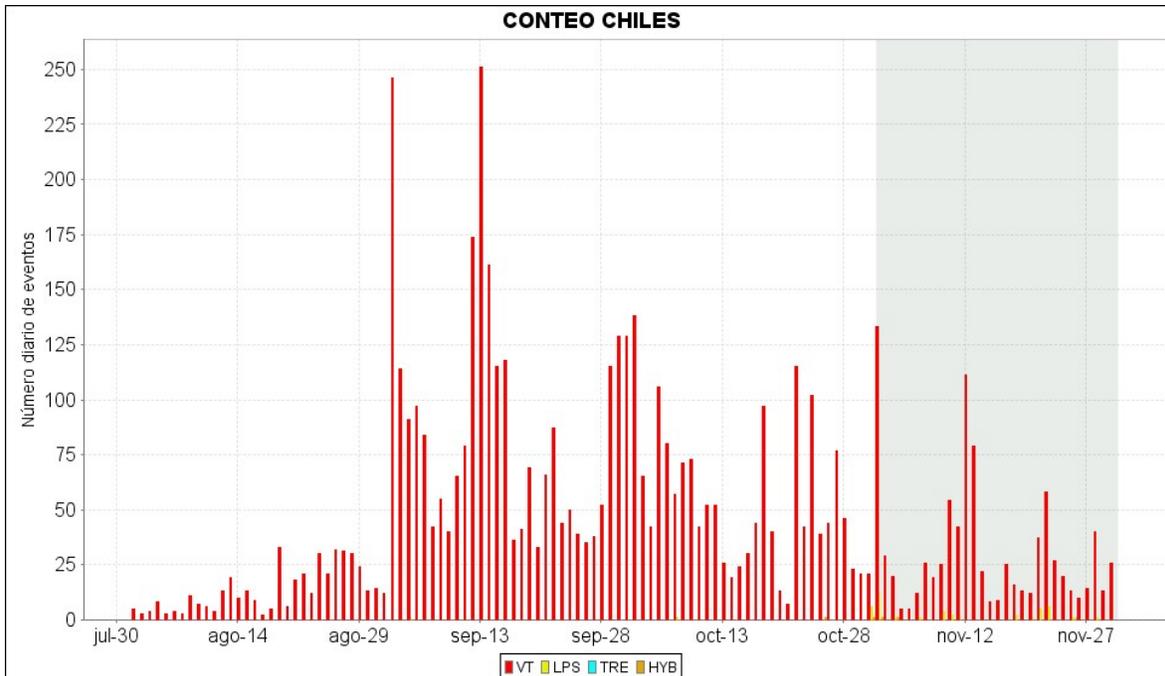


Figura 54. Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de agosto y noviembre de 2016.

Tabla 15. Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-ago-16 a 31-ago-16	414	0	0	0	414
01-sep-16 a 30-sep-16	2578	1	0	0	2579
01-oct-16 a 31-oct-16	1737	7	0	2	1746
01-nov-16 a 30-nov-16	923	37	0	3	963

De los 255 eventos localizados, la mayoría se ubicaron hacia el sur y suroccidente del volcán Chiles a distancias epicentrales menores a 5 km, y profundidades menores a 6 km respecto a la cima volcánica (4.700 msnm); unos cuantos se ubicaron en el cuadrante suroriental del volcán a profundidades menores a los 12 km y distancias epicentrales menores a 12,5 km respecto al centro

del volcán Chiles; unos cuantos eventos se localizaron hacia el sector noroccidental del volcán Chiles a menos de 3 km de distancia y a profundidades de hasta 3, 5 km respecto a la cima volcánica (Figura 55). Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 3,4 en la escala de Richter, sin embargo la mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 2 en la escala de Richter.

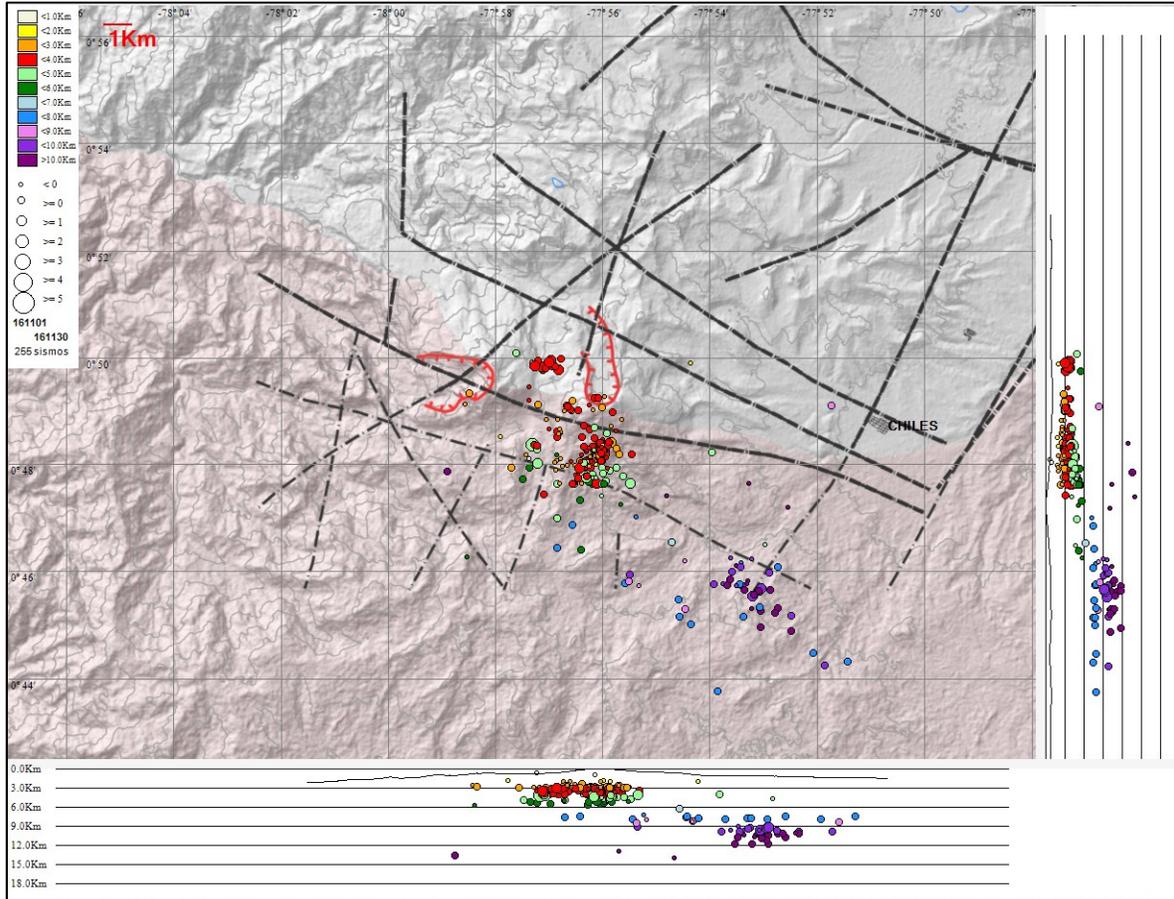


Figura 55. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de noviembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

Teniendo en cuenta la magnitud local presentada por los eventos localizados, se logró obtener un estimativo de la energía liberada en términos de su raíz cuadrada (Figura 56). En general la energía liberada por estos eventos aumentó en casi 11 veces en comparación al mes anterior, pasando de $1,12 \times 10^{15}$ ergios a $1,22 \times 10^{16}$ ergios.

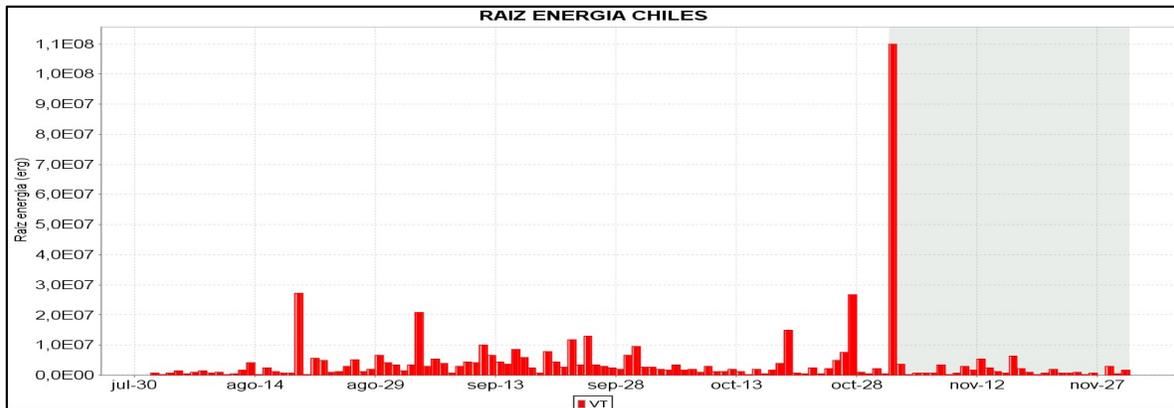


Figura 56. Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chile – Cerro Negro entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.

3.4. DEFORMACIÓN

La componente Norte del inclinómetro Chiles mostró una tendencia descendente desde noviembre de 2014 hasta abril de 2016, con un acumulado cercano a los 150 μrad , posteriormente tiene un cambio en su tendencia acumulando hasta la fecha cerca de 70 μrad ; la componente Este, muestra cambios que pueden estar asociados con la temperatura, aunque se alcanza a notar una tendencia descendente acumulando desde noviembre de 2014, unos 160 μrad (Figura 57).

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 la tendencia ascendente en la componente Este, comportamiento que se viene registrando desde el 20 de agosto de 2014, cuya variación es de 1300 μrad hasta noviembre de 2016; por su parte la componente Norte muestra una tendencia descendente en su registro, acumulando para el mismo periodo, cerca de 500 μrad (Figura 58).

Con respecto a los cambios mostrados por el inclinómetro Cerro Negro se observa un comportamiento ascendente en la componente Este, acumulando entre junio de 2015 y septiembre de 2016, cerca de 260 μrad , la componente Norte, para el mismo periodo, con una tendencia estable, muestra variaciones periódicas que alcanzan los 40 μrad (Figura 59)

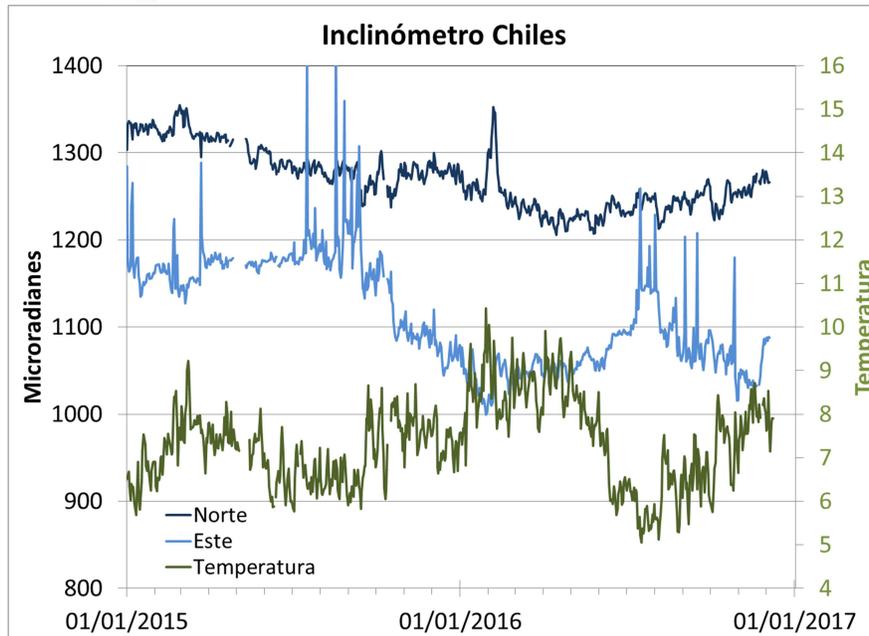


Figura 57. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de noviembre de 2016.

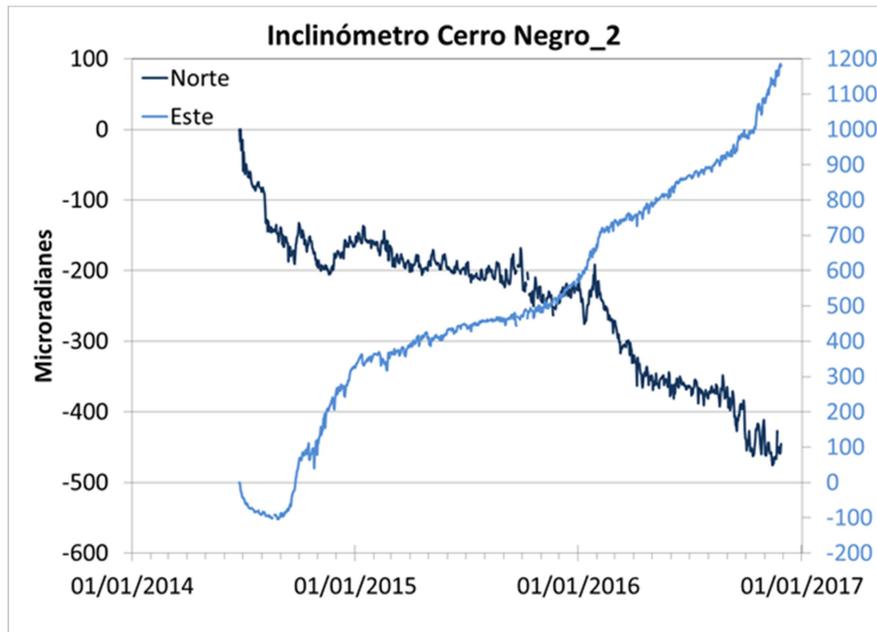


Figura 58. Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 25 junio de 2014 y el 30 de noviembre de 2016.

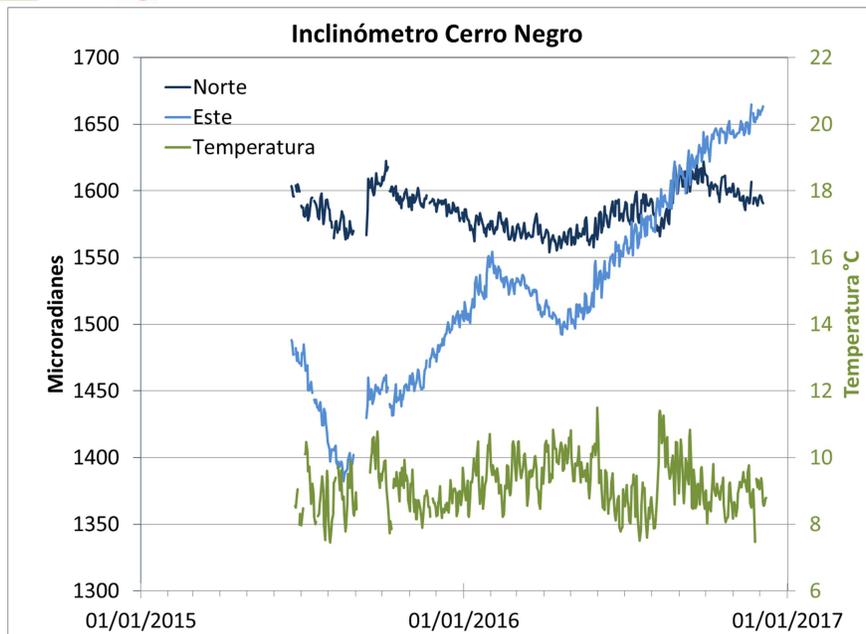


Figura 59. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de noviembre de 2016.

3.5. GEOQUÍMICA

3.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales del Volcán Chiles.

Para el periodo evaluado no se realizó muestreo en las fuentes termales ubicadas en área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

3.5.2. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande

Los datos sobre la variación de temperatura en la FT Baño Grande del volcán Chiles, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada en el sitio de la fuente termal donde se realizan los muestreos periódicos (Tabla 14), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de 10 minutos.

En la figura 60 se registran las variaciones que corresponden a valores medidos en el transcurso del día (desde las 9:30 a las 17:30 aproximadamente), con un promedio de 42,6°C (Tabla 16). Durante el mes de noviembre se registra un valor máximo de 43.0°C. No se registran variaciones significativas. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continúa con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.

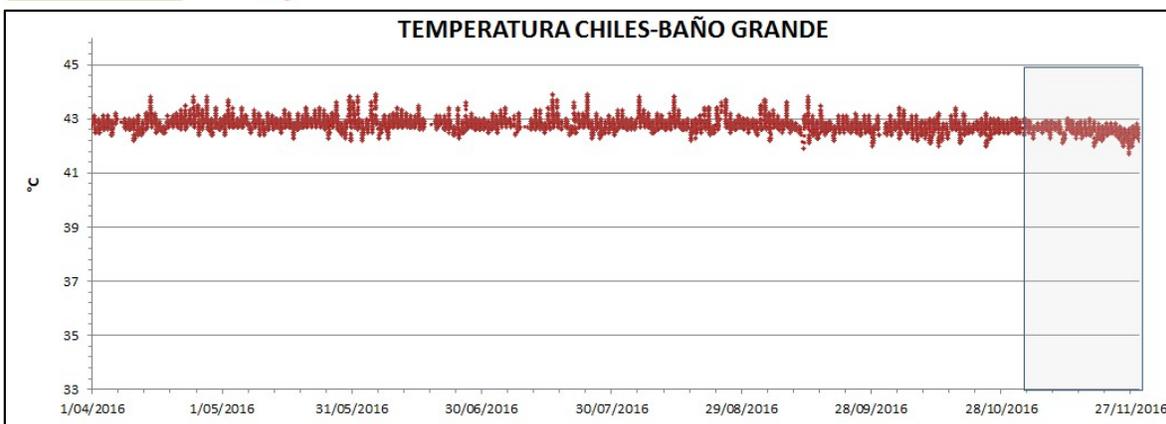


Figura 60. Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles entre el 1 de abril de 2016 y el 30 de noviembre de 2016.

Tabla 16. Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – noviembre de 2016.

VALOR	Temp. (°C)
Mínimo	42,6
Máximo	43,0
Promedio	42,6

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

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

3.7. CONCLUSIÓN

Aunque hasta el momento no se han observado cambios en las manifestaciones de actividad superficial, la sismicidad muestra una posible intrusión de magma en profundidad, por lo cual el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio y es posible que vuelvan a suceder sismos de niveles energéticos importantes que sean sentidos por pobladores de la zona de influencia volcánica. Por tanto, se recomienda a las autoridades y comunidades mantener precaución, permanecer atentos a la información y a las recomendaciones dadas por las entidades oficiales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de noviembre 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 – NOVIEMBRE DE 2016

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 61).

Las estaciones instaladas hasta el momento cuentan con un sistema de telemetría de datos tipo análoga y de tipo digital con registro continuo y en tiempo real de la información proveniente de estos volcanes.

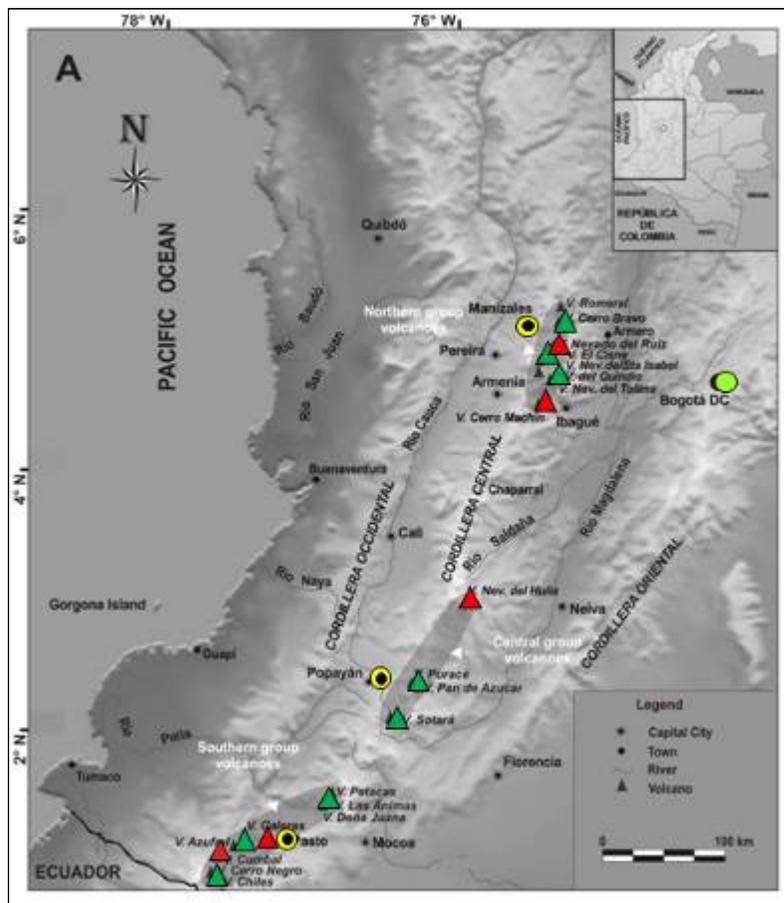


Figura 61. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.

La información obtenida por los diferentes métodos geofísicos y geoquímicos de vigilancia, se viene analizando de manera periódica con el propósito de obtener un conocimiento básico del fenómeno volcánico e identificar de manera oportuna un posible cambio en la actividad y realizar el diagnóstico del nivel de actividad.

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 y Florencia, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 62).

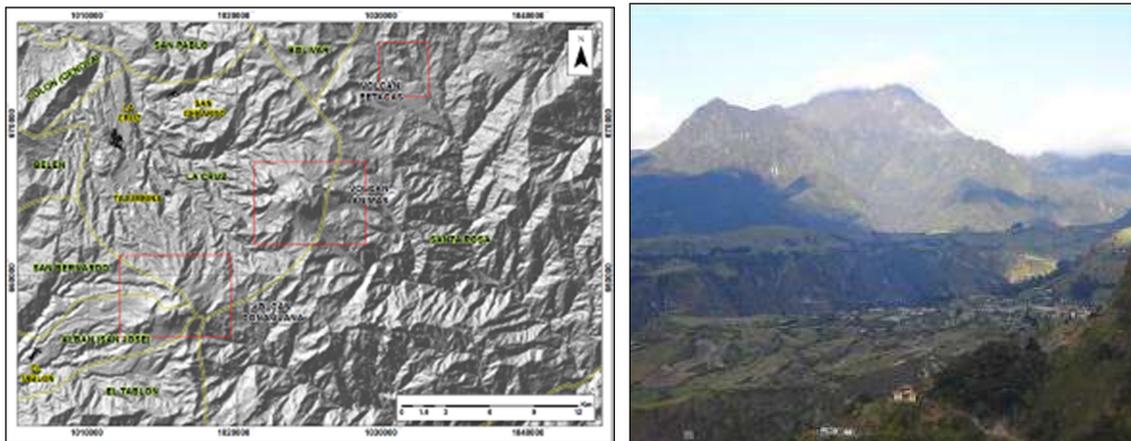


Figura 62. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

4.1.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas, dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental, 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. Es de resaltar que la estación multiparámetro Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

En la Figura 63 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 17 se consignan sus características.

Tabla 17. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en noviembre 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

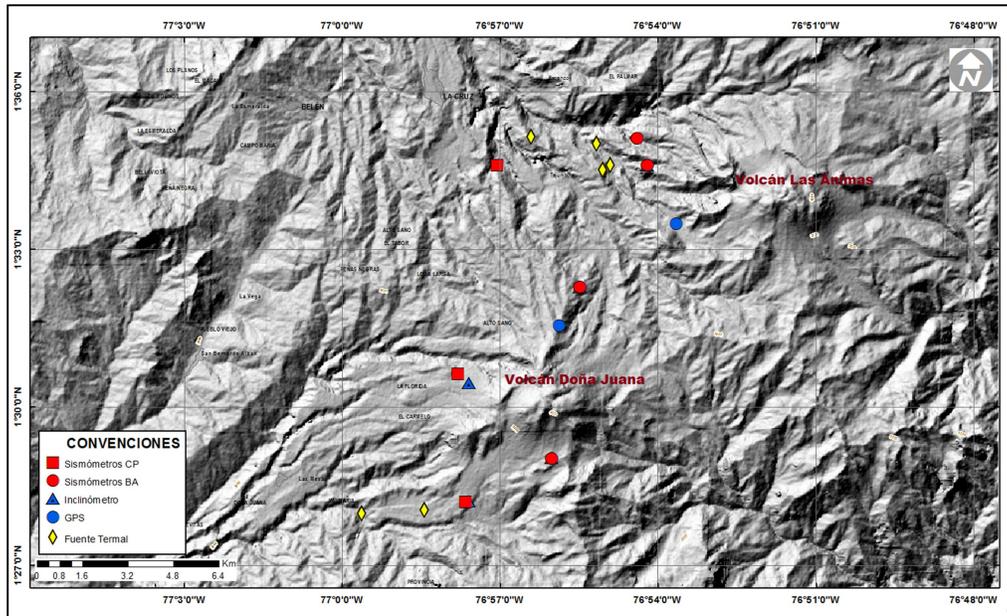


Figura 63. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de noviembre de 2016. En el mapa se distingue también el volcán Doña Juana. Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Las Ánimas tuvo un funcionamiento del 98,2% (Figura 64).

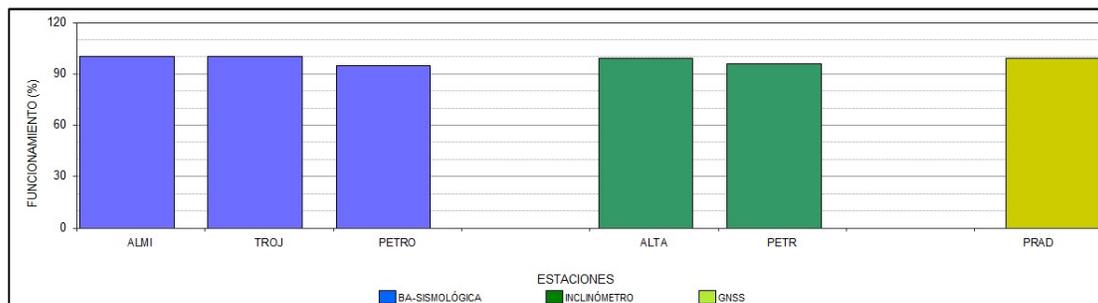


Figura 64. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante noviembre de 2016.

4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado en el volcán Las Ánimas se tuvo registro de trece sismos asociados a fracturamiento de material cortical (VT), de estos once se localizaron a menos de 5 km respecto al centro del volcán, con profundidades entre 6,5 y 15 km respecto a la cima y magnitudes menores a 1,6 en la escala de Richter (Figura 65).

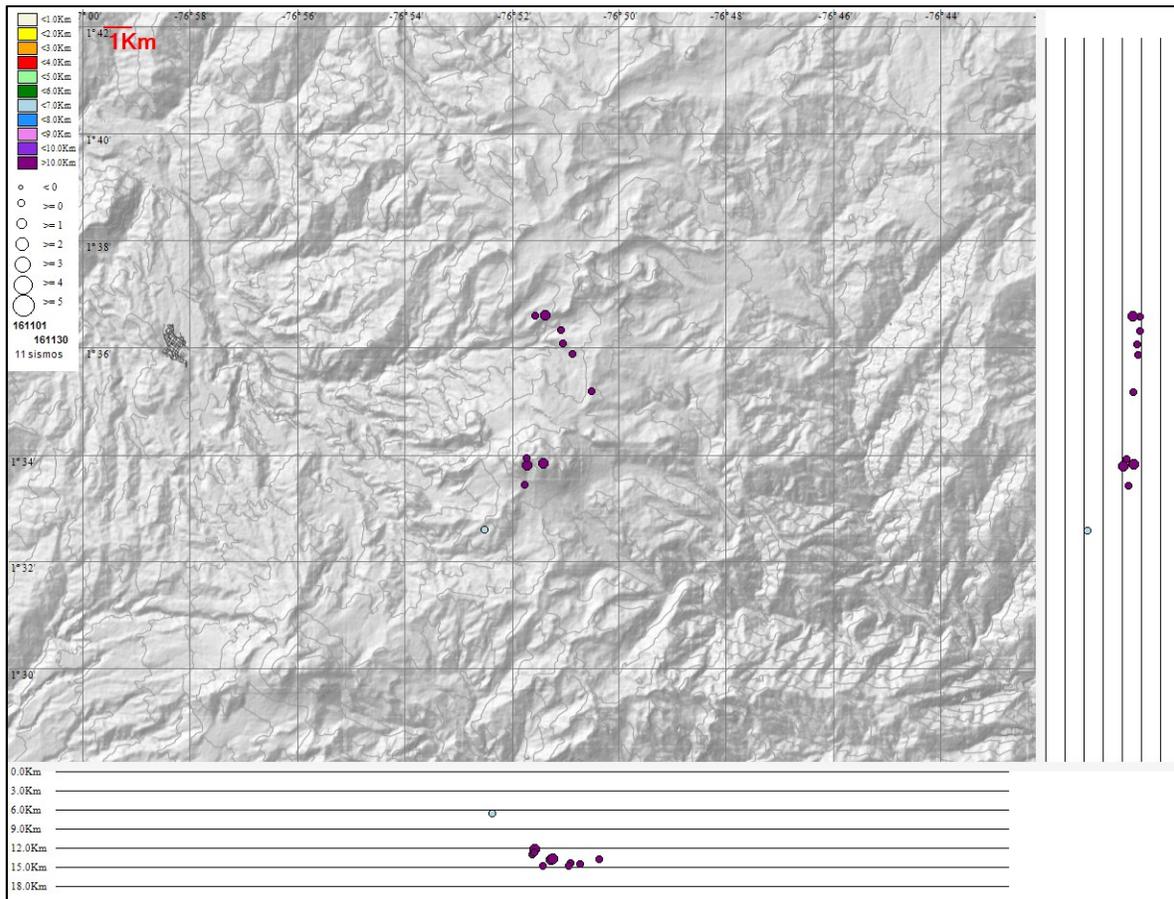


Figura 65. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas, en el mes de noviembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.1.4. Deformación

El inclinómetro Altamira (ubicado a 4,6 km al oeste de Las Ánimas, 2905 m.s.n.m) desde 2014, muestra una tendencia ascendente acumulando hasta la fecha unos 150 μ rad, aunque para el último año, la pendiente de inclinación es menor (Figura 66). El inclinómetro Petroglifo, muestra cambios que pueden estar asociados más a problemas en el sensor, es necesario realizar mantenimiento al mismo.

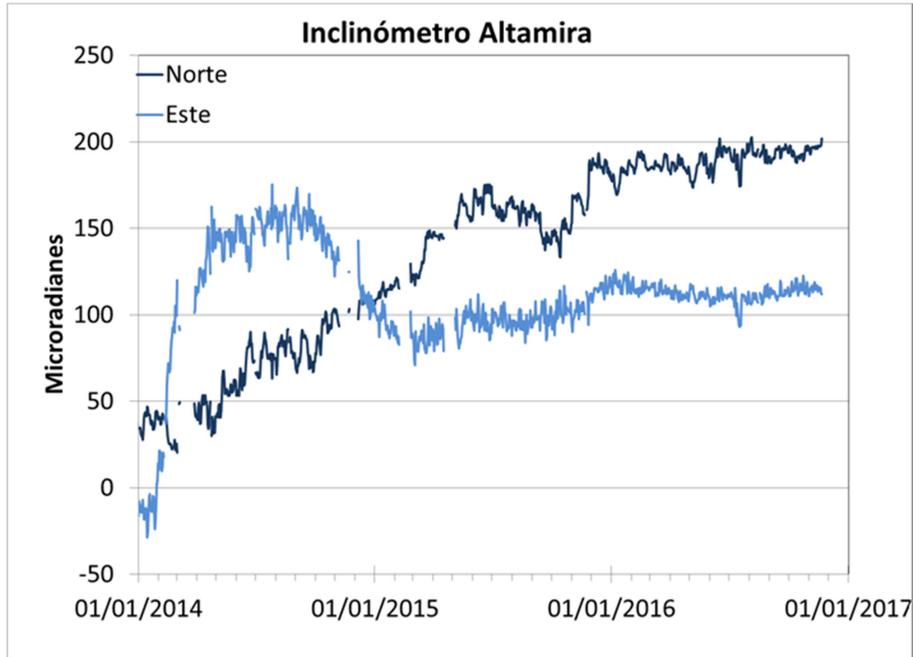


Figura 66. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el enero de 2014 y noviembre de 2016.

4.1.5. 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 de los GNSS, igual que para la red de Galeras, 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 67, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS Pradera, instalado en el volcán Las Ánimas.

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura.

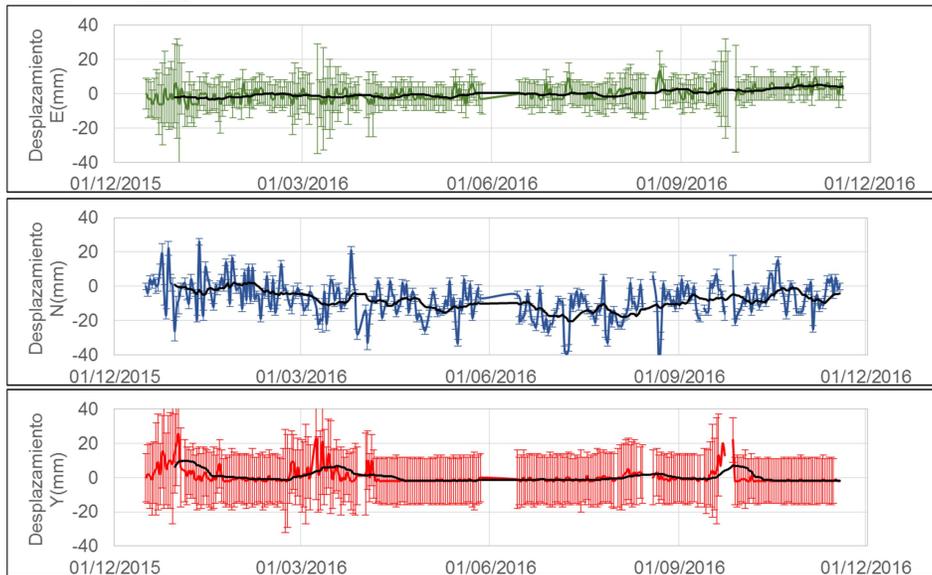


Figura 67. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 16 de diciembre de 2015 y el 15 de noviembre de 2016.

4.1.6. Actividad Superficial

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

4.1.7. Conclusión

Con base en la información disponible del mes de noviembre de 2016 el nivel del volcán permaneció en **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA

4.2.1. Red de Vigilancia

Para el mes de noviembre de 2016, la red de vigilancia del volcán Doña Juana estuvo conformada por:

- Tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de Corto Periodo y una de Banda Ancha (Figura 68, Tabla 18).
- La red de deformación del volcán Doña Juana cuenta con tres inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 68, Tabla 18).
- A partir del 25 de febrero se cuenta con la señal de la estación GNSS permanente La Palma, instalada hacia el sector nororiente del volcán Doña Juana

Adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 68, Tabla 18).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvo un funcionamiento promedio del 91,7% (Figura 69).

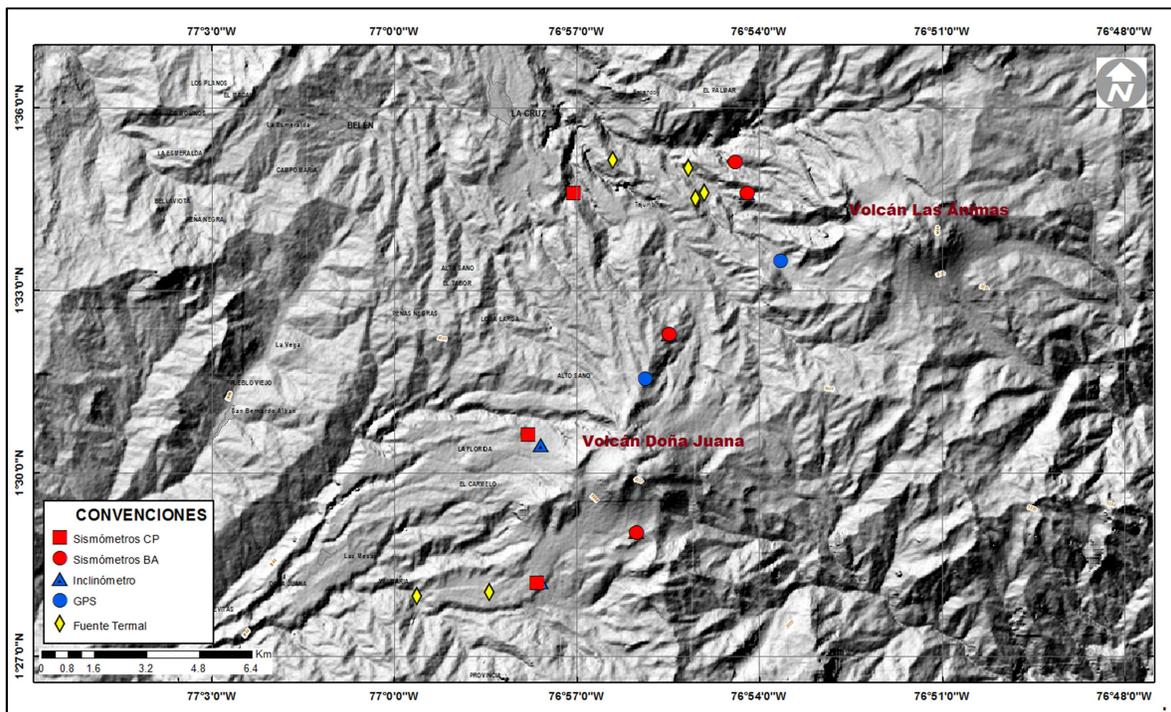


Figura 68. Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.

Tabla 18. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en noviembre de 2016.

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

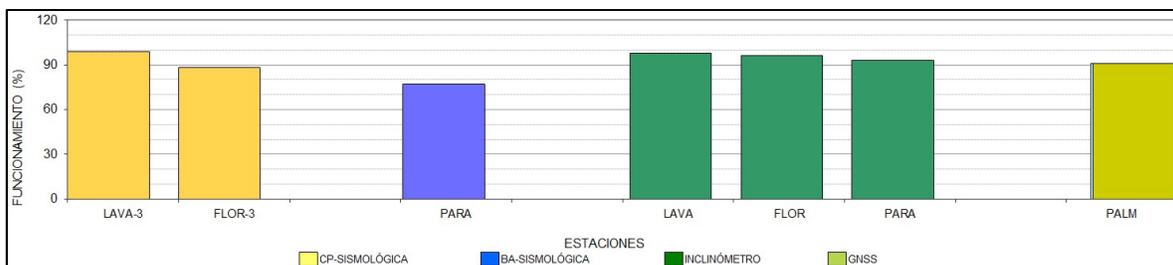


Figura 69. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de noviembre de 2016.

4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado se tuvo registro de dos sismos, que por la forma de onda y sus características espectrales se clasificaron como VT, asociados con fractura de material rocoso. Estos sismos fueron de bajo nivel energético y no fue posible obtener una solución de localización.

4.2.3. Deformación

4.2.3.1. Inclinometría Electrónica

Las componentes de los inclinómetros Páramo y la Florida, muestran tendencias estables, con variaciones que puedes obedecer a la temperatura (Figura 70, 71).

El inclinómetro Lavas, entre enero de 2015 y hasta noviembre de 2016, con una pendiente menor continúa mostrando una tendencia ascendente, que para este periodo acumula en la componente Norte y Este cerca de 100 y 60 μrad , respectivamente (Figuras 72).

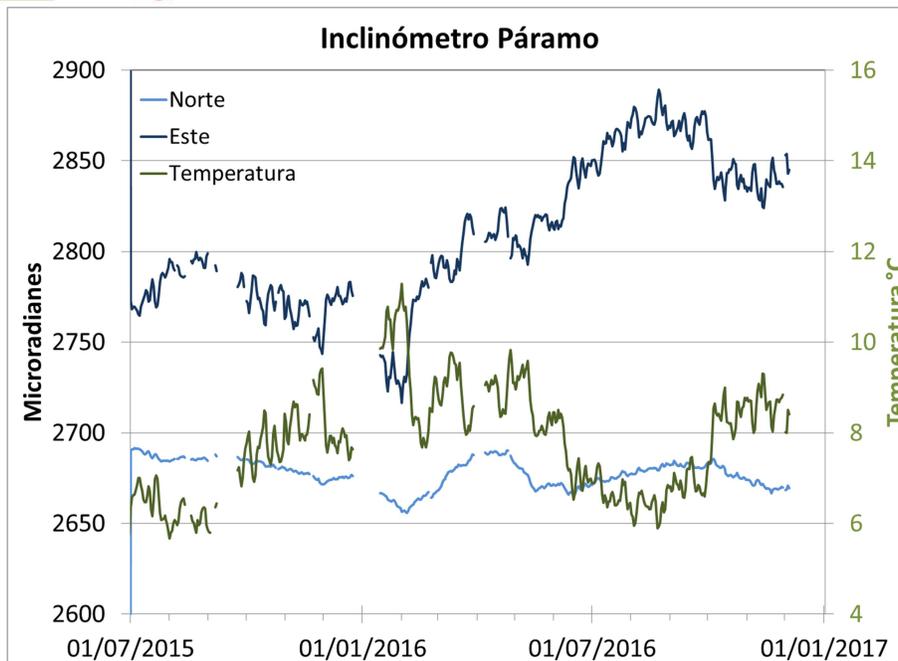


Figura 70. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 30 de noviembre de 2016.

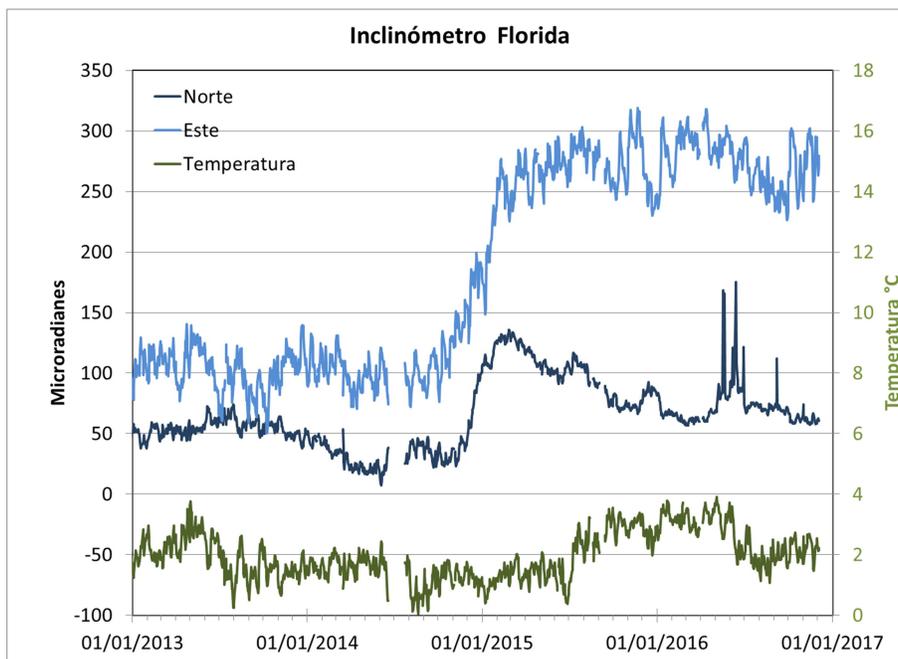


Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.

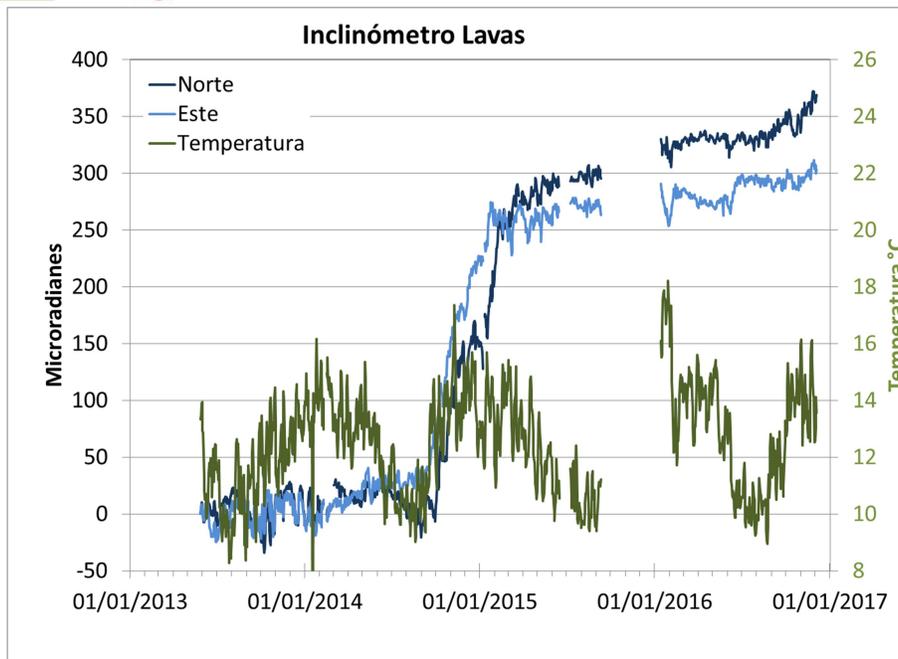


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2016.

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 73, 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.

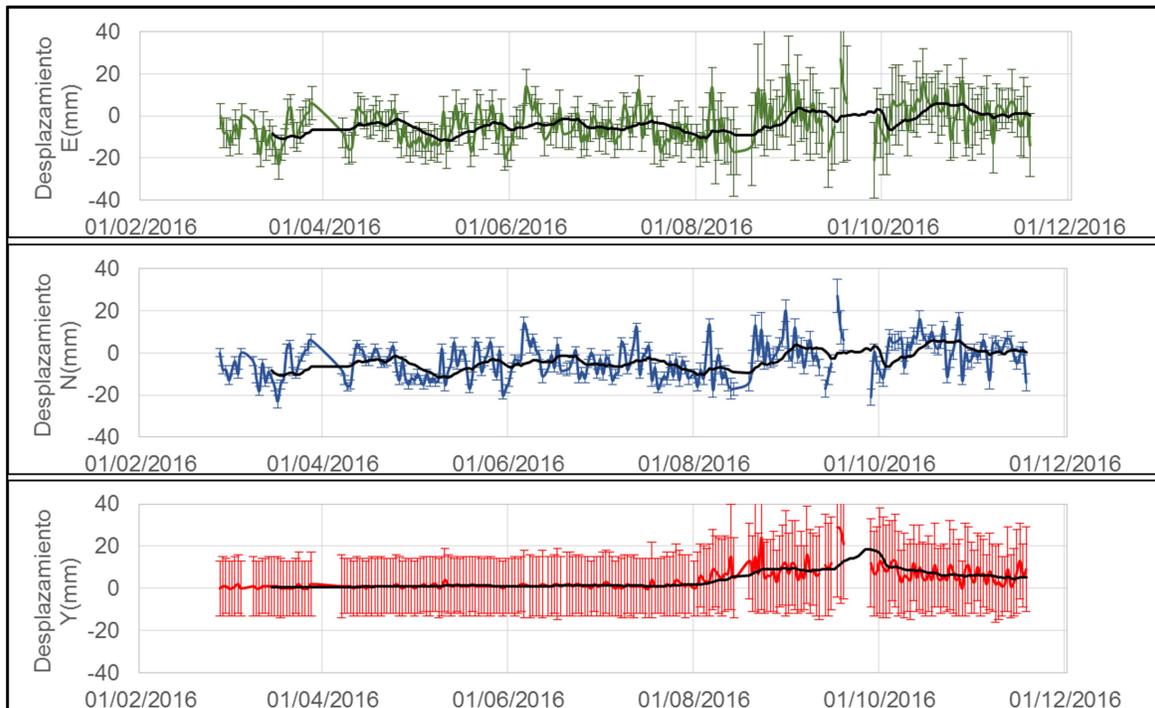


Figura 73. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 27 de febrero de 2016 y el 15 de noviembre de 2016.

4.2.4 GEOQUÍMICA

Para el periodo evaluado no se realizó muestreo en las fuentes termales ubicadas en área de influencia del volcán Doña Juana.

4.2.5. Actividad Superficial

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

4.2.6. Conclusión

La evaluación de los parámetros monitoreados durante el mes de noviembre de 2016, permiten mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

4.3.1. Red de vigilancia

La Figura 74 muestra la distribución de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 19 están sus características. Adicionalmente se cuenta con una estación climatológica cerca a la estación La Roca, que consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medidas de radiación solar. Adicionalmente se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Desde el pasado mes de marzo de 2015 se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparámetro La Roca (Figura 75).

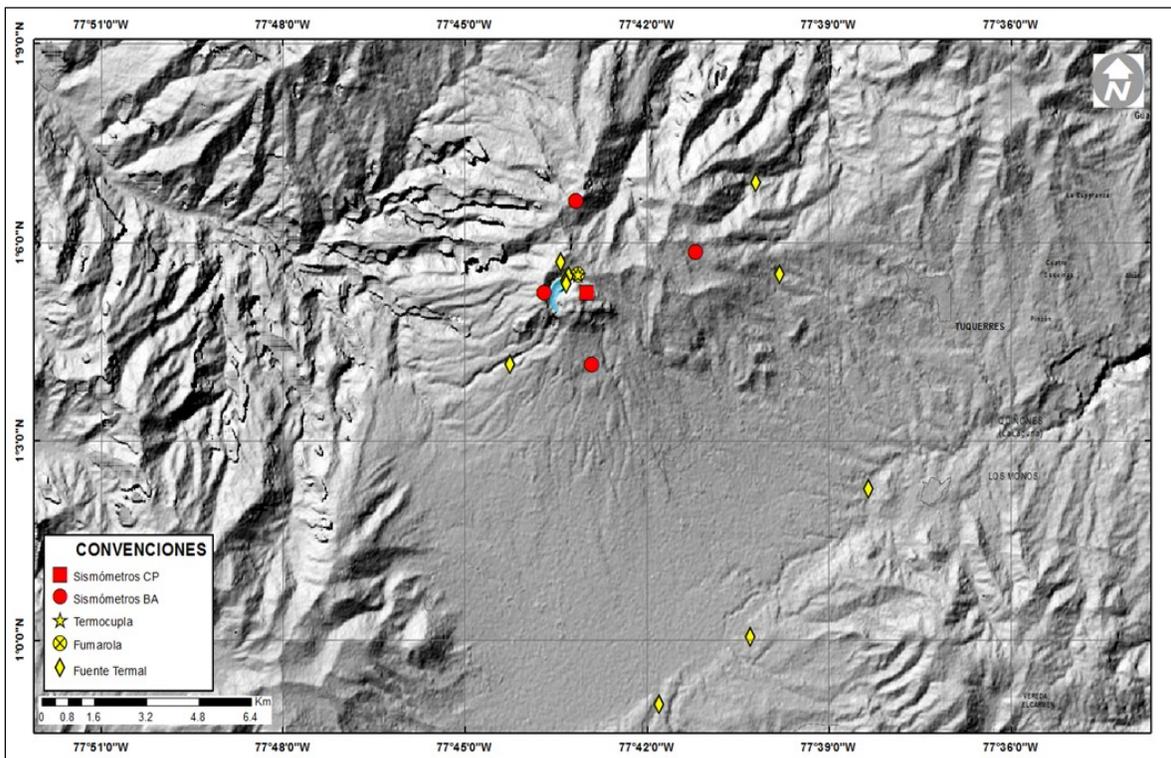


Figura 74. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2016.

Tabla 19. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante noviembre de 2016.

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 período	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
Mallama	Digital	Termocupla		0.5	NE	3805

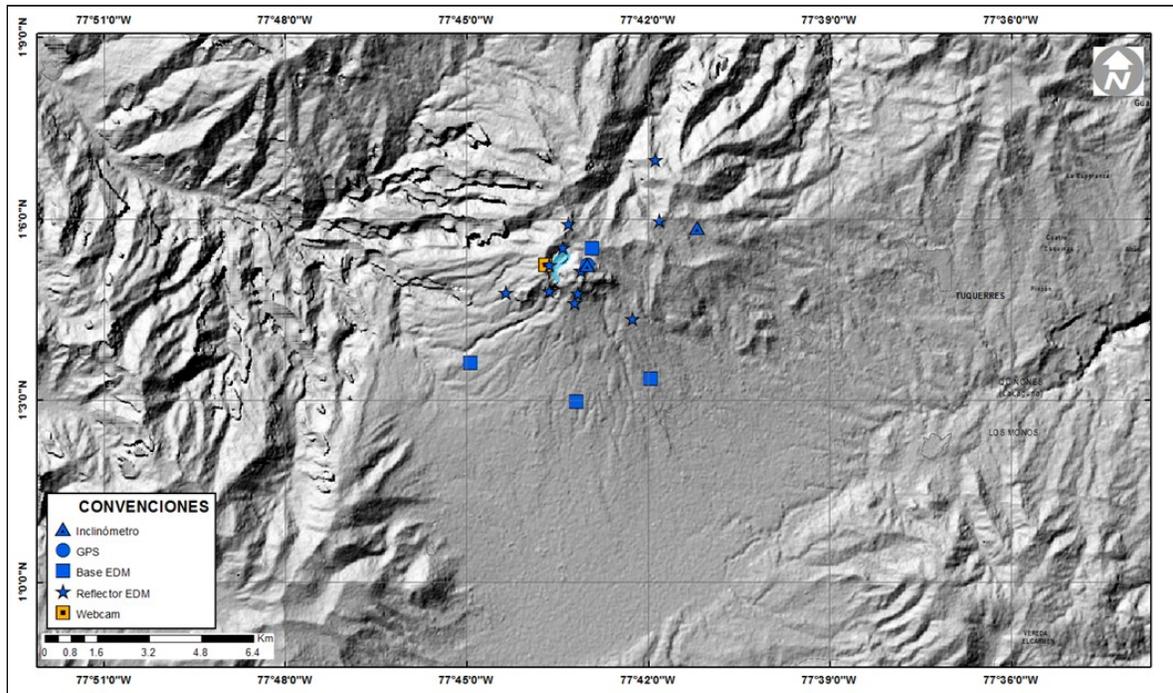


Figura 75. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2016.

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 92,4% para este mes (Figura 76).

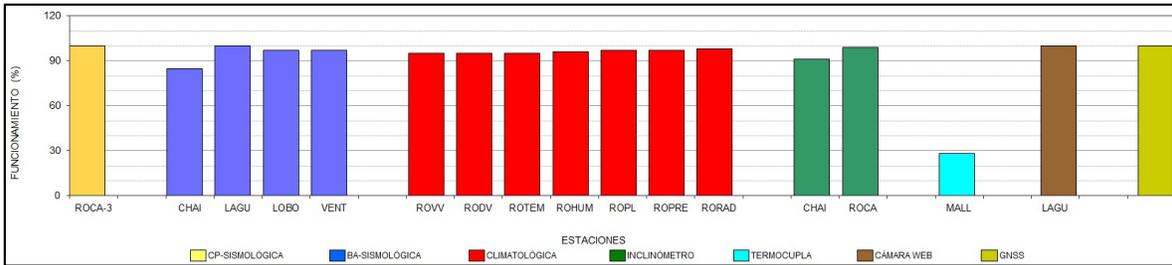


Figura 76. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2016.

4.3.2. Sismología

Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán Azufral en noviembre de 2016, la sismicidad disminuyó en un 69,4% en comparación a la registrada en octubre de 2016, pasando de 49 a 15 eventos tipo VT (Figura 77, Tabla 20). De estos eventos se localizaron 12, los cuales se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, a distancias de hasta 13 km respecto al centro de la Laguna Cratérica y profundidades entre 4 y 21 km respecto a la cima (4070 msnm). La magnitud local de los eventos estuvo por debajo de 2,0 en la escala de Richter (Figura 78).

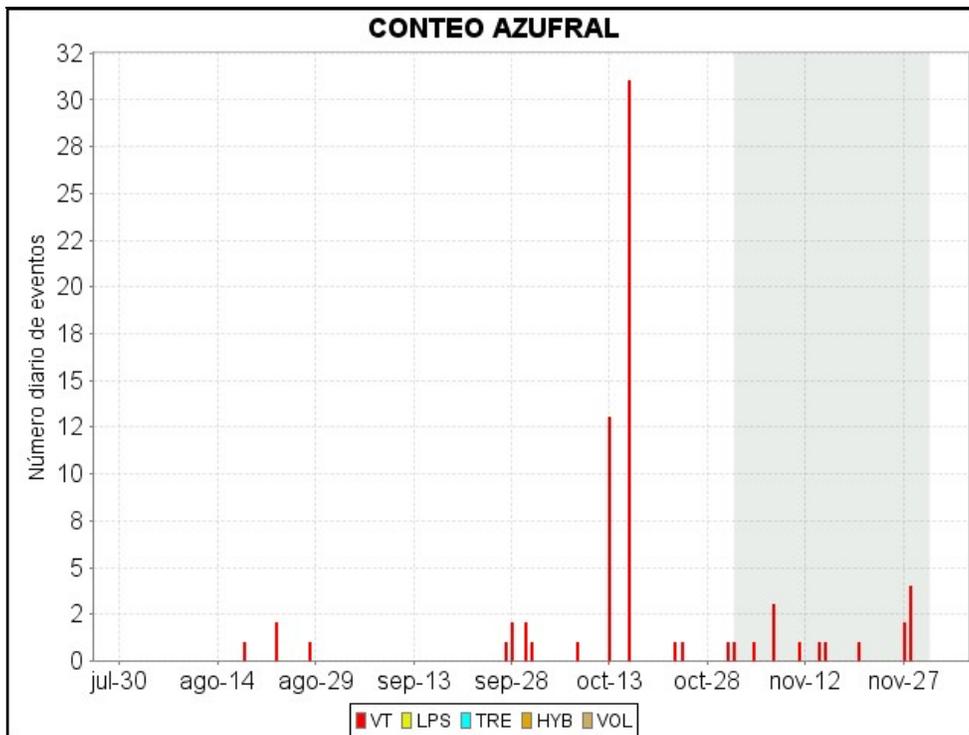


Figura 77. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016.

Tabla 20. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2016. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-ago-16 a 31-ago-16	4	0	0	0	4
01-sep-16 a 30-sep-16	5	0	0	0	5
01-oct-16 a 31-oct-16	49	0	0	0	49
01-nov-16 a 30-nov-16	15	0	0	0	15

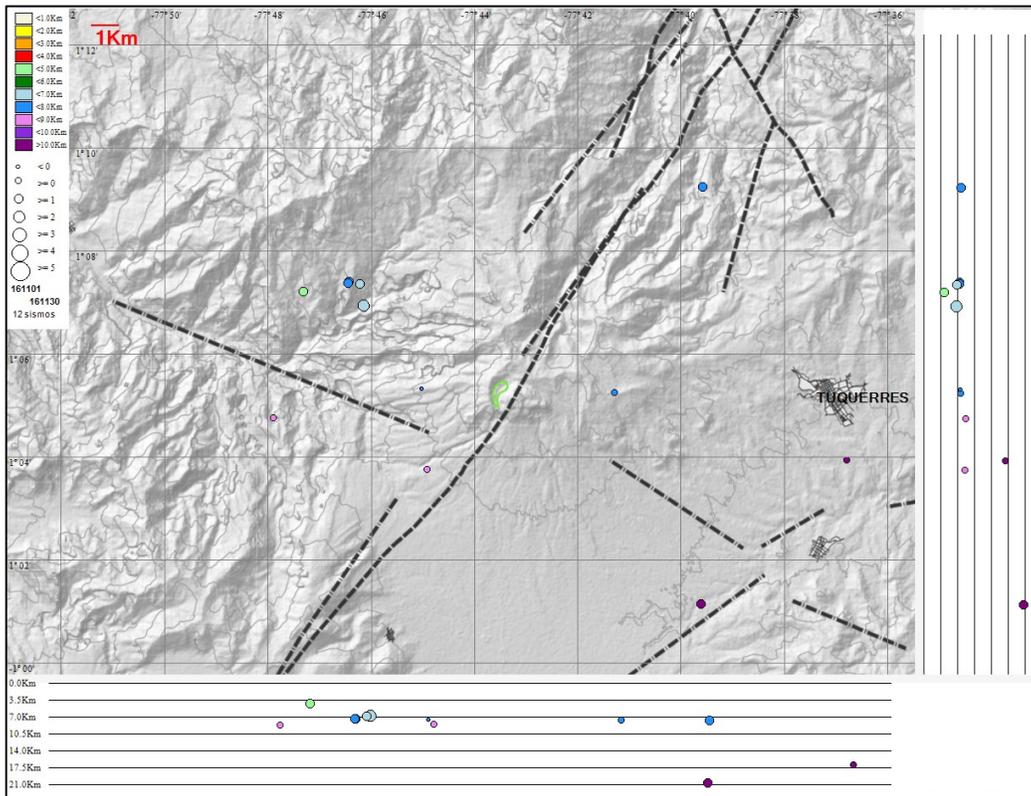


Figura 78. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de noviembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.3.3. Deformación

4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Respecto a los procesos deformativos en superficie del edificio volcánico de Azufral, en el inclinómetro Chaitán se observa una tendencia estable con variaciones periódicas en las componentes, que se asumen son asociadas a las variaciones climáticas de la zona (Figura 79). En el inclinómetro la Roca desde principios del 2016 (Figura 80), se presenta un cambio en la pendiente de la componente Este, mostrando una tendencia descendente, con cerca de 170 μ rad, y

en la componente Norte un cambio menor de unos 25 μrad , indicando una deflación hacia la zona de la Laguna Verde del Azufral, lo cual puede estar asociado con la disminución del nivel del agua de la laguna.

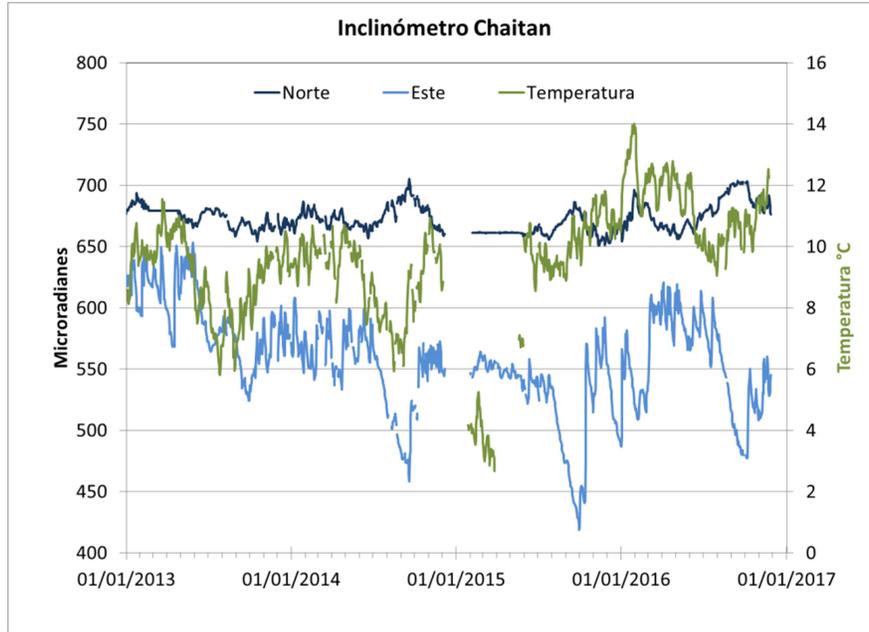


Figura 79. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2013 y el 30 de Noviembre de 2016.

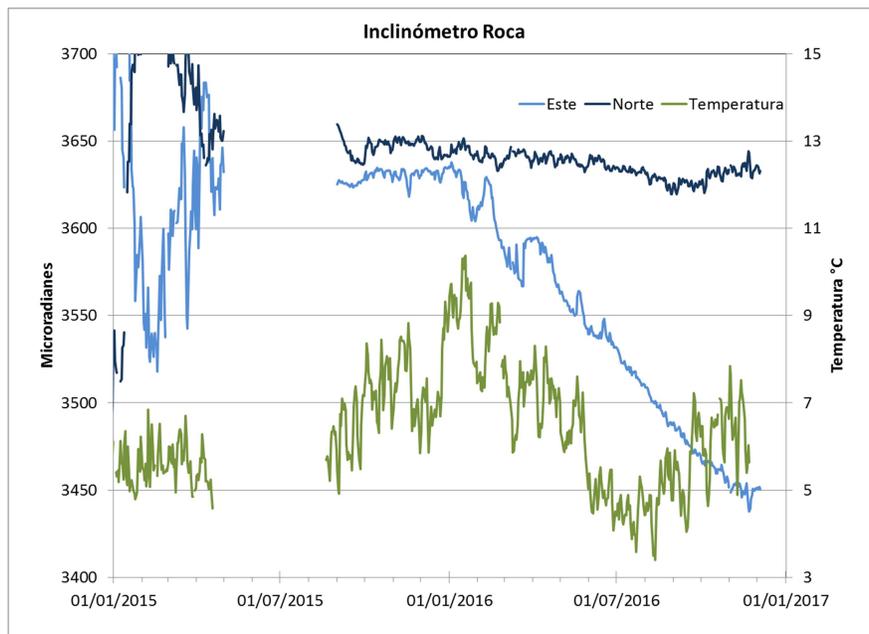


Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de Noviembre de 2016.

4.3.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

Se cuenta con tres GNSS, La Roca, Laguna y Lobo. 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 81, 82 y 83, se muestra comportamiento de las direcciones Norte, Este y altura de los GNSS La Roca, Lobo y Laguna. En general el comportamiento de las componentes Este, Norte y vertical, muestra estabilidad

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura.

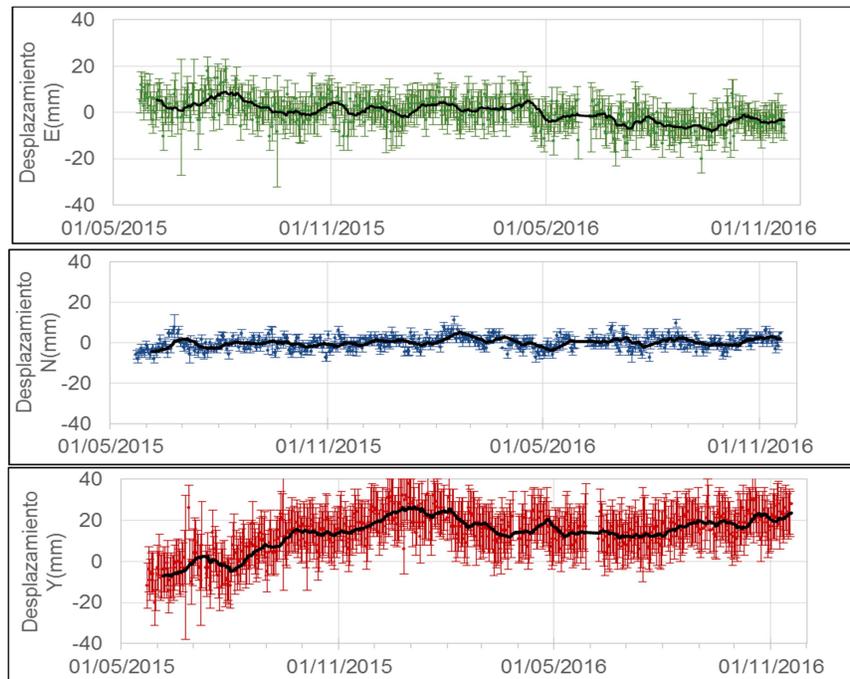


Figura 81. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 15 de Noviembre de 2016.

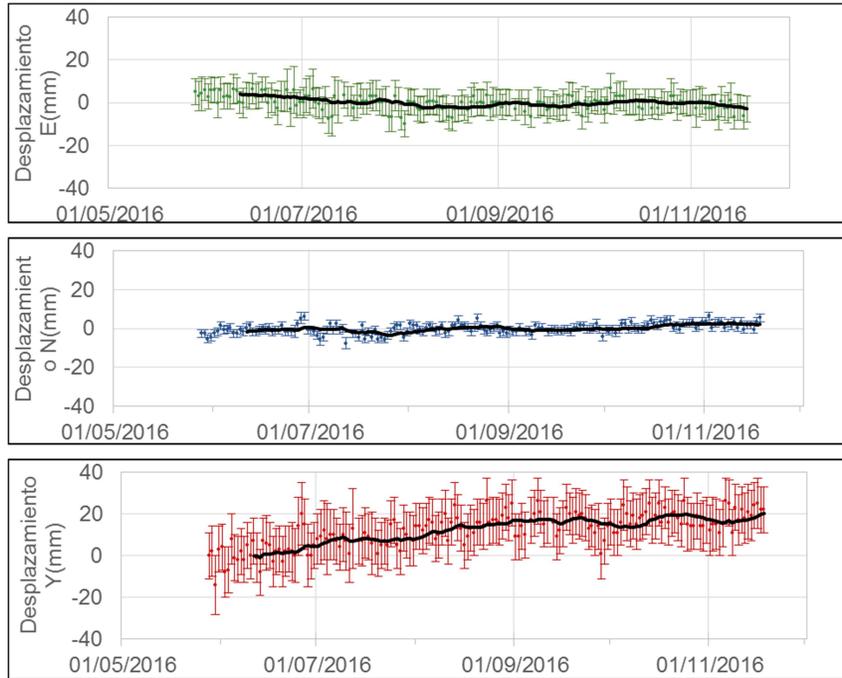


Figura 82. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 15 de noviembre de 2016.

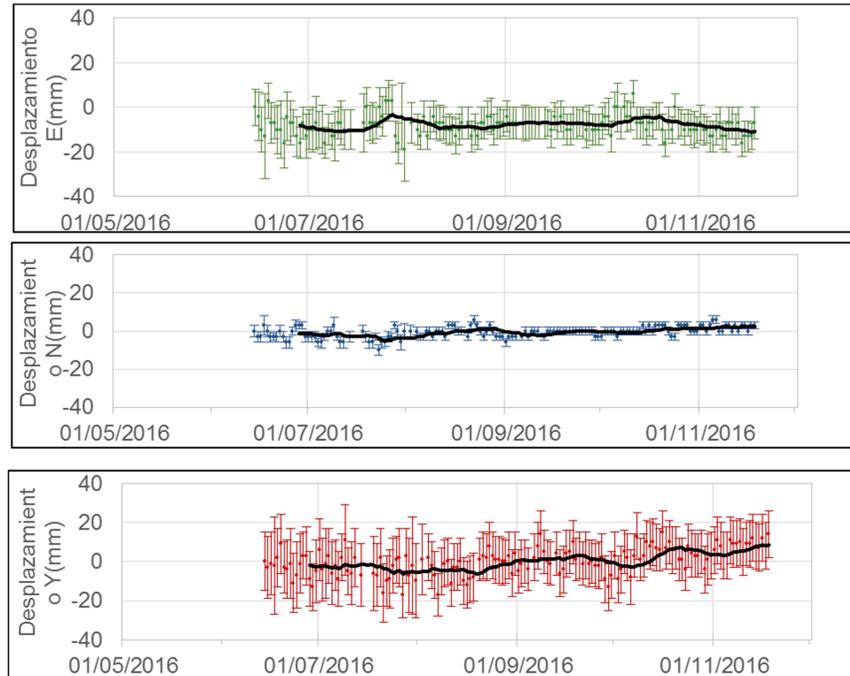


Figura 83. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 14 de junio de 2016 y el 15 de Noviembre de 2016.

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

En noviembre de 2016 no se realizaron medidas de EDM.

4.3.4. Electromagnetismo

El sensor magnético de la estación de Lobo, ubicado en el sector oriental del volcán mostro, para el mes de noviembre de 2016, un comportamiento relacionado más con los cambios de la actividad magnética externa, asociada con la actividad solar, hecho que se puede corroborar al comparar los registros del campo magnético total de la estación Lobo (Figura 84), con los registros del campo magnético total de la estación de Kourou (Figura 85), 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 rango de variación del campo magnético total, en la estación Lobo fue de alrededor de 190 nT, con un valor promedio del campo de alrededor de 25.460 nT. Se presentó un pulso en los datos, entre el 11 y 12 de noviembre, que se relaciona con los procesos de lluvia en la zona donde se ubica la estación.

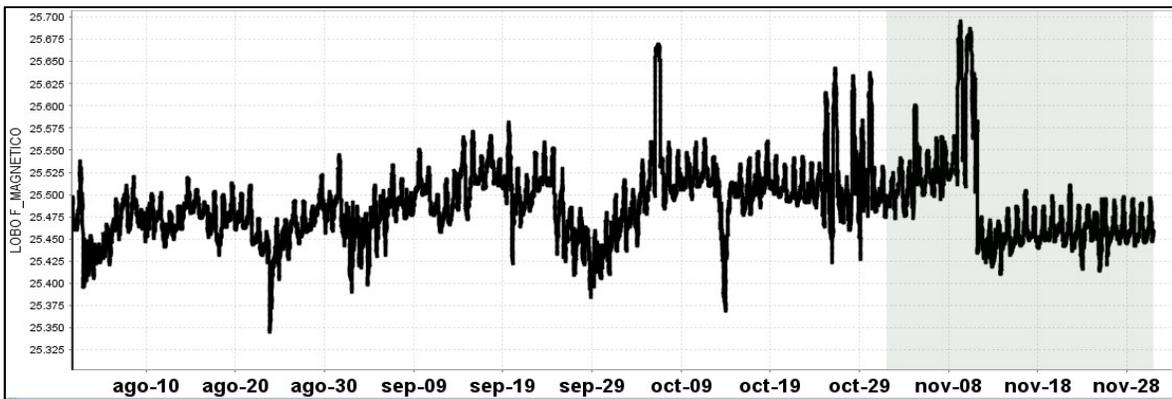


Figura 84. Intensidad del Campo Magnético Total, de la estación de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Azufreal, Lobo, para el periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2016.

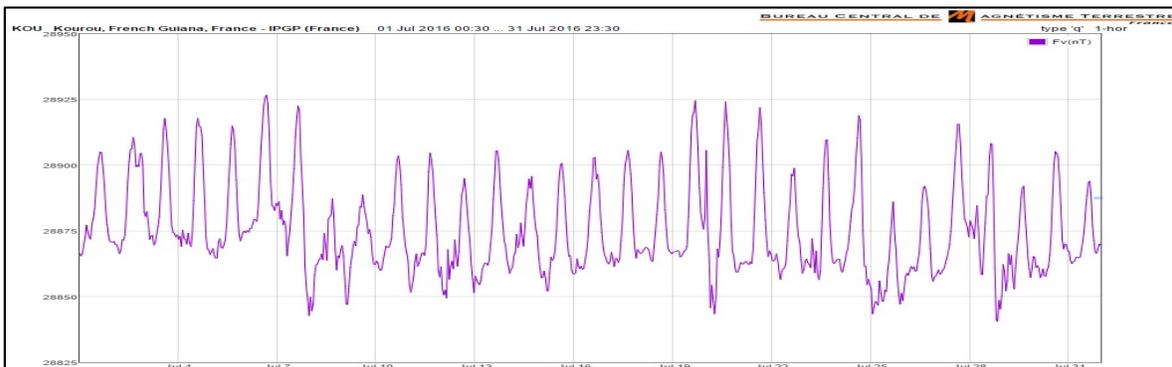


Figura 85. Intensidad del campo magnético Terrestre total F, registrado en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de noviembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

El campo eléctrico horizontal de los sensores eléctricos de la estación Lobo, mostró un comportamiento más estable, en comparación con el mes anterior, con un rango de variación de 28 mV, que se considera como bajo, para una zona volcánica activa, y un valor promedio de campo de 227 mV (Figura 86).

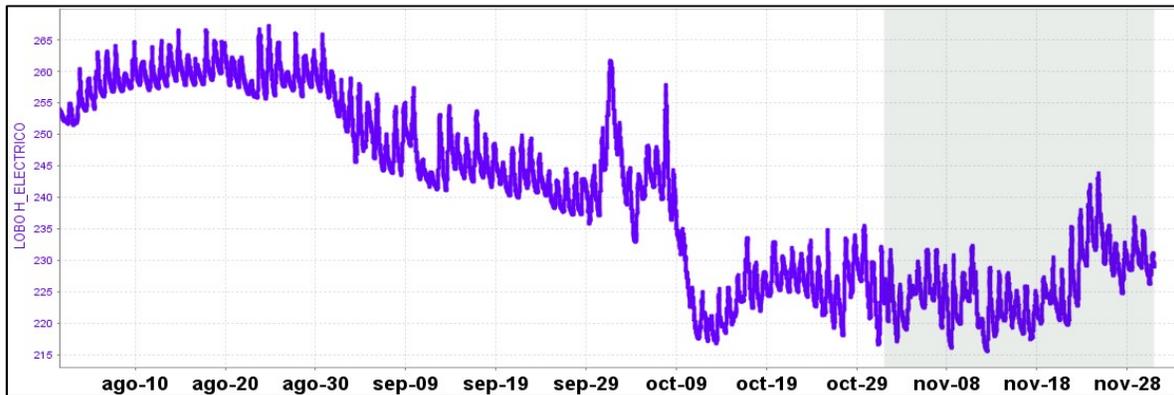


Figura 86. Variación la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Lobo, pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el mes de julio de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.

4.3.5. Geoquímica

4.3.5.1. Muestreo de aguas en fuentes termales en el volcán Azufral

Para éste periodo no se realizó muestreo de aguas en las fuentes termales.

4.3.5.2 Registro de temperatura – Estación térmica Mallama Volcán Azufral.

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 en el sitio (Figura 75), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de 10 minutos.

En la Figura 87 se registran las variaciones que corresponden a variaciones día-noche. Durante el mes de noviembre se registra un valor máximo de 89,7°C (Tabla 21), se puede observar que continúan presentándose los valores de manera dispersa, tal y como se evidencian en la gráfica a partir de finales del mes de agosto de 2016 hasta la fecha. Hasta el momento no se han encontrado relaciones con la actividad volcánica.

El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación.

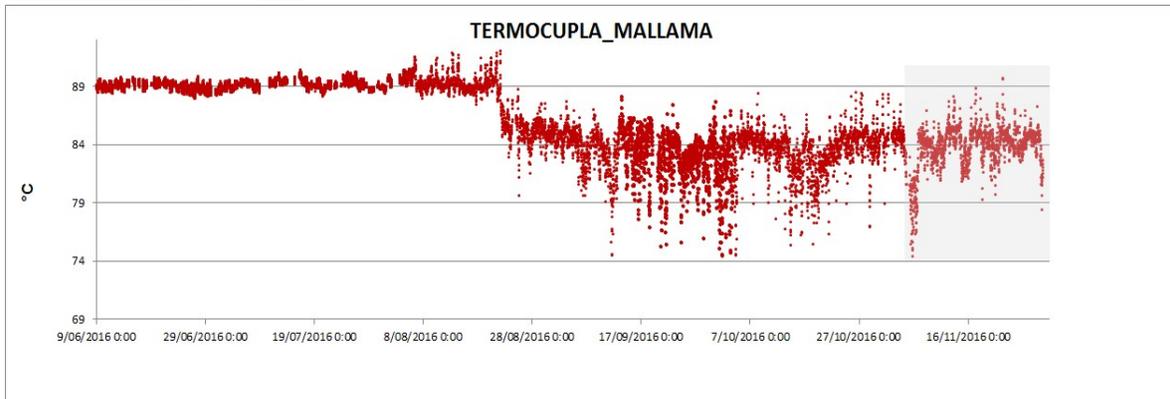


Figura 87. Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral-año 2016.

Tabla 21. Valores de temperatura en Domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – noviembre de 2016.

TEMPERATURA	[°C]
Promedio	84.0
Máximo	89.7
Mínimo	74.4

4.3.6. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del mes, exceptuando los días 4, 5, 6, 20, 21, 24 y 30 de noviembre, permitieron a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura y en poca cantidad provenientes principalmente del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde (Figura 88).



Figura 88. Imagen registrada por la cámara web ubicada en el sector sur de la Laguna Verde del volcán Azufral el 1 de noviembre a las 7:43 a.m. (Izquierda) y el 22 de noviembre a las 7:33 a.m. (Derecha).

4.3.7. Conclusión

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