

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DOMINIO</b>
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		
Información de la citación		
<b>CITACIÓN</b>		
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	Oct/2016
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Septiembre de 2016.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
<b>Identificador</b>	<b>En proceso de definición</b>	
Descripción	Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados	Presentación de resultados y análisis de los datos obtenidos del monitoreo continuo a la actividad 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.	
<b>Programa-Proyecto</b>		
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
<b>Nombre del programa/proyecto</b>		
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	Septiembre de 2016.
<b>Dominio Espacial</b>		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km <sup>2</sup>	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia 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"> <li>-Actividad Sísmica</li> <li>-Número diario</li> <li>-Energía diaria</li> <li>-Frecuencia</li> <li>-Localizaciones</li> <li>-Deformación</li> <li>-Electromagnetismo</li> <li>-Geoquímica</li> <li>-Emisiones</li> <li>-Actividad Superficial</li> <li>-Temperaturas</li> </ul>
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zona de influencia del Volcán Galeras, como activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto.</li> <li>- Zona de influencia del Volcán Cumbal</li> <li>- Zona de influencia del Volcán Doña Juana</li> <li>- Zona de influencia del Volcán Azufral</li> <li>- Zona de influencia del Volcán Las Ánimas</li> <li>- Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro</li> </ul>
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\sep
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, Chilles 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	<a href="http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2016.aspx">http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2016.aspx</a>
Medio digital/Ubicación	Opciones del medio digital en el cual puede ser entregado el conjunto de datos y su ubicación física. Disquete de 3-1/2; CD-ROM	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		<b><a href="mailto:cliente@sgc.gov.co">cliente@sgc.gov.co</a></b>



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

Edición:

**EDGAR A. MUÑOZ HIDALGO**

**San Juan de Pasto, octubre de 2016**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	9
	INTRODUCCION	11
1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – SEPTIEMBRE DE 2016	12
1.1.	RED DE VIGILANCIA	12
1.2.	SISMOLOGÍA	16
1.3.	DEFORMACIÓN	22
1.3.1.	Estaciones de Inclímetro Electrónica	22
1.3.2.	Estaciones GNSS permanentes	25
1.3.3.	Medición Electrónica de Distancias - EDM	30
1.4.	ELECTROMAGNETISMO	30
1.5.	GEOQUÍMICA	31
1.5.1.	Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras	31
1.5.1.1.	Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS	31
1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	33
1.7.	CONCLUSIONES	35
2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – SEPTIEMBRE DE 2016	36
2.1.	RED DE VIGILANCIA	36
2.2.	SISMOLOGÍA	37
2.3.	DEFORMACIÓN	39
2.4.	GEOQUÍMICA	42
2.5.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	42
2.6.	CONCLUSIONES	43
3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – SEPTIEMBRE DE 2016	44
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	44
3.2.	RED DE VIGILANCIA	44
3.3.	SISMOLOGÍA	47
3.4.	DEFORMACIÓN	46
3.5.	GEOQUÍMICA	51
3.5.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales del volcán Chiles	51
3.5.2.	Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	51
3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	52
3.7.	CONCLUSIÓN	52
4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – SEPTIEMBRE DE 2016	53
4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	54
4.1.1.	Ubicación Geográfica	54
4.1.2.	Red de Vigilancia	54
4.1.3.	Sismología	56
4.1.4.	Deformación	56
4.1.5.	Estaciones GNSS permanente	57
4.1.6.	Actividad Superficial	58
4.1.7.	Conclusión	58
4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	59
4.2.1.	Red de vigilancia	59
4.2.2.	Sismología	60
4.2.3.	Deformación	61

4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	61
4.2.3.2.	Estacione GNSS Permanentes	63
4.2.4.	GEOQUÍMICA	64
4.2.5.	Actividad Superficial	64
4.2.6.	Conclusión	64
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	65
4.3.1.	Red de vigilancia	65
4.3.2.	Sismología	67
4.3.3.	Deformación	68
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	68
4.3.3.2.	Estaciones GNSS permanente.	70
4.3.3.3.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	70
4.3.4.	Electromagnetismo	71
4.3.5.	Geoquímica	72
4.3.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales en el volcán Azufral	72
4.3.5.2.	Registro de temperatura – Estación térmica Mallama – Volcán Azufral.	72
4.3.6.	Actividad Superficial	73
4.3.7.	Conclusión	74

## FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2016.	12
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 septiembre de 2016.	13
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 septiembre de 2016.	14
Figura 4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en septiembre de 2016.	15
Figura 5.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de junio y septiembre de 2016.	16
Figura 6.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016. La región sombreada corresponde al mes de septiembre de 2016.	17
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).	17
Figura 8.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016.	18
Figura 9.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para septiembre de 2016 (barras de la derecha) respecto a agosto de 2016 (barras de la izquierda).	19
Figura 10.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde junio a septiembre de 2016.	19
Figura 11.	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 2,5 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).	20
Figura 12.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de octubre de 2013 y el 30 de Septiembre de 2016.	21
Figura 13.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2011 y el 30 de Septiembre de 2016.	22
Figura 14.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.	22
Figura 15.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de octubre de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.	23
Figura 16.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de octubre de 2011 y el 30 de Septiembre de 2016.	23
Figura 17.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de octubre de 2012 y el 30 de Septiembre de 2016.	24
Figura 18.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de noviembre de 2013 y el 30 de Septiembre de 2016.	24
Figura 19.	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 30 de Septiembre de 2016.	25

Figura 20.	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 29 de Septiembre de 2016.	26
Figura 21.	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 29 de Septiembre de 2016.	26
Figura 22.	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 29 de Septiembre de 2016.	27
Figura 23.	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 29 de Septiembre de 2016.	27
Figura 24.	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 29 de Septiembre de 2016.	28
Figura 25.	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 29 de Septiembre de 2016.	28
Figura 26.	Intensidad del Campo Magnético Total, de las estaciones de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Galeras. Barranco (superior) y Cráter (inferior), en el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2016.	29
Figura 27.	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 septiembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	30
Figura 28.	Variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Barranco, pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo entre junio y septiembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.	30
Figura 29.	Flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) Volcán Galeras - mes de septiembre 2016.	31
Figura 30.	Flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), velocidad y dirección del viento - mes de septiembre 2016.	31
Figura 31.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en la repetidora Bruma el 2 de septiembre de 2016 a las 6:31 p.m.	33
Figura 32.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 07 de septiembre de 2016 a las 6:31 p.m.	33
Figura 33.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 23 de septiembre de 2016 a las 3:14 p.m.	33
Figura 34.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en la repetidora Bruma el 30 de septiembre de 2016 a las 3:04 p.m.	34
Figura 35.	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 septiembre de 2016.	35
Figura 36.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en septiembre de 2016.	36
Figura 37.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre junio y septiembre de 2016. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	37
Figura 38.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016.	37
Figura 39.	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 1,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).	38
Figura 40.	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	39

	enero y el 30 de septiembre de 2016.	
Figura 41.	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de septiembre de 2016.	39
Figura 42.	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de septiembre de 2016.	40
Figura 43.	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 31 de enero de 2014 y el 30 de septiembre de 2016.	40
Figura 44.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el sector de la Vereda La Ortega y desde la cima de la estación La Nieve en comisión realizada por integrantes del OVSP el 8 de septiembre de 2016.	41
Figura 45.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el municipio de Cumbal el 30 de septiembre de 2016 a las 5:56 a.m.	41
Figura 46.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	43
Figura 47.	Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de septiembre de 2016.	44
Figura 48.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante septiembre de 2016.	45
Figura 49.	Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de junio y septiembre de 2016.	46
Figura 50.	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 septiembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	47
Figura 51.	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 junio y el 30 de septiembre de 2016.	48
Figura 52.	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 noviembre de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.	49
Figura 53.	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 Septiembre de 2016.	49
Figura 54.	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 30 de Septiembre de 2016.	50
Figura 55.	Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles entre el 1 de junio de 2016 y el 30 de septiembre de 2016.	51
Figura 56.	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.	52
Figura 57.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	53
Figura 58.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de septiembre 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.	54
Figura 59.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante septiembre de 2016.	54

Figura 60.	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 septiembre 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.	55
Figura 61.	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 3 de septiembre de 2013 y el 30 de Septiembre de 2016.	56
Figura 62.	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 29 de Septiembre de 2016.	57
Figura 63.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.	58
Figura 64.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de septiembre 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 Doña Juana, en el mes de septiembre 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 Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 31 de julio de 2015 y el 30 de Septiembre de 2016.	61
Figura 67.	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 21 de enero de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.	61
Figura 68.	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 21 de enero de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.	62
Figura 69.	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 29 de Septiembre de 2016.	63
Figura 70.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2016.	64
Figura 71.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2016.	65
Figura 72.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2016.	66
Figura 73.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016.	66
Figura 74.	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 septiembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 0,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	67
Figura 75.	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 Septiembre de 2016.	68
Figura 76.	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 Septiembre de 2016.	68
Figura 77.	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 29 de	69

	septiembre de 2016.	
Figura 78.	Intensidad del Campo Magnético Total, de la estación de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Azufral, Lobo, para el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2016.	70
Figura 79.	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 septiembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	70
Figura 80.	Variación la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Lobo, pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.	71
Figura 81.	Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral-año 2016.	72
Figura 82.	Imagen registrada por la cámara web ubicada en el sector sur de la Laguna Verde del volcán Azufral el 12 de septiembre a las 7:25 a.m. (Izquierda) y el 30 de septiembre a las 6:46 a.m. (Derecha).	72

## TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2016.	14
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en septiembre de 2016.	15
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en septiembre de 2016.	15
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en septiembre 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 junio de 2016 y el 30 de septiembre 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 junio y el 30 de septiembre de 2016, resaltando en color verde el mes evaluado.	19
Tabla 9.	Emisión dióxido de azufre a la atmósfera volcán Galeras – mes de septiembre de 2016.	33
Tabla 10.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante septiembre de 2016.	37
Tabla 11.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016 (resaltado en color verde).	37
Tabla 12.	Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	45
Tabla 13.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.	46
Tabla 14.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016.	47
Tabla 15.	Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – septiembre de 2016.	52
Tabla 16.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en septiembre de 2016.	55
Tabla 17.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en septiembre de 2016.	60
Tabla 18.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante septiembre de 2016.	66
Tabla 19.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.	68
Tabla 20.	Valores de temperatura en Domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – septiembre de 2016.	73

## RESUMEN

Durante el mes de septiembre de 2016, la ocurrencia sísmica registrada en el volcán Galeras aumentó en comparación a los valores registrados en agosto, mientras que la energía liberada disminuyó. Los sismos asociados con fracturamiento de material cortical (VT) seguidos por aquellos asociados a movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) 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), fue posible identificar que la mayoría de los sismos se concentraron muy próximos al cono volcánico, a distancias epicentrales menores a 3,0 km y profundidades superficiales por debajo de los 4 km respecto a la cima volcánica – 4276 msnm. Algunos de los eventos se ubicaron hacia el sector nororiental a menos de 10 km de distancia y a profundidades de hasta 14 km respecto a la cima. Las magnitudes calculadas fueron menores a 1,7 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 10 de septiembre, 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 97 sismos, que en su mayoría se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela, a profundidades inferiores a 2,5 km respecto de la cima. Las magnitudes locales de los eventos localizados estuvieron por debajo de 1,6 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 septiembre aumentó en 6,2 veces en comparación al mes de agosto, pasando de 414 a 2578 sismos. De esta sismicidad fue posible localizar 850 eventos, la mayoría de los cuales se ubicaron hacia el sector sur y suroccidente del volcán Chiles a distancias epicentrales menores a 4 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 Chiles a profundidades menores a los 10,5 km y distancias epicentrales menores a 11 km respecto al centro del volcán Chiles. Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 2,5 en la escala de Richter, sin embargo la mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 1 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  $9,53 \times 10^{14}$  ergios a  $1,42 \times 10^{15}$  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 septiembre 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 5, 3 y 5 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 septiembre 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 – SEPTIEMBRE DE 2016

### 1.1. RED DE VIGILANCIA

En septiembre 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 (SO<sub>2</sub>) 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 septiembre de 2016, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 79,5 %, 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.

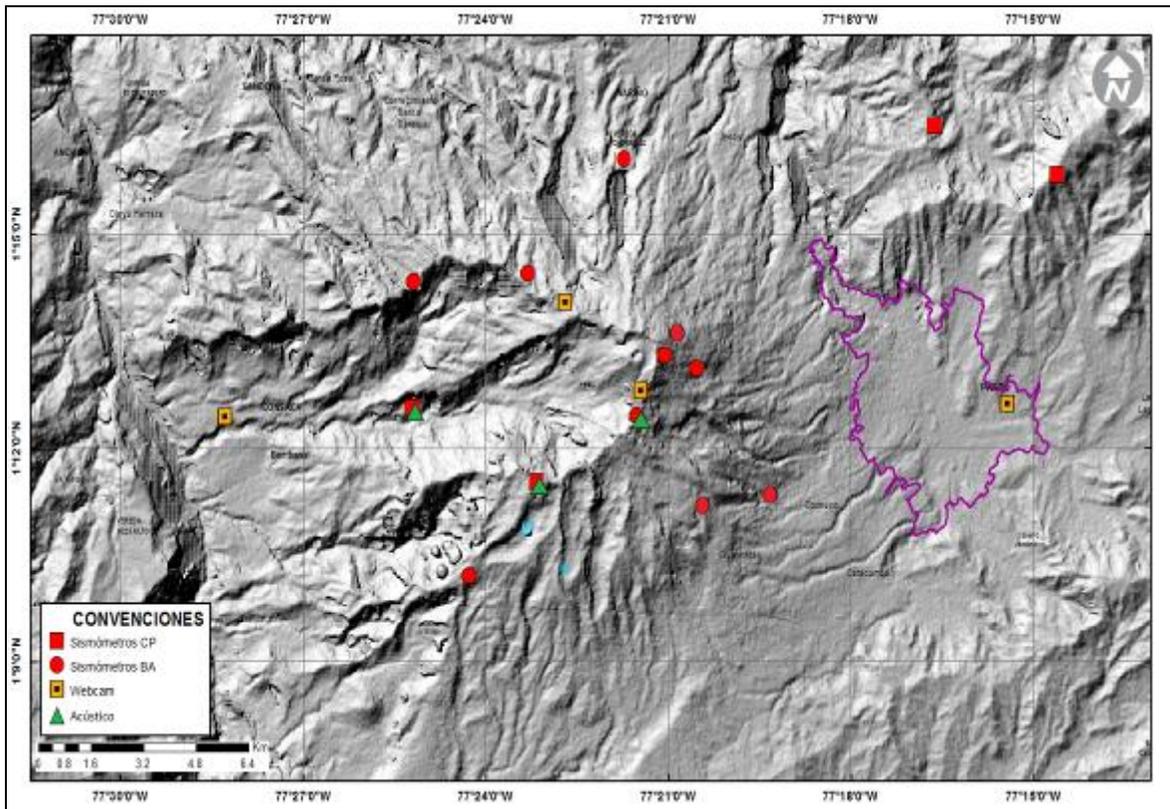
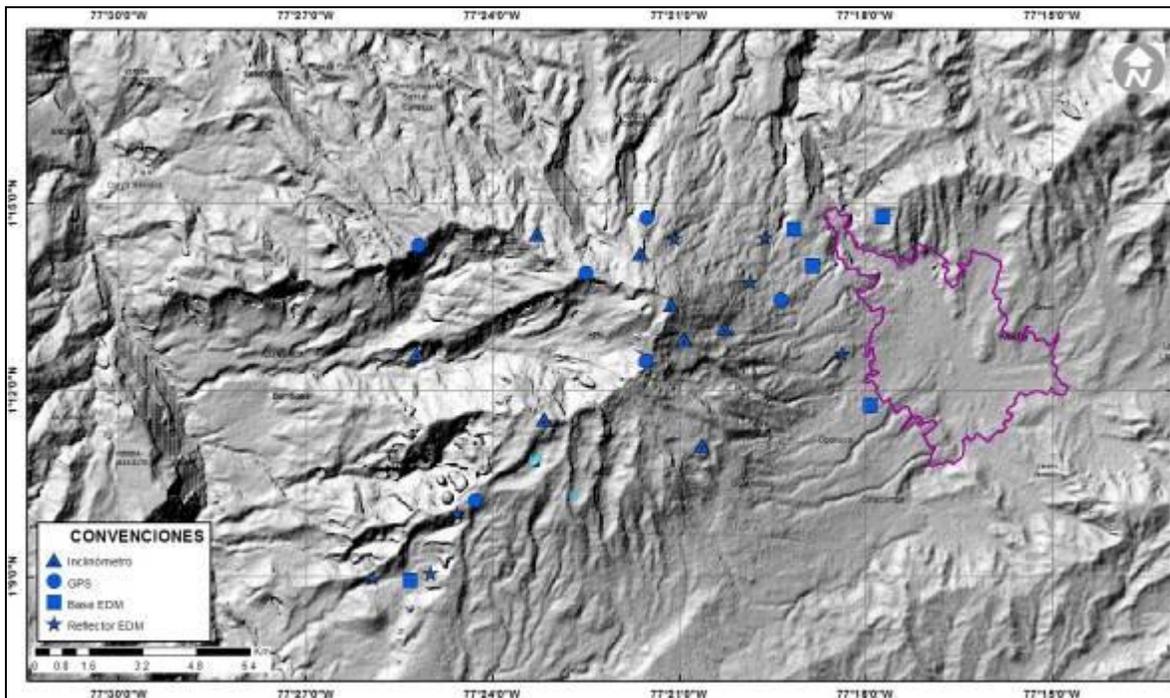


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2016.

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

**Tabla 2.** Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en septiembre de 2016.

Inclinómetros 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 septiembre 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

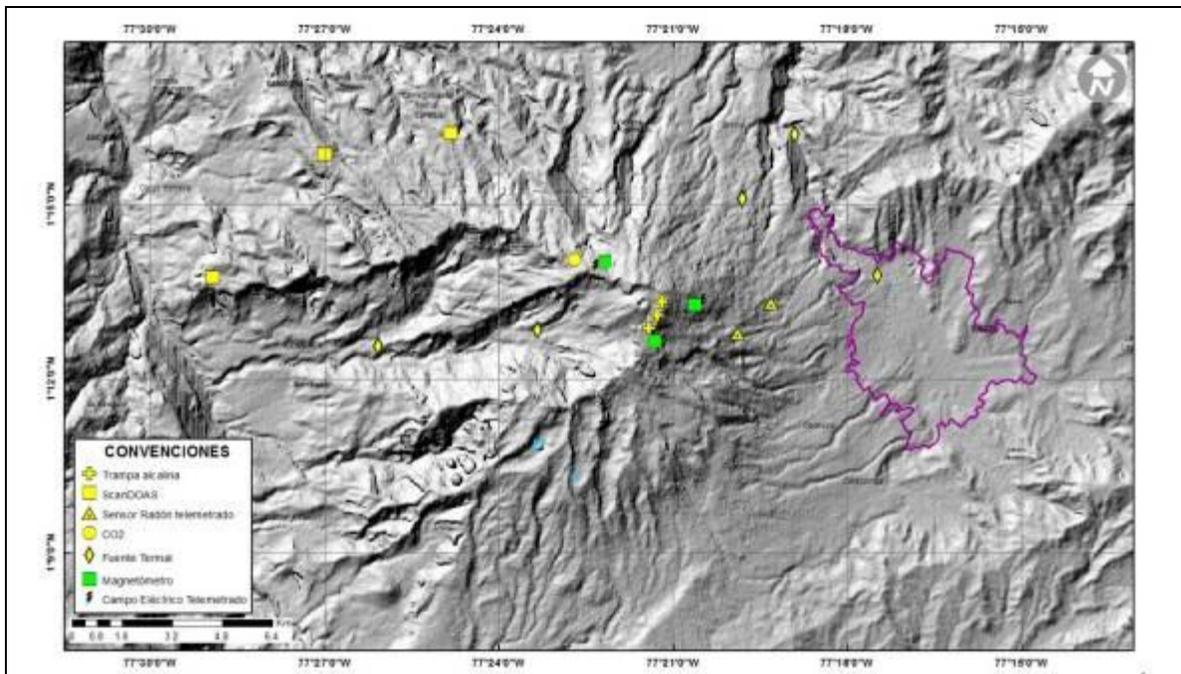


Figura 3. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en septiembre de 2016.

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

Estación	Distancia al cráter (km)	angulo del scan ( ° )	Altura de referencia de la pluma* (m)	Dirección compás ( ° contra-azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Santa Bárbara	7.9	60	1600	131	NNW	2600
Alto Jiménez	10.8	90	1800	115	NW	2400
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	W	2100

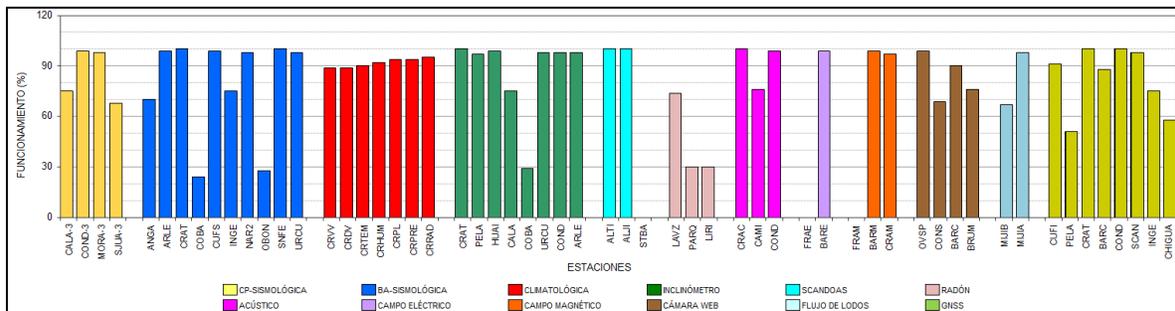
\* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm).

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

Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Frailejón	Digital	Eléctrico	Biaxial	2,7	E	3727
Frailejón	Digital	Magnético	Triaxial	2,7	E	3727
Barranco	Digital	Eléctrico	Biaxial	2.0	NW	3800
Barranco	Digital	Magnético	Triaxial	2.0	NW	3800
Cráter	Digital	Magnético	Triaxial	1,9	SSE	4001

**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 septiembre de 2016.

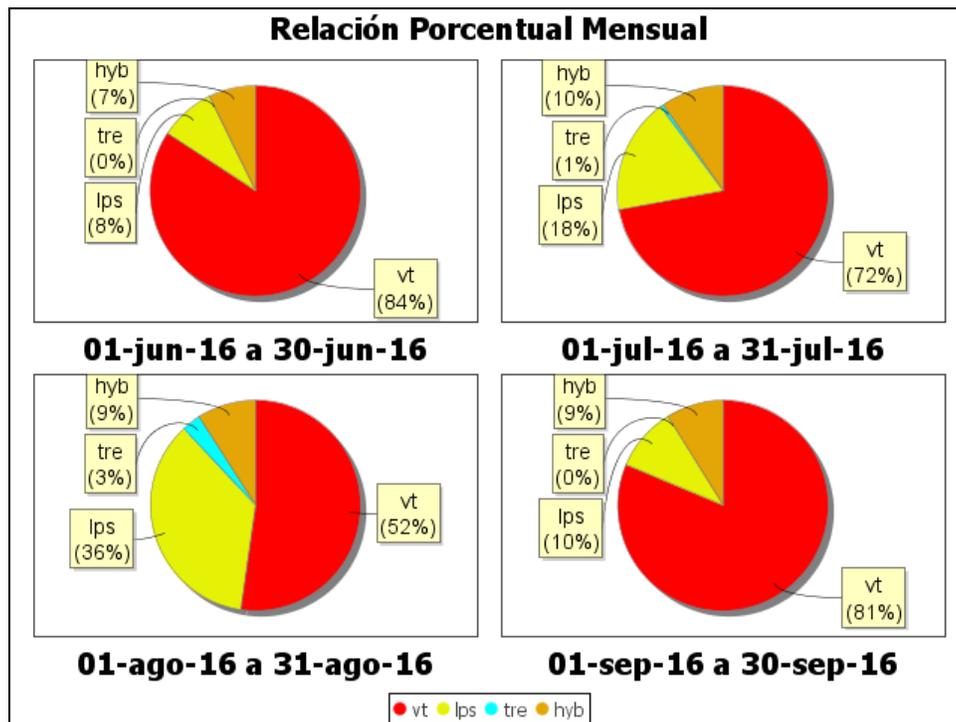
## 1.2. SISMOLOGIA

En el mes de septiembre de 2016, la actividad sísmica de Galeras aumentó en un 35,8% respecto al mes de agosto de 2016 pasando de 67 a 91 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 81,3% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de ocurrencia por eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (Eventos Tipo LP) y eventos asociados a fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (sismos

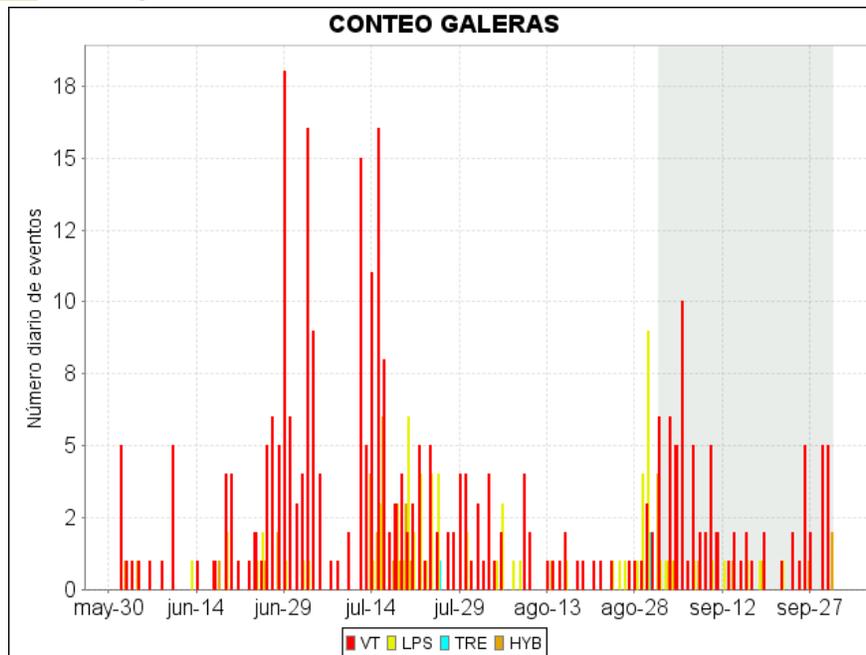
tipo HYB) los cuales aportaron con un 9,9 y 8,8% respectivamente. Por su parte, no se tuvo registro de sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE) (Tabla 7, Figuras 5, 6 y 7). La Figura 5 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos.

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

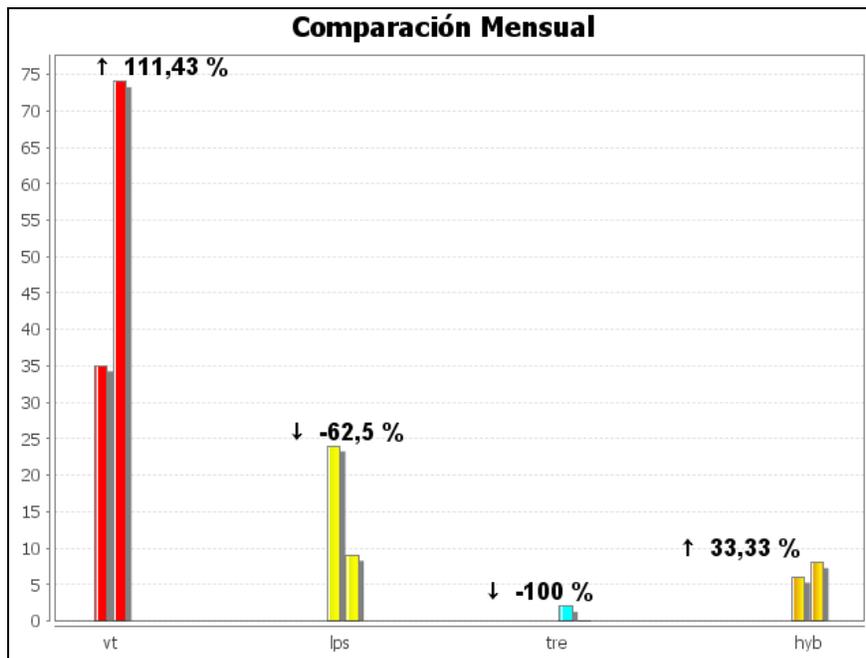
Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					NO CLASIFICABLES
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL	
01-jun-16 a 30-jun-16	70	7	0	6	83	105
01-jul-16 a 31-jul-16	135	33	1	18	187	431
01-ago-16 a 31-ago-16	35	24	2	6	67	87
01-sep-16 a 30-sep-16	74	9	0	8	91	200



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



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



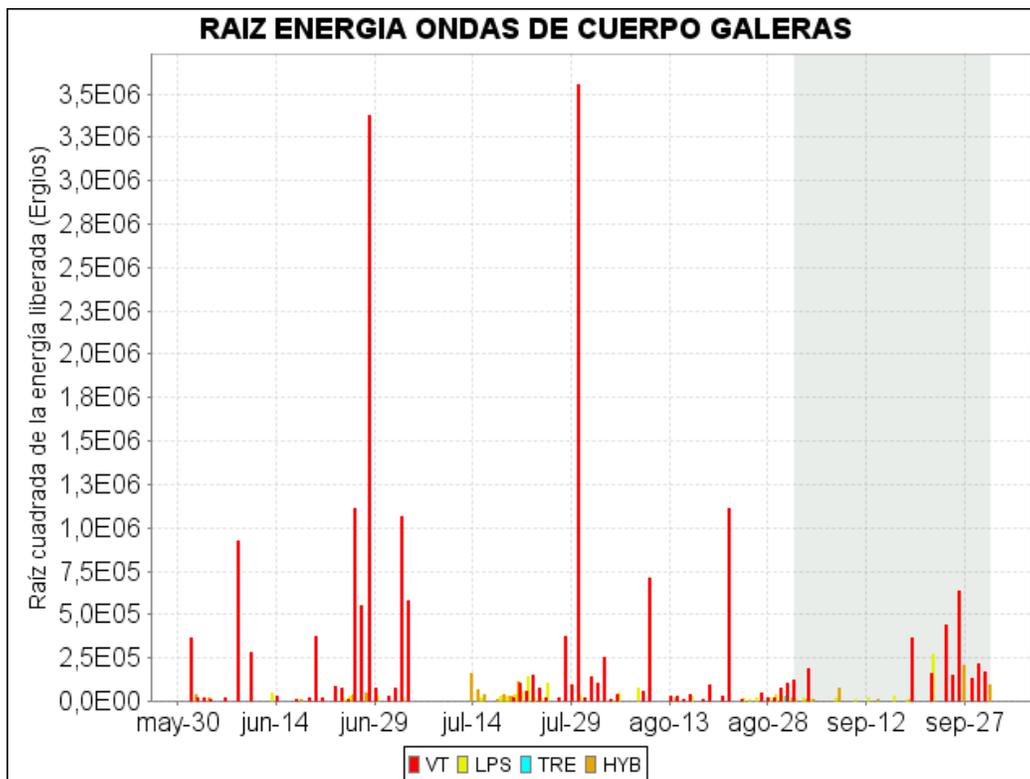
**Figura 7.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada disminuyó en comparación a lo registrado en agosto, pasando de  $1,88 \times 10^{13}$  ergios a  $1,05 \times 10^{12}$  ergios. Los eventos que aportaron la

mayor energía fueron los sismos VT con un 87,2%, seguidos por los eventos tipo LPS e HYB con un 7,4% y 5,4% respectivamente (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 junio y el 30 de septiembre de 2016, resaltando en color verde el mes evaluado.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-jun-16 a 30-jun-16	1,42E+13	4,70E+09	0,00E+00	5,05E+09	1,42E+13
01-jul-16 a 31-jul-16	1,43E+13	3,93E+10	0,00E+00	4,70E+10	1,43E+13
01-ago-16 a 31-ago-16	1,87E+12	1,21E+10	7,70E+08	1,15E+09	1,88E+12
01-sep-16 a 30-sep-16	9,18E+11	7,80E+10	0,00E+00	5,62E+10	1,05E+12



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

### Comparación Mensual

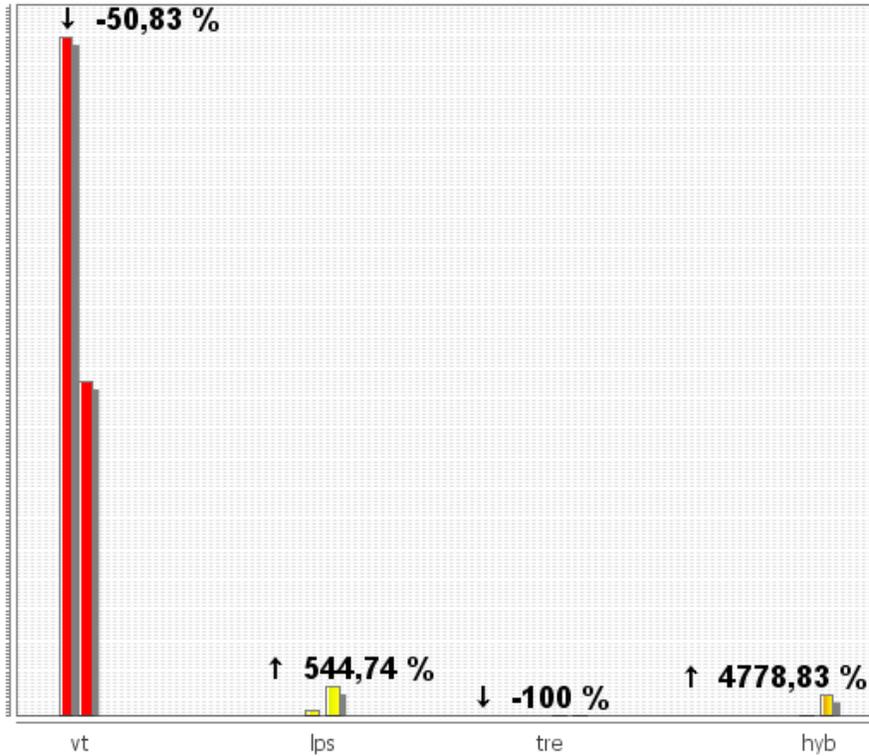


Figura 9. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para septiembre de 2016 (barras de la derecha) respecto a agosto de 2016 (barras de la izquierda).

### Relación Porcentual Mensual

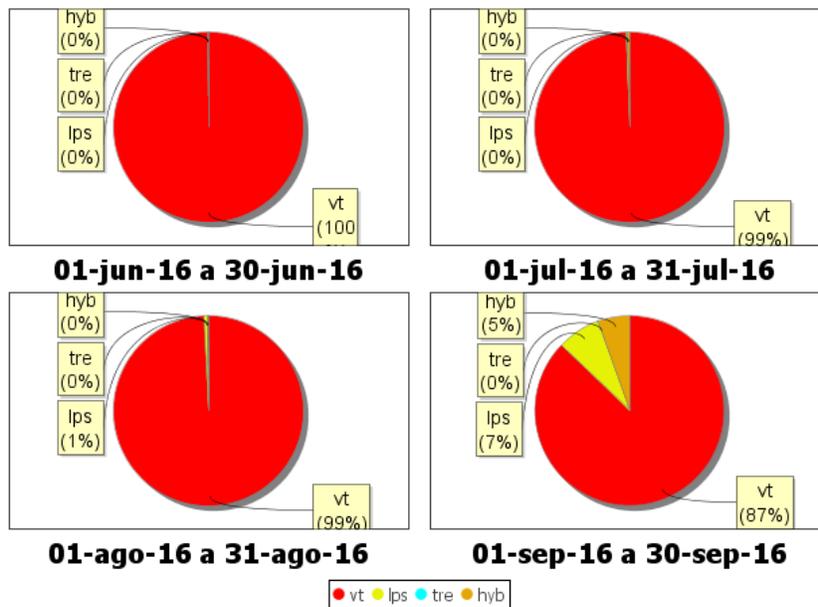
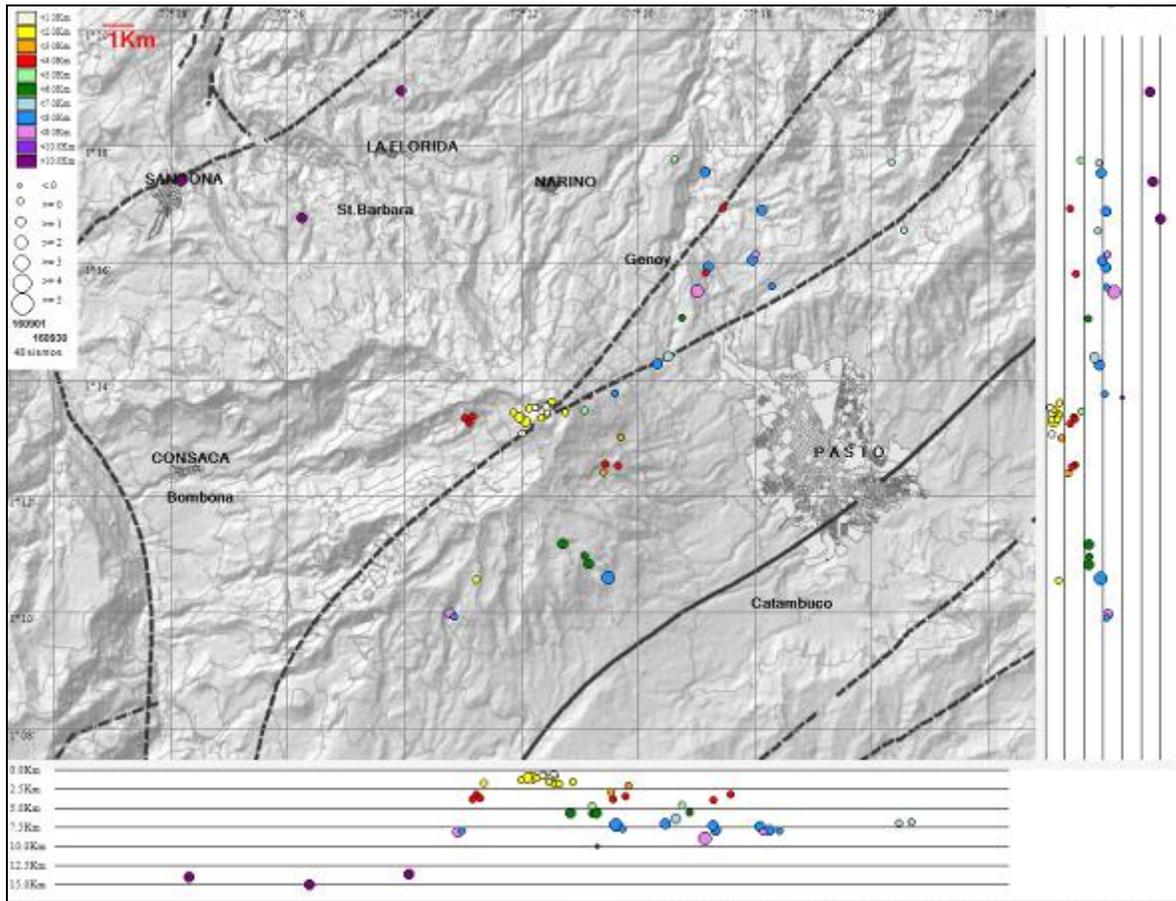


Figura 10. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde junio a septiembre de 2016.

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 48 sismos, 47 de ellos tipo VT y 1 HYB. De las localizaciones obtenidas es posible identificar que la mayoría de los sismos se concentraron muy próximos al cono volcánico, a distancias epicentrales menores a 3,0 km y profundidades superficiales por debajo de los 4 km respecto a la cima volcánica – 4276 msnm. Algunos de los eventos se ubicaron hacia el sector nororiental a menos de 10 km de distancia y a profundidades de hasta 14 km respecto a la cima. Las magnitudes calculadas fueron menores a 1,7 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 septiembre 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).

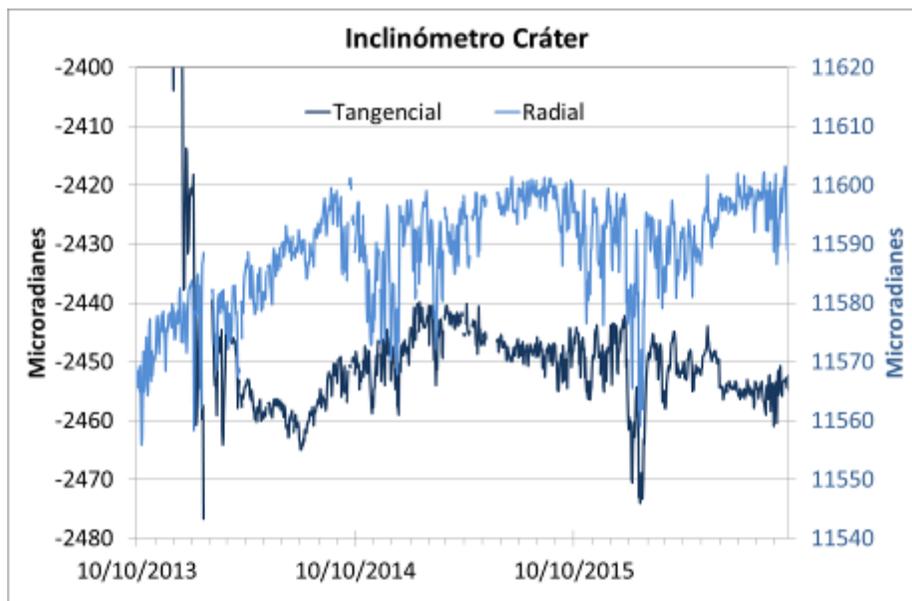
### 1.3. DEFORMACIÓN

### 1.3.1. Estaciones de Inclinometría Electrónica

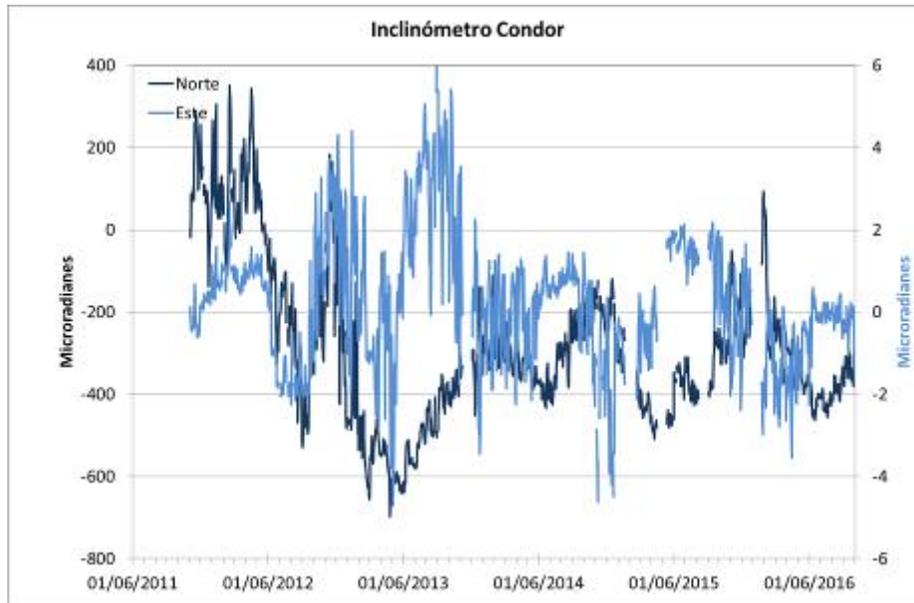
En el mes de julio de 2016 se contó con los datos de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, Urcunina, Calabozo, Cóndor, Cobanegra y Arlés cuya localización se puede apreciar en la Figura 2.

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).

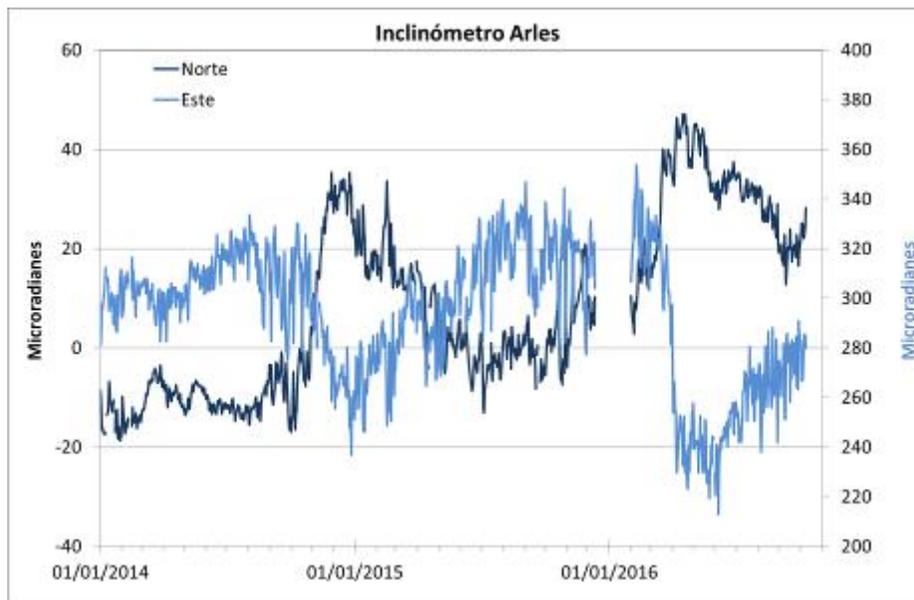
El inclinómetro Huairatola, está indicando en su componente Radial un cambio aproximado de 35  $\mu\text{rad}$ , con una tendencia ascendente; su componente Tangencial muestra estabilidad (Figura 15). La componente de inclinación Tangencial de Peladitos presenta un continuo cambio descendente acumulando unos 20  $\mu\text{rad}$  desde finales del 2011 hasta la fecha, y para el mismo periodo la componente Radial, una tendencia descendente de unos 40  $\mu\text{rad}$  (Figura 16). El inclinómetro Calabozo, mantiene su tendencia estable en su componente Este, y en la componente Norte, su tendencia ascendente acumulando hasta la fecha unos 400  $\mu\text{rad}$  (Figura 17). En Cobanegra continua el comportamiento ascendente en la componente Norte, cercano a los 100  $\mu\text{rad}$ , en la Este se aprecia un ligero descenso de 20  $\mu\text{rad}$  hasta octubre de 2015, posteriormente una tendencia ascendente cercada a los 25  $\mu\text{rad}$  hasta febrero de 2016, seguido de una estabilidad hasta la fecha (Figura 18). En Urcunina se realizó mantenimiento y se debe esperar un tiempo prudencial para su estabilización.



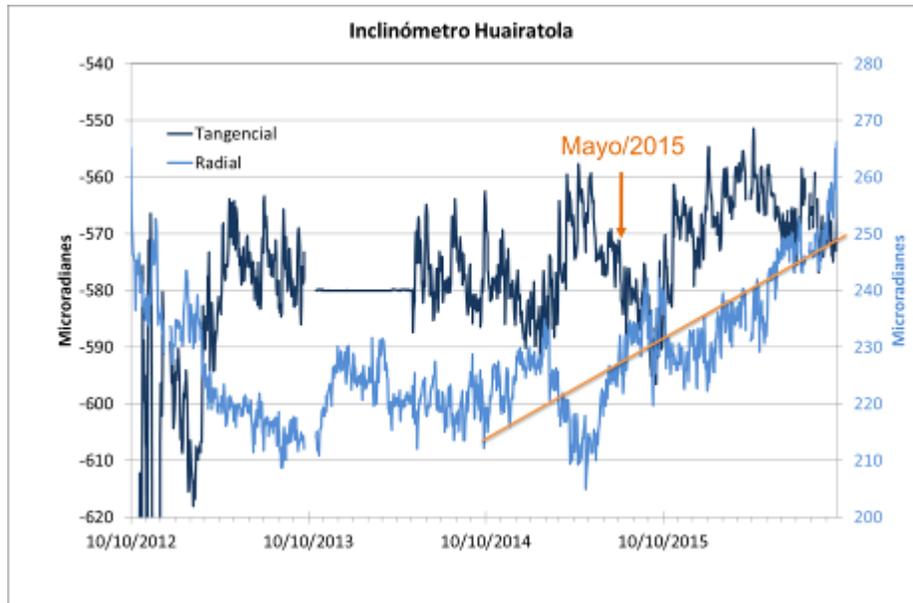
**Figura 12.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de octubre de 2013 y el 30 de Septiembre de 2016.



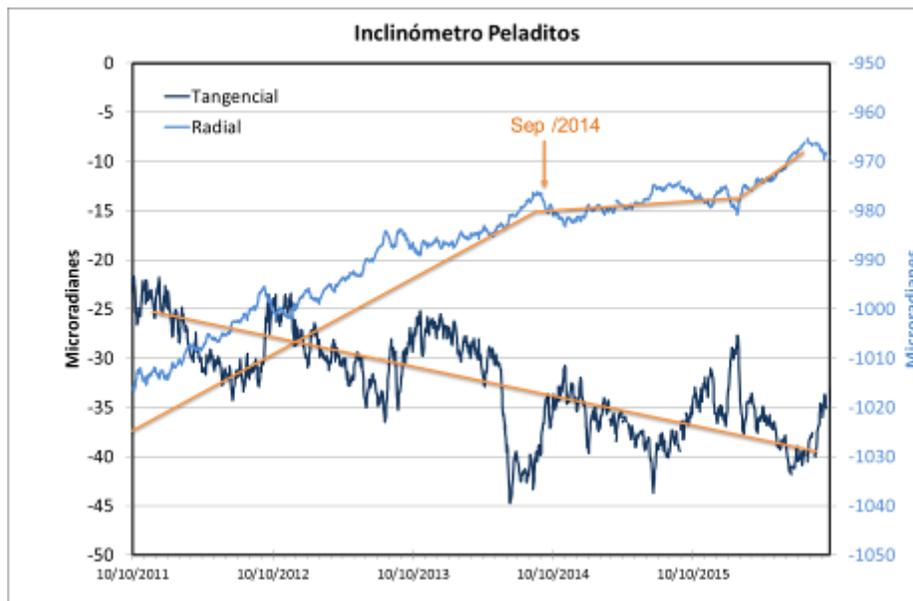
**Figura 13.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Córdor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2011 y el 30 de Septiembre de 2016.



**Figura 14.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.



**Figura 15.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de octubre de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.



**Figura 16.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de octubre de 2011 y el 30 de Septiembre de 2016.

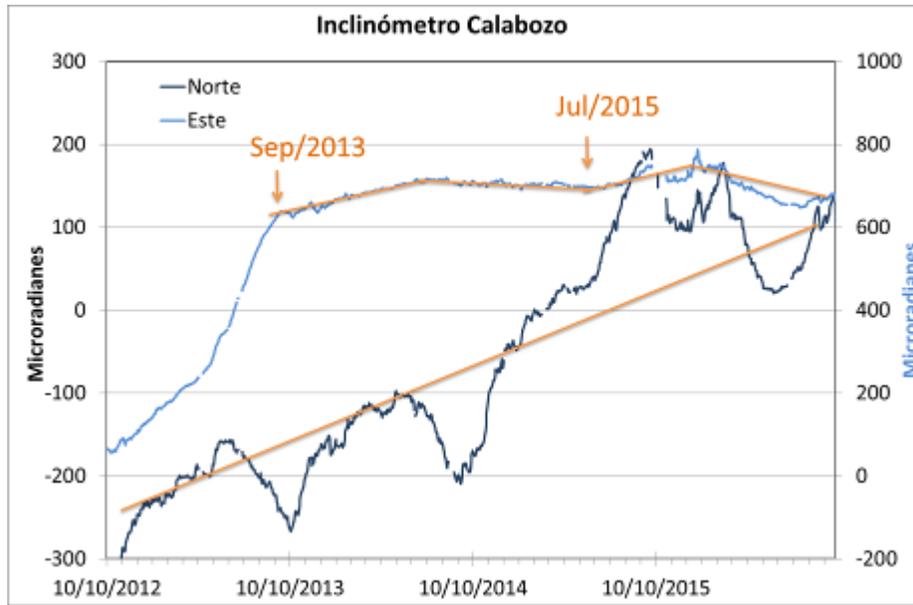


Figura 17. Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de octubre de 2012 y el 30 de Septiembre de 2016.

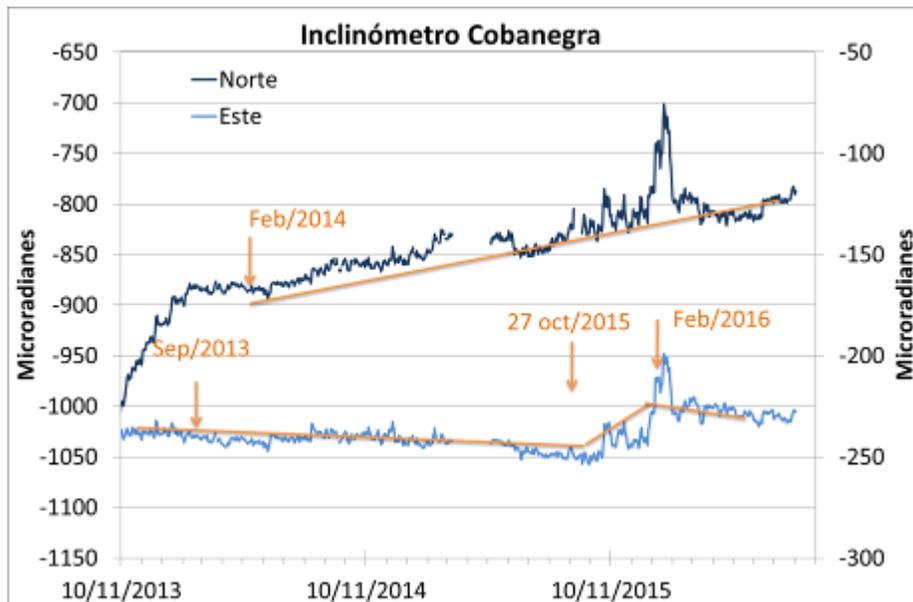


Figura 18. Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de noviembre de 2013 y el 30 de Septiembre de 2016.

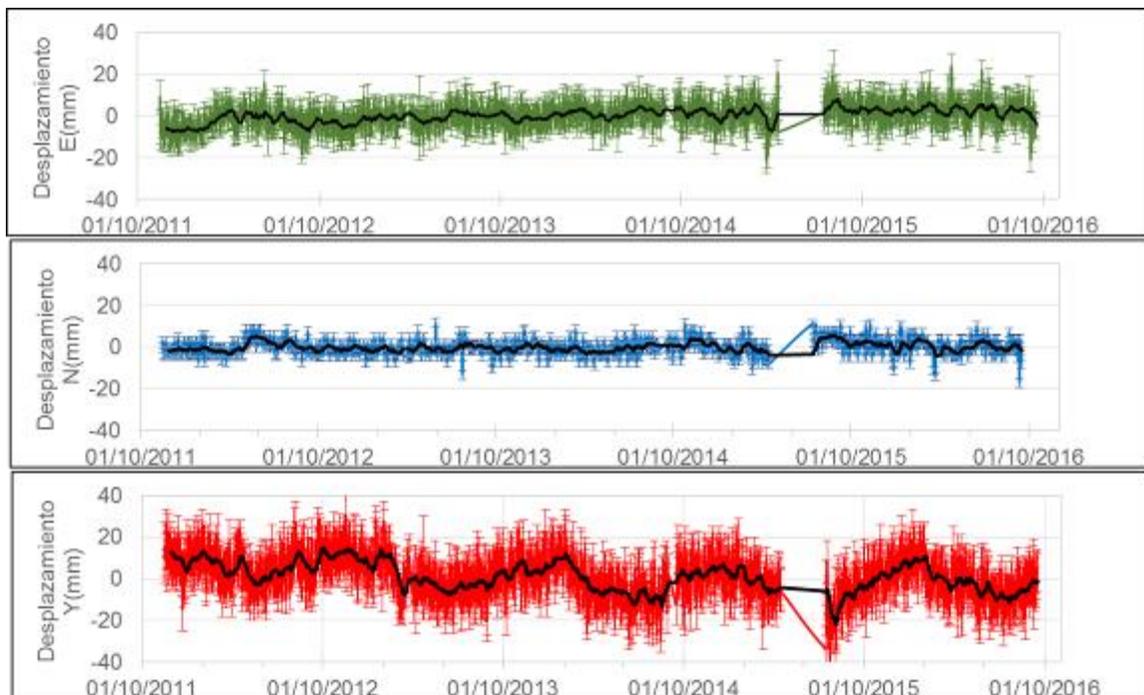
### 1.3.2. Estaciones GNSS permanentes

En septiembre 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

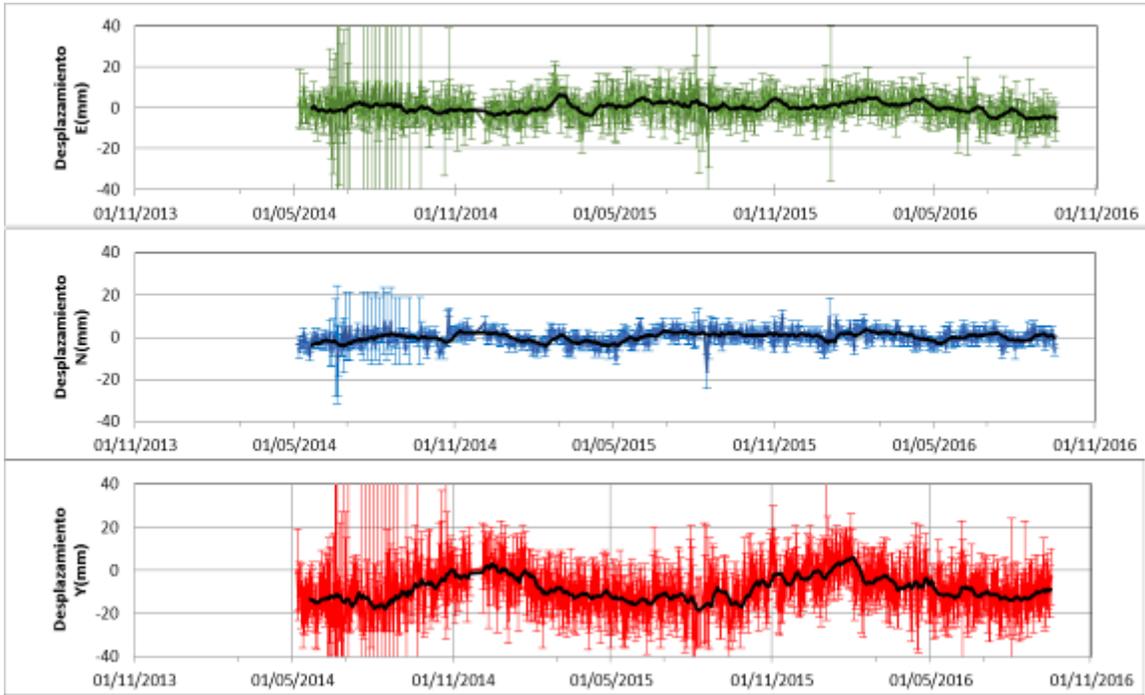
Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, Cándor se reinstaló el 21 de febrero de 2015 y los GNSS Cufiño y Peladitos se instalaron el 15 y 16 de septiembre respectivamente.

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 19 a 24, se indica el comportamiento de las direcciones de los GNSS instalados en Galeras.

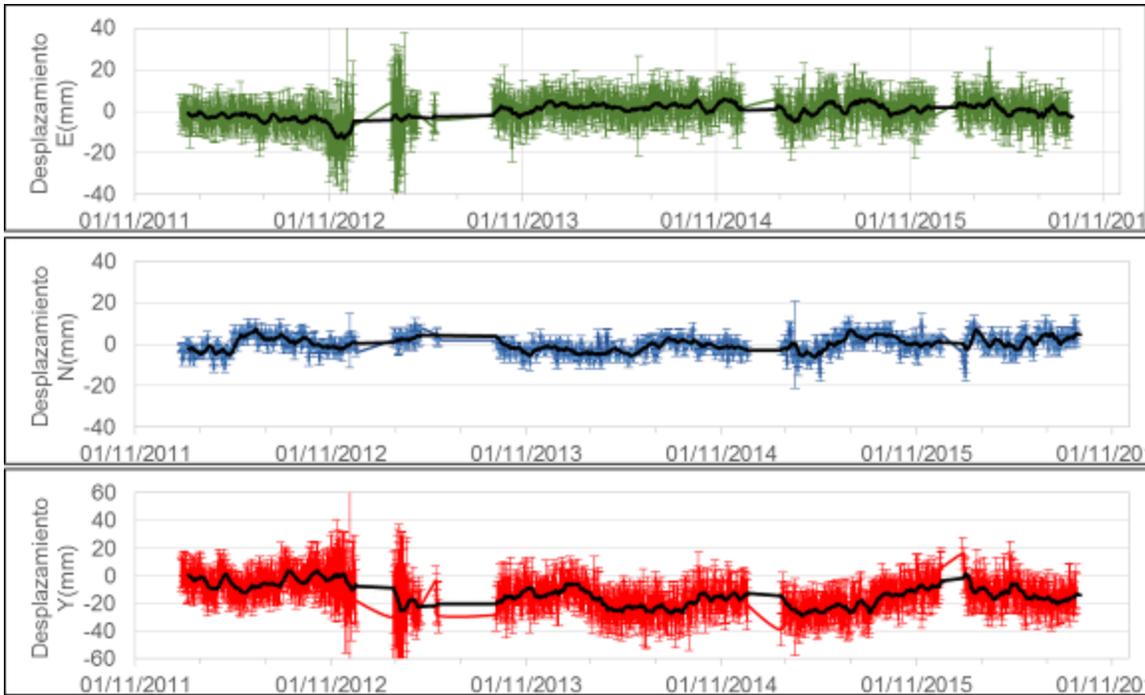
En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura. La estación de referencia para la red de Galeras es el GNSS QUILL, ubicado fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20.6 km de distancia respecto al 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 componente Norte de la red de GNSS (Figura 25).



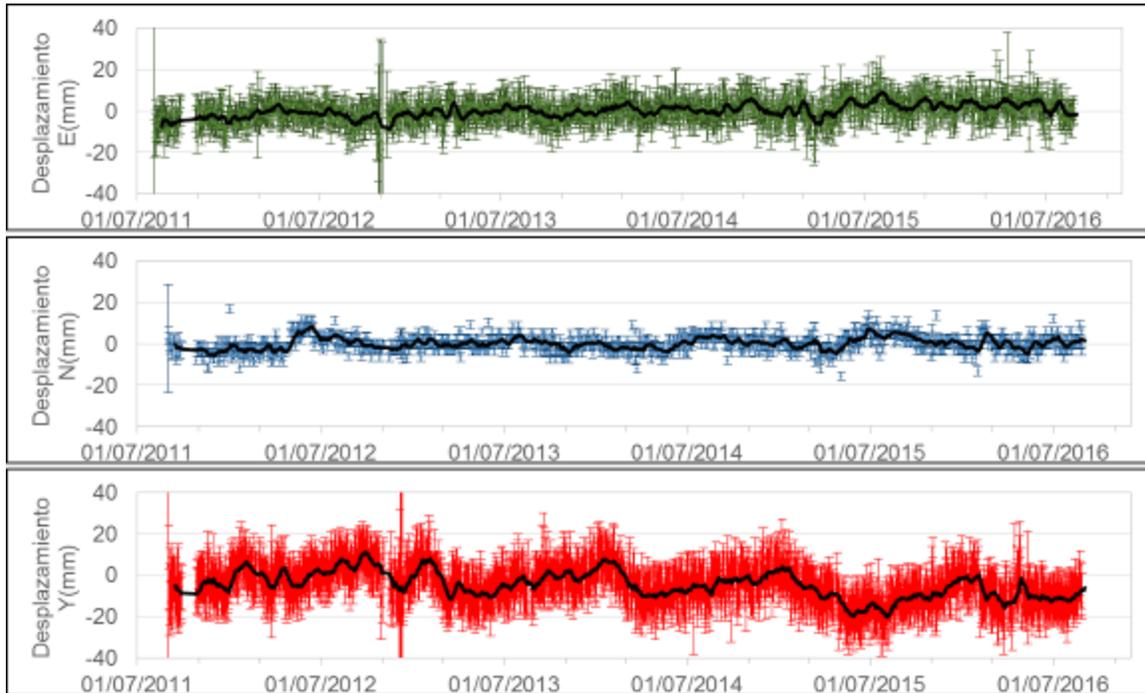
**Figura 19.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2011 y el 30 de Septiembre de 2016.



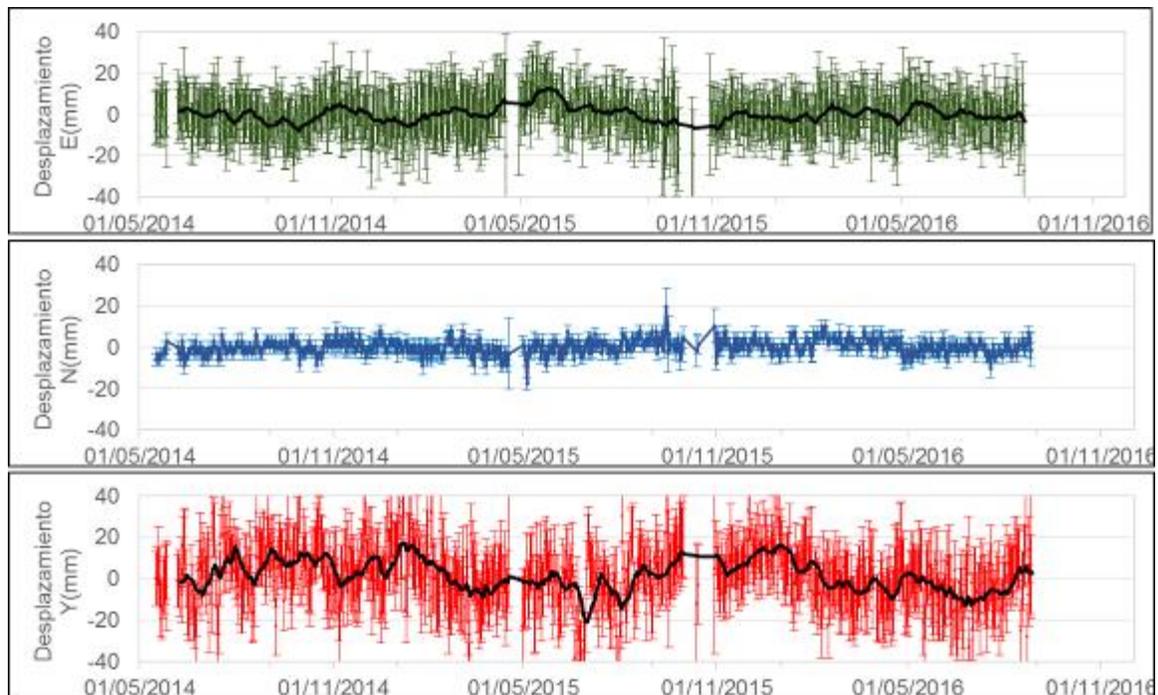
**Figura 20.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 29 de Septiembre de 2016.



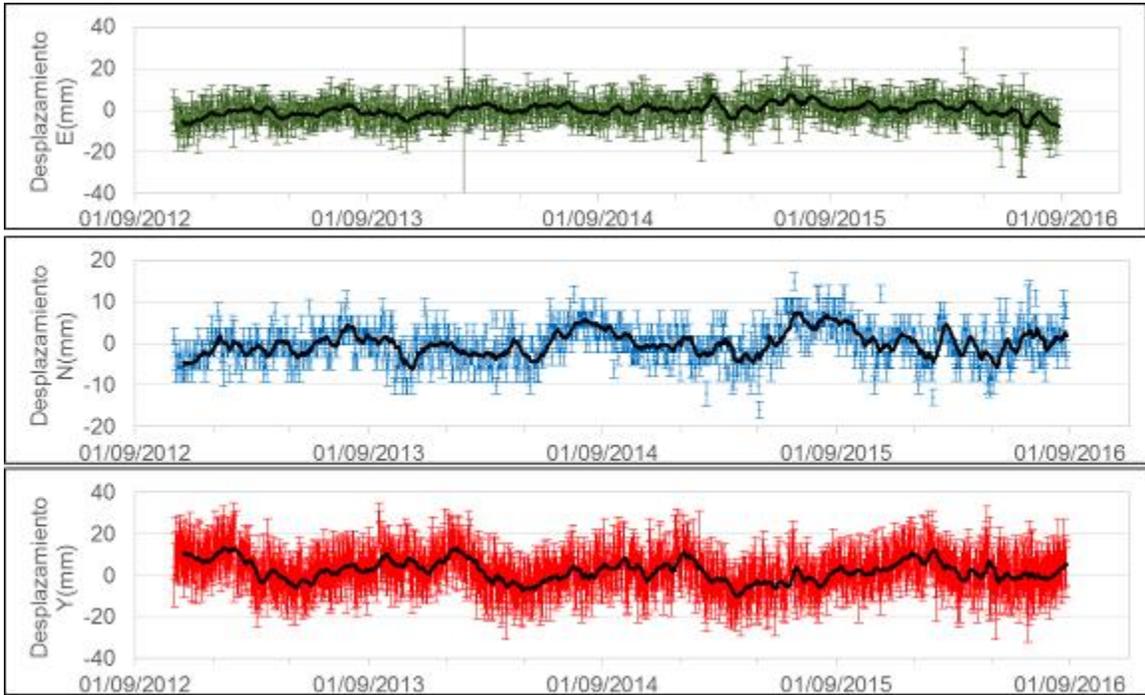
**Figura 21.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 29 de diciembre de 2011 y el 29 de Septiembre de 2016.



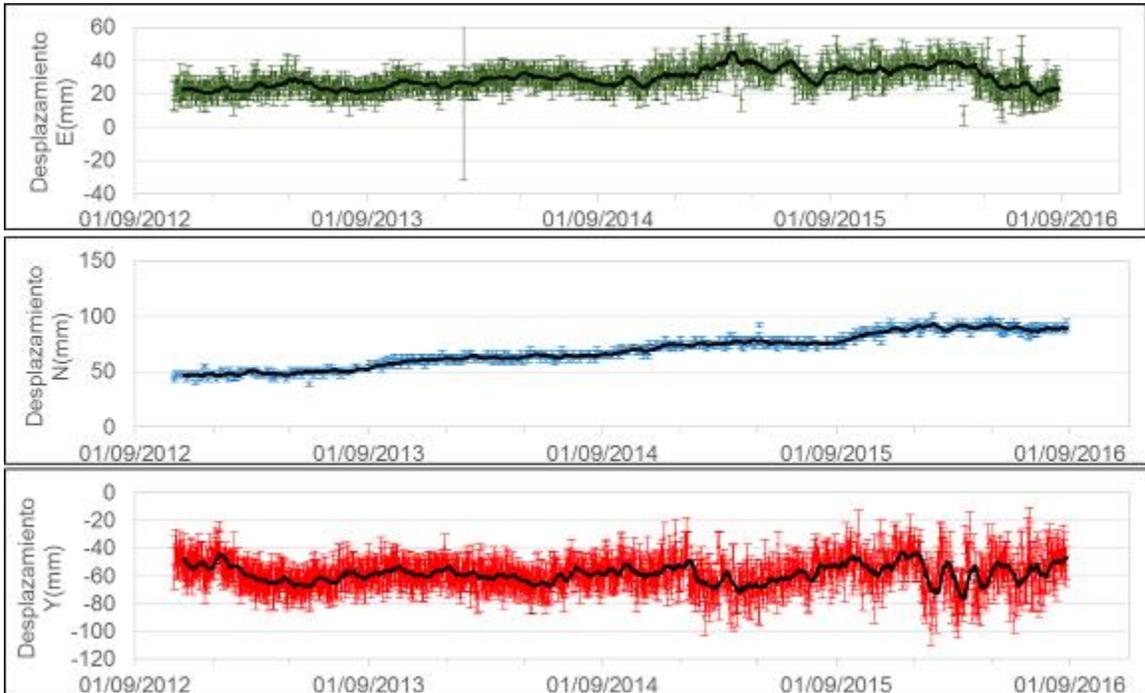
**Figura 22.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de agosto de 2011 y el 29 de Septiembre de 2016.



**Figura 23.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 15 de mayo de 2014 y el 29 de Septiembre de 2016.



**Figura 24.** 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 29 de Septiembre de 2016.



**Figura 25.** 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 29 de Septiembre de 2016.

### 1.3.3. Medición electrónica de distancias EDM

Para el periodo evaluado no se realizaron medidas de EDM.

### 1.4. ELECTROMAGNETISMO.

Durante septiembre de 2016, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras, se realizó con los registros de una estación eléctrica y dos magnéticas. La estación Barranco con sensores eléctricos y magnéticos y Cráter, solamente con sensor magnético. La estación Frailejón, que tiene sensor eléctrico y magnético estuvo fuera de funcionamiento durante el mes de septiembre, por afectación por tormentas eléctricas en la zona donde se encuentra ubicada.

Los sensores de monitoreo magnético en Galeras muestran una fuerte influencia de las variaciones asociadas principalmente con los efectos día-noche (Figura 26), haciendo evidente la influencia de la con actividad del Campo Magnético Terrestre, de acuerdo con los registros de la estación magnética de Kourou (Figura 27), 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 septiembre, 2016, no se destaca actividad asociada con procesos volcánicos relevantes, por cuanto la actividad de Galeras no presentó eventos resaltables. La estación magnética Barranco varió en un rango de 160 nT, con un valor promedio del campo total, para el mes de septiembre de 28.370 nT, que es prácticamente igual al promedio reportado el mes de julio de 2016 (Figura 26). La estación magnética Cráter varió en un rango de 165 nT, con un valor promedio del campo total, para el mes de septiembre de 33.410 nT (Figura 26).

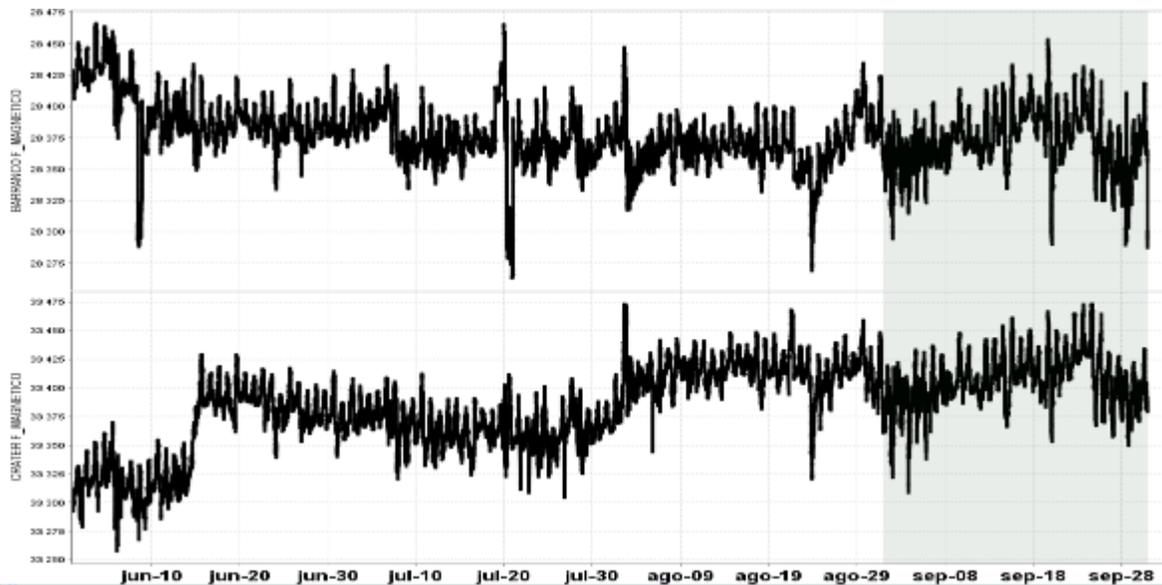
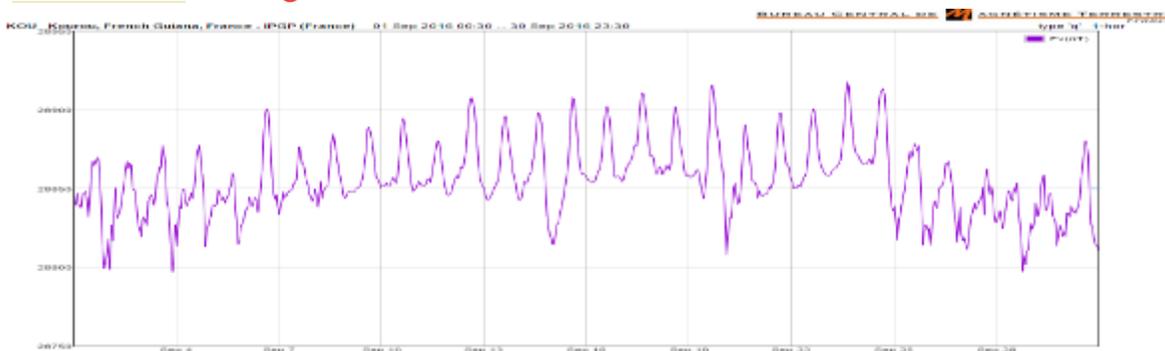
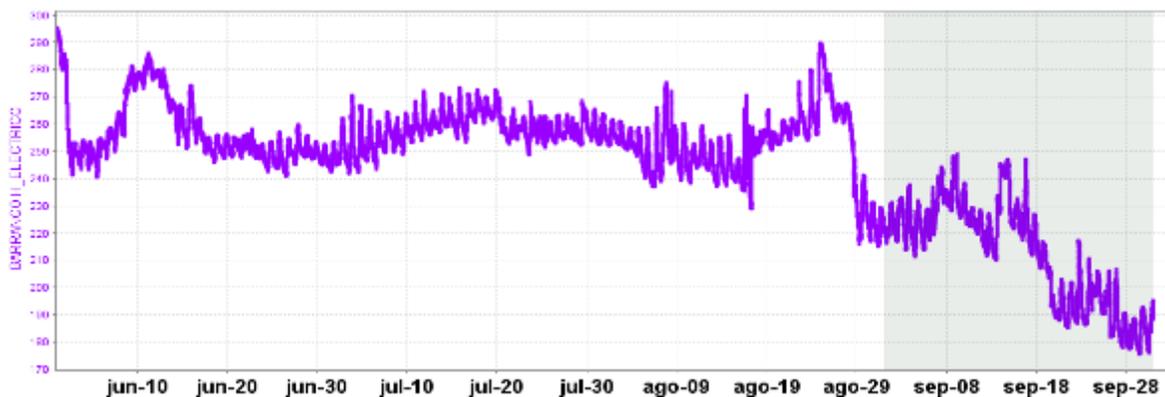


Figura 26. Intensidad del Campo Magnético Total, de las estaciones de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Galeras. Barranco (superior) y Cráter (inferior), en el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2016.



**Figura 27.** 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 septiembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

El campo eléctrico horizontal de los sensores eléctricos de la estación Barranco, para el mes de septiembre de 2016, mostró una tendencia descendente, que en su momento se asoció con el incremento de las condiciones de lluvia, en la zona de ubicación de la estación. El campo eléctrico horizontal en esta estación vario en un rango de 73 mV, que dentro de las condiciones de lluvia de la época, en la zona de la estación, es normal este incremento en la variación, el valor promedio del campo eléctrico horizontal fue de alrededor de 210 mV (Figura 28).



**Figura 28.** Variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Barranco, pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo entre junio y septiembre de 2016. La escala de medición del campo eléctrico está en mV.

## 1.5. GEOQUIMICA.

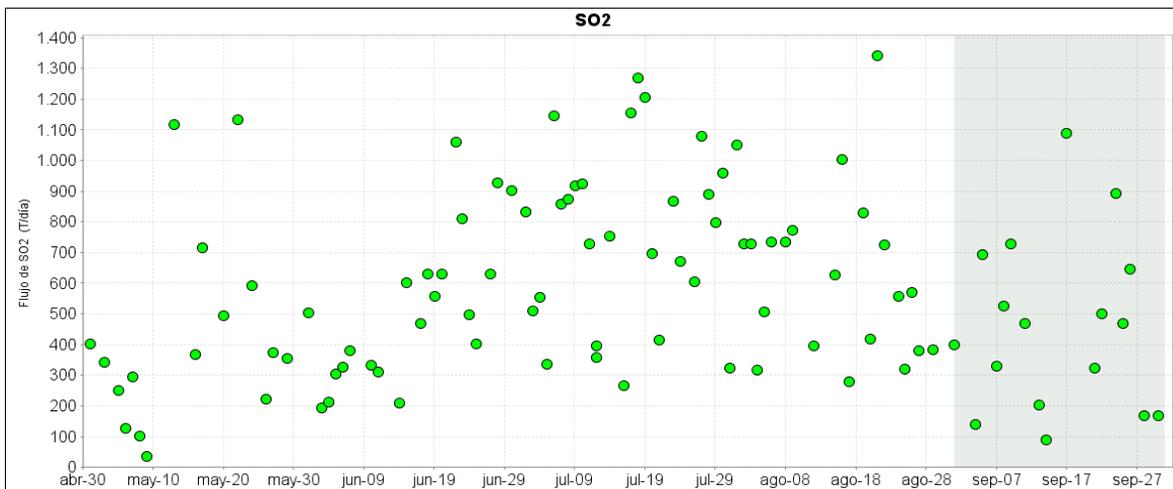
### 1.5.1. Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras

#### 1.5.1.1. Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) 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 (SO<sub>2</sub>), partículas provenientes de la desgasificación del magma en el reservorio profundo del volcán Galeras.

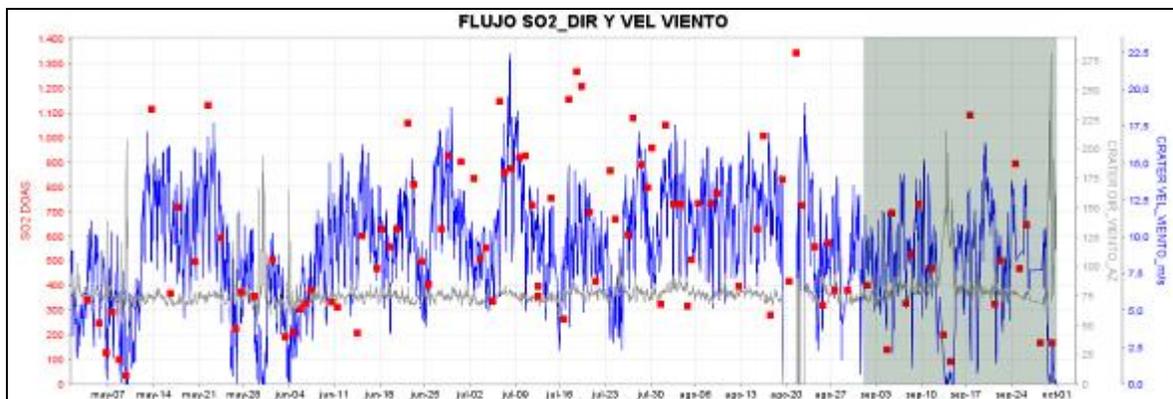
El SCANDOAS es un sistema de espectroscopia de absorción UV que funciona mediante absorción óptica diferencial, diseñado para medir la emisión de gas SO<sub>2</sub>, convirtiendo la luz ultravioleta detectada en señales digitales, éstas señales son el espectro para la evaluación del gas. (Instructivo del APLICATIVO ISOLUCIÓN: IN-AME-OVS-020).

Se registran escaneos durante todos los días del mes de septiembre del 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 SO<sub>2</sub> a la atmósfera se encuentran entre 138 y 1090 Ton/día, valores considerados como bajos y altos para el volcán Galeras (Figura 29 y 30, Tabla 9).



**Figura 129.** Flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) Volcán Galeras - mes de septiembre 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 3027 fue posible observar actividad superficial en Galeras desde las cámaras web instaladas en cercanías al volcán. Se presentaron altos valores de velocidad del viento durante el periodo evaluado, alcanzando los 11,7 m/s. La tendencia de dirección del viento se encuentra hacia los 330° en azimut. El mayor flujo de SO<sub>2</sub> registrado para el volcán Galeras durante el mes, se presenta el día 17 de septiembre de 2016 con un valor de 1090 Ton/día, considerado flujo alto para el volcán Galeras.



**Figura 30.** Flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), velocidad y dirección del viento - mes de septiembre 2016.

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

FECHA	HORA	AZIMUT	VELOCIDAD (m/s)	Ton(v)	Recorrido o Punto de Medida	INSTRUMENTO
01-sep-16	01:22 PM	71	11.5	399	Alto Jimenez	SCANDOAS
04-sep-16	03:43 PM	340	3.7	138	Alto Jimenez	SCANDOAS
05-sep-16	09:24 AM	333	11.4	694	Alto Jimenez	SCANDOAS
07-sep-16	03:44 PM	346	5.1	329	Alto Tinajillas	SCANDOAS
08-sep-16	07:49 AM	319	9.9	526	Alto Tinajillas	SCANDOAS
09-sep-16	01:26 PM	335	9.9	729	Alto Jimenez	SCANDOAS
11-sep-16	03:34 PM	320	9.5	470	Alto Jimenez	SCANDOAS
13-sep-16	09:03 AM	87.7	4.1	202	Alto Jimenez	SCANDOAS
14-sep-16	12:14 PM	306	1.7	90	Alto Tinajillas	SCANDOAS
17-sep-16	12:51 PM	310	10.3	1090	Alto Tinajillas	SCANDOAS
21-sep-16	10:25 AM	354	8	323	Alto Tinajillas	SCANDOAS
22-sep-16	07:28 AM	347.2	11.7	501	Alto Tinajillas	SCANDOAS
24-sep-16	03:14 PM	312	8.8	892	Alto Tinajillas	SCANDOAS
25-sep-16	07:03 AM	316.6	11	469	Alto Tinajillas	SCANDOAS
26-sep-16	08:59 AM	335	11	646	Alto Jimenez	SCANDOAS
28-sep-16	11:28 AM	305.7	4.8	169	Alto Tinajillas	SCANDOAS
30-sep-16	07:28 AM	349.5	2.5	168	Alto Tinajillas	SCANDOAS

\*Valores de flujo de SO<sub>2</sub> para Galeras: Bajo (0<500 Ton/d); Moderados (>500<1000 Ton/d); Alto (>1000<3000 Ton/d); Muy alto (>3000 Ton/d).

## 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 el día 10 de octubre 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 31 a 34 se presentan imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en septiembre de 2016.



**Figura 31.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en la repetidora Bruma el 2 de septiembre de 2016 a las 6:31 p.m.



**Figura 32.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 07 de septiembre de 2016 a las 6:31 p.m.



**Figura 33.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 23 de septiembre de 2016 a las 3:14 p.m.



**Figura 34.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en la repetidora Bruma el 30 de septiembre de 2016 a las 3:04 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 a movimiento de fluidos de fuente transitoria al interior del sistema volcánico.
- 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”.

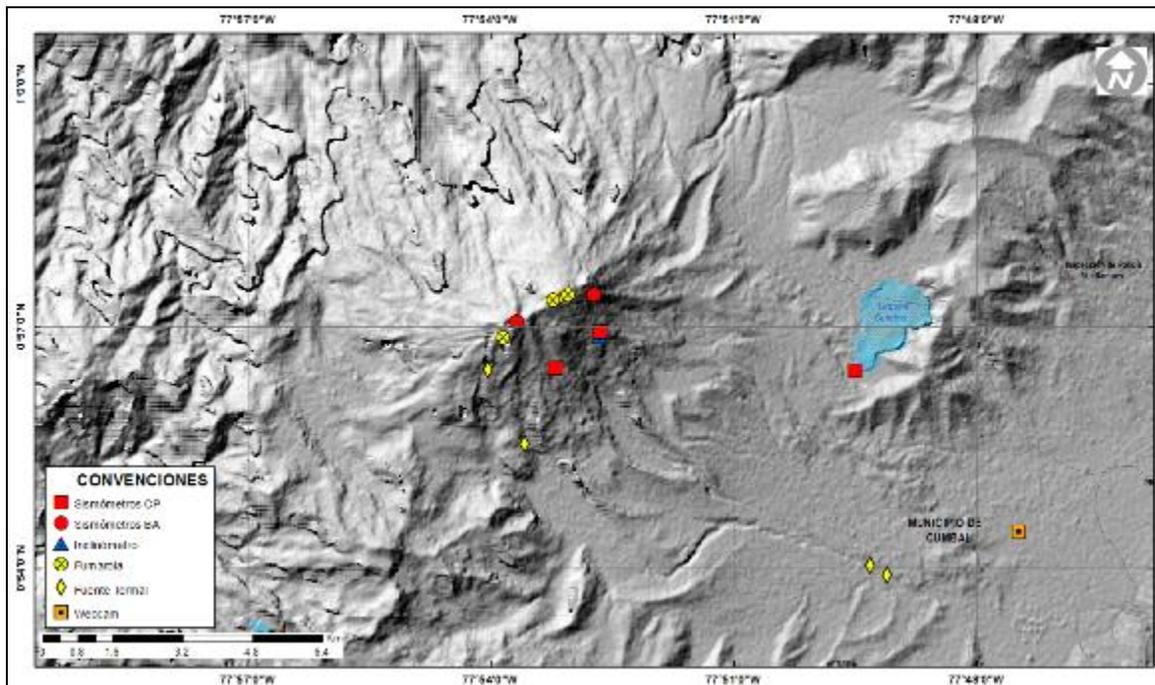
## 2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – SEPTIEMBRE DE 2016

### 2.1. RED DE VIGILANCIA

En septiembre 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 35, Tabla 10).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos ubicados en los sitios donde se encuentran emplazadas las estaciones sísmicas (Figura 35, Tabla 10).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 35).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 35).

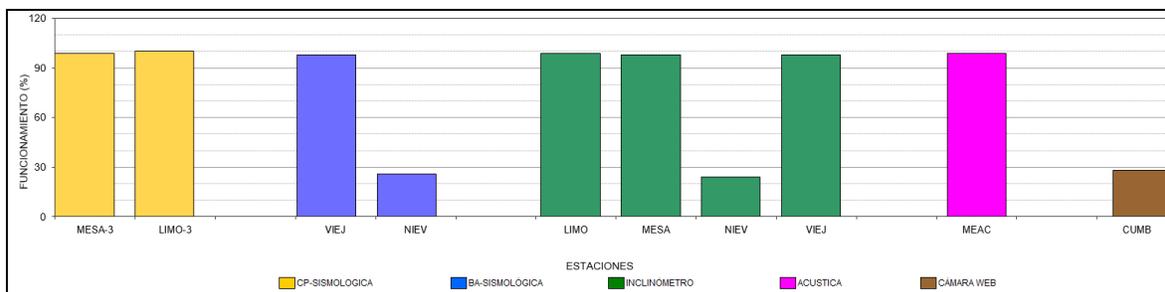
Para este periodo la estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 76,9% (Figura 36).



**Figura 35.** 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 septiembre de 2016.

**Tabla 10.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante septiembre de 2016.

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



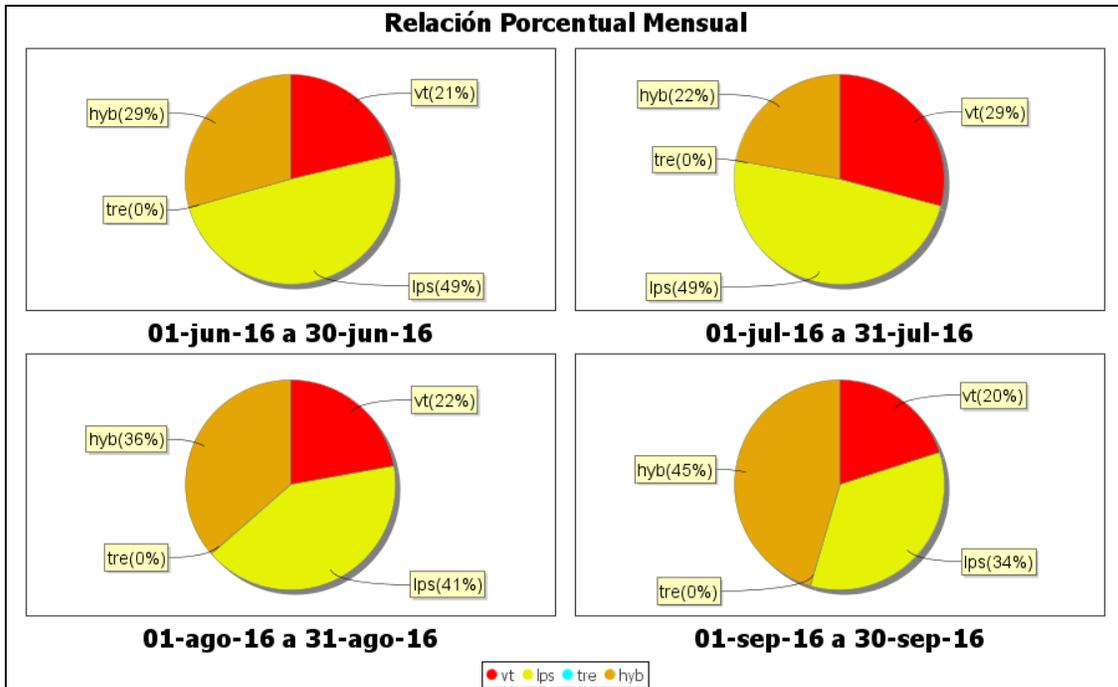
**Figura 36.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en septiembre de 2016.

## 2.2. SISMOLOGÍA

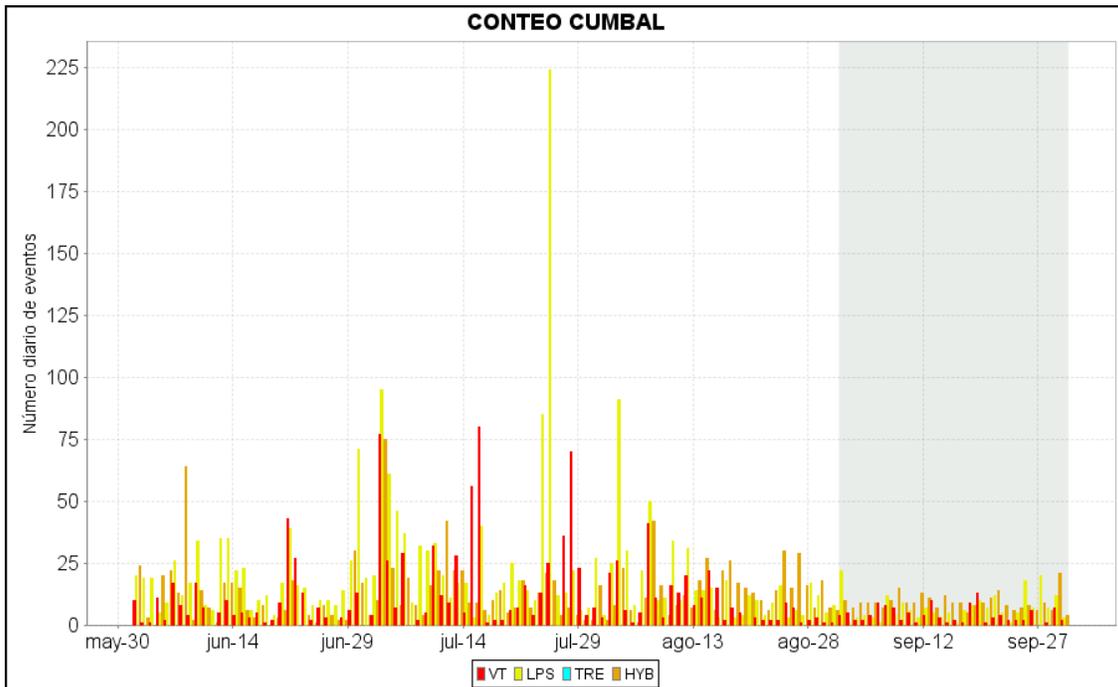
En el mes de septiembre de 2016, la ocurrencia sísmica disminuyó en un 49,8% en comparación al mes agosto, pasando de 1214 a 609 eventos. La sismicidad dominante fue la de tipo HYB con un porcentaje del 45,5%, seguido por los eventos tipo LPS con un 34,5%, los sismos tipo VT aportaron con el 20%. En este periodo no se tuvo registro de eventos tipo TRE (Tabla 11, Figuras 37 y 38).

**Tabla 11.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016 (resaltado en color verde).

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	TOTAL
01-jun-16 a 30-jun-16	239	556	0	331	2	1126
01-jul-16 a 31-jul-16	588	987	0	447	5	2022
01-ago-16 a 31-ago-16	269	503	0	442	7	1214
01-sep-16 a 30-sep-16	122	210	0	277	5	609



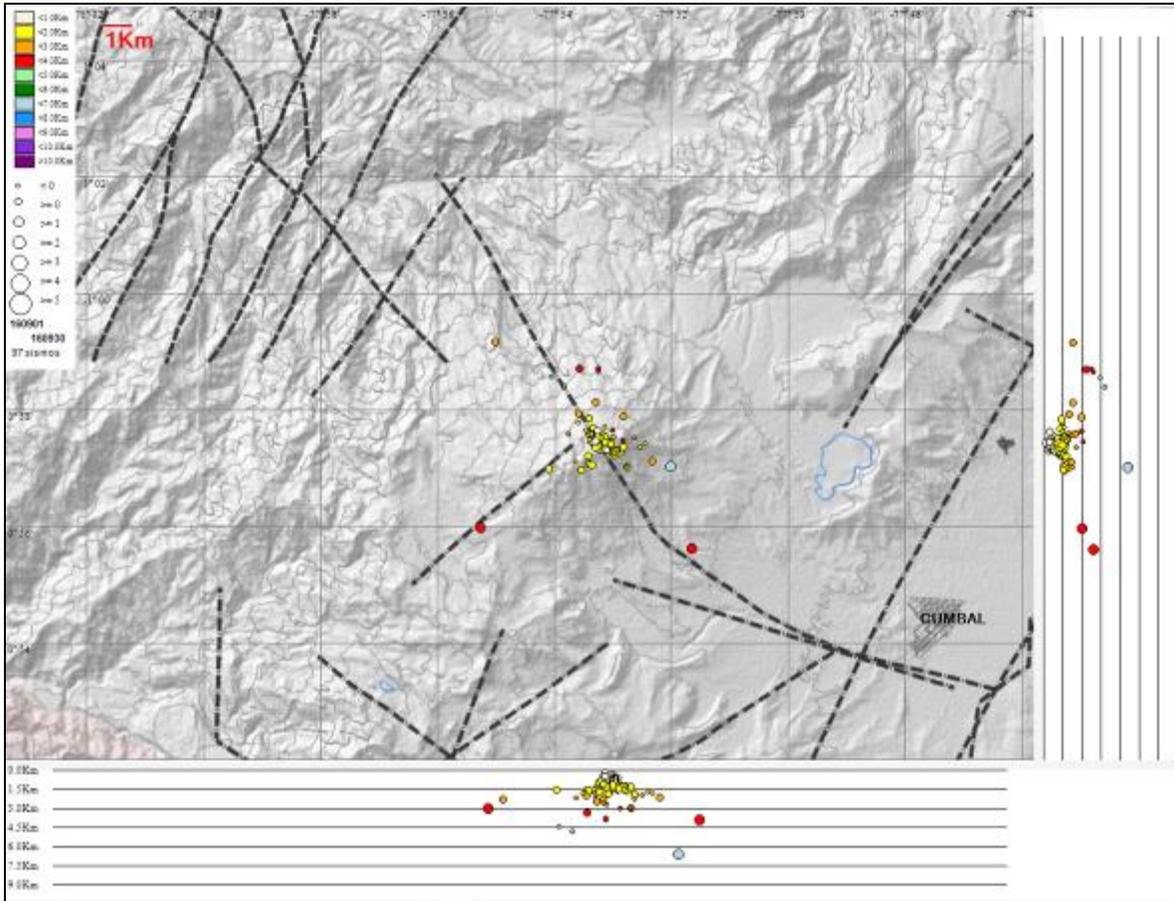
**Figura 37.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre junio y septiembre de 2016. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.



**Figura 38.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 30 de septiembre 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 97 sismos, 41 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 2,5 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 1,6 en la escala de Richter (Figura 39).



**Figura 39.** 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 1,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

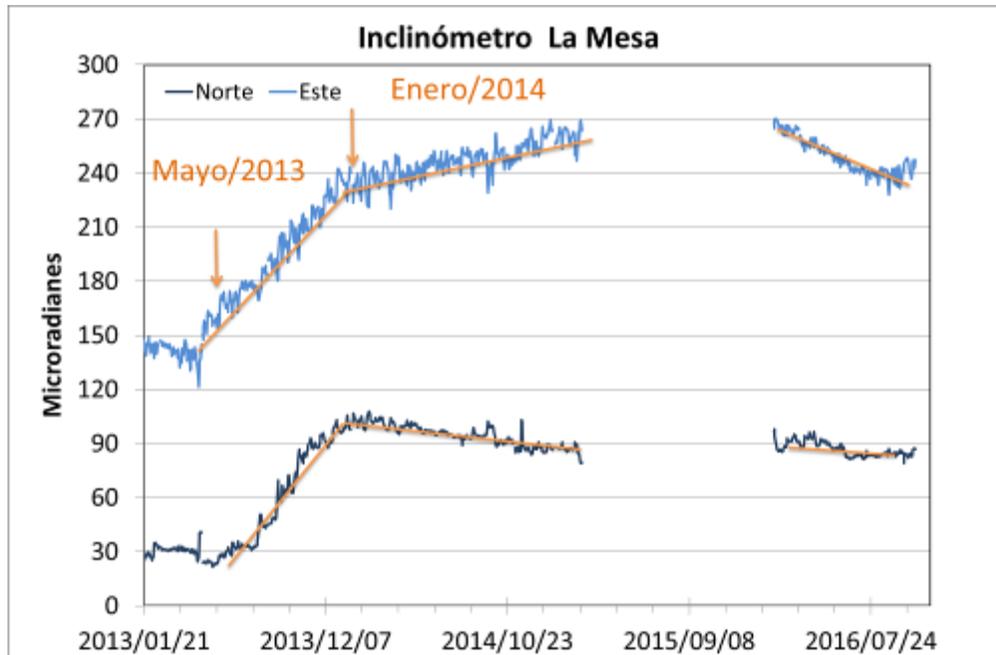
### 2.3. DEFORMACIÓN

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

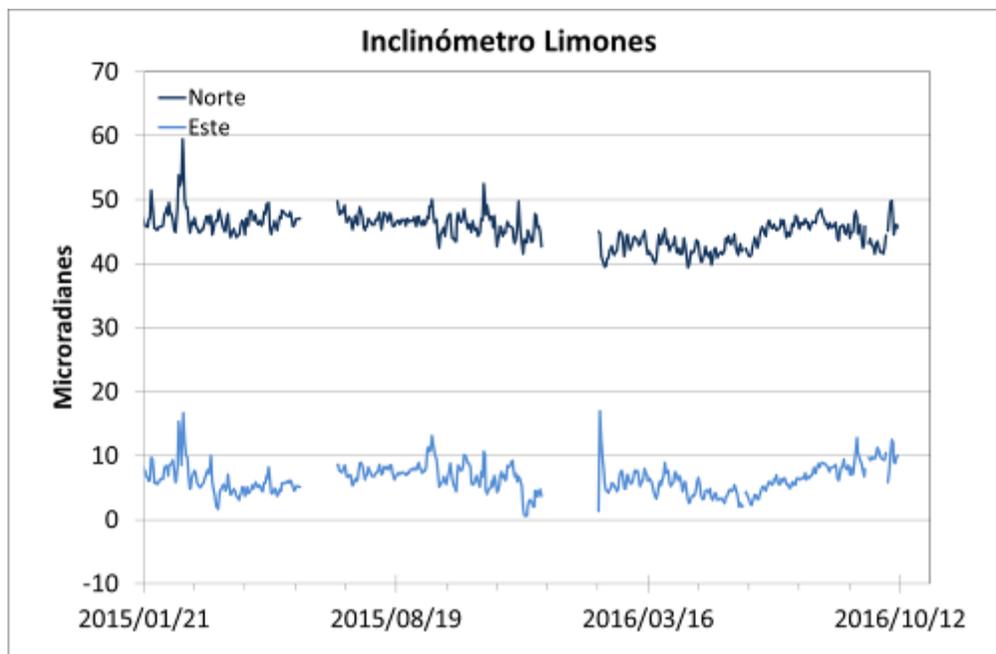
Los inclinómetros La Mesa y Limones muestran tendencia estable en sus componentes, con variaciones menores asociadas a la temperatura (Figura 40, Figura 41).

El inclinómetro Punta Vieja, en su componente Este acumula cerca de 20  $\mu$ rad desde el 12 de abril de 2016 hasta la fecha, mientras la componente Este, a partir de septiembre de 2015, muestra estabilidad (Figura 42).

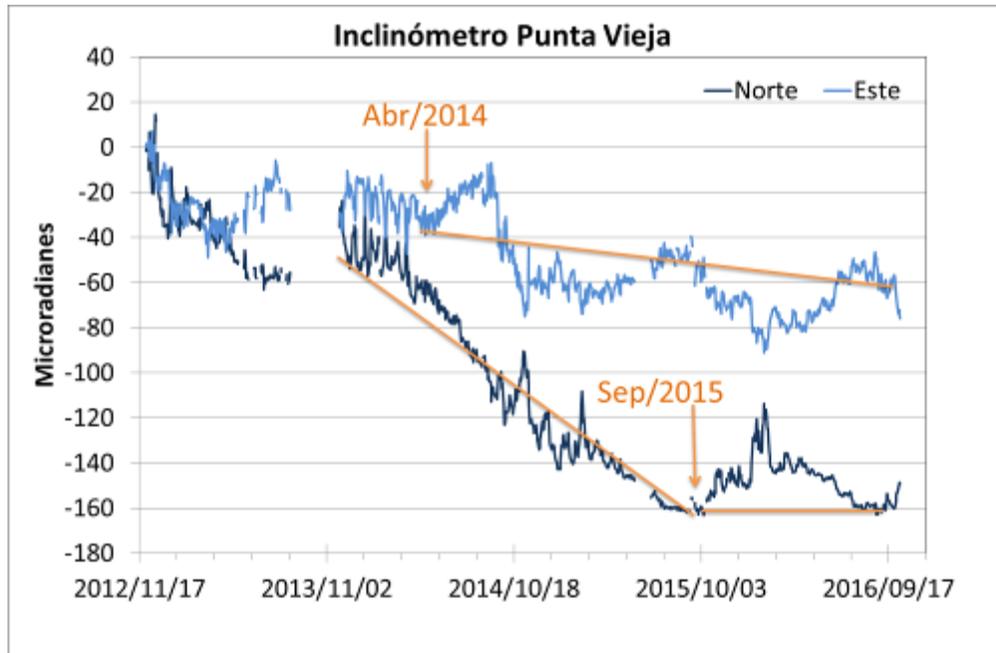
En septiembre se reinstaló el inclinómetro La Nieve, y se debe esperar un tiempo prudencial para interpretar su comportamiento (Figura 43).



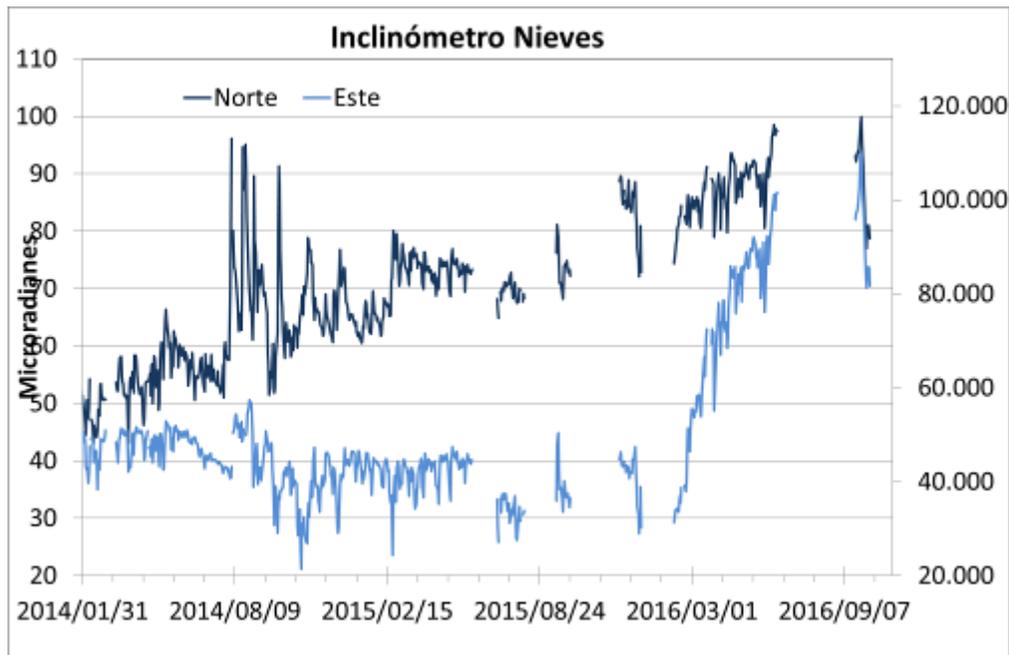
**Figura 40.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de septiembre de 2016.



**Figura 41.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 30 de septiembre de 2016.



**Figura 42.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de septiembre de 2016.



**Figura 43.** 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 31 de enero de 2014 y el 30 de septiembre de 2016.

## 2.4. GEOQUIMICA.

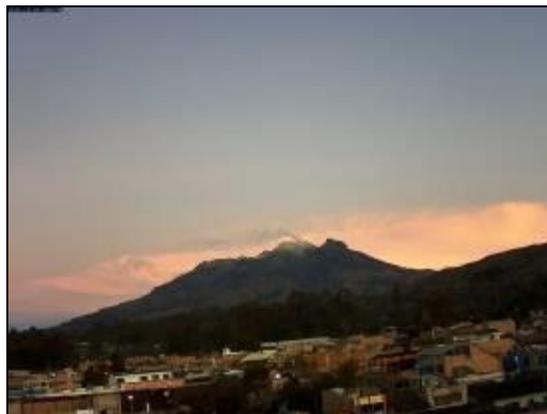
En el mes de septiembre no se realizó muestreo de aguas en fuentes termales ni muestreo de gases en el volcán Cumbal.

## 2.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas a la cima de Galeras desde de la cámara Web instalada en el municipio de Cumbal 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 el día 10 de octubre 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.



**Figura 44.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el sector de la Vereda La Ortiga y desde la cima de la estación La Nieve en comisión realizada por integrantes del OVSP el 8 de septiembre de 2016.



**Figura 45.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el municipio de Cumbal el 30 de septiembre de 2016 a las 5:56 a.m.

## 2.6. CONCLUSIONES

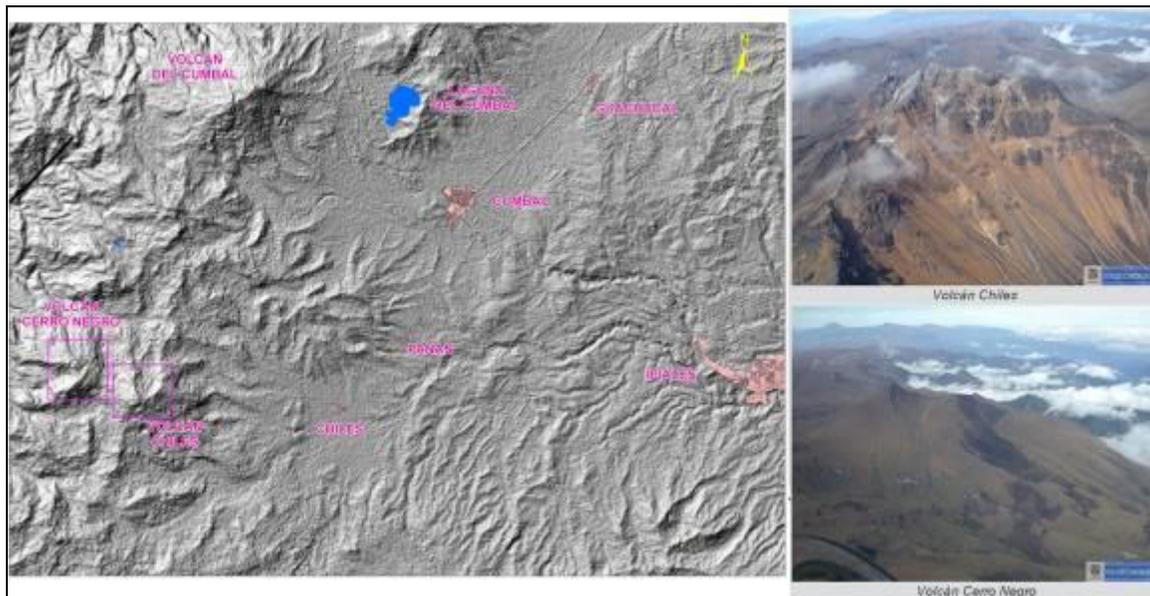
- La actividad que viene mostrando el Complejo Volcánico de Cumbal se caracteriza por fluctuaciones en los niveles de ocurrencia sísmica y registro eventual de sismicidad asociada con actividad hidrotermal.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de septiembre 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 SEPTIEMBRE 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 46).



**Figura 46.** 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 Termal (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 47, Tablas 12 y 13).

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 79 (Figura 48).

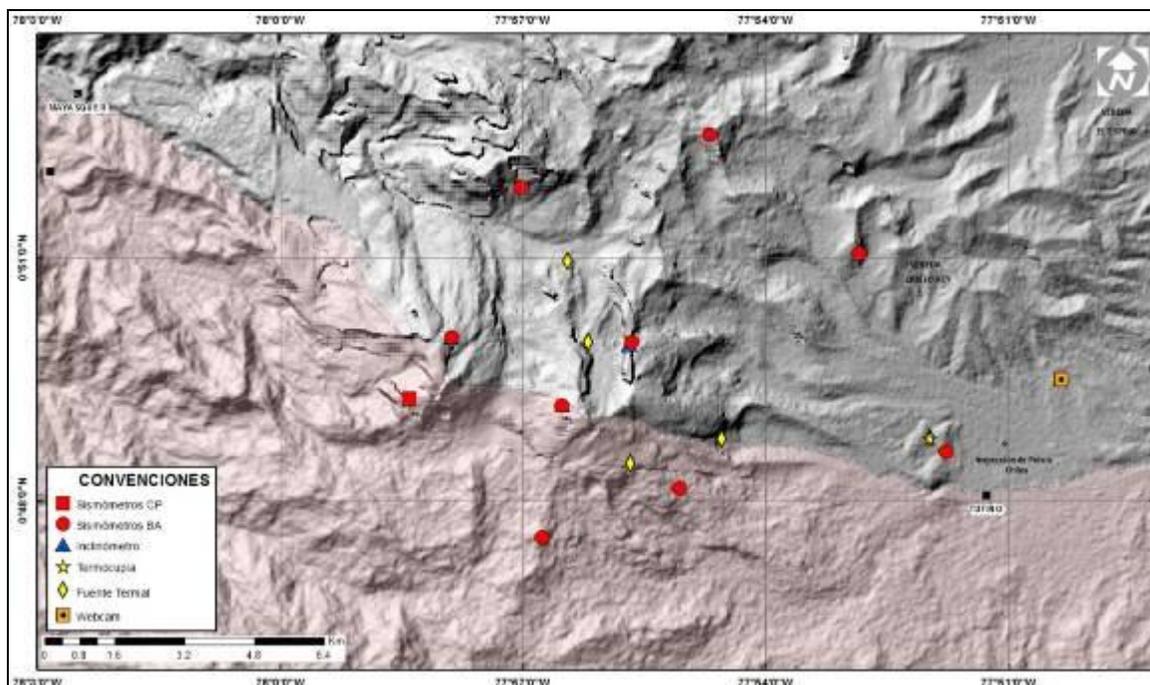


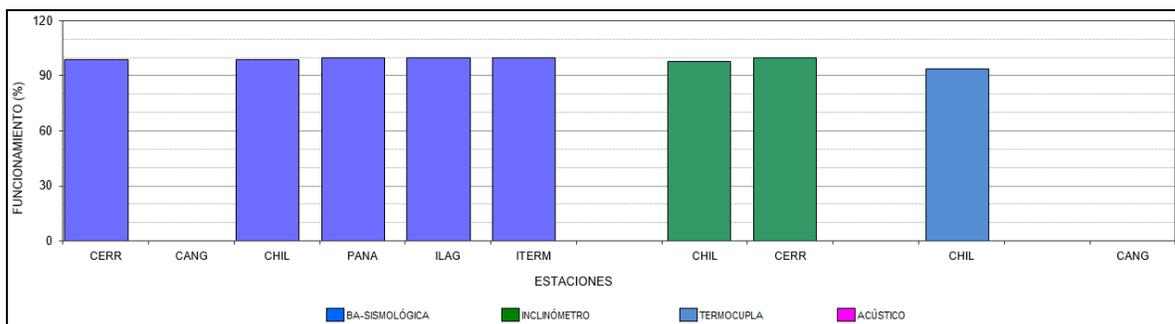
Figura 47. Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de septiembre de 2016.

Tabla 12. 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	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750
Termales	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329

Tabla 13. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.

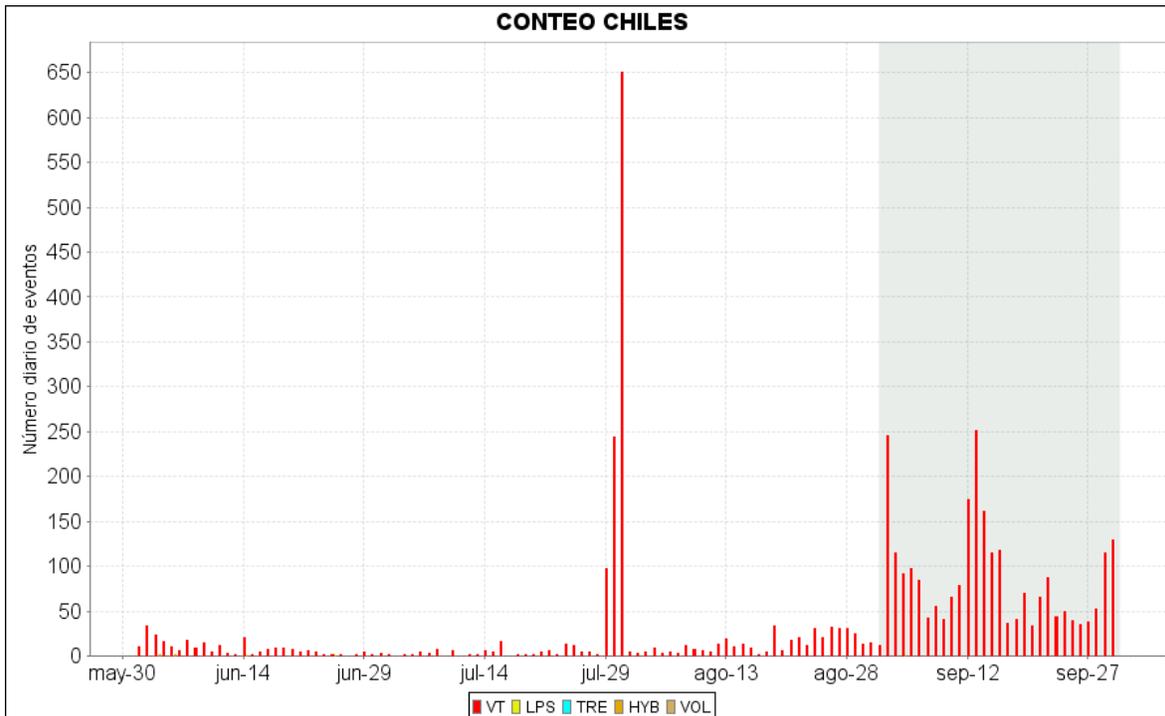
FUENTE TERMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
(A) BAÑO GRANDE		0.81282°	77.86624°	3318
(B) AGUAS HEDIONDAS		0.81256°	77.90923°	3613
(C) LAGUNAS VERDES		0.80758°	77.92791	3894
(D) RÍO BLANCO		0.84928°	77.94092°	3611
(E) EL HONDÓN		0.832535	-77.936713	3948



**Figura 48.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante septiembre de 2016.

### 3.3. SISMOLOGÍA

Respecto a la actividad del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de septiembre de 2016 la ocurrencia sísmica aumentó en 6,2 veces respecto a la sismicidad registrada en agosto, pasando de un total de 414 a 2578 sismos, todos ellos de tipo VT (Figura 49 Tabla 14). Se resalta que el incremento en la sismicidad se dio básicamente debido al registro de enjambre de eventos sísmicos en los días 2, 3 12, 13, 14, 15, 16, 29, y 30 de septiembre contabilizándose un total de 1423 sismos todos ellos asociados a fracturamiento de material cortical.



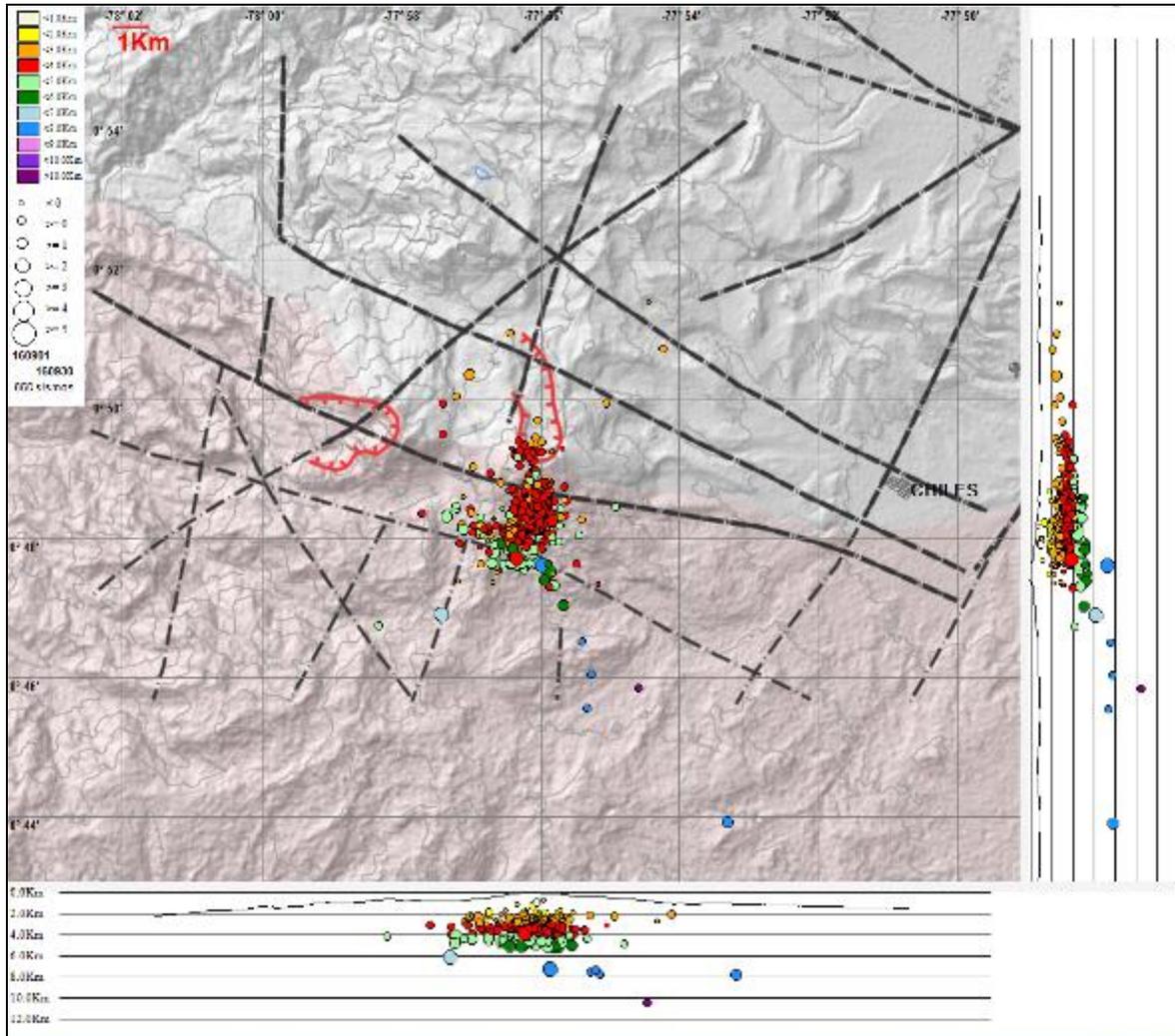
**Figura 49.** Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de junio y septiembre de 2016.

**Tabla 14.** Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-jun-16 a 30-jun-16	242	2	0	3	247
01-jul-16 a 31-jul-16	1102	0	0	0	1102
01-ago-16 a 31-ago-16	414	0	0	0	414
01-sep-16 a 30-sep-16	2578	0	0	0	2578

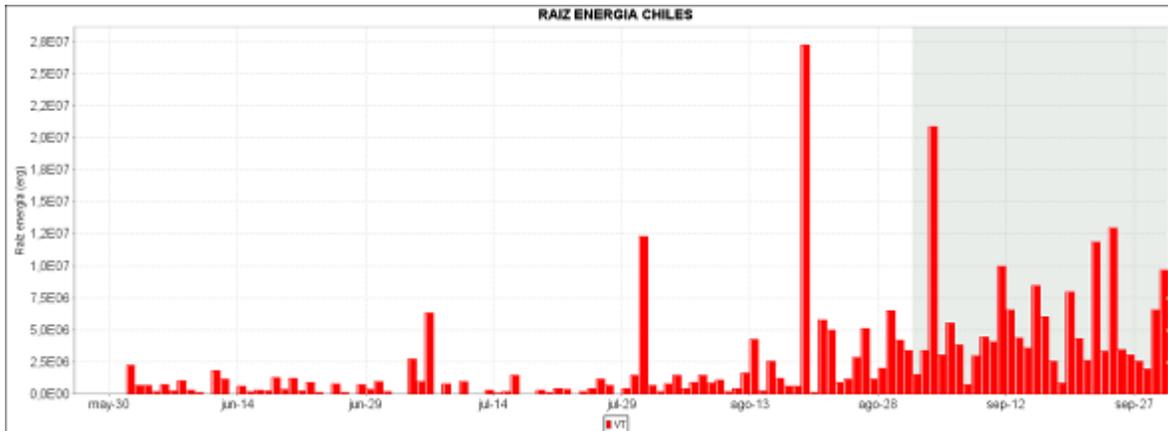
De los 850 eventos localizados, la mayoría de los cuales se ubicaron hacia el sur y suroccidente del volcán Chiles a distancias epicentrales menores a 4 km, y profundidades menores a 6 km respecto a la cima volcánica (4.700 msnm); unos cuantos se ubicaron en el cuadrante hacia el suroriente del

volcán a profundidades menores a los 10,5 km y distancias epicentrales menores a 11 km respecto al centro del volcán Chiles. Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 2,5 en la escala de Richter (Figura 50), sin embargo la mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 1 en la escala de Richter.



**Figura 50.** 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 septiembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 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 51). En general la energía liberada por estos eventos aumentó en un 48,6% en comparación al mes anterior, pasando de  $9,53 \times 10^{14}$  ergios a  $1,42 \times 10^{15}$  ergios.



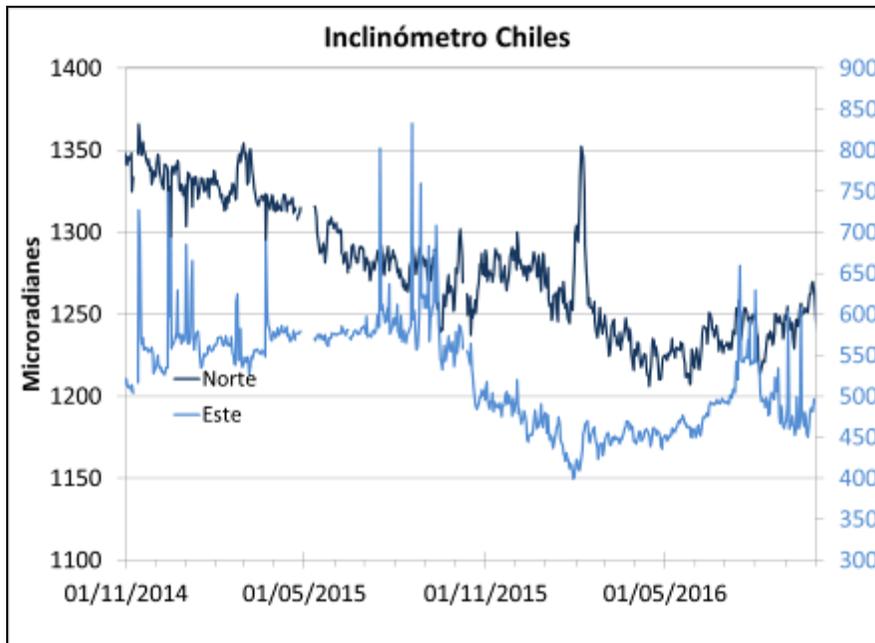
**Figura 51.** Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chile – Cerro Negro entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2016.

### 3.4. DEFORMACIÓN

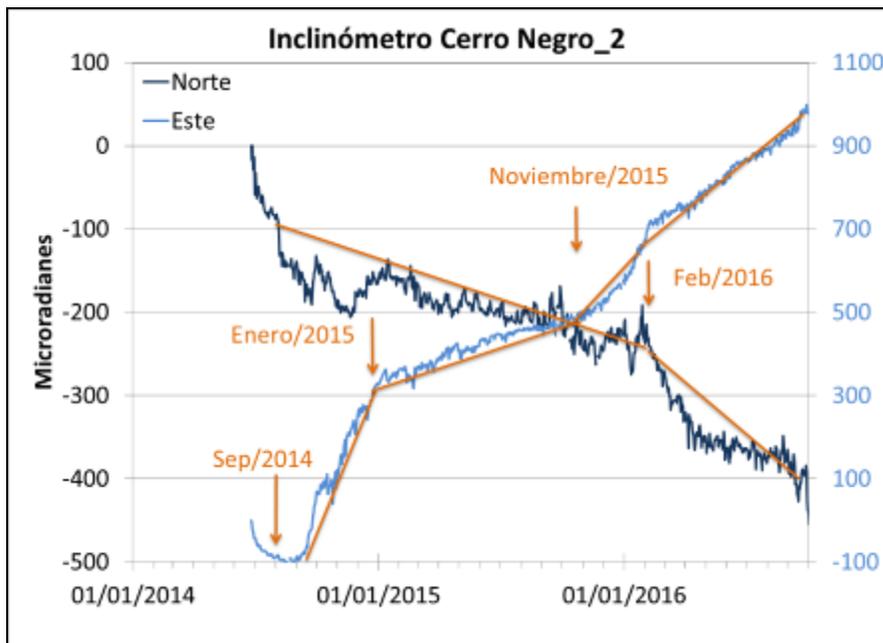
La componente Norte del inclinómetro Chiles mostró una tendencia descendente desde noviembre de 2014 hasta abril de 2016, con un acumulado cercano a los 150  $\mu\text{rad}$ , posteriormente tiende a estabilizarse; la componente Este, muestra cambios que pueden estar asociados con la temperatura (Figura 52).

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 1100  $\mu\text{rad}$  hasta Septiembre de 2016; por su parte la componente Norte muestra una tendencia descendente en su registro , acumulando para el mismo periodo, cerca de 600  $\mu\text{rad}$  (Figura 53).

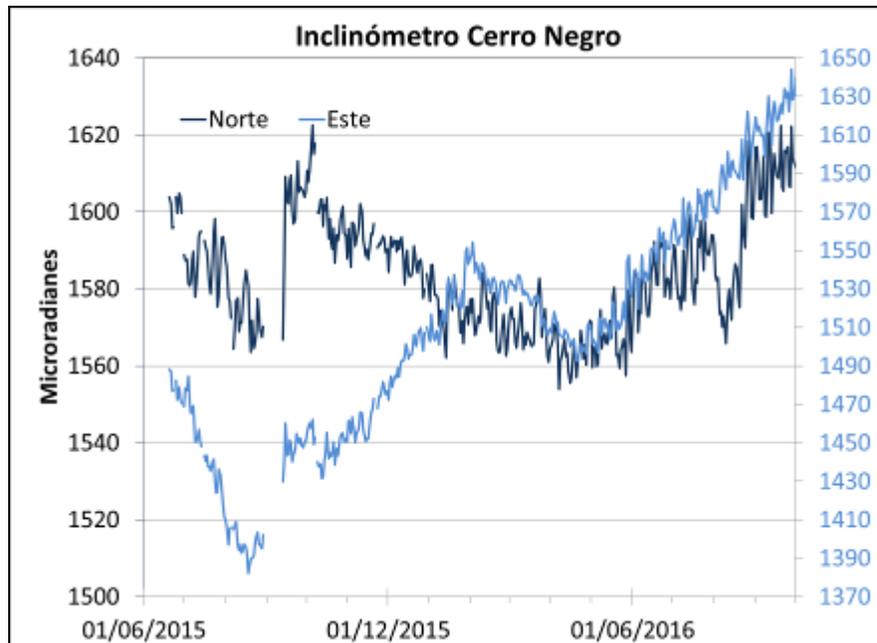
Con respecto a los cambios mostrados por el inclinómetro Cerro Negro se observa un comportamiento ascendente en la componente Este, acumulando entre junio de 2015 y septiembre de 2016, cerca de 250  $\mu\text{rad}$ , la componente Norte, para el mismo periodo muestra variaciones periódicas que alcanzan los 40  $\mu\text{rad}$  (Figura 54)



**Figura 52.** 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 noviembre de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.



**Figura 53.** 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 Septiembre de 2016.



**Figura 54.** Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 30 de Septiembre de 2016.

### 3.5. GEOQUÍMICA

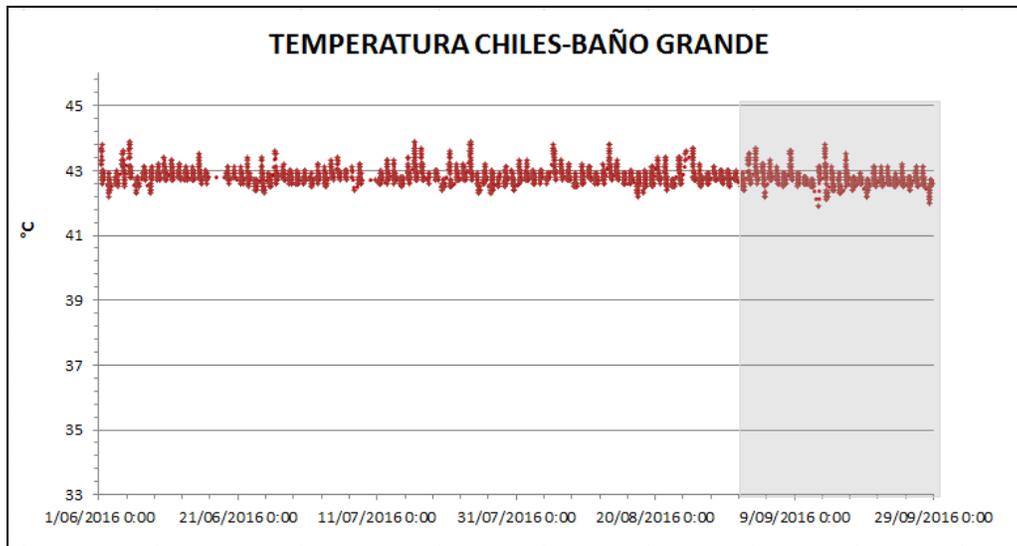
#### 3.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales del Volcán Chiles.

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 (Figura 47, tabla 13), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de una muestra cada 10 minutos.

En la figura 55 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 42,8°C (Tabla 15). Durante el mes de septiembre se registra un valor máximo de 43.9°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 55.** Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles entre el 1 de junio de 2016 y el 30 de septiembre de 2016.

**Tabla 15.** Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – septiembre de 2016.

VALOR	Temp. (°C)
Mínimo	41,9
Máximo	43,9
Promedio	42,8

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de septiembre 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 septiembre 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”**.



## 4.1 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 57).

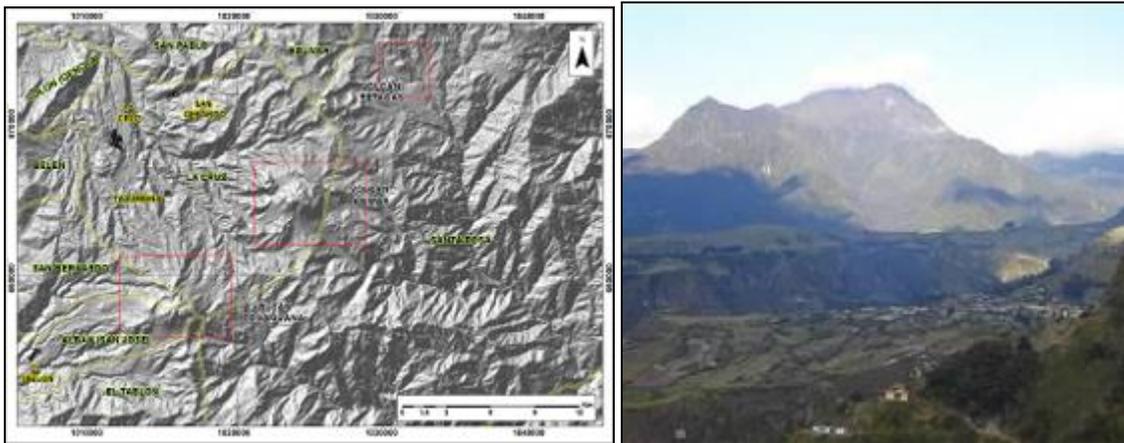


Figura 57. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

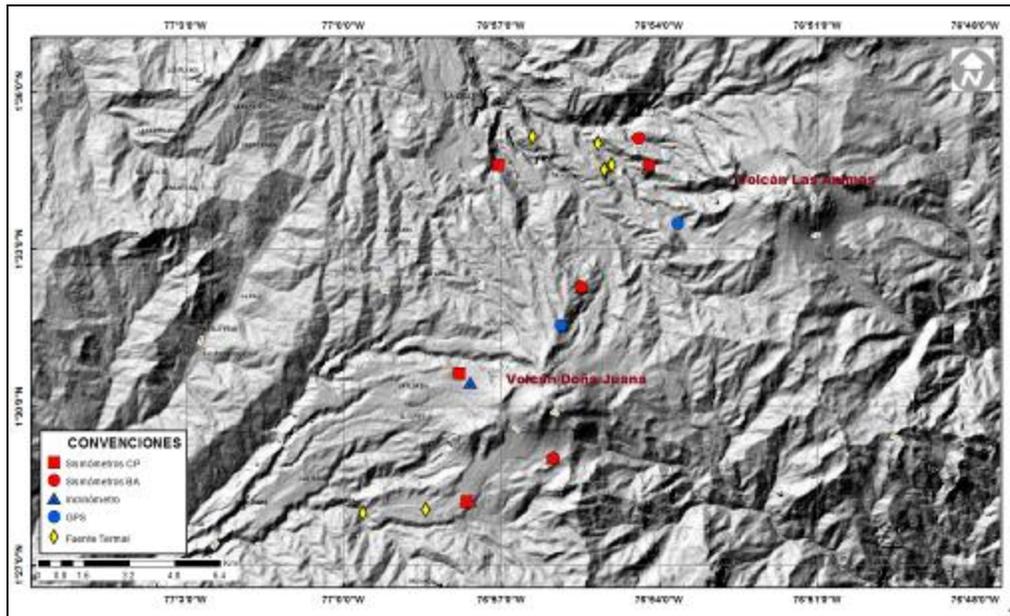
### 4.1.2. Red de vigilancia

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 58 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 16 se consignan sus características.

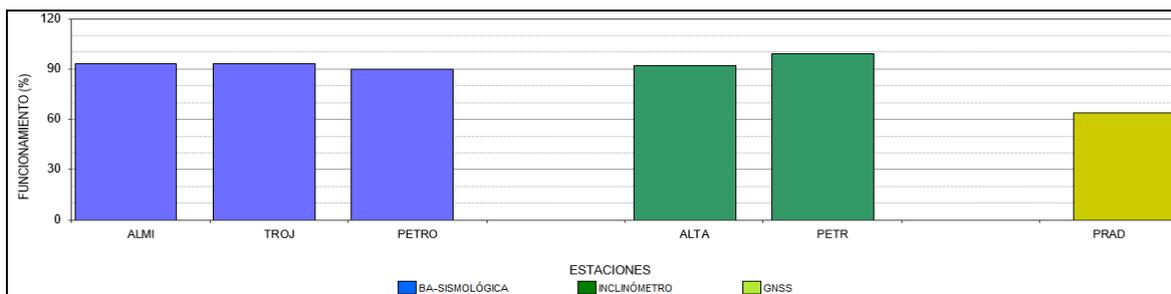
**Tabla 16.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en septiembre de 2016.

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 58.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de septiembre 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.

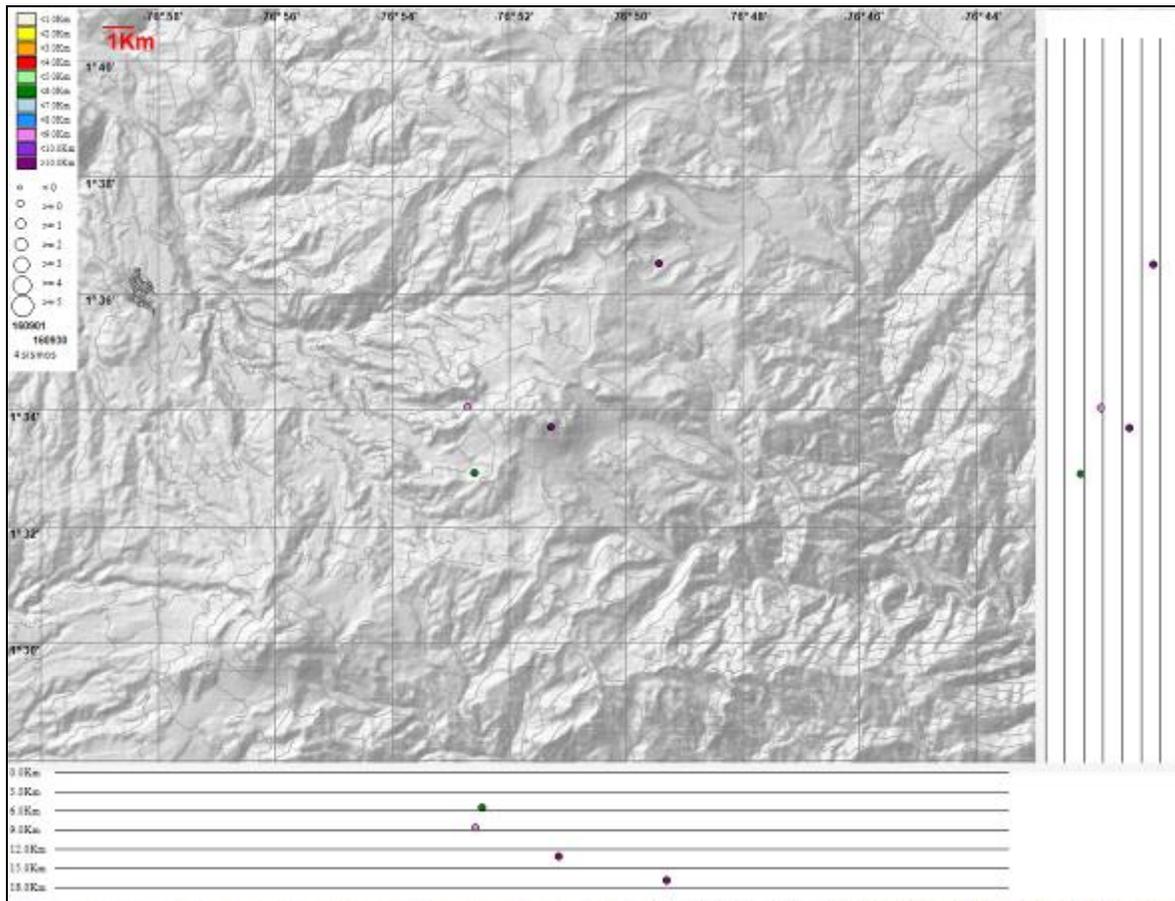
En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Las Ánimas tuvo un funcionamiento del 88,5% (Figura 59).



**Figura 59.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante septiembre de 2016.

### 4.1.3. Sismología

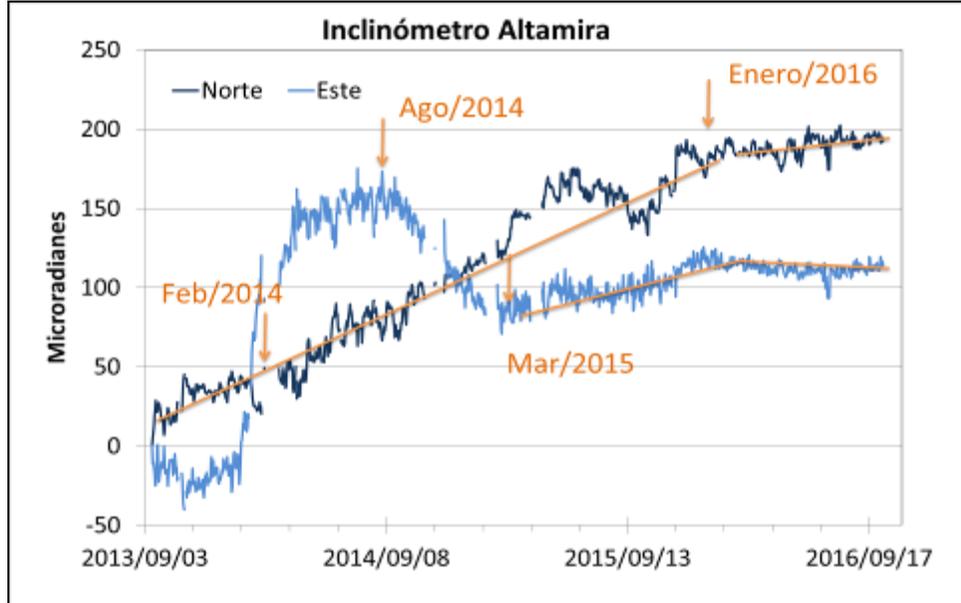
Para el periodo evaluado en el volcán Las Ánimas se tuvo registro de cinco sismos asociados a fracturamiento de material cortical (VT), de estos cuatro se localizaron a menos de 4 km respecto al centro del volcán, con profundidades entre 5,5 y 17 km respecto a la cima y magnitudes menores a 0,4 en la escala de Richter (Figura 60).



**Figura 60.** 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 septiembre 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.), entre enero y septiembre de 2016, muestra estabilidad en sus componentes (Figura 61). Para el periodo evaluado se observa que el inclinómetro Petroglifo (ubicado a 7,9 km al noroeste del volcán, 3137 m.s.n.m.) muestra cambios que pueden estar asociados más a problemas en el sensor, es necesario realizar mantenimiento al mismo.



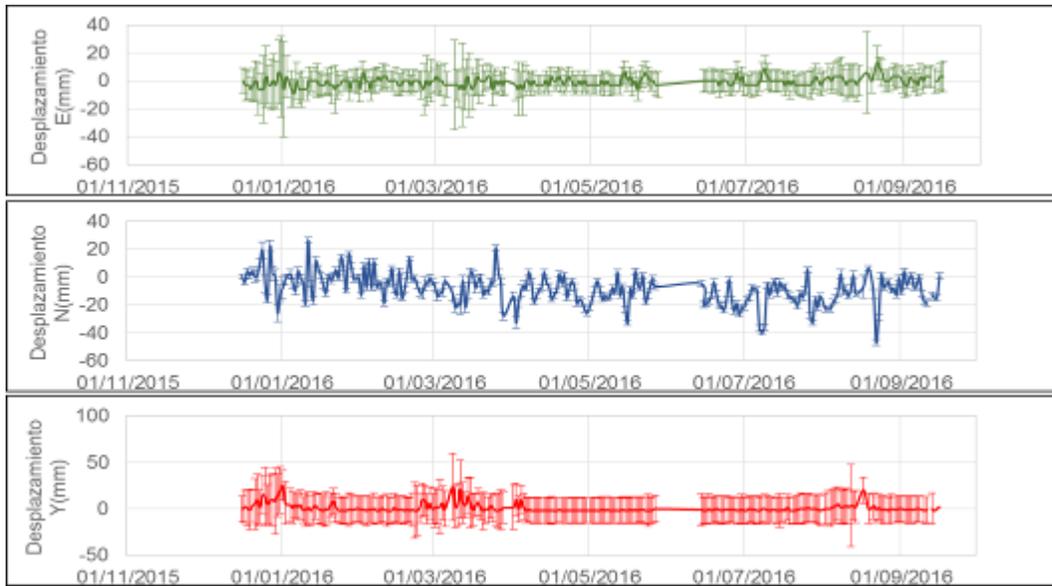
**Figura 61.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 3 de septiembre de 2013 y el 30 de septiembre de 2016.

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

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



**Figura 62.** 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 29 de Septiembre de 2016.

#### 4.1.6. Actividad Superficial

Durante el mes de septiembre 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 septiembre de 2016 el nivel del volcán permaneció en **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA

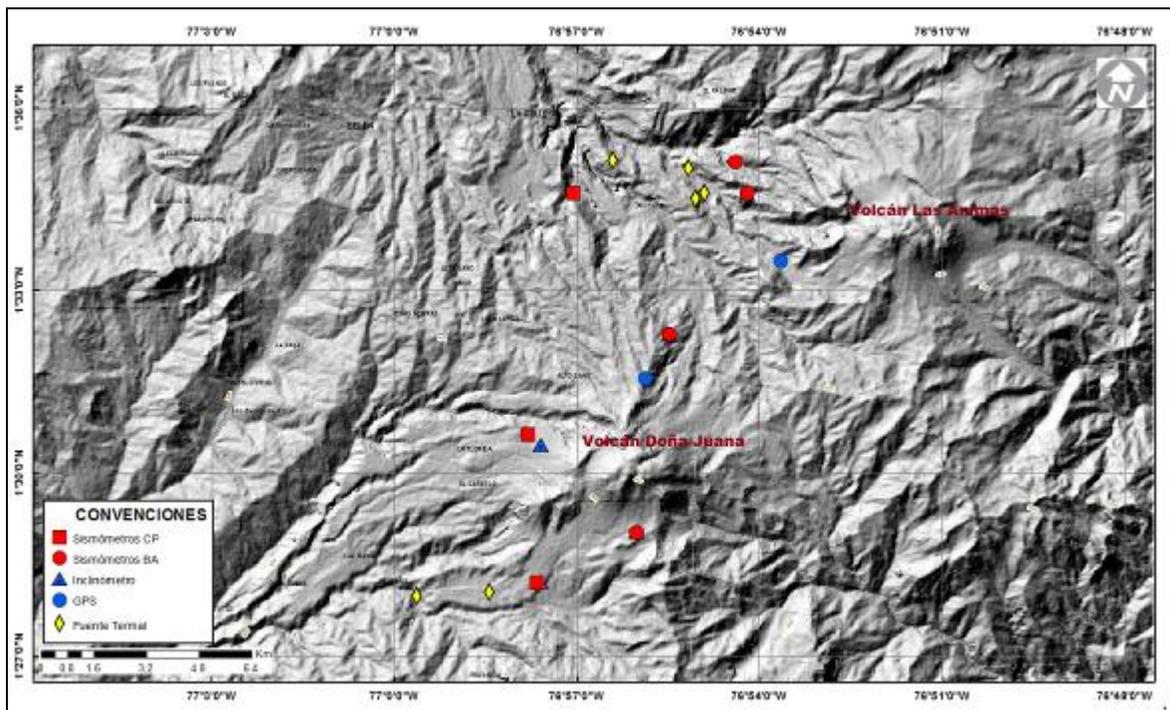
### 4.2.1. Red de Vigilancia

Para el mes de julio 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 63, Tabla 17).
- La red de deformación del volcán Doña Juana cuenta con tres inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 63, Tabla 17).
- 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 63, Tabla 17).

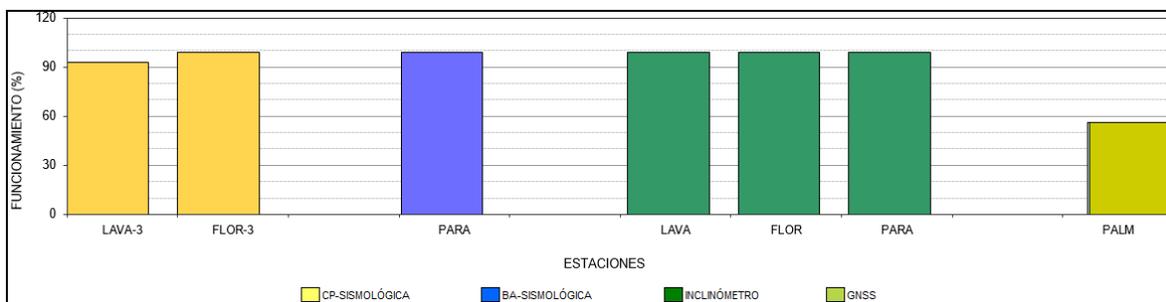
En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvo un funcionamiento promedio del 92% (Figura 64).



**Figura 63.** Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.

**Tabla 17.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en septiembre de 2016.

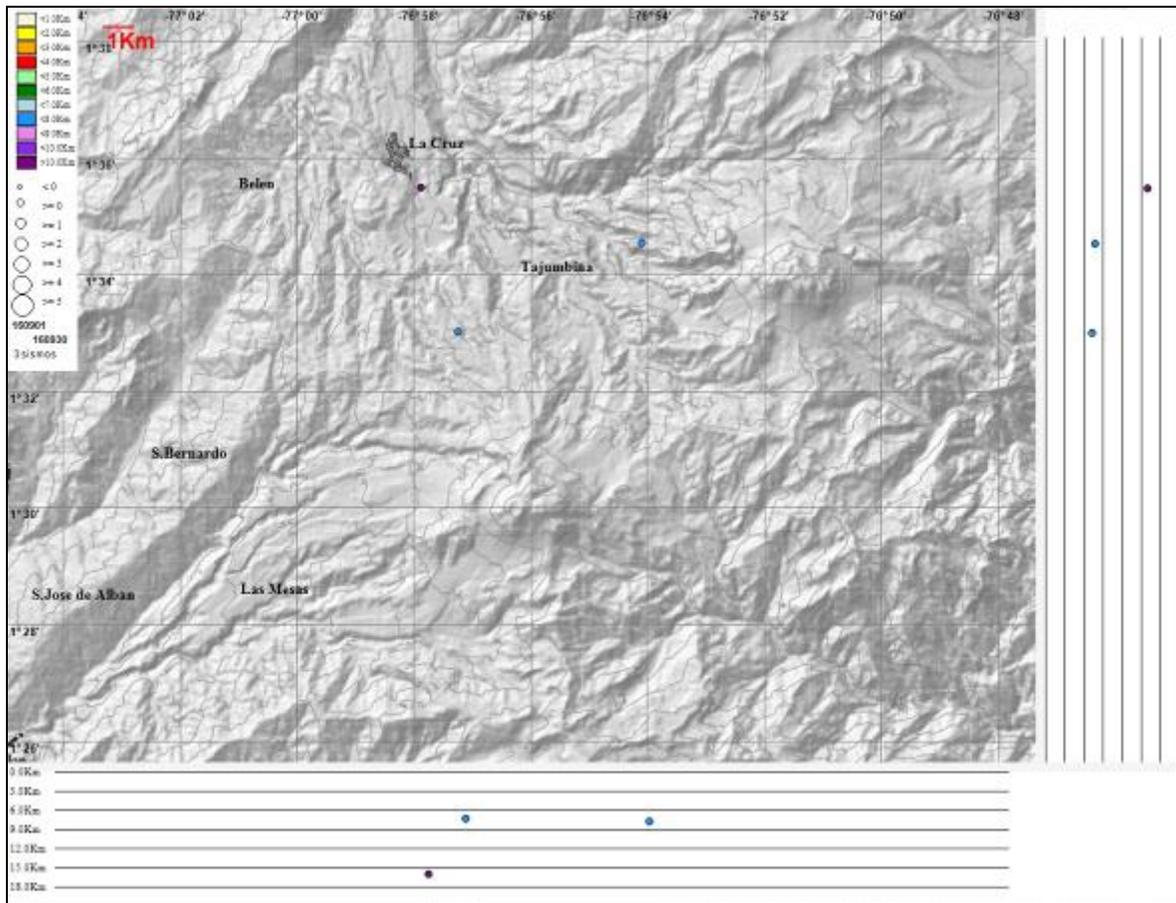
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al centro del volcán (Km)	Dirección respecto al volcán	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,1	SE	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,1	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	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 64.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de septiembre de 2016.

#### 4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado se tuvo registro de tres sismos, que por la forma de onda y sus características espectrales se clasificaron como VT, asociados con fractura de material rocoso. Estos sismos se ubicaron hacia el sector norte de Doña Juana a distancias epicentrales entre los 5,8 km y 10,5 km respecto a los domos del volcán. Los eventos se localizaron hipocentralmente a profundidades entre los 7 y 16 km. Los sismos presentaron magnitudes menores a 0,7 en la escala de Richter (Figura 65).



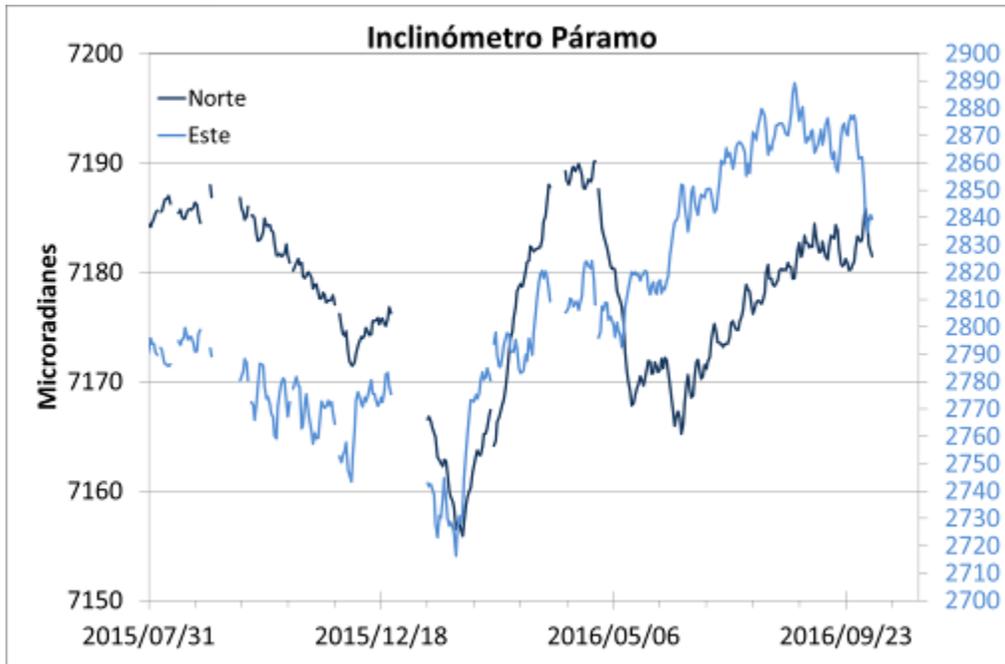
**Figura 65.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana, en el mes de septiembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad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

### 4.2.3. Deformación

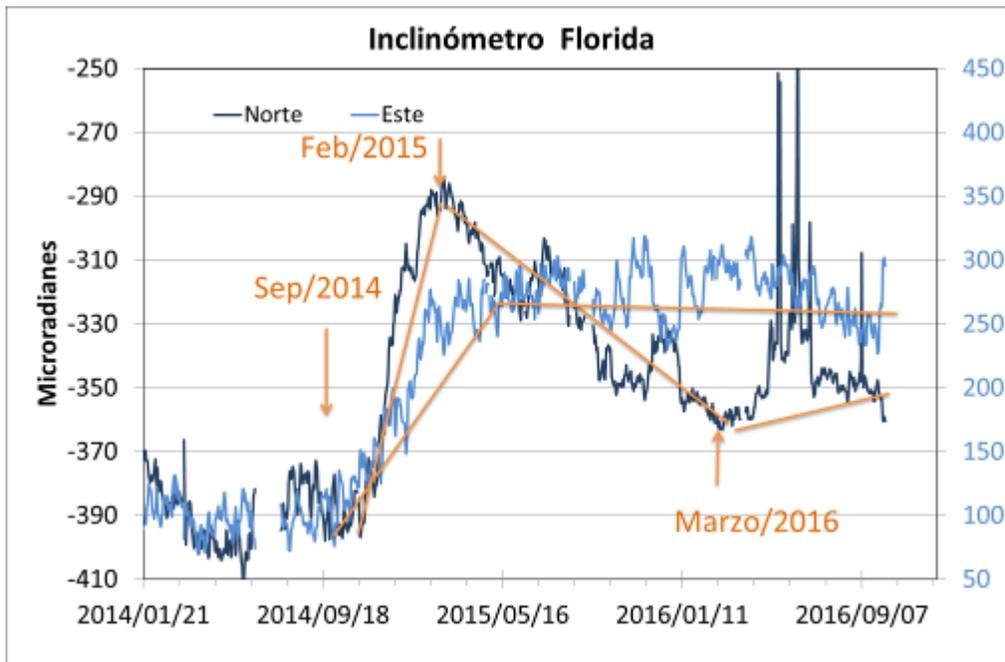
#### 4.2.3.1. Inclínometría Electrónica

Las componentes de inclinación de la estación de Páramo, indican cambios periódicos de unos 30  $\mu$ rad y 120  $\mu$ rad para la componente Norte y Este respectivamente (Figura 66).

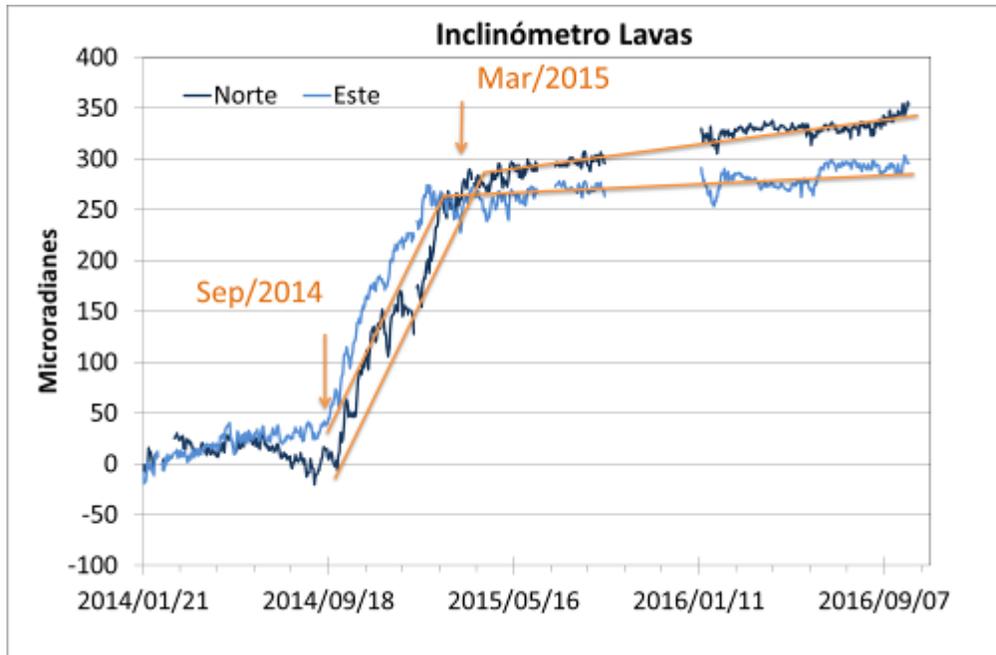
Para el periodo evaluado se observa estabilidad en el registro de los inclinómetros electrónicos Florida y Lavas (Figuras 67 y 68).



**Figura 66.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 31 de julio de 2015 y el 30 de Septiembre de 2016.



**Figura 67.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 21 de enero de 2014 y el 30 de Septiembre de 2016.



**Figura 68.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 21 de enero de 2014 y el 30 de Septiembre 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 69, 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 69.** 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 29 de Septiembre 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 septiembre de 2016 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

#### 4.2.6. Conclusión

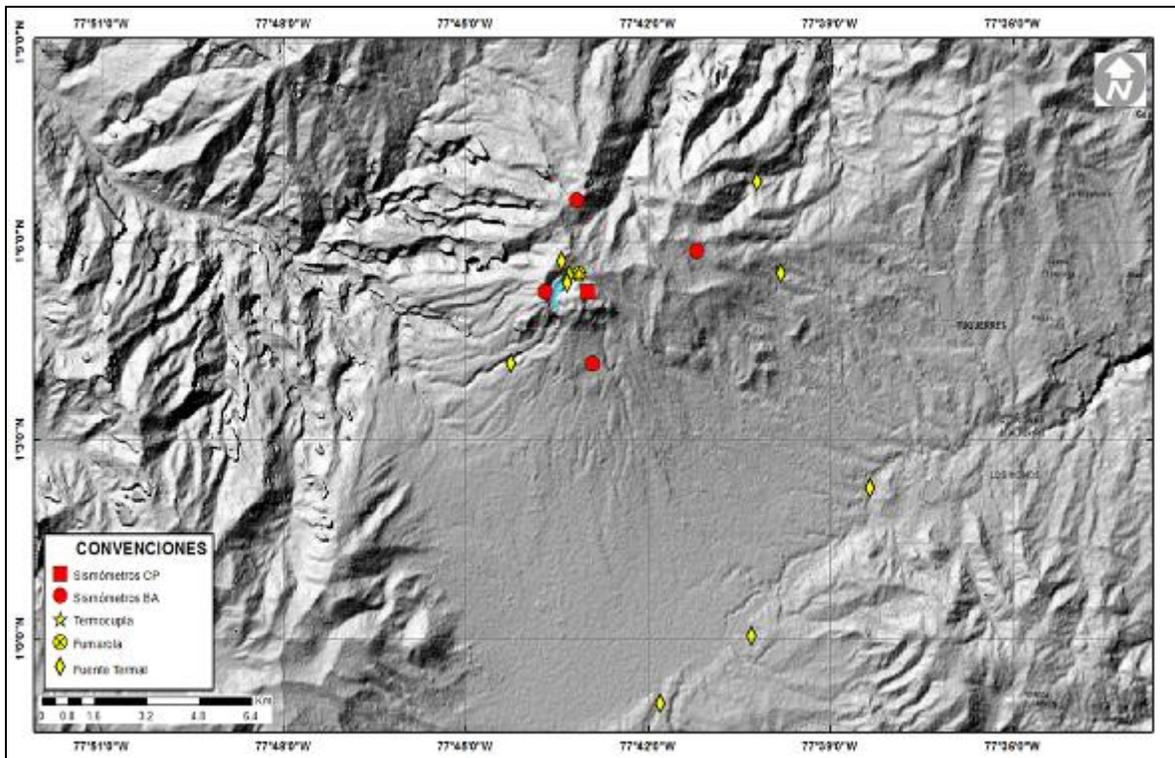
La evaluación de los parámetros monitoreados durante el mes de septiembre de 2016, permiten mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

### 4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

#### 4.3.1. Red de vigilancia

La Figura 70 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 18 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.

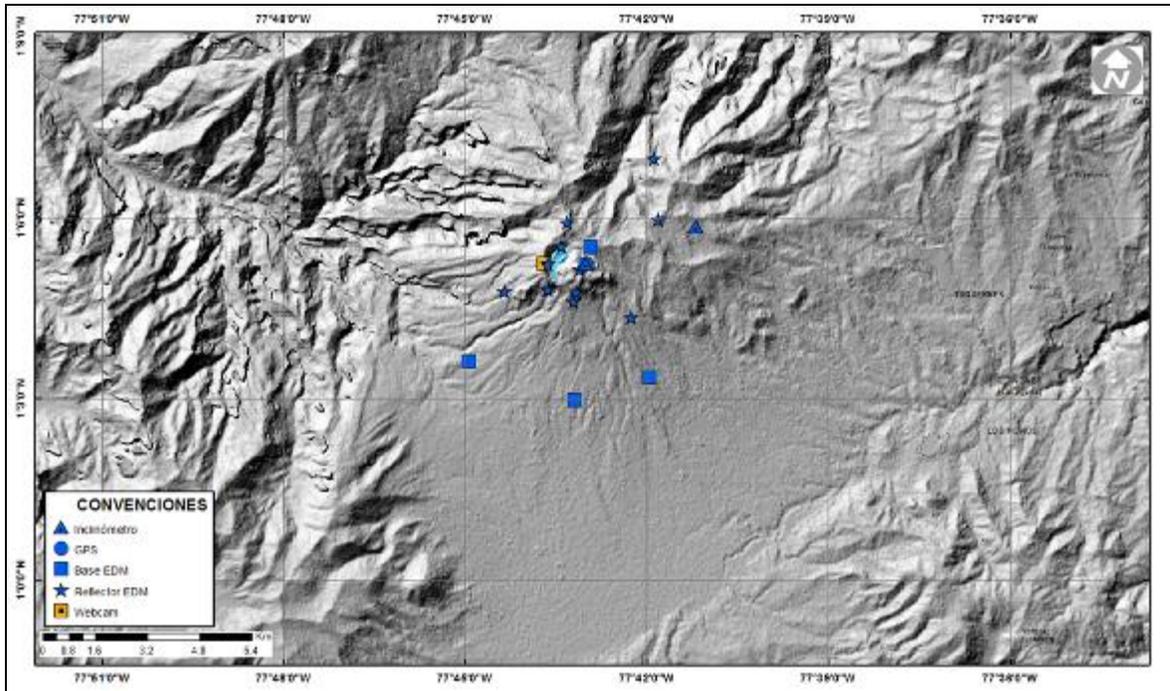
Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Desde el pasado mes de marzo de 2015 se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparámetro La Roca (Figura 71).



**Figura 70.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2016.

**Tabla 18.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante septiembre 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 periodo	Triaxial	1.2	E	4025
Chaitán	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	4.3	ENE	3730
Laguna	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	0.5	SW	3921
Lobo	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2.4	SE	3569
Ventana	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2.5	NE	3981
La Roca	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	1.2	E	4025
Chaitán	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	4.3	ENE	3730
Mallama	Digital	Termocupla		0.5	NE	3805



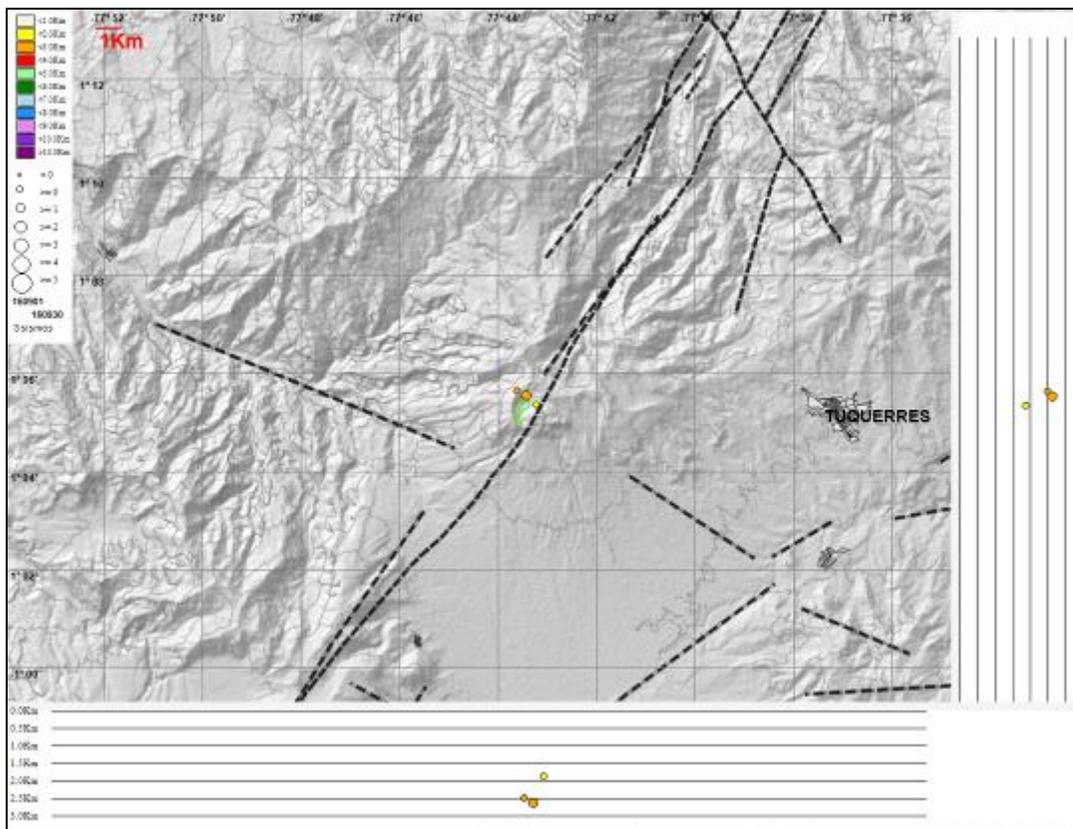
**Figura 71.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2016.

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 90,4% para este mes (Figura 72).



**Tabla 19.** Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufraal ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre 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-jun-16 a 30-jun-16	4	0	0	0	4
01-jul-16 a 31-jul-16	17	0	0	0	17
01-ago-16 a 31-ago-16	4	0	0	0	4
01-sep-16 a 30-sep-16	5	0	0	0	5



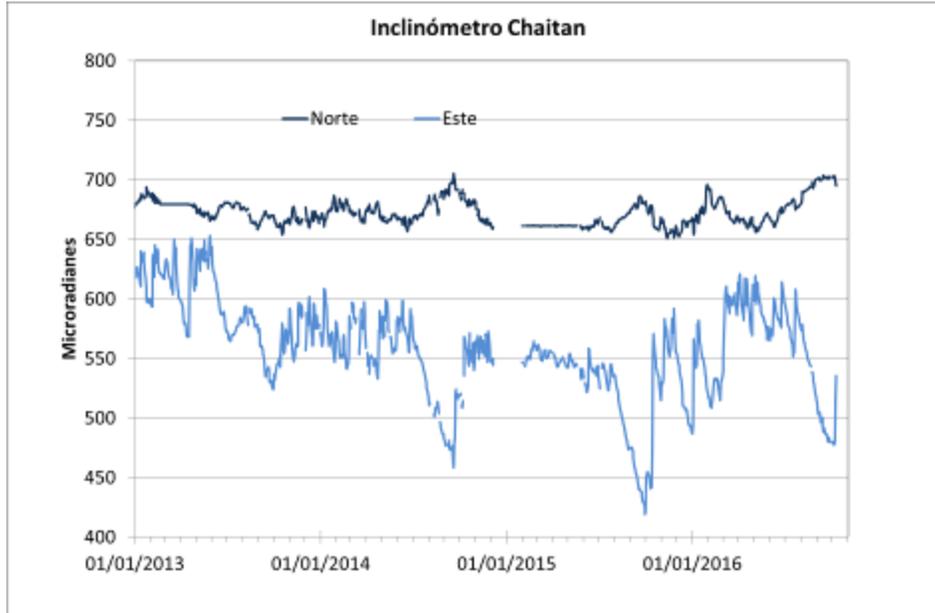
**Figura 74.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufraal, en el mes de septiembre de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 0,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

### 4.3.3. Deformación

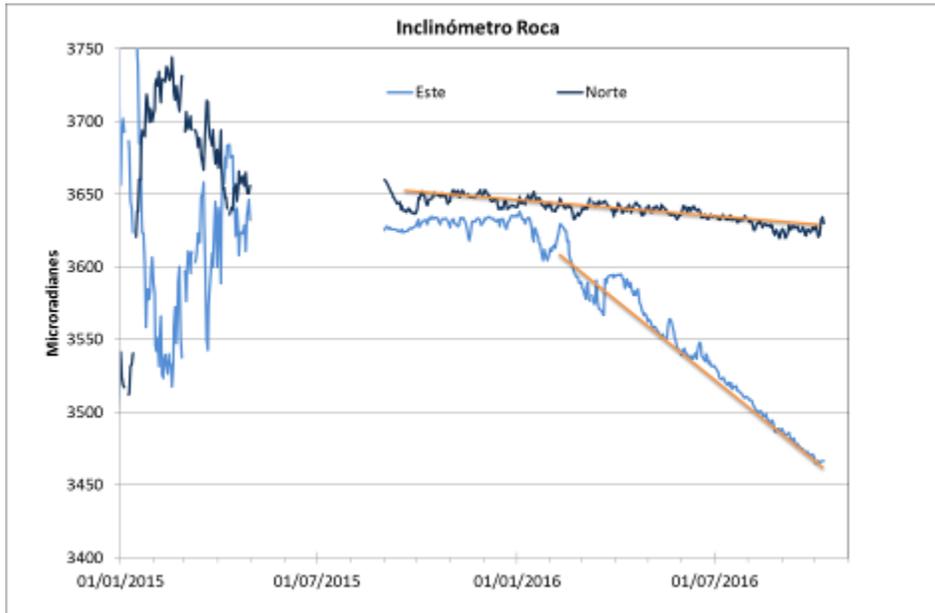
#### 4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Respecto a los procesos deformativos en superficie del edificio volcánico de Azufraal, 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 75). En el inclinómetro la Roca desde principios del 2016 (Figura 76), se presenta un cambio en la pendiente

de la componente Este, mostrando una tendencia descendente, con cerca de 150  $\mu\text{rad}$ , y en la componente Norte un cambio menor de unos 25  $\mu\text{rad}$ , indicando una deflación hacia la zona de la Laguna Verde del Azufra, lo cual puede estar asociado con la disminución del nivel del agua de la laguna.



**Figura 75.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2013 y el 30 de Septiembre de 2016.

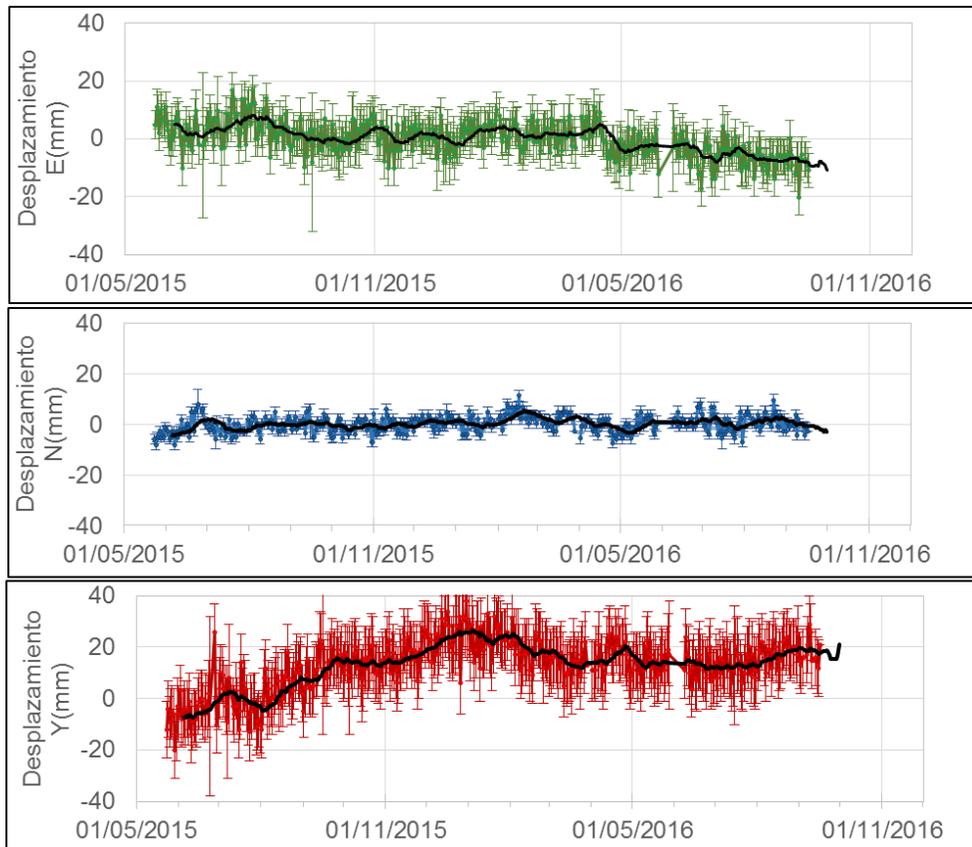


**Figura 76.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de Septiembre de 2016.

#### 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 Figura 77, se muestra comportamiento de las direcciones Norte, Este y altura del GNSS La Roca, para las estaciones El Lobo y Laguna, se está esperando un tiempo prudencial para indicar las tendencias.

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



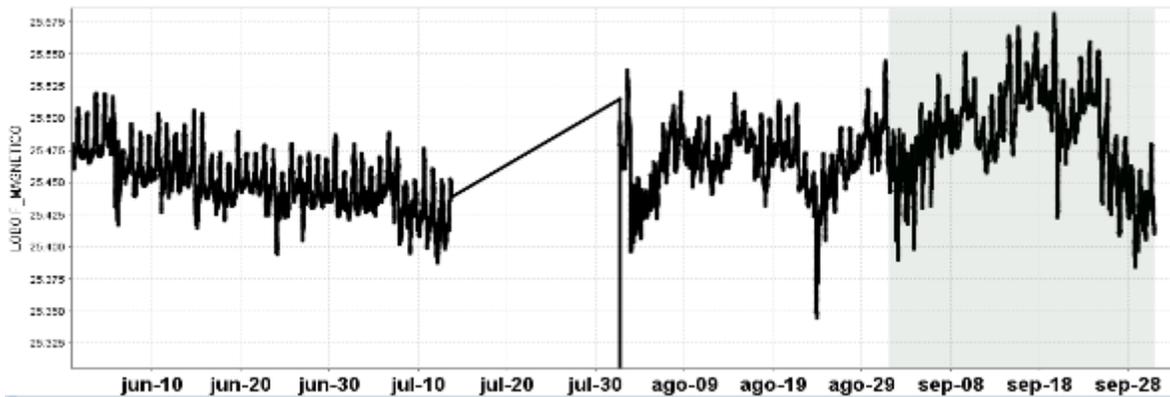
**Figura 77.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 22 de mayo de 2015 y el 29 de septiembre de 2016.

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

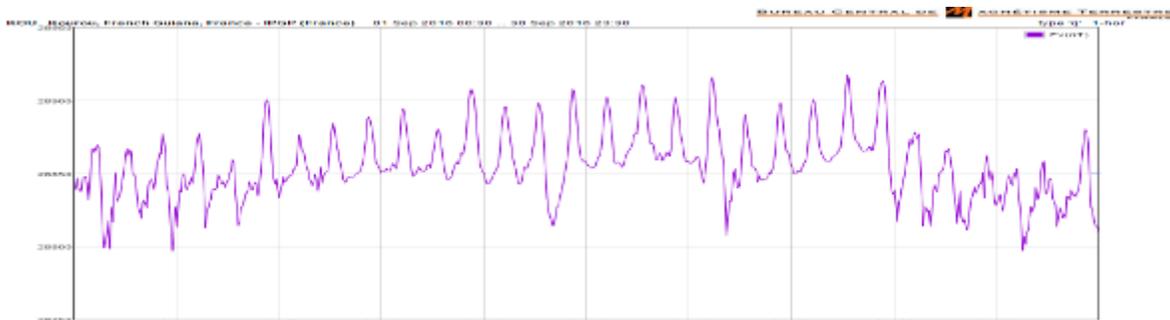
En septiembre de 2016 no se realizaron medidas de EDM.

#### 4.3.4. Electromagnetismo

Posterior a la reinstalación de la estación de Lobo, a finales del mes de julio de 2016, la intensidad del Campo Magnético Total mostraron un rango de variación, ligeramente mayor a lo que venía mostrando la estación en el mes de junio y principios de julio de 2016. El rango de variación del sensor magnético, para el mes de septiembre de 2016 fue de 196, que incremento a casi el doble, con relación al periodo de junio-julio, cuando tuvo un registro mucho más estable (Figura 78). La intensidad del Campo Magnético Total en la estación Lobo, para el mes de septiembre, 2016, tuvo un valor promedio de 25.500 nT. En general, el sensor magnético mostro un comportamiento relacionado más con los cambios de la actividad magnética externa, propia de la actividad solar, hecho que se puede corroborar al comparar los registros del campo magnético total de la estación Lobo (Figura 78), con los registros del campo magnético total de la estación de Kourou (Figura 79), perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del Instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (La estación se ubica en Guayana Francesa).

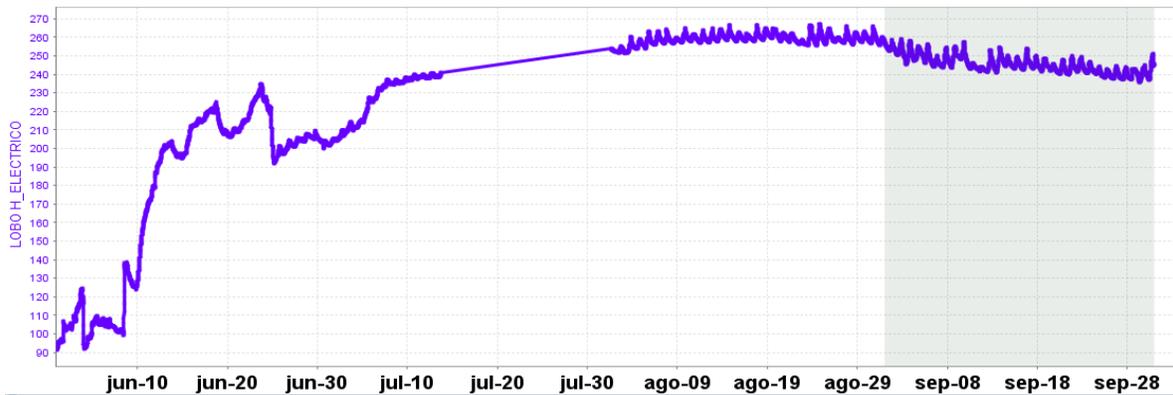


**Figura 78.** Intensidad del Campo Magnético Total, de la estación de monitoreo, en la zona de influencia del volcán Azufral, Lobo, para el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2016.



**Figura 79.** 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 septiembre de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

En cuanto al campo eléctrico horizontal de los sensores eléctricos de la estación Lobo, posterior a la reinstalación de la estación, a finales del mes de julio de 2016, mostraron un comportamiento más estable en su tendencia, con un rango de variación de 23 mV, que es un valor bajo para una zona volcánica activa, y un valor promedio del campo de alrededor de 247 mV. (Figura 80).



**Figura 80.** Variación la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Lobo, pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el periodo comprendido entre junio y septiembre 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

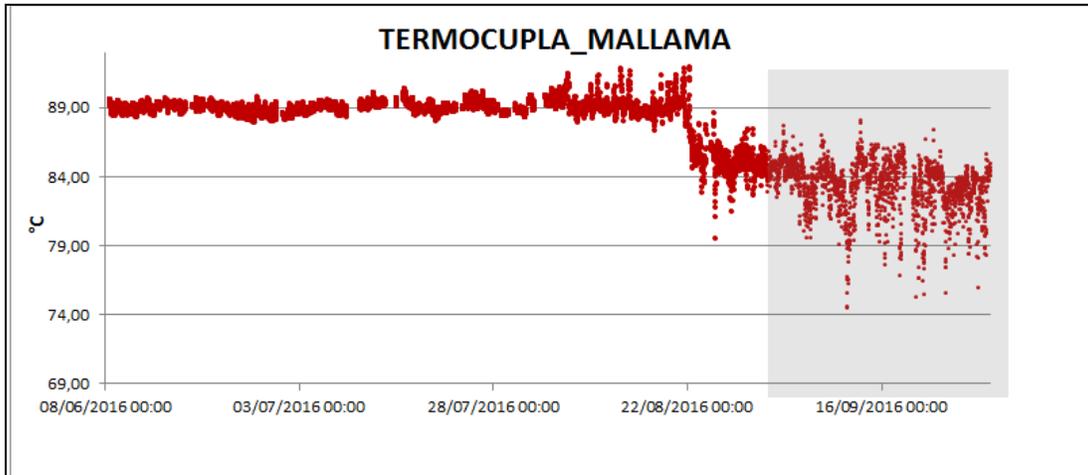
Para éste periodo no se realizó muestreo de aguas en las fuentes termales.

##### 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 71), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de 10 minutos.

En la figura 81 se registran las variaciones que corresponden a variaciones día-noche. Durante el mes de septiembre se registra un valor máximo de 88.1°C (Tabla 20), se puede observar que continúa registrándose un descenso en los valores de temperatura desde finales del mes de agosto 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.



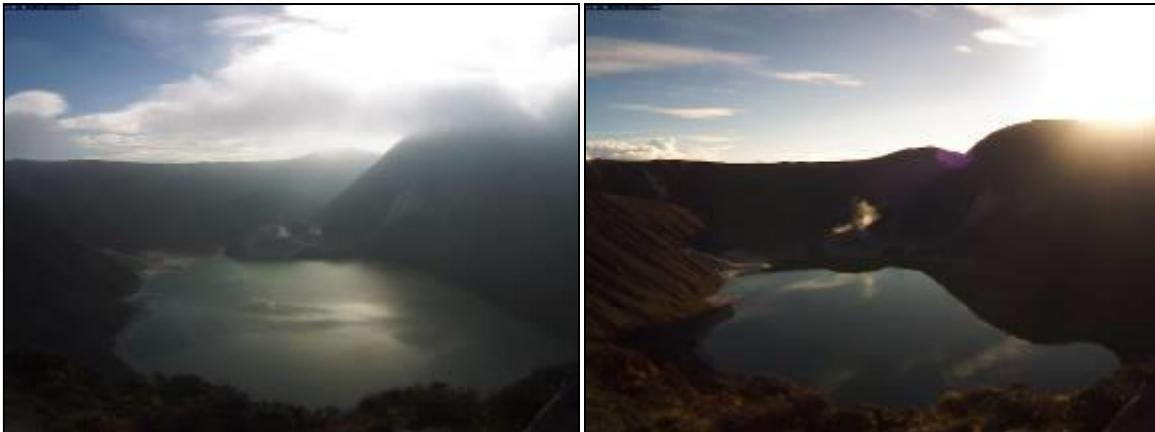
**Figura 81.** Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral-año 2016.

**Tabla 20.** Valores de temperatura en Domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – septiembre de 2016.

TEMPERATURA	[°C]
Promedio	83,3
Máximo	88,1
Mínimo	74,5

#### 4.3.6. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del mes, exceptuando los días 10, 11, 17, 24, 26 y 28 de septiembre, 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 82).



**Figura 82.** Imagen registrada por la cámara web ubicada en el sector sur de la Laguna Verde del volcán AzufraI el 12 de septiembre a las 7:25 a.m. (Izquierda) y el 30 de septiembre a las 6:46 a.m. (Derecha).

#### 4.3.7. Conclusión

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