

<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	Dic/2015
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Noviembre de 2015.
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.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales.(Investigación, plan, programa, proyecto)	Proyecto

Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	Investigación y Monitoreo de la Actividad Volcánica (AME13-06).
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos	Noviembre de 2015.
Dominio Espacial		

Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km <sup>2</sup>	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia 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 de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptor de tema: -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación -Electromagnetismo -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios	- Zona de influencia del Volcán Galeras, como activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Cumbal - Zona de influencia del Volcán Doña Juana - Zona de influencia del Volcán Azufral - Zona de influencia del Volcán Las Ánimas -Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro
Código temático		Capas de información
Restricción de acceso	Limitaciones para acceso al conjunto de datos incluye restricciones que aseguren protección de privacidad o propiedad intelectual o limitaciones en obtención del conjunto de datos.	Derechos de propiedad intelectual. Prohibida su reproducción total o parcial con fines comerciales. Incluye información básica para documentos e investigación.
Muestra gráfica	Ilustración gráfica del conjunto de datos. Se especifica la dirección del computador, trayectoria, nombre y extensión del archivo.	Los datos se encuentran en el Servidor de Archivos Principal en el directorio: V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2015\nov
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido, normatividad	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y sísmica en la zona de influencia de los Volcanes Galeras, Cumbal, Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Chiles y Cerro Negro para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos.
Distribución		
Distribuidor		
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa, imagen satelital, informe técnico	Informe Técnico
Proceso estándar de pedido		
Productos impresos	Identificación que tipo de producto impreso. Ej. mapa	No aplica.

	Impreso a color	
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/2015.aspx">http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2015.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		<a href="mailto:cliente@sgc.gov.co">cliente@sgc.gov.co</a>



**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CHILES – CERRO NEGRO, CUMBAL,  
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL  
NOVIEMBRE DE 2015**

Edición:

**GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO**

**San Juan de Pasto, diciembre de 2015**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	10
	INTRODUCCION	12
1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – NOVIEMBRE DE 2015	13
1.1.	RED DE VIGILANCIA	13
1.2.	SISMOLOGÍA	18
1.3.	DEFORMACIÓN	23
1.3.1.	Estaciones de Inclinometría Electrónica	23
1.3.2.	Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras	27
1.3.3.	Estaciones GNSS permanentes	27
1.4.	ELECTROMAGNETISMO	31
1.5.	GEOQUÍMICA	34
1.5.1.	Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras	34
1.5.1.1.	Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS	34
1.5.1.2.	Flujo de gas Radón 222 – (Rn222) telemétrico	36
1.5.2.	Muestreo de aguas en fuentes termales.	38
1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	46
1.7.	CONCLUSIONES	48
2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – NOVIEMBRE DE 2015	49
2.1.	RED DE VIGILANCIA	49
2.2.	SISMOLOGÍA	50
2.3.	DEFORMACIÓN	53
2.4.	GEOQUÍMICA	55
2.5.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	55
2.6.	CONCLUSIONES	55
3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – NOVIEMBRE DE 2015	56
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	56
3.2.	RED DE VIGILANCIA	56
3.3.	SISMOLOGÍA	59
3.4.	DEFORMACIÓN	62
3.5.	GEOQUÍMICA	64
3.5.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales del volcán Chiles	64
3.5.2.	Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	64
3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	65
3.7.	CONCLUSIÓN	65
4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – NOVIEMBRE DE 2015	66
4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	67
4.1.1.	Ubicación Geográfica	67
4.1.2.	Red de Vigilancia	67
4.1.3.	Sismología	68
4.1.4.	Deformación	69
4.1.5.	Actividad Superficial	70
4.1.6.	Conclusión	71
4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	72
4.2.1.	Red de vigilancia	72
4.2.2.	Sismología	73

4.2.3.	Deformación	74
4.2.4.	GEOQUÍMICA	76
4.2.5.	Actividad Superficial	76
4.2.6.	Conclusión	76
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	77
4.3.1.	Red de vigilancia	77
4.3.2.	Sismología	79
4.3.3.	Deformación	81
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	81
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	82
4.3.4.	Geoquímica	82
4.3.5.	Actividad Superficial	82
4.3.6.	Conclusión	83

## FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2015.	14
Figura 2.	Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2015.	15
Figura 3.	Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alkalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2015.	16
Figura 4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en noviembre de 2015.	17
Figura 5.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de agosto y noviembre de 2015.	18
Figura 6.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015. La región sombreada corresponde al mes de septiembre.	19
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).	19
Figura 8.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.	20
Figura 9.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para noviembre de 2015 (barras de la derecha) respecto a octubre de 2015 (barras de la izquierda).	21
Figura 10.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde agosto a noviembre de 2015.	21
Figura 11.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT, HYB y LPS registrados entre el 1 y 30 de noviembre de 2015. 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).	22
Figura 12.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.	23
Figura 13.	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 noviembre de 2015.	24
Figura 14.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.	24
Figura 15.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.	25
Figura 16.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de abril de 2011 y el 30 de noviembre de 2015.	25
Figura 17.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2012 y el 30 de noviembre de 2015.	26
Figura 18.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2015.	26
Figura 19.	Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2011 y el 30 de noviembre de 2015.	27

Figura 20.	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	28
Figura 21.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2014 y el 13 de noviembre de 2015.	28
Figura 22.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 15 de noviembre de 2015.	29
Figura 23.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2014 y el 14 de noviembre de 2015.	29
Figura 24.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 13 de noviembre de 2015.	30
Figura 25.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 15 de noviembre de 2015.	30
Figura 26.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 16 de noviembre de 2015.	31
Figura 27.	Variaciones del campo magnético, 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 los meses de octubre y noviembre de 2015. Componente KOUX (verde), KOUY (roja), KOUZ (azul) y KOUF (negro), que corresponde al campo total. La escala de medición está dada en nano Teslas.	32
Figura 28.	Variaciones del campo magnético, en la estación Frailejón, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2015. Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.	32
Figura 29.	Variaciones del campo magnético, en la estación Cráter, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2015. Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.	33
Figura 30.	Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, entre agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2015. Las unidades de medición son mV/m.	33
Figura 31.	Correlación de las variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, entre septiembre, octubre y noviembre de 2015, en mV/m, con los valores de lluvia acumulada durante el mismo período (línea azul clara), la escala de medición son cuentas y se debe multiplicar por el factor de 0.254, para obtener unidades de milímetros.	34
Figura 32.	Flujo de emisión de SO <sub>2</sub> registrado entre agosto y noviembre de 2015 por los equipos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	35
Figura 33.	Flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), velocidad y dirección del viento entre agosto y noviembre de 2015.	35
Figura 34.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras.	37
Figura 35.	Concentración radón en suelo volcán Galeras - Estación telemétrica Lavas - mes de noviembre 2015.	38
Figura 36.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.	39
Figura 37.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras mes en noviembre 2015.	41
Figura 38.	Comportamiento del pH de las FT Volcán Galeras hasta noviembre de 2015.	41
Figura 39.	Imagen térmica FT Río Pasto noviembre 2015.	42
Figura 40.	Imagen térmica FT Aguas Agrías noviembre 2015.	43
Figura 41.	Imagen térmica FT Cehani noviembre 2015.	43
Figura 42.	Imagen térmica FT Fuente Blanca noviembre 2015.	44



Figura 43.	Imagen térmica FT Licamancha noviembre 2015.	44
Figura 44.	Comportamiento de la temperatura de las FT Volcán Galeras hasta noviembre de 2015.	45
Figura 45.	Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcán Galeras hasta noviembre de 2015.	45
Figura 46.	Comportamiento del contenido de Bicarbonato de las FT Volcán Galeras hasta noviembre de 2015.	46
Figura 47.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en la repetidora Bruma el 3 de noviembre de 2015 a las 6:02 a.m.	47
Figura 48.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 10 de noviembre de 2015 a las 3:37 p.m.	47
Figura 49.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 28 de noviembre de 2015 a las 6:25 p.m.	47
Figura 50.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en la sede del OVSP el 29 de noviembre de 2015 a las 5:59 p.m.	48
Figura 51.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de noviembre de 2015.	49
Figura 52.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en noviembre de 2015.	50
Figura 53.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre agosto noviembre de 2015. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	51
Figura 54.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.	51
Figura 55.	Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 10 de noviembre de 2015 a las 8:03 a.m., el evento tuvo una duración de un minuto en la estación sísmica Limones.	52
Figura 56.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 30 de noviembre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).	53
Figura 57.	Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de noviembre de 2015.	54
Figura 58.	Componentes de inclinación Norte, Este del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.	54
Figura 59.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 27 de noviembre de 2015 a las 6:27 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	55
Figura 60.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	56
Figura 61.	Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de noviembre de 2015.	57
Figura 62.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante noviembre de 2015.	58
Figura 63.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 30 de noviembre de 2015.	59
Figura 64.	Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de agosto y noviembre de 2015.	60
Figura 65.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de noviembre de 2015, 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.	61

Figura 66.	Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.	61
Figura 67.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 21 de octubre de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.	62
Figura 68.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 30 de noviembre de 2015.	63
Figura 69.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.	63
Figura 70.	Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – noviembre de 2015.	64
Figura 71.	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.	66
Figura 72.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	67
Figura 73.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de noviembre de 2015. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas. Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos.	68
Figura 74.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante noviembre de 2015.	68
Figura 75.	Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana en noviembre de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	69
Figura 76.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 30 de noviembre de 2015.	70
Figura 77.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 30 de noviembre de 2015.	70
Figura 78.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	72
Figura 79.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de noviembre de 2015.	73
Figura 80.	Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana en noviembre de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	74
Figura 81.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.	75
Figura 82.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de noviembre de 2015.	75
Figura 83.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2015.	77

Figura 84.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2015.	78
Figura 85.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2015.	79
Figura 86.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.	79
Figura 87.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de noviembre de 2015, 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.	80
Figura 88.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre diciembre de 2008 y el 30 de noviembre de 2015.	81
Figura 89.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2015 y el 30 de noviembre de 2015.	81
Figura 90.	Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, registrada el 17 de noviembre a las 6:11 a.m., mediante la cámara instalada en el costado sur. En la fotografía se observan las zonas de emisión de gas, desde el Domo Mallama.	82

## TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en noviembre de 2015.	15
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en noviembre de 2015.	16
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en noviembre de 2015.	16
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en noviembre de 2015.	17
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	17
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).	17
Tabla 7.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 y 30 de noviembre de 2015, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	18
Tabla 8.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015, resaltando en color verde el mes evaluado.	20
Tabla 9.	Emisiones de SO <sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de noviembre de 2015, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	36
Tabla 10.	Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – mes de noviembre 2015.	37
Tabla 11.	Ubicación geográfica fuentes termales volcán Galeras.	39
Tabla 12.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras muestreadas en noviembre 2015.	40
Tabla 13.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	42
Tabla 14.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante noviembre de 2015.	50
Tabla 15.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015 (resaltado en color verde).	50
Tabla 16.	Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	57
Tabla 17.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.	58
Tabla 18.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.	59
Tabla 19.	Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – Noviembre 2015.	65
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en noviembre de 2015.	67
Tabla 21.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en noviembre de 2015.	73
Tabla 22.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante noviembre de 2015.	78
Tabla 23.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.	80



## RESUMEN

Durante el mes de noviembre de 2015, la actividad sísmica como la energía liberada por los eventos registrados en el volcán Galeras presentó una disminución en comparación a los valores registrados en octubre de 2015. 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 movimiento de fluidos de fuente transitoria fueron los que aportaron la mayor fracción de energía liberada.

Respecto a la localización de sismos relacionados con fracturamiento de roca (VT) e (HYB), la mayoría se ubicaron en inmediaciones del Cráter, a menos de 1 km de distancia y con profundidades menores a 2,5 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 1,6 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, cuatro de ellos (Peladitos, Calabozo, Cobanegra y Urcunina), ubicados en la cima de Galeras continúan mostrando cambios asociados a procesos de deformación con variaciones que van desde 20  $\mu$ rad hasta los 450  $\mu$ rad.

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 casi todo noviembre, en su mayoría de coloración blanca; los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental de la cima del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos y con alturas relativamente bajas sobre la cima de Galeras.

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

Con relación al monitoreo del Complejo volcánico de Cumbal, la evaluación de los registros sísmicos en la estaciones instaladas en este volcán muestran que la mayoría de eventos ocurridos se asocian con movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) en el interior de la estructura volcánica. Comparando la actividad sísmica del periodo evaluado con la del mes anterior, se observa un incremento del 26,9% en los niveles de ocurrencia.

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 166 sismos, la mayoría de los eventos se localizaron a menos de 1,5 km de distancia respecto al centro volcánico Cumbal y profundidades de hasta 5 km respecto a la cima. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 1,3 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, aumentó en un 86,9% respecto a la registrada en octubre de 2015. De esta sismicidad fue posible localizar 338 eventos, los cuales se ubicaron en inmediaciones de la cima y hacia el sector suroccidente del volcán Chiles, con distancias epicentrales menores a 4,5 km respecto al centro del volcán Chiles y profundidades menores a 8 km respecto a su cima. Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 2,6 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 disminuyó en comparación a la energía liberada en el mes anterior, indicando que la mayoría de sismos ocurridos fueron de bajo nivel energético

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

La evaluación del proceso volcánico para los volcanes Chiles – Cerro Negro durante noviembre de 2015 permitió mantener el **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

En los volcanes Doña Juana, Las Ánimas y Azufral se tuvo registro de 1, 2 y 12 eventos tipo VT respectivamente, los cuales fueron de bajo nivel energético.

Condiciones de clima favorables durante casi todo el mes, permitieron evidenciar a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán Azufral, emisiones de gas de color blanco de baja altura, provenientes principalmente del domo Mallama, ubicado al nororiente de la Laguna Verde.

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

## INTRODUCCION

Durante el mes de noviembre de 2015, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles y Cerro Negro, Doña Juana, Azufral y Las Ánimas, mediante el monitoreo continuo y en tiempo real durante las 24 horas del día. Esto permitió evaluar el estado de actividad de cada uno de estos volcanes.

El estado y características de un volcán pueden variar a través del tiempo y es por ello que surge el monitoreo volcánico, el cual consiste en la vigilancia y estudio de los cambios ocurridos en diferentes fases de un volcán, mediante la aplicación de una serie de disciplinas geofísicas y geoquímicas. Cambios en el comportamiento de la actividad son el reflejo de distintos procesos al interior del sistema volcánico y que pueden ser provocados por procesos hidrotermales o magmáticos que conllevan a variaciones de presión-temperatura en el sistema volcánico, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza, movimiento de material fluido (magma, volátiles o gases) desde niveles más profundos a reservorios más someros o a la superficie misma.

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



## 1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – NOVIEMBRE DE 2015

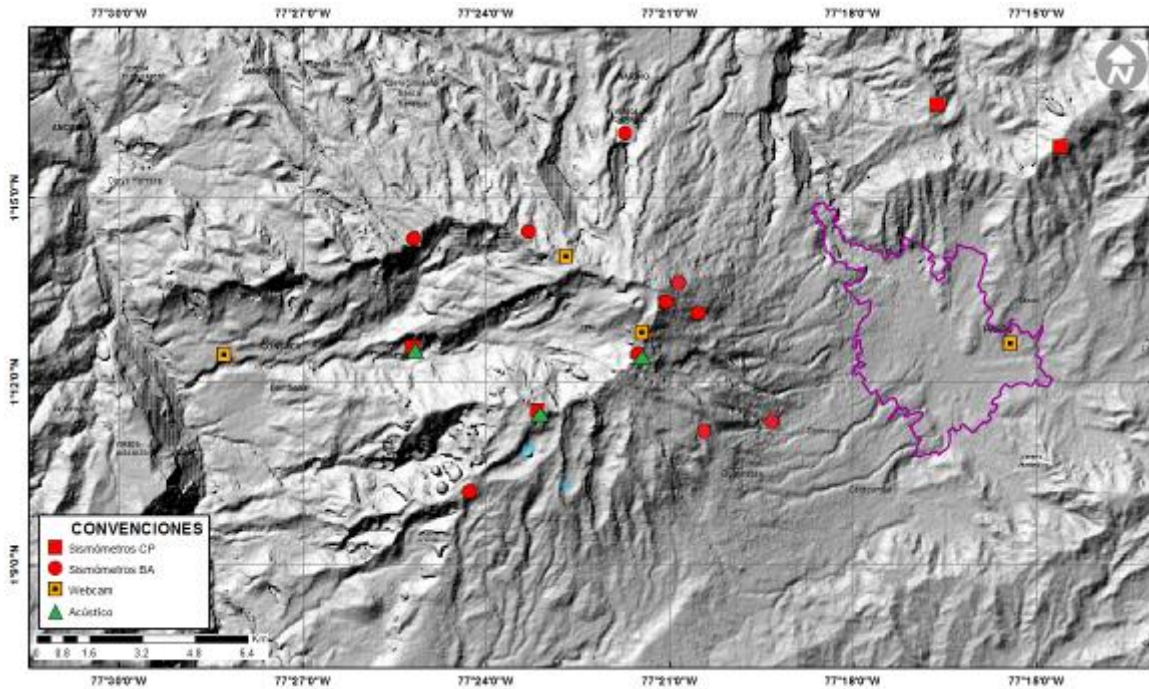
### 1.1. RED DE VIGILANCIA

En noviembre de 2015 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)
- Seis 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 y el último instalado en el sector nororiente de Galeras (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.

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

Durante noviembre de 2015, se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos a las estaciones que conforman la red de monitoreo volcánico de Galeras; además, se realizaron mantenimientos en las repetidoras y equipos de recepción en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto. La operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 90,3 %, garantizando la obtención de información confiable para la evaluación de la actividad volcánica. La Figura 4, muestra el histograma con el porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo volcánico.



**Figura 1.** Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2015.

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en noviembre de 2015.

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGA	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	0.8	E	4170
Cráter-2	CR2R	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño-BB	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.9	ENE	3800
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	2.3	ESE	3494
Cobanegra-3	COB3	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	3.9	SSE	3625
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.0	NW	3450
Cóndor	COND	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	4.9	SW	3985
Obonuco	OBVR	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.9	SE	3010
Nariño-2	NAR2	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Vertical	5.0	N	2870
Calabozo	CAVZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	6.8	WSW	2353
Ingenio	INGZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.0	WNW	2907
San Felipe	SNFZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7.6	SW	3491
San Juan	SJUZ	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	10.5	NE	2899
Morasurco	MORA	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	13.7	NE	3504
Cráter Acústico	CRAC	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	1.5	S	4048
Cóndor Acústico	CONA	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	4.9	SW	3985
Calabozo Acústico	CAMI	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	6.8	WSW	2353

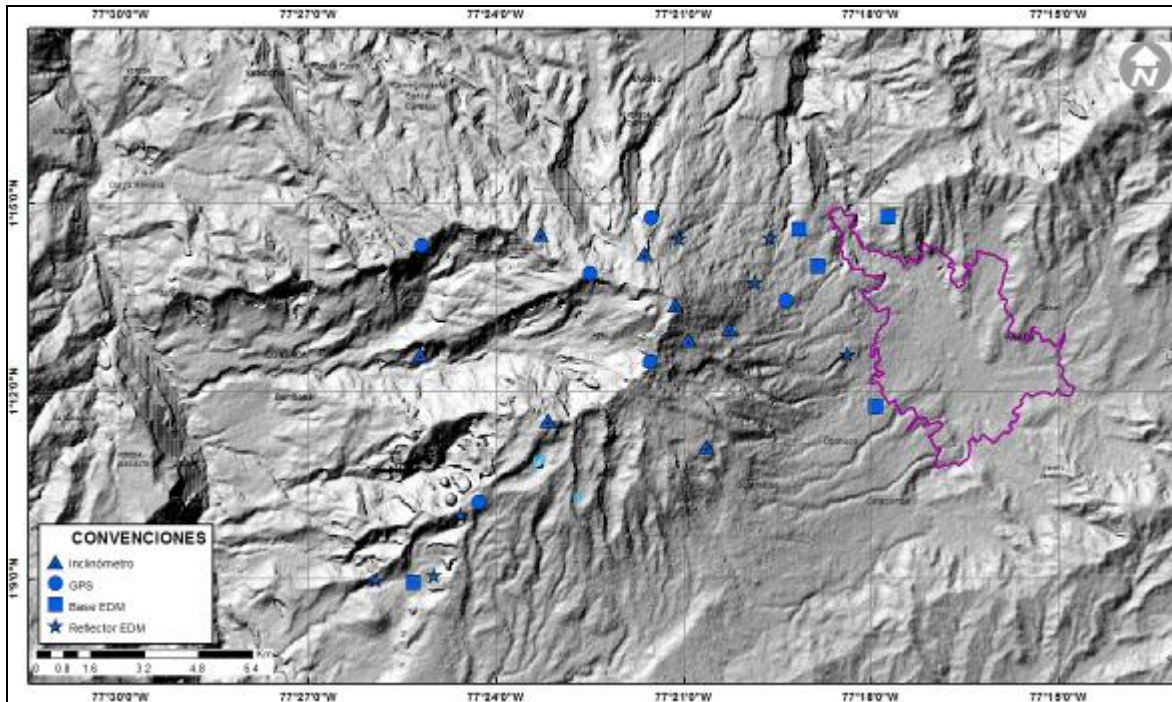


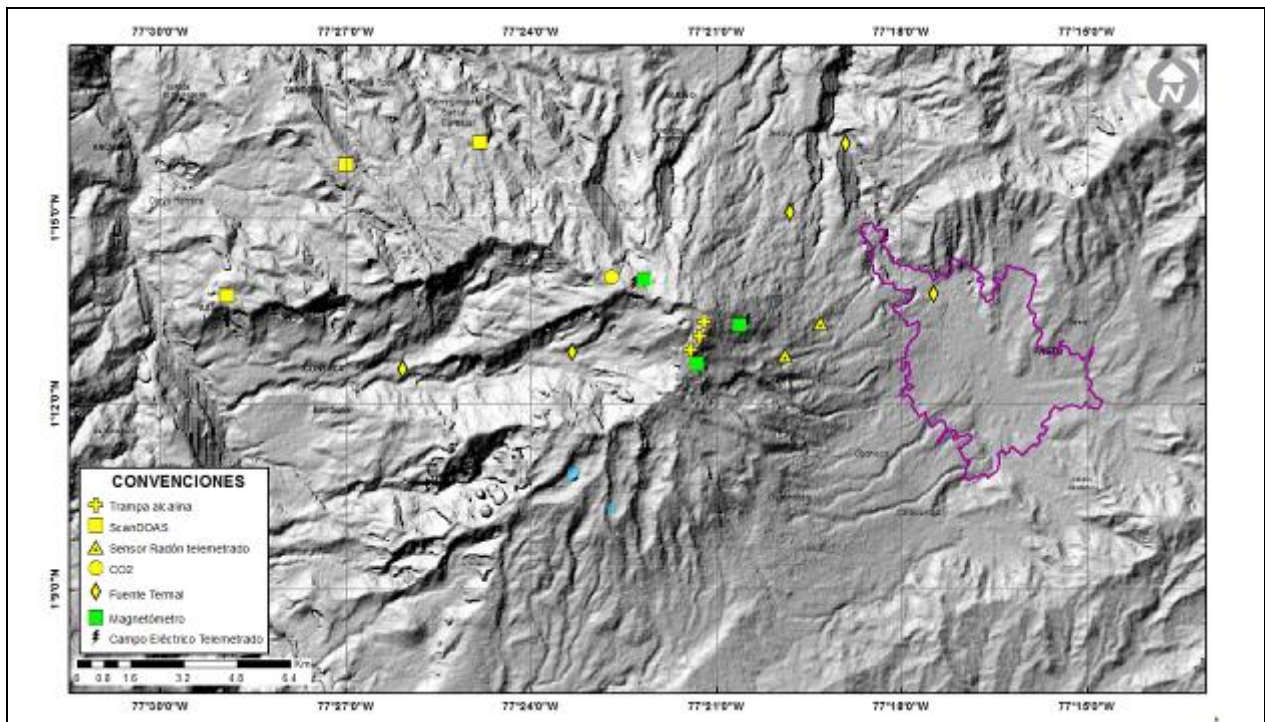
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2015.

**Tabla 2.** Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en noviembre de 2015.

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

**Tabla 3.** Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en noviembre de 2015.

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



**Figura 3.** Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alkalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en noviembre de 2015.

**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en noviembre de 2015.

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

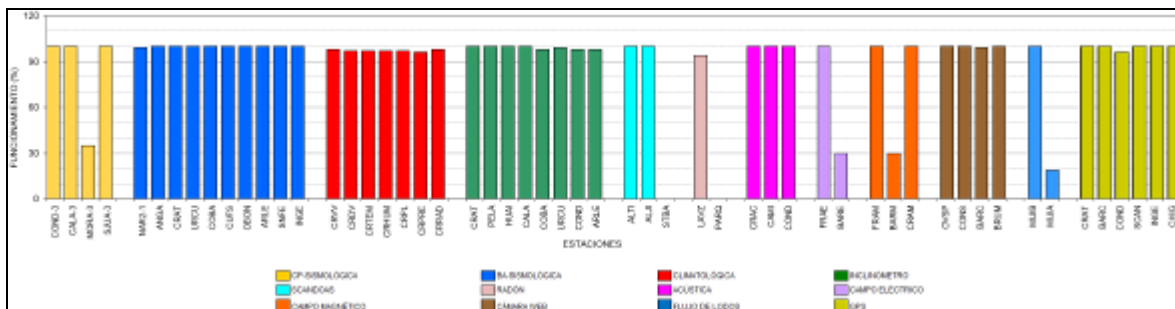
\* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm).

**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 (Línea Galeras).

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



**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en noviembre de 2015.

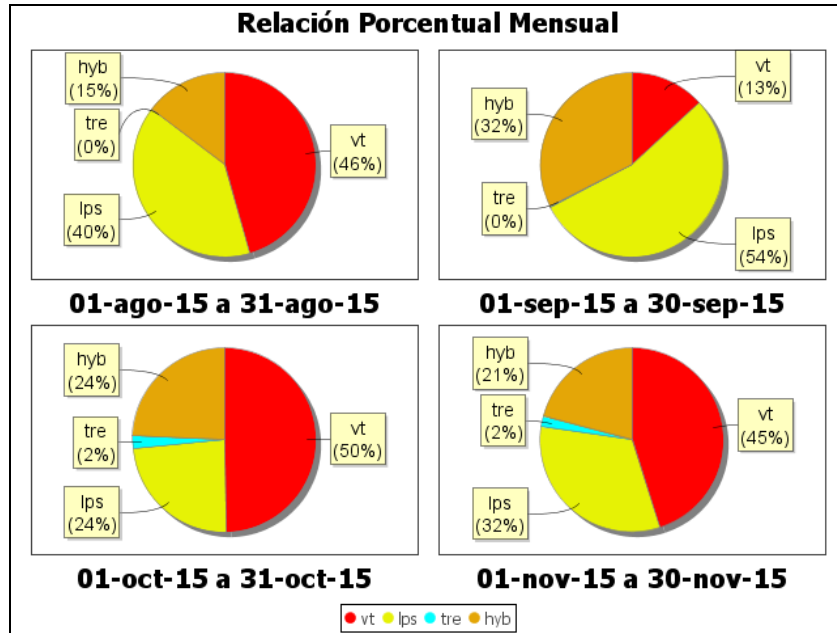
## 1.2. SISMOLOGIA

En el mes de noviembre de 2015, la actividad sísmica de Galeras disminuyó en un 56,9 % respecto al mes anterior pasando de 634 a 273 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 45,1% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de ocurrencia por eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (Eventos Tipo LP), con un 32,2%. Los eventos asociados a fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (sismos tipo HYB) aportaron con un 20,9 %, mientras que los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE) aportaron con un 1,8%. La Figura 5 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos.

En comparación con el mes anterior se evidencia que el número de eventos VT fue menor en un 61%, los sismos LPS disminuyeron en 41,7%, los HYB disminuyeron en un 63% y los TRE en un 64,3% (Tabla 7, Figuras 6 y 7).

**Tabla 7.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 y 30 de noviembre de 2015, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						Duración TREMOR (min)
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL	NO CLASIFICABLES	
01-ago-15 a 31-ago-15	56	49	0	18	123	179	0
01-sep-15 a 30-sep-15	197	808	2	484	1491	1493	1
01-oct-15 a 31-oct-15	315	151	14	154	634	1112	7
01-nov-15 a 30-nov-15	123	88	5	57	273	685	2



**Figura 5.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de agosto y noviembre de 2015.

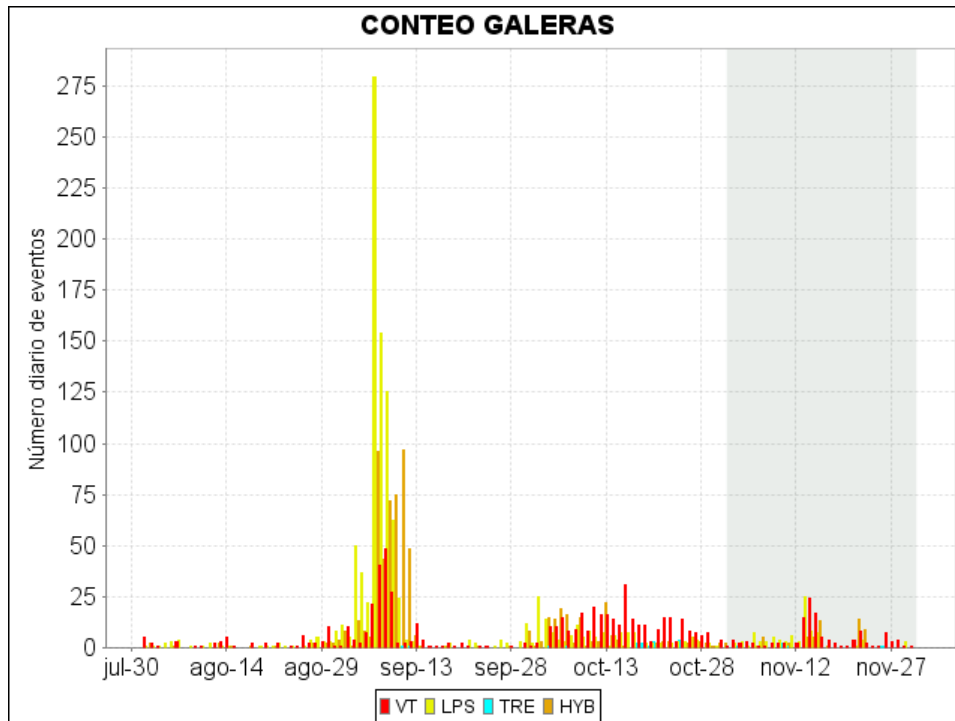


Figura 6. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015. La región sombreada corresponde al mes de septiembre.

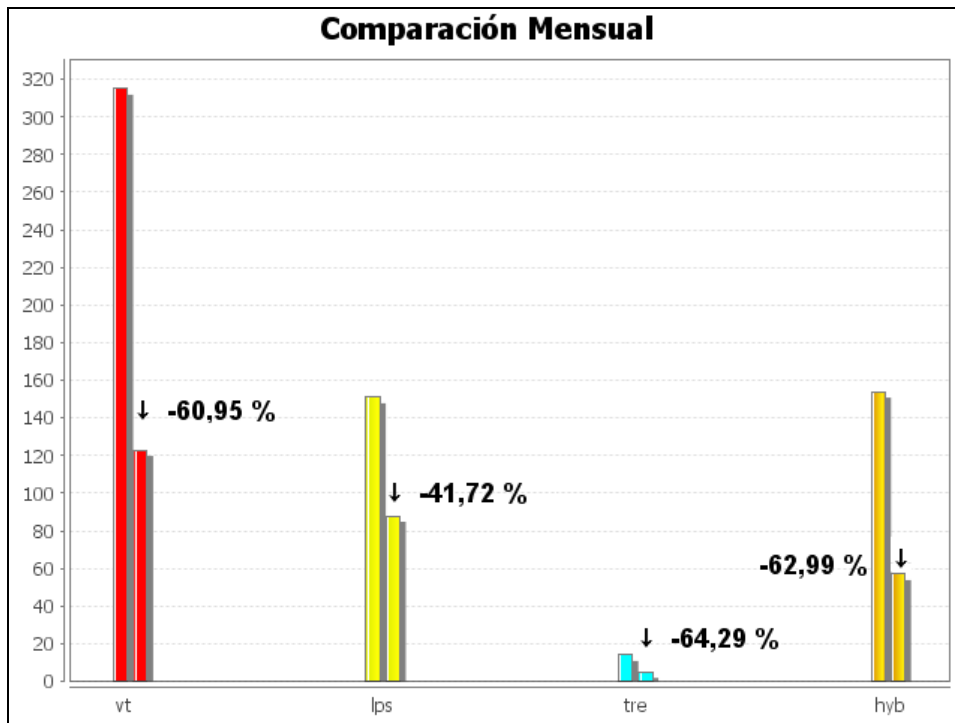
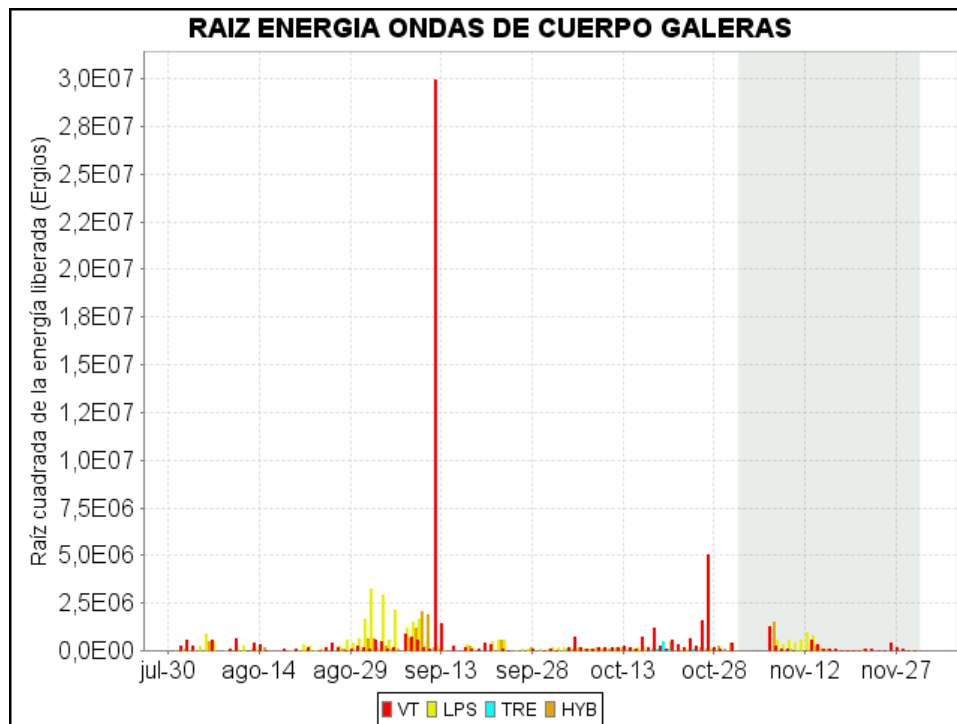


Figura 7. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada disminuyó en un 77% en comparación a lo registrado en octubre de 2015, pasando de  $3,28 \times 10^{13}$  ergios a  $7,31 \times 10^{12}$  ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos LPS con un 37,8%, seguidos por los eventos tipo VT con un 31,2%, mientras que los eventos tipo HYB aportaron con el 30,9% y los sismos tipo TRE con el 0,08% (Tabla 8, Figuras 8, 9 y 10).

**Tabla 8.** Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015, resaltando en color verde el mes evaluado.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-ago-15 a 31-ago-15	1.70E+12	4.95E+12	0.00E+00	6.29E+11	7.27E+12
01-sep-15 a 30-sep-15	9.00E+14	3.07E+13	2.81E+09	1.05E+13	9.41E+14
01-oct-15 a 31-oct-15	3.17E+13	1.55E+11	2.54E+11	6.70E+11	3.28E+13
01-nov-15 a 30-nov-15	2.28E+12	2.76E+12	3.17E+09	2.26E+12	7.31E+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 agosto y el 30 de noviembre de 2015.



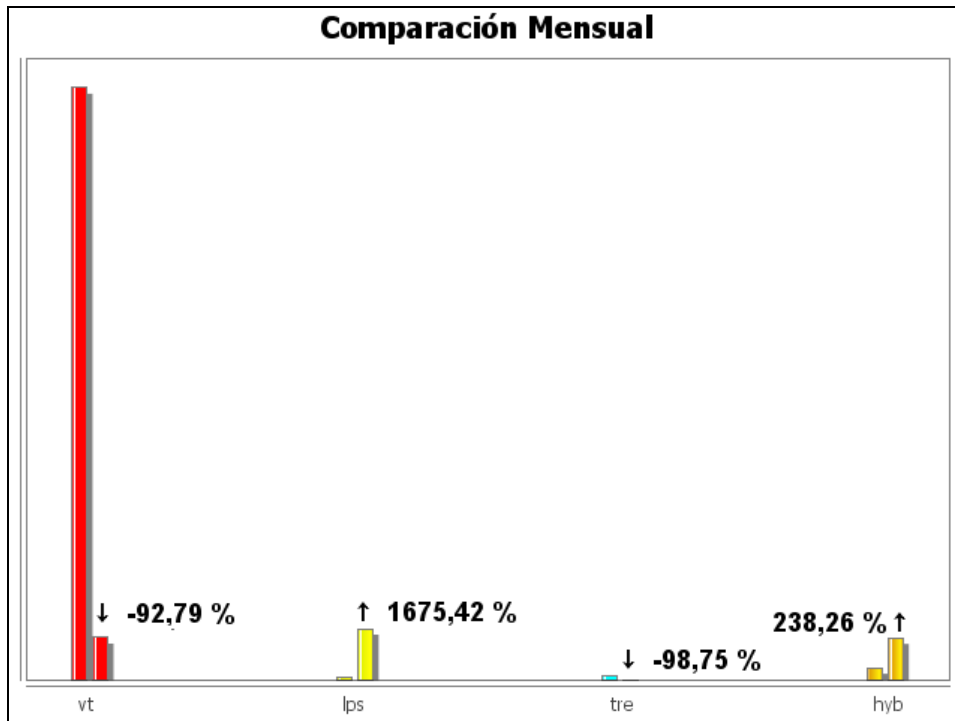


Figura 9. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para noviembre de 2015 (barras de la derecha) respecto a octubre de 2015 (barras de la izquierda).

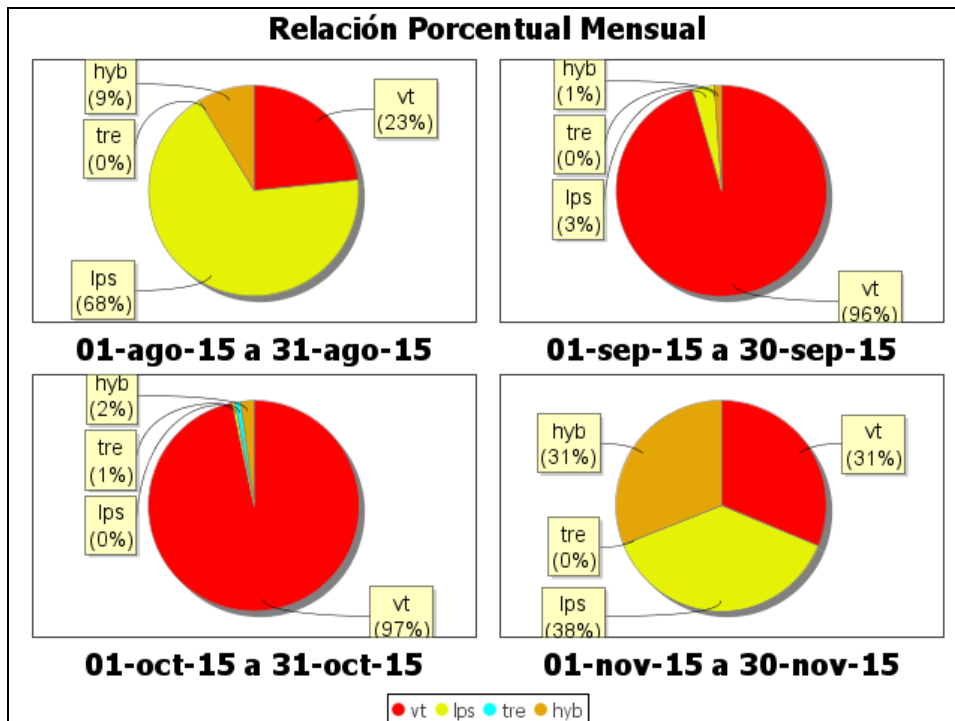
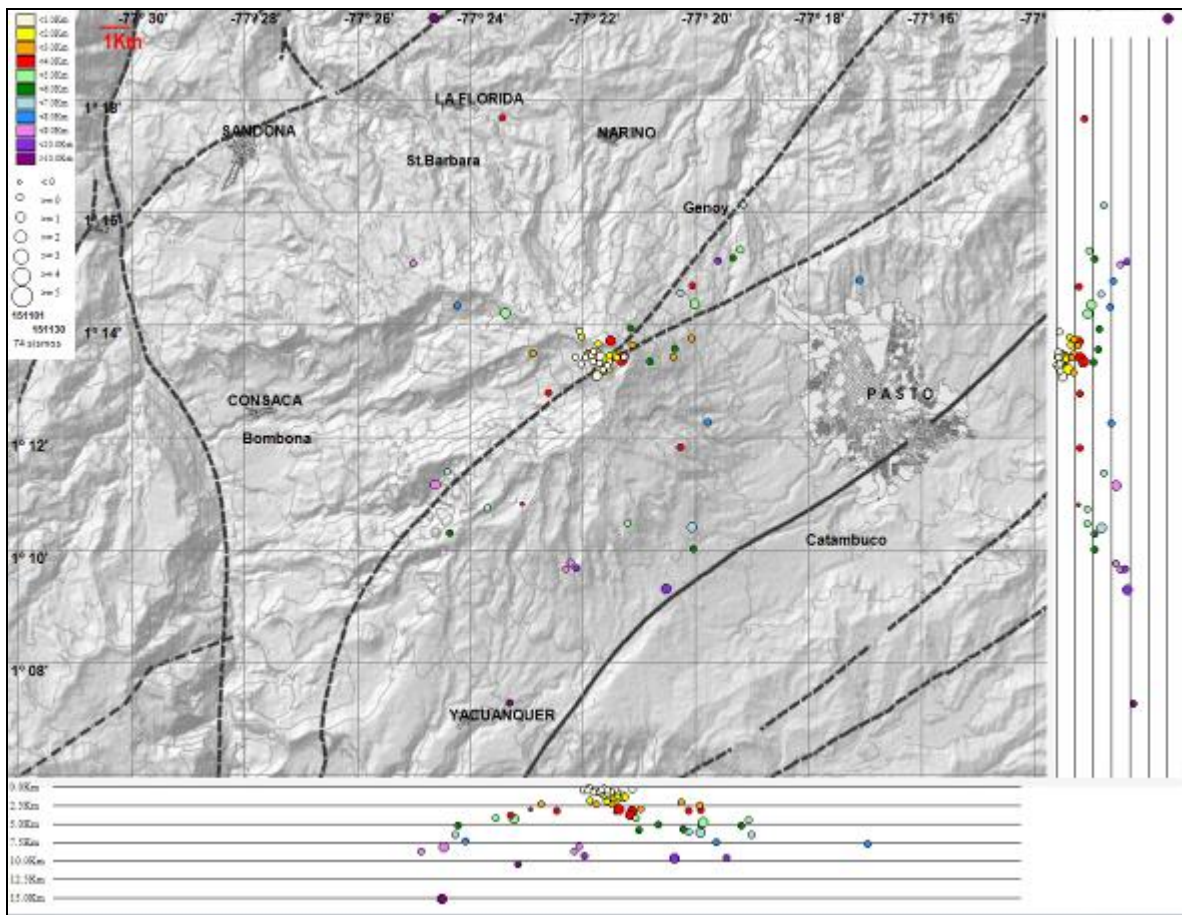


Figura 10. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde agosto a noviembre de 2015.

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 74 sismos, 60 de ellos tipo VT, 11 HYB y 3 LPS, estos últimos localizados teniendo en cuenta únicamente el arribo de la onda P, la mayoría de eventos se ubicaron en inmediaciones del cráter de Galeras, a menos de 1 km de distancia y con profundidades menores a 2,5 km respecto a la cima volcánica. Algunos eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a menos de 12,5 km de distancia, con profundidades de hasta 15 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 1,6 en la escala de Richter (Figura 11).



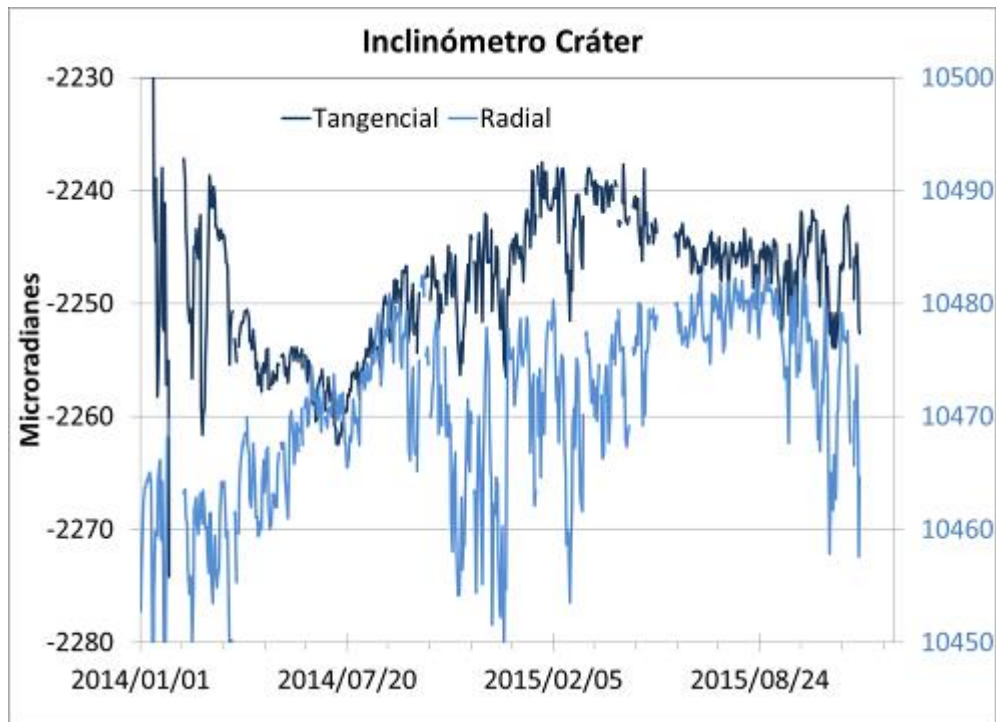
**Figura 11.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT, HYB y LPS registrados entre el 1 y 30 de noviembre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,5 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).

### 1.3. DEFORMACIÓN

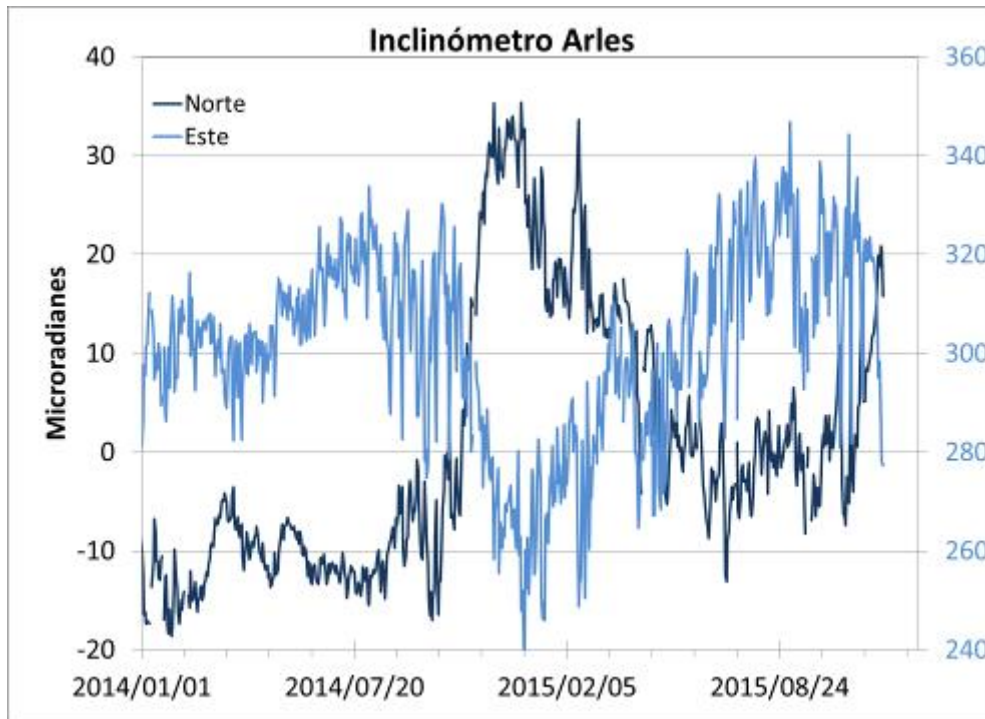
#### 1.3.1. Estaciones de Inclinometría Electrónica

Durante el mes de noviembre de 2015 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.

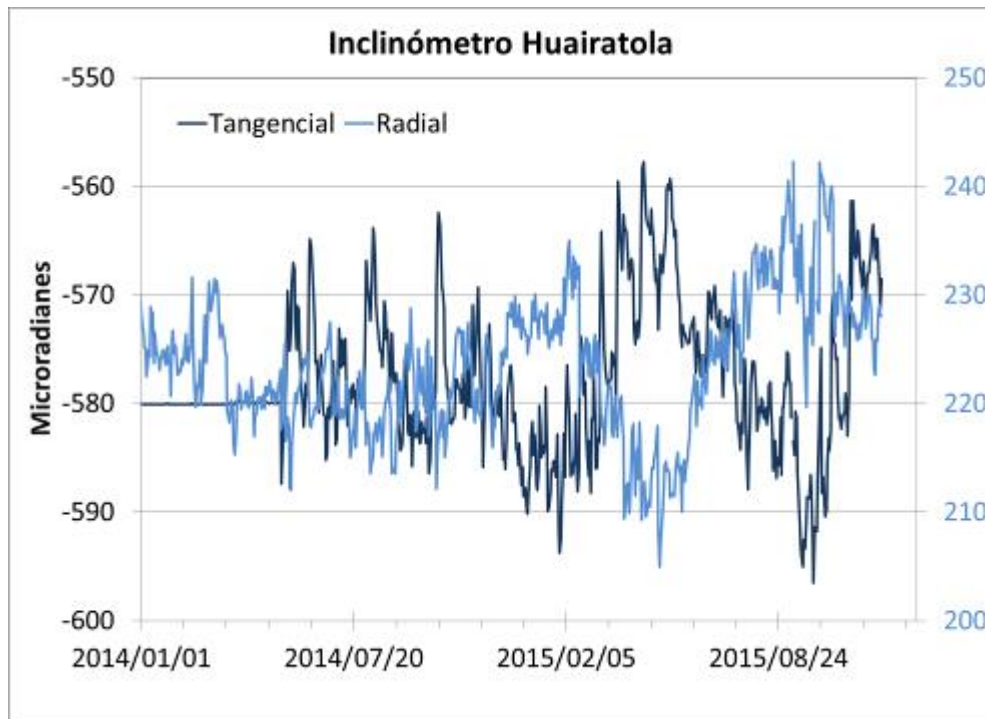
El comportamiento de deformación registrada por los equipos instalados en el edificio volcánico, se resume a continuación. El comportamiento de los inclinómetros Cráter, Arlés, Huairatola y Cóndor, continúan con el comportamiento estable, con variaciones que se asocian a los cambios de temperatura de la zona y al sistema de alimentación (Figuras 12, 13, 14 y 15). El inclinómetro Peladitos muestra una tendencia descendente en la componente Tangencial, acumulando alrededor de 20  $\mu\text{rad}$  desde principios de 2011, mientras su componente Radial a partir de septiembre de 2014 indica una tendencia estable (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 450  $\mu\text{rad}$  (Figura 17). En Cobanegra continua el comportamiento ascendente en la componente Norte, cercano a los 75  $\mu\text{rad}$ , en la Este se aprecia un ligero descenso de 20  $\mu\text{rad}$  (Figura 18). En Urcunina continua el registro descendente en la componente Norte, variación de 110  $\mu\text{rad}$  desde el pasado mes de diciembre de 2011 (Figura 19).



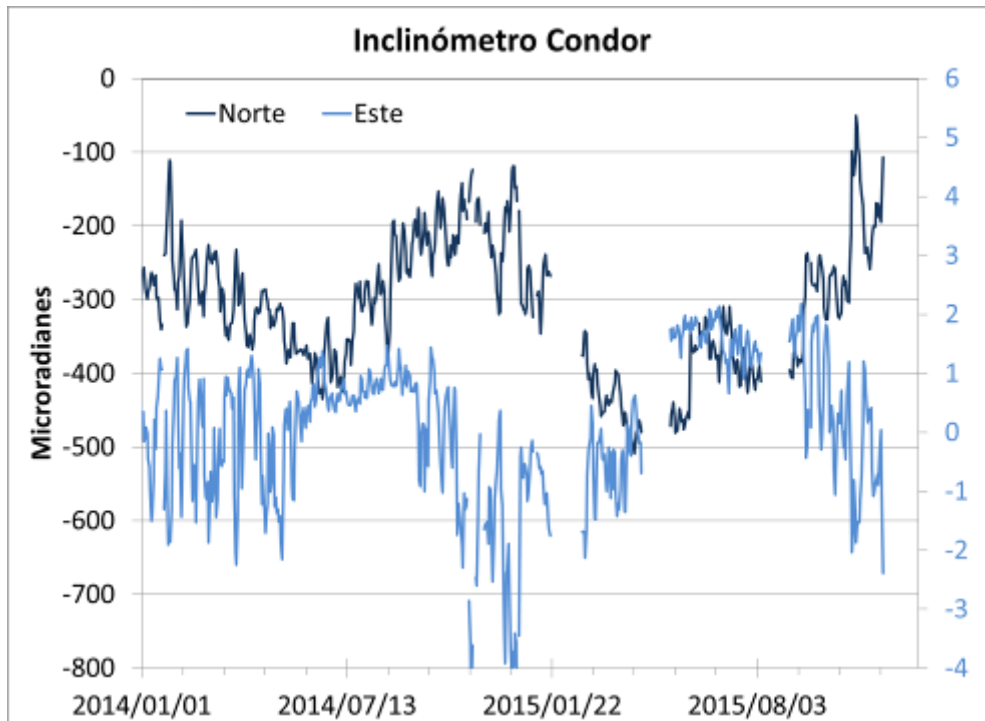
**Figura 12.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.



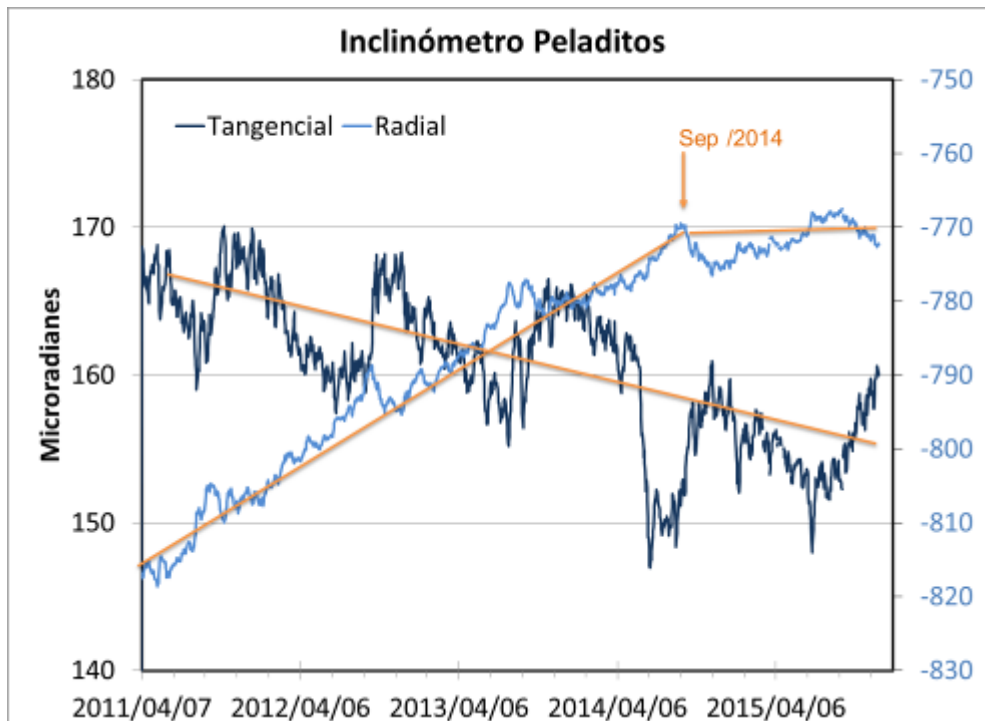
**Figura 13.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.



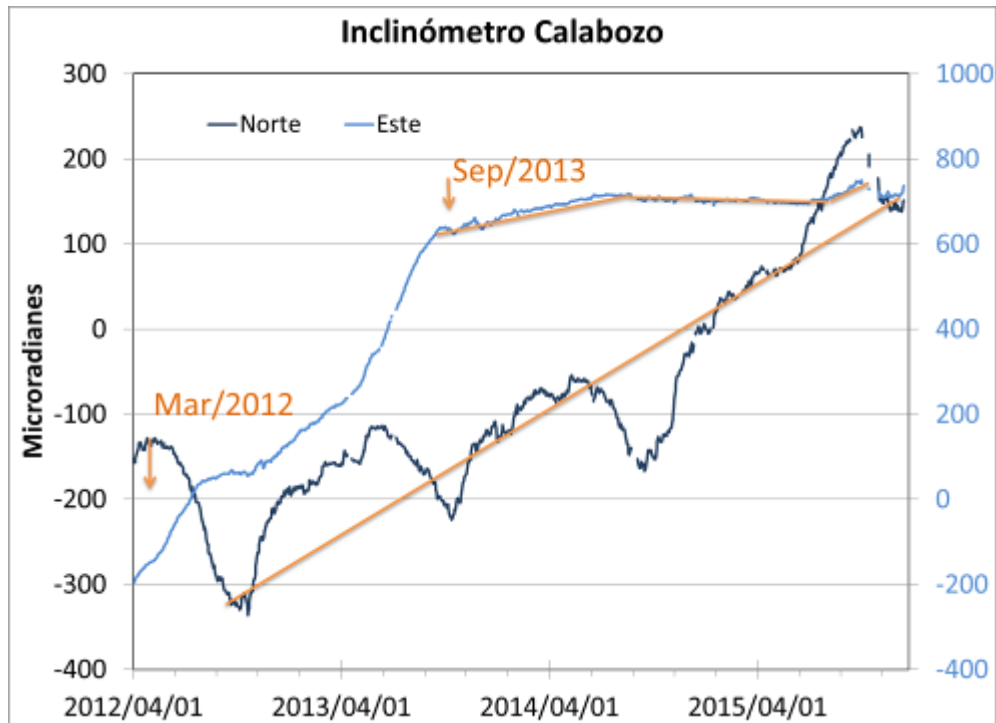
**Figura 14.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.



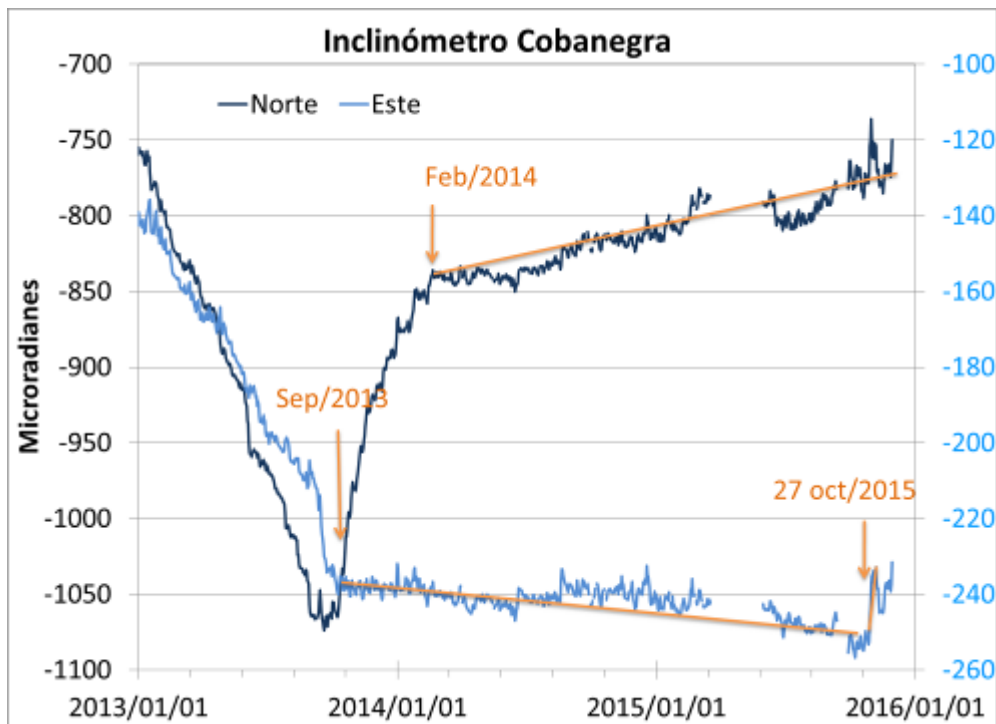
**Figura 15.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cónдор, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.



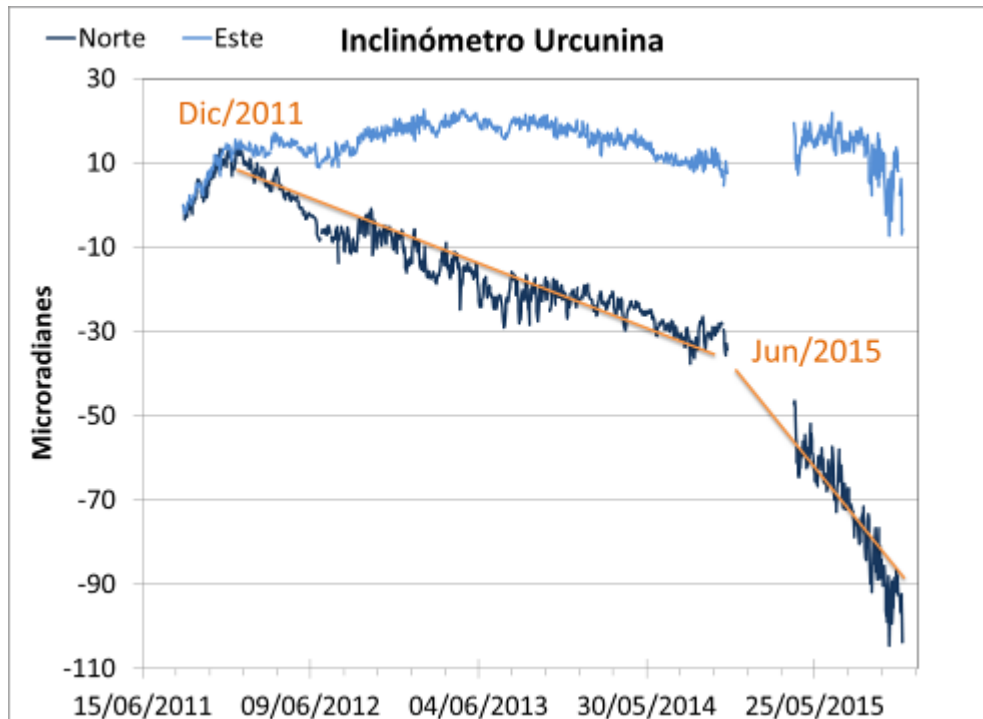
**Figura 16.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de abril de 2011 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 17.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2012 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 18.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 19.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2011 y el 30 de noviembre de 2015.

### 1.3.2. Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras

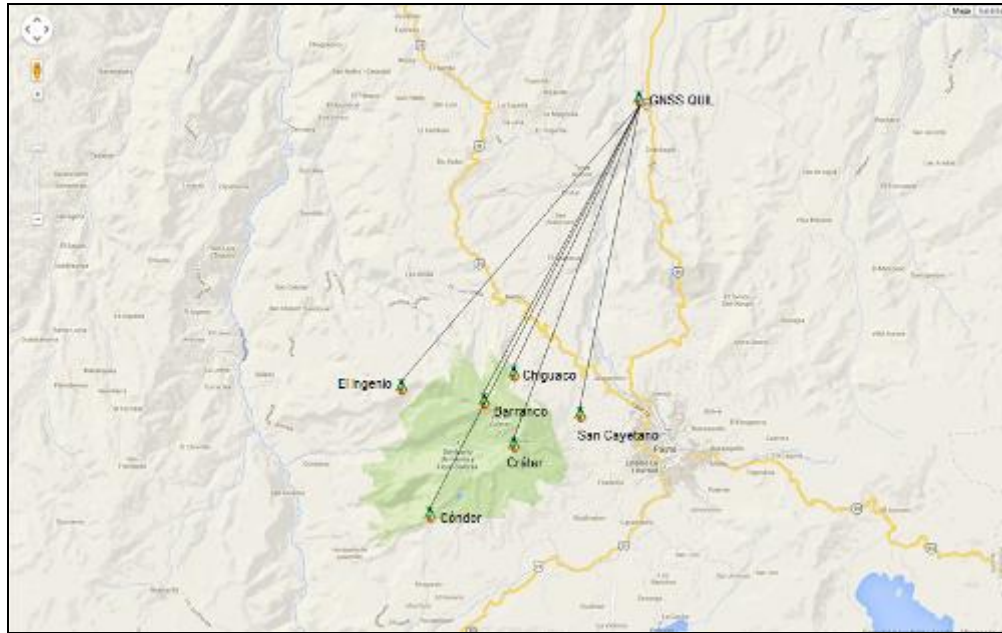
En este periodo no se realizaron medidas de EDM en la zona del volcán Galeras.

### 1.3.3. Estaciones GNSS permanentes

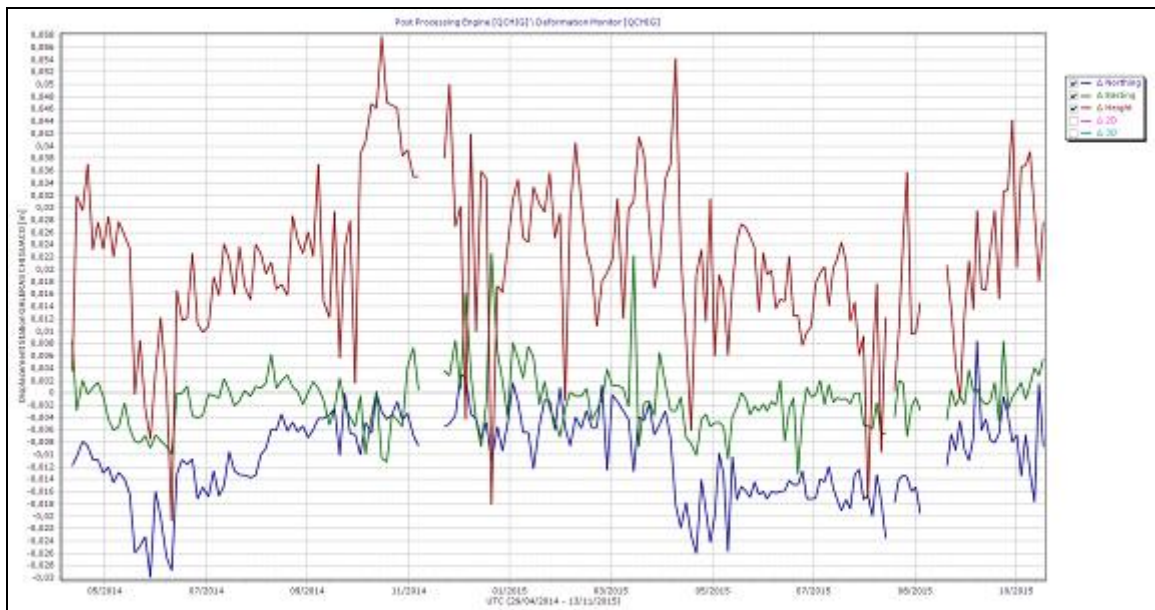
En noviembre de 2015 se contó con 6 estaciones receptoras GNSS permanentes. Para el análisis se contempló inicialmente un procesamiento diferencial de la información suministrada por estas estaciones considerando una estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20,6 km de distancia respecto al cráter, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano. En la Figura 20 se muestra la ubicación de las estaciones instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL.

Algunas de las estaciones se encuentran en un proceso de estabilización con respecto al nivel base y que se requiere de un tiempo cercano de 2.5 años a partir de su instalación para la estabilidad del monumento y el equipo. Las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, San Cayetano, en octubre de 2012, Cráter y Barranco en agosto y octubre de 2011 respectivamente, y Cóndor se reinstaló el 21 de febrero de 2015, luego que una tormenta eléctrica causara daños al equipo, dejándolo sin funcionamiento, fue necesario realizar cambio tanto de antena, como de receptor, de igual forma el 14 de julio fue necesario realizar el cambio de receptor y antena en Barranco, esto debido a una tormenta eléctrica.

Con relación al procesamiento diferencial, las variaciones en la posición de las estaciones GNSS, se observa estabilidad en el registro Norte y Este de Chiguaco, Cráter, El Ingenio y San Cayetano (Figuras 21, 22, 23 y 24). De igual forma en Cónдор y Barranco no se observan cambios importantes en el periodo evaluado (Figuras 25 y 26).

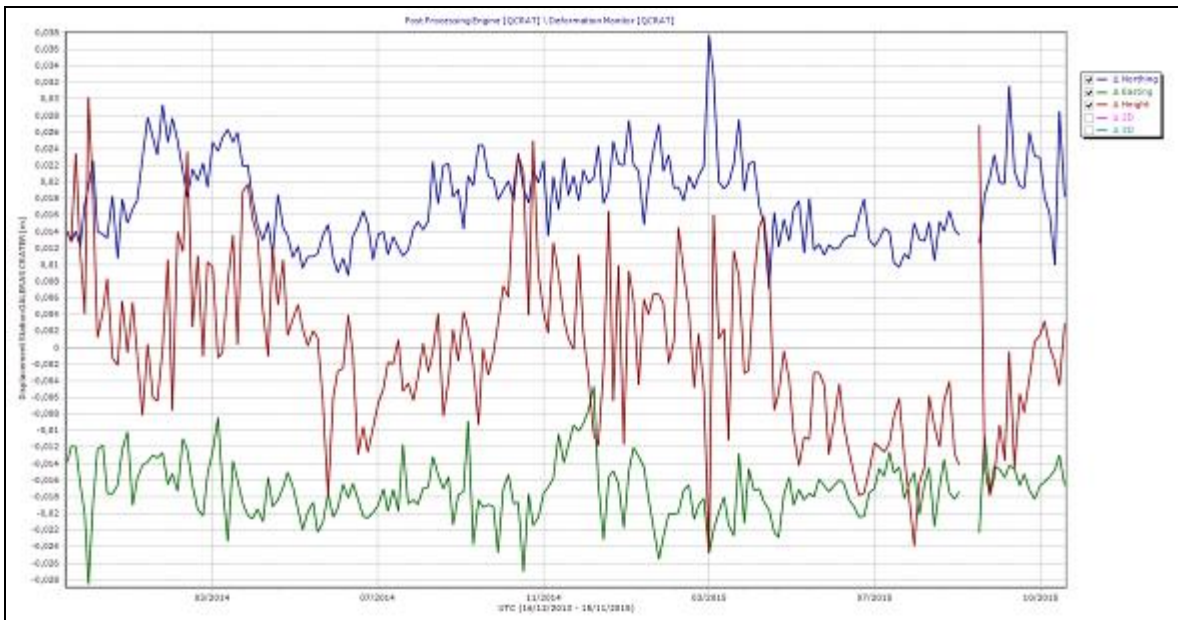


**Figura 20.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.

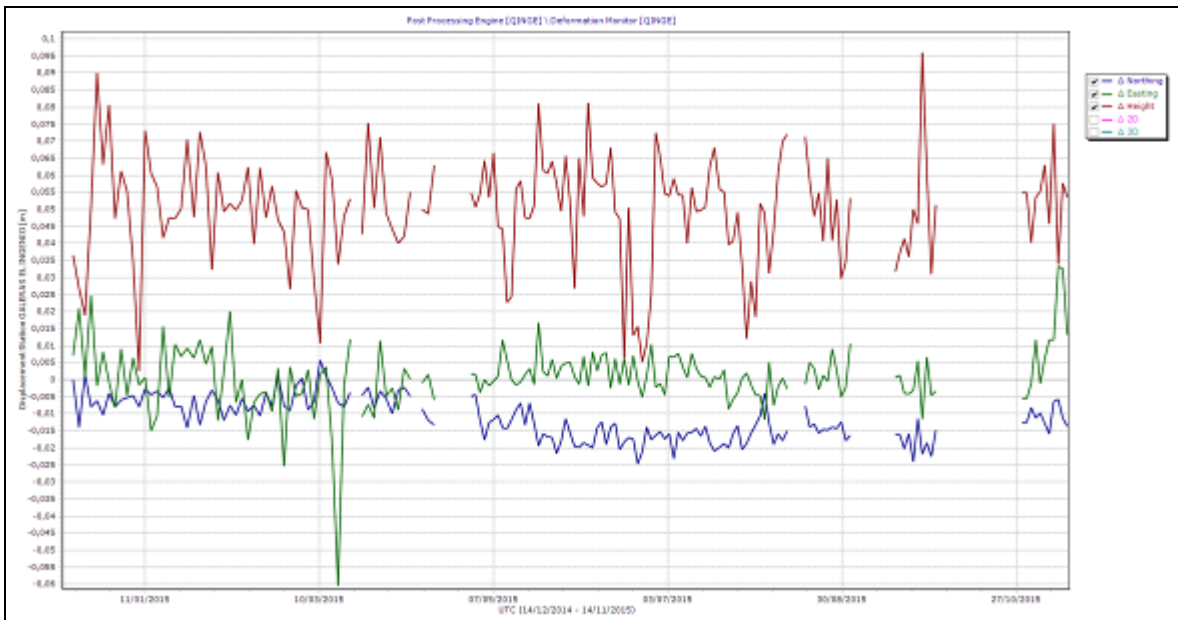


**Figura 21.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2014 y el 13 de noviembre de 2015.

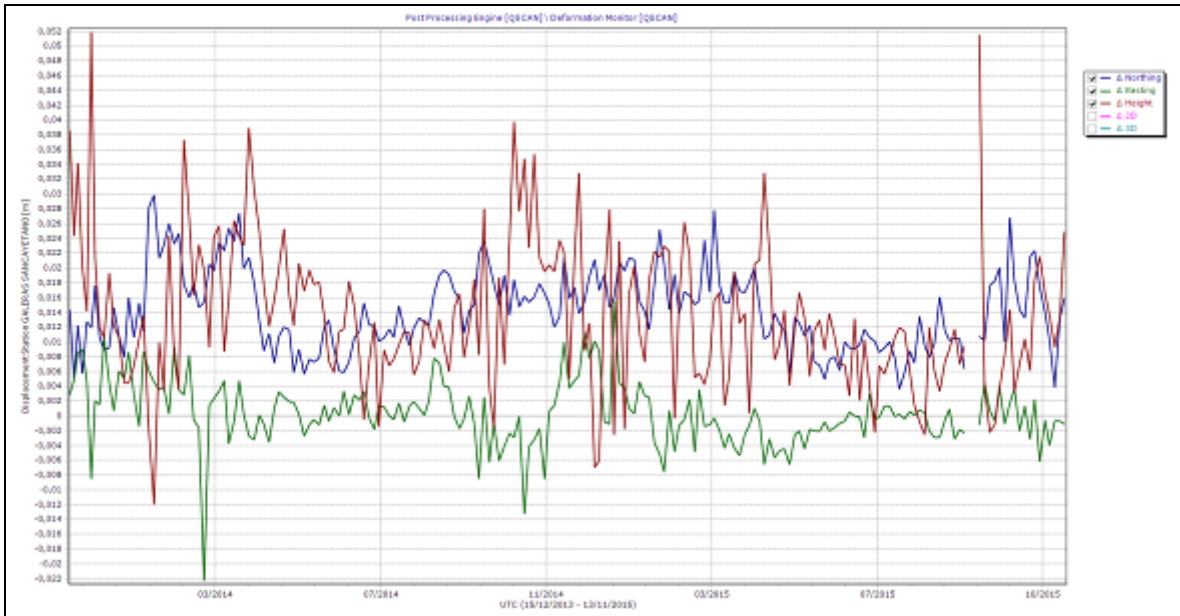




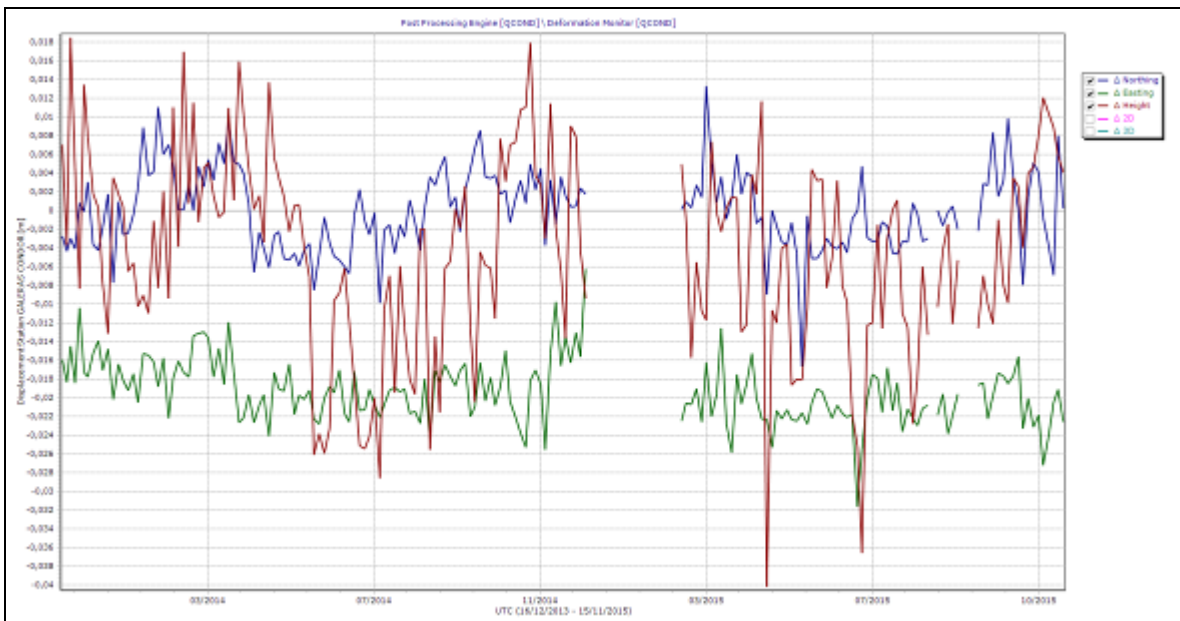
**Figura 22.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 15 de noviembre de 2015.



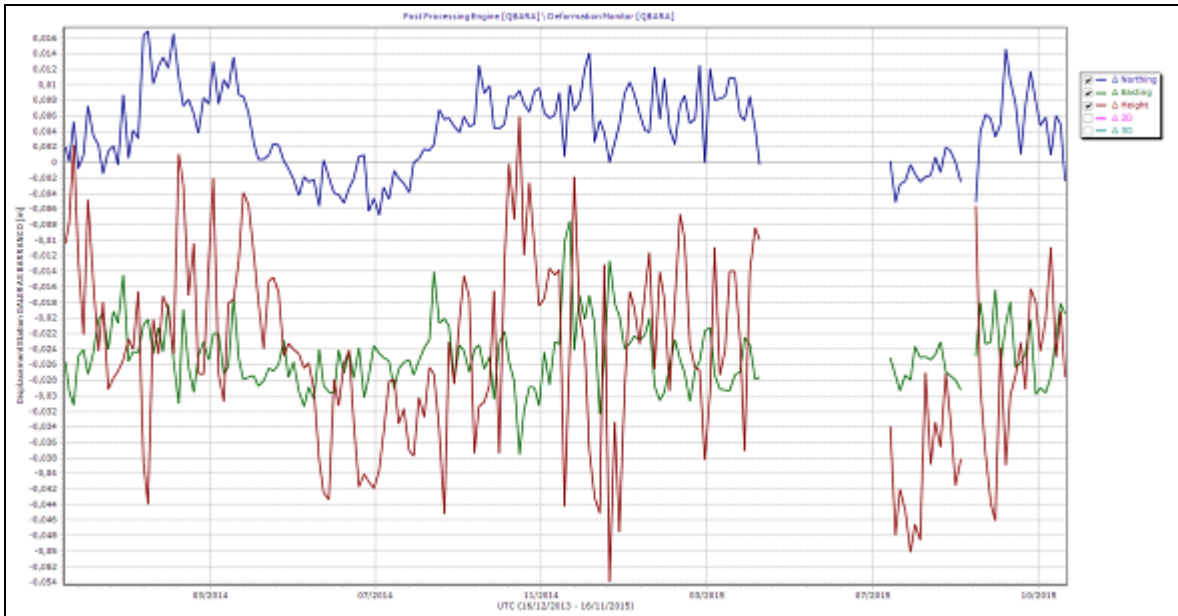
**Figura 23.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2014 y el 14 de noviembre de 2015.



**Figura 24.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 13 de noviembre de 2015.



**Figura 25.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 15 de noviembre de 2015.

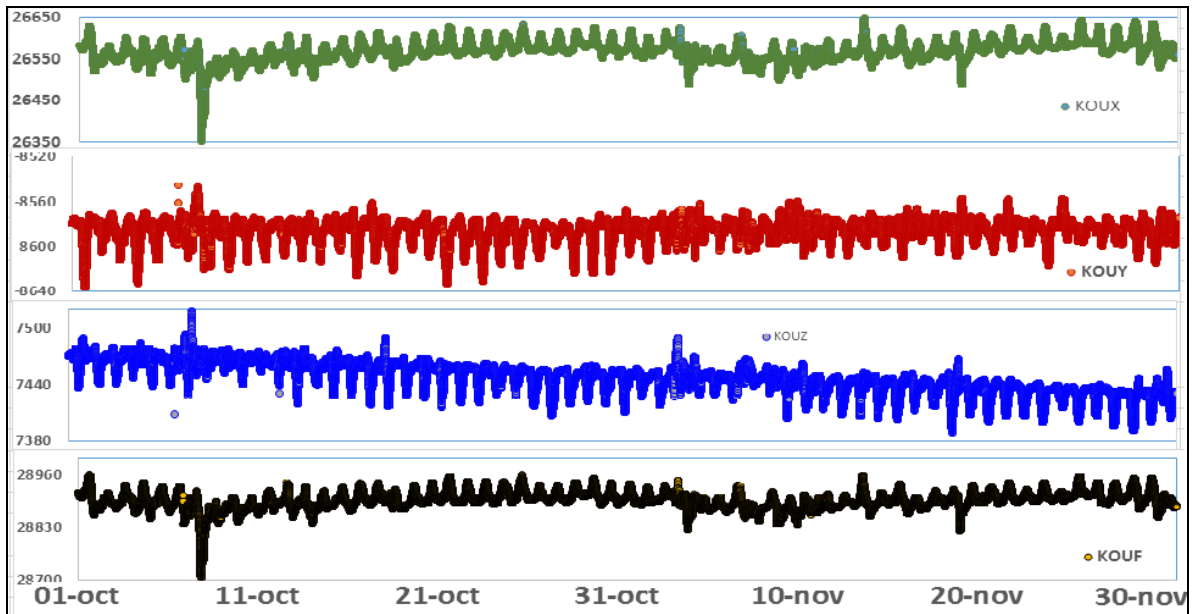


**Figura 26.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 16 de noviembre de 2015.

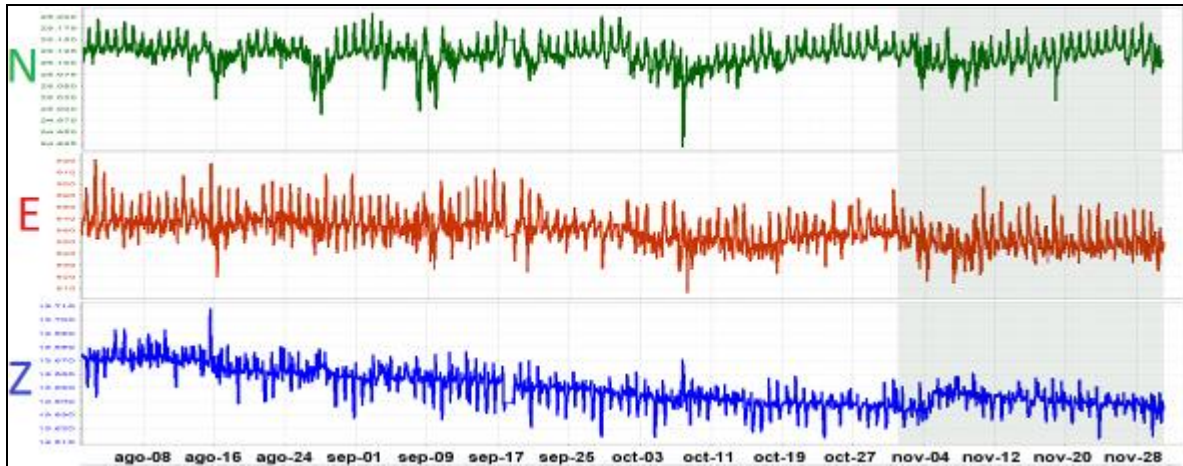
#### 1.4. ELECTROMAGNETISMO.

Para el mes de noviembre de 2015, la red de monitoreo de campos electromagnéticos estuvo constituida, principalmente por dos estaciones de campo magnético, Frailejón y Cráter y una estación de medición de las variaciones de los campos eléctricos Frailejón. La estación de Barranco, ubicada en el sector NW del volcán, tuvo problemas de operación por causa de descargas eléctricas, durante tormentas ocurridas en la zona.

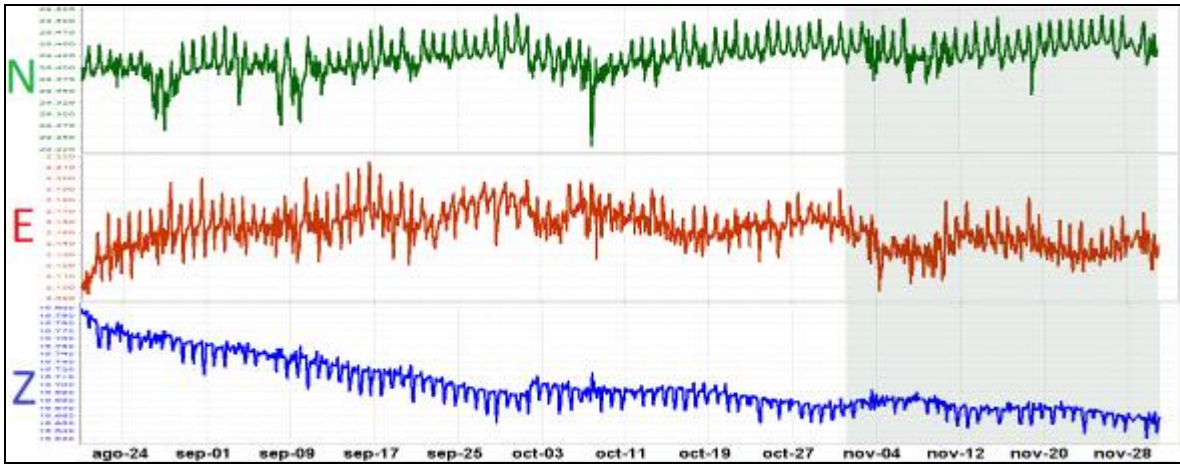
Las variaciones del campo magnético observadas en las estaciones de monitoreo volcánico en Galeras. Las variaciones observadas en estas estaciones están relacionadas principalmente con las variaciones día-noche del campo magnético terrestre y la más resaltante, observada el día 9 de octubre, que se asocia con variaciones del campo externo, la cual se evidencia en la estación de referencia Kourou, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (Figura 27), que tuvo un valor promedio para el mes de noviembre de 2015 de 28.890 nT. En la estación de Frailejón, el campo total tuvo un valor promedio de 28.600 nT (Figuras 28) y en la estación de Cráter, el campo magnético promedio fue de alrededor de 33.430 nT (Figura 29). Estos valores están dentro del rango del campo magnético de la zona de estudio (entre 30.000 y 35.000 nT).



**Figura 27.** Variaciones del campo magnético, 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 los meses de octubre y noviembre de 2015. Componente KOUX (verde), KOUY (roja), KOUZ (azul) y KOUF (negro), que corresponde al campo total. La escala de medición está dada en nano Teslas.

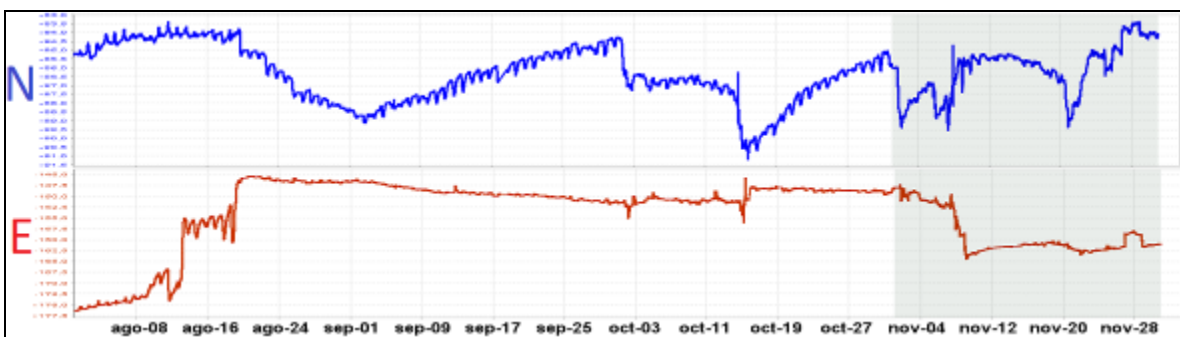


**Figura 28.** Variaciones del campo magnético, en la estación Frailejón, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2015. Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.

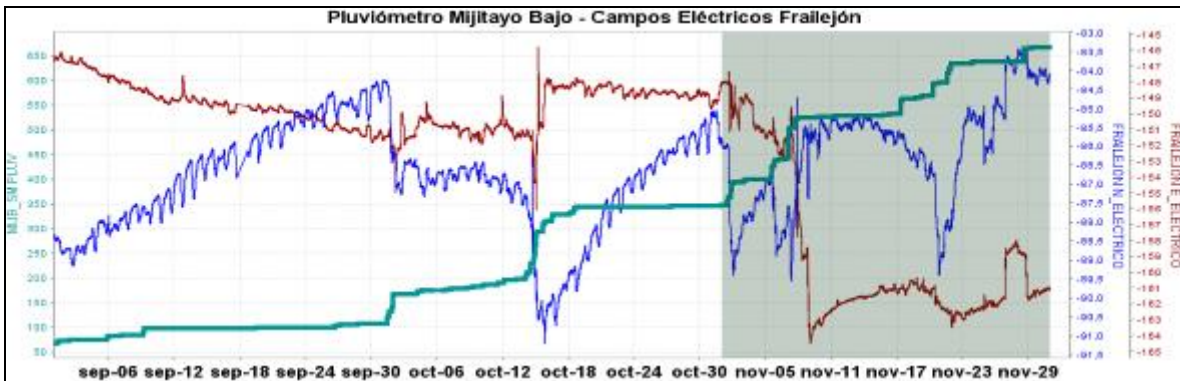


**Figura 29.** Variaciones del campo magnético, en la estación Cráter, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2015. Componente NS (verde), EW (roja) y Z (azul). La escala de medición está dada en nano Teslas.

Las variaciones de los Campos Eléctricos, registradas en las componentes horizontales de la estación de Frailejón, muestran fluctuaciones importantes, que no se correlacionaron con condiciones de actividad volcánica, sino más bien con los procesos de lluvias que, a pesar de la época de sequía, se han generado en la zona, de manera eventual, siendo tormentas eléctricas que han generado incluso el daño de una de las estaciones de monitoreo de estos campos. La componente NS de la estación de Frailejón tuvo un valor promedio en noviembre de alrededor de  $-86.5$  mV/m, en tanto que la componente EW tuvo valor promedio de alrededor de  $-160$  mV/m, con un campo total promedio de  $182$  mV/m (Figura 30). La correlación de las variaciones de campos eléctricos con los valores de lluvia registradas en la zona de influencia del volcán Galeras, muestra la influencia de este parámetro, con las variaciones eléctricas de la zona, para el periodo de noviembre, los acumulados se encuentran en un rango entre  $89$  y  $165$  mm de lluvia, siendo el valor del mes de  $76$  mm, para la zona de Galeras (Figura 31).



**Figura 30.** Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, entre agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2015. Las unidades de medición son mV/m.



**Figura 31.** Correlación de las variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, entre septiembre, octubre y noviembre de 2015, en mV/m, con los valores de lluvia acumulada durante el mismo período (línea azul clara), la escala de medición son cuentas y se debe multiplicar por el factor de 0.254, para obtener unidades de milímetros.

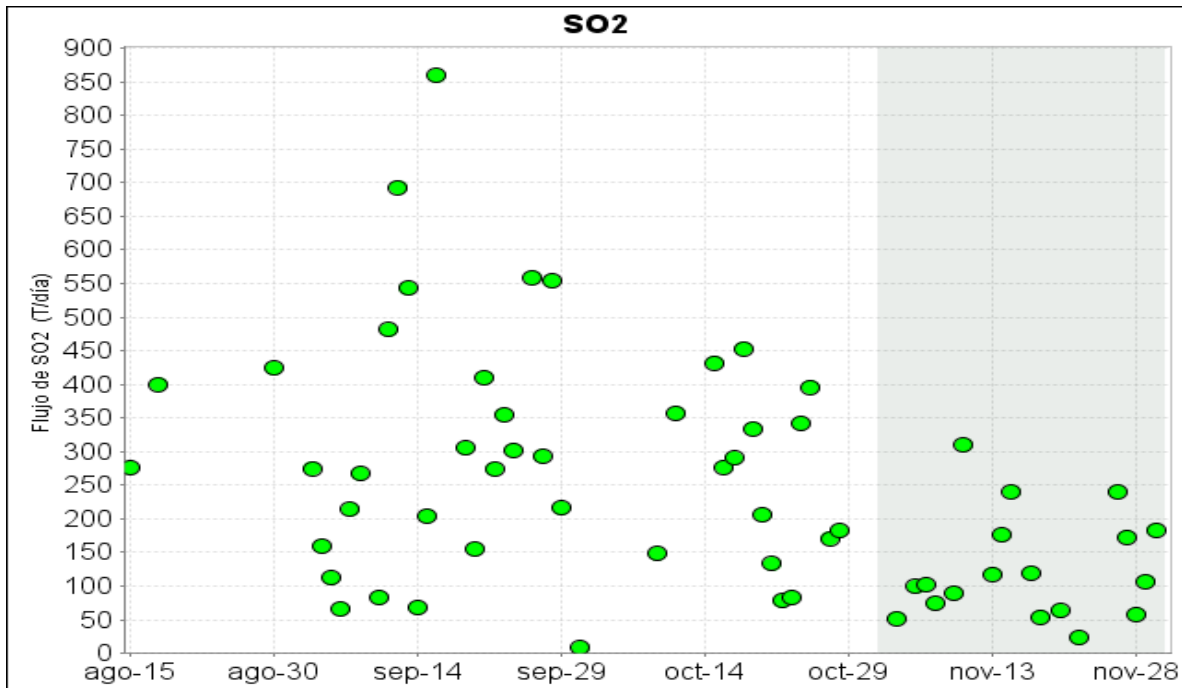
## 1.5. GEOQUIMICA.

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

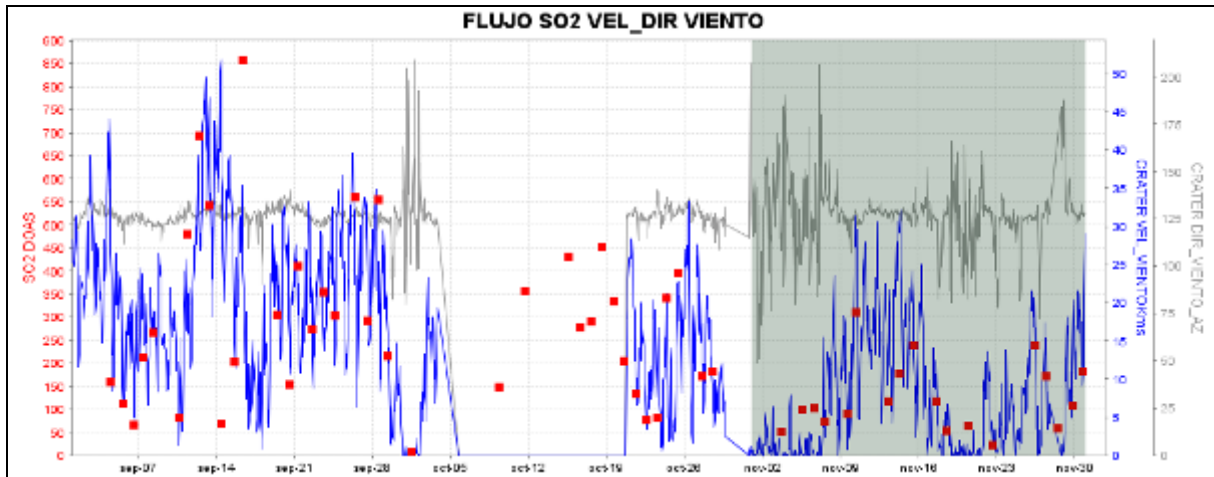
#### 1.5.1.1. Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS

La intrusión de nuevos cuerpos de magma o ascenso del mismo, afecta el flujo de SO<sub>2</sub> hacia la superficie. Los valores estimados de flujo de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de Galeras, corresponden a los escaneos de tres estaciones telemétricas permanentes ScanDOAS, (Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara) localizadas en el cuadrante noroccidental de Galeras (Figura 3). Su funcionamiento parte de detectar la luz Ultravioleta (UV) dispersa, a través de un telescopio acoplado a una fibra óptica de cuarzo que transfiere la luz a un espectrómetro (OceanOptics S2000) y lo compara con un espectro de referencia dentro de una longitud de onda específica entre 280 a 420 nm con una resolución de 0,6 nm, un filtro en el telescopio bloquea la luz visible con longitudes de onda mayores a 360 nm, reduciendo efectivamente la luz difusa (Galle et al., 2002). Cada uno de los espectros obtenidos se traducen en escaneos que permiten conocer la absorbencia de la pluma de SO<sub>2</sub> en tiempo real (Euripides et al., 2012). Para el cálculo de flujo de SO<sub>2</sub> se tiene en cuenta los valores de velocidad del viento medidos por la estación climática instalada en la cima del volcán, los cuales se ajustan a la zona donde se genera la columna. A partir de los escaneos de SO<sub>2</sub>, de las estaciones fijas, diariamente se realiza la evaluación de cada uno de ellos y se reporta el valor máximo del día y la estación donde se registró.

Se registran escaneos durante todos los días del mes de noviembre de 2015, para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, mientras que para la estación Santa Bárbara no se tiene registro de escaneos; registrando valores entre 23 Ton/día hasta 310 Ton/día, valores que oscilan entre los niveles considerados como bajos para el volcán Galeras (Figura 32 y 33, Tabla 9).



**Figura 32.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> registrado entre agosto y noviembre de 2015 por los equipos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.



**Figura 13.** Flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), velocidad y dirección del viento entre agosto y noviembre de 2015.

Para este periodo se registra un proceso de desgasificación bajo en Galeras, observado en las imágenes de actividad superficial desde las cámaras web instaladas en cercanías del volcán. Se registran variaciones en la velocidad del viento para los flujos de SO<sub>2</sub> de hasta los 8,7 m/s y una dirección del viento predominante a 345° Azimut aproximadamente. El mayor flujo de SO<sub>2</sub> registrado para el volcán Galeras, durante el mes se presenta el día 10 de noviembre de 2015 con un valor de 310 Ton/día, considerado como un flujo bajo para el volcán Galeras.

**Tabla 9.** Emisiones de SO<sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de noviembre de 2015, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).

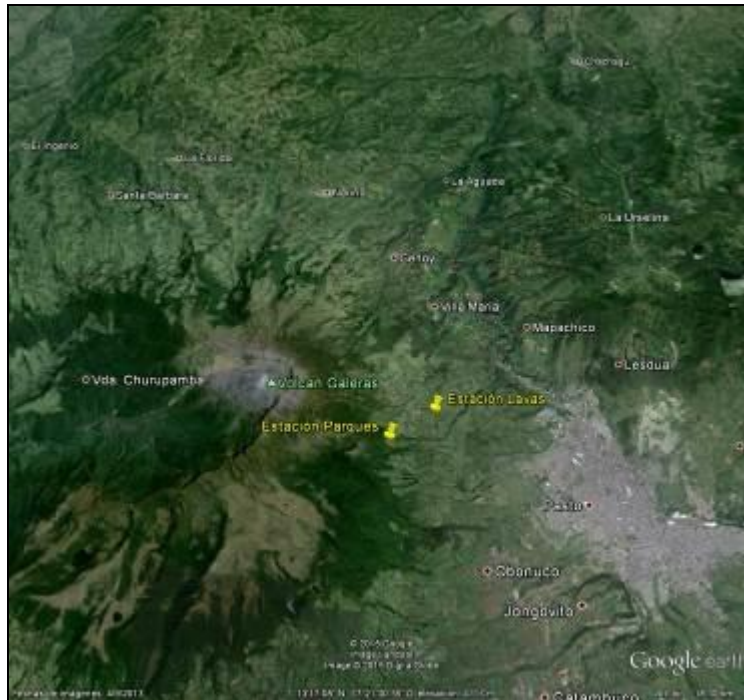
FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO <sub>2</sub> diario	Estación de registro	Instrumento
03-nov-15	03:52 PM	352.4	1	52	Alto Tinajillas	SCANDOAS
05-nov-15	03:38 PM	347	1	99	Alto Tinajillas	SCANDOAS
06-nov-15	03:39 PM	344.5	1	102	Alto Tinajillas	SCANDOAS
07-nov-15	03:34 PM	342.3	1	74	Alto Tinajillas	SCANDOAS
09-nov-15	02:58 PM	353.3	1.6	89	Alto Tinajillas	SCANDOAS
10-nov-15	09:38 AM	359.7	8.68	310	Alto Jimenez	SCANDOAS
13-nov-15	07:16 AM	351.9	4.55	118	Alto Tinajillas	SCANDOAS
14-nov-15	08:16 AM	341.7	8.11	176	Alto Jimenez	SCANDOAS
15-nov-15	01:41 PM	13.6	5.45	240	Alto Tinajillas	SCANDOAS
17-nov-15	03:12 PM	8.5	3.32	119	Alto Tinajillas	SCANDOAS
18-nov-15	01:25 PM	346.4	1.86	54	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-nov-15	10:21 AM	330.3	1	63	Alto Jimenez	SCANDOAS
22-nov-15	03:10 PM	339.1	1	23	Alto Jimenez	SCANDOAS
26-nov-15	11:51 AM	351.6	4	240	Alto Tinajillas	SCANDOAS
27-nov-15	10:08 AM	351.8	4.25	173	Alto Tinajillas	SCANDOAS
28-nov-15	12:18 PM	339.5	1	58	Alto Tinajillas	SCANDOAS
29-nov-15	07:58 PM	6.2	2.43	107	Alto Tinajillas	SCANDOAS
30-nov-15	06:30 PM	6.8	5.28	183	Alto Tinajillas	SCANDOAS

\* Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> [Toneladas/día]. Bajo: ≤ 500; moderado: > 500 y ≤ 1000; alto: > 1000 y ≤ 3000; muy alto: > 3000.

### 1.5.1.2. Flujo de gas Radón 222 – (Rn<sub>222</sub>) telemétrico

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 235, tiene una vida media de 3,8 días y no se encuentra más allá de los 50 a 60 m de profundidad, entonces su difusión es la única responsable de su dispersión (Dyck y Smith 1969). La figura 34 corresponde al mapa con la ubicación de las estaciones para medición de flujo de gas Radón, en la zona de influencia del volcán Galeras.





**Figura 24.** Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras.

En la figura 35 muestra el comportamiento temporal de la concentración de gas radón, se puede observar en la estación Lavas un comportamiento estable durante el periodo evaluado, con una ligera tendencia a incrementar; sin embargo, no se registran valores superiores al mayor pico registrado en el mes anterior. Se presenta una concentración máxima de 83642 Bq/m<sup>3</sup> (Figura 35, tabla 10). La estación Parques no tuvo registro durante el mes de noviembre por posibles problemas de adquisición en la estación, esta situación se ha informado y será revisada por el personal del área de electrónica del OVS Pasto.

**Tabla 10.** Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – mes de noviembre 2015.

Concentración radón (Bq/m <sup>3</sup> )	
Valor promedio	55775
Valor máximo	83642
Valor mínimo	30309

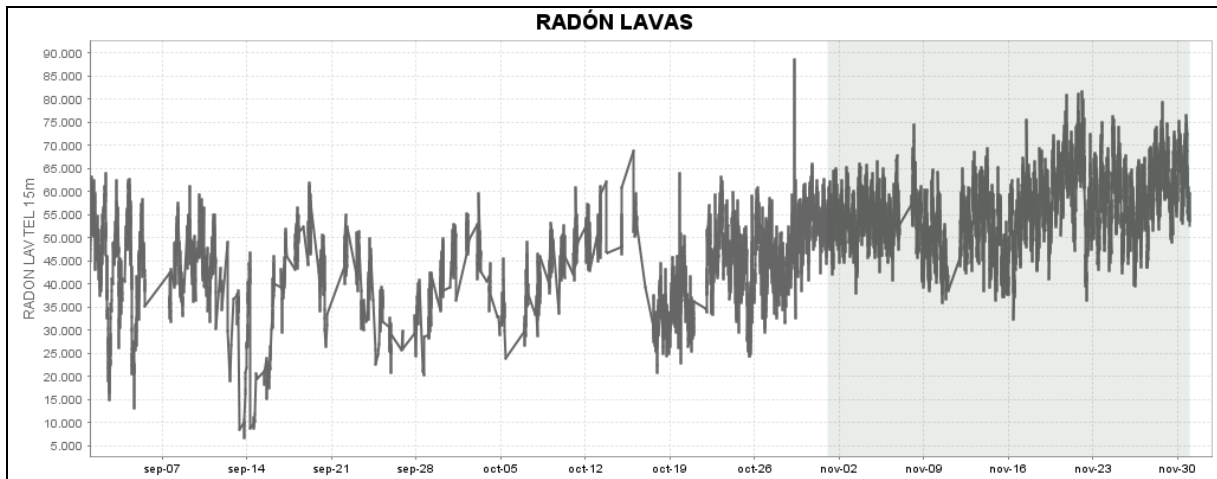


Figura 35. Concentración radón en suelo volcán Galeras - Estación telemétrica Lavas – mes de noviembre 2015.

### 1.5.2. Muestreo de aguas en fuentes termales

El volcán Galeras cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Río Pasto (A), FT Cehani (B), FT Aguas Agrías (C), FT Agua Blanca (D) y FT Licamancha (E). (Figura 36, tablas 11 y 12). Los parámetros fisicoquímicos y muestras para análisis permitirán su caracterización y comprensión desde el punto de vista geoquímico para este complejo volcánico.

El trabajo de muestreo en campo para la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos en las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del volcán Galeras se realiza con los siguientes equipos:

- Equipo multiparámetro ORION STAR A325 (pH-metro, Conductímetro): permite medir el potencial de hidrógeno, temperatura y conductividad eléctrica en aguas de fuentes termales.

- Termómetro marca OAKTON Temp300 con termocupla tipo K: permite hacer mediciones de temperatura.

- Cámara térmica: realiza el registro fotográfico y medida de la radiación térmica en las fuentes termales.

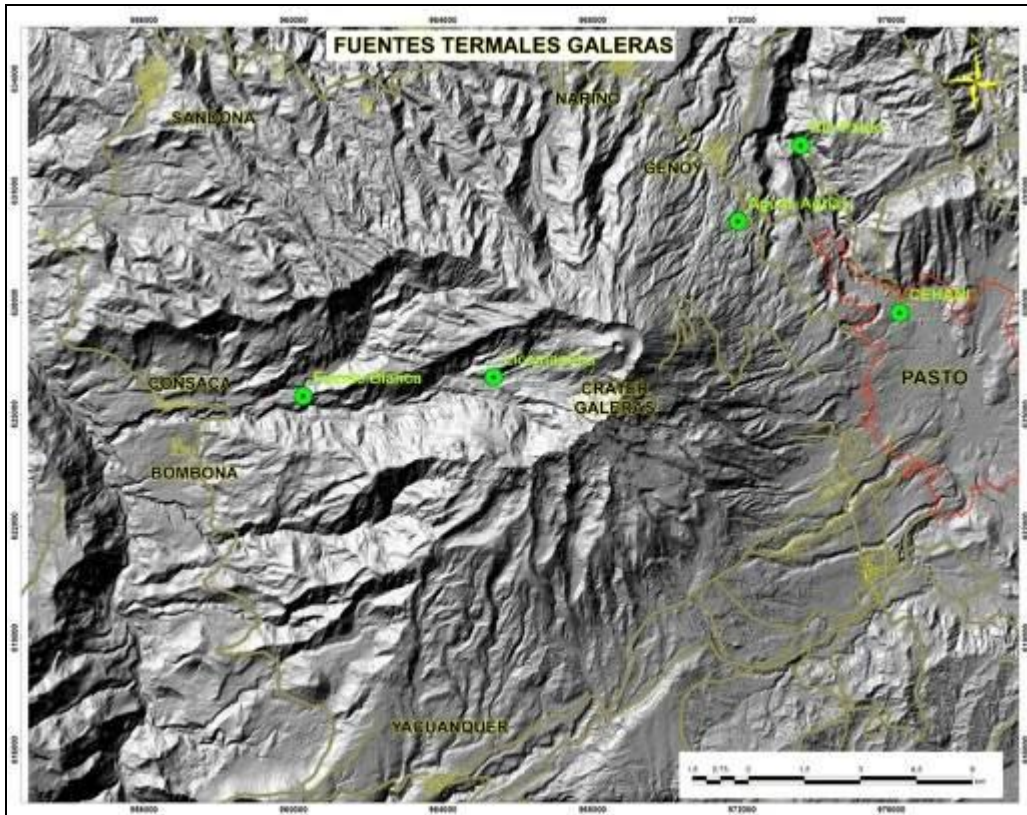
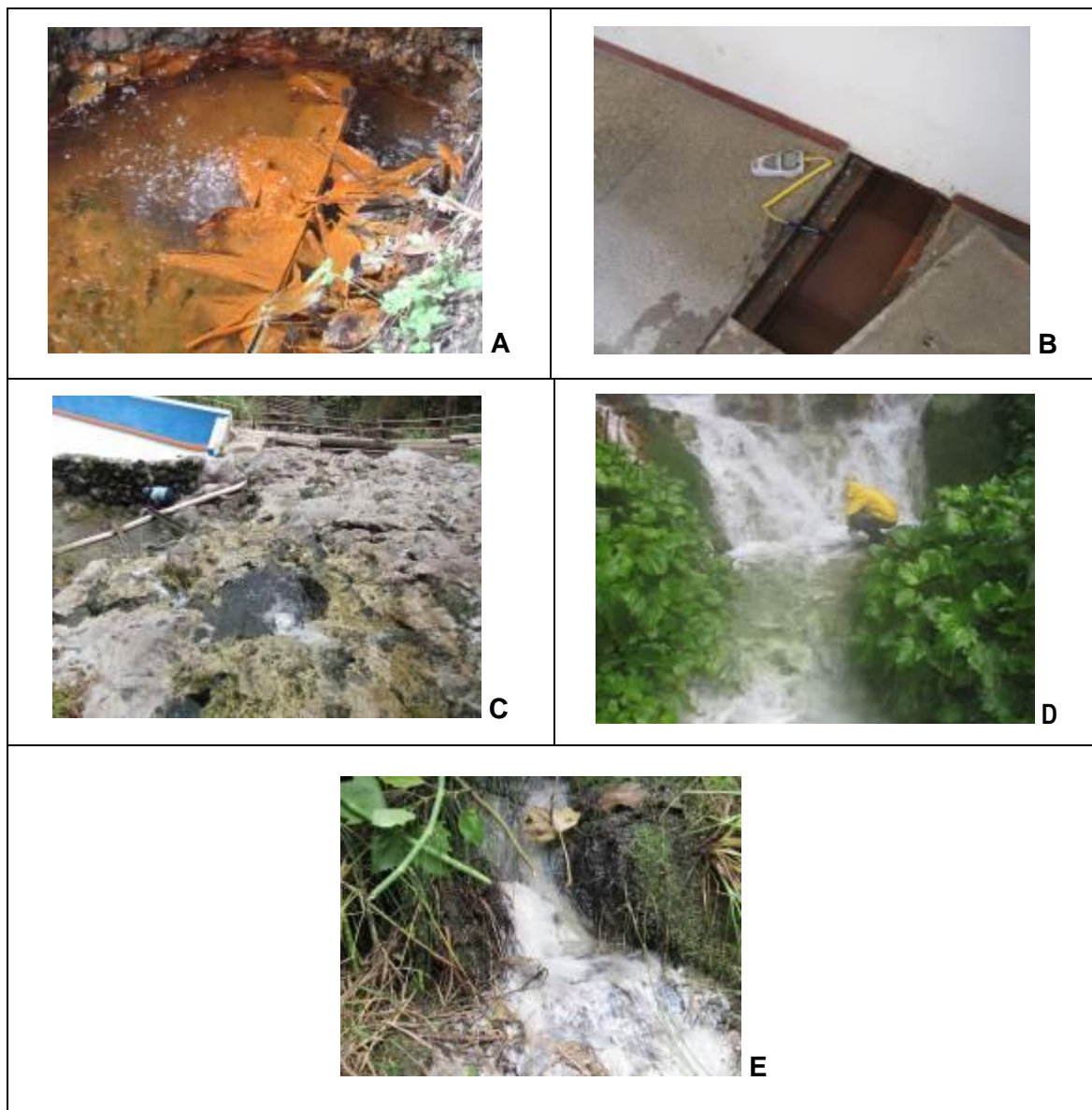


Figura 36. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

Tabla 11. Ubicación geográfica fuentes termales volcán Galeras.

FUENTES TERMALES VOLCÁN GALERAS	Nombre Estación	Tipo	Latitud °N	Longitud °W	Altitud (msnm)
	Cehani	No telemétrica	01°13'46.3"	77° 17' 28.6"	2502
	Aguas Agrias	No telemétrica	01° 15' 6.2"	77° 19' 48.4"	2227
	Río Pasto	No telemétrica	01°16'12.6"	77° 18' 54.3"	2146
	Fuente Blanca	No telemétrica	01°12'33.6"	77° 26' 4.8"	2432
	Licamancha	No telemétrica	01° 12' 50"	77° 23' 20"	2702

**Tabla 12.** Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras muestreadas en noviembre 2015.



La figura 37 presenta el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de noviembre del 2015 para las fuentes termales visitadas. Los colores en las gráfica indican el estado de acidez o basicidad del manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para el pH.

El día 11 de noviembre del 2015 se visitaron tres de las fuentes termales que hacen parte de la red de monitoreo de aguas de origen volcánico asociadas al volcán Galeras (Rio Pasto, Aguas agrias y Cehani), y para el día 26 de noviembre se realizó la comisión de campo para visitar las dos fuentes restantes. La figura 38 representa el comportamiento del parámetro pH en los diferentes muestreos

realizados a través del tiempo de monitoreo de las termales, y se puede evidenciar que las FT Río Pasto y Cehani continúan en los valores normales registrados sobre la línea base de estudio luego de presentar dos mediciones altas en meses anteriores. La tabla 13 muestra la clasificación de las aguas termales de acuerdo a la temperatura.

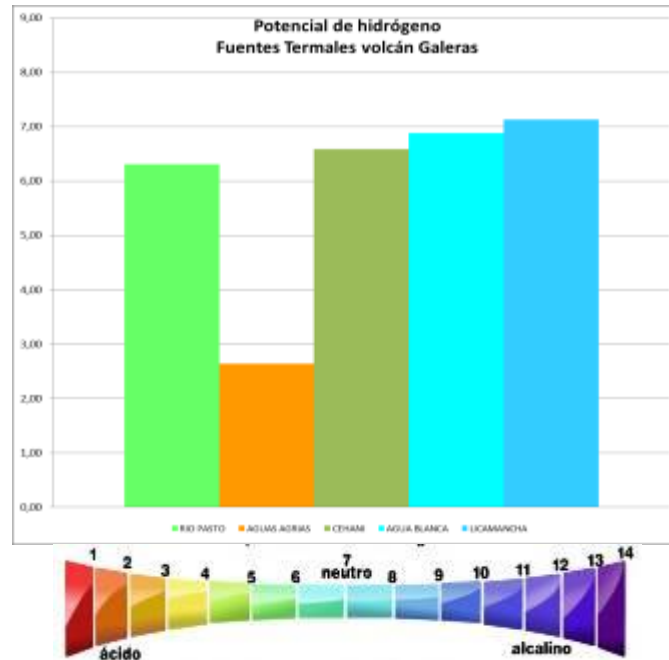


Figura 37. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras mes en noviembre 2015.

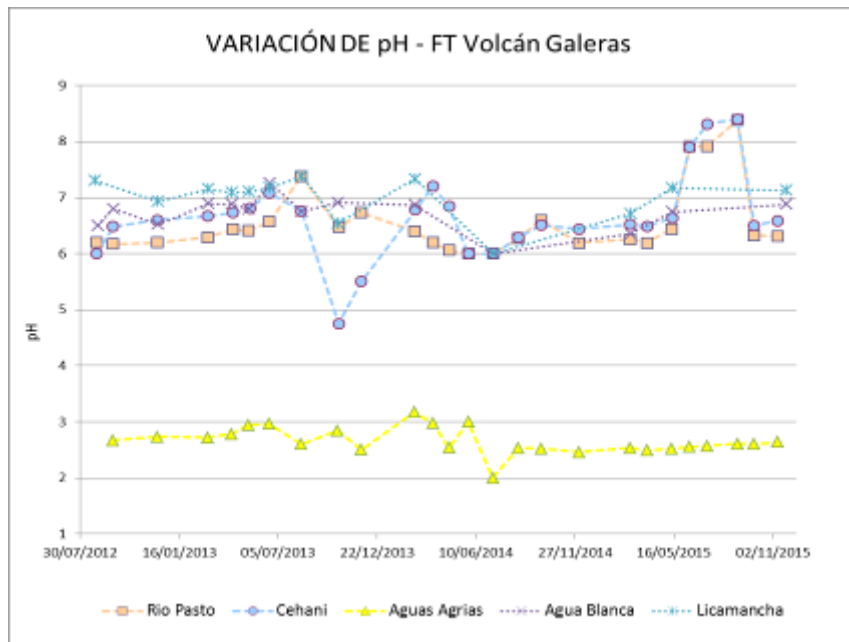


Figura 38. Comportamiento del pH de las FT Volcán Galeras hasta noviembre de 2015.

**Tabla 13.** Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.

TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN
20-35°C	Aguas hipotermas
35-45°C	Aguas mesotermas
45-100°C	Aguas hipertermas
100-150°C	Aguas supertermas

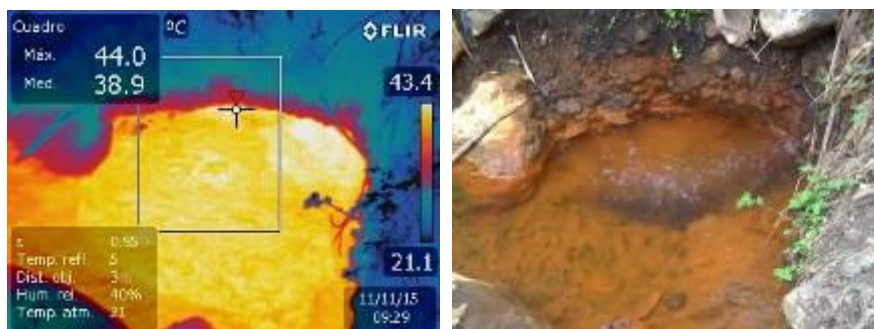
Por lo anterior los manantiales se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- **Fuente termal Río Pasto**

Temperatura superficial: 43,2°C (Temperatura registrada en noviembre de 2015 con termómetro digital y cámara térmica).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 35°C y 45°C (Figura 39), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 3,3 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.



**Figura 39.** Imagen térmica FT Río Pasto noviembre 2015.

- **Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 27,4°C. (Temperatura registrada en noviembre de 2015 con termómetro digital y cámara térmica)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 30°C (Figura 40), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 4,2 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

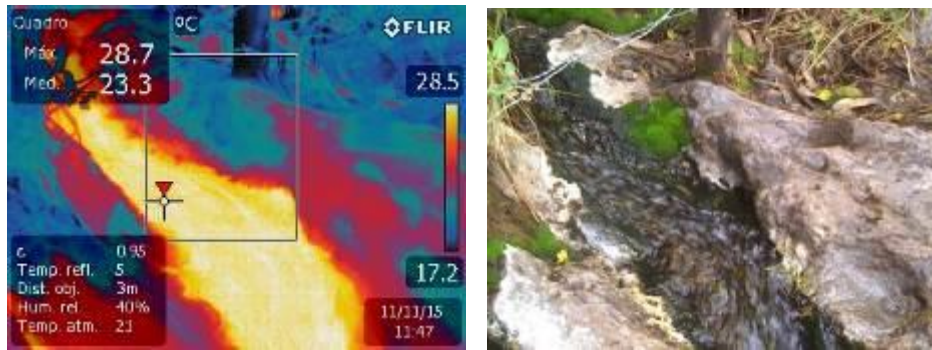


Figura 40. Imagen térmica FT Aguas Agrias noviembre 2015.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 36,9°C. (Temperatura registrada en noviembre de 2015 con termómetro digital y cámara térmica)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Las temperaturas de las manifestaciones termales se encuentran entre los 35°C y 45°C (Figura 41), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2,6 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

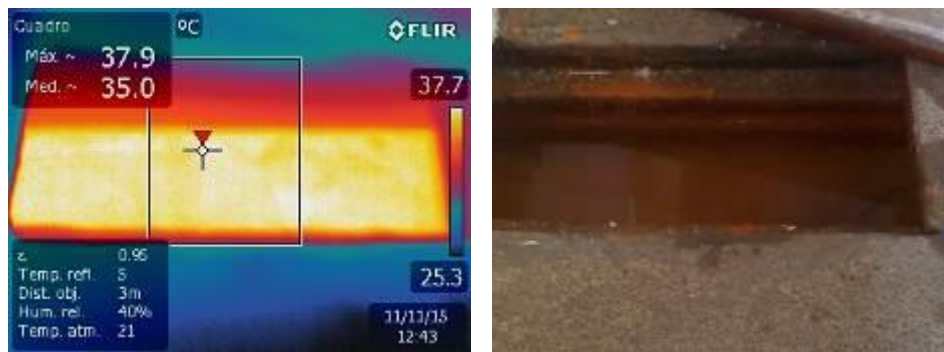


Figura 41. Imagen térmica FT Cehani noviembre 2015.

- **Fuente termal Fuente blanca**

Temperatura superficial: 23,5°C. (Temperatura registrada en noviembre de 2015 con termómetro digital y cámara térmica)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Las temperaturas de las manifestaciones termales se encuentran entre los 20°C y 35°C (Figura 42), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2,7 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

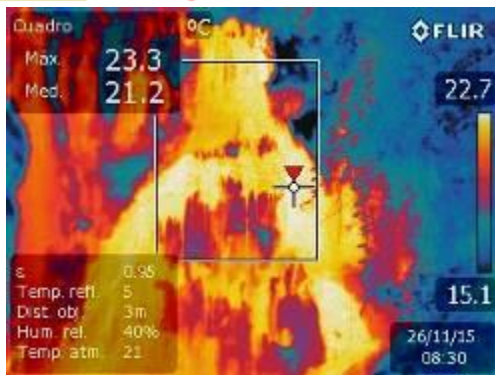


Figura 42. Imagen térmica FT Fuente Blanca noviembre 2015.

- **Fuente termal Licamancha**

Temperatura superficial: 23,1°C. (Temperatura registrada en noviembre de 2015 con termómetro digital y cámara térmica)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Las temperaturas de las manifestaciones termales se encuentran entre los 20°C y 35°C (Figura 43), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2,6 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

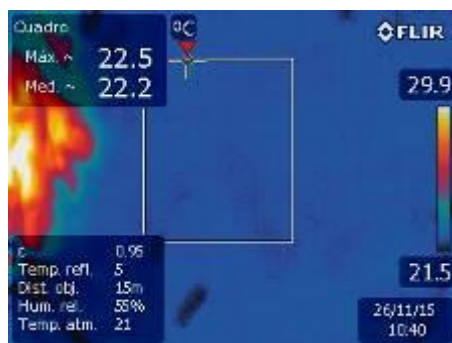


Figura 43. Imagen térmica FT Licamancha noviembre 2015.

A continuación se presentan los gráficos sobre la variación de datos fisicoquímicos registrados a partir de datos históricos y aquellos registrados en la última visita de campo.

La figura 44 muestra un comportamiento estable en la temperatura de las FT pertenecientes a la zona de influencia del volcán Galeras, presentan una relativa estabilidad y no se registran cambios significativos en el comportamiento de esta variable durante el último año. Para las fuentes termales Agua Blanca y Licamancha se observa una tendencia de aumento en la temperatura en los últimos cinco muestreos, desde finales del año 2013 a finales de 2015 se registra un aumento de aproximadamente 3°C; sin embargo, son temperaturas cercanas a las que se habían registrado en periodos anteriores.



La figura 45, muestra la variación de la conductividad eléctrica en las aguas de las fuentes termales asociadas al volcán Galeras, se observa estabilidad en los valores de conductividad en las tres fuentes termales en comparación a meses anteriores.

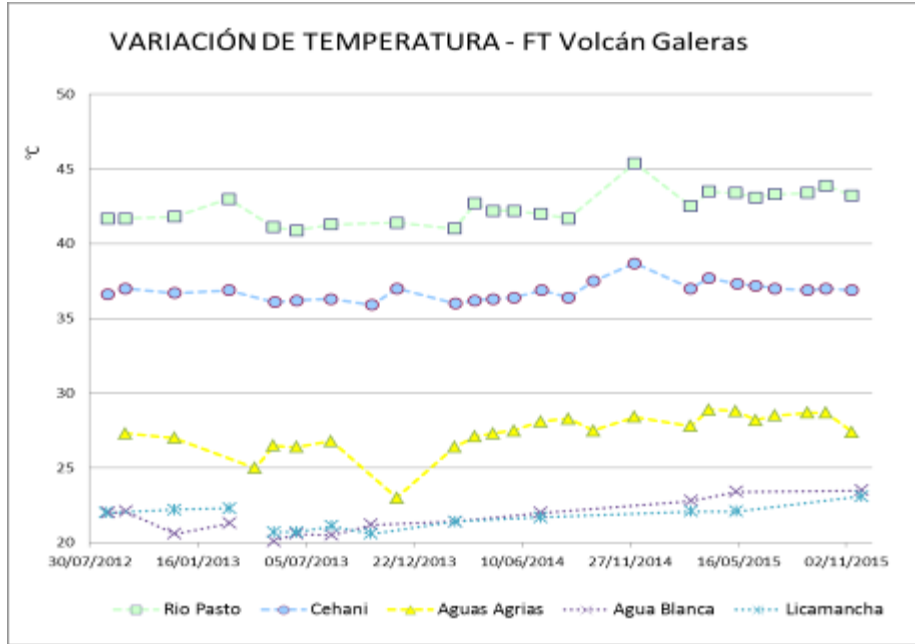


Figura 44. Comportamiento de la temperatura de las FT Volcán Galeras hasta noviembre de 2015.

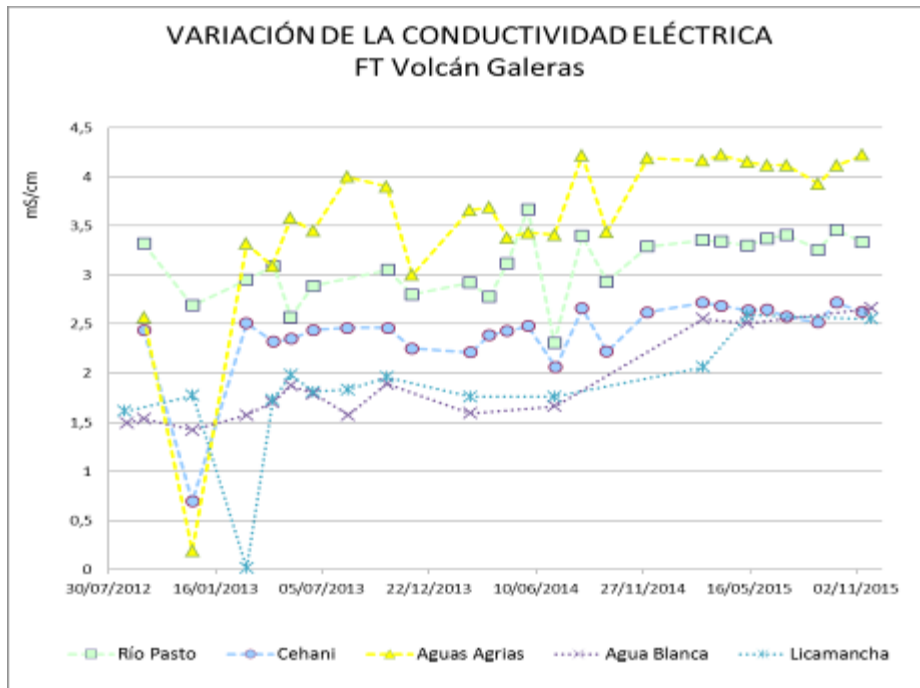


Figura 45. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcán Galeras hasta noviembre de 2015.

La concentración del ion bicarbonato determinado en campo mediante valoración con ácido clorhídrico frente a indicador azul de bromofenol, presenta estabilidad sin variaciones significativas; en Aguas Agrias no se registra evidencia de la presencia del ion, mientras que para la FT Cehani se observa un pequeño descenso en el valor de la concentración y en Rio Pasto se mantiene estable, para las fuentes termales Agua Blanca y Licamancha se registra una variación normal a las registradas en periodos anteriores (Figura 46).

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

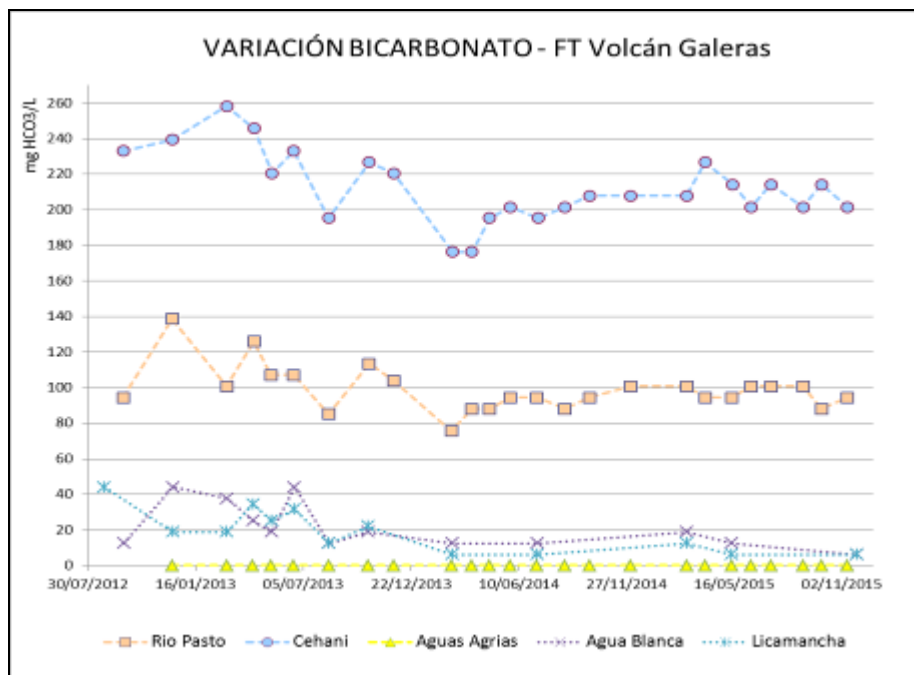


Figura 46. Comportamiento del contenido de Bicarbonato de las FT Volcán Galeras hasta noviembre de 2015.

## 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 la mayor parte del mes, exceptuando los días 1 y 11 de noviembre. 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 47 a 50 se presentan imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en noviembre de 2015.



**Figura 47.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en la repetidora Bruma el 3 de noviembre de 2015 a las 6:02 a.m.



**Figura 48.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 10 de noviembre de 2015 a las 3:37 p.m.



**Figura 49.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 28 de noviembre de 2015 a las 6:25 p.m.



**Figura 50.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en la sede del OVSP el 29 de noviembre de 2015 a las 5:59 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, en la mayor parte del periodo evaluado se evidenció emisiones de gases con columnas de baja altura respecto a la cima de Galeras, las cuales se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos. Los principales focos de emisión continúan siendo el Cráter principal y los cráteres secundarios El Paisita y Chavas ubicados en el sector norte y occidente de la cima del cono volcánico.

El análisis de los diferentes parámetros para el monitoreo del volcán Galeras permitió que el nivel de actividad continúe en **AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

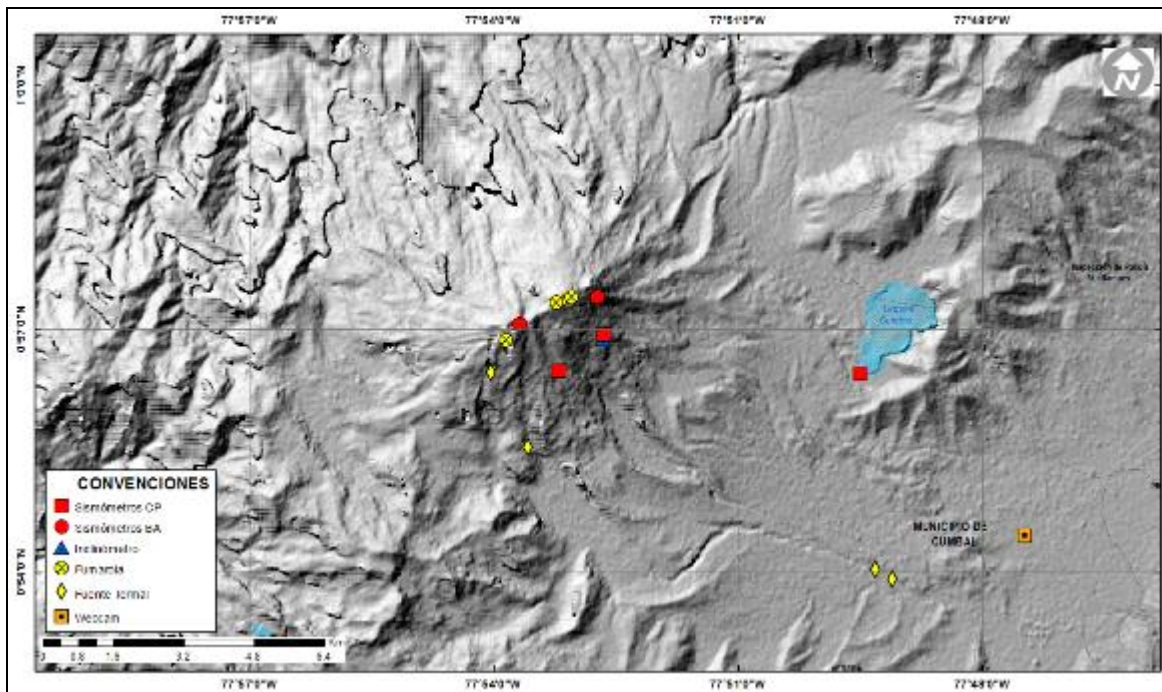
## 2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – NOVIEMBRE DE 2015

### 2.1. RED DE VIGILANCIA

En noviembre de 2015 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 51, Tabla 14).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 51, Tabla 14).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 52).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 51).

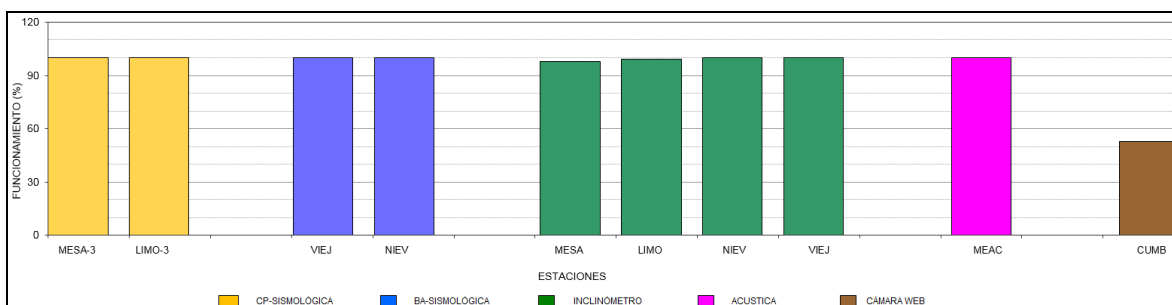
Para este periodo las estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica y la cámara web tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 95% (Figura 52).



**Figura 51.** Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de noviembre de 2015.

**Tabla 14.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante noviembre de 2015.

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



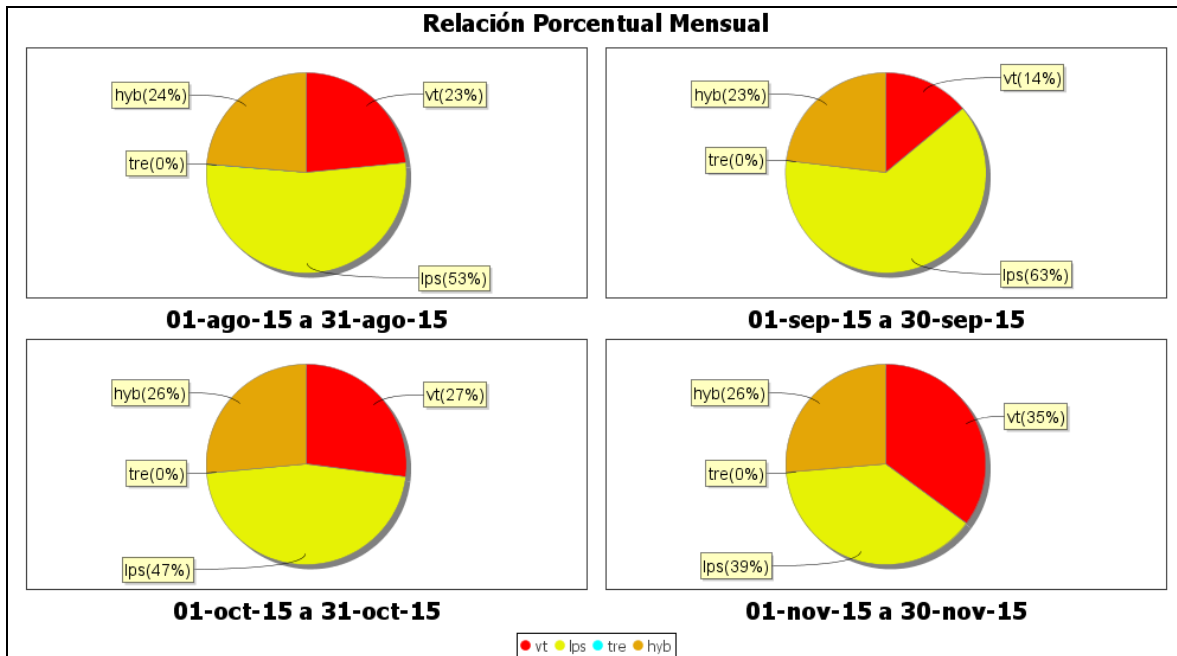
**Figura 52.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en noviembre de 2015.

## 2.2. SISMOLOGÍA

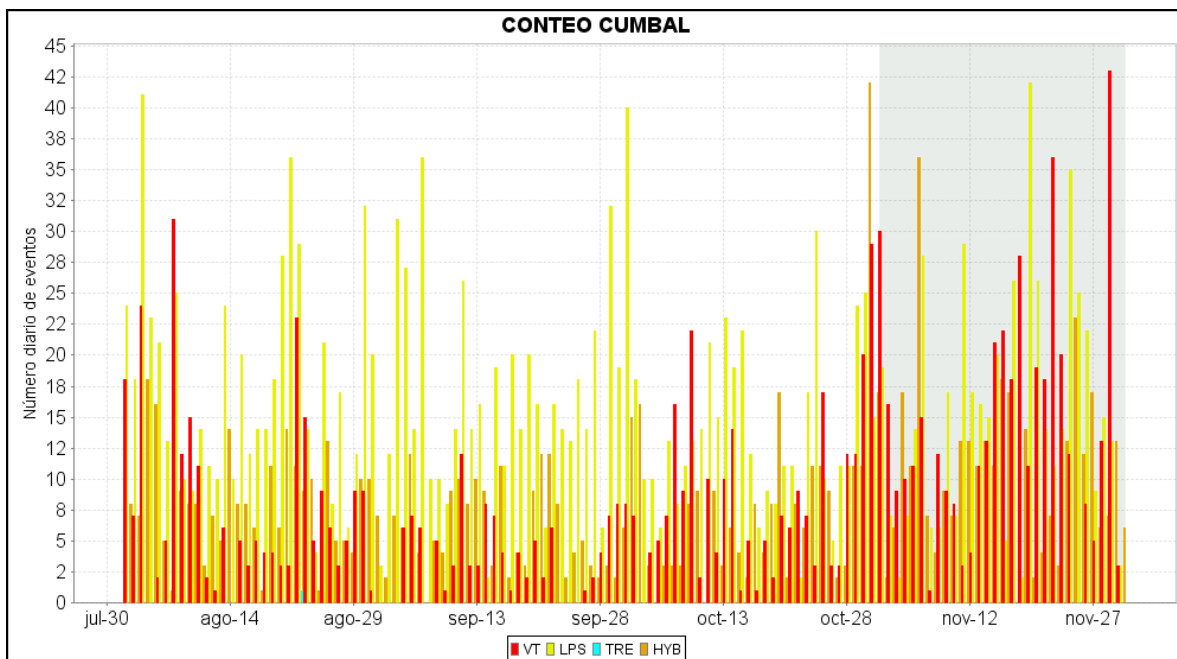
En el mes de noviembre de 2015, la ocurrencia sísmica aumentó en un 26,9% en comparación a octubre de 2015, pasando de 964 a 1223 eventos. La sismicidad dominante fue de tipo LPS en un porcentaje del 38,6% con el registro de 3 eventos tipo Tornillo – TOR, seguido por los eventos tipo VT con un 35,1% y los HYB aportaron con el 26,3%. En este periodo no se tuvo registro de eventos tipo TRE (Tabla 15, Figuras 53 y 54).

**Tabla 15.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015 (resaltado en color verde).

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	TOTAL
01-ago-15 a 31-ago-15	246	558	1	248	4	1053
01-sep-15 a 30-sep-15	107	483	0	177	5	767
01-oct-15 a 31-oct-15	260	450	0	254	7	964
01-nov-15 a 30-nov-15	429	472	0	322	3	1223

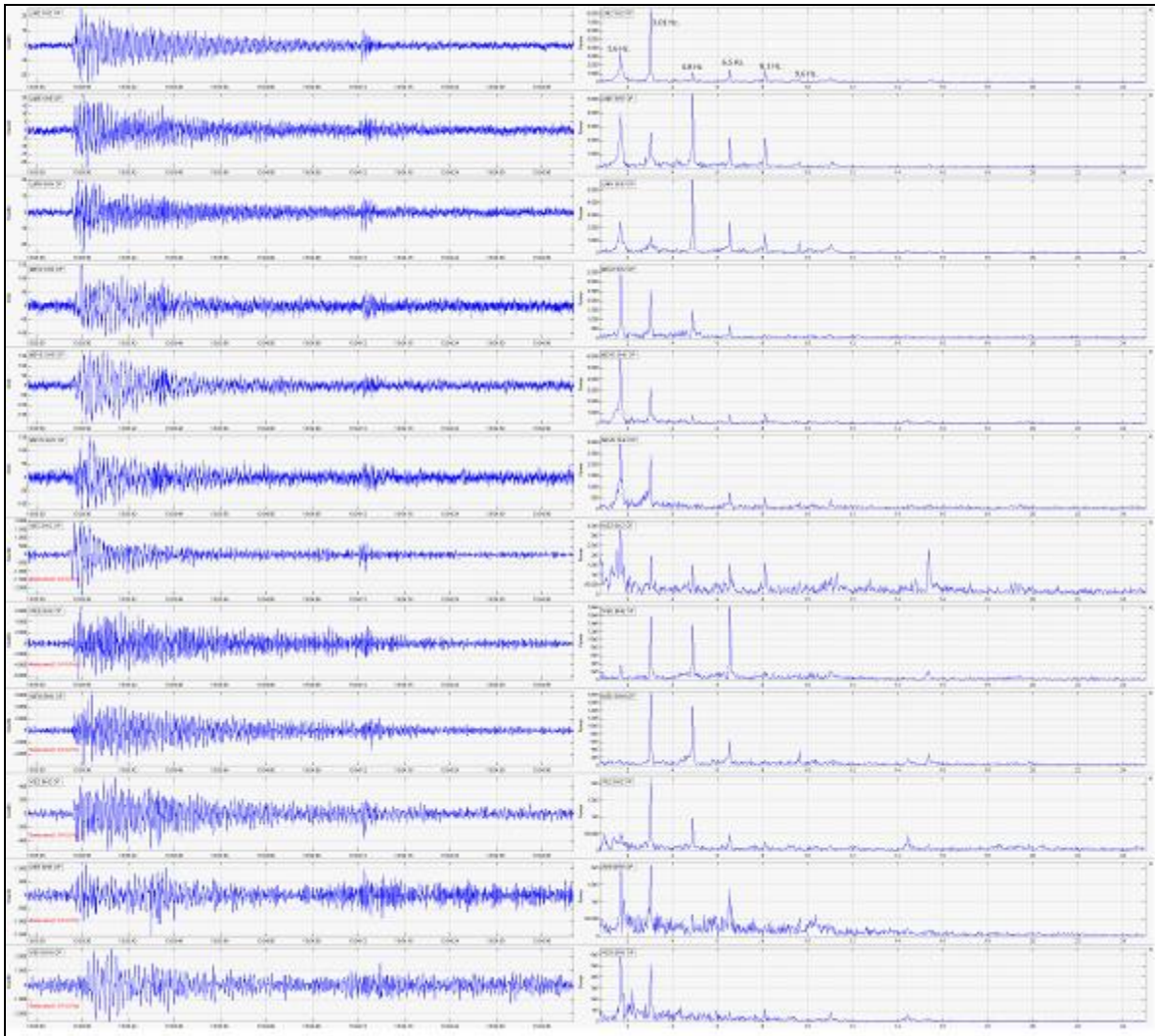


**Figura 53.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre agosto y noviembre de 2015. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.



**Figura 54.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.

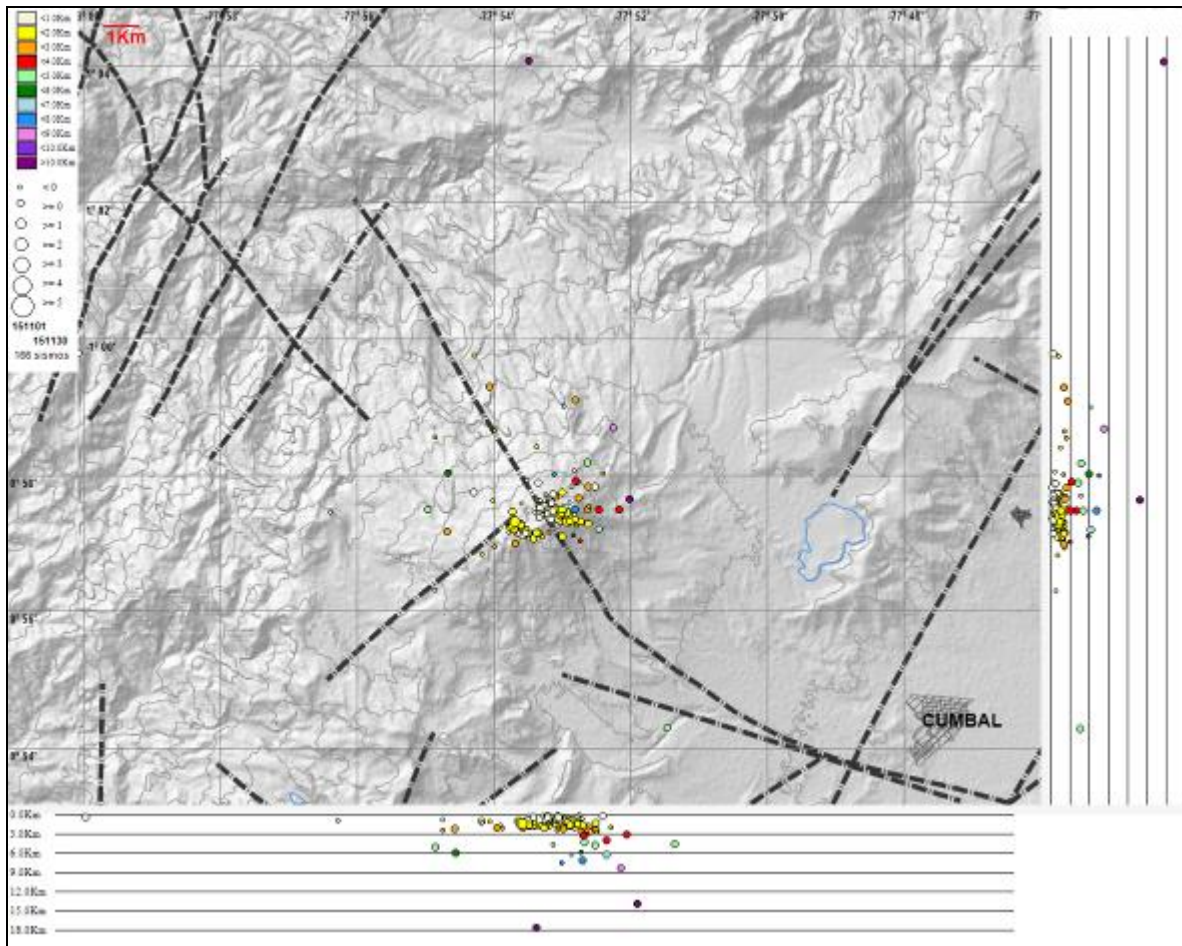
A manera de ejemplo, la Figura 55 muestra el registro de un evento asociado con movimiento de fluidos tipo TOR registrado el 10 de noviembre a las 8:03 a.m., con frecuencia dominante de 3,01 Hz y subdominante de 1,6 Hz para la estación Limones.



**Figura 55.** Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 10 de noviembre de 2015 a las 8:03 a.m., el evento tuvo una duración de un minuto en la estación sísmica Limones.

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 166 sismos, 132 de ellos tipo VT, 32 HYB y 2 LPS, la mayoría de los eventos se localizaron a menos de 1,5 km de distancia respecto al centro volcánico Cumbal y profundidades de hasta 5 km respecto a la cima. Algunos de los eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, a distancias de hasta 12 km y profundidades de hasta 18 km respecto a la cima. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 1,3 en la escala de Richter (Figura 56). Se destaca que la mayoría de eventos asociados a fractura fueron de bajo nivel energético.

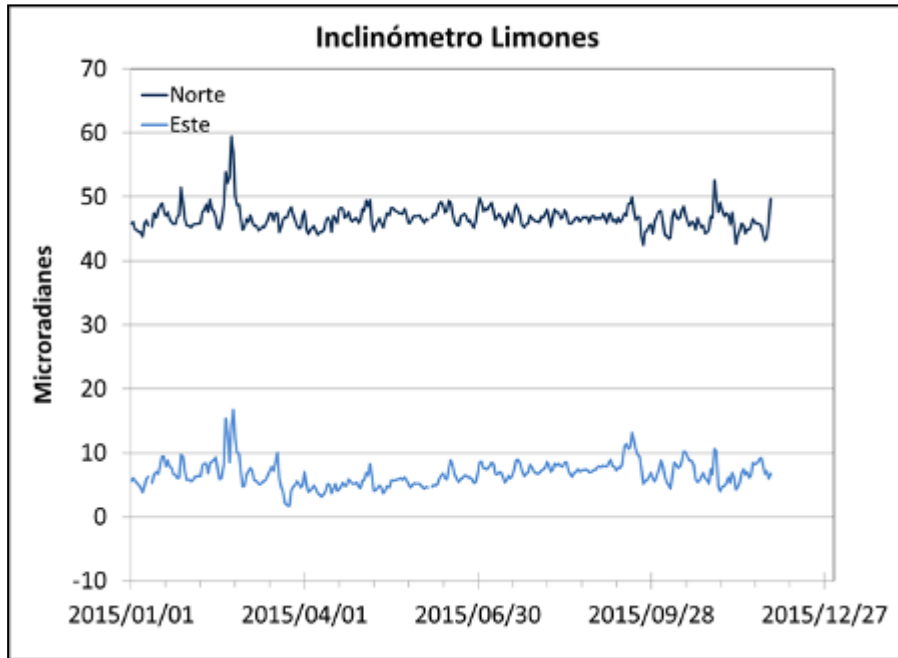




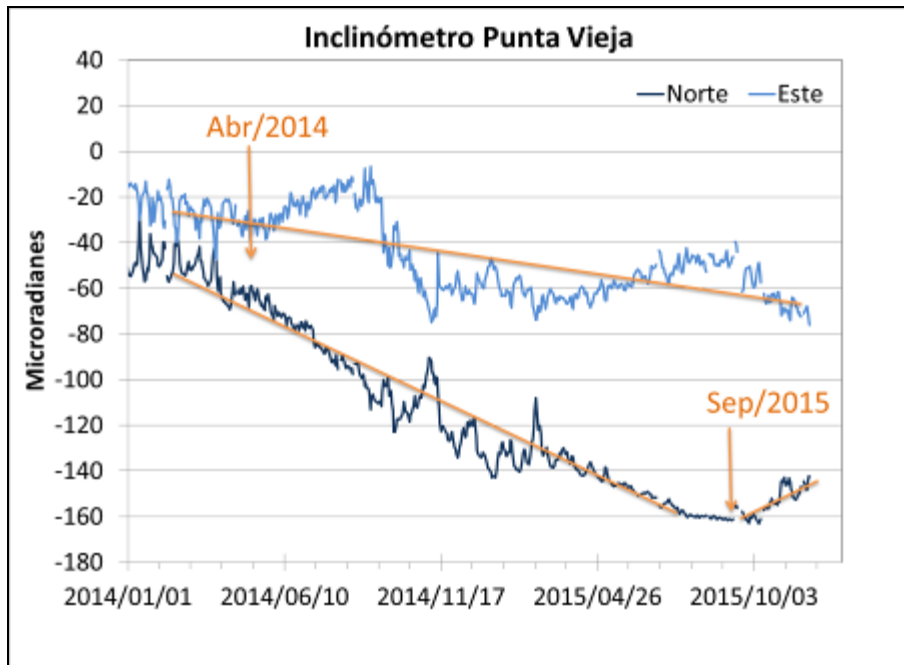
**Figura 56.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 30 de noviembre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

### 2.3. DEFORMACIÓN

Para el mes de noviembre de 2015, se contó con dos inclinómetros electrónicos, Limones (ubicado a 1,5 km al sureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4232 m.s.n.m.) y Punta Vieja (ubicado a 2 km al noreste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4519 m.s.n.m.). Las componentes del inclinómetro Limones continúan estables (Figura 57). En el inclinómetro Punta Vieja, se observa continuidad en la tendencia descendente que trae la componente Este, desde abril de 2014, acumulando hasta el 30 de noviembre de 2015 unos 40  $\mu\text{rad}$ ; la componente Norte, desde septiembre de 2015, indica un cambio de tendencia acumulando hasta el 30 de noviembre de 2015 una variación de 20  $\mu\text{rad}$ . (Figura 58).



**Figura 57.** Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 58.** Componentes de inclinación Norte, Este del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.

## 2.4. GEOQUIMICA.

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

## 2.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En noviembre de 2015 la actividad superficial se documentó a partir de las observaciones realizadas a los videos e imágenes de la cámara Web instalada en el municipio de Cumbal. Condiciones de clima favorables durante los días 3, 4 5, 6, 7, 8, 9, 26, 27 y 28, permitieron observar emisiones de gases de color blanco, provenientes principalmente de los campos fumarólicos El Verde (en Cumbal), Rastrojo y Boca Vieja (en Mundo Nuevo), las cuales fueron de baja altura y se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos (Figura 59).



**Figura 59.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 27 de noviembre de 2015 a las 6:27 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.

## 2.5. CONCLUSIONES

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

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de noviembre de 2015 permitió mantener para la actividad del volcán Cumbal, en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

### 3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO NOVIEMBRE DE 2015

#### 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 60).

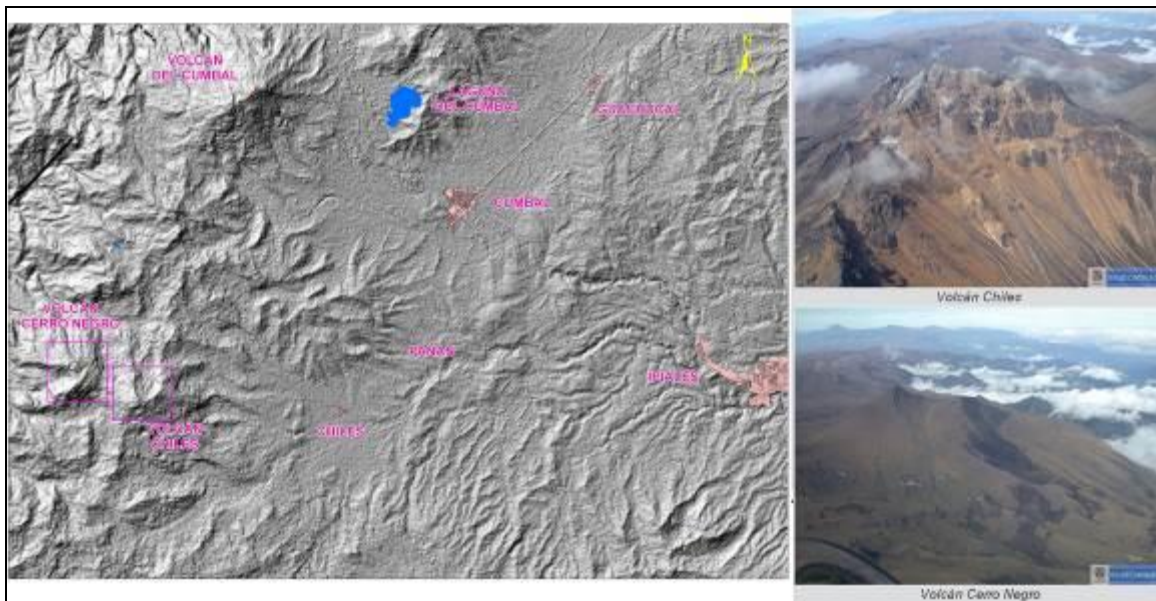
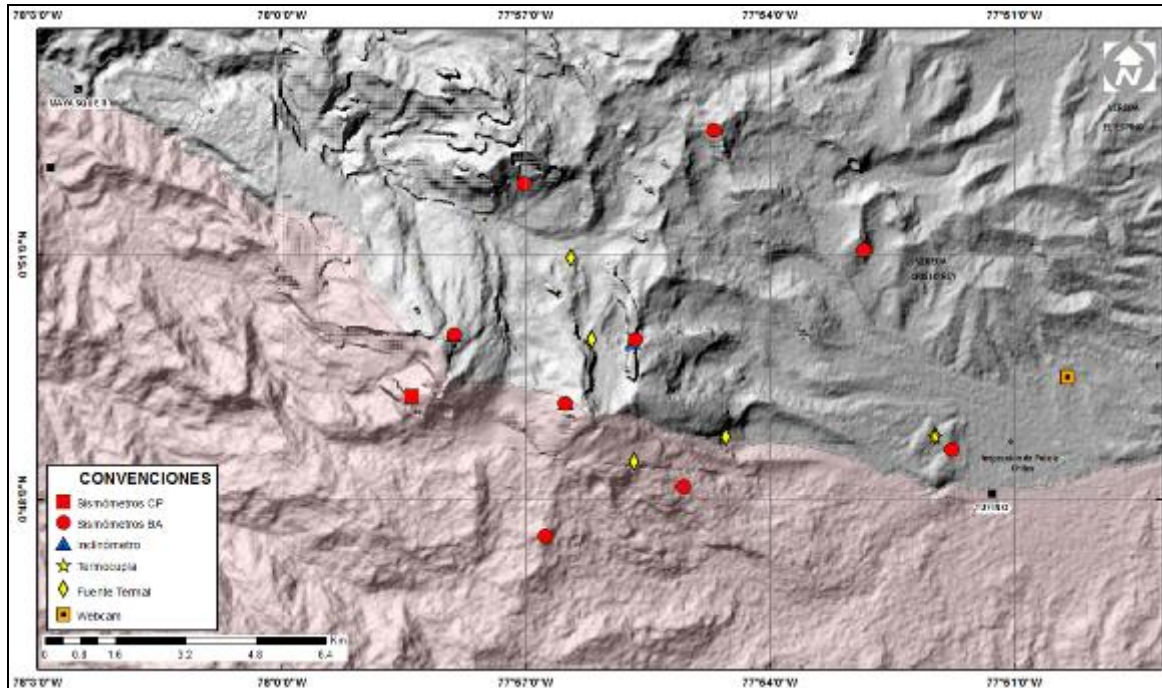


Figura 60. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

#### 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 denominada Termaltes (sismómetro) ubicada muy próxima a la estación térmica, en el sector de Baño Grande, 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 Termaltes (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 61, Tablas 16 y 17).

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 96,5 (Figura 62).








**Figura 61.** Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de noviembre de 2015.

**Tabla 16.** 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 17. 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

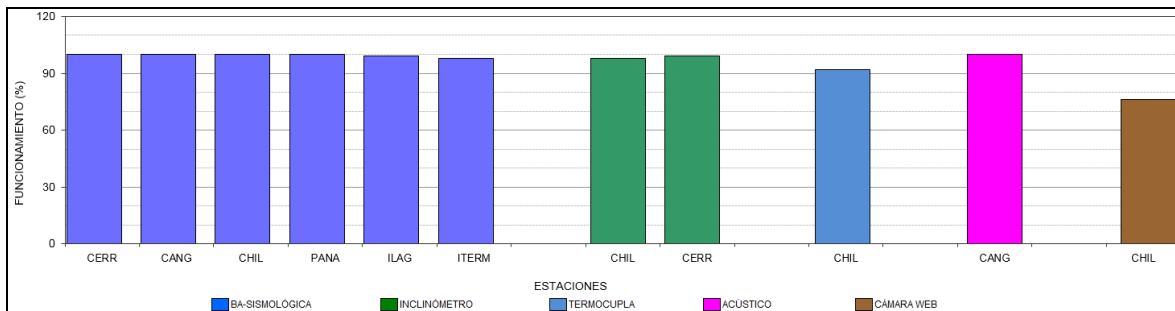
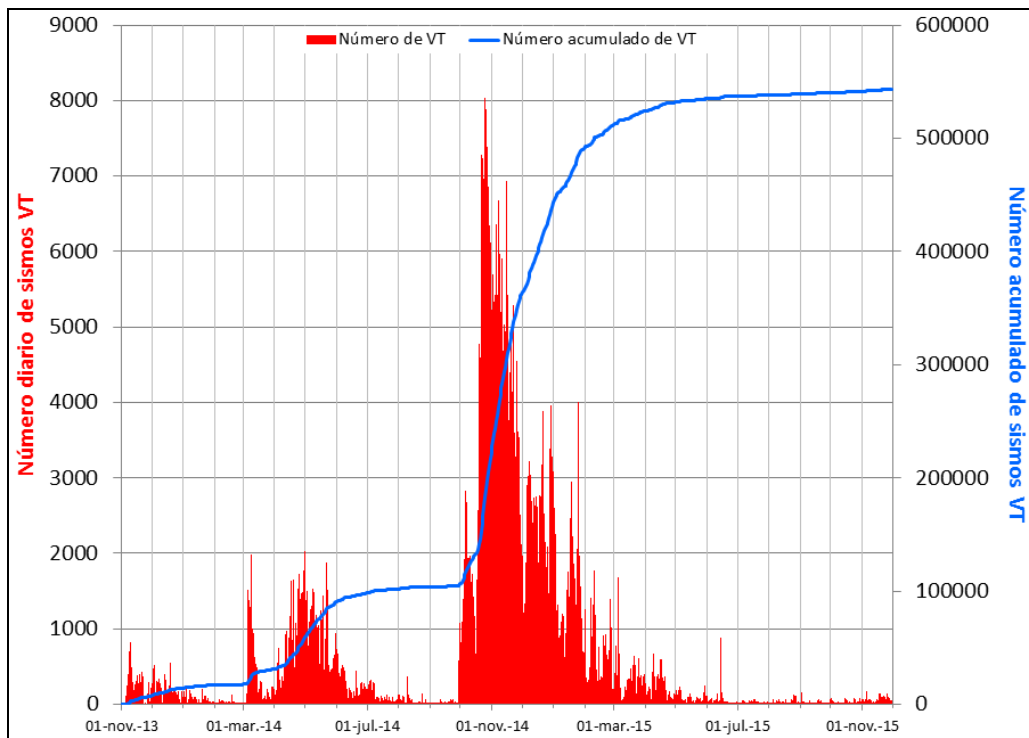


Figura 62. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante noviembre de 2015.

### 3.3. SISMOLOGÍA

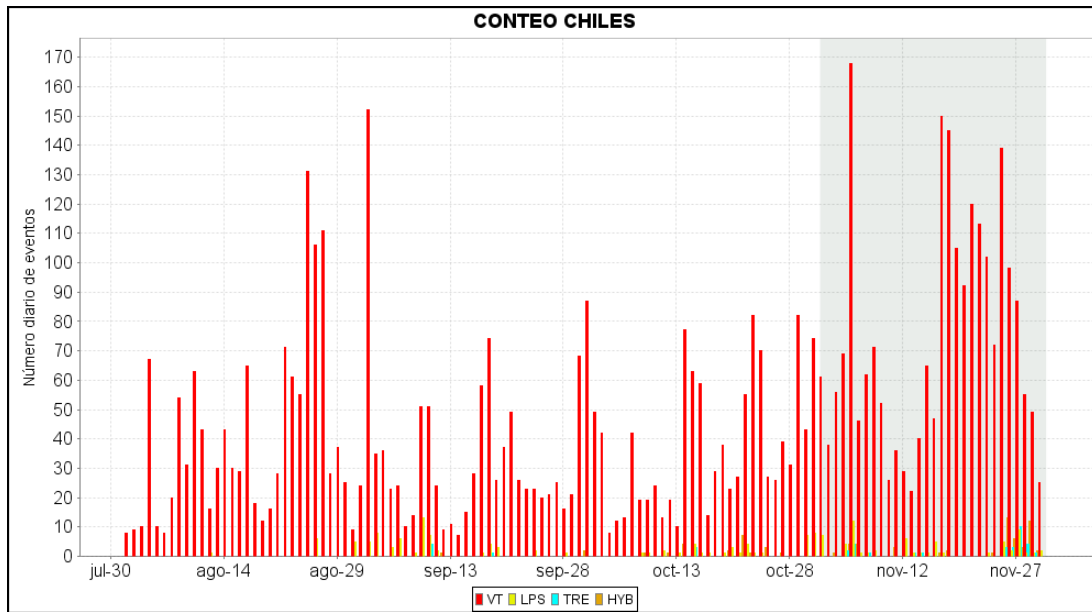
Respecto a la actividad del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de noviembre de 2015 la ocurrencia sísmica aumentó en un 86,9% respecto a la registrada en octubre de 2015, pasando de un total de 1276 a 2385 sismos, 2240 eventos fueron de tipo VT (Figura 63, Tabla 20). Con la instalación permanente de instrumentación especializada en noviembre 5 de 2013 hasta el 30 de noviembre de 2015 se han registrado en total 543706 sismos, la gran mayoría registrados entre septiembre 29 de 2014 y 30 de abril de 2015 con 432560 sismos. Se resalta que en los últimos seis meses la sismicidad tuvo un descenso muy notorio con algunas fluctuaciones en la ocurrencia sísmica diaria, adicionalmente en la actividad sísmica registrada en los cuatro últimos meses se destaca la presencia de eventos asociados con movimiento de fluidos de tipo magmático a profundidades menores a los 5 km (Tabla 18, Figura 64).



**Figura 63.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 30 de noviembre de 2015.

**Tabla 18.** Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-ago-15 a 31-ago-15	1244	12	0	0	1256
01-sep-15 a 30-sep-15	1001	56	5	3	1065
01-oct-15 a 31-oct-15	1216	37	3	20	1276
01-nov-15 a 30-nov-15	2240	63	30	52	2385

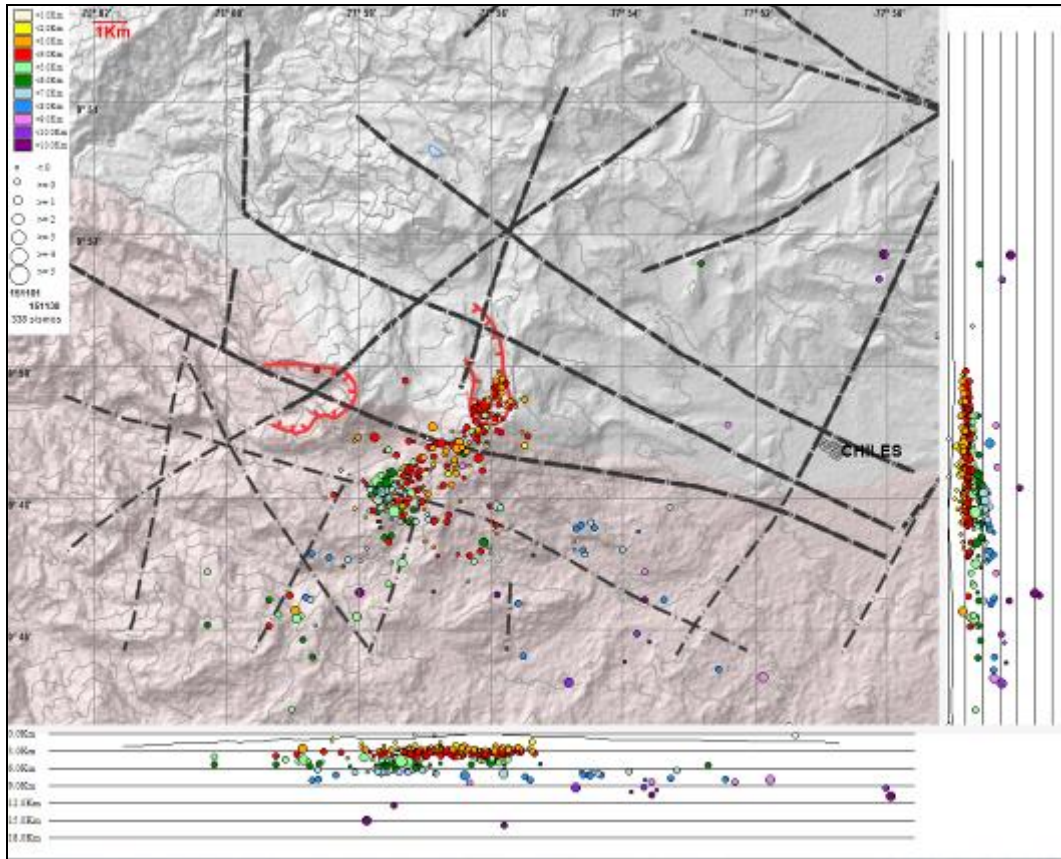


**Figura 64.** Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de agosto y noviembre de 2015.

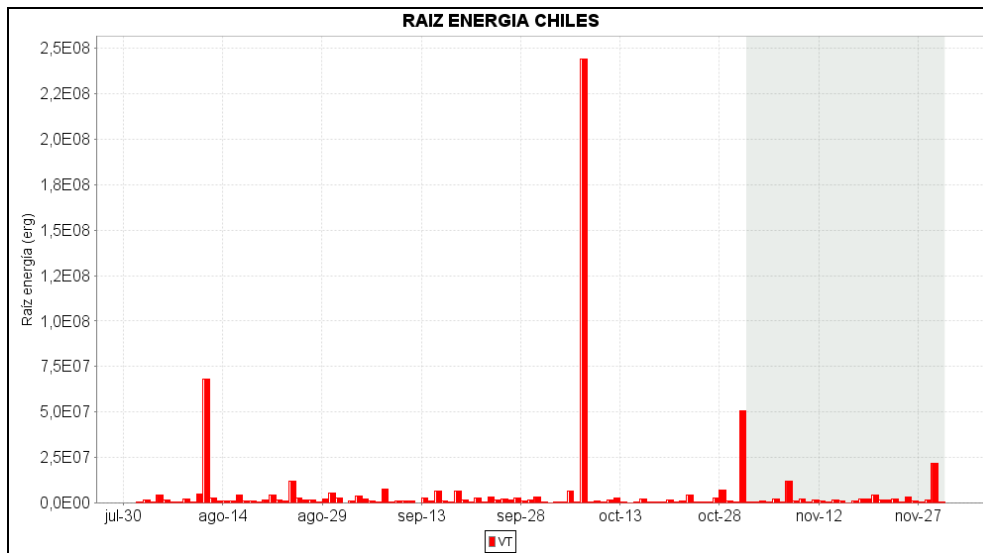
De los 338 eventos localizados, alguno se ubicaron en inmediaciones de la cima y hacia el sector suroccidente del volcán Chiles, con distancias epicentrales menores a 4,5 km respecto al centro del volcán Chiles y profundidades menores a 8 km respecto a su cima. Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 2,6 en la escala de Richter (Figura 65), sin embargo la mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 2 en la escala de Richter. En este periodo no se tuvo reportes de sismos sentidos.

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 66). Aun cuando el número de sismos incrementó, la energía liberada por estos eventos, fue menor que la del mes anterior, pasando de  $6.2 \times 10^{16}$  ergios a  $6.9 \times 10^{14}$  ergios, lo que indica que la mayoría de sismos ocurridos fueron de bajo nivel energético.





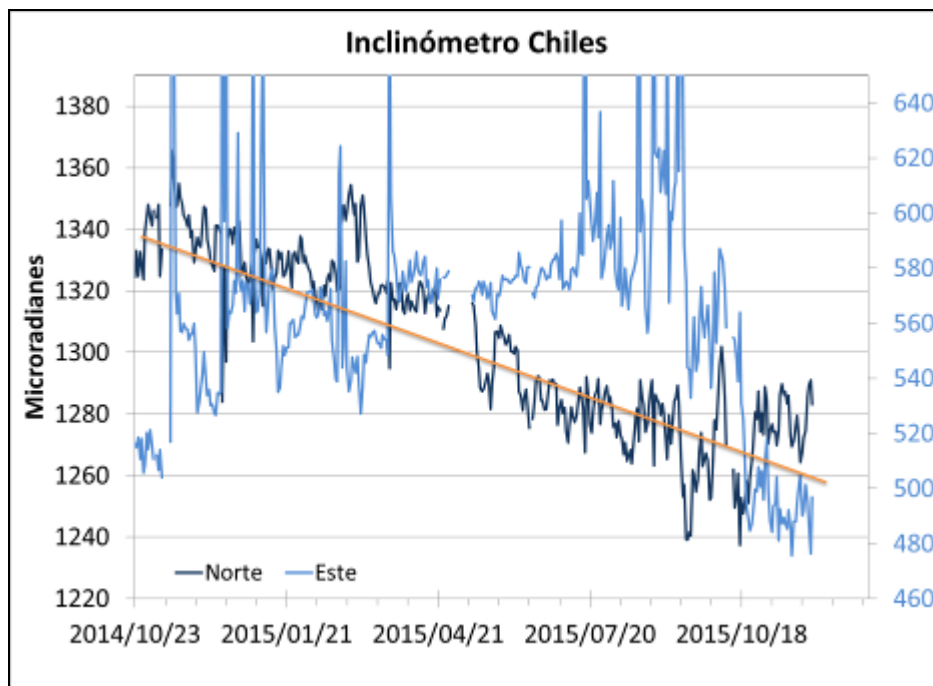
**Figura 65.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de noviembre de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.



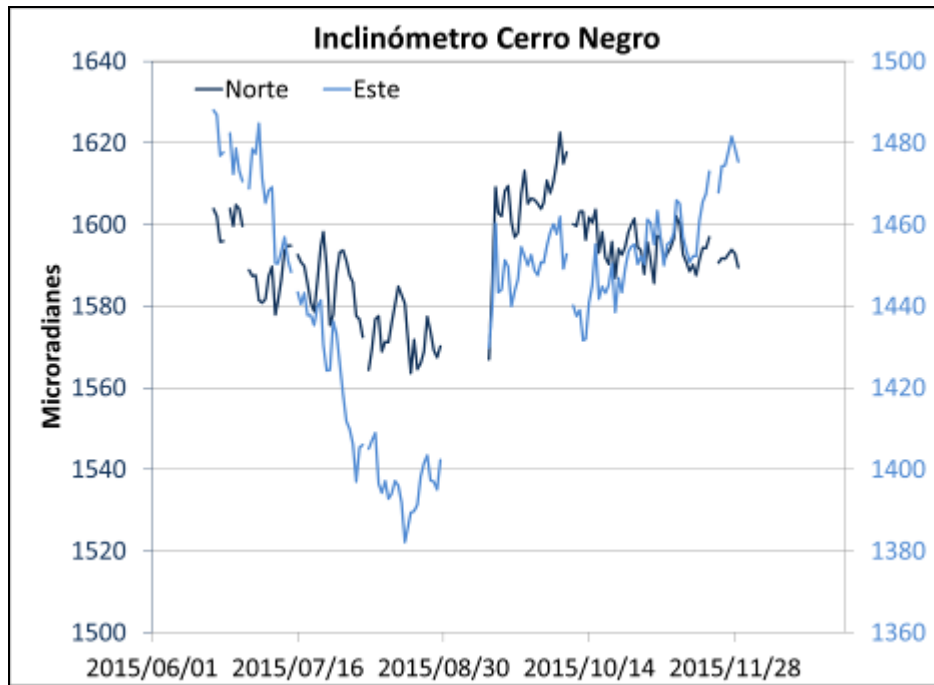
**Figura 66.** Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.

### 3.4. DEFORMACIÓN

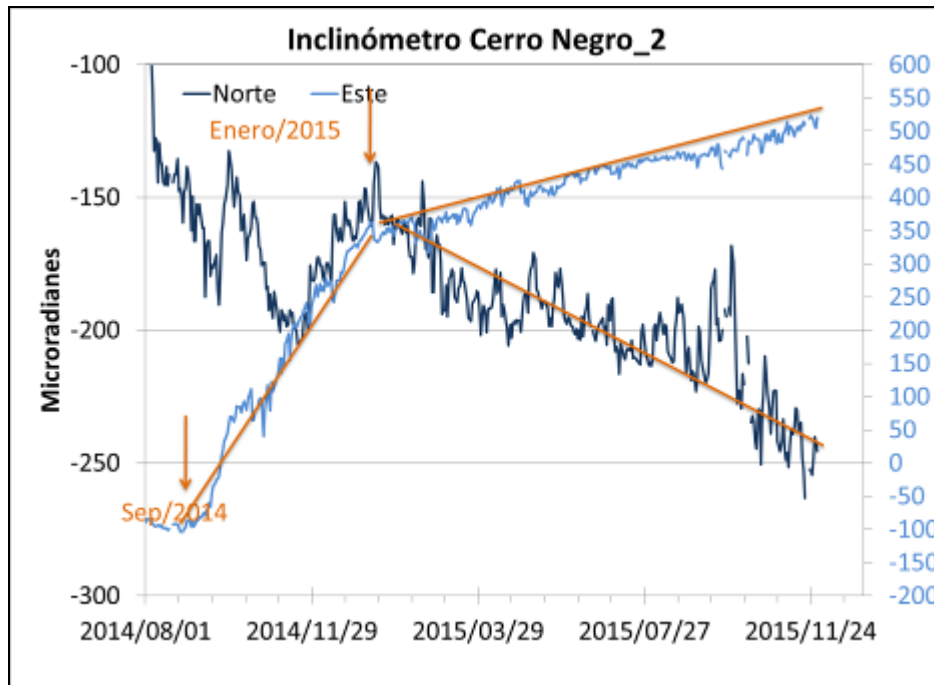
Continúa el comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte del sensor Chiles, variación cercana a los 70  $\mu\text{rad}$  desde el pasado 21 de octubre de 2014; se presenta estabilidad en el registro de la componente Este (Figura 67). Con respecto a los cambios mostrados por los inclinómetros ubicados sobre la superficie del volcán Cerro Negro, hasta el 18 de agosto se observó las tendencias descendentes registradas por las componentes de inclinación, alcanzando 30  $\mu\text{rad}$  la Norte y 106  $\mu\text{rad}$  la Este, posteriormente se observa estabilidad en la componente Norte y un ascenso en la Este, acumulando cerca de 80  $\mu\text{rad}$  (Figura 68). El inclinómetro Cneg2 paralelo al inclinómetro Cerro Negro (sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro), siguió mostrando el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Este, cuya variación es de 200  $\mu\text{rad}$  desde el mes de enero de 2015; por su parte la componente Norte muestra una tendencia descendente en su registro, con 100  $\mu\text{rad}$  (Figura 69).



**Figura 67.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 21 de octubre de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 68.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 69.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.

### 3.5. GEOQUÍMICA

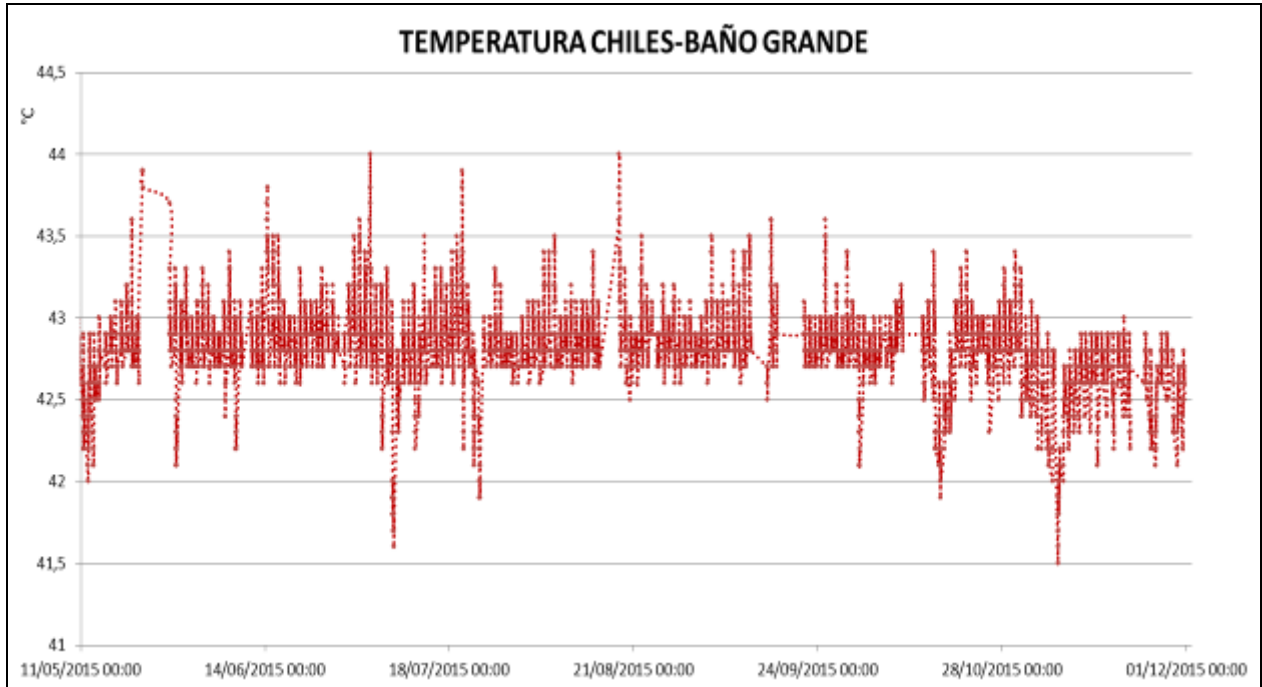
#### 3.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales del Volcán Chiles.

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 61, tabla 17), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo cada 10 minutos.

La figura 70 muestra los valores de temperatura diario, medidos aproximadamente entre las 9:30 a.m., a las 5:30 p.m., hora local, con un promedio de 42,6°C (Tabla 19). Durante el mes de noviembre se observa un descenso de la temperatura de 0,2°C respecto al mes anterior, con un mínimo de 41,5°C, no se registran variaciones significativas en lo evaluado durante el año. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continúa con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.



**Figura 70.** Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – noviembre de 2015.

**Tabla 19.** Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – Noviembre 2015.

VALOR	Temp. (°C)
Mínimo	42,6
Máximo	43,1
Promedio	41,5

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de noviembre de 2015 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

### 3.7. CONCLUSIÓN

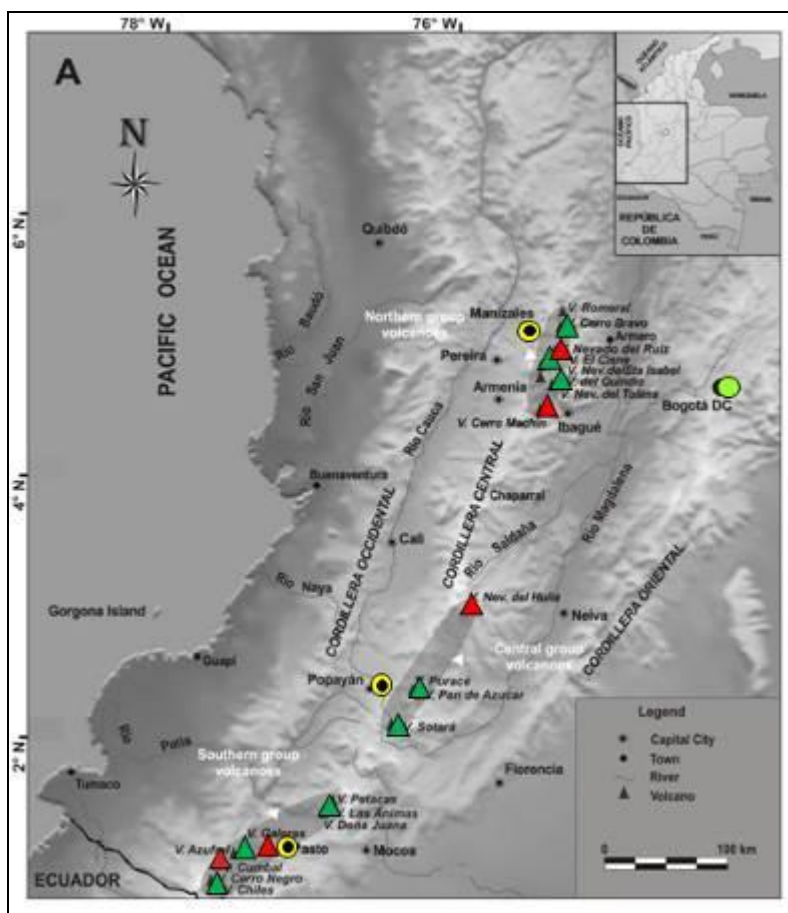
Aunque hasta el momento no se han observado cambios en las manifestaciones de actividad superficial, la actividad sísmica muestra una disminución gradual alcanzando hasta 80 sismos por día, asociados con una posible intrusión de magma en profundidad, por lo cual el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio y es posible que vuelvan a suceder sismos de niveles energéticos importantes que sean sentidos por pobladores de la zona de influencia volcánica. Por tanto, se recomienda a las autoridades y comunidades mantener precaución, permanecer atentos a la información y a las recomendaciones dadas por las entidades oficiales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de noviembre de 2015 permitió que la actividad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro permaneciera en **NIVEL AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

#### 4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – NOVIEMBRE DE 2015

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 71).

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



**Figura 71.** Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.

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

## 4.1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

### 4.1.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente de Colombia en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 Km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 Km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño y Florencia, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 72).

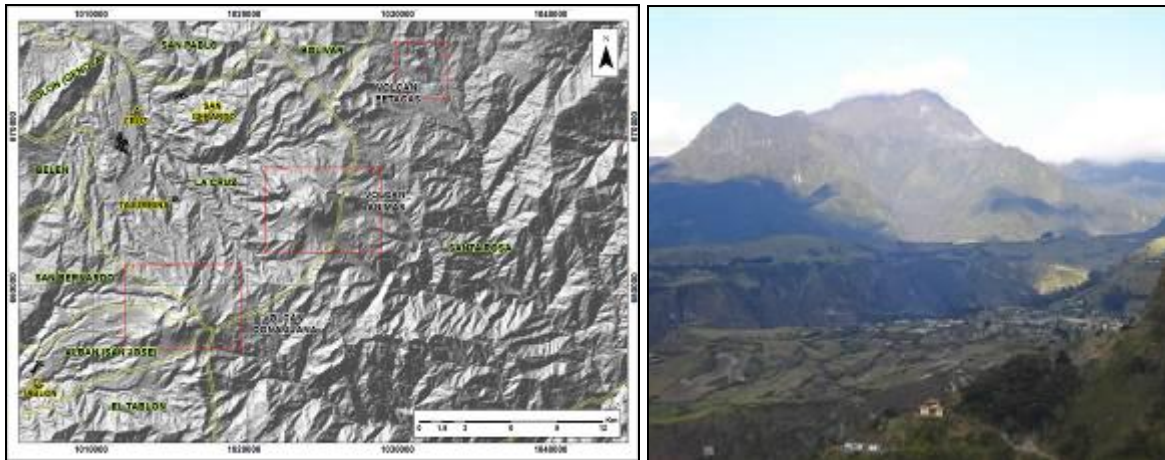


Figura 72. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

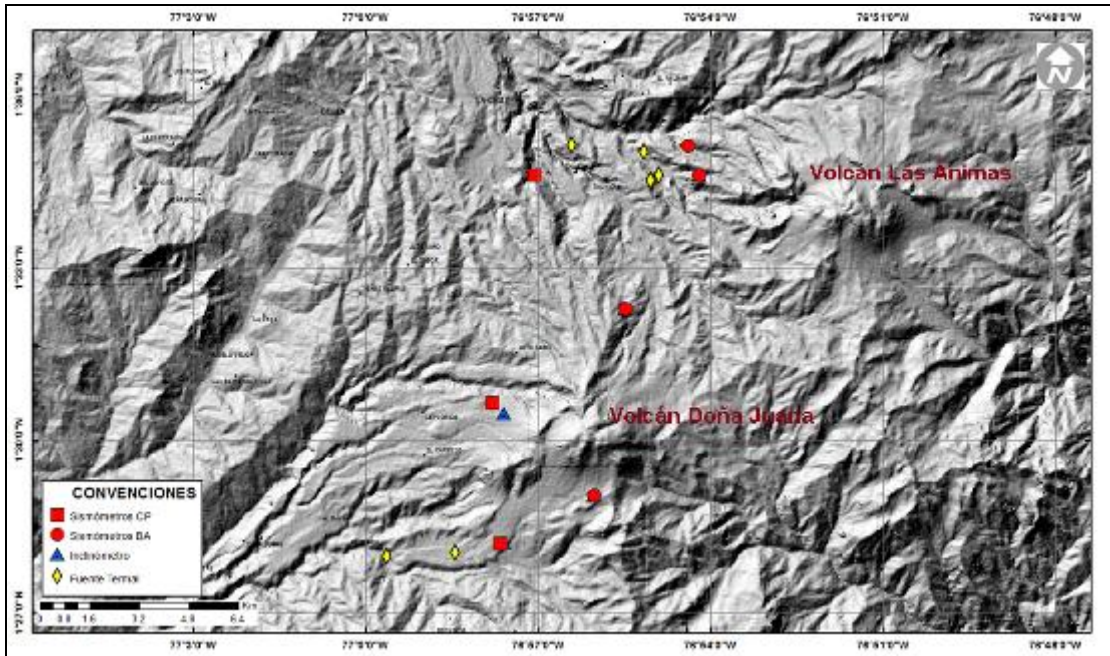
### 4.1.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas y dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental. 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 73 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 20 se consignan sus características.

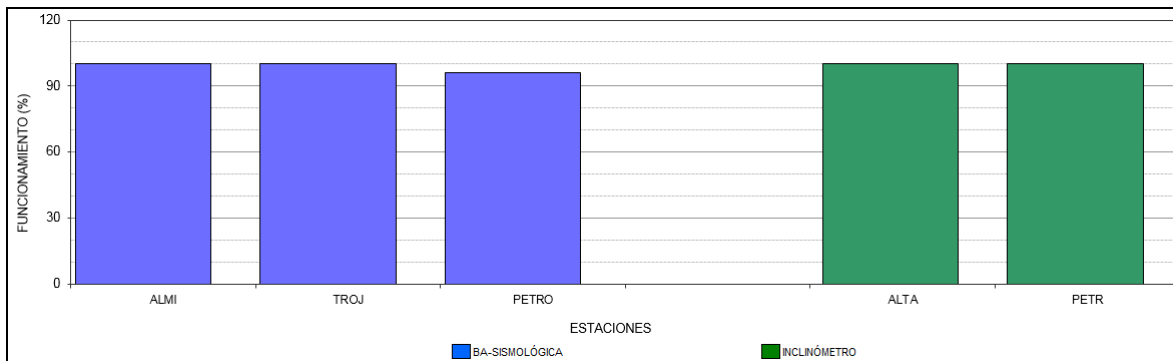
Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en noviembre de 2015.

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



**Figura 73.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de noviembre de 2015. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas. 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 99,2% (Figura 74).

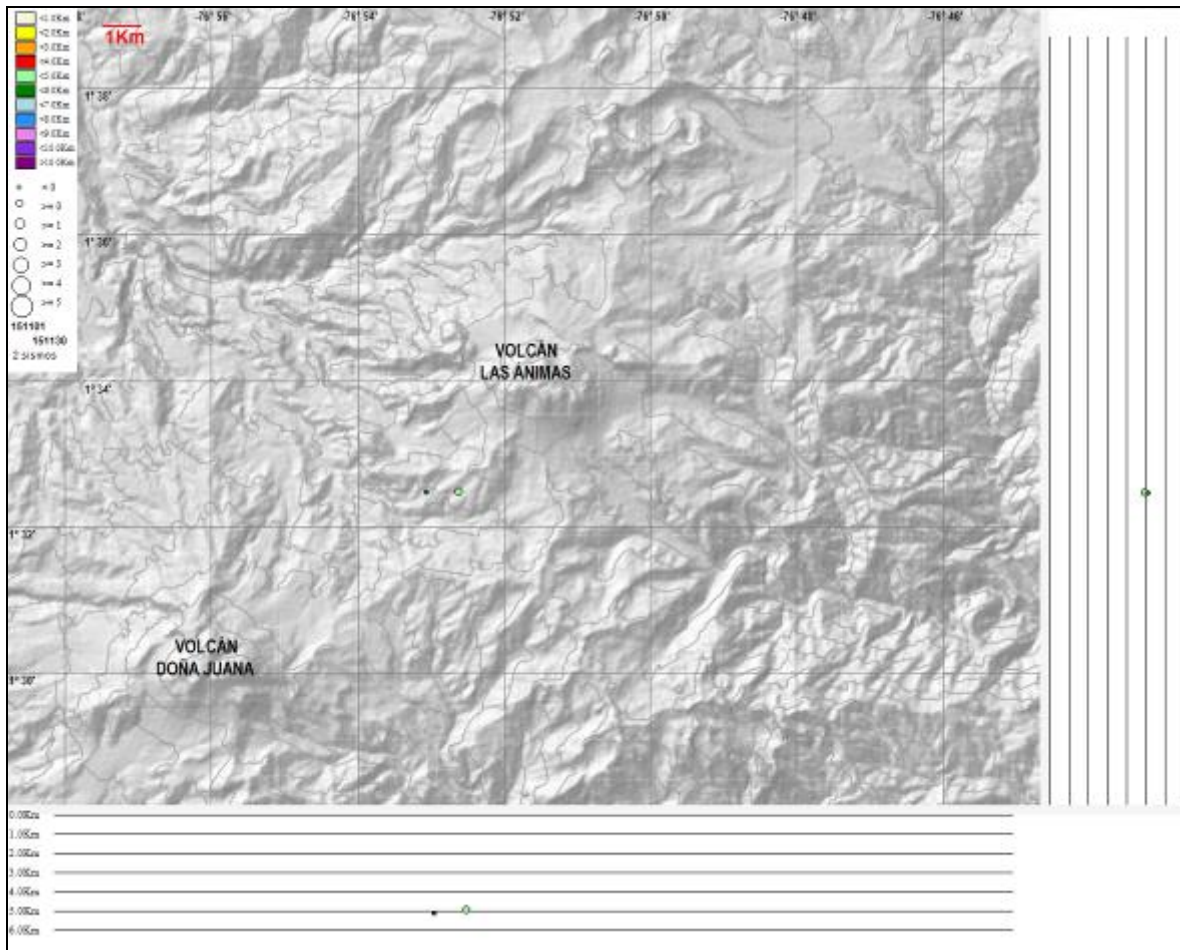


**Figura 74.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante noviembre de 2015.

### 4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado en el volcán Las Ánimas se tuvo registro de dos sismos tipo VT localizados a menos 3 km al suroccidente del volcán, con una profundidad de 5 km respecto a la cima y magnitudes locales de -0,1 y 0,5 en la escala de Richter (Figura 75).

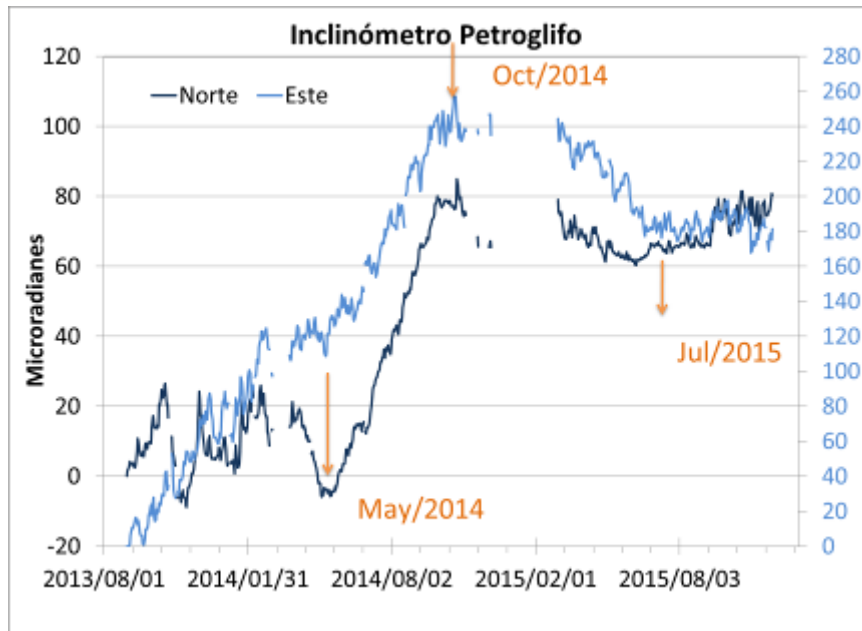




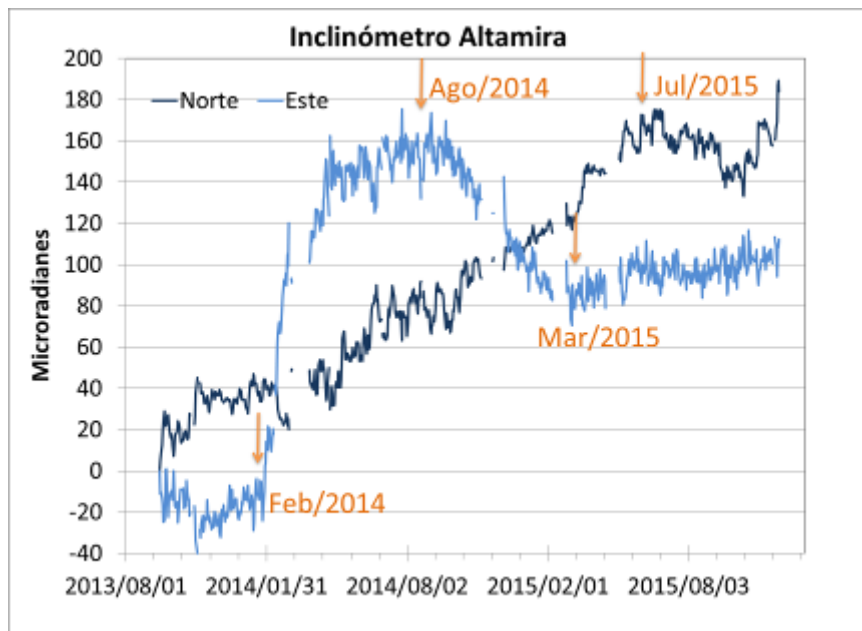
**Figura 75.** Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana en noviembre de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

#### 4.1.4. Deformación

Respecto a los cambios registrados por las estaciones de Inclínometría, para el periodo evaluado se observa a partir de julio de 2015 para el inclinómetro Petroglifo (ubicado a 7,9 km al noroeste del volcán, 3137 m.s.n.m.), estabilidad en las componentes con una leve tendencia ascendente en la componente Norte (Figura 76). La componente Norte del inclinómetro Altamira (ubicado a 4,6 km al oeste de Las Ánimas, 2905 m.s.n.m.) se mantiene estable desde marzo de 2015, mientras la componente Este mantiene la tendencia ascendente, acumulando hasta la fecha 160  $\mu$ rad (Figura 77).



**Figura 76.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 77.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 30 de noviembre de 2015.

#### 4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de noviembre de 2015 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Las Ánimas.

#### 4.1.6. Conclusión

Con base en la información disponible del mes de noviembre de 2015 el nivel del volcán permaneció en **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA

### 4.2.1. Red de Vigilancia

Para el mes de noviembre de 2015, 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 78, Tabla 21).
- La red de deformación del volcán Doña Juana cuenta con tres inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 78, Tabla 21).

Adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 78, Tabla 21).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvo un funcionamiento promedio del 66,3% (Figura 79). Este porcentaje se dió debido a que la estación Lavas se encuentra fuera de funcionamiento por problemas de funcionamiento en el módulo digitalizador, los cuales deben ser corregidos con una visita en campo.

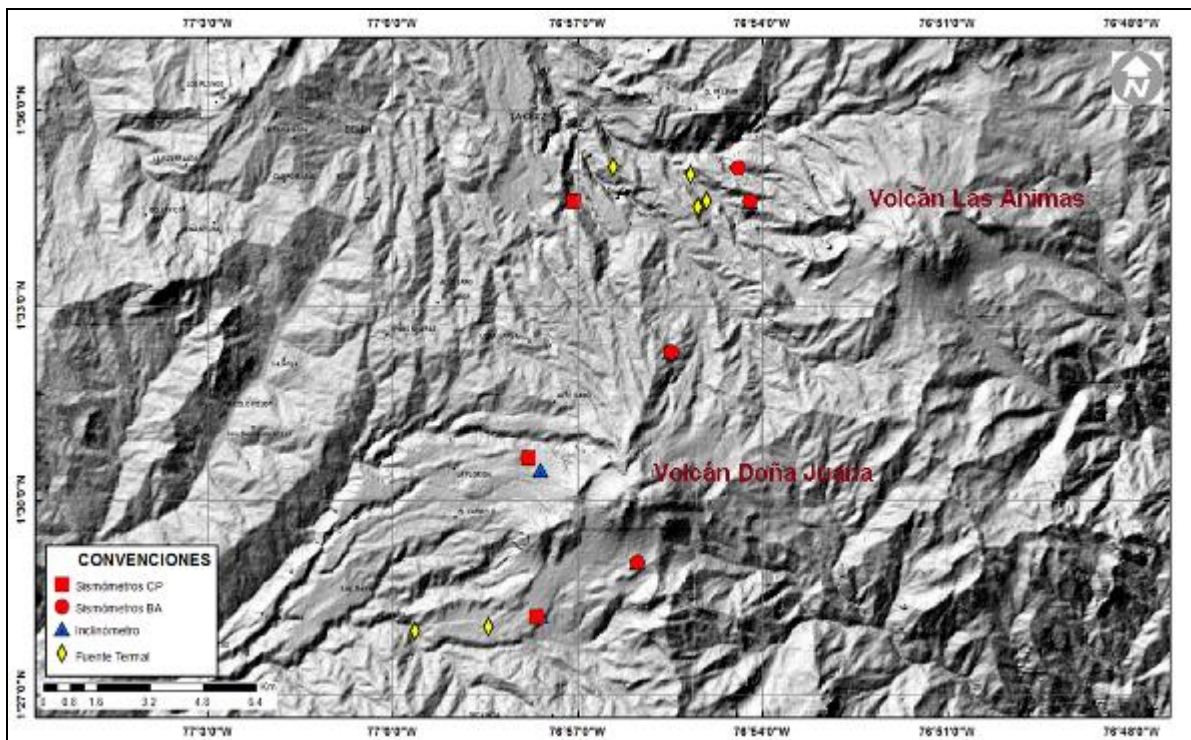
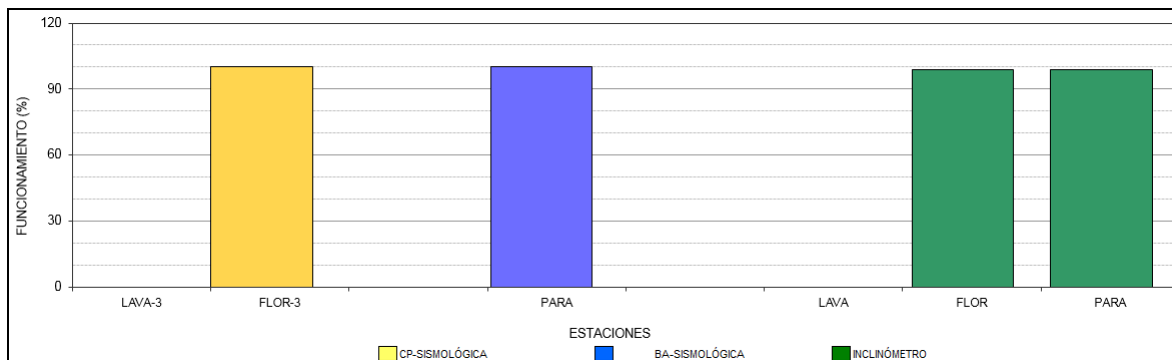


Figura 78. Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.

**Tabla 21.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en noviembre de 2015.

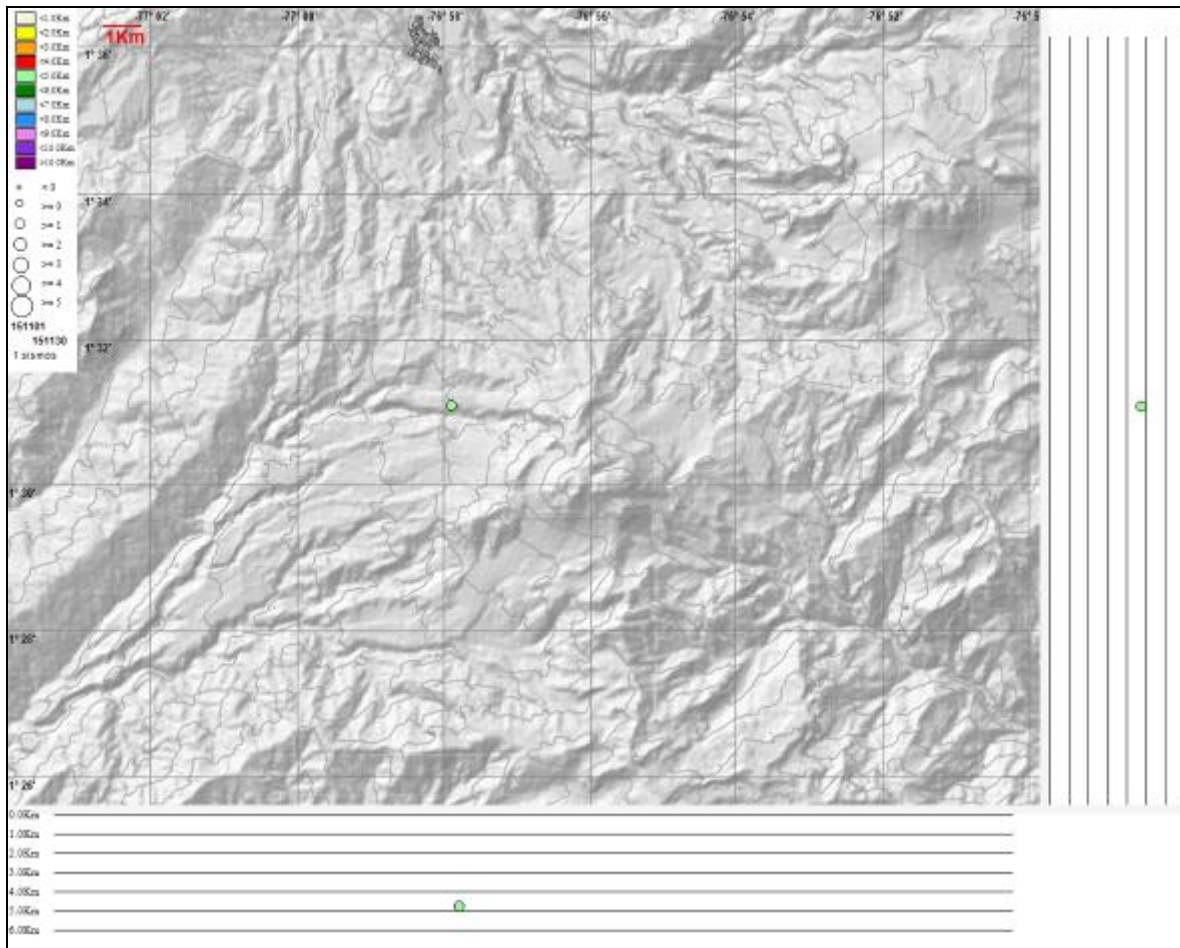
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a los Domos (Km)	Dirección respecto a los Domos	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,1	SE	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,1	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	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



**Figura 79.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de noviembre de 2015.

#### 4.2.2. Sismología

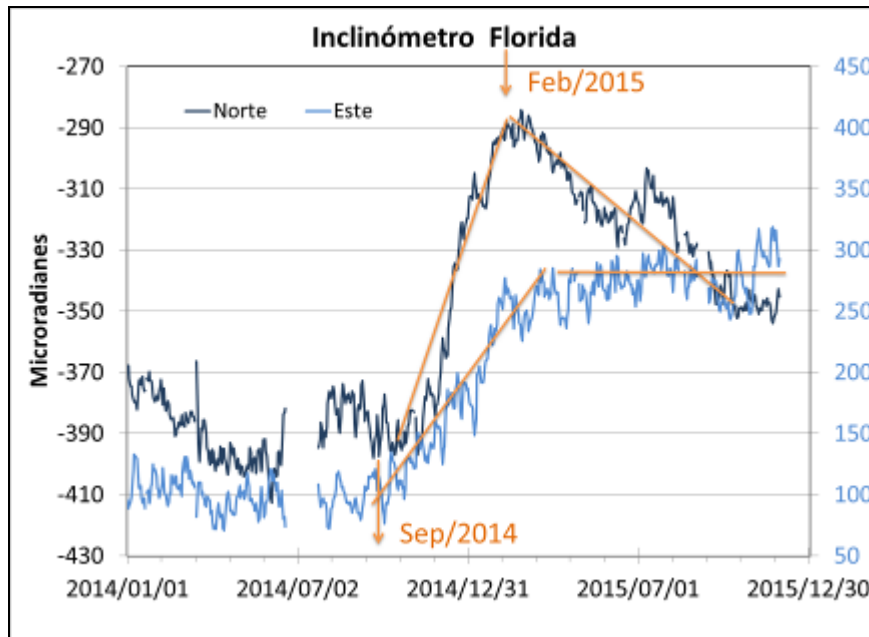
Durante noviembre, se mantuvo muy baja la ocurrencia sísmica en el volcán Doña Juana, registrándose 1 sismo tipo VT el cual se localizó a 4 km al noroccidente del volcán a una profundidad de 5 km respecto a la cima volcánica (4.160 msnm). La magnitud local del evento fue de 1,4 en la escala de Richter (Figura 80).



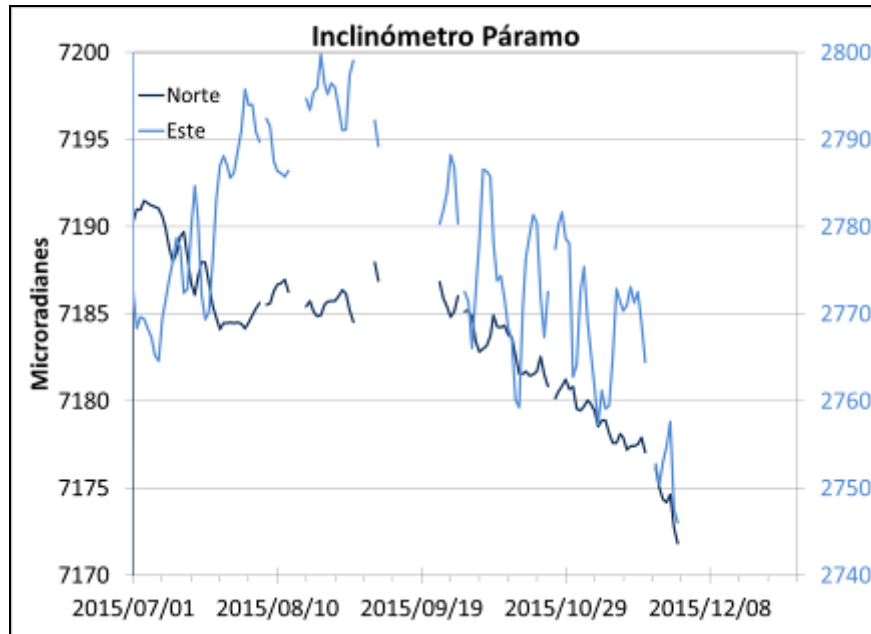
**Figura 80.** Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana en noviembre de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

### 4.2.3. Deformación

Continúa el comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte del sensor Florida, variación cercana a los 30  $\mu$ rad desde el pasado mes de febrero de 2015, y en la componente Este se observa estabilidad (Figura 81). En el inclinómetro Páramo se observa estabilidad en sus componentes (Figura 82).



**Figura 81.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 82.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 30 de noviembre de 2015.

#### 4.2.4 GEOQUÍMICA

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

#### 4.2.5. Actividad Superficial

Durante el mes de noviembre de 2015 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

#### 4.2.6. Conclusión

La evaluación de los parámetros monitoreados durante el mes de noviembre de 2015, permiten mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

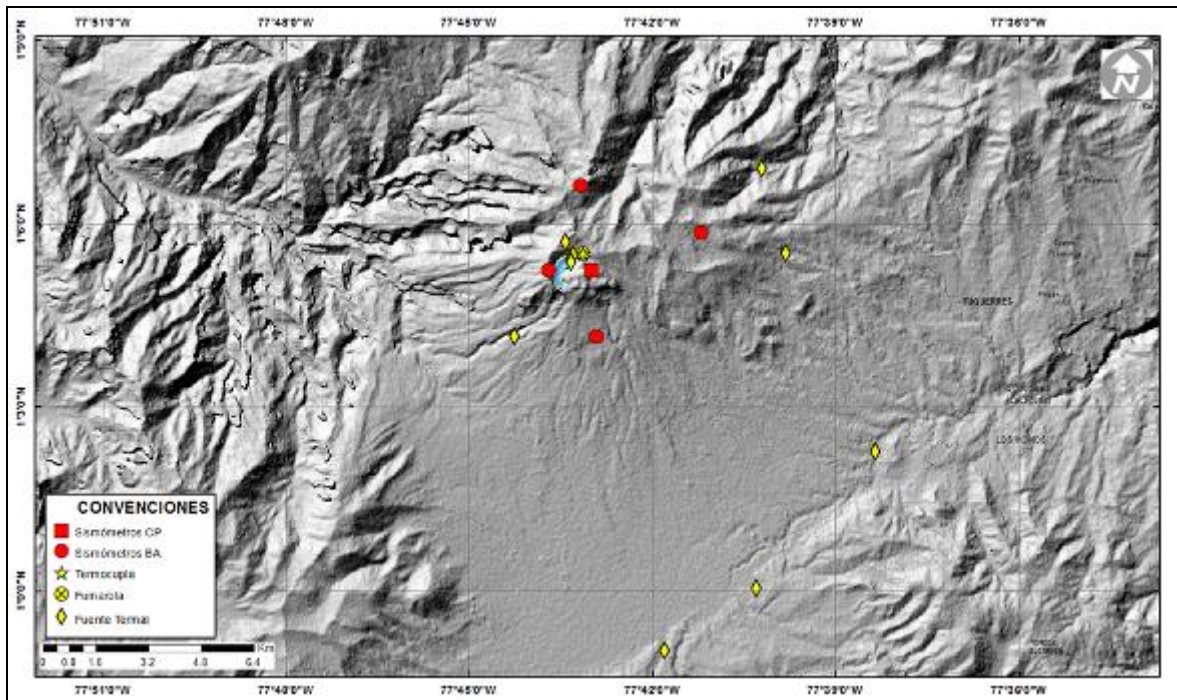


### 4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

#### 4.3.1. Red de vigilancia

La Figura 83 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 22 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.

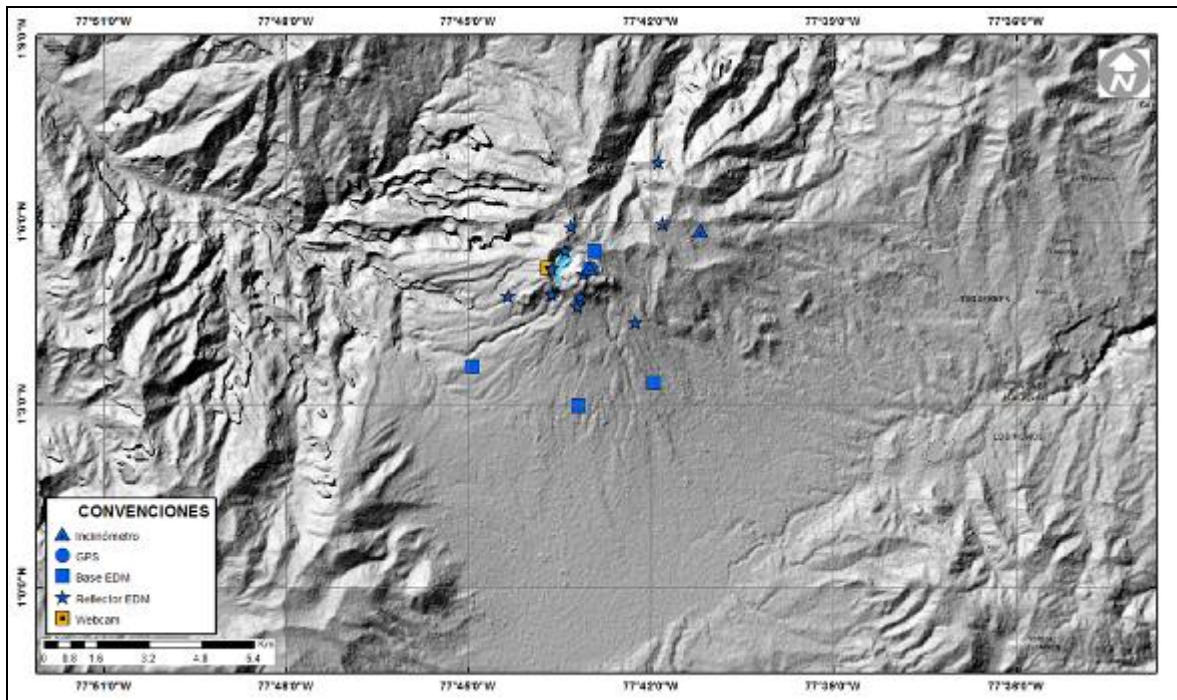
Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Desde el pasado mes de marzo se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparamétrica La Roca (Figura 84).



**Figura 83.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2015.

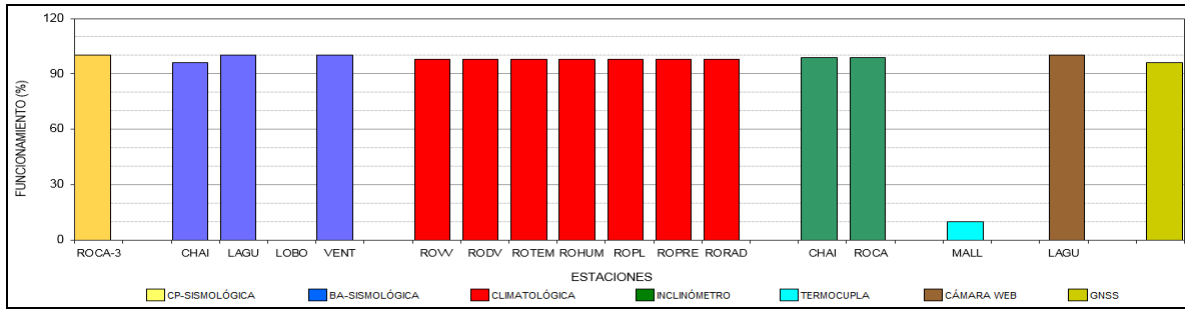
**Tabla 22.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante noviembre de 2015.

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 84.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2015.

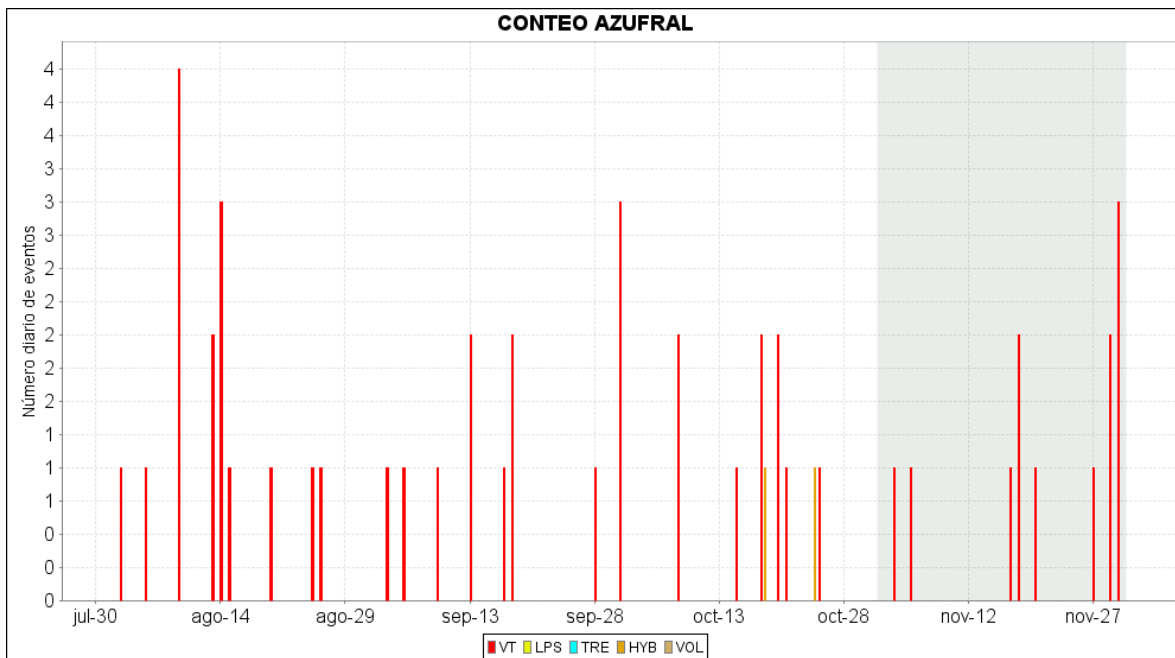
En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 91,8% para este mes (Figura 85).



**Figura 85.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de noviembre de 2015.

### 4.3.2. Sismología

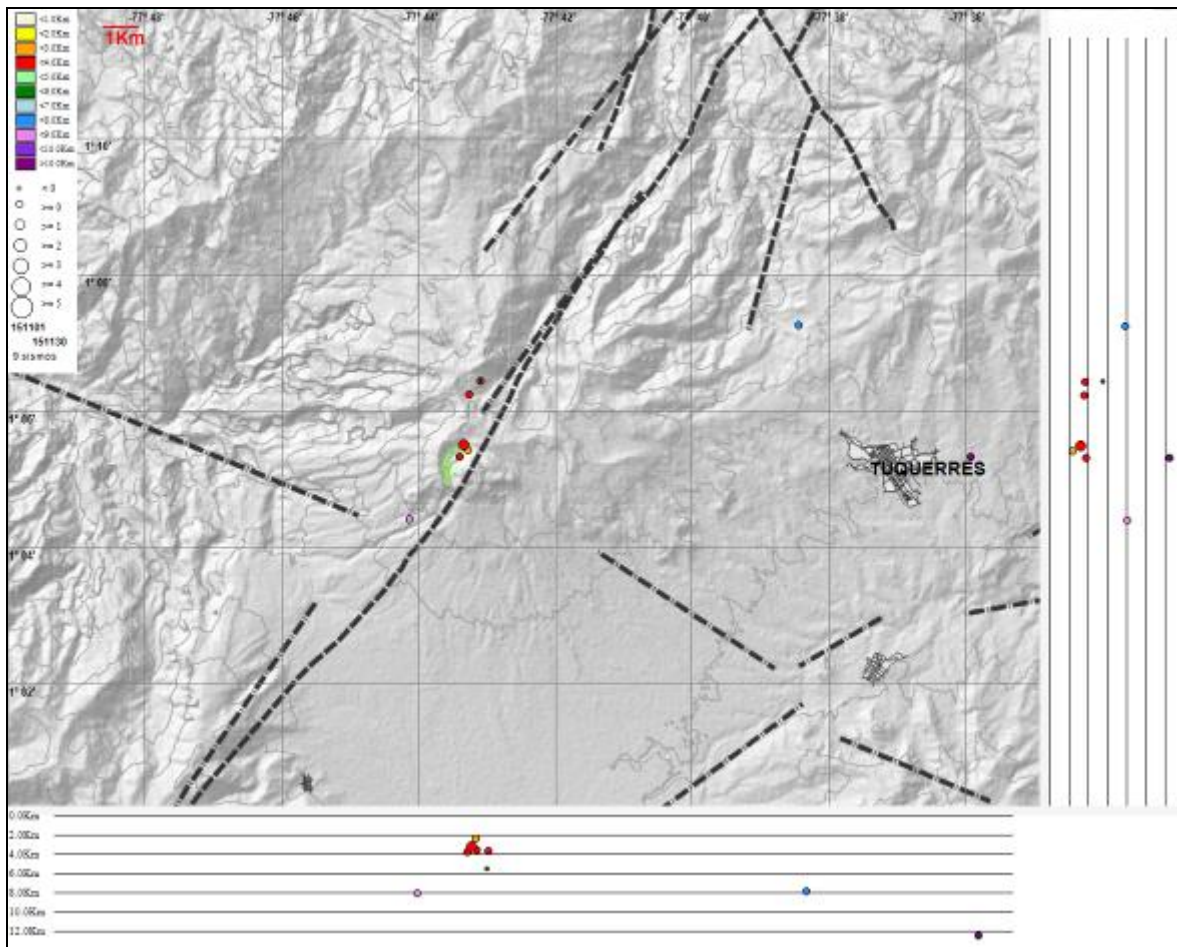
Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán en noviembre de 2015 permaneció constante en comparación a la registrada en octubre de 2015, registrándose 12 eventos tipo VT (Tabla 23, Figura 86). De estos eventos se localizaron nueve, siete se ubicaron a distancias menores de 3 km, a profundidades de hasta 9 km, respecto de la cima volcánica (4.070 msnm) y dos se localizaron a distancias entre 9.5 y 14 km, desde el sector del cráter y a profundidades entre 2.3 y 12.3 km. Estos eventos tuvieron magnitudes entre -0.4 y 1.2, en la escala de Richter. (Figura 87).



**Figura 86.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015.

**Tabla 23.** Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de agosto y el 30 de noviembre de 2015. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-ago-15 a 31-ago-15	15	0	0	0	15
01-sep-15 a 30-sep-15	9	0	0	0	9
01-oct-15 a 31-oct-15	12	0	0	2	14
01-nov-15 a 30-nov-15	12	0	0	0	12

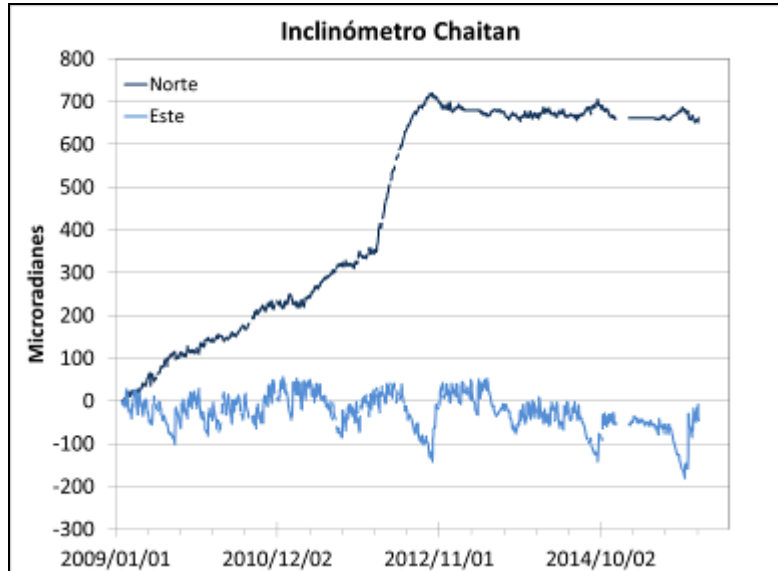


**Figura 87.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de noviembre de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

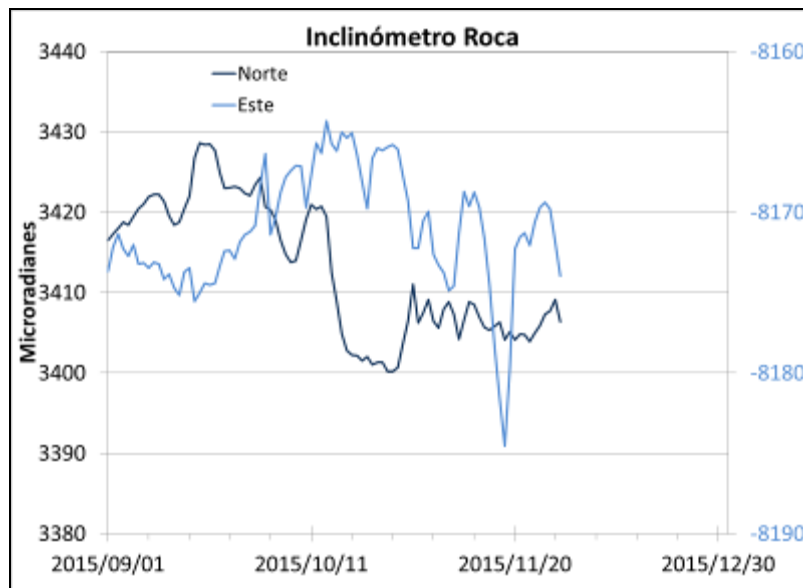
### 4.3.3. Deformación

#### 4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Para el periodo evaluado, se observa estabilidad en los registros de las componentes de inclinación de los sensores Chaitán (ubicado a 4,3 km al este-noreste de la laguna cratérica, 3730 m.s.n.m.) y La Roca (Figuras 88 y 89).



**Figura 88.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre diciembre de 2008 y el 30 de noviembre de 2015.



**Figura 89.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2015 y el 30 de noviembre de 2015.

A partir de marzo de 2015, se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparamétrica La Roca, y para el procesamiento diferencial de la información adquirida por esta estación, se está considerando como estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Azufral, en el aeropuerto Antonio Nariño, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano. Teniendo en cuenta su tiempo de registro de apenas unos meses, aún no se puede presentar de una tendencia o comportamiento de sus componentes.

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

En noviembre de 2015 no se realizaron medidas de EDM.

#### 4.3.4. Geoquímica

En noviembre de 2015 no se realizó muestreo de aguas en fuentes termales ni muestreo de gases de origen volcánico.

#### 4.3.5. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del mes, 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 durante la mayor parte del mes (Figura 90).



**Figura 90.** Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, registrada el 17 de noviembre a las 6:11 a.m., mediante la cámara instalada en el costado sur. En la fotografía se observan las zonas de emisión de gas, desde el Domo Mallama.

#### 4.3.6. Conclusión

- La evaluación de la actividad volcánica de Azufral durante noviembre de 2015 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.