

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO
IDENTIFICACIÓN		
Información de la citación		
CITACIÓN		
Nombre del responsable	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano
Tipo de responsable	Autor Corporativo	Autor corporativo
Nombre del responsable		Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Tipo de responsable	Autor intelectual. Si hay varios autores hay que escribirlo cada uno.	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Nombre del responsable		
Tipo de responsable	Procesador: persona encargada de recibir y organizar la información	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Nombre del responsable		Darío Fernando Arcos Guerrero
Fecha	De publicación/disposición tres primeras letras del mes/año	Dic/2015
Título		INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL, LAS ÁNIMAS, CHILES Y CERRO NEGRO. OCTUBRE DE 2015.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
Identificador	En proceso de definición	
Descripción	Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados	Presentación de resultados y análisis de los datos obtenidos del monitoreo continuo a la actividad del volcán Galeras en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Presentación de datos obtenidos de monitoreo continuo de la actividad de los volcanes Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Se utilizan gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones específicas donde el conjunto de datos ha sido o se está utilizando. Incluye opcionalmente lista de anexos, fuentes y documentos relacionados con el conjunto de datos.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales (Investigación, plan, programa, proyecto).	Proyecto
Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	Inventario y Monitoreo de Geoamenazas y procesos en las capas superficiales de la tierra - Investigación y monitoreo de la actividad volcánica – AME13-06.
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos.	Octubre de 2015.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km ²	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral. Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia del Volcán Las Ánimas. Zona de influencia del Volcán Chiles. Zona de influencia del Volcán Cerro Negro.
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 -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas -Estación climática -Cenizas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios.	- Zona de influencia del Volcán Galeras, como activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Doña Juana. - Zona de influencia del Volcán Azufral. - Zona de influencia del Volcán Cumbal. -Zona de influencia del Volcán Las Ánimas. -Zona de influencia del Volcán Chiles. -Zona de influencia del Volcán 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 la unidad VIGILANCIA en la siguiente ruta: V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2015\oct
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido, normatividad	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y sísmica en la zona de influencia del Volcán Galeras, y volcanes del suroccidente

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DOMINIO
		colombiano, para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos.
Distribución		
Distribuidor		
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa, imagen satelital, informe técnico	Informe Técnico
Proceso estándar de pedido		
Productos impresos	Identificación que tipo de producto impreso. Ej. mapa impreso a color	No aplica.
Forma digital		
Formato	Nombre, versión del formato. Ejm: PDF.- Si no se encuentra en forma digital se escribe "No disponible"	El informe se encuentra en formato DOC y PDF
Opción de transferencia digital		
Dirección en línea	Dirección electrónica donde se puede obtener el conjunto de datos	http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2015.aspx
Medio digital/Ubicación	Opciones del medio digital en el cual puede ser entregado el conjunto de datos y su ubicación física. Disquete de 3-1/2; CD-ROM	CD-ROM
Contacto		
Organización	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano.
Cargo/persona	Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos	Asesores de Oficina de Servicio al Cliente
Sede		Bogotá
Dirección		Diag. 53 No. 34-53
Ciudad		Bogotá, D.C.
Departamento		Cundinamarca
País		Colombia
Teléfono		(57+1) 2 20 02 00 - 2 20 01 00 - 2 22 18 11 (57+1) 01-8000-110842
Fax		(57+1) 2 22 07 97
Correo electrónico		cliente@sgc.gov.co



**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES
GALERAS, CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL, LAS ÁNIMAS, CHILES Y
CERRO NEGRO
OCTUBRE 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.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – OCTUBRE DE 2015	4
1.1. RED DE VIGILANCIA	4
1.2. SISMOLOGÍA	10
1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	14
1.3.1. Inclínometría Electrónica	14
1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	18
1.4. GEOQUÍMICA	22
1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO ₂	22
1.4.2. Mediciones del gas Radón – Rn ₂₂₂	24
1.4.3. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Galeras	26
1.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	31
1.6. CONCLUSIONES	34
2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – OCTUBRE DE 2015	34
2.1. RED DE VIGILANCIA	34
2.2. SISMOLOGÍA	36
2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	40
2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	41
2.5. CONCLUSIONES	44
3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – OCTUBRE DE 2015	44
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	44
3.2. RED DE VIGILANCIA	45
3.3. SISMOLOGÍA	47
3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	51
3.5. GEOQUÍMICA	52
3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Chiles	52
3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	53
3.7. CONCLUSIONES	53
4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – OCTUBRE DE 2015	53
4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS	54
4.1.1. Ubicación Geográfica	54
4.1.2. Red de vigilancia	55
4.1.3. Sismología	56
4.1.4. Deformación Volcánica	57
4.1.5. Actividad Superficial	58
4.1.6. Conclusiones	58
4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA	58
4.2.1. Red de vigilancia	58
4.2.2. Sismología	60
4.2.3. Deformación Volcánica	60
4.2.4. Actividad Superficial	61
4.2.5. Conclusiones	61
4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL	61
4.3.1. Red de vigilancia	61
4.3.2. Sismología	63

4.3.3.	Deformación Volcánica	65
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	65
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias - E.D.M.	65
4.3.3.3.	Estaciones GNSS Permanentes	66
4.3.4.	Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos	67
4.3.5.	Conclusiones	69

TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2015.	5
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2015.	6
Tabla 3.	Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2015.	6
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras.	7
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	7
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).	8
Tabla 7.	Estaciones instaladas por el sector de Barranco (Línea Barranco) para el monitoreo de gas Radón en el volcán Galeras.	8
Tabla 8.	Ubicación geográfica (WGS 84) de las fuentes termales en el Volcán Galeras.	9
Tabla 9.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	10
Tabla 10.	Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	12
Tabla 11.	Emisiones de SO ₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de octubre de 2015, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	23
Tabla 12.	Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Lavas – octubre de 2015.	25
Tabla 13.	Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – octubre de 2015.	25
Tabla 14.	Imágenes Fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del Volcán Galeras – octubre de 2015.	26
Tabla 15.	Clasificación de aguas termales según la temperatura.	28
Tabla 16.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de octubre de 2015.	35
Tabla 17.	Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	36
Tabla 18.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de octubre de 2015.	46
Tabla 19.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.	46

Tabla 20.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico de Chiles – Cerro Negro registrados entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	48
Tabla 21.	Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	49
Tabla 22.	Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – octubre 2015.	53
Tabla 23.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre de 2015.	55
Tabla 24.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas registrados entre mayo y agosto de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	56
Tabla 25.	Estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.	59
Tabla 26.	Estaciones instaladas en el volcán Azufral.	62
Tabla 27.	Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	64

FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Mapa de localización de las estaciones sísmicas y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2015.	6
Figura 2	Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros, GNSS y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2015.	7
Figura 3	Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO ₂ , fuentes termales y radón telemetrado que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2015.	8
Figura 4	Mapa de localización de las estaciones no telemétricas instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.	9
Figura 5	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de octubre de 2015, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.	9
Figura 6	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre julio y octubre de 2015. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.	10
Figura 7	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre (barras de la izquierda).	11
Figura 8	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de septiembre y octubre de 2015.	11
Figura 9	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2015.	12
Figura 10	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para octubre de 2015 (barras de la derecha) respecto a septiembre de 2015 (barras de la izquierda).	12
Figura 11	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para septiembre y octubre de 2015.	13
Figura 12	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de octubre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3.0 km de profundidad.	13
Figura 13	Localización epicentral de sismos VT reportados como sentidos, registrados en el mes de octubre de 2015. a) Octubre 26, a las 5:59 p.m., b) Octubre 27, a las 5:42 a.m.	14

Figura 14	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2012 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	15
Figura 15	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de octubre de 2015.	15
Figura 16	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2011 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015.	16
Figura 17	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de abril de 2011 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015.	16
Figura 18	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	16
Figura 19	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	17
Figura 20	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015.	17
Figura 21	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	18
Figura 22	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	19
Figura 23	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre mayo de 2014 y el 30 de octubre de 2015.	19
Figura 24	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 30 de octubre de 2015.	20
Figura 25	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 27 de octubre de 2015.	20
Figura 26	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 30 de octubre de 2015.	21
Figura 27	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 30 de octubre de 2015.	21
Figura 28	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 28 de octubre de 2015.	22
Figura 29	Flujo de emisión de SO_2 registrado desde el 14 de agosto de 2015 hasta el 31 de octubre de 2015, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	24
Figura 30	Flujo de emisión de SO_2 , dirección y velocidad del viento para el mes de octubre de 2015.	24
Figura 31	Concentración de gas radón en suelo - estación LAVAS, Octubre de 2015.	25
Figura 32	Concentración de gas radón en suelo - estación Parques, Octubre de 2015.	25

Figura 33	Potencial de hidrogeno de las FT Volcán Galeras, Octubre de 2015.	27
Figura 34	Comportamiento del pH de las FT Volcán Galeras, Octubre de 2015.	27
Figura 35	Imagen térmica FT Río Pasto, Octubre de 2015.	28
Figura 36	Imagen térmica FT Aguas Agrias, Octubre de 2015.	29
Figura 37	Imagen térmica FT Cehani, Octubre de 2015.	29
Figura 38	Comportamiento de la temperatura de las FT Volcán Galeras hasta octubre de 2015.	30
Figura 39	Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcán Galeras hasta octubre de 2015.	30
Figura 40	Comportamiento del contenido de Bicarbonato de las FT Volcán Galeras hasta octubre de 2015.	31
Figura 41	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 1 de octubre de 2015, en horas de la mañana 7:01 a.m. y 7:49 a.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.	32
Figura 42	Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 2 de octubre de 2015, a las 7:09 a.m., desde las cámaras de Barranco y sede OVSP.	32
Figura 43	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 9 de octubre de 2015, en horas de la tarde 4:20 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.	32
Figura 44	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 19 de octubre de 2015, en horas de la mañana 8:58 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.	33
Figura 45	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras, capturadas el 26 de octubre de 2015, a las 4:06 p.m. desde la cámara de Barranco.	33
Figura 46	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 31 de octubre de 2015, en horas de la mañana, a las 5:47 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.	34
Figura 47	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de octubre de 2015.	35
Figura 48	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de octubre de 2015.	36
Figura 49	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre julio y octubre de 2015.	37
Figura 50	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre (barras de la izquierda).	37
Figura 51	Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para septiembre y octubre de 2015.	37
Figura 52	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de octubre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).	38
Figura 53	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015, resaltando los eventos registrados en el mes de octubre de 2015 en el recuadro gris.	39
Figura 54	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 23 de octubre de 2015 a las 6:10 a.m., registrando 39 segundos de duración.	39
Figura 55	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 27 de octubre de 2015 a las 5:03 p.m., registrando 35 segundos de duración.	40
Figura 56	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015.	40

Figura 57	Componentes de inclinación Norte, Este del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (Izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (Derecha).	41
Figura 58	Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 11 de octubre de 2015, a las 6:36 p.m. (Izquierda) y 6:41 p.m. (Derecha).	41
Figura 59	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 22 de octubre de 2015, a las 6:21 a.m.	42
Figura 60	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 25 de octubre de 2015, a las 6:01 a.m.	42
Figura 61	Imagen capturada por Personal del Observatorio en labores de campo el 30 de octubre a las 6:42 a.m., en la fotografía se observa emisión de gases desde los campos fumarólicos El Verde y Rastrojo.	43
Figura 62	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 31 de octubre de 2015, a las 6:47 a.m.	43
Figura 63	Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	44
Figura 64	Estaciones sísmicas y de deformación cortical para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.	45
Figura 65	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de octubre de 2015.	47
Figura 66	Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y octubre 31 de 2015.	48
Figura 67	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de julio y octubre de 2015.	49
Figura 68	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en octubre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	50
Figura 69	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2015. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	50
Figura 70	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 21 de octubre de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	51
Figura 71	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura 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 31 de octubre de 2015.	51
Figura 72	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 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de junio y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	52
Figura 73	Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – octubre 2015.	52
Figura 74	Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.	54
Figura 75	Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	54

Figura 76	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre de 2015.	55
Figura 77	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante octubre de 2015.	56
Figura 78	Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Las Ánimas, en el mes de octubre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 1 km de profundidad.	57
Figura 79	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 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	57
Figura 80	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 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	58
Figura 81	Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	59
Figura 82	Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en octubre de 2015.	59
Figura 83	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de julio y octubre de 2015.	60
Figura 84	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	60
Figura 85	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015.	61
Figura 86	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de octubre de 2015.	62
Figura 87	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de octubre de 2015.	63
Figura 88	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de octubre de 2015.	63
Figura 89	Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre julio y octubre de 2015.	64
Figura 90	Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en octubre de 2015. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.	65
Figura 91	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre diciembre de 2008 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).	66
Figura 92	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2015 y el 31 de octubre de 2015.	66
Figura 93	Variaciones en las direcciones Norte y Este de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 15 de mayo de 2015 y el 31 de octubre de 2015.	67
Figura 94	Emisión de gases del domo Mallama, 1 de octubre de 2015 a las 6:31 a.m.	67
Figura 95	Emisión de gases del domo Mallama, 14 de octubre de 2015 a las 5:21 p.m.	68

Figura 96	Emisión de gases del domo Mallama, 15 de octubre de 2015 a las 8:26 a.m.	68
Figura 97	Emisión de gases del domo Mallama, 23 de octubre de 2015 a las 8:26 a.m.	69

INTRODUCCIÓN

Durante el mes de octubre de 2015, el Servicio Geológico Colombiano - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes ubicados al suroccidente colombiano, entre ellos Galeras, Cumbal, Azufral, Doña Juana, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, tomando datos en forma continua, las 24 horas del día, de los diferentes parámetros de estudio que permiten la evaluación de la actividad volcánica, además, realizando muestreos periódicos de otros parámetros geofísicos y geoquímicos, de importancia para la evaluación de la actividad.

Las características de un volcán pueden variar a través del tiempo, y es por ello que surge el monitoreo volcánico, el cual consiste en la vigilancia y estudio de los cambios ocurridos en diferentes fases del estado de actividad de un volcán, mediante la aplicación de una serie de disciplinas y técnicas. Los cambios observados son el reflejo de los procesos al interior del sistema volcánico, y pueden ser provocados, entre otras causas, por movimiento de magma, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza o, por variaciones de presión interna, que normalmente se producen como consecuencia de la intrusión de material desde niveles más profundos a reservorios más someros y/o a la variación del contenido de volátiles y/o gases en estos reservorios.

En este informe técnico se resaltan principalmente los resultados obtenidos en octubre de 2015, en las diferentes áreas de monitoreo, mediante el procesamiento primario de los datos instrumentales y apreciables de la actividad volcánica y así acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen, y a un posible pronóstico de eventos eruptivos. El nivel de actividad de un volcán, es el resultado de la combinación de varios factores, tanto mesurables, como los apreciables de la actividad volcánica superficial, los cuales pueden variar en intensidad, duración y frecuencia.

RESUMEN

En el mes de octubre de 2015, la actividad sísmica de Galeras fue dominada por eventos relacionados con fracturamiento de roca (VT). En comparación con el mes anterior, para este periodo se observó descenso en la ocurrencia y energía liberada, el mayor aporte en energía provino de los eventos clasificados como VT. Los eventos no clasificables (sismos que no alcanzan el umbral de amplitud y duración para su clasificación en una estación de referencia) mostraron descenso cercano al 26% en comparación con el mes anterior.

La mayoría de los sismos localizados se ubicaron muy próximos al cráter volcánico, cuyas profundidades estuvieron entre 0.2 y los 16 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes locales entre -0.3 y 3.3 en la escala de Richter, los más próximos al cráter mostraron magnitudes menores a 1. En el periodo evaluado se resaltan dos sismos, el primero ocurrido el 26 de octubre a las 5:59 p.m., y el segundo el 27 de octubre a las 5:42 a.m., los cuales fueron reportados como sentidos por habitantes del Municipio de Pasto y pobladores de la zona de influencia volcánica.

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


En el transcurso del periodo evaluado se obtuvieron 16 mediciones de emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) a la atmósfera, con valores en el rango bajo para Galeras. El valor máximo de flujo de SO₂ del periodo evaluado, fue de 453 Tn/día, registrado el 18 de octubre de 2015.

Teniendo en cuenta la información que aportan las imágenes capturadas del cono activo y reportes por personal del OVSP, fue posible evidenciar la mayor parte del tiempo evaluado emisiones de gases, en su mayoría de color blanco. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos.

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

De acuerdo al monitoreo sísmico registrado por las estaciones instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado se observó que la mayor parte de eventos se asocian con movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico. En relación con el mes anterior, se observó un incremento en la ocurrencia diaria de sismicidad. En este mes se registraron 7 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, cuyas frecuencias dominantes estuvieron entre 1.35 y 1.43 Hz. En su mayoría la sismicidad de fractura se localizó en inmediaciones de los dos conos activos del complejo volcánico de Cumbal y a profundidades superficiales, cuyas magnitudes estuvieron entre -0.3 y 1.3 en la escala de Richter.

Condiciones de clima favorable para los días 2, 6, 11, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30 y 31 de octubre permitieron observar emisión de gases de color blanco, cuyos focos principales continúan siendo los campos fumarólicos El Verde y Rastrojo.


La evaluación del proceso volcánico durante el mes de octubre de 2015 permitió, que la actividad del Complejo Volcánico Cumbal permaneciera en **NIVEL AMARILLO**  **(III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

Haciendo referencia a los volcanes Chiles y Cerro Negro, se observó un ascenso en la ocurrencia diaria de eventos, la mayoría de los eventos localizados se ubicaron principalmente hacia el sector suroccidente del edificio volcánico de Chiles, con magnitudes entre -0.4 y 3.1 en la escala de Richter. Resaltando el sismo ocurrido el 7 de octubre a las 10:04 a.m., el cual presentó una magnitud local de 3.1 y fue reportado como sentido por habitantes del resguardo indígena de Chiles.

En la actividad sísmica de octubre se destaca la presencia de eventos que por sus características indican movimiento de fluidos de tipo magmático a profundidades menores a los 5 km respecto a la cima de Chiles.

En los últimos meses se nota una clara tendencia descendente de la sismicidad con algunas fluctuaciones en la ocurrencia diaria.

La temperatura en la fuente termal Baño Grande, mostró un máximo de 43.4 °C y un mínimo de 41.9 °C.


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

Con respecto al volcán Las Ánimas, para el periodo evaluado se registraron 14 sismos, 13 asociados a fracturamiento de la roca, y uno con movimiento de fluidos. Los dos localizados se ubicaron hacia el sector suroccidental del edificio volcánico, con magnitudes entre -0.2 y 1.8 en la escala de Richter.

En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado se tiene registro de dos eventos sísmicos asociados con fractura y tres con movimiento de fluidos.

En relación al volcán Azufra, predominaron los sismos clasificados como VT, y en comparación con el mes anterior, la sismicidad del volcán presentó incremento en ocurrencia, totalizando 14 eventos. De esta sismicidad se localizaron 5 eventos ubicados de manera dispersa con magnitudes entre 0.1 y 1.1 en la escala de Richter.

Para el periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes principalmente de uno de los domos activos ubicados al nororiente de la Laguna Verde.

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

1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – OCTUBRE DE 2015

1.1. RED DE VIGILANCIA

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

- Catorce estaciones sísmicas telemétricas: cuatro de corto periodo triaxiales y diez de banda ancha triaxiales (Figura 1, Tabla 1).
- Tres sensores de presión acústicos, uno ubicado en el sector occidental, en el sitio de la estación sísmica de corto periodo Calabozo, otro ubicado en el sitio de la estación sísmica de banda ancha Cráter-2 y el último ubicado en el sitio de la estación sísmica Cóndor (Tabla 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2).
- Seis estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas alrededor del cono activo (Figura 2, Tabla 3).
- Tres estaciones con transmisión telemétrica para la detección de emisiones de dióxido de azufre (SO₂), localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 3, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de variación del campo Magnético, Cráter, Frailejón y Barranco. Adicionalmente, las estaciones EM-Frailejón y EM-Barranco cuentan con sistemas de medición de variación de campo eléctrico (Figura 3, Tabla 5).
- Cuatro cámaras de video permanentes para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, otra en el municipio de Consacá, otra instalada en el flanco norte de la cima de Galeras, en el sitio denominado Barranco Alto y la última Bruma, hacia el sector suroccidental del cono (Figura 1).
- Dos estaciones para monitoreo constante de flujos de lodos, con transmisión telemétrica, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo.
- Una estación climática, conformada con sensores para medición de velocidad y dirección del viento, pluviometría, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente. Esta estación se encuentra ubicada en el sitio de la estación sísmica Cráter-2.
- Veinte estaciones para la medición de emisiones del gas Radón (Rn-222) proveniente del suelo, distribuidas en dos líneas, una hacia el sector oriental del volcán, por la vía de acceso a la cima del volcán y la segunda hacia el sector norte del volcán (Tablas 6 y 7, Figura 4). Las estaciones Lavas 1 y Parques de la línea Galeras, cuentan con equipo de transmisión digital, por lo que su registro es continuo.

- Una estación Multigas, ubicada hacia el sector de Barranco.

Adicionalmente, con el fin de monitorear los cambios en la superficie del edificio volcánico de Galeras se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 5 bases y 8 prismas reflectores (Figura 2).

Por otra parte como complemento al monitoreo, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales para Galeras (Tabla 8, Figura 3).

En el periodo evaluado, se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos a las estaciones que conforman las redes de monitoreo volcánico de Galeras; adicionalmente, se hicieron mantenimientos en las repetidoras y equipos de recepción en la sede del Observatorio. La operatividad de la red instrumental de Galeras fue cercana al 77%. En la Figura 5 se muestra el histograma de porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo telemétrico durante el mes de octubre de 2015.

Tabla 1. Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2015.

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

Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de octubre de 2015.

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

Tabla 3. Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de octubre 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

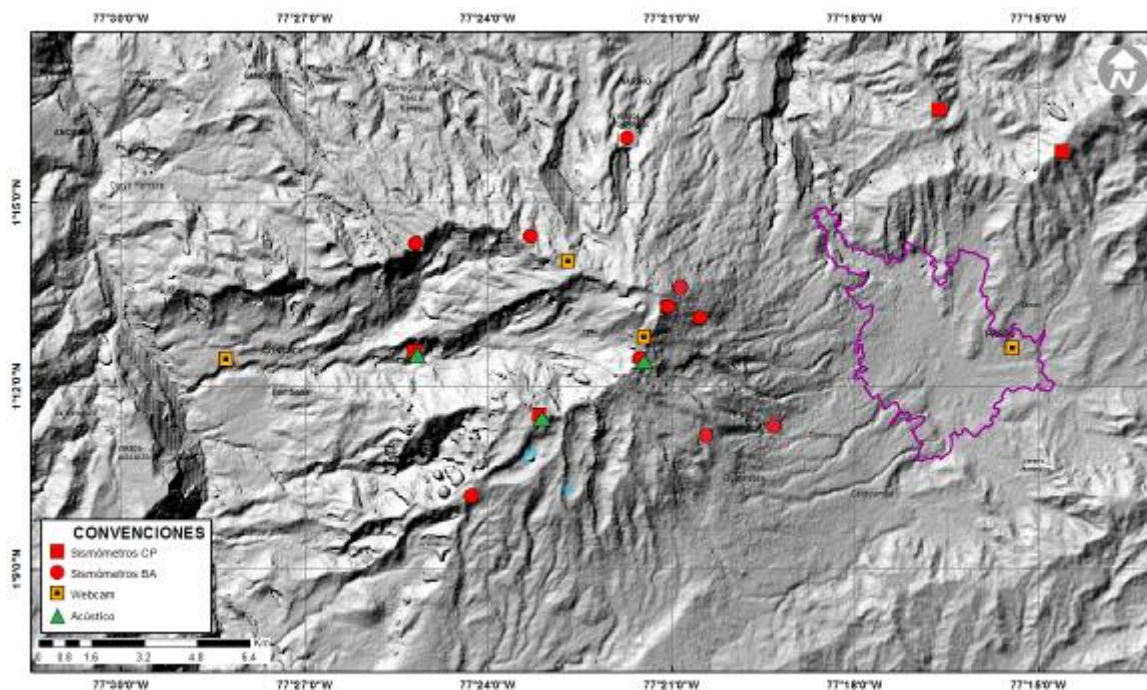


Figura 1. Mapa de localización de las estaciones sísmicas y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2015.

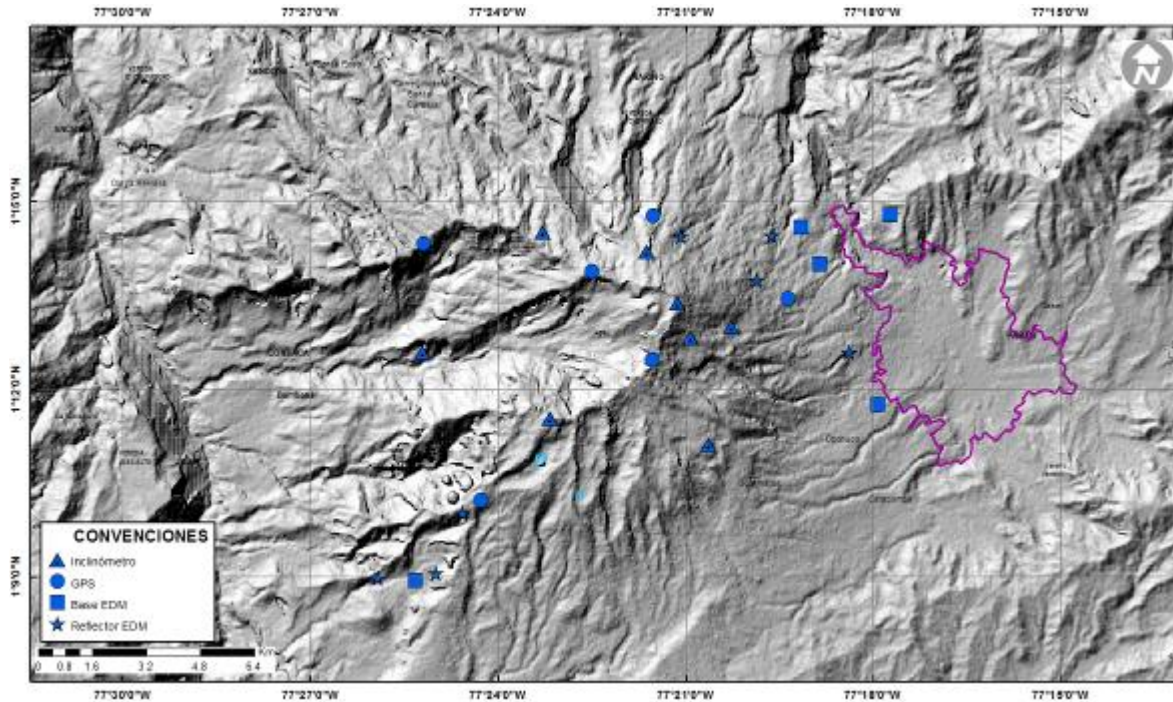


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros, GNSS y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2015.

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

Estación	Distancia al cráter (km)	angulo del scan (°)	Altura de referencia de la pluma* (m)	Dirección compás (° azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Santa Bárbara	7.9	60	1600	131	NNW	2600
Alto Jiménez	10.8	90	1800	295	NW	2400
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	W	2100

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

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

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

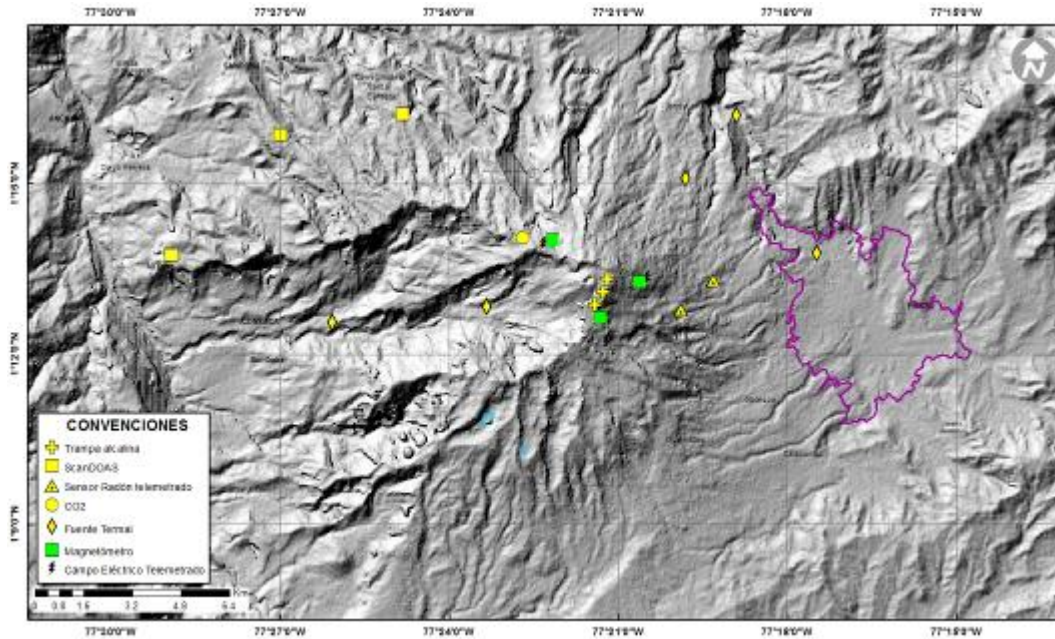


Figura 3. Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO₂, fuentes termales y radón telemetrado que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de octubre de 2015.

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

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Caldera	1,1	SE	4238
telecom	1,6	SSE	4051
peladitos	1,9	SE	3927
Cufiño	1,9	ENE	3809
Frailejón	2,3	E	3730
Piedras	2,0	NE	3590
Mirador	2,7	ENE	3510
Parques	3,6	ESE	3358
Lava2	4,0	E	3166
Lava1	4,5	E	3000

Tabla 7. Estaciones instaladas por el sector de Barranco (Línea Barranco) para el monitoreo de gas Radón en el volcán Galeras.

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
BAR01	6,6	NNW	2318
BAR02	6,0	NNW	2504
BAR03	5,7	NNW	2599
BAR04	5,5	NNW	2669
BAR05	5,0	NNW	2644
BAR06	4,7	NNW	2516
BAR07	4,3	NNW	2646
BAR08	3,5	NNW	2947
BAR09	3,1	NNW	2966
BAR10	2,3	NNW	3180

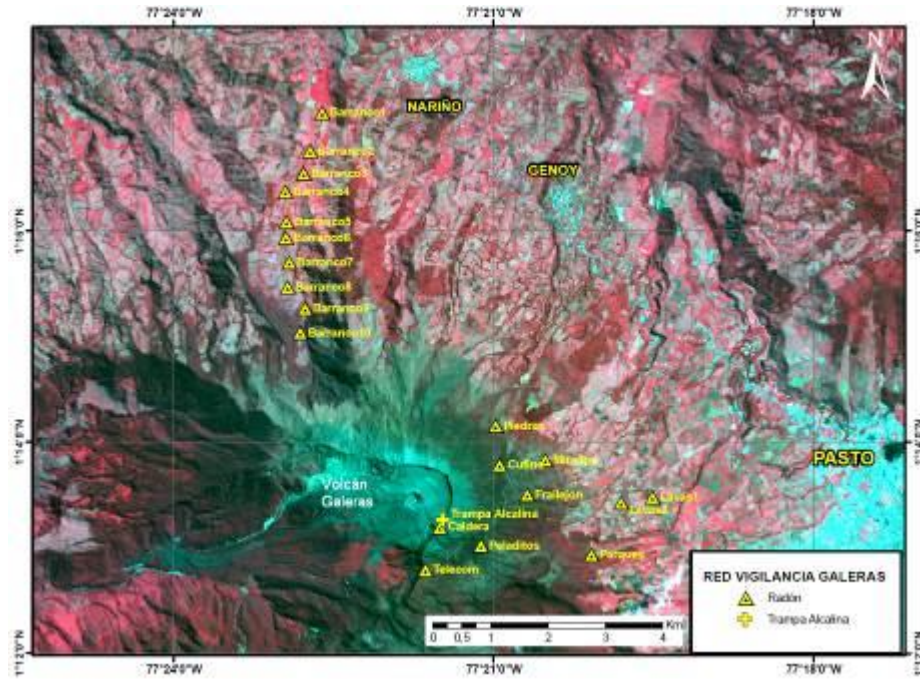


Figura 4. Mapa de localización de las estaciones no telemétricas instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.

Tabla 8. Ubicación geográfica (WGS 84) de las fuentes termales en el Volcán Galeras.

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

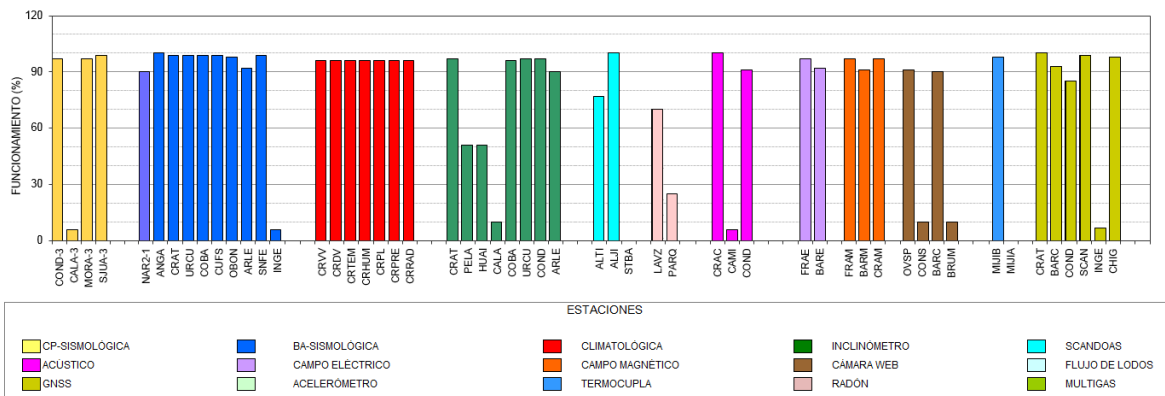


Figura 5. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de octubre de 2015, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

1.2. SISMOLOGÍA

En el periodo evaluado la actividad sísmica dominante, estuvo asociada con eventos que involucran fracturamiento de roca (VT), seguidos por sismos caracterizados por fractura y posterior movimiento de fluido (HYB), y en menor cuantía por eventos relacionados con movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente persistente en el tiempo (TRE) (Tabla 9, Figura 6).

En octubre la sismicidad volcánica en ocurrencia disminuyó cerca del 57.3% en relación con el mes anterior, registrándose en total 637 sismos. Los eventos que mostraron mayor descenso fueron los clasificados como LPS (Figura 7), en contraste se observó incremento en los eventos tipo VT y TRE. Los eventos de bajo nivel energético, que no cumplen con los estándares de amplitud y duración, denominados no clasificables (NC), también mostraron disminución cercana al 25.5% del número presentado en el mes anterior.

Los eventos tipo TRE presentaron duraciones entre 20 segundos y 97 segundos, totalizando para el mes de octubre alrededor de 441 segundos.

Tabla 9. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL	NO CLASIFICABLES
	vt	lps	tre	hyb	tor			
01-jul-15 a 31-jul-15	116	133	0	41	4	294	494	
01-ago-15 a 31-ago-15	56	49	0	18	4	127	179	
01-sep-15 a 30-sep-15	197	808	2	484	0	1491	1493	
01-oct-15 a 31-oct-15	315	151	14	154	3	637	1112	

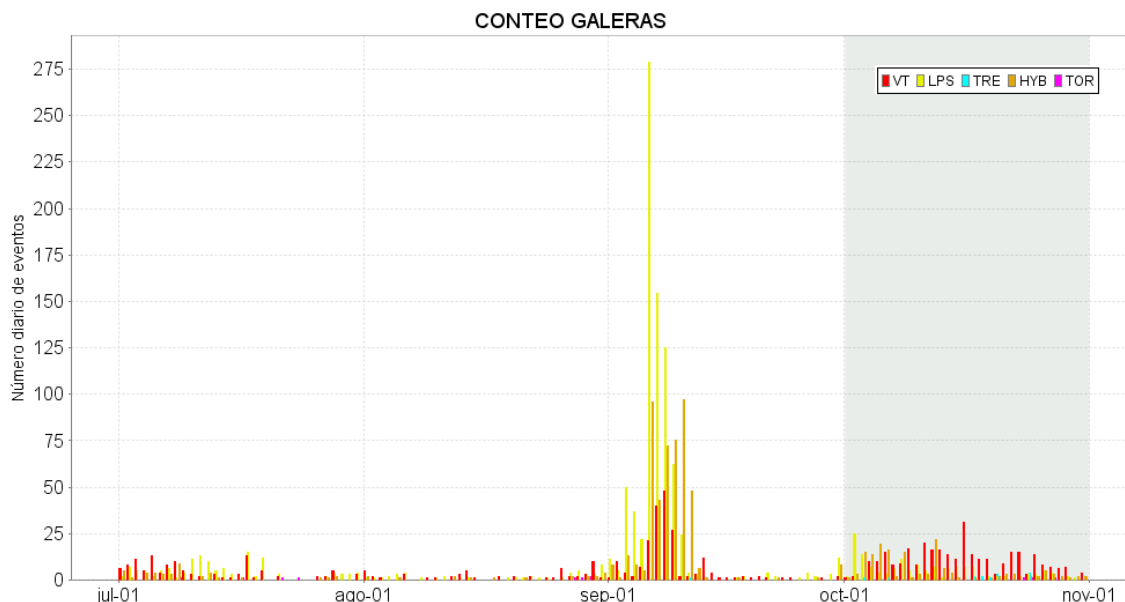


Figura 6. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre julio y octubre de 2015. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.

Comparación Mensual

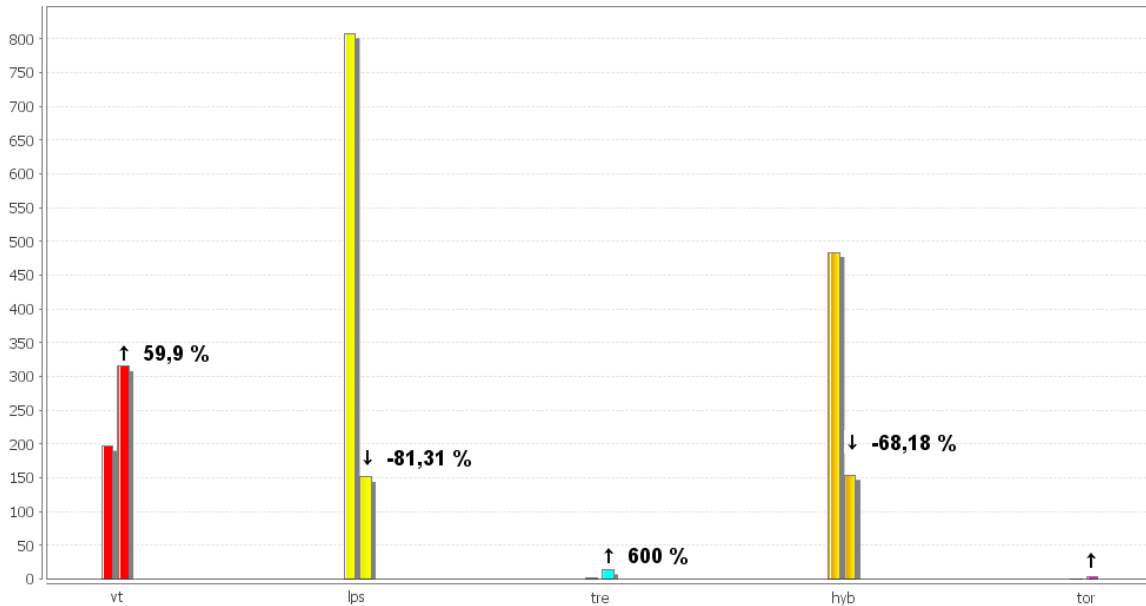


Figura 7. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre (barras de la izquierda).

La Figura 8 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos, observando para el periodo evaluado el dominio de los eventos VT.

Relación Porcentual Mensual

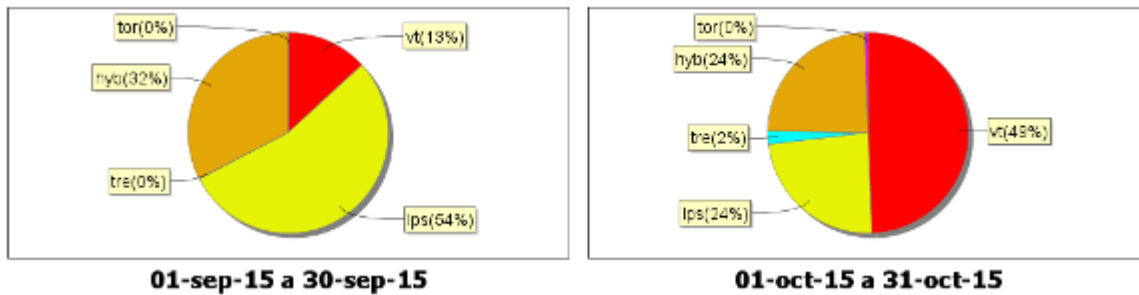


Figura 8. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de septiembre y octubre de 2015.

La energía sísmica liberada en octubre fue de 3.275×10^{13} ergios, observándose un descenso en comparación con el mes de septiembre (Tabla 10, Figura 9). En el periodo evaluado, el mayor aporte provino de los eventos tipo VT (Figuras 9, 10 y 11).

Tabla 10. Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-jul-15 a 31-jul-15	2.084 E+13	1.572 E+12	0	7.075 E+11	2.312 E+13
01-ago-15 a 31-ago-15	1.697 E+12	4.945 E+12	0	6.290 E+11	7.272 E+12
01-sep-15 a 30-sep-15	8.995 E+14	3.069 E+13	2.809 E+9	1.050 E+13	9.407 E+14
01-oct-15 a 31-oct-15	3.167 E+13	1.554 E+11	2.542 E+11	6.695 E+11	3.275 E+13

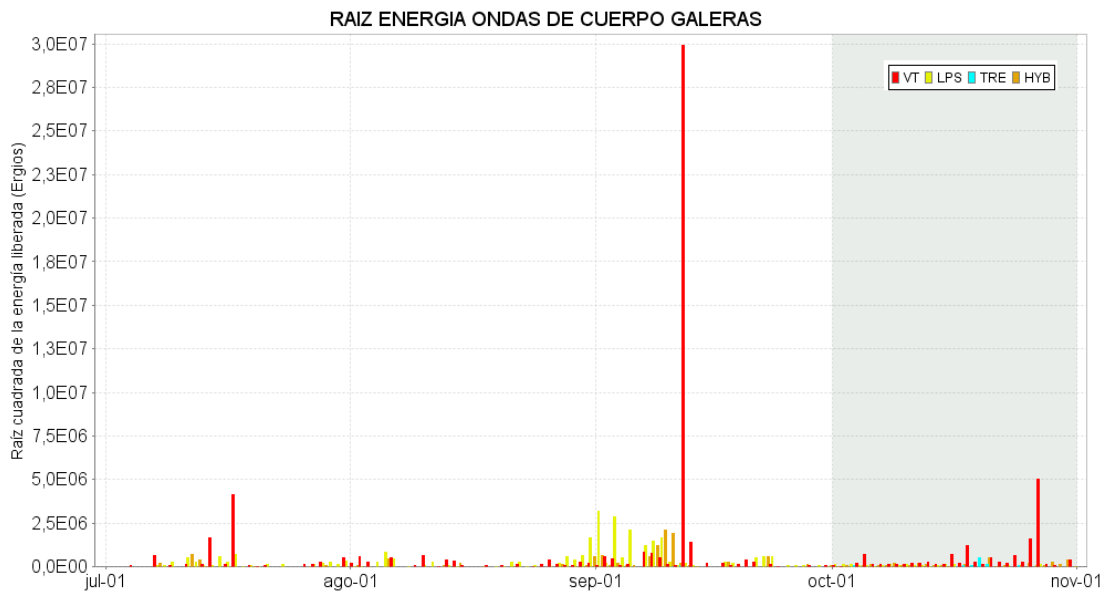


Figura 9. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2015.

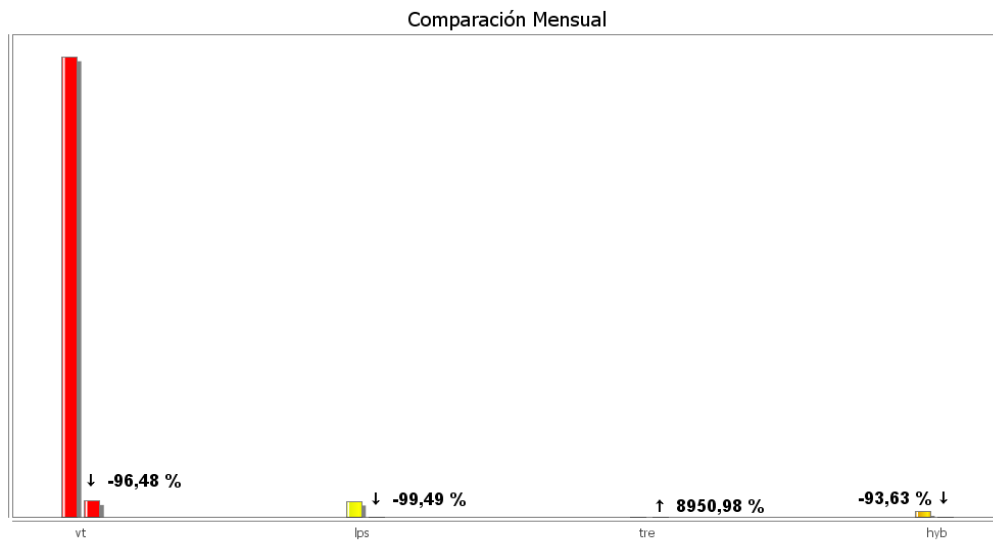


Figura 10. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para octubre de 2015 (barras de la derecha) respecto a septiembre de 2015 (barras de la izquierda).

Relación Porcentual Mensual

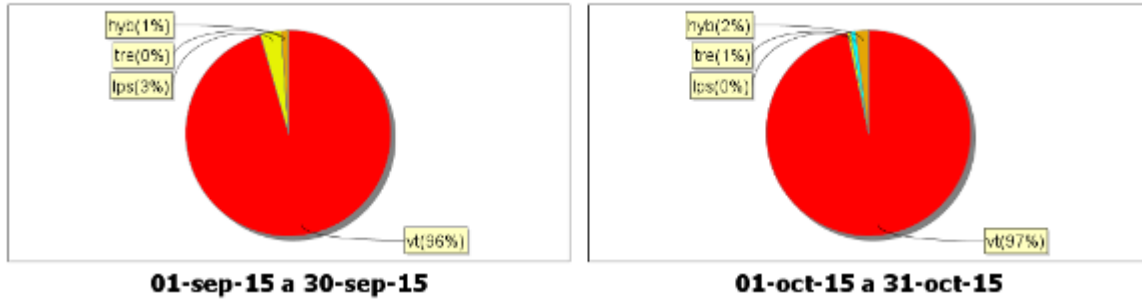


Figura 11. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para septiembre y octubre de 2015.

Fue posible localizar 137 sismos, 117 clasificados como VT y 20 como HYB. Algunos de estos se ubicaron muy próximos al cráter volcánico, a distancias menores de 1 km y profundidades inferiores a los 3 km, los más dispersos mostraron profundidades de hasta 16 km. Las magnitudes locales de los sismos registrados estuvieron entre -0.3 y 3.3 en la escala de Richter (Figura 12).

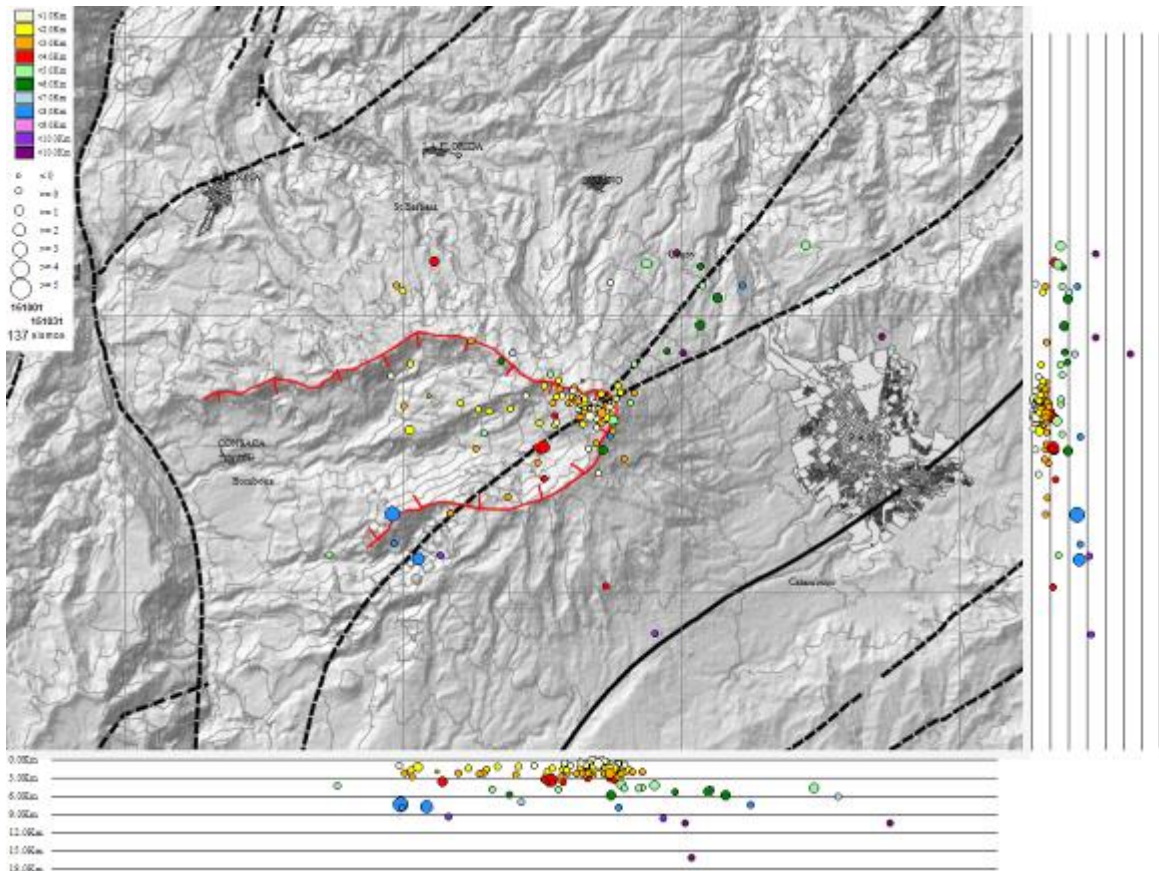


Figura 12. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de octubre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3.0 km de profundidad.

De esta sismicidad se resaltan dos sismos, los cuales fueron reportados como sentidos, el primero ocurrió el 26 de octubre a las 5:59 p.m., se ubicó a 7.6 km al SW de Galeras (Figura 13a), con una profundidad de 7.8 km y magnitud local de 2.6 en la escala de Richter; el segundo se registró el día 27 de octubre a las 5:42 a.m., ubicado a 7.4 km al SW de Galeras (Figura 13b), con una profundidad de 7.5 km y magnitud local de 3.3 en la escala de Richter.

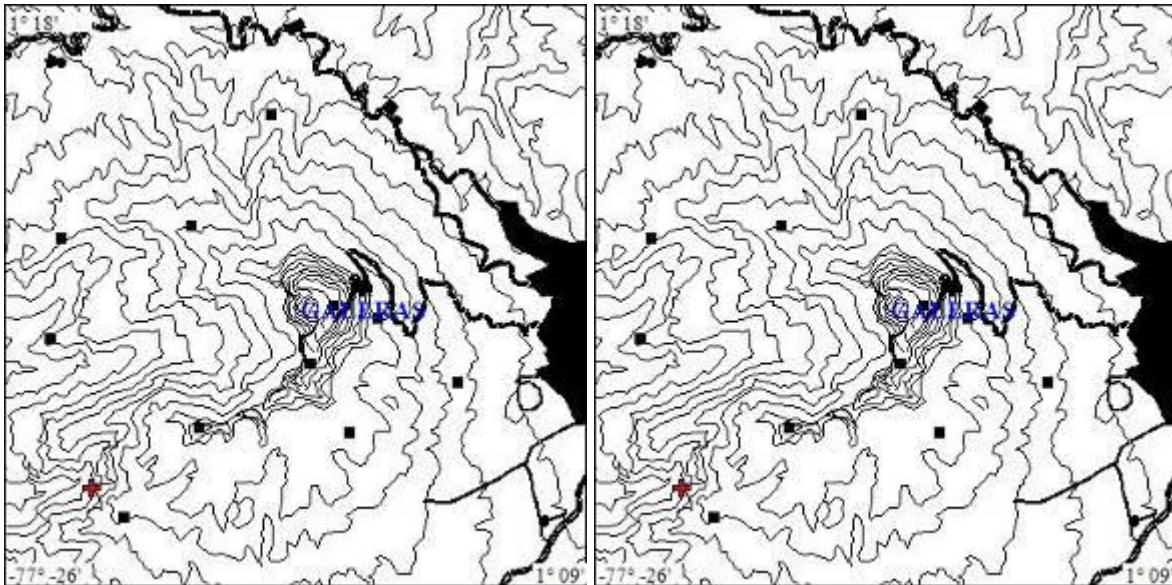


Figura 13. Localización epicentral de sismos VT reportados como sentidos, registrados en el mes de octubre de 2015. a) Octubre 26, a las 5:59 p.m., b) Octubre 27, a las 5:42 a.m.

1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

1.3.1. Inclínometría Electrónica

Durante el mes de octubre 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.

En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, continúan los cambios en los sensores de Calabozo, Cobanegra, Urcunina, Peladitos y Huairatola (Figuras 14, 15, 16, 17 y 18). Para Calabozo desde el 20 de septiembre cuando se dio un cambio en la tendencia de las componentes de inclinación Norte y Este, pasando de ascendente a descendente, descenso cercano a los 100 μ rad y 40 μ rad, respectivamente. En Cobanegra continua el comportamiento descendente en la componente Norte, ascenso cercano a los 75 μ rad, en la Este se aprecia un ligero descenso de 20 μ rad. En Urcunina continua el registro descendente en la componente Norte, variación de 100 μ rad desde el pasado mes de diciembre de 2011. En Peladitos persiste la tendencia descendente en la componente de

inclinación Tangencial, la cual desde 2011 acumula alrededor de 20 μrad . En Huairatola se observa comportamiento ascendente en la componente Tangencial y descendente en la Radial.

En cuanto al comportamiento de los inclinómetros electrónicos Cráter, Arles y Cóndor, se observa estabilidad en el registro de sus dos componentes (Figuras 19, 20 y 21).

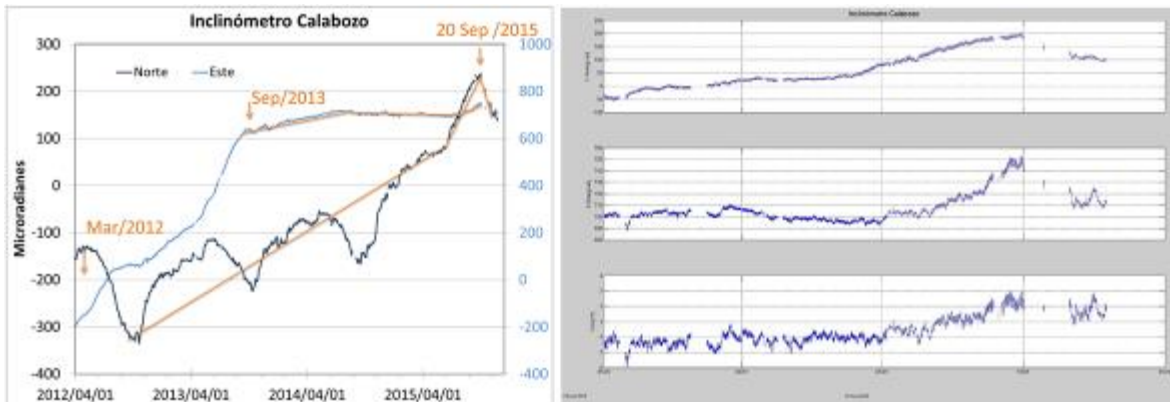


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2012 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

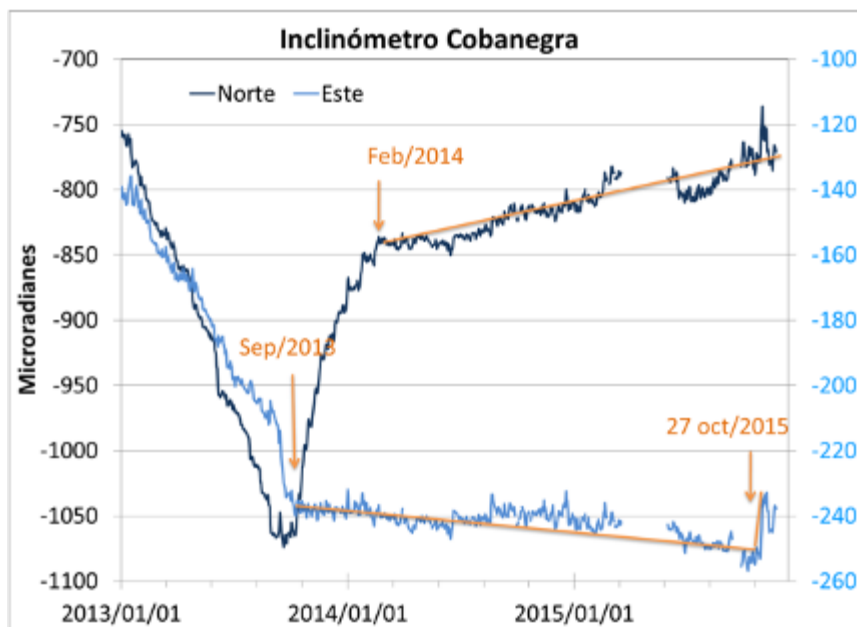


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de octubre de 2015.

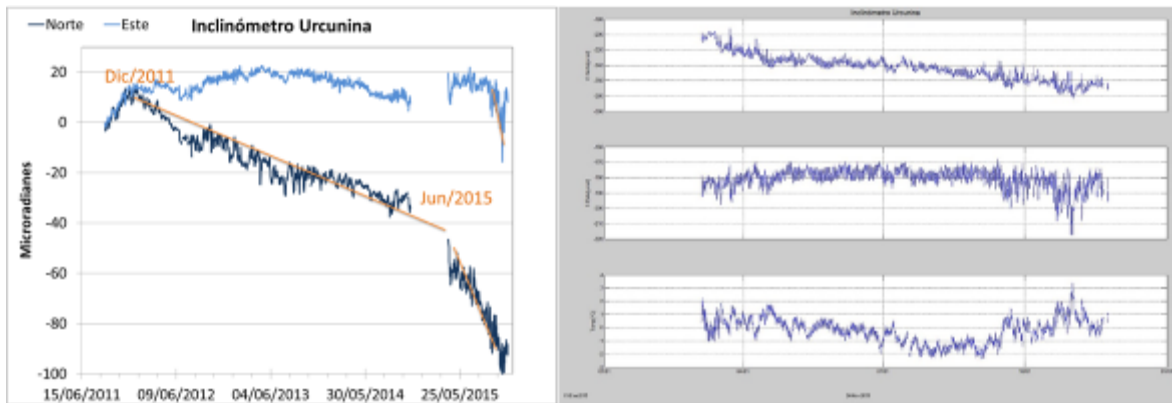


Figura 16. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2011 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015.

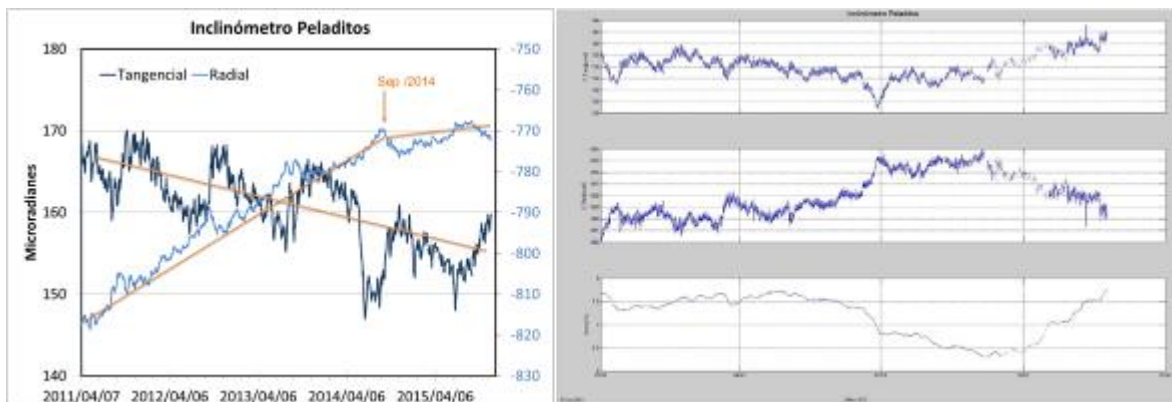


Figura 17. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de abril de 2011 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015.

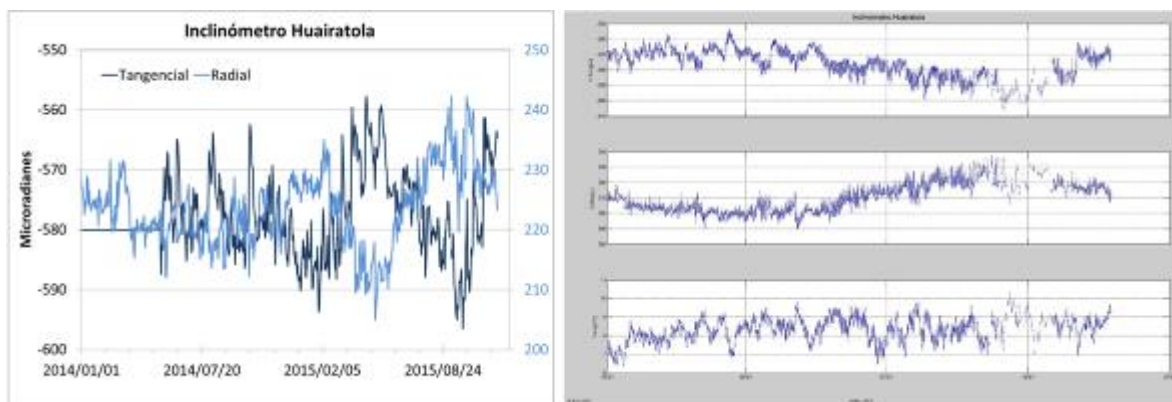


Figura 18. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

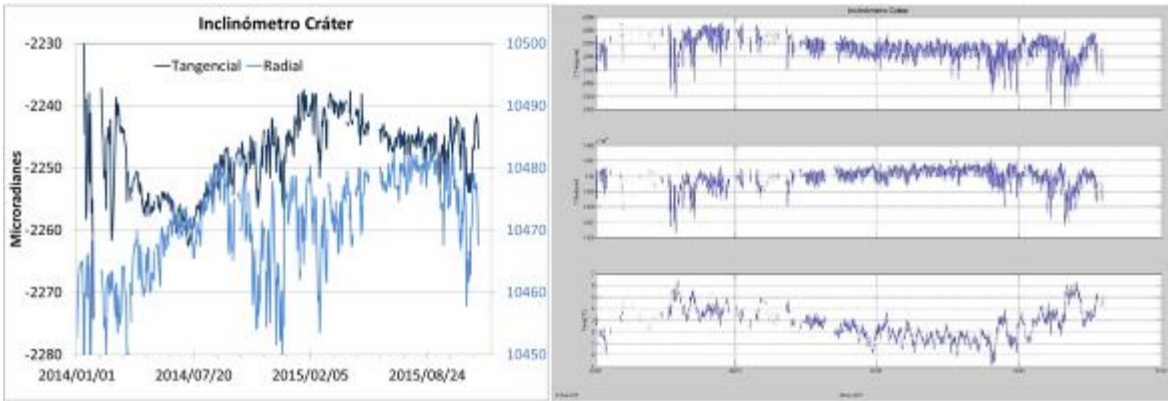


Figura 19. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

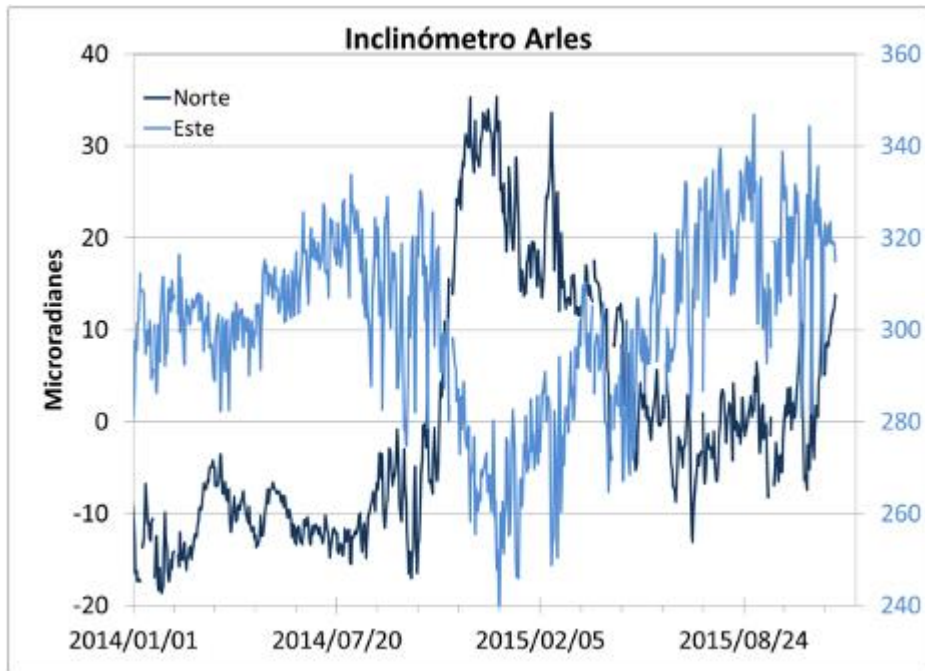


Figura 20. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015.

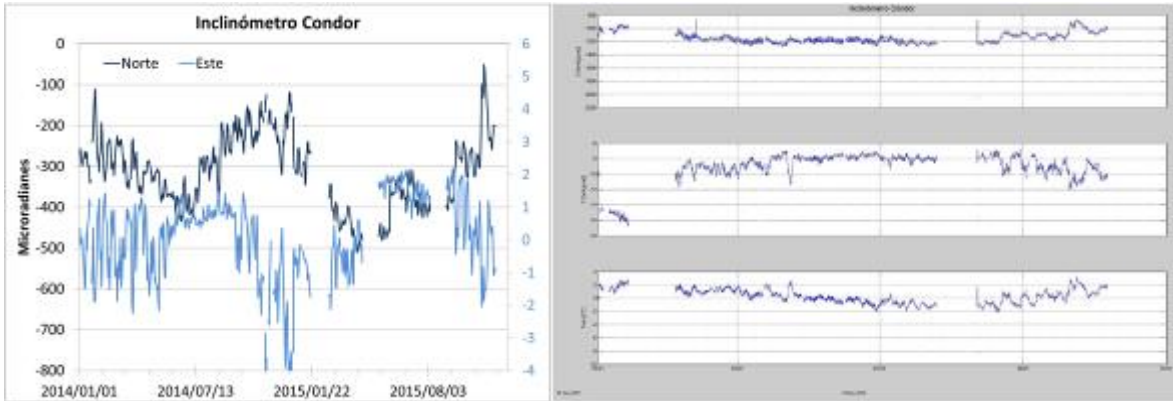


Figura 21. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cónдор, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

En octubre de 2015 se contó con el registro de 5 estaciones receptoras GNSS permanentes. Para el análisis se contempló inicialmente un procesamiento diferencial de la información suministrada por estos equipos 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 22 se muestra la ubicación de las estaciones 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 Cónдор se reinstaló el 21 de febrero de 2015, luego de que una tormenta eléctrica sacó de funcionamiento el equipo, 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 23, 24, 25 y 26). De igual forma en Cónдор y Barranco no se observan cambios importantes en el periodo evaluado (Figuras 27 y 28).

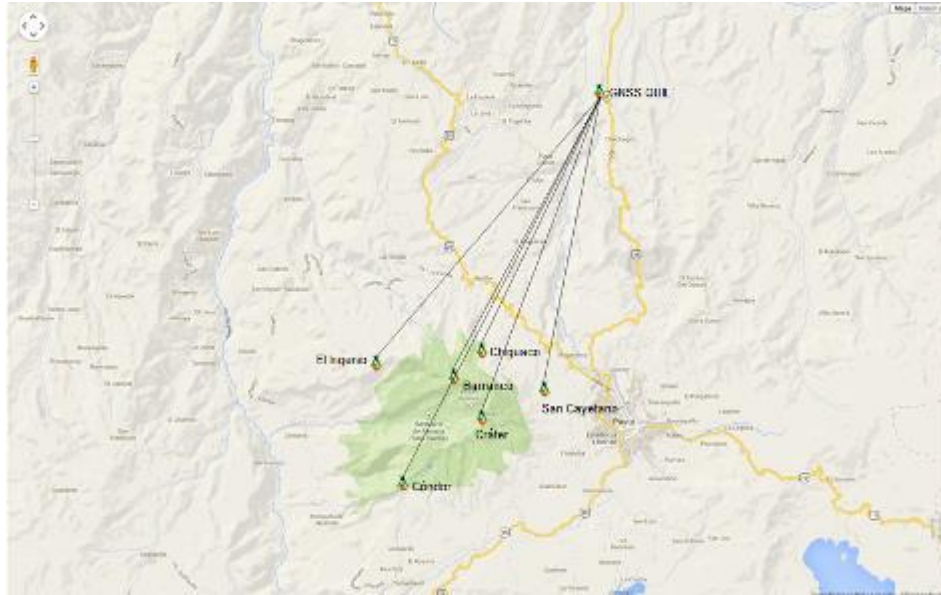


Figura 22. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.

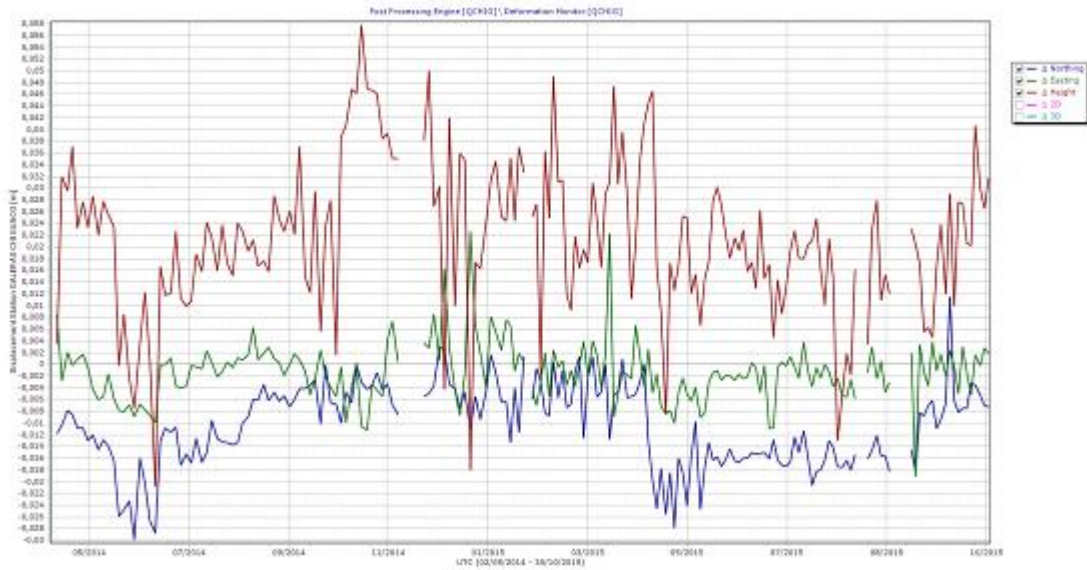


Figura 23. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre mayo de 2014 y el 30 de octubre de 2015.

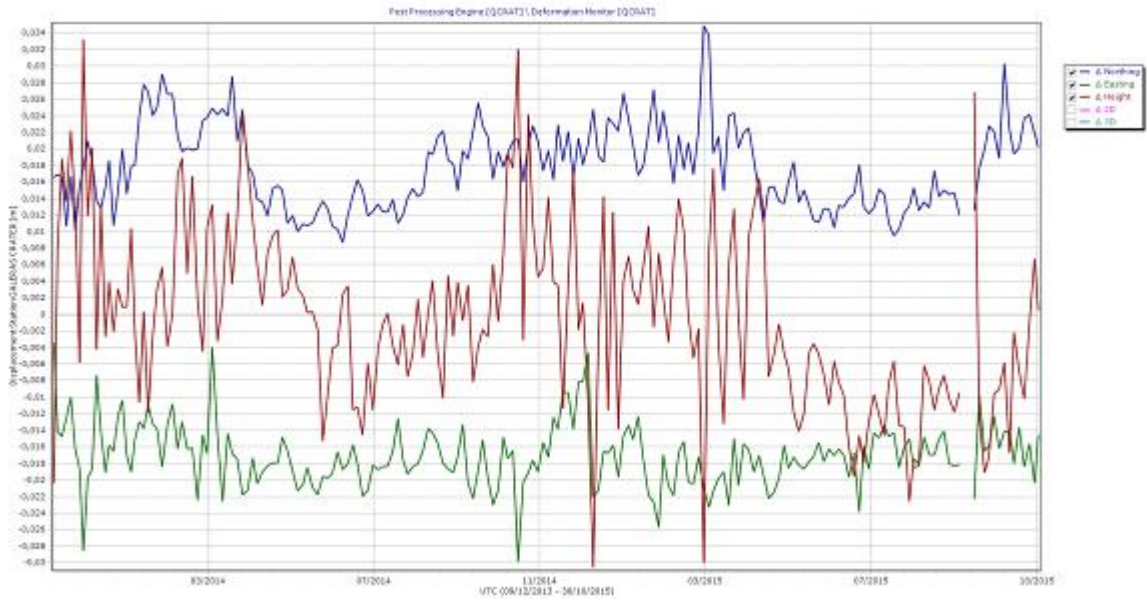


Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 30 de octubre de 2015.

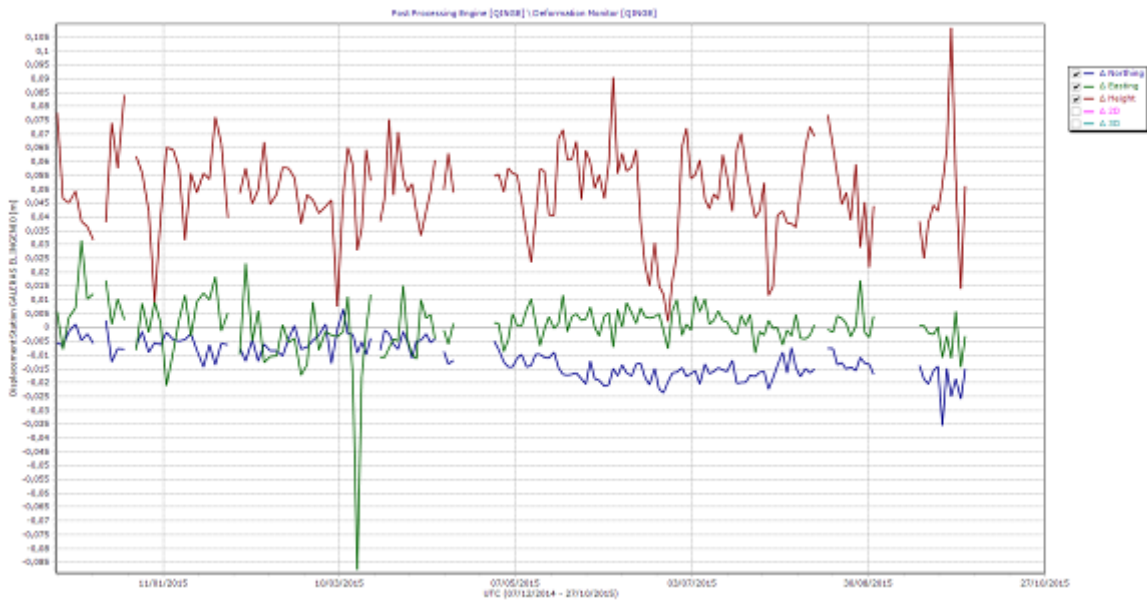


Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2014 y el 27 de octubre de 2015.

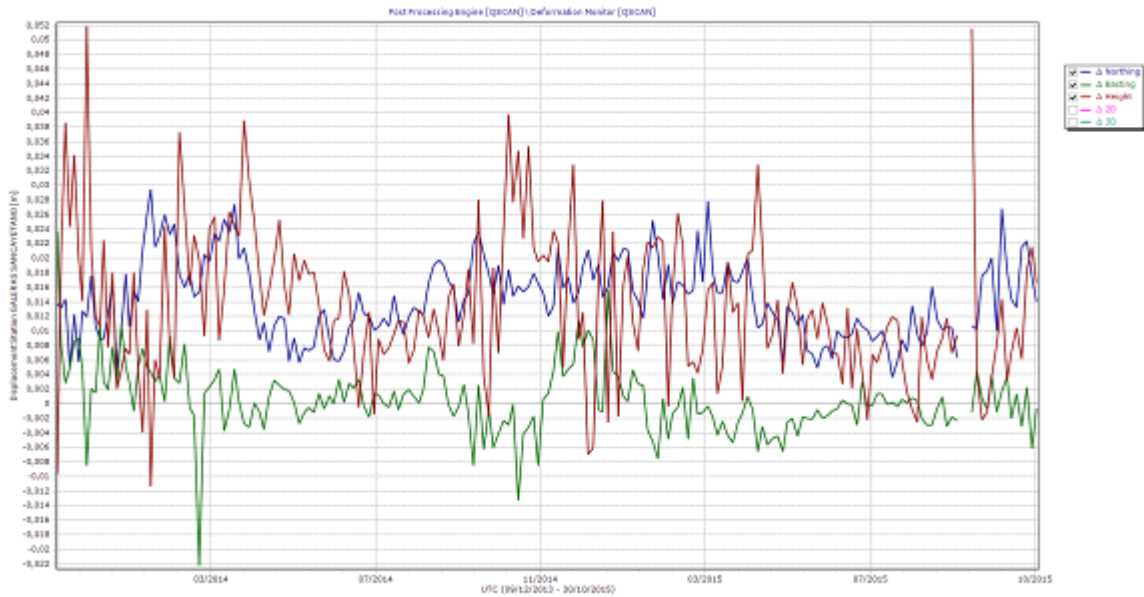


Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 30 de octubre de 2015.

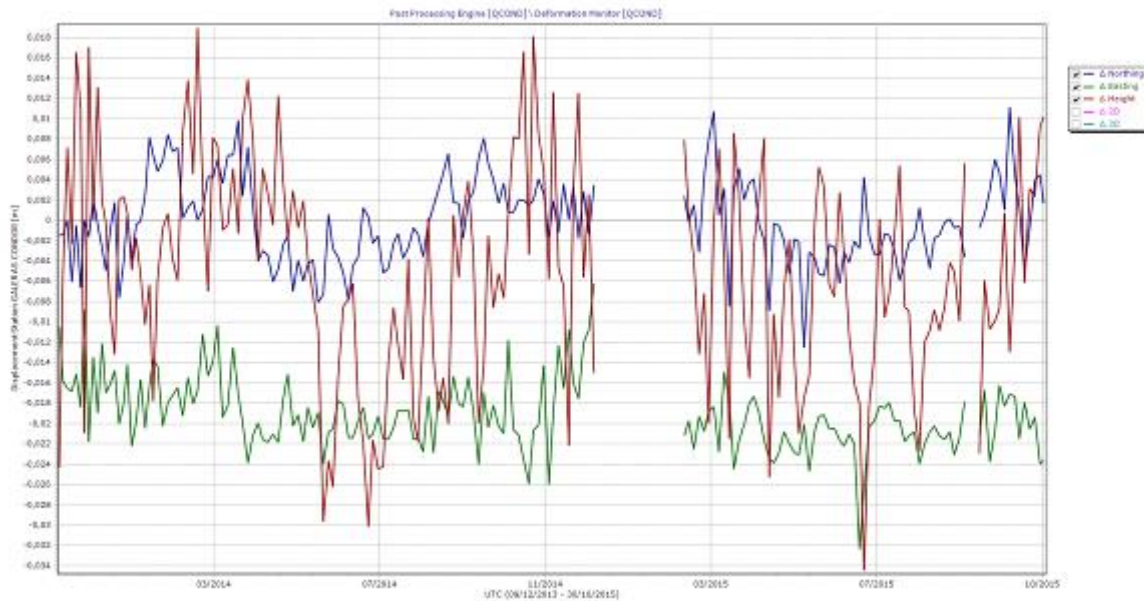


Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 30 de octubre de 2015.

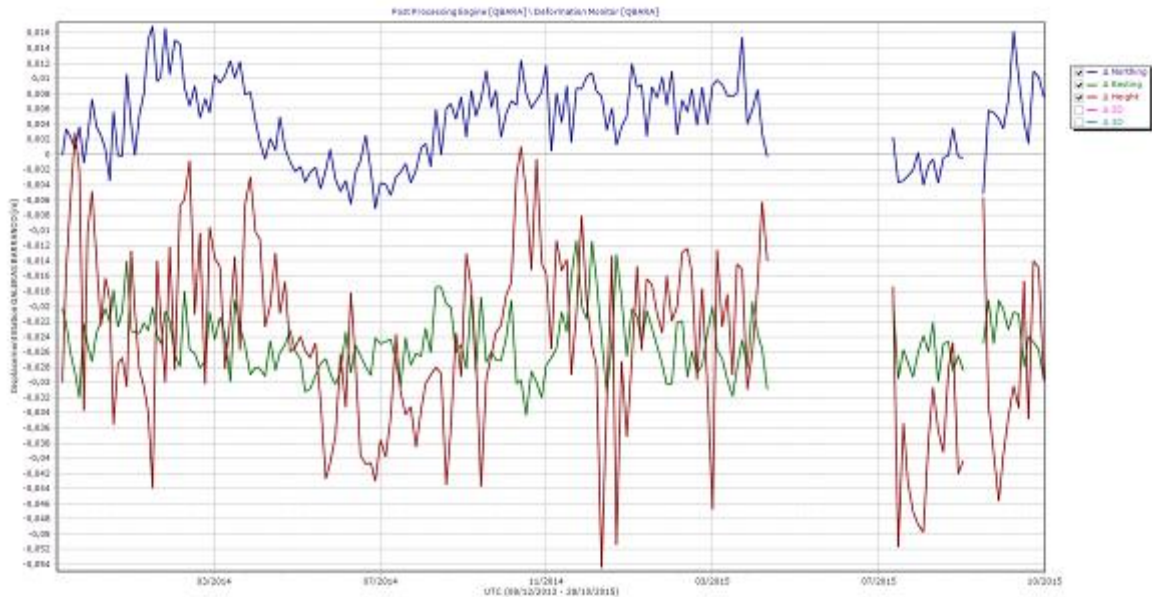


Figura 28. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 28 de octubre de 2015.

1.4. GEOQUÍMICA

En cuanto a las emisiones de gases de origen volcánico en la zona de influencia del volcán Galeras, durante el mes de octubre de 2015 se efectuaron mediciones de Dióxido de Azufre (SO_2) en la atmosfera, con las estaciones permanentes ScanDOAS. Además, se realizaron mediciones de emisión del isótopo 222 del elemento radiactivo Radón (Rn_{222}), que es el isótopo más estable de éste gas, e igualmente se continuó con el muestreo de aguas en fuentes termales.

1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO_2

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

En el volcán Galeras se encuentran ubicadas tres estaciones ScanDOAS telemétricas: Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara para el monitoreo de moléculas de dióxido de azufre (SO_2), partículas provenientes de la desgasificación del magma en el reservorio profundo. El DOAS es un sistema de espectroscopia de absorción UV que funciona mediante absorción óptica diferencial de la luz ultravioleta, en este caso diseñado para medir la concentración de gas SO_2 , convirtiendo la luz ultravioleta detectada en señales digitales, cuyo espectro se utiliza para la evaluación del gas (Instructivo del APLICATIVO ISOLUCIÓN: IN-AME-OVS-003).

Se registraron escaneos durante todos los días del mes de octubre para las estaciones Alto Jiménez y Santa Bárbara, mientras que para la estación Alto Tinajillas no se tiene registro de escaneos;

registrando valores entre 8 Ton/día hasta 453 Ton/día, valores considerados como bajos para Galeras (Figuras 29 y 30, Tabla 11).

Tabla 11. Emisiones de SO₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de octubre de 2015, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO ₂ diario	Estación de registro	Instrumento
01-oct-15	01:14 PM	346.7	0.17	8	Alto Jimenez	SCANDOAS
09-oct-15	08:00 AM	352.6	2.6	148	Alto Jimenez	SCANDOAS
11-oct-15	03:35 PM	334.1	5.1	357	Alto Jimenez	SCANDOAS
15-oct-15	03:51 PM	344.4	5.1	432	Alto Tinajillas	SCANDOAS
16-oct-15	03:17 PM	11.4	5.1	277	Alto Tinajillas	SCANDOAS
17-oct-15	03:47 PM	358.5	5.1	290	Alto Tinajillas	SCANDOAS
18-oct-15	02:58 PM	334.8	5.1	453	Alto Tinajillas	SCANDOAS
19-oct-15	02:38 PM	10.7	5.1	334	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-oct-15	02:53 PM	340.2	2.6	206	Alto Jimenez	SCANDOAS
21-oct-15	03:48 PM	341.9	3.35	133	Alto Jimenez	SCANDOAS
22-oct-15	01:21 PM	14.4	2.03	78	Alto Tinajillas	SCANDOAS
23-oct-15	01:03 PM	15.7	3.16	83	Alto Tinajillas	SCANDOAS
24-oct-15	09:20 AM	345.2	5.38	342	Alto Jimenez	SCANDOAS
25-oct-15	12:33 PM	344.8	6.21	396	Alto Tinajillas	SCANDOAS
27-oct-15	01:28 PM	9.8	4.77	171	Alto Tinajillas	SCANDOAS
28-oct-15	11:53 AM	342.6	2.98	182	Alto Tinajillas	SCANDOAS

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

Para este periodo se presenta un proceso de desgasificación 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 SO₂ de hasta los 4.7 m/s y una dirección del predominante a 340° Azimut aproximadamente. El mayor flujo de SO₂ registrado para el volcán Galeras, durante el mes de octubre de 2015 se presentó el día 18 con un valor de 453 Ton/día, considerado como un flujo bajo.

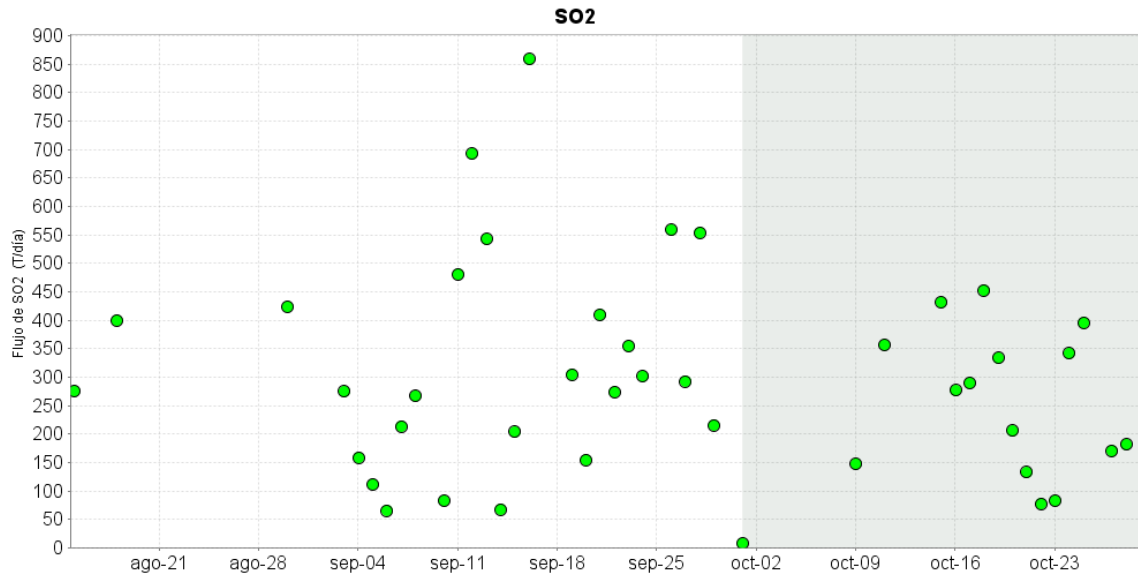


Figura 29. Flujo de emisión de SO₂ registrado desde el 14 de agosto de 2015 hasta el 31 de octubre de 2015, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

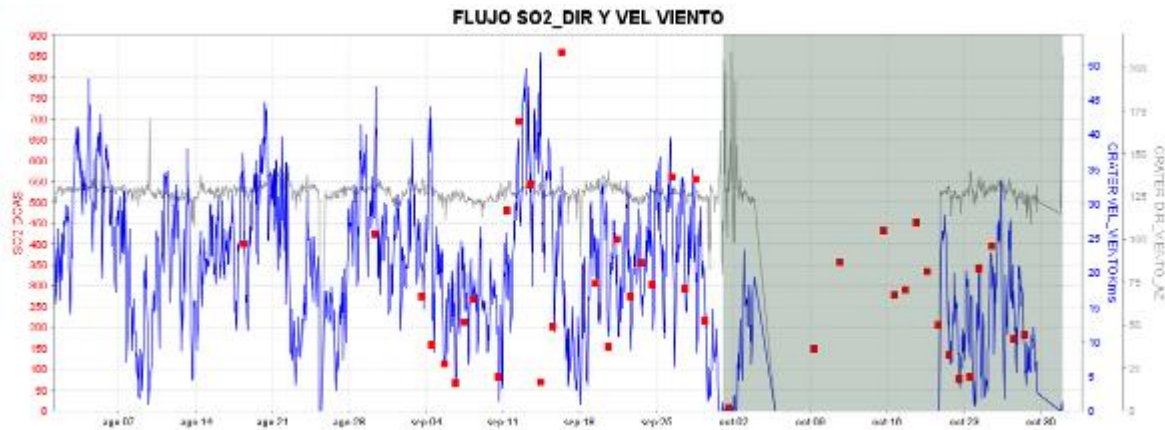


Figura 30. Flujo de emisión de SO₂, dirección y velocidad del viento para el mes de octubre de 2015.

1.4.2. Mediciones del gas Radón - Rn₂₂₂

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

En las Figuras 31 y 32 se presentan las gráficas del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo. Se puede observar en la estación Lavas un comportamiento estable durante el periodo evaluado, sin embargo se registra un pico máximo dominante a fin del mes de octubre. Se presenta una concentración máxima de 95129 Bq/m³ (Figura 31, Tabla 12). Para la estación

Parques se continúa evidenciando oscilaciones en el comportamiento de la concentración de radón, con una posible disminución para el mes de octubre en comparación con meses anteriores. Presenta un máximo de 72155 Bq/m³ (Figura 32, Tabla 13).

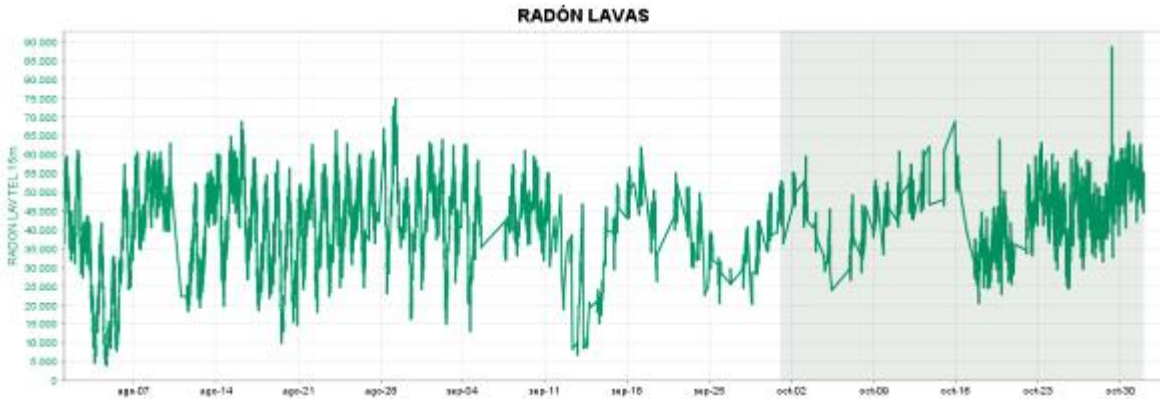


Figura 31. Concentración de gas radón en suelo - estación LAVAS, Octubre de 2015.

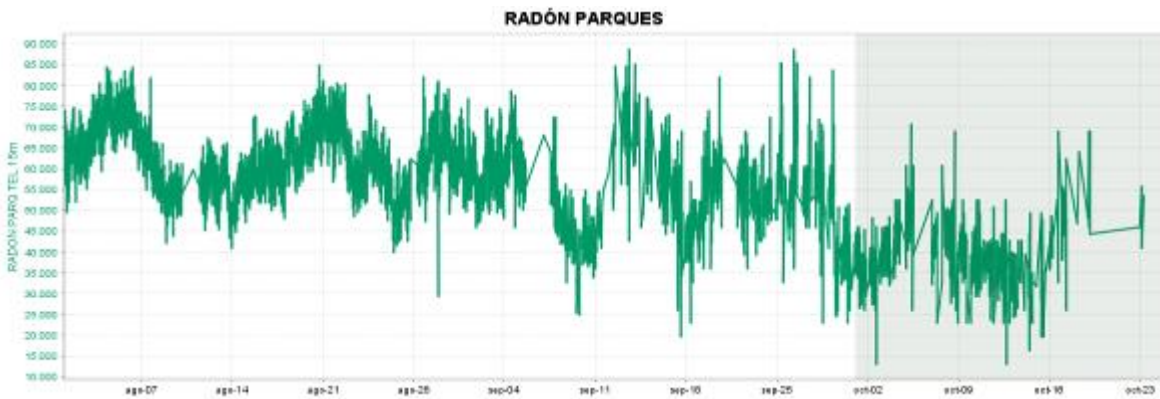


Figura 32. Concentración de gas radón en suelo - estación Parques, Octubre de 2015.

Tabla 12. Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Lavas – octubre de 2015.

Concentración Radón (Bq/m ³)	
Promedio	47004
Máx	95129
Mín	13079

Tabla 13. Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – octubre de 2015.

Concentración Radón (Bq/m ³)	
Valor promedio	38761
Valor máximo	72155
Valor mínimo	19643

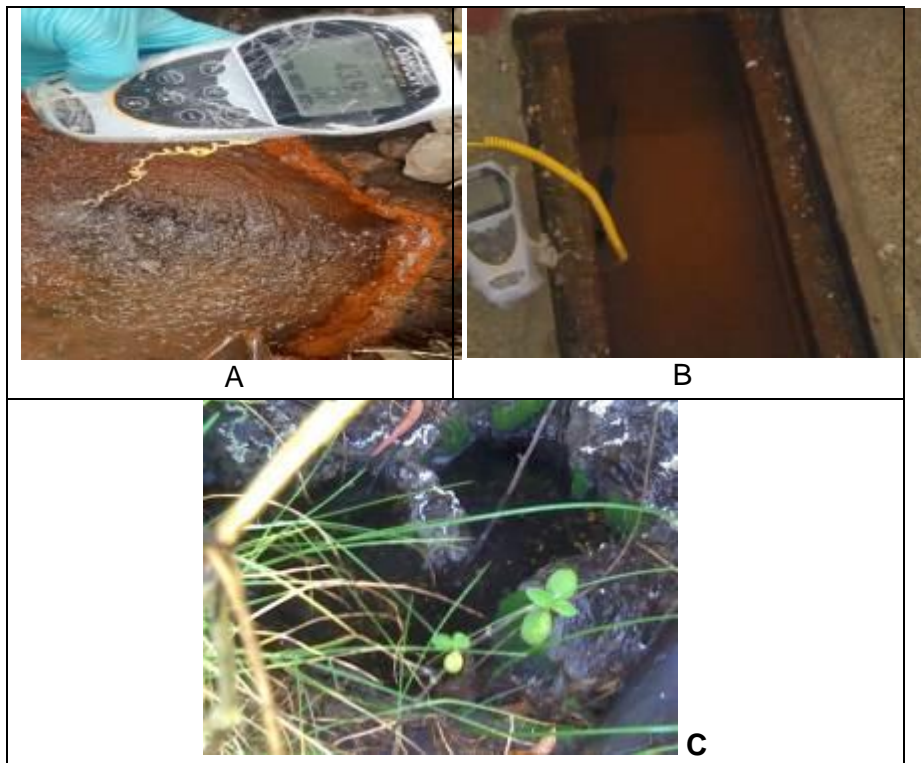
1.4.3. Muestreo de aguas en fuentes termales - Volcán Galeras

El volcán Galeras cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Río Pasto (A), FT Cehani (B), FT Aguas Agrías (C), FT Agua Blanca (D) y FT Licamancha (E) Tabla 14. 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 multiparamétrico ORION (pH-metro, Conductímetro): permite medir el potencial de hidrógeno, temperatura y conductividad eléctrica en aguas de fuentes termales.
- Termómetro: permite hacer mediciones de temperatura.
- Cámara térmica: realiza el registro fotográfico y medida de la radiación térmica en las fuentes termales.

Tabla 14. Imágenes Fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del Volcán Galeras – octubre de 2015.



En la Figura 33 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de octubre del 2015 para las fuentes termales visitadas, ubicadas en la zona de influencia del volcán Galeras. Los colores en las gráfica indican el estado de acidez o basicidad del manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para el pH.

El día 1 de octubre 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, presentando potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2.6 (ácido) y 6.5 (alcalino). En la Figura 34 se observa la gráfica para 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 retornan a los valores normales registrados sobre la línea base de estudio.

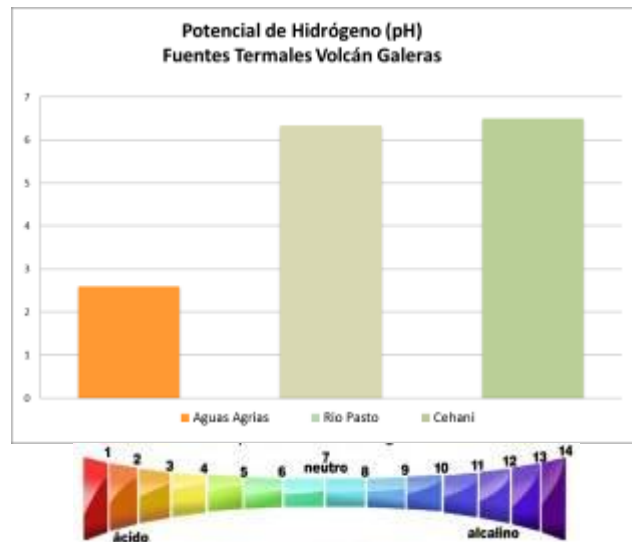


Figura 33. Potencial de hidrogeno de las FT Volcán Galeras, Octubre de 2015.

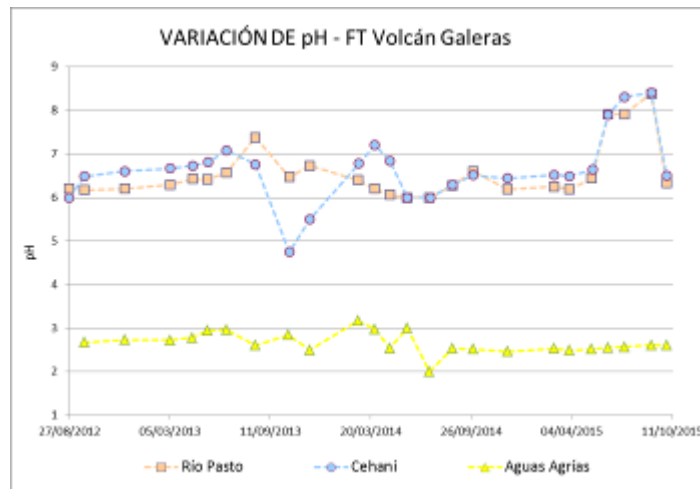


Figura 34. Comportamiento del pH de las FT Volcán Galeras, Octubre de 2015.

En la Tabla 15 se presenta la clasificación de las aguas termales de acuerdo a la temperatura.

Tabla 15. Clasificación de aguas termales según 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: 43.9°C (Temperatura registrada en octubre 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 35), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 3.4 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

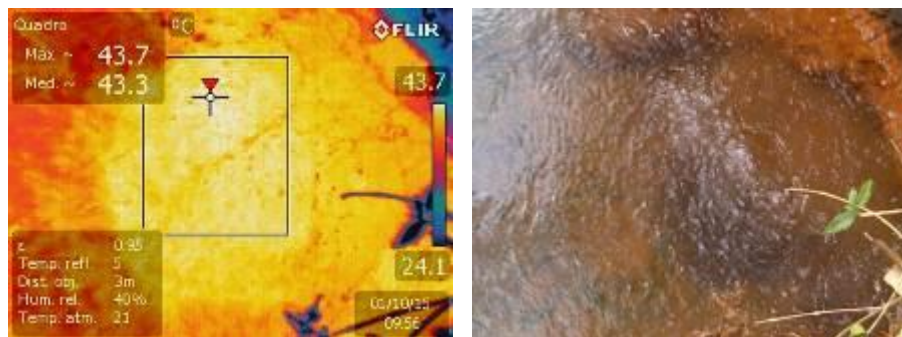


Figura 35. Imagen térmica FT Río Pasto, Octubre de 2015.

- **Fuente termal Aguas Agrías**

Temperatura superficial: 28,7°C. (Temperatura registrada en octubre 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 36), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 4.1 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

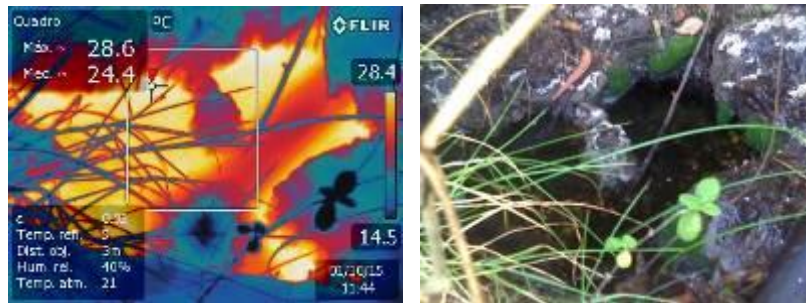


Figura 36. Imagen térmica FT Aguas Agrias, Octubre de 2015.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 37.0°C. (Temperatura registrada en octubre 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 37), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.7 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

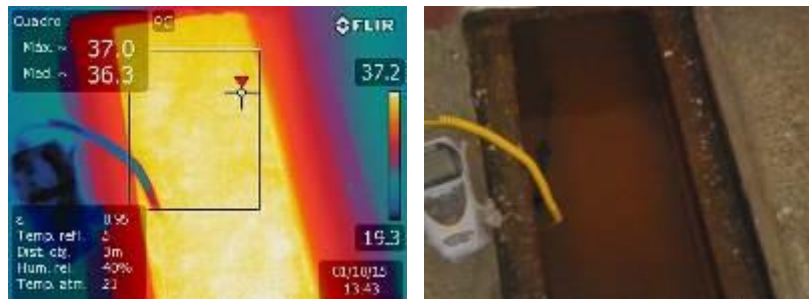


Figura 37. Imagen térmica FT Cehani, Octubre de 2015.

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.

En la Figura 38 se puede observar 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 los últimos meses.

En la Figura 39, se encuentra la gráfica sobre 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.

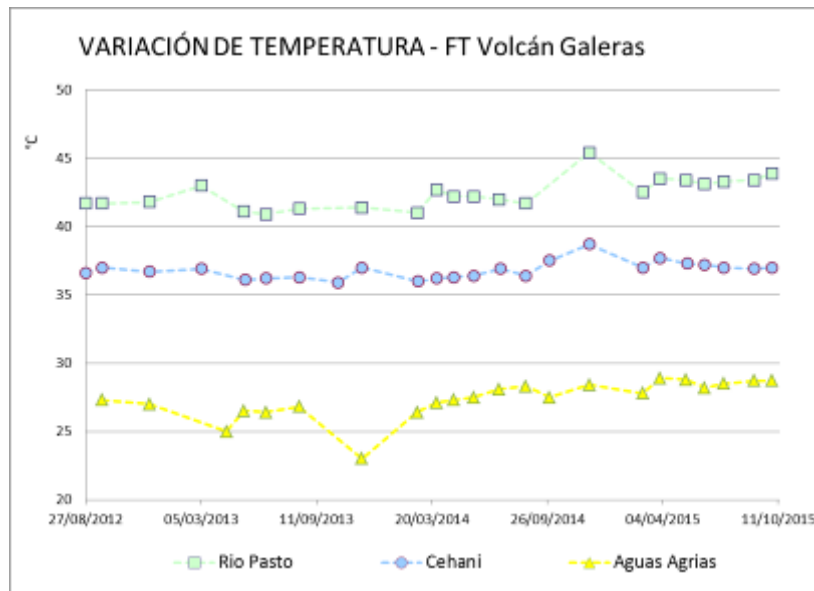


Figura 38. Comportamiento de la temperatura de las FT Volcán Galeras hasta octubre de 2015.

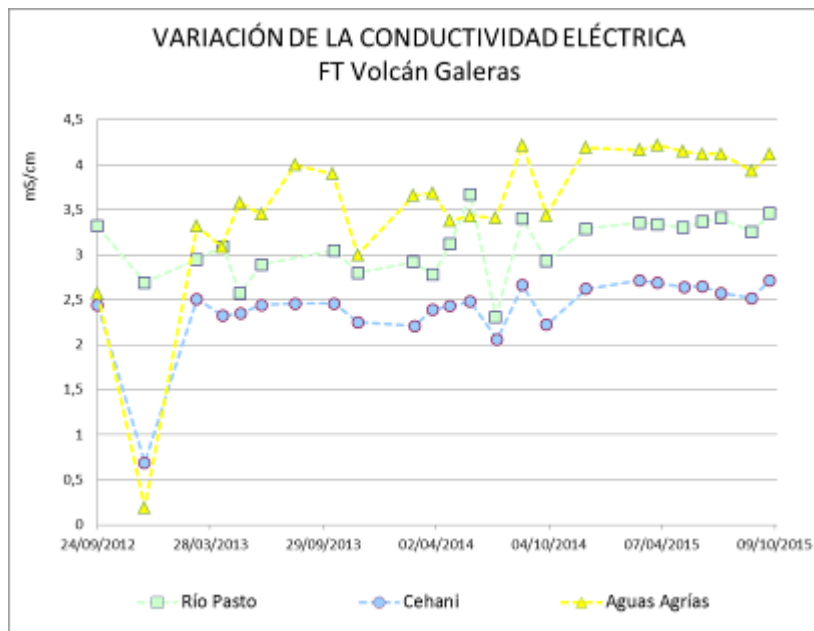


Figura 39. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcán Galeras hasta octubre de 2015.

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 para la FT Cehani se observa un pequeño descenso en el valor de la concentración y en Río Pasto se mantiene estable (Figura 40).

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.

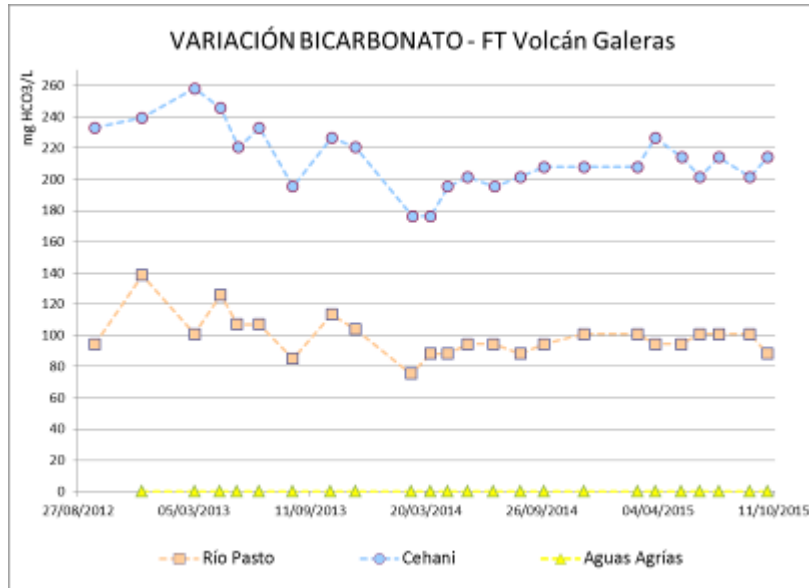


Figura 40. Comportamiento del contenido de Bicarbonato de las FT Volcán Galeras hasta octubre de 2015.

1.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas hacia la cima desde la sede del OVSP, por reportes de las comisiones de personal en campo, de la comunidad o las autoridades y por videos e imágenes de las cámaras instaladas en el OVSP, Consacá y Bruma.

Condiciones favorables de clima permitieron la mayor parte del tiempo observar emisiones de gases, excepto el 5 de octubre, debido a la alta nubosidad presente en la cima volcánica. La dispersión de las columnas de gases fue variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, campo fumarólicos de El Paisita sector norte y cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico. En las Figuras 41 a 46 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.



Figura 41. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 1 de octubre de 2015, en horas de la mañana 7:01 a.m. y 7:49 a.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.

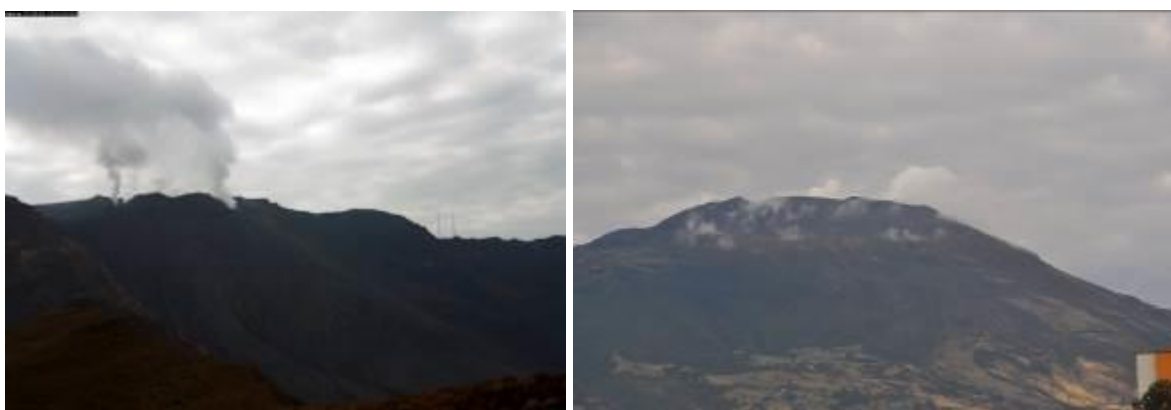


Figura 42. Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 2 de octubre de 2015, a las 7:09 a.m., desde las cámaras de Barranco y sede OVSP.



Figura 43. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 9 de octubre de 2015, en horas de la tarde 4:20 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.



Figura 44. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 19 de octubre de 2015, en horas de la mañana 8:58 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.



Figura 45. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras, capturadas el 26 de octubre de 2015, a las 4:06 p.m. desde la cámara de Barranco.

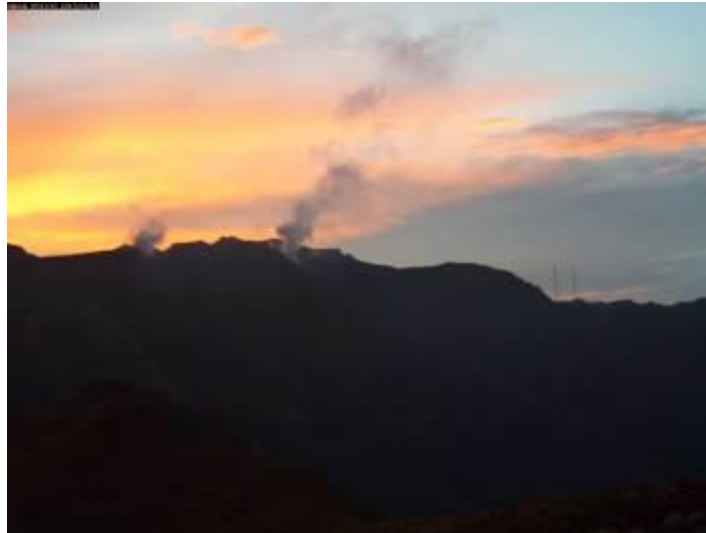


Figura 46. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 31 de octubre de 2015, en horas de la mañana, a las 5:47 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.

1.6. CONCLUSIONES

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

2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – OCTUBRE DE 2015

2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 47 se puede apreciar la disposición de la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal que consta de cuatro estaciones para monitorear su sismicidad (dos sensores de banda ancha y dos de corto periodo), cuatro estaciones para el seguimiento de la deformación cortical del edificio volcánico y un sensor de presión acústica. Adicionalmente, se tiene una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, instalada en el municipio de Cumbal. De igual forma se cuenta con el registro de la estación Cumbal, muy cerca de la Laguna de Cumbal, estación de monitoreo de la red de la RSNC (Figura 47).

De igual forma se cuenta con una red de muestreo de gases en fumarola y aguas en fuentes termales (Figura 47).

En la Tabla 16, se consigna el nombre de cada estación con sus características. En la Figura 48 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones.

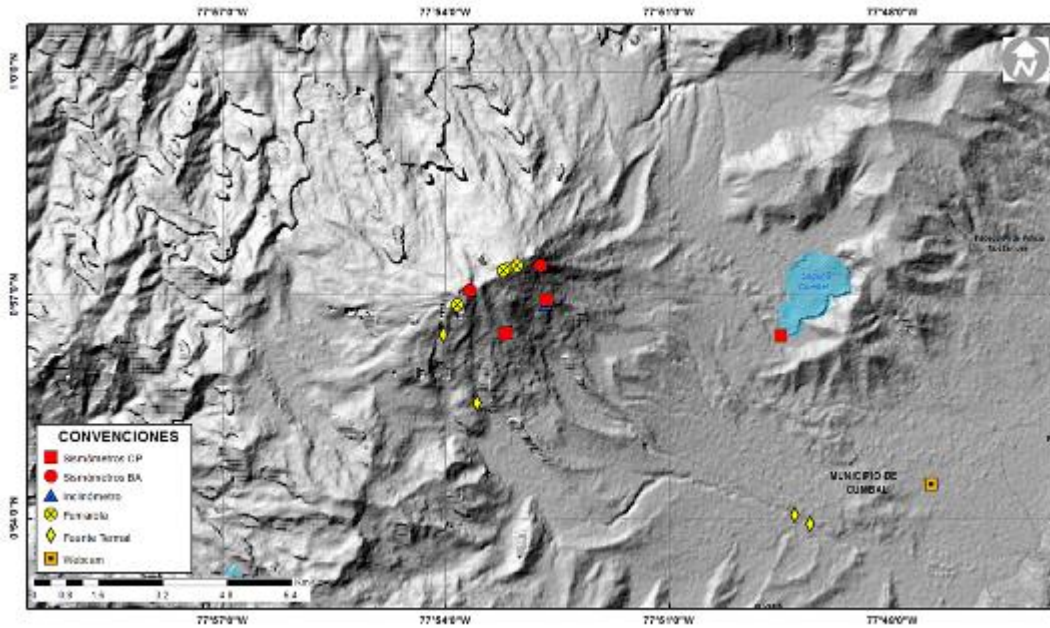


Figura 47. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de octubre de 2015.

Las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de octubre de 2015, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 89% (Figura 48).

Tabla 16. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de octubre 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	Vertical	2,5	ESE	4270
La Nieve	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	0,2	E	4696
Limones	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1,5	SE	4232
Punta Vieja	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2.0	NE	4519
La Mesa	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,5	ESE	4270
La Mesa Acústico	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	2,5	ESE	4270

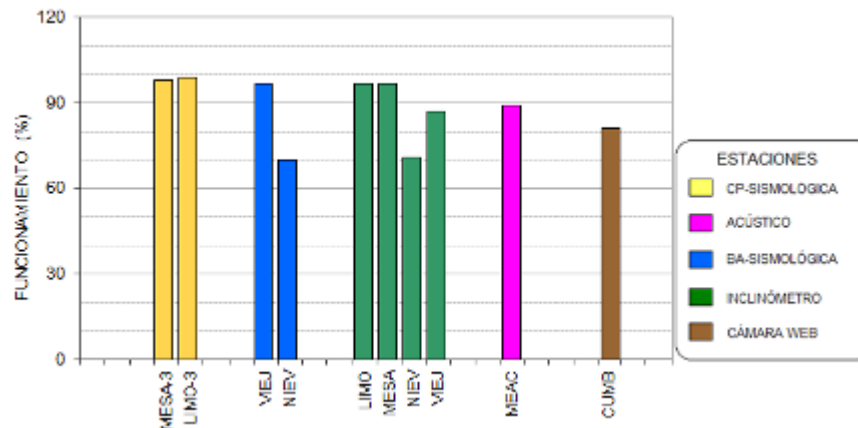


Figura 48. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de octubre de 2015.

2.2. SISMOLOGÍA

En octubre de 2015 se presentó un incremento del 26% en el número total de sismos volcánicos, pasando de 772 a 971 eventos (Tabla 17, Figura 49). El mayor ascenso en ocurrencia se observó para los sismos tipo VT con un 142.9%, seguido por los eventos asociados con fractura de roca y posterior movimiento de fluidos (HYB) con un 43.5% (Figura 50). En contraste se presentó un ligero descenso en los sismos asociados con movimiento de fluidos al interior del volcán de fuente transitoria, descenso cercano al 6.8% en comparación con el periodo anterior. Hubo predominio de la sismicidad tipo LPS con un 46% del total de eventos sísmicos, seguido por un 27% de los sismos asociados con fractura de roca (VT) Figura 51. En el periodo evaluado se presentaron siete eventos Largo Periodo tipo Tornillo (Tabla 17).

Tabla 17. Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL
	vt	lps	tre	hyb	tor	vol	
01-jul-15 a 31-jul-15	172	338	16	293	7	0	826
01-ago-15 a 31-ago-15	246	558	1	248	4	0	1057
01-sep-15 a 30-sep-15	107	483	0	177	5	0	772
01-oct-15 a 31-oct-15	260	450	0	254	7	0	971

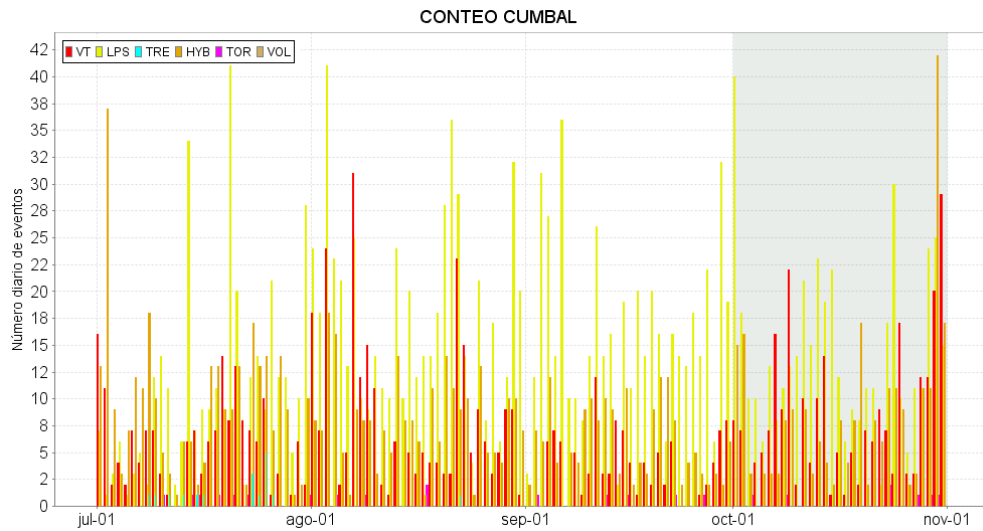


Figura 49. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre julio y octubre de 2015.

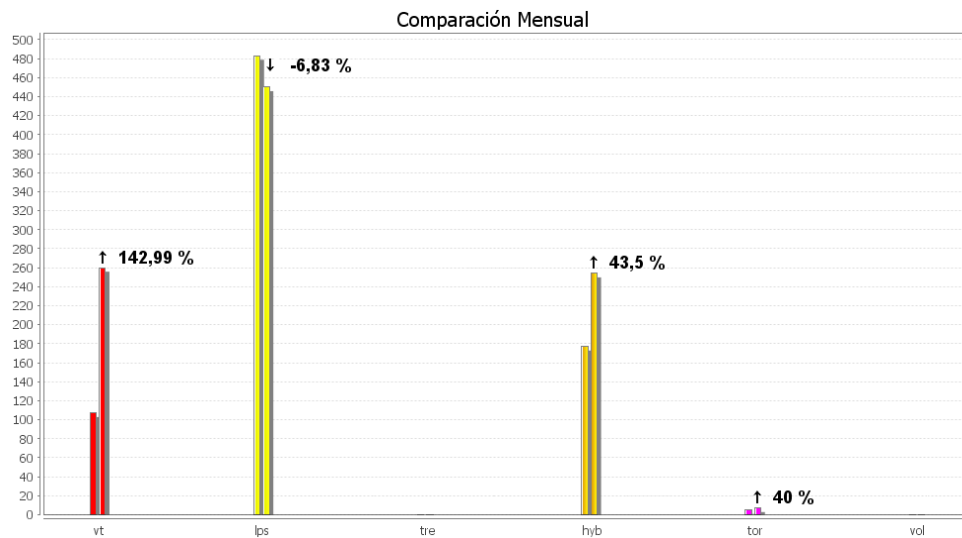


Figura 50. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de octubre (barras de la derecha) respecto al mes de septiembre (barras de la izquierda).

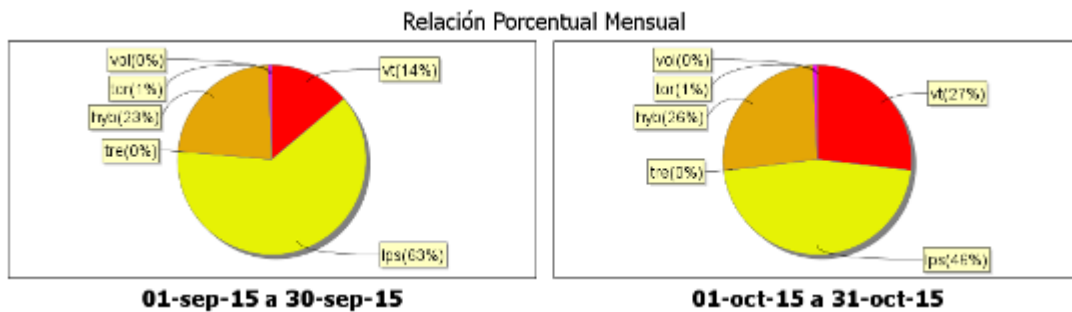


Figura 51. Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para septiembre y octubre de 2015.

La energía liberada de los sismos localizados mostró un incremento muy importante, pasando de 5.8×10^{12} ergios a 3.2×10^{14} ergios. Fue posible localizar 45 sismos, de los cuales 43 fueron asociados con fractura de roca, 1 tipo HYB y un LPS. La gran mayoría de eventos se ubicó en inmediaciones de los dos conos volcánicos del complejo, Mundo Nuevo al sur y Cumbal al norte, con profundidades entre 0.2 y 12.8 km. La magnitud local estuvo entre -0.3 y 1.3 en la escala de Richter, (Figura 52).

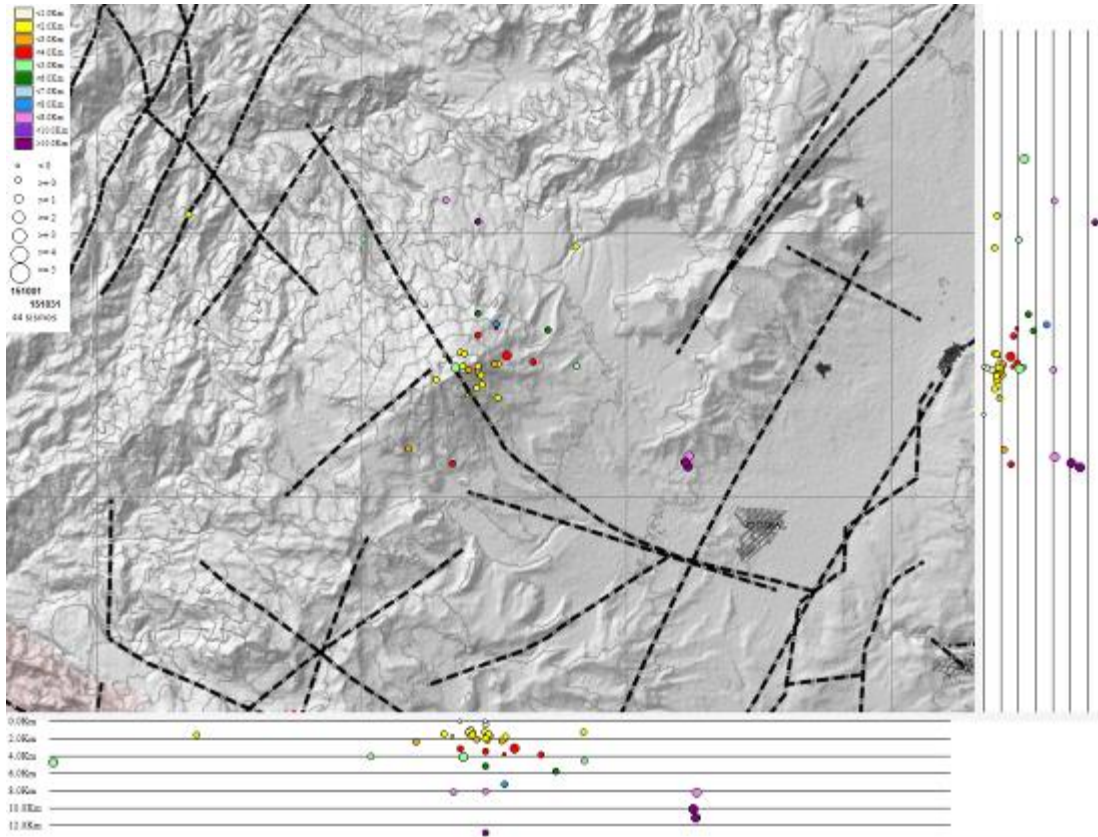


Figura 52. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de octubre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).

De la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de los eventos de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR), los cuales presentaron frecuencias dominantes entre 1.35 y 1.43 Hz (Figura 53), y duraciones entre 34 y 52 segundos. En las Figuras 54 y 55 se presentan a manera de ejemplo, el registro de los eventos TOR ocurridos el 23 y el 27 de octubre de 2015.

Se resalta que, hasta la fecha este tipo de eventos no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema volcánico.

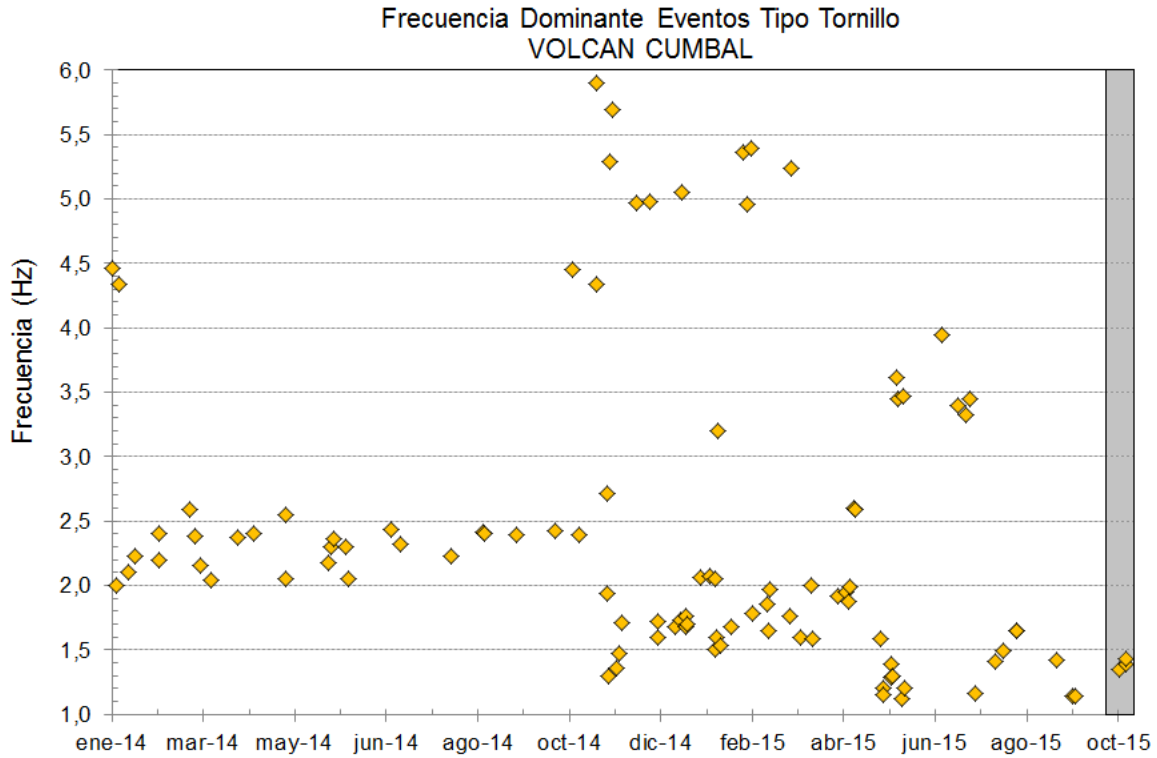


Figura 53. Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015, resaltando los eventos registrados en el mes de octubre de 2015 en el recuadro gris.

23- Oct 06:10:36 LT
Amplitud pico a pico: 55 cuentas (Limonas)
Duración: 39 segundos
Frecuencia Dominante: 1.35 Hz.
Factor H: 0.00977
Factor Q: 51.1797

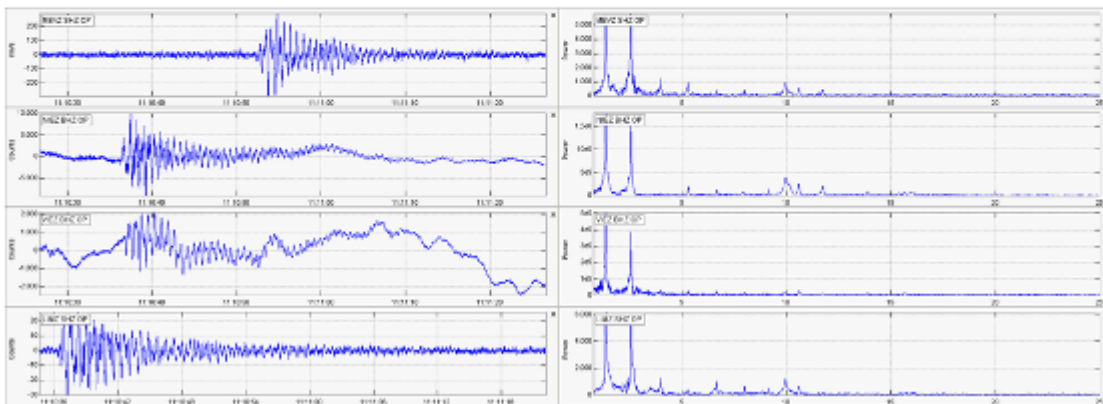


Figura 54. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 23 de octubre de 2015 a las 6:10 a.m., registrando 39 segundos de duración.

27/oct/2015, 17:03 LT
Duración: 35 segundos
Frecuencia: 1.39 Hz.
Factor h: 0.01012
Factor Q: 49.38

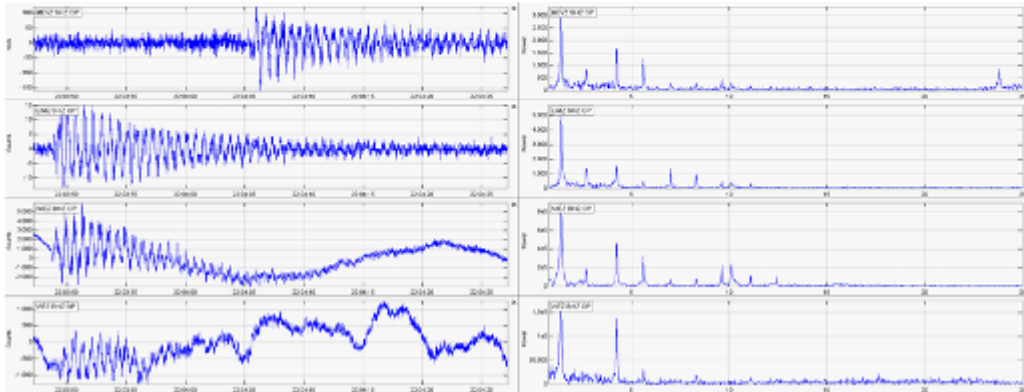


Figura 55. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 27 de octubre de 2015 a las 5:03 p.m., registrando 35 segundos de duración.

2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

En cuanto a los procesos deformativos del edificio volcánico se observó estabilidad en las componentes de inclinación del sensor Limones (Figura 56). Teniendo en cuenta la serie de tiempo desde el año 2014, se observa una tendencia descendente en la componente Este del inclinómetro Punta Vieja, cuya variación es cercana a los 40 μrad , de igual forma se observó este comportamiento en la componente Norte, el cual se mantuvo hasta finales de septiembre, acumulando alrededor de 100 μrad , ya para el periodo evaluado se evidencia una tendencia ascendente en esta componente (Figura 57).

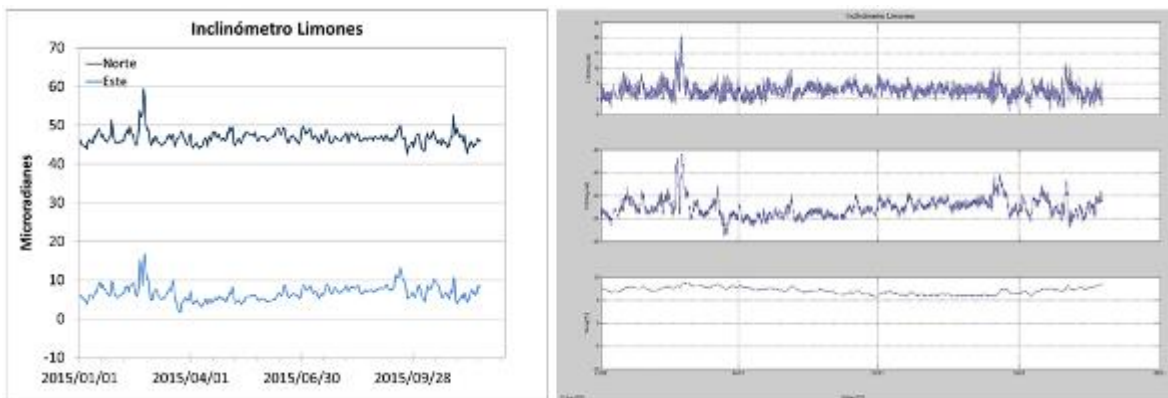


Figura 56. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015.

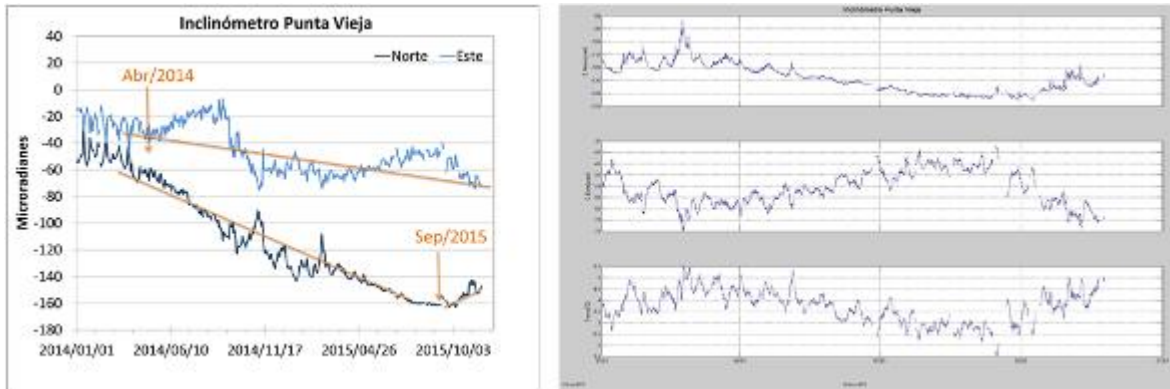


Figura 57. Componentes de inclinación Norte, Este del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (Izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (Derecha).

2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Debido a la alta nubosidad imperante en la zona del Complejo Volcánico de Cumbal, fue posible evidenciar emisión de gases para los días 2, 6, 11, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30 y 31 de octubre, columnas de color blanco, de poca altura y dispersión variable por acción de los vientos, saliendo desde los campos fumarólicos de Rastrojo, Boca Vieja en Mundo Nuevo y desde el campo fumarólico El Verde en Cumbal.

En las Figuras 58 a 62 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Cumbal.



Figura 58. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 11 de octubre de 2015, a las 6:36 p.m. (Izquierda) y 6:41 p.m. (Derecha).



Figura 59. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 22 de octubre de 2015, a las 6:21 a.m.



Figura 60. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 25 de octubre de 2015, a las 6:01 a.m.



Figura 61. Imagen capturada por Personal del Observatorio en labores de campo el 30 de octubre a las 6:42 a.m., en la fotografía se observa emisión de gases desde los campos fumarólicos El Verde y Rastrojo.



Figura 62. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 31 de octubre de 2015, a las 6:47 a.m.

2.5. CONCLUSIONES

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

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de octubre de 2015 permitió, que la actividad del complejo volcánico Cumbal permaneciera en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO OCTUBRE 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 (Figura 63). Chiles tiene una altura de 4748 msnm, y Cerro Negro, de 4470 msnm.

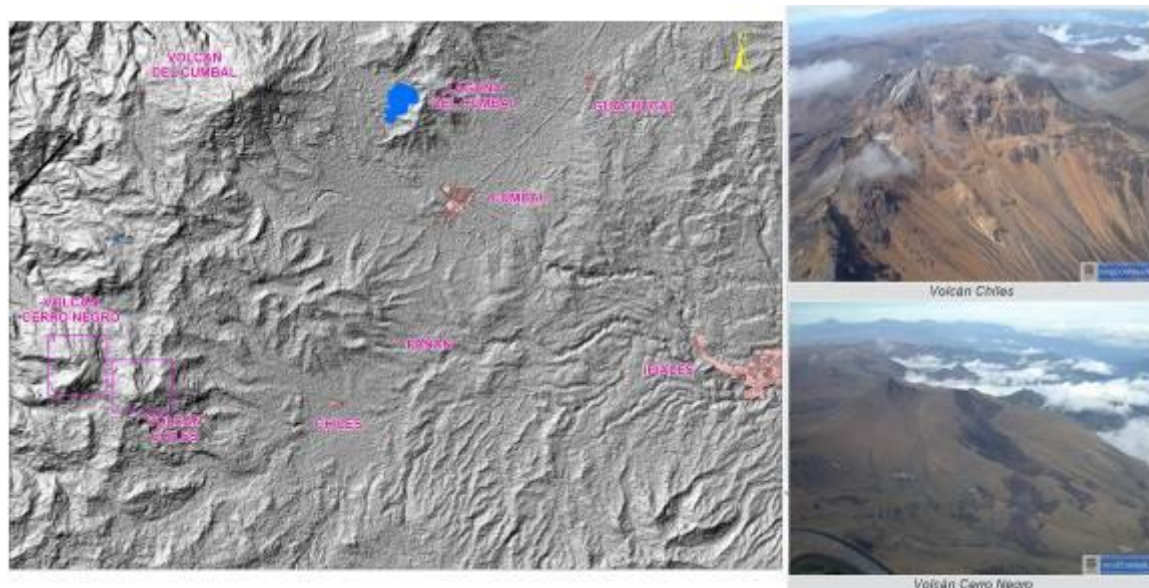


Figura 63. Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

3.2. RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por siete estaciones sísmicas de banda ancha y tres inclinómetros electrónicos (Figura 64, Tabla 18). Una estación permanente telemétrica para el seguimiento de la temperatura en la fuente termal Baño Grande, ubicada en cercanías del cabildo Indígena de Chiles (Figura 64) y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 64, Tabla 19).

De igual forma se cuenta con un sensor de presión acústica, ubicado en cercanías de la estación sísmica Canguil y una cámara Web instalada en la población de Nazate (Figura 64).

Se resalta que el día domingo 21 de diciembre de 2014 hacia las 8:25 a.m., el sensor sísmico de la estación El Morro registró señales asociadas con pisadas en el sitio de la estación, posteriormente hacia las 8:36 a.m. en sede no se recibe la señal sísmica, únicamente la señal portadora del radio, finalmente a las 8:49 a.m. se pierde totalmente la señal de la estación.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvieron un funcionamiento promedio del 77% (Figura 65).

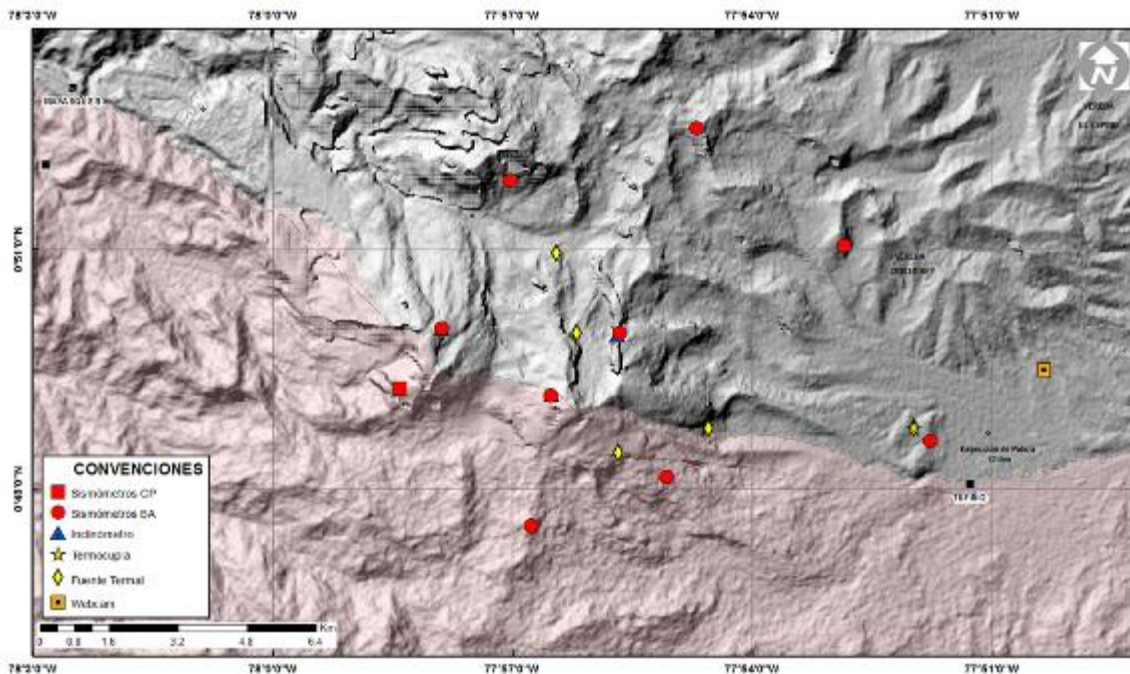










Figura 64. Estaciones sísmicas y de deformación cortical para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.

Tabla 18. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de octubre de 2015.

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
El Morro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1,9	NNE	4068
I. El Morro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1,9	NNE	4068
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

Tabla 19. 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

FUENTE TERMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
(F) BALNEARIO		0°48'11,8"	77°51'41,4"	3269
(G) LA CALERA		0°48'17,4"N	77°51'44,8"W	3284
(H) EL INFIERNILLO		0°48'19,6"N	77°51'43,2"W	3284

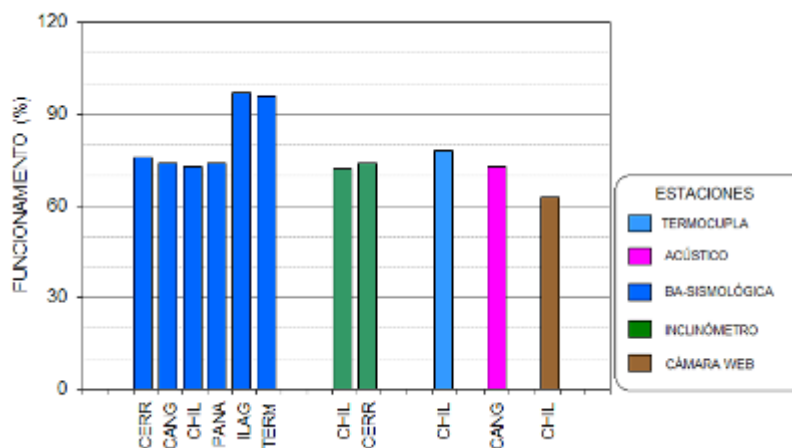


Figura 65. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de octubre de 2015.

3.3. SISMOLOGÍA

Teniendo en cuenta el periodo desde que se inició la vigilancia instrumental de la actividad volcánica en la zona de influencia de Chiles y Cerro Negro con la instalación permanente de estaciones en noviembre 5 de 2013, hasta el 31 de octubre de 2015, se han registrado en total 541.466 sismos, la gran mayoría presentados en el periodo que va desde septiembre 29 de 2014 hasta abril 30 de 2015 con 432.560 sismos, en los últimos meses se nota la clara tendencia descendente con algunas fluctuaciones en la ocurrencia sísmica diaria (Figura 66).

La ocurrencia sísmica en el mes de octubre de 2015 mostro un ascenso, cercano al 20% del número registrado en septiembre, pasando de 1065 a 1276 sismos, en su mayoría asociados con fractura de

roca (VT) (Tabla 20, Figura 67). El día 1 de octubre se registró la tasa más elevada de ocurrencia diaria contabilizando 87 eventos.

Adicionalmente en la actividad sísmica de octubre se destaca la presencia de eventos que por sus características indican movimiento de fluidos de tipo magmático a profundidades menores a los 5 km respecto a la cima de Chiles.

Tabla 20. Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico de Chiles – Cerro Negro registrados entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	vt	lps	tre	hyb	TOTAL
01-jul-15 a 31-jul-15	944	2	0	0	946
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

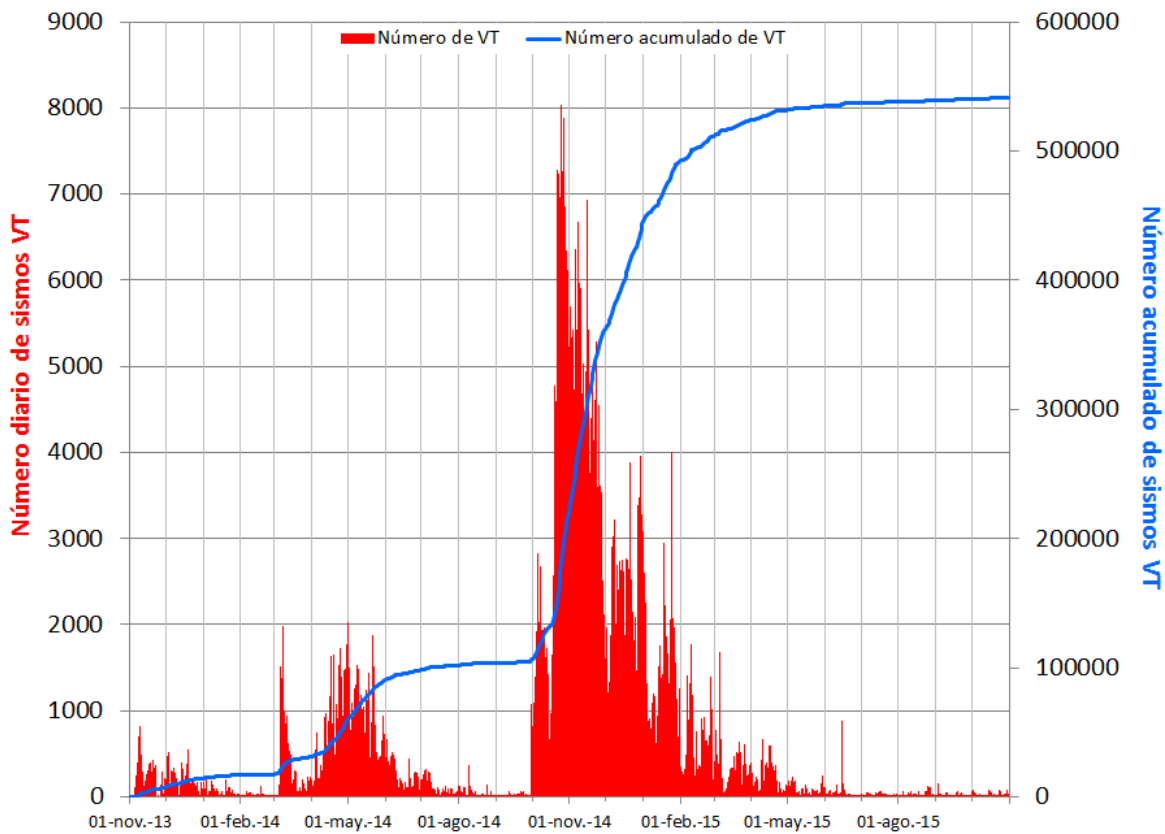


Figura 66. Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y octubre 31 de 2015.

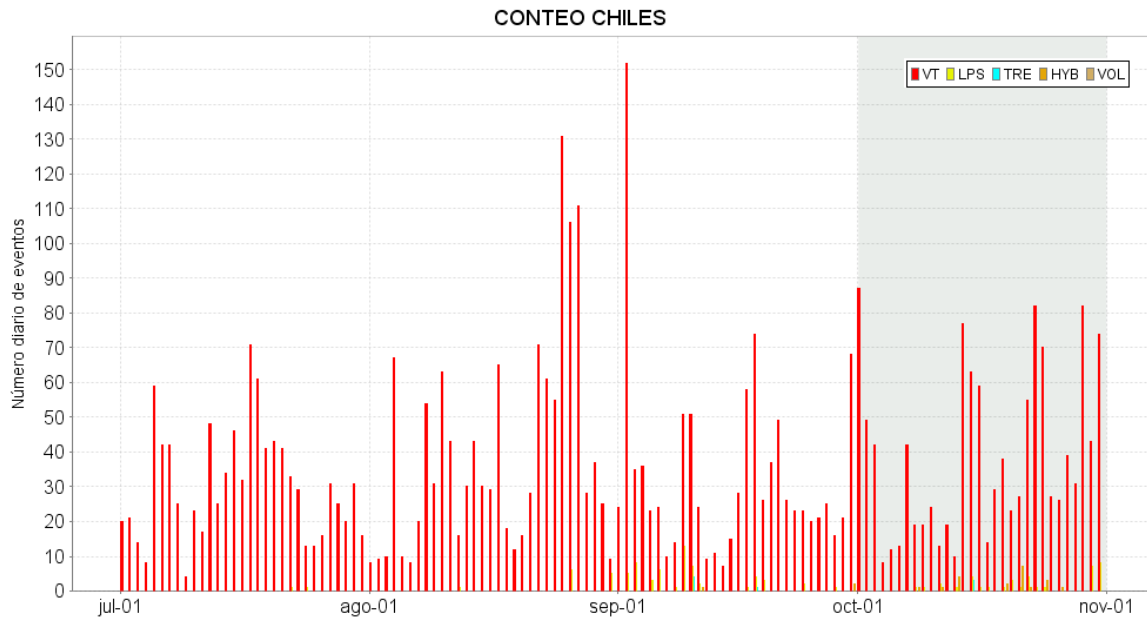


Figura 67. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de julio y octubre de 2015.

En el mes de octubre fue posible obtener una solución de localización para 156 sismos (Figura 68), 155 VT y un HYB, la mayoría hacia el sur y suroccidente del volcán Chiles con algunos epicentros ubicados en inmediaciones de su cima, los eventos se ubicaron en distancias epicentrales entre 0 y 8.5 km de la cima, con profundidades entre 0.1 y 11 km, con una mayor concentración entre 2 y 6 km respecto de la cima volcánica (nivel de referencia sobre los 4.700 msnm). La magnitud local de los sismos fluctuó entre -0.4 y 3.1 en la escala de Richter, el 79% de la sismicidad localizada presentó magnitud menor a 1, el 15% entre 1 y 2, y el 6% magnitud local mayor a 2 en la escala de Richter. De esta sismicidad se resalta el sismo ocurrido el día 7 de octubre de 2015 a las 10:04 a.m., ubicado a 2.4 km al sur del volcán Chiles, con una profundidad de 7.2 km y magnitud local de 3.1 en la escala de Richter, este sismo se reportó sentido por habitantes del resguardo indígena de Chiles.

La energía liberada se ha estimado con base en la magnitud de los sismos, con respecto al mes anterior se observa un notable incremento en dos órdenes de magnitud (Tabla 21, Figura 69).

Tabla 21. Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	vt	TOTAL
01-jul-15 a 31-jul-15	1.7012 E+15	1.7012 E+15
01-ago-15 a 31-ago-15	4.9475 E+15	4.9475 E+15
02-sep-15 a 30-sep-15	2.4153 E+14	2.4153 E+14
01-oct-15 a 31-oct-15	6.2423 E+16	6.2423 E+16

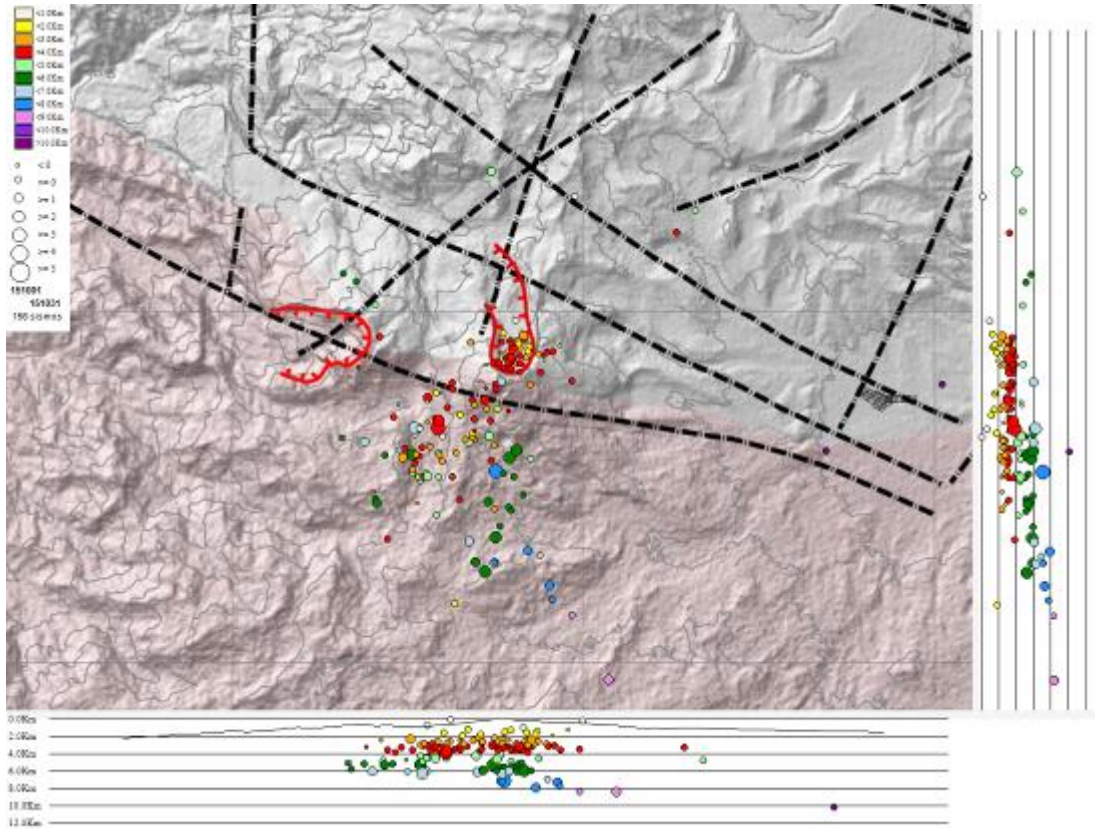


Figura 68. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en octubre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

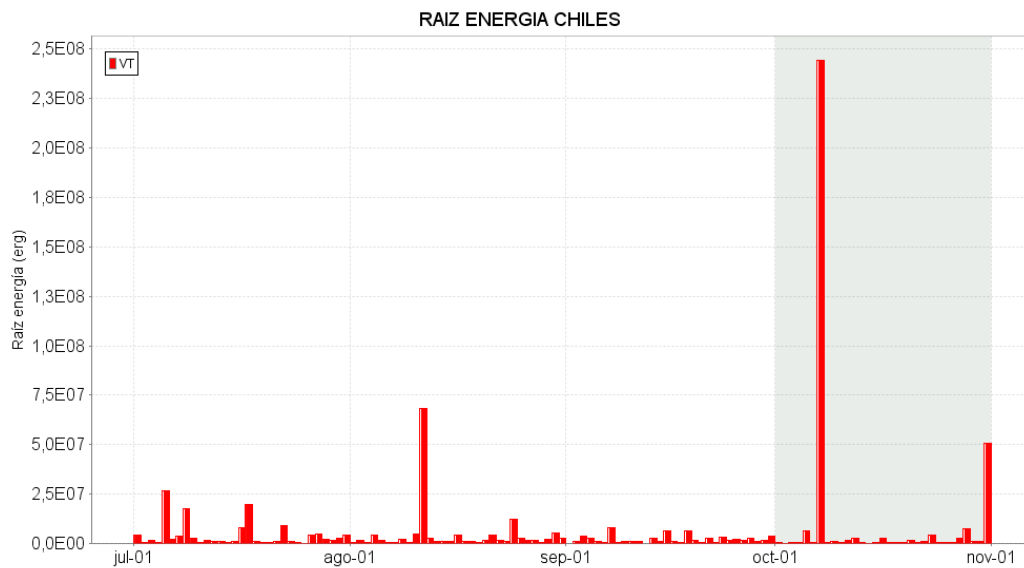


Figura 69. Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2015. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Continúa el comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte del sensor Chiles, variación cercana a los 80 μrad desde el pasado 21 de octubre de 2014; se presenta estabilidad en el registro de la componente Este (Figura 70). 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 μrad la Norte y 106 μrad la Este, posteriormente se observa estabilidad en el registro (Figura 71).

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 μrad desde el mes de enero de 2015; por su parte la componente Norte muestra una tendencia descendente en su registro (Figura 72).

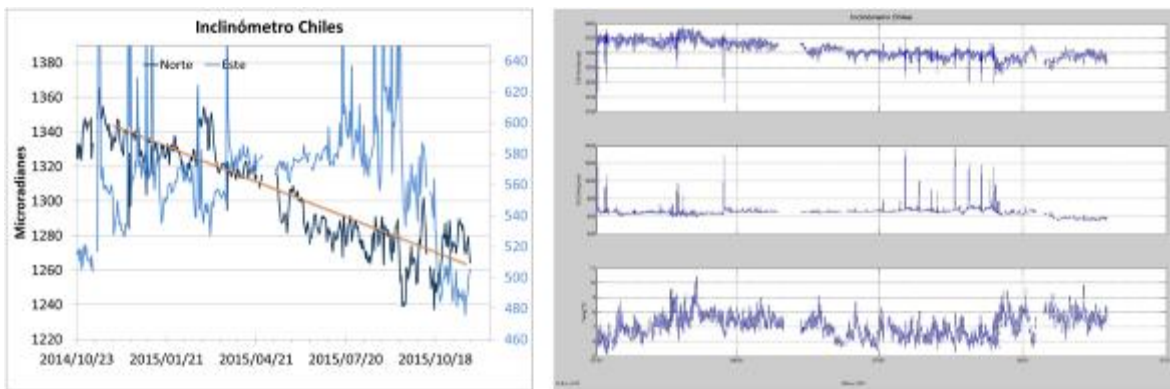


Figura 70. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 21 de octubre de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

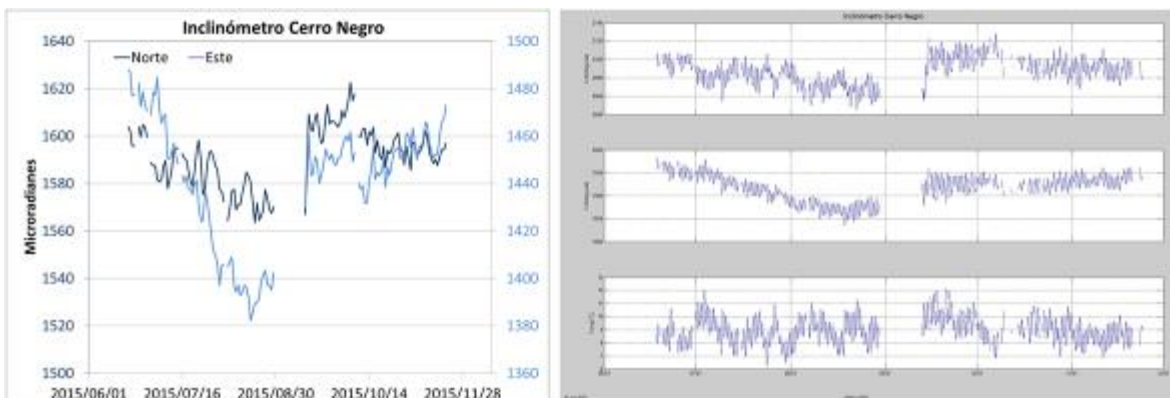


Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de octubre de 2015.

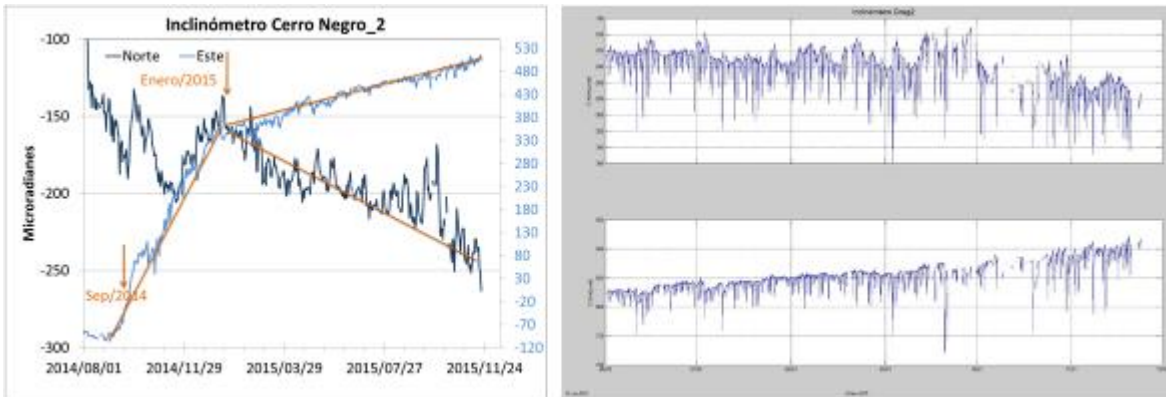


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de junio y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

3.5. GEOQUÍMICA

3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Chiles

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, estos se registran diariamente con una tasa de medición de 10 minutos.

En la Figura 73 se registran las variaciones que corresponden a valores medidos en el transcurso del día (desde las 8:00 a.m. a las 6:00 p.m. aproximadamente), con un promedio de 42.8°C (Tabla 22). El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.

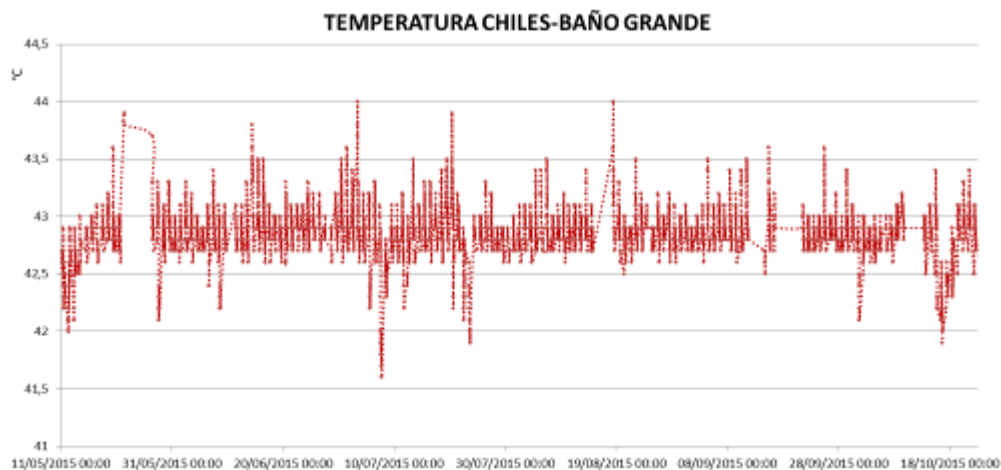


Figura 73. Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – octubre 2015.

Tabla 22. Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – octubre 2015.

VALOR	Temp. (°C)
Mínimo	41.9
Máximo	43.4
Promedio	42.8

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

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

3.7. CONCLUSIONES

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

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de octubre 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 – OCTUBRE DE 2015

El Servicio Geológico Colombiano ha venido monitoreando de manera permanente la actividad de otros volcanes activos de Nariño, como son Doña Juana, Azufral y Las Ánimas (Figura 74), en busca de estimar un nivel base de actividad, hacer seguimiento de sus manifestaciones y en caso necesario, poder establecer situaciones anómalas y la posibilidad de ocurrencia de eventos eruptivos.

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

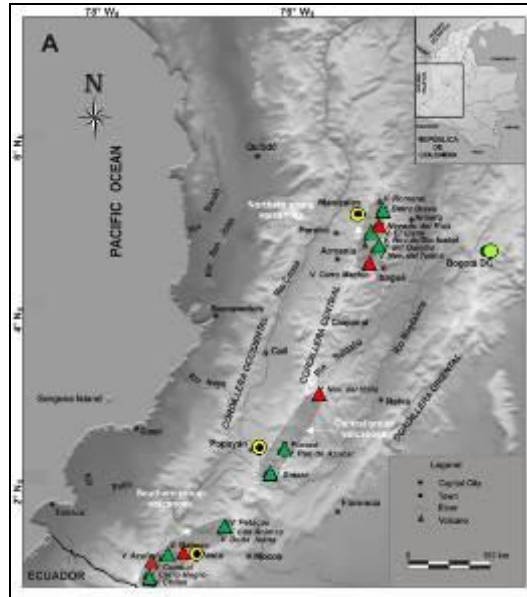


Figura 74. Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.

4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

4.1.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente de Colombia, en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño y Florencia, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 75).

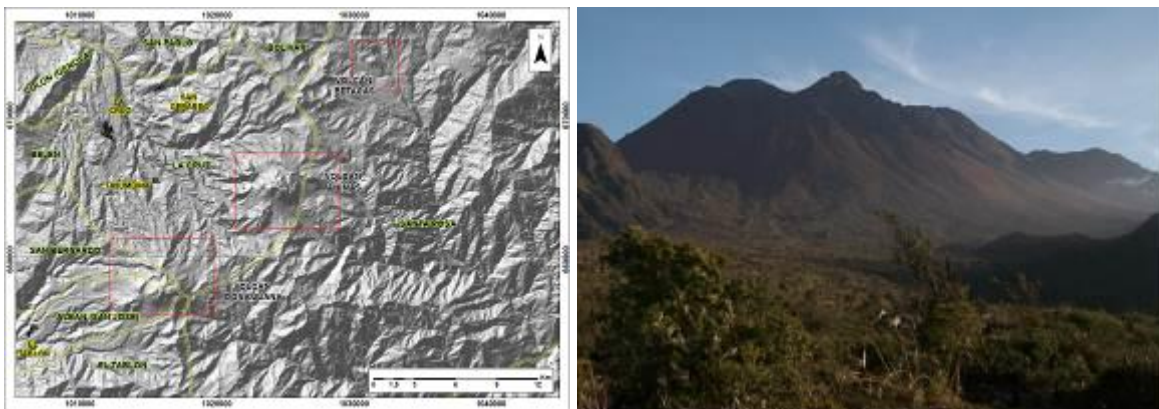


Figura 75. Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

4.1.2. Red de vigilancia

Actualmente la red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas localizadas en los puntos Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental y dos inclinómetros electrónicos (Tabla 23, Figura 76). Es de resaltar que la estación Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Tabla 23. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre 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

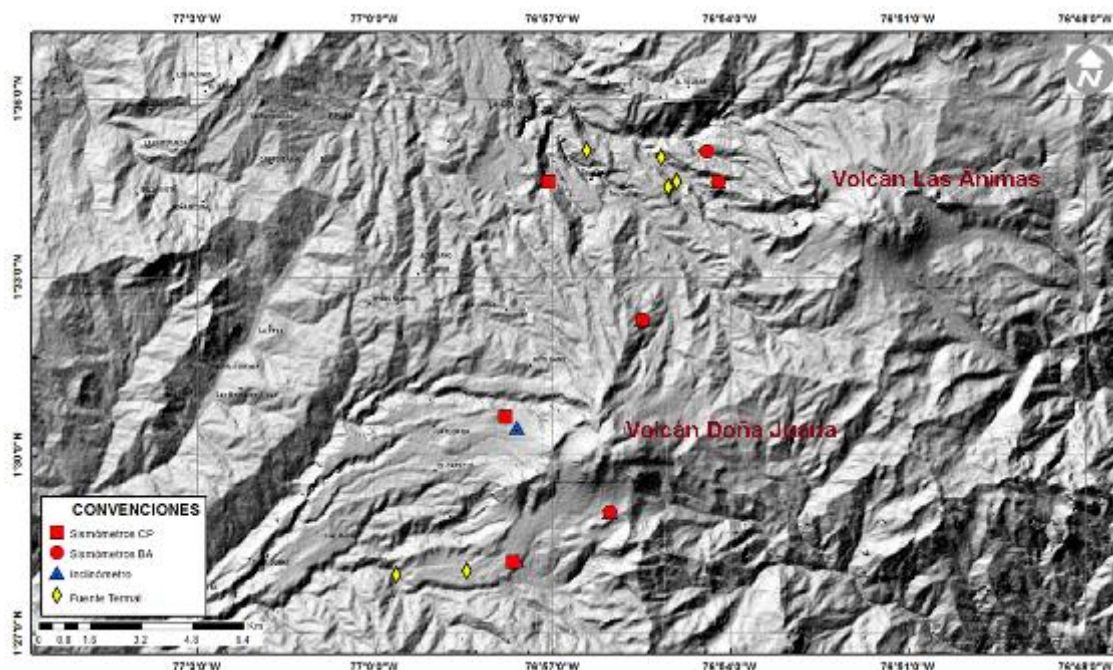


Figura 76. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de octubre de 2015.

En el periodo evaluado, la red de estaciones instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento promedio del 87% (Figura 77).

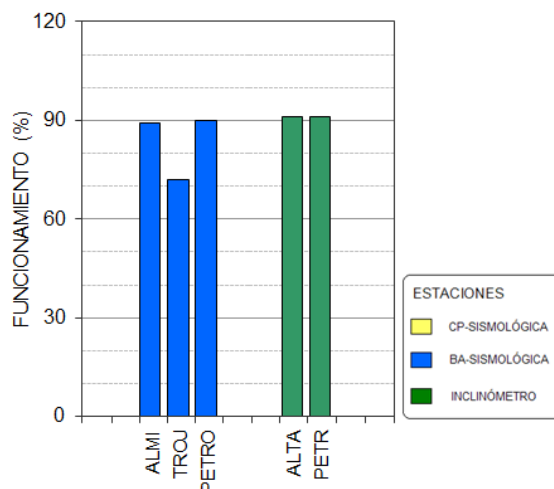


Figura 77. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante octubre de 2015.

4.1.3. Sismología

La sismicidad en la zona de influencia del volcán Las Ánimas permaneció en niveles muy bajos, en octubre se registraron 13 sismos asociados con fractura de roca (VT) y un evento relacionado con movimiento de fluidos (Tabla 24). De la sismicidad de fractura fue posible localizar dos, los cuales se ubicaron hacia el costado suroccidental del volcán (Figura 78), en distancias entre 2.8 y 3.6 km, con profundidades entre 3.4 y 5 km y con magnitud local entre -0.2 y 1.8 en la escala de Richter. La energía liberada de los sismos localizados fue de 1.1×10^{13} ergios.

Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas registrados entre mayo y agosto de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo		
	vt	lps	TOTAL
01-jul-15 a 31-jul-15	0	0	0
01-ago-15 a 31-ago-15	3	0	3
01-sep-15 a 30-sep-15	1	0	1
01-oct-15 a 31-oct-15	13	1	14

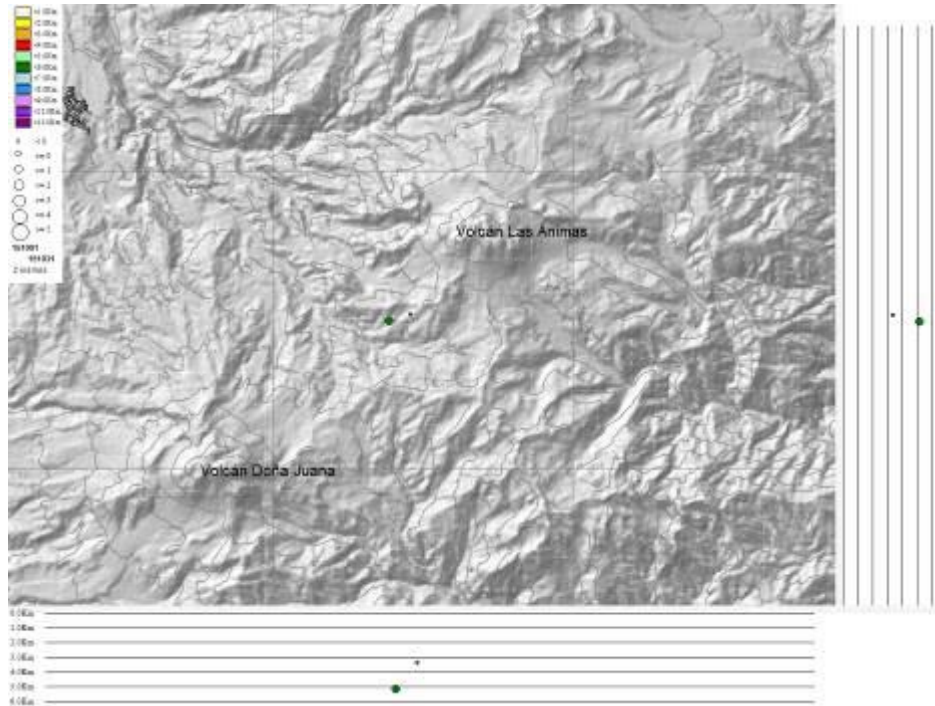


Figura 78. Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Las Ánimas, en el mes de octubre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 1 km de profundidad.

4.1.4. Deformación Volcánica

Respecto a los cambios registrados por las estaciones de Inclínometría, para el periodo evaluado se observa estabilidad en los registros de las componentes de inclinación Norte y Este de los sensores Altamira y Petroglifo (Figuras 79 y 80). En el inclinómetro Petroglifo se resaltan los comportamientos descendentes mostrados hasta finales de junio, los cuales al parecer se asocian al registro presentado por el sensor de temperatura.

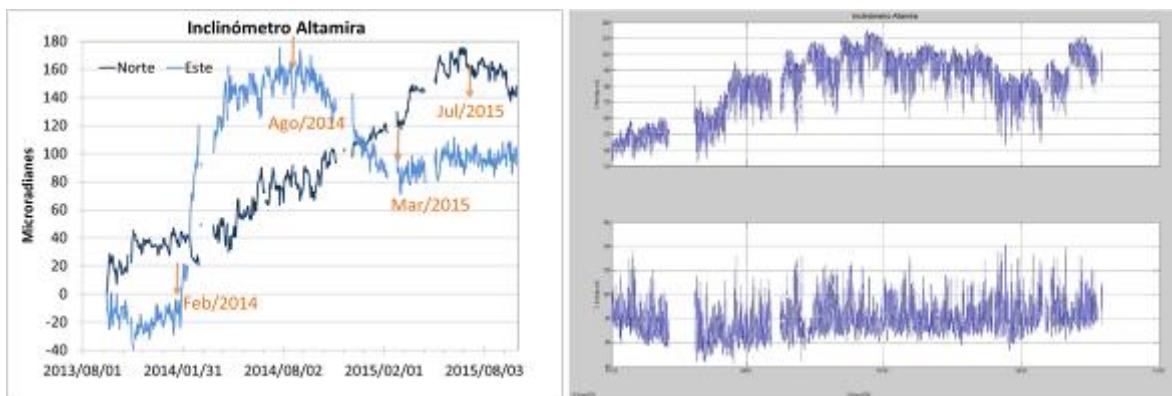


Figura 79. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

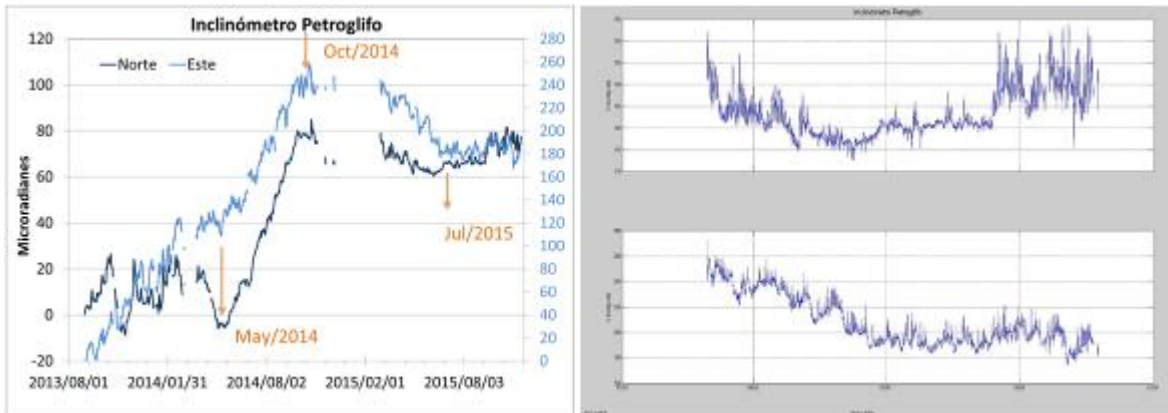


Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

4.1.5. Actividad Superficial

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

4.1.6. Conclusiones

La evaluación de la actividad volcánica de Las Ánimas durante el mes de octubre de 2015 permitió establecer el **NIVEL VERDE** (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”.

4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA

4.2.1. Red de vigilancia

La red de vigilancia del volcán Doña Juana consta de dos estaciones de corto periodo y una de banda ancha para monitorear sismicidad y tres estaciones para seguimiento de los cambios sobre la superficie del edificio volcánico, adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz, que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) (Figura 81, Tabla 25). Para el mes de octubre de 2015 las estaciones presentaron un funcionamiento del 66% (Figura 82). La estación Lavas se encuentra fuera de funcionamiento por problemas de radio enlace.

Tabla 25. Estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.

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

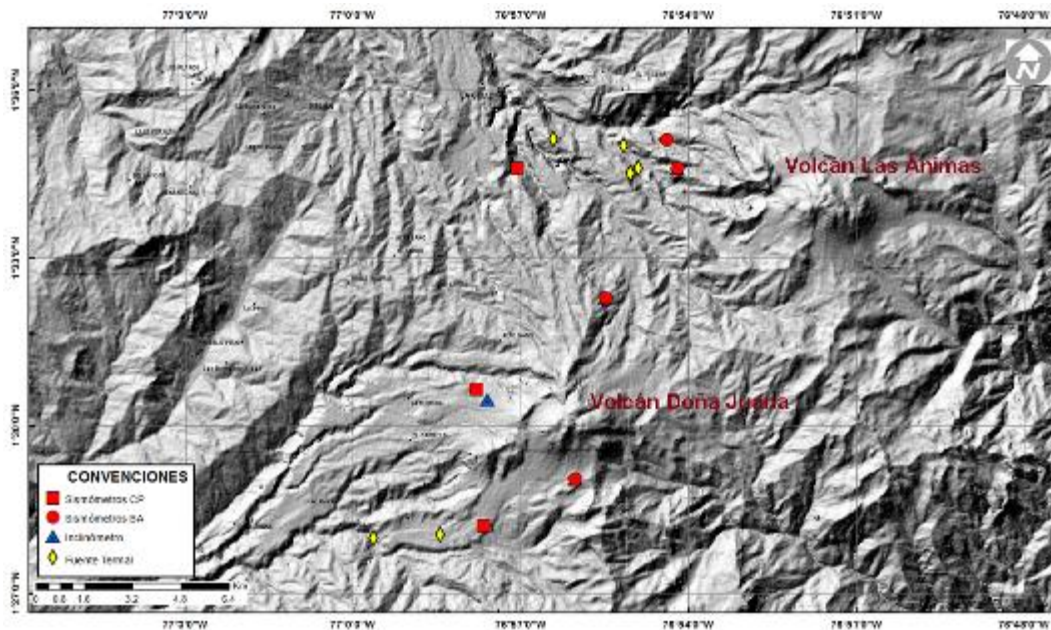


Figura 81. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

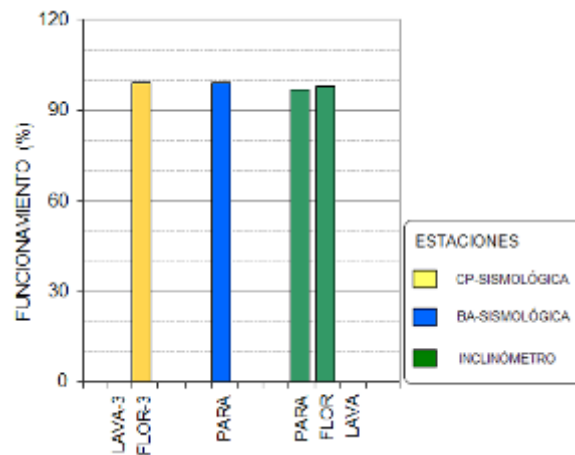


Figura 82. Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en octubre de 2015.

4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de dos eventos asociados con fractura y tres con movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico (Figura 83). No fue posible obtener una solución de localización debido a la falta de fases para localizar.

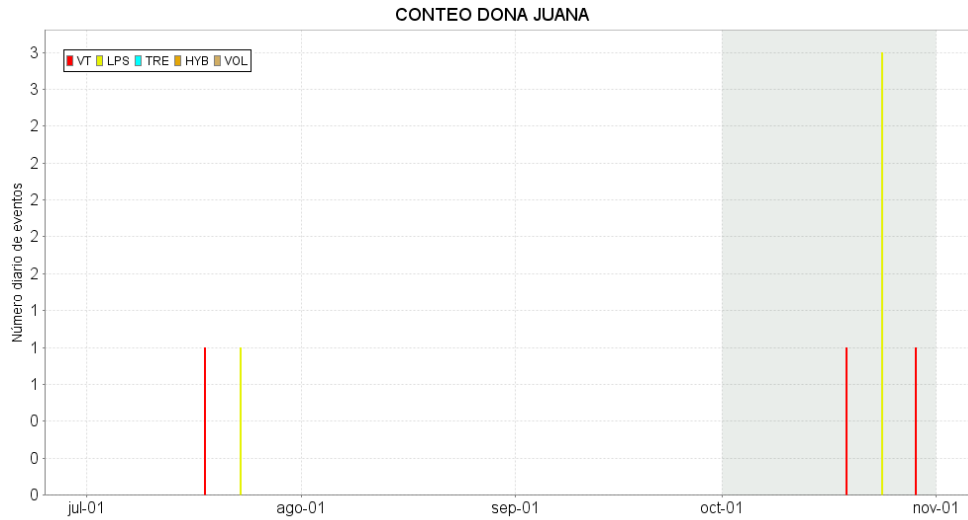


Figura 83. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de julio y octubre de 2015.

4.2.3. Deformación Volcánica

Continúa el comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte del sensor Florida, variación cercana a los 30 μ rad desde el pasado mes de febrero de 2015, se observa estabilidad en la componente Este (Figura 84).

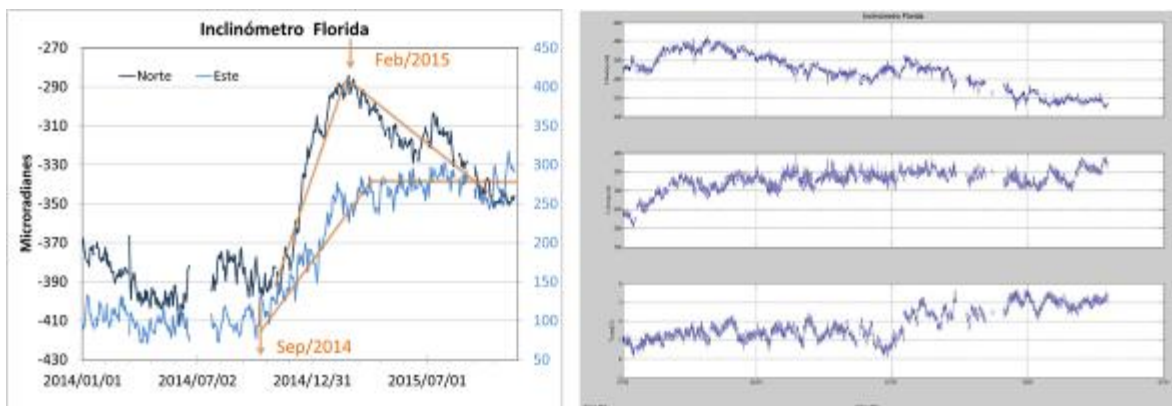


Figura 84. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

Desde el pasado mes de junio, se observa estabilidad en los registros de las componentes del inclinómetro electrónico Páramo (Figura 85).

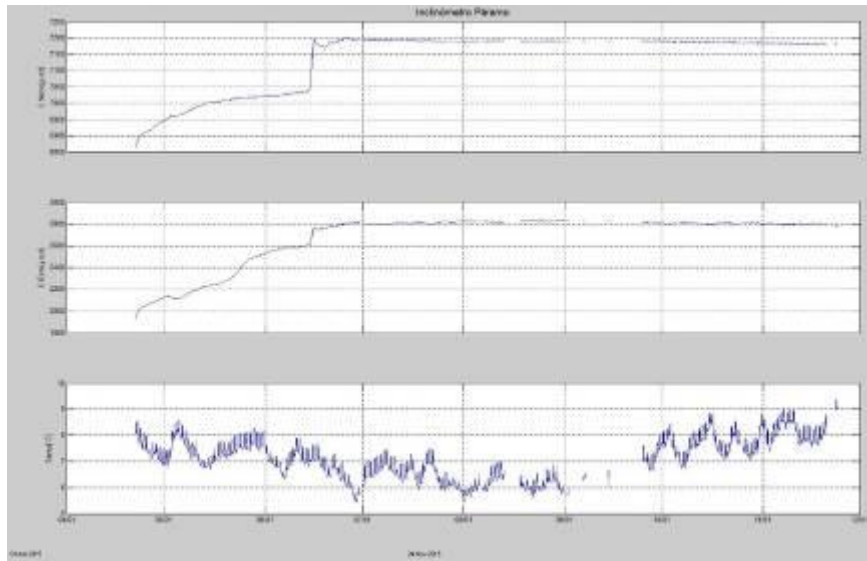


Figura 85. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015.

4.2.4. Actividad Superficial

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

4.2.5. Conclusiones

- La evaluación de los diferentes parámetros monitoreados en Doña Juana durante octubre de 2015, permitieron establecer el **NIVEL VERDE** (IV): “**Volcán activo y comportamiento estable**”.

4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

4.3.1. Red de vigilancia

La red de vigilancia sísmica del volcán Azufral está compuesta por cinco estaciones, La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con inclinómetros electrónicos y Laguna con una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial (Figuras 86 y 87, Tabla 26). Se tiene una estación climatológica cerca de la estación La Roca, sensores para medir velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica y radiación solar. También hay una estación de medición de temperatura permanente en una de las

fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica. Desde el pasado mes de marzo se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparamétrica La Roca (Figura 87).

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 (Figura 87).

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 91% para este mes (Figura 88).

Tabla 26. Estaciones instaladas en el volcán Azufral.

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

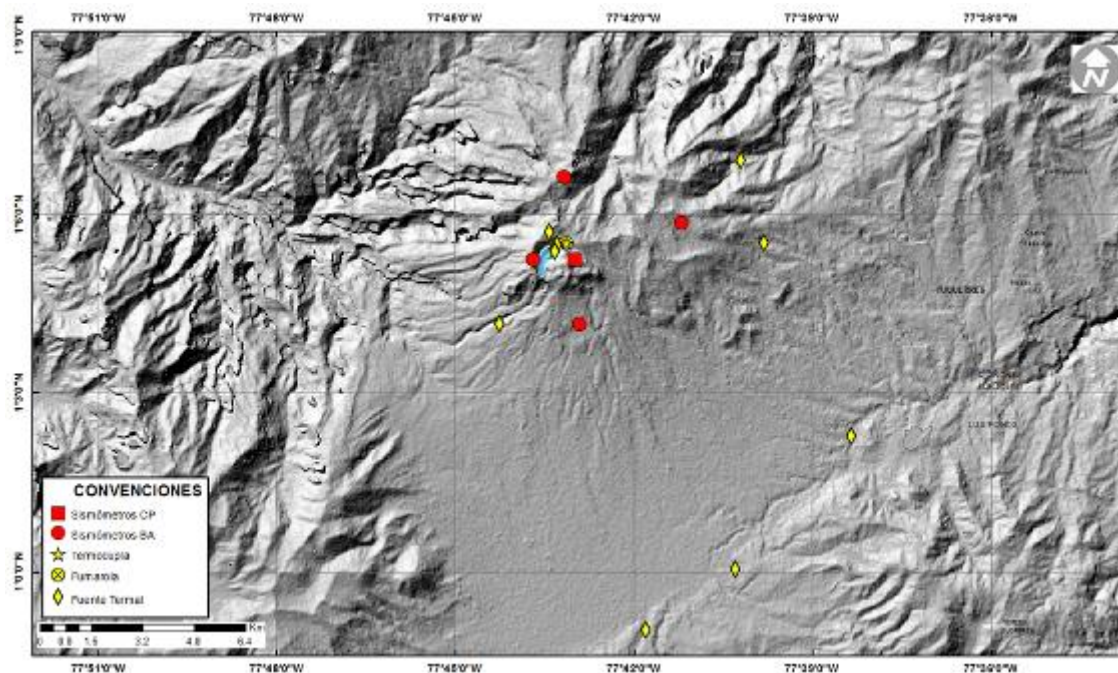


Figura 86. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de octubre de 2015.

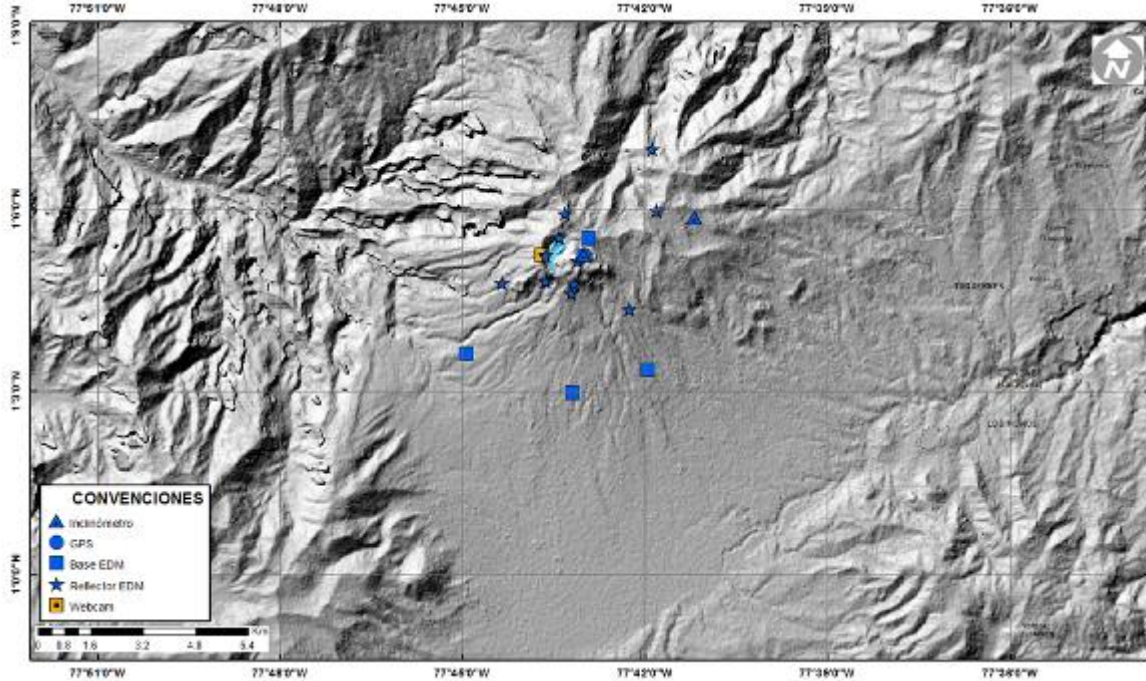


Figura 87. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de octubre de 2015.

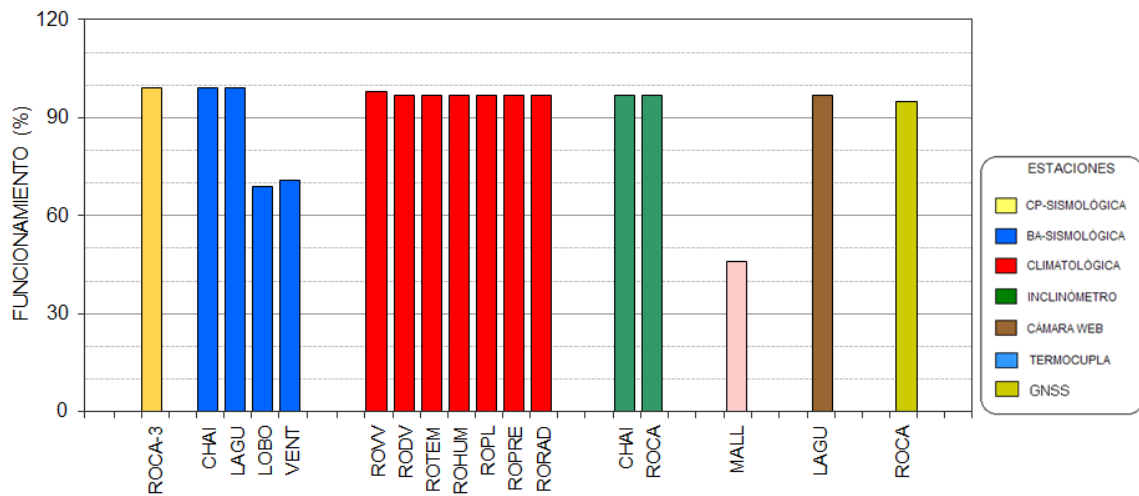


Figura 88. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de octubre de 2015.

4.3.2. Sismología

La ocurrencia sísmica en Azufral continuó en niveles bajos y la mayoría asociada con fractura de roca (VT). En comparación con el mes anterior se notó un incremento pasando de 9 a 14 sismos, de

los cuales fue posible localizar 5 que se ubicaron dispersos en la zona de influencia de Azufra, en distancias entre 0.6 y 9.5 km, con profundidades entre 3.8 y 13 km y magnitudes locales entre 0.1 y 1.1 en la escala de Richter, ningún sismo se reportó sentido (Tabla 27, Figuras 89 y 90). La energía de los sismos localizados fue de 3.5×10^{13} ergios.

Tabla 27. Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufra entre julio y octubre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo		
	vt	hyb	TOTAL
01-jul-15 a 31-jul-15	7	0	7
01-ago-15 a 31-ago-15	15	0	15
01-sep-15 a 30-sep-15	9	0	9
01-oct-15 a 31-oct-15	12	2	14

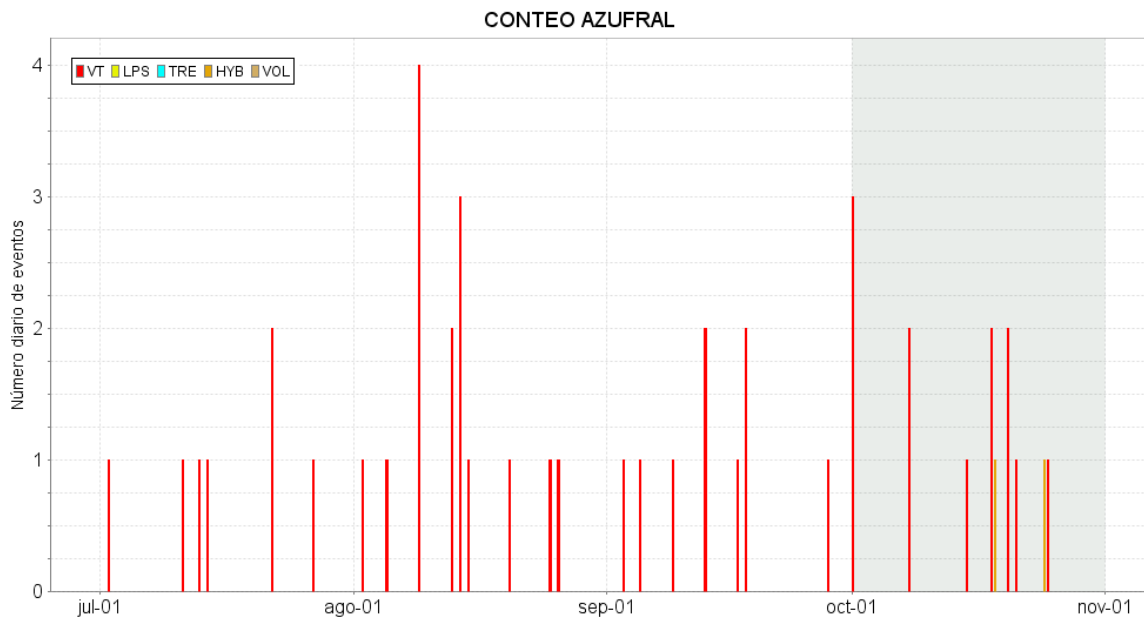


Figura 89. Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufra entre julio y octubre de 2015.

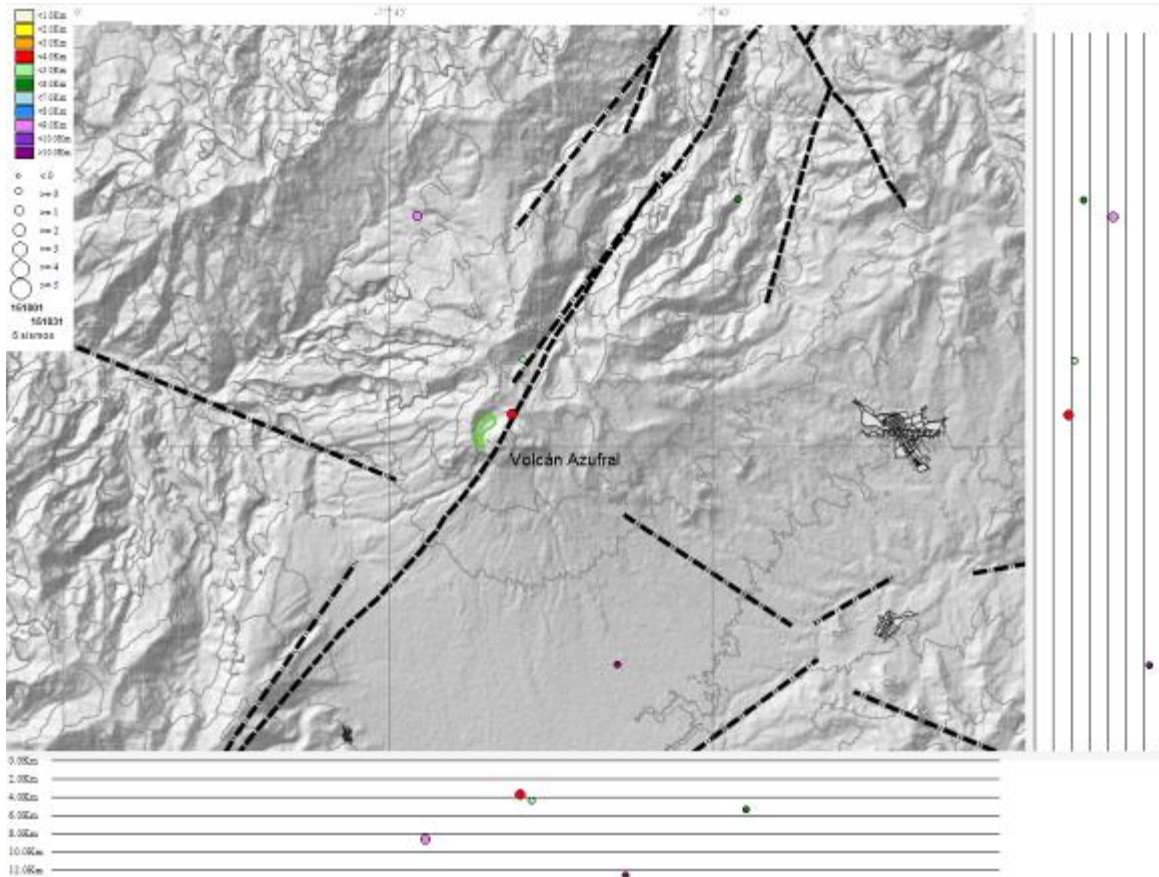


Figura 90. Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en octubre de 2015. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.

4.3.3. Deformación Volcánica

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 y La Roca (Figuras 91 y 92).

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

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

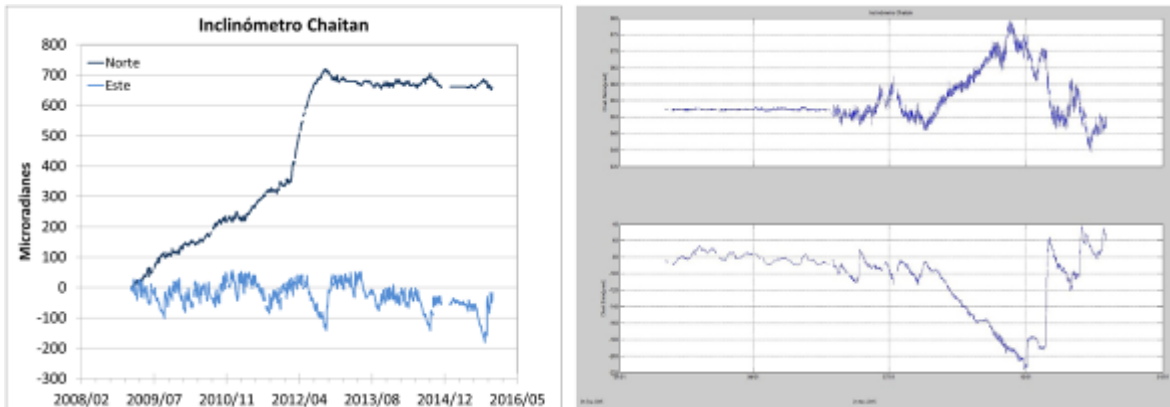


Figura 91. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre diciembre de 2008 y el 31 de octubre de 2015 (izquierda) y entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de octubre de 2015 (derecha).

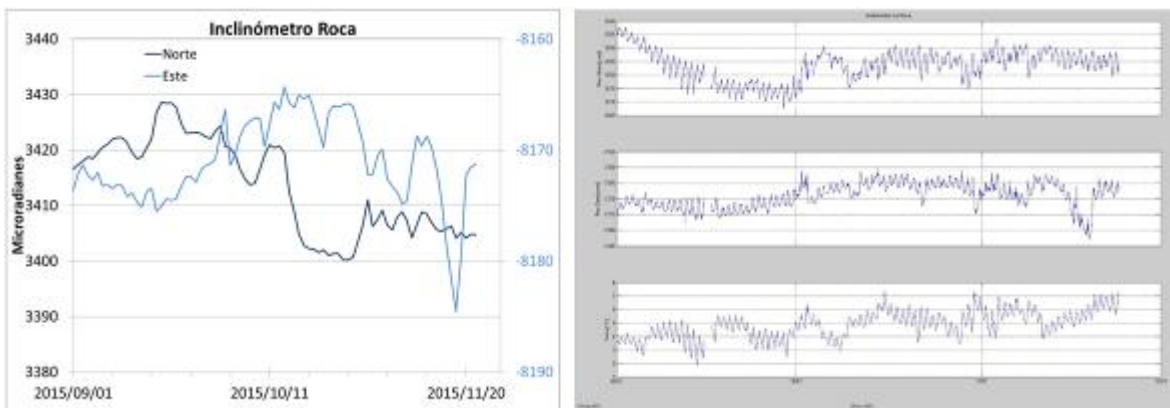


Figura 92. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2015 y el 31 de octubre de 2015.

4.3.3.3. Estaciones GNSS Permanentes

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, se observa estabilidad en sus componentes Norte y Este (Figura 93).

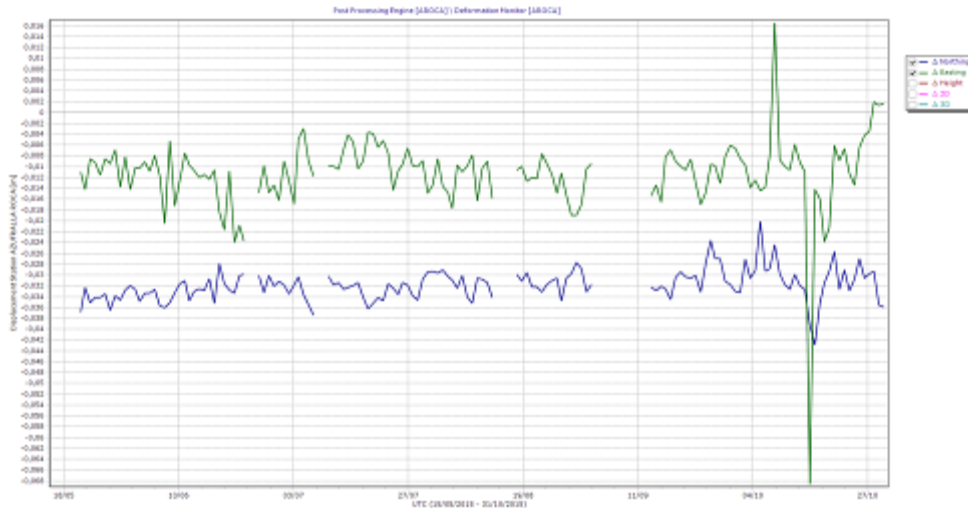


Figura 93. Variaciones en las direcciones Norte y Este de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 15 de mayo de 2015 y el 31 de octubre de 2015.

4.3.4. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables durante los días 1, 2, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 23, 24, 26, 28, 29, 30 y 31 de octubre de 2015 permitieron a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura, provenientes principalmente de las fumarolas del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde.

En las Figuras 94 a 97 se presentan algunas imágenes con procesos de emisión de gases en Azufra.



Figura 94. Emisión de gases del domo Mallama, 1 de octubre de 2015 a las 6:31 a.m.



Figura 95. Emisión de gases del domo Mallama, 14 de octubre de 2015 a las 5:21 p.m.



Figura 96. Emisión de gases del domo Mallama, 15 de octubre de 2015 a las 8:26 a.m.



Figura 97. Emisión de gases del domo Mallama, 23 de octubre de 2015 a las 8:26 a.m.

4.3.5. Conclusiones

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