

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	Ene/2016
Título		INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL, LAS ÁNIMAS, CHILES Y CERRO NEGRO. DICIEMBRE 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.	Diciembre 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\dic
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
DICIEMBRE DE 2015**

Edición:

GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO

San Juan de Pasto, enero de 2016

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – DICIEMBRE 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
1.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	25
1.6. CONCLUSIONES	28
2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – DICIEMBRE DE 2015	28
2.1. RED DE VIGILANCIA	28
2.2. SISMOLOGÍA	30
2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	35
2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	36
2.5. CONCLUSIONES	37
3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – DICIEMBRE DE 2015	37
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	37
3.2. RED DE VIGILANCIA	38
3.3. SISMOLOGÍA	40
3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	44
3.5. GEOQUÍMICA	46
3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Chiles	46
3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	46
3.7. CONCLUSIONES	47
4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – DICIEMBRE DE 2015	47
4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS	48
4.1.1. Ubicación Geográfica	48
4.1.2. Red de vigilancia	48
4.1.3. Sismología	50
4.1.4. Deformación Volcánica	51
4.1.5. Actividad Superficial	52
4.1.6. Conclusiones	52
4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA	52
4.2.1. Red de vigilancia	52
4.2.2. Sismología	54
4.2.3. Deformación Volcánica	55
4.2.4. Actividad Superficial	56
4.2.5. Conclusiones	56
4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL	56
4.3.1. Red de vigilancia	56
4.3.2. Sismología	58
4.3.3. Deformación Volcánica	60

4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	60
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias - E.D.M.	61
4.3.3.3.	Estaciones GNSS Permanentes	61
4.3.4.	Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos	61
4.3.5.	Conclusiones	63

TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de diciembre de 2015.	5
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de diciembre 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 diciembre 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 septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	10
Tabla 10.	Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses entre septiembre y diciembre 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 diciembre 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 – diciembre de 2015.	25
Tabla 13.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2015.	29
Tabla 14.	Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	30
Tabla 15.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre de 2015.	39
Tabla 16.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.	39
Tabla 17.	Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	41
Tabla 18.	Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	42

Tabla 19.	Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – diciembre 2015.	46
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2015.	48
Tabla 21.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas registrados entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	50
Tabla 22.	Estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.	53
Tabla 23.	Estaciones instaladas en el volcán Azufral.	56
Tabla 24.	Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.	58

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 diciembre 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 diciembre 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 diciembre 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 diciembre 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 septiembre y diciembre 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 diciembre (barras de la derecha) respecto al mes de noviembre (barras de la izquierda).	11
Figura 8	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de noviembre y diciembre 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 septiembre y el 31 de diciembre de 2015.	12
Figura 10	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para diciembre de 2015 (barras de la derecha) respecto a noviembre de 2015 (barras de la izquierda).	12
Figura 11	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para noviembre y diciembre de 2015.	13
Figura 12	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de diciembre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2.0 km de profundidad.	13
Figura 13	Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	14
Figura 14	Componentes de inclinación Norte y Este (μ rad), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	15

Figura 15	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 2015 y el 31 de diciembre 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 el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre 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 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre 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 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	17
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 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	17
Figura 20	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	18
Figura 21	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	19
Figura 22	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 16 de diciembre de 2015.	19
Figura 23	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 16 de diciembre de 2015.	20
Figura 24	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 18 de diciembre de 2015.	20
Figura 25	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 17 de diciembre de 2015.	21
Figura 26	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 17 de diciembre de 2015.	21
Figura 27	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2015 y el 17 de diciembre de 2015.	22
Figura 28	Flujo de emisión de SO_2 registrado desde el 1 de septiembre de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2015, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	23
Figura 29	Flujo de emisión de SO_2 , dirección y velocidad del viento para el mes de diciembre de 2015.	24
Figura 30	Concentración de gas radón en suelo - estación telemétrica LAVAS, Diciembre de 2015.	24
Figura 31	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 3 de diciembre de 2015, en horas de la mañana 8:28 a.m. y 11:20 a.m., capturadas desde la cámara de Barranco.	25
Figura 32	Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 6 de diciembre de 2015, en horas de la tarde 6:20 p.m. y 6:30 p.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.	26
Figura 33	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 8 de diciembre de 2015, en horas de la tarde 5:38 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma.	26
Figura 34	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 9 de diciembre de 2015, en horas de la mañana 8:22 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.	27
Figura 35	Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 12 de diciembre de 2015, a las 4:57 p.m. y las 5:06 p.m., desde las cámaras de Barranco y Bruma.	27
Figura 36	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 31 de diciembre de 2015, en horas de la tarde 2:49 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.	28

Figura 37	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de diciembre de 2015.	29
Figura 38	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2015.	30
Figura 39	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre septiembre y diciembre de 2015.	31
Figura 40	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre (barras de la derecha) respecto al mes de noviembre (barras de la izquierda).	31
Figura 41	Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para noviembre y diciembre de 2015.	32
Figura 42	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de diciembre 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).	32
Figura 43	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 2013 y el 31 de diciembre de 2015, resaltando los eventos registrados en el mes de diciembre de 2015 en el recuadro gris.	33
Figura 44	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 15 de diciembre de 2015 a las 7:09 p.m., registrando 34 segundos de duración.	34
Figura 45	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 31 de diciembre de 2015 a las 9:34 p.m., registrando 66 segundos de duración.	34
Figura 46	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 diciembre de 2015.	35
Figura 47	Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	35
Figura 48	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 2 de diciembre de 2015, a las 5:02 p.m.	36
Figura 49	Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 3 de diciembre de 2015, a las 7:37 a.m.	36
Figura 50	Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	37
Figura 51	Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de diciembre de 2015.	38
Figura 52	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 diciembre de 2015.	40
Figura 53	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 diciembre 31 de 2015.	41
Figura 54	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 septiembre y diciembre de 2015.	42
Figura 55	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en diciembre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.	43
Figura 56	Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2015. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.	43

Figura 57	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	44
Figura 58	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	45
Figura 59	Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 Cneg2, paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	45
Figura 60	Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – diciembre 2015.	46
Figura 61	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.	47
Figura 62	Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	48
Figura 63	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2015.	49
Figura 64	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante diciembre de 2015.	49
Figura 65	Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Las Ánimas, en el mes de diciembre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 1 km de profundidad.	50
Figura 66	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	51
Figura 67	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	52
Figura 68	Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	53
Figura 69	Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en diciembre de 2015.	53
Figura 70	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de septiembre y diciembre de 2015.	54
Figura 71	Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Doña Juana, en el mes de diciembre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.	54
Figura 72	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 2015 y el 31 de diciembre de 2015.	55
Figura 73	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 diciembre de 2015.	55
Figura 74	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2015.	57
Figura 75	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2015.	57

Figura 76	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2015.	58
Figura 77	Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre septiembre y diciembre de 2015.	59
Figura 78	Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en diciembre de 2015. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 1 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.	59
Figura 79	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2015.	60
Figura 80	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2015.	60
Figura 81	Variaciones en las direcciones Norte y Este de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 21 de mayo de 2015 y el 16 de diciembre de 2015.	61
Figura 82	Emisión de gases del domo Mallama, 3 de diciembre de 2015 a las 10:11 a.m.	62
Figura 83	Emisión de gases del domo Mallama, 18 de diciembre de 2015 a las 5:06 p.m.	62
Figura 84	Emisión de gases del domo Mallama, 24 de diciembre de 2015 a las 10:06 a.m.	63
Figura 85	Emisión de gases del domo Mallama, 30 de diciembre de 2015 a las 10:51 a.m.	63

INTRODUCCIÓN

A lo largo del mes de diciembre 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 diciembre 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 diciembre 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 un ligero incremento en la ocurrencia e incremento en la energía liberada, el mayor aporte en energía provino de los eventos clasificados como VT con el 87% del total. Los eventos no clasificables (sismos que no alcanzan el umbral de amplitud y duración para su clasificación en una estación de referencia) mostraron descenso cercano al 40% en comparación con el mes anterior.

La mayoría de los sismos localizados se ubicaron muy próximos al cráter volcánico, cuyas profundidades estuvieron entre 0.5 y los 12 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes locales entre 0 y 1.9 en la escala de Richter, los más próximos al cráter mostraron magnitudes menores a 1.

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


En el transcurso del periodo evaluado se obtuvieron 23 mediciones de emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2) a la atmósfera, con valores entre bajos y moderados para Galeras. El valor máximo de flujo de SO_2 del periodo evaluado, fue de 613 Tn/día, registrado el 23 de diciembre de 2015.

Teniendo en cuenta la información que aportan las imágenes capturadas del cono activo, fue posible evidenciar la mayor parte del tiempo evaluado emisiones de gases (excepto los días 1, 7 y 26 de diciembre), en su mayoría de color blanco y baja altura. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos.

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

De acuerdo al monitoreo sísmico registrado por las estaciones instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado se observó que la mayor parte de eventos se asocian con movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico. En relación con el mes anterior, se observó un descenso del 9% en la ocurrencia diaria de sismicidad. En este mes se registraron 4 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, cuyas frecuencias dominantes estuvieron entre 1.35 y 2.7 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 -0.4 y 1.7 en la escala de Richter, cerca del 97% inferior a 1.


Debido a problemas técnicos en la cámara ubicada en el Municipio de Cumbal, presentados desde el pasado 5 de diciembre solo fue posible evidenciar emisión de gases en la zona del Complejo Volcánico de Cumbal para los días 2 y 3 de diciembre.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de diciembre 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 importante descenso 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 2.1 en la escala de Richter y mayor concentración a profundidades entre 2 y 7 km. Algunos de estos eventos se ubicaron en inmediaciones de la cima de Chiles. De igual forma para el mes evaluado se tiene la presencia de eventos que por sus características indican movimiento de fluidos de tipo magmático.

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

La temperatura en la fuente termal Baño Grande, mostró un máximo de 43 °C y un mínimo de 41.9 °C.


La evaluación del proceso volcánico durante el mes de diciembre 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 tiene registro de 7 eventos sísmicos asociados con fractura, de los cuales fue posible localizar dos, ubicándose hacia el suroccidental del volcán, con magnitudes de 0.3 y 0.9 en la escala de Richter.

En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado se tiene registro de un evento asociado a fracturamiento de la roca, el cual se ubicó hacia el sur del edificio volcánico, presentando una magnitud de 1.2 en la escala de Richter.

En relación al volcán Azufral, predominaron los sismos clasificados como VT, y en comparación con el mes anterior, la sismicidad del volcán presentó descenso en ocurrencia, totalizando 6 eventos. De esta sismicidad se localizaron cuatro eventos ubicados de manera dispersa con magnitudes entre 0.3 y 0.7 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, Azufral y Las Ánimas, estos se consideran en **Nivel Verde**  **(IV), “Volcán activo y comportamiento estable”**.

1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – DICIEMBRE 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 (SO_2), localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 3, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de variación del campo Magnético, Cráter, Frailejón y Barranco. Adicionalmente, las estaciones EM-Frailejón y EM-Barranco cuentan con sistemas de medición de variación de campo eléctrico (Figura 3, Tabla 5).
- Cuatro cámaras de video permanentes para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, otra en el municipio de Consacá, otra instalada en el flanco norte de la cima de Galeras, en el sitio denominado Barranco Alto y la última Bruma, hacia el sector suroccidental del cono (Figura 1).
- Dos estaciones para monitoreo constante de flujos de lodos, con transmisión telemétrica, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo.
- Una estación climática, conformada con sensores para medición de velocidad y dirección del viento, pluviometría, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente. Esta estación se encuentra ubicada en el sitio de la estación sísmica Cráter-2.
- 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 87%. 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 diciembre de 2015.

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

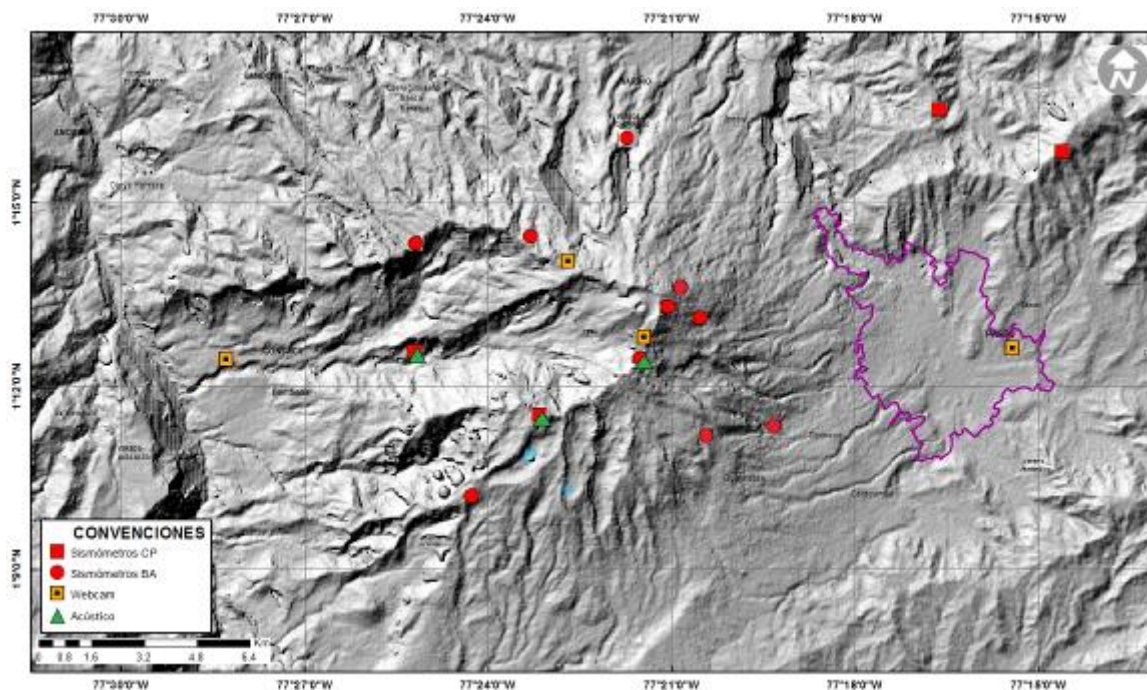


Figura 1. Mapa de localización de las estaciones sísmicas y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2015.

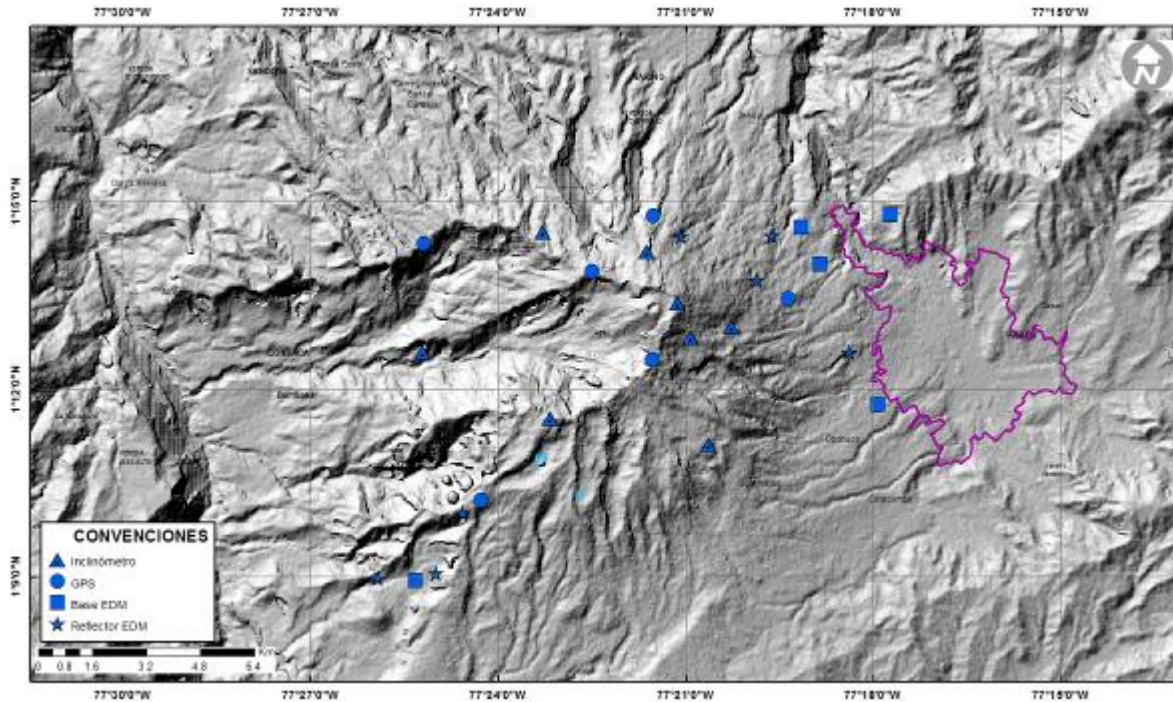


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros, GNSS y EDM que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2015.

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

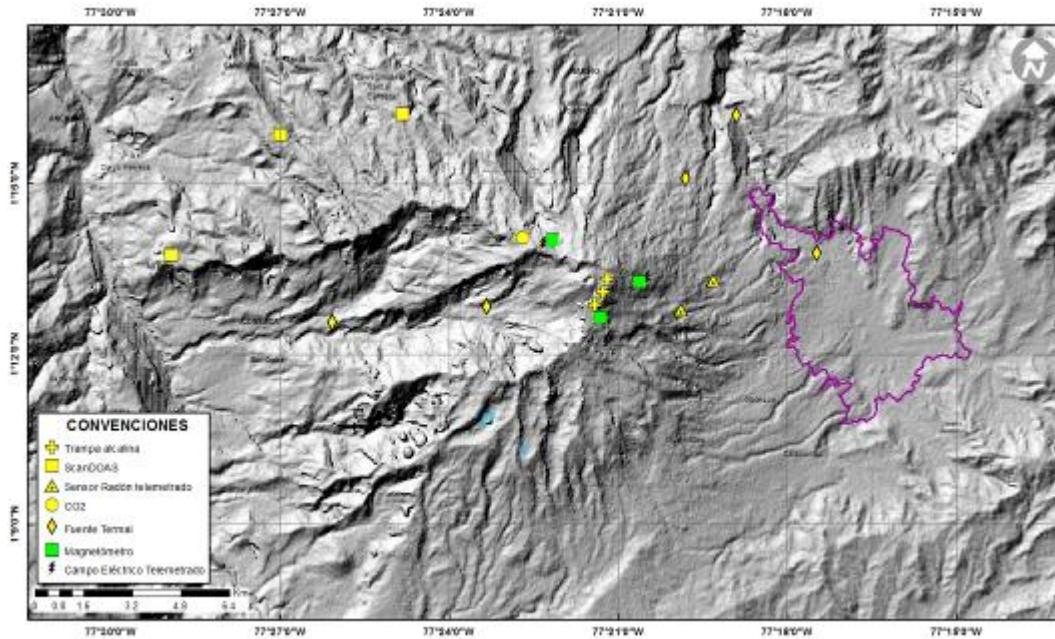


Figura 3. Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, ScanDOAS, trampa alcalina, CO₂, fuentes termales y radón telemetrado que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2015.

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

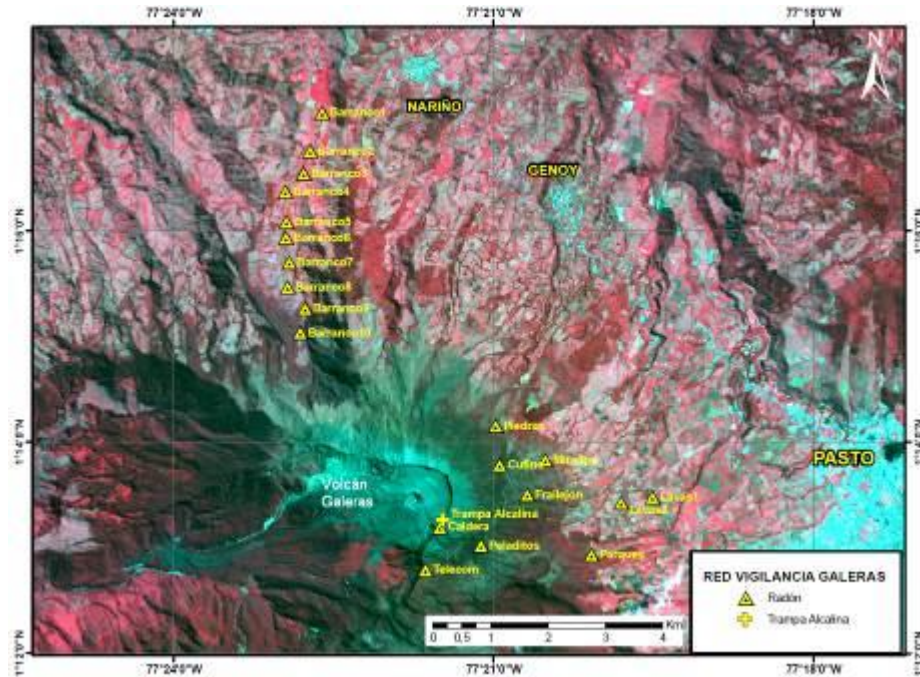


Figura 4. Mapa de localización de las estaciones no telemétricas instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.

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

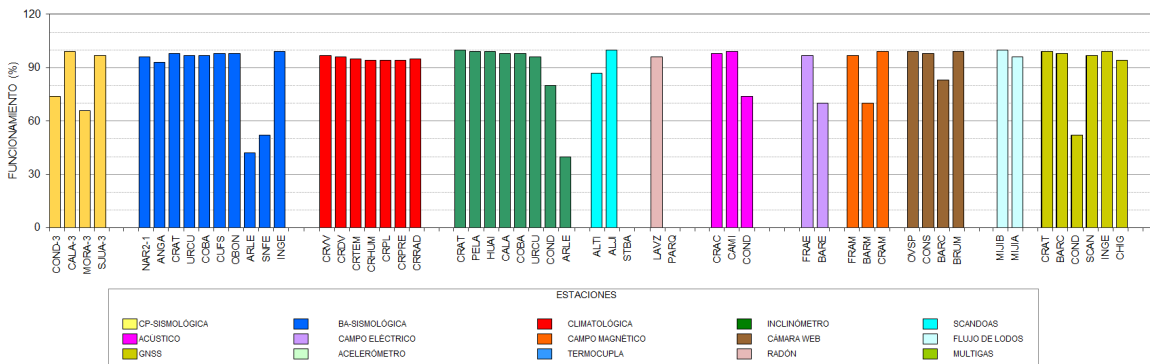


Figura 5. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de diciembre de 2015, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

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 movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos de fuente transitoria en el tiempo (LPS) y en menor cuantía por eventos tipo TRE relacionados con movimiento de fluidos de fuente persistente (Tabla 9, Figura 6).

En diciembre la sismicidad volcánica en ocurrencia mostro un ligero incremento cercano al 4% en relación con el mes anterior, registrándose en total 284 sismos. Los eventos que mostraron mayor incremento fueron los clasificados como LPS (Figura 7), en contraste se observó descenso en los eventos tipo HYB. Los eventos de bajo nivel energético, que no cumplen con los estándares de amplitud y duración, denominados no clasificables (NC), mostraron disminución cercana al 41% del número presentado en el mes anterior.

Los eventos tipo TRE presentaron duraciones entre 20 y 34 segundos, totalizando para el mes de diciembre alrededor de 131 segundos.

Tabla 9. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre septiembre y diciembre 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-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	
01-nov-15 a 30-nov-15	123	88	5	57	0	273	685	
01-dic-15 a 31-dic-15	143	105	5	31	0	284	406	

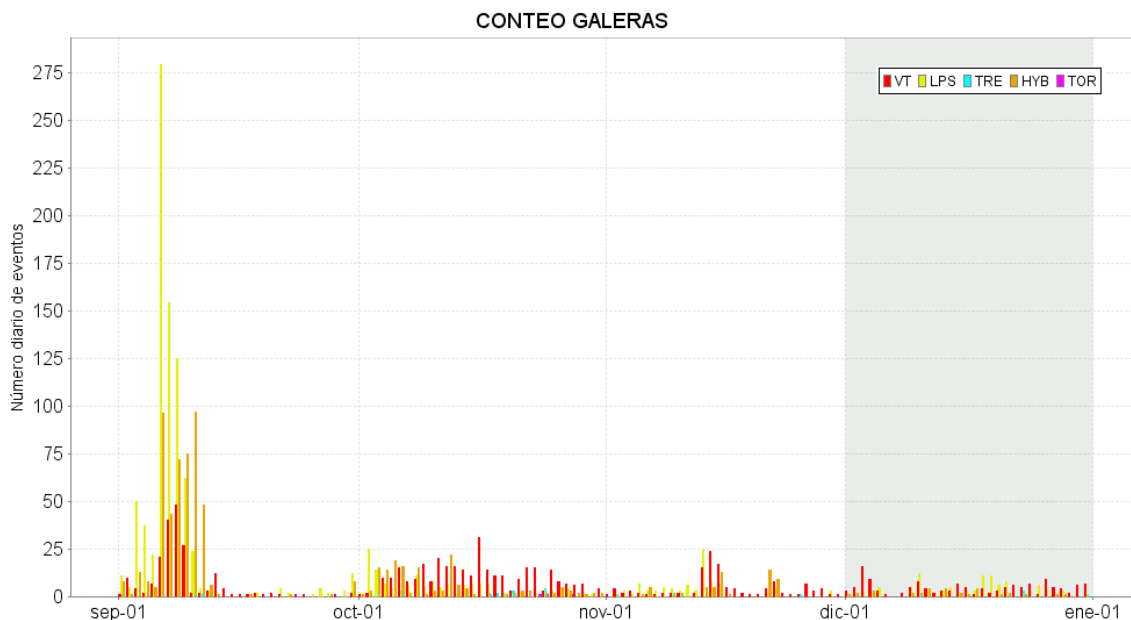


Figura 6. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre septiembre y diciembre de 2015. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.

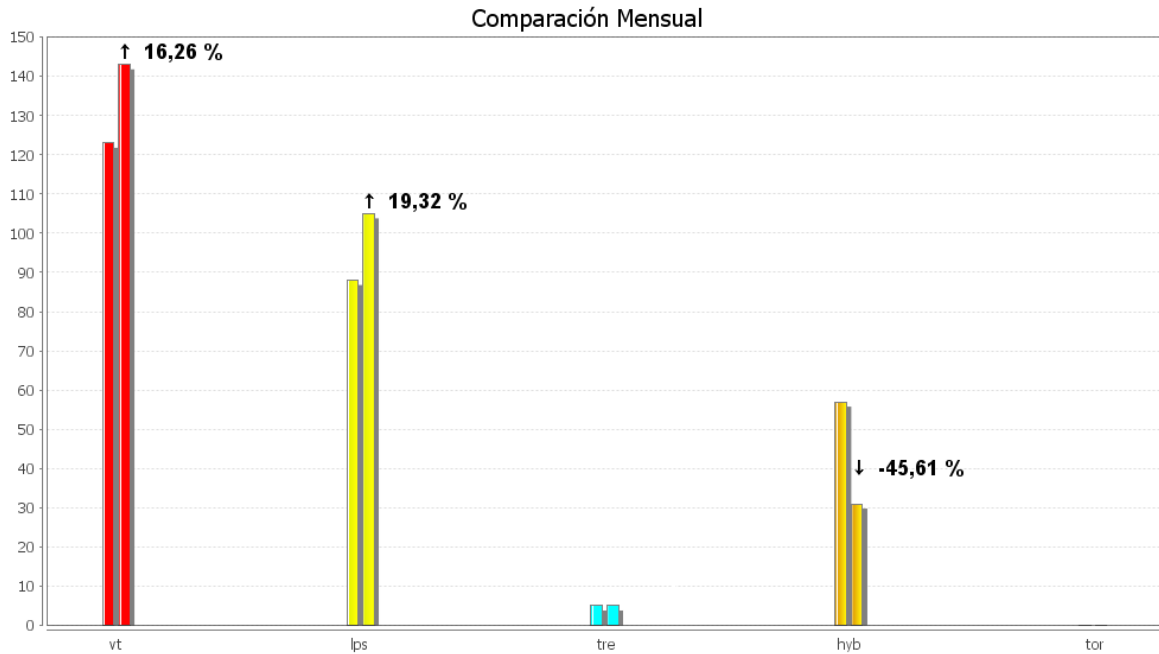


Figura 7. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre (barras de la derecha) respecto al mes de noviembre (barras de la izquierda).

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.

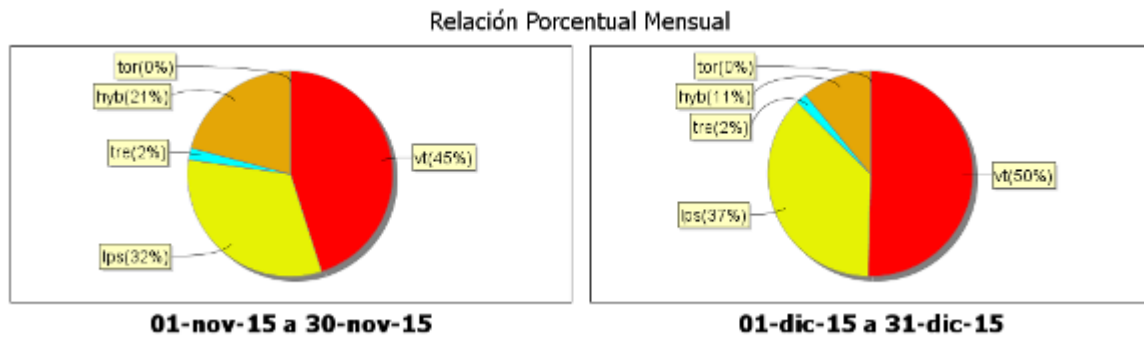


Figura 8. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de noviembre y diciembre de 2015.

La energía sísmica liberada en diciembre fue de 9.14×10^{12} ergios, observándose un incremento en comparación con el mes de noviembre (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 septiembre y diciembre 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-sep-15 a 30-sep-15	9.00E+14	3.07E+13	2.81E+09	1.05E+13	9.41E+14
01-oct-15 a 31-oct-15	3.17E+13	1.55E+11	2.54E+11	6.70E+11	3.28E+13
01-nov-15 a 30-nov-15	2.28E+12	2.76E+12	3.17E+09	2.26E+12	7.31E+12
01-dic-15 a 31-dic-15	7.95E+12	1.07E+12	8.30E+09	1.13E+11	9.14E+12

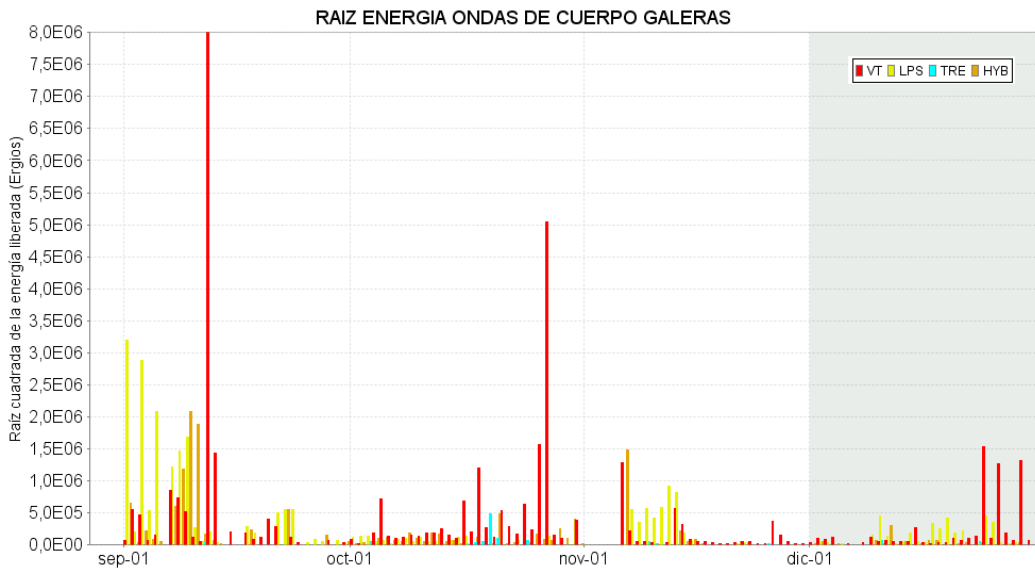


Figura 9. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2015.

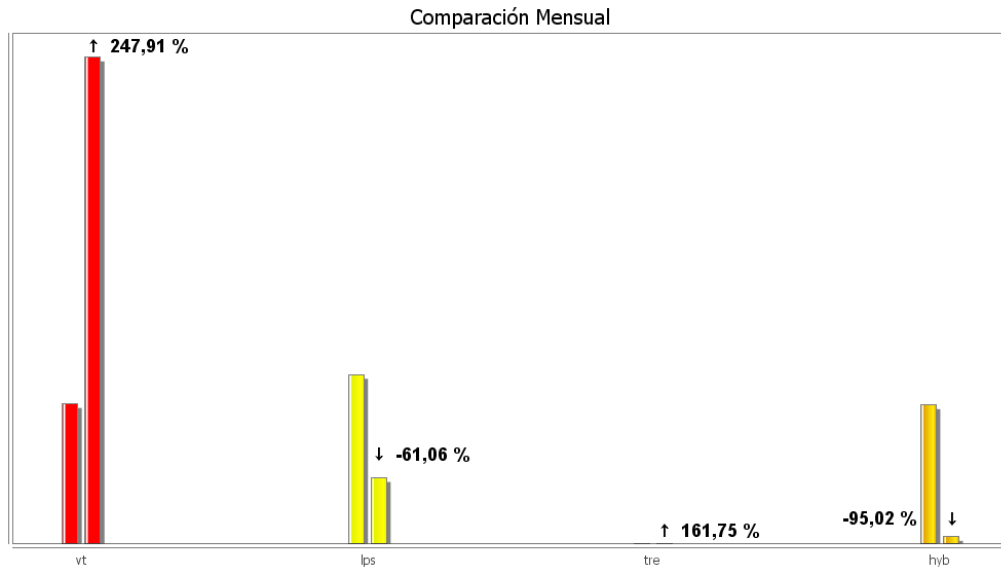


Figura 10. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para diciembre de 2015 (barras de la derecha) respecto a noviembre de 2015 (barras de la izquierda).

Relación Porcentual Mensual

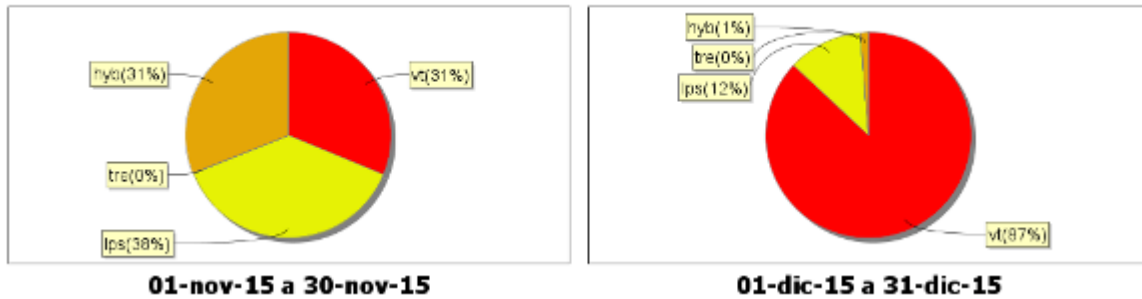


Figura 11. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para noviembre y diciembre de 2015.

Fue posible obtener una solución de localización para 48 sismos, 44 clasificados como VT y 4 como HYB. Algunos de estos se ubicaron muy próximos al cráter volcánico, a distancias menores de 1 km y profundidades inferiores a los 2 km, los más dispersos mostraron profundidades de hasta 12 km. Las magnitudes locales de los sismos registrados estuvieron entre 0 y 1.9 en la escala de Richter, el 88% presentó magnitudes menores a 1 (Figura 12).

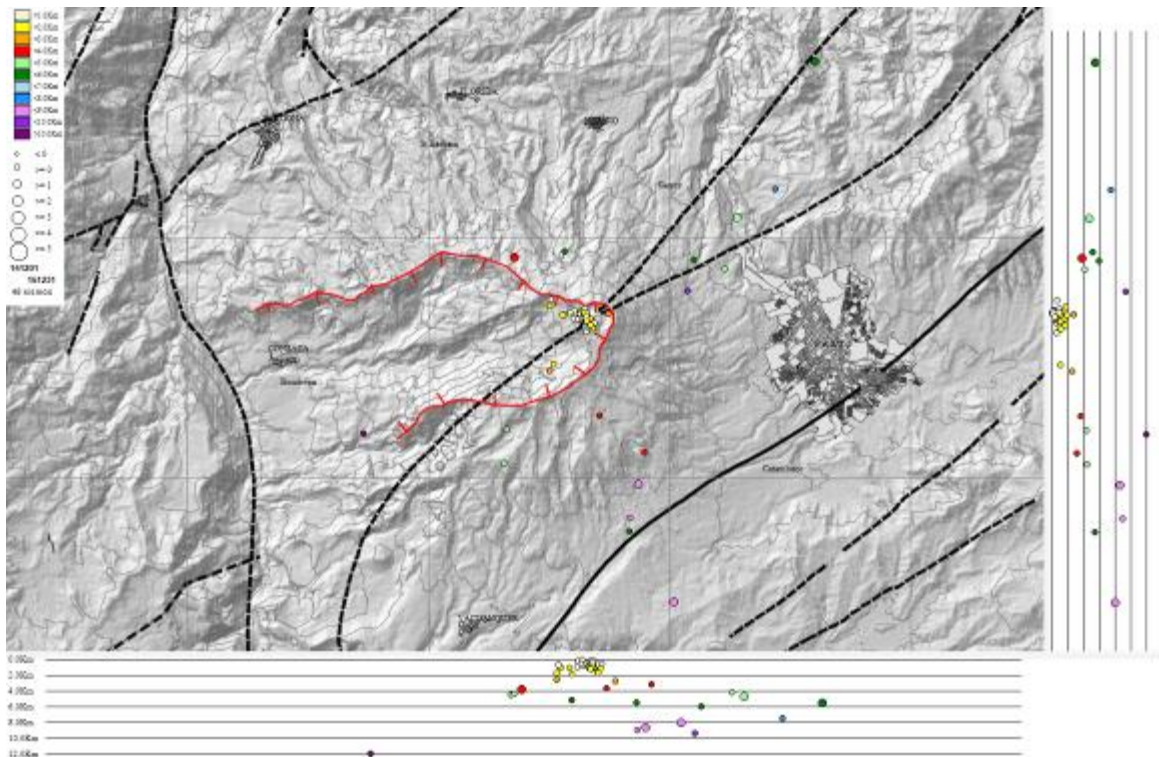


Figura 12. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados en el mes de diciembre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2.0 km de profundidad.

1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

1.3.1. Inclinometría Electrónica

Durante el mes de diciembre 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 y Cóndor (Figuras 13, 14 y 15). 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 μrad y 40 μrad , respectivamente hasta el 21 de noviembre, posteriormente se evidencia una tendencia ascendente en las dos componentes, se resalta una clara relación entre el comportamiento de las componentes y el registro de la temperatura. En Cobanegra continúa el comportamiento ascendente en las dos componentes, tendencia desde el 29 de septiembre, alcanzando 15 μrad la Este y 25 μrad la componente de inclinación Norte. En Cóndor es notorio el comportamiento ascendente en la componente Norte, registrando cerca de 238 μrad desde el 15 de septiembre, por su parte en la componente Este se observa una ligera tendencia descendente, menor a los 5 μrad . En el inclinómetro Urcunina se observa estabilidad en el registro de las componentes desde el pasado 31 de octubre (Figura 16).

En cuanto al comportamiento de los inclinómetros electrónicos Peladitos, Huairatola, Cráter y Arles, se observa estabilidad en el registro de sus dos componentes (Figuras 17, 18, 19 y 20).

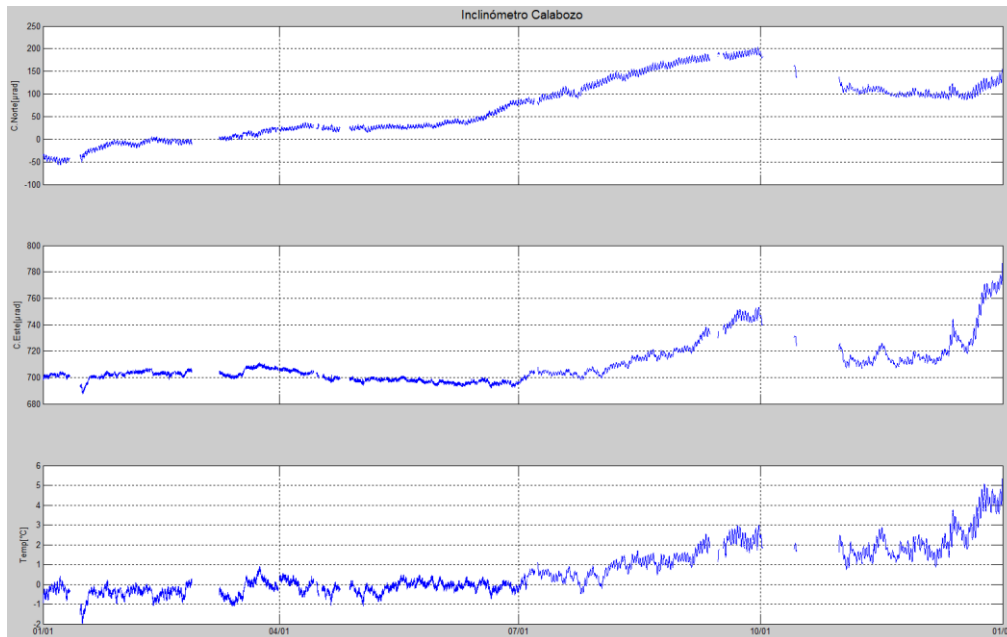


Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

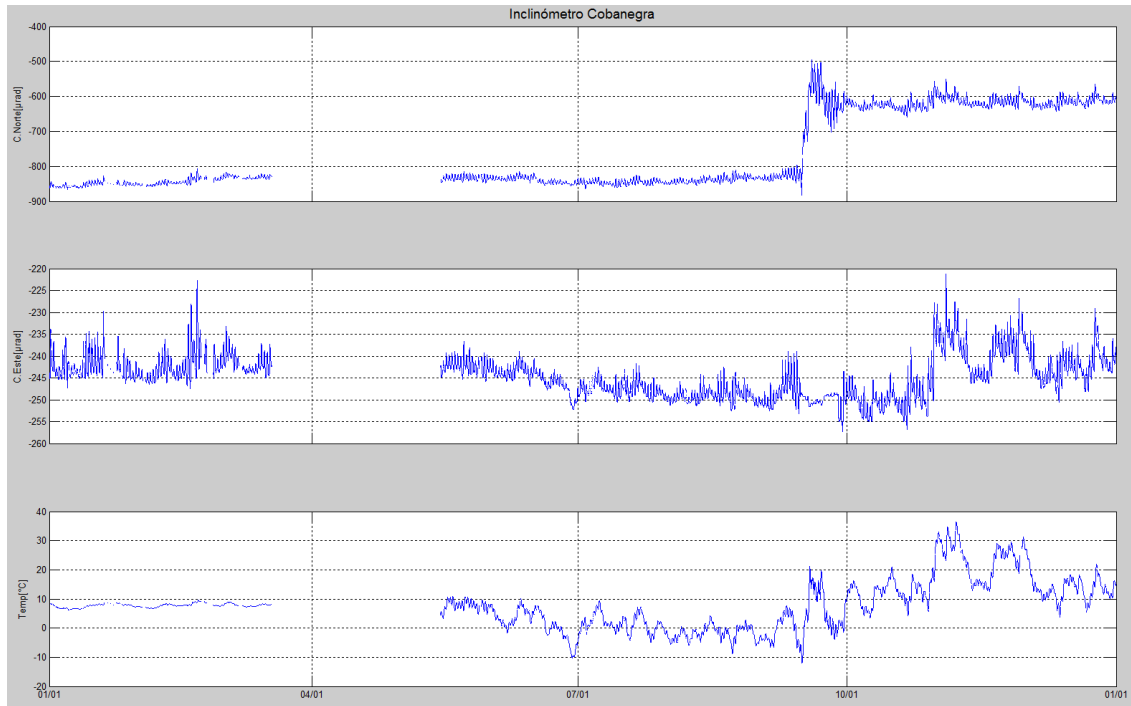


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

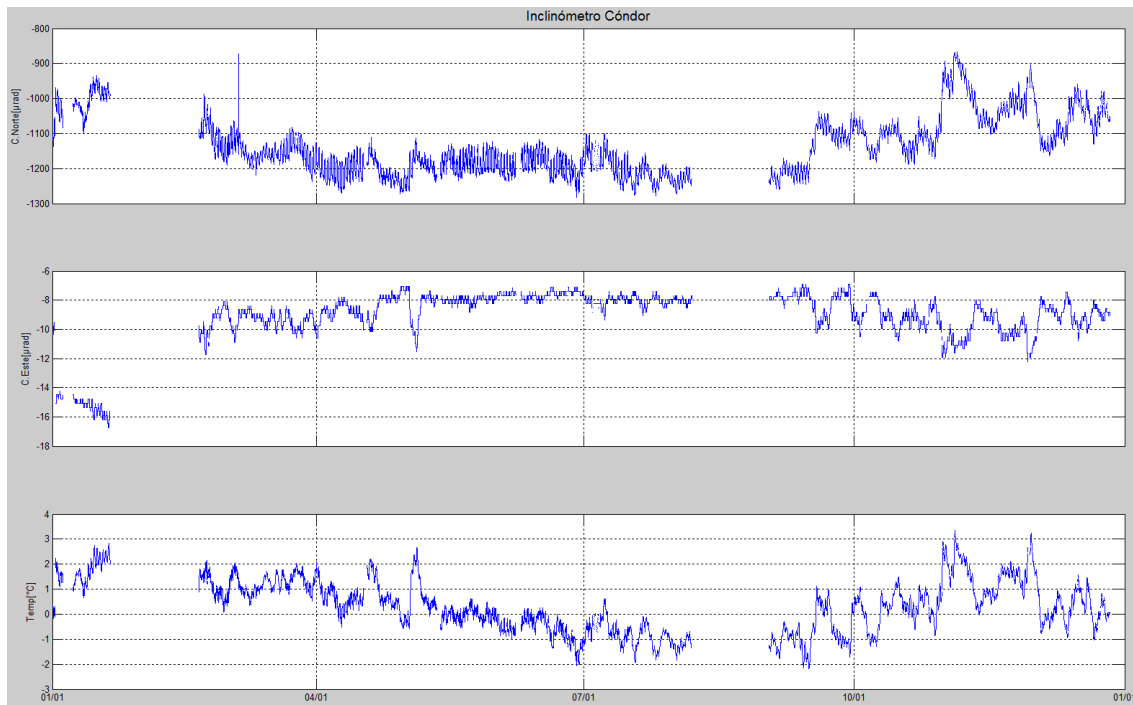


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

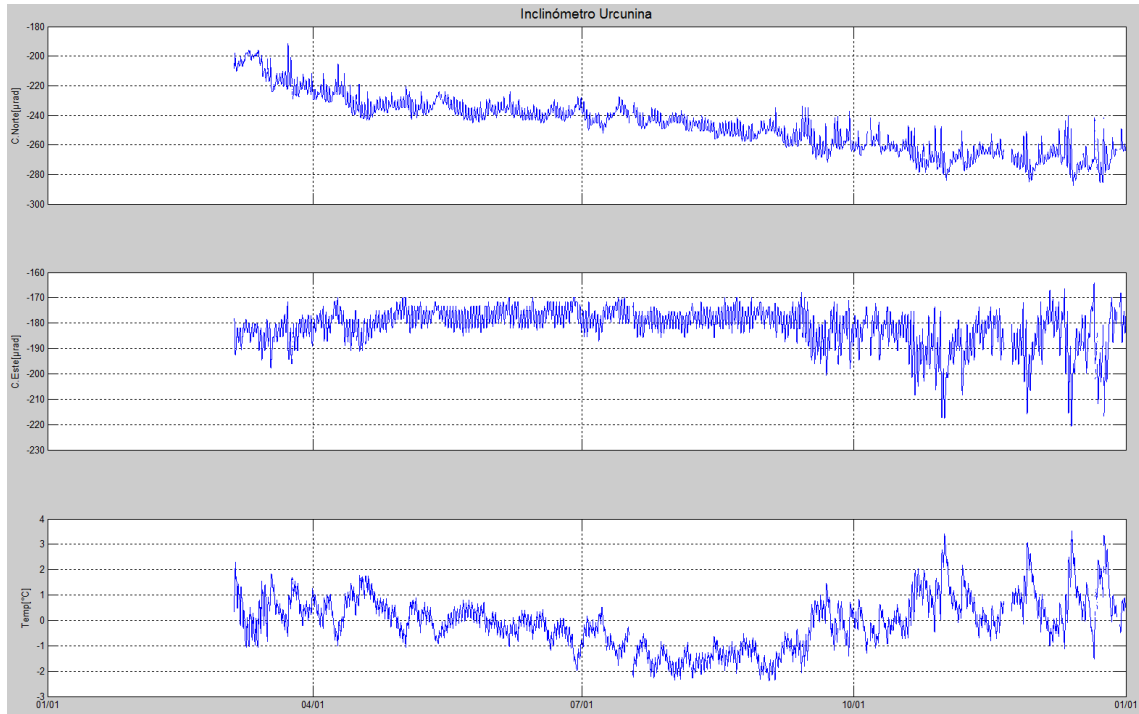


Figura 16. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

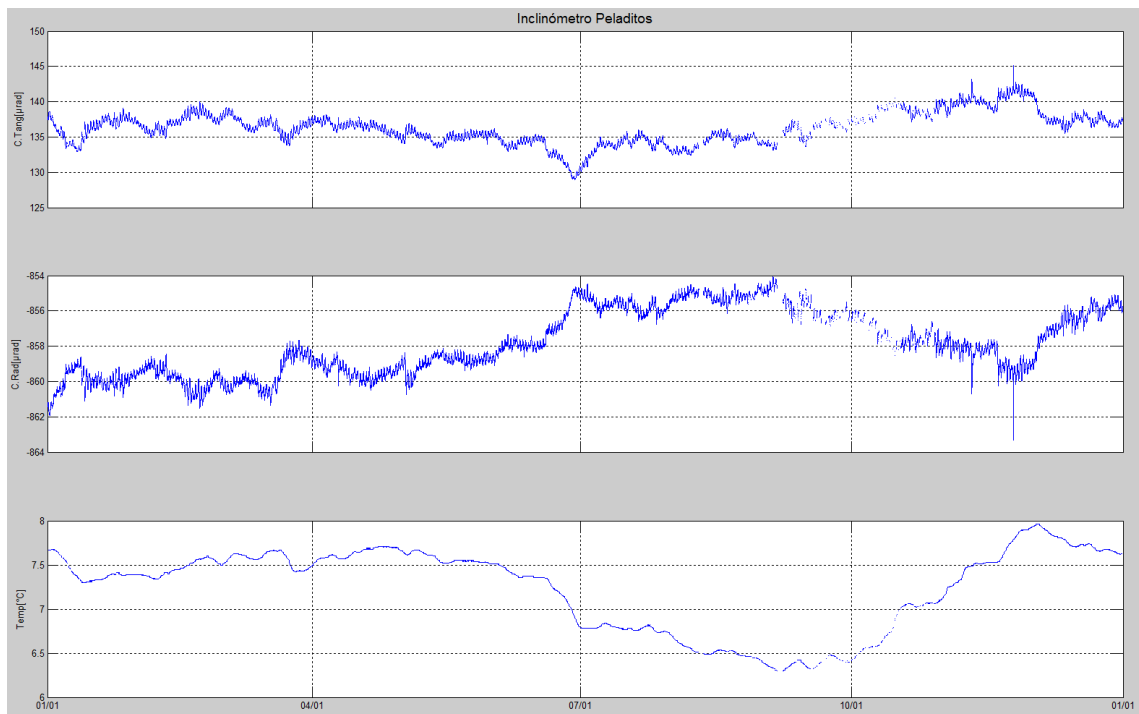


Figura 17. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

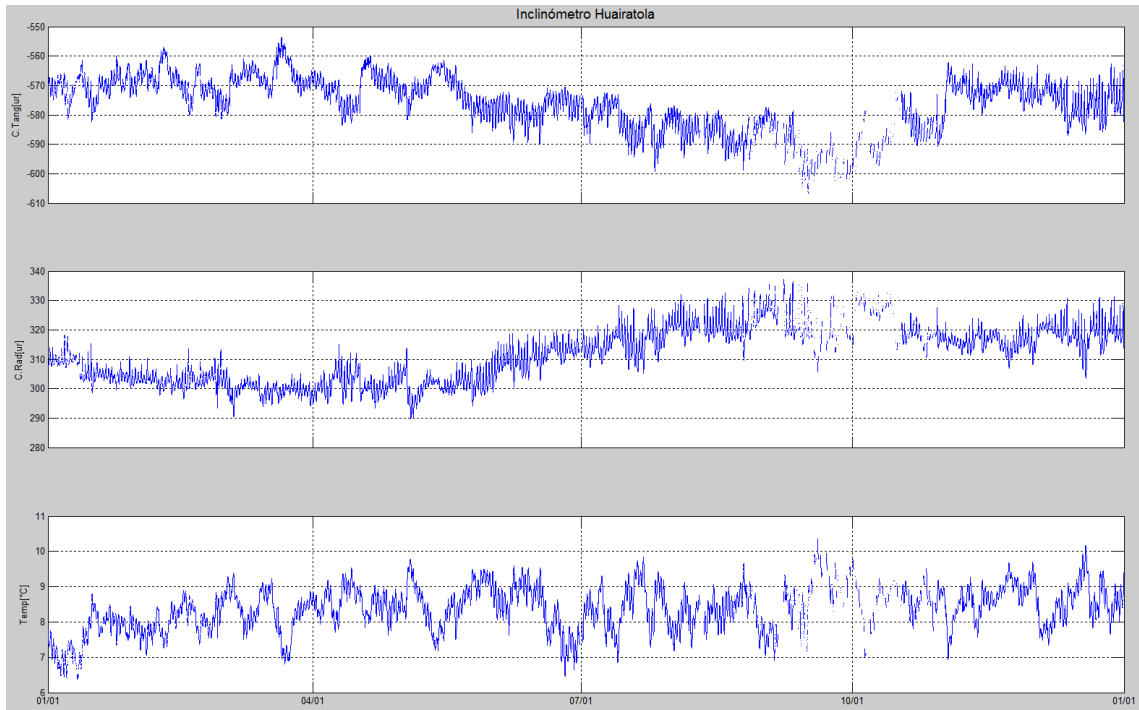


Figura 18. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

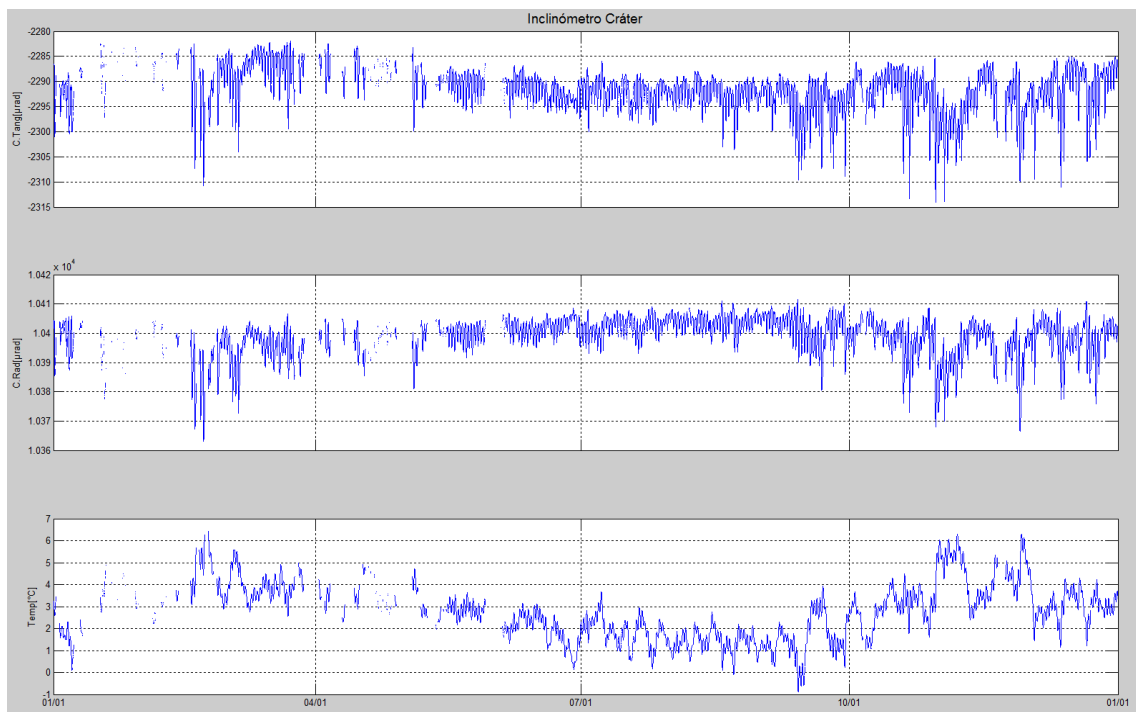


Figura 19. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

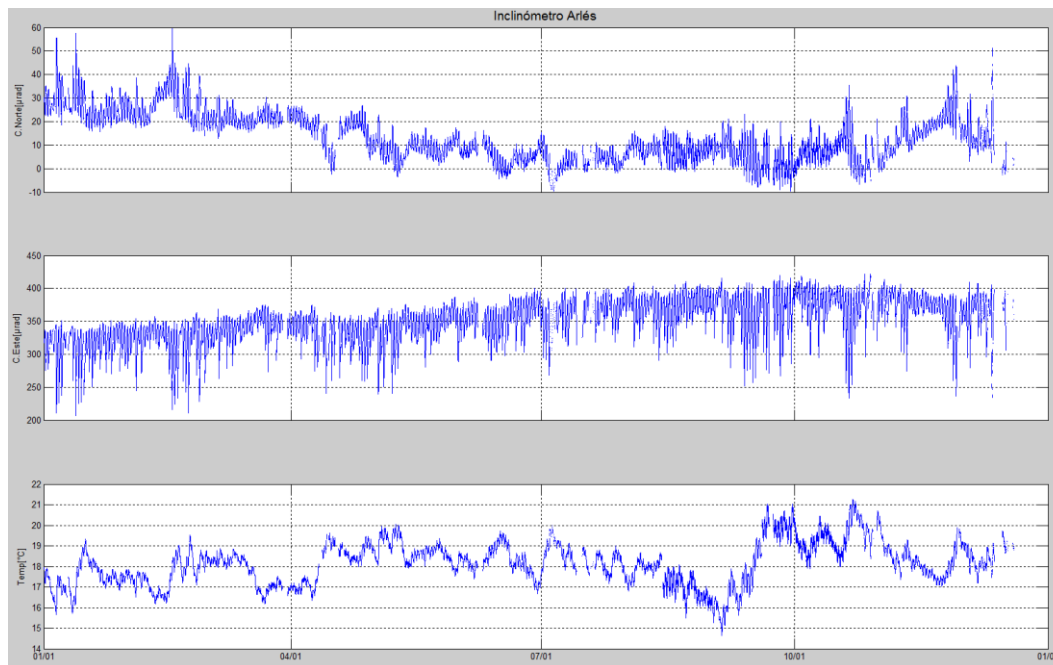


Figura 20. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Ariés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

En diciembre 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 21 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 Cóndor 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 de 2015 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 un comportamiento ascendente en el registro de la altura de las estaciones Cóndor, Barranco, San Cayetano, Chiguaco y Cráter (Figuras 22, 23, 24, 25 y 26), tendencia ascendente desde el mes de agosto de 2015. En la estación Ingenio se observa estabilidad en el registro (Figura 27).

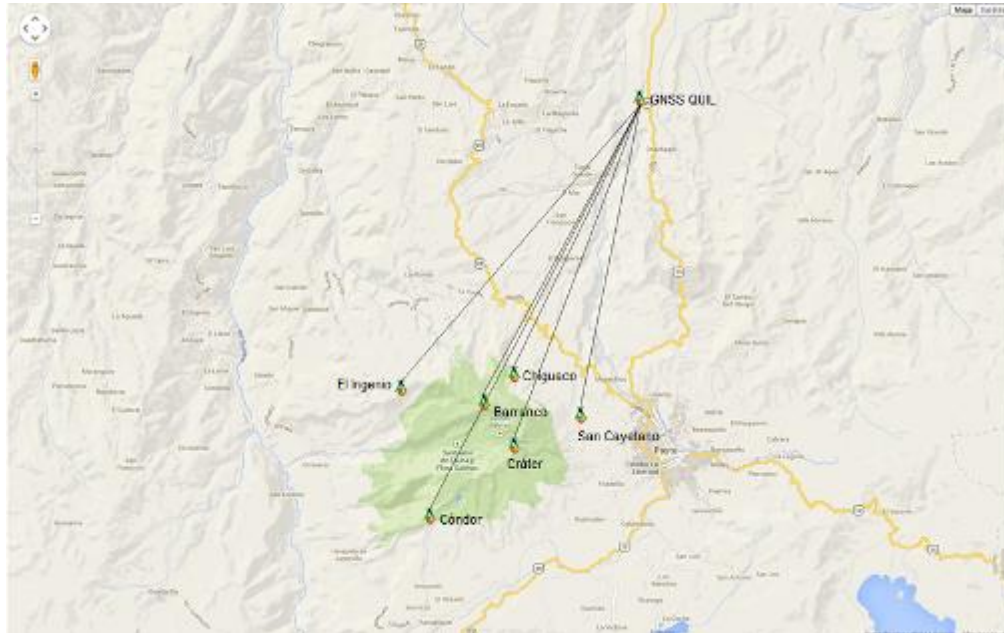


Figura 21. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.

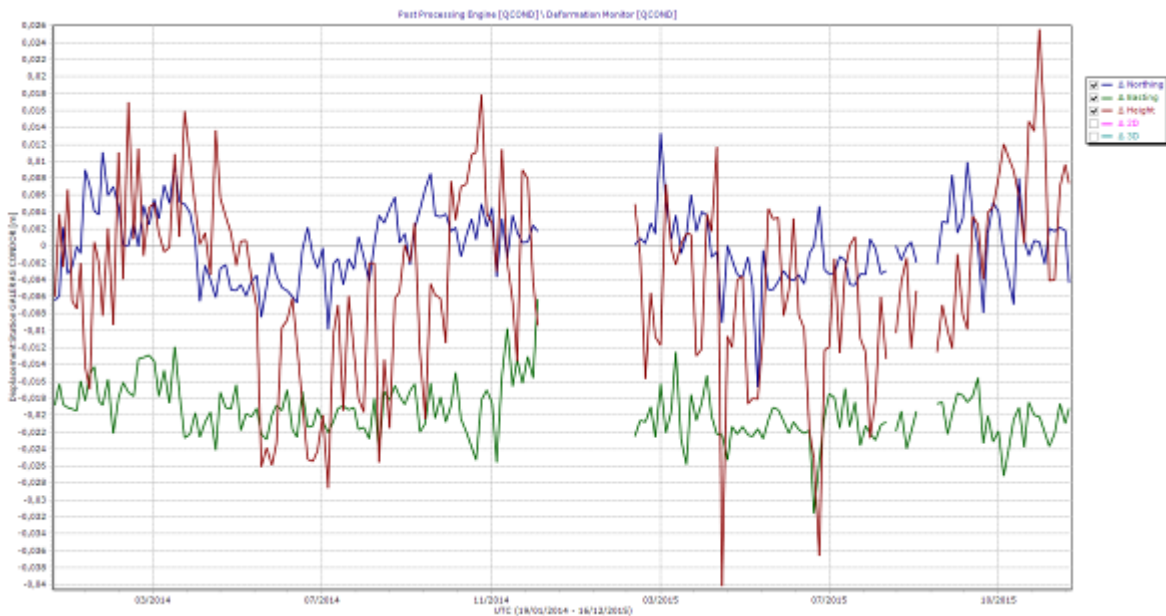


Figura 22. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cándor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 16 de diciembre de 2015.

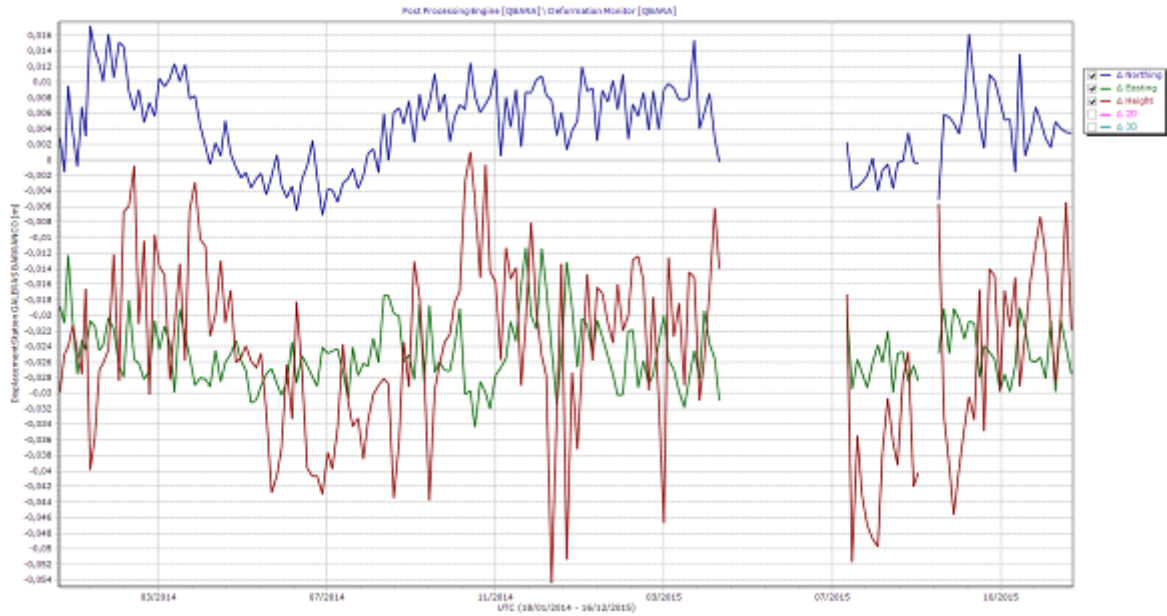


Figura 23. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 16 de diciembre de 2015.

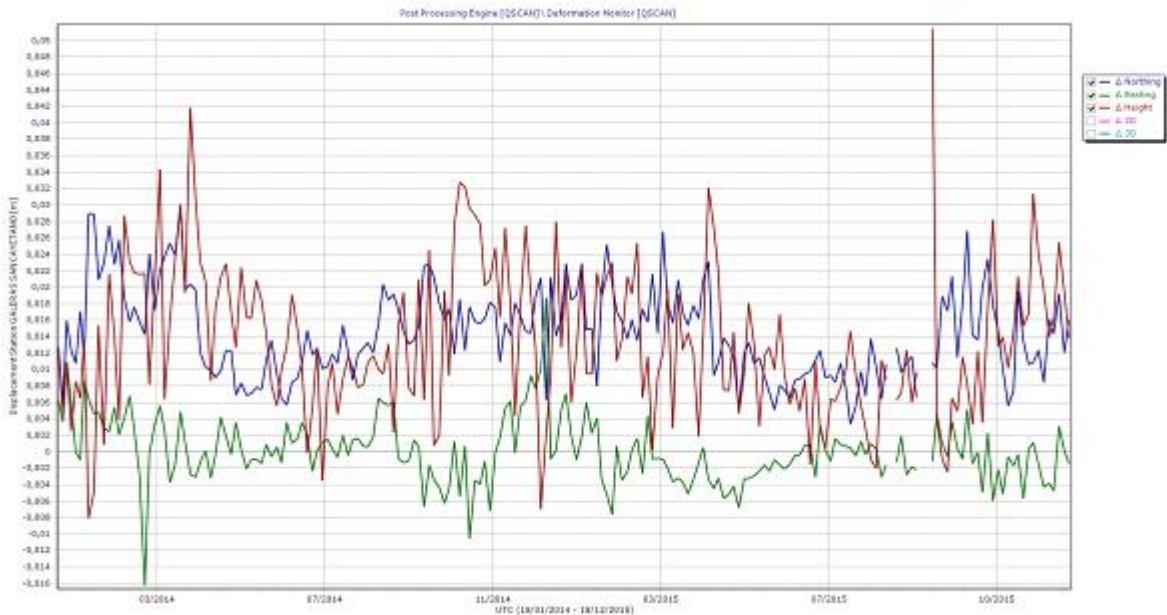


Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 18 de diciembre de 2015.

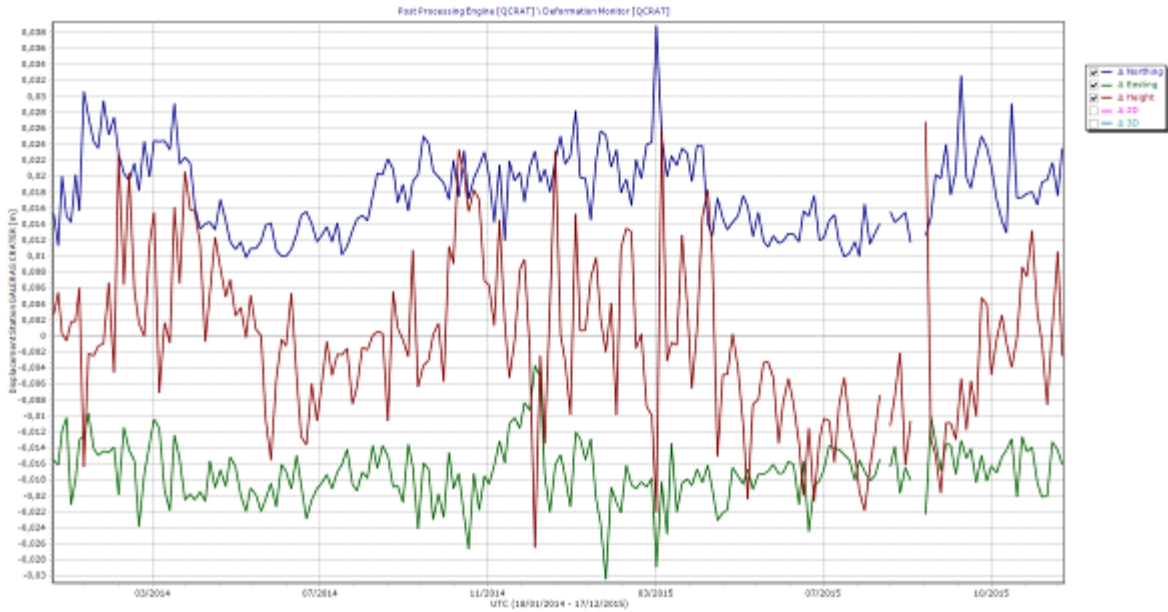


Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 17 de diciembre de 2015.

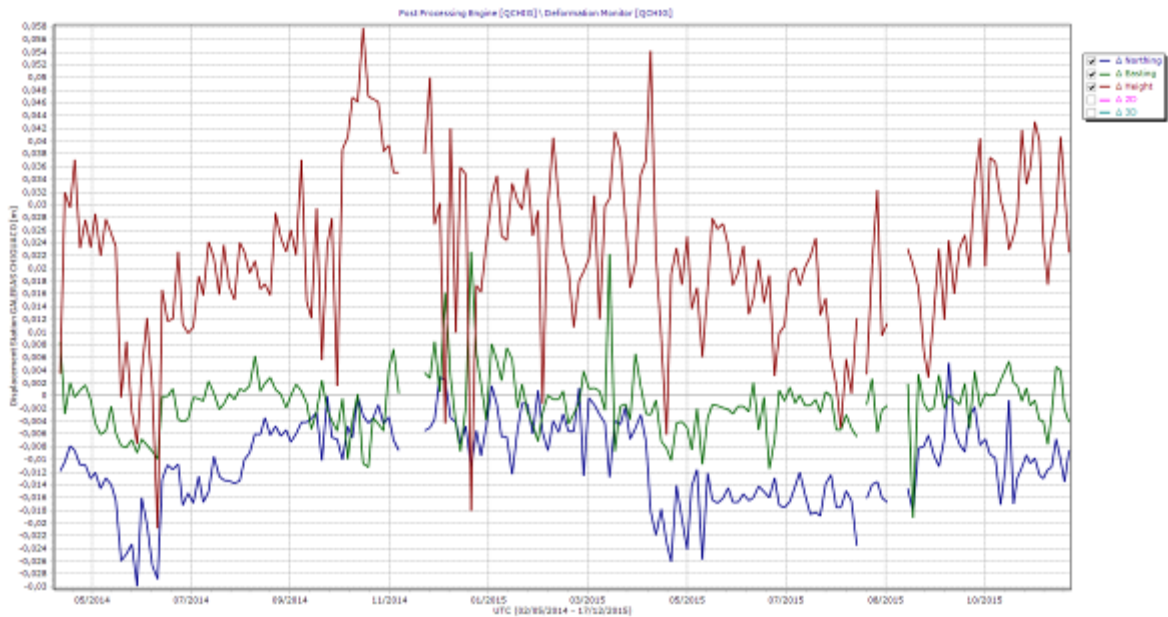


Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre mayo de 2014 y el 17 de diciembre de 2015.

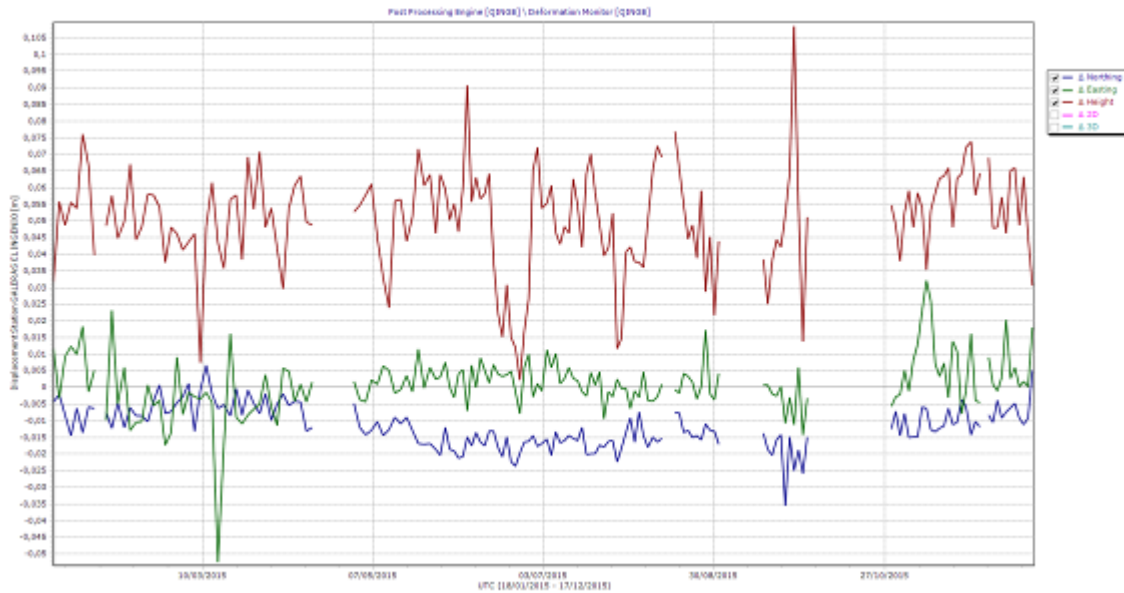


Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2015 y el 17 de diciembre de 2015.

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 diciembre 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.

1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO_2

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

En el volcán Galeras se encuentran ubicadas tres estaciones ScanDOAS telemétricas: Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara para el monitoreo de moléculas de dióxido de azufre (SO_2), partículas provenientes de la desgasificación del magma en el reservorio profundo. El SCANDOAS es un sistema de espectroscopia de absorción UV que funciona mediante absorción óptica diferencial de la luz ultravioleta, en este caso diseñado para medir la concentración de gas SO_2 , convirtiendo la luz ultravioleta detectada en señales digitales, cuyo espectro se utiliza para la evaluación del gas (Instructivo del APLICATIVO ISOLUCIÓN: IN-AME-OVS-020).

Se registraron escaneos durante todos los días del mes de diciembre para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, mientras que para la estación Santa Bárbara, no se tiene registro de escaneos; registrando valores entre 57 Ton/día hasta 613 Ton/día, valores que oscilan entre niveles bajos y moderados para Galeras (Figuras 28 y 29, Tabla 11).

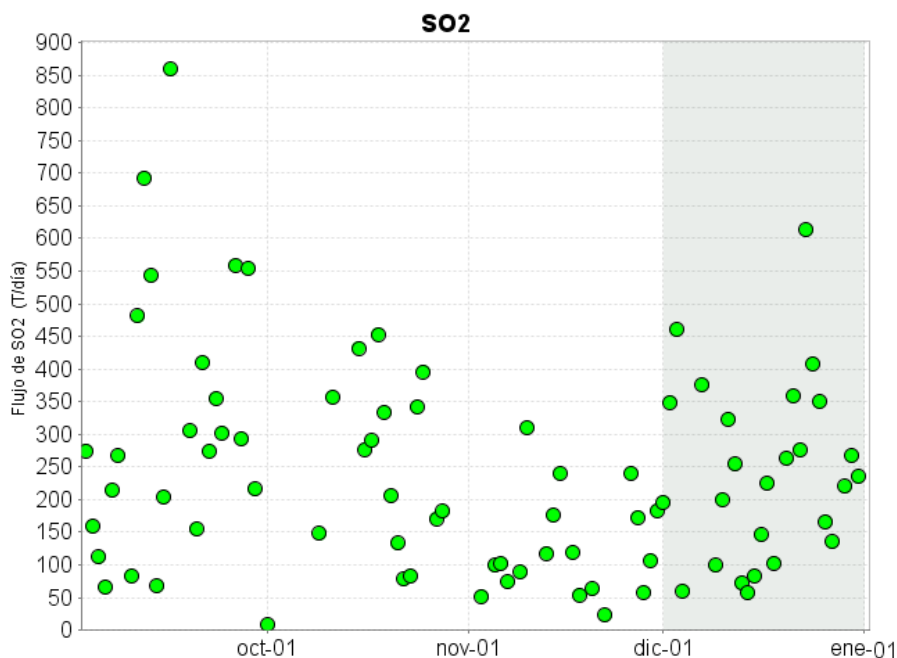


Figura 28. Flujo de emisión de SO₂ registrado desde el 1 de septiembre de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2015, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

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

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO2 diario	Estación de registro	Instrumento
01-dic-15	02:07 PM	334.5	5.55	196	Alto Jimenez	SCANDOAS
02-dic-15	08:46 AM	359.9	9.29	349	Alto Jimenez	SCANDOAS
03-dic-15	07:32 AM	351.8	9.76	460	Alto Jimenez	SCANDOAS
04-dic-15	01:59 PM	17.4	4.91	60	Alto Tinajillas	SCANDOAS
07-dic-15	08:02 AM	351.2	7.67	376	Alto Jimenez	SCANDOAS
09-dic-15	01:45 PM	330.1	2.41	99	Alto Jimenez	SCANDOAS
10-dic-15	10:49 AM	331.8	6.5	200	Alto Jimenez	SCANDOAS
11-dic-15	08:27 AM	356.9	9.3	323	Alto Jimenez	SCANDOAS
12-dic-15	09:38 AM	354.9	10.33	254	Alto Jimenez	SCANDOAS
13-dic-15	10:38 AM	3.4	3.7	72	Alto Jimenez	SCANDOAS
14-dic-15	02:25 PM	8.2	2.26	57	Alto Tinajillas	SCANDOAS
15-dic-15	07:01 AM	357.6	1.78	83	Alto Tinajillas	SCANDOAS
16-dic-15	08:55 AM	342.5	6.87	146	Alto Tinajillas	SCANDOAS
17-dic-15	03:03 PM	342.4	2.56	225	Alto Tinajillas	SCANDOAS
18-dic-15	03:45 PM	341.7	2.16	103	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-dic-15	08:56 AM	345.2	6.31	263	Alto Tinajillas	SCANDOAS
21-dic-15	07:25 AM	330.1	9.38	359	Alto Tinajillas	SCANDOAS
22-dic-15	08:56 AM	4.1	9.26	276	Alto Jimenez	SCANDOAS
23-dic-15	07:32 AM	351.3	7.52	613	Alto Jimenez	SCANDOAS
24-dic-15	10:40 AM	358.4	7.76	408	Alto Jimenez	SCANDOAS
25-dic-15	08:02 AM	353.8	7.84	350	Alto Jimenez	SCANDOAS
26-dic-15	12:37 PM	11.7	6.11	166	Alto Tinajillas	SCANDOAS
27-dic-15	12:52 PM	9.2	6.54	135	Alto Tinajillas	SCANDOAS

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

Para este periodo se registra un proceso de desgasificación bajo en Galeras, observado en las imágenes de actividad superficial desde las cámaras web instaladas en cercanías del volcán. Se registran variaciones en la velocidad del viento para los flujos de SO₂ de hasta los 10.3 m/s y una dirección del viento predominante a 350° Azimut aproximadamente (Figura 29). El mayor flujo de SO₂ registrado para el volcán Galeras, durante el mes se presenta el día 23 de diciembre de 2015 con un valor de 613 Ton/día, considerado como un flujo moderado para Galeras.

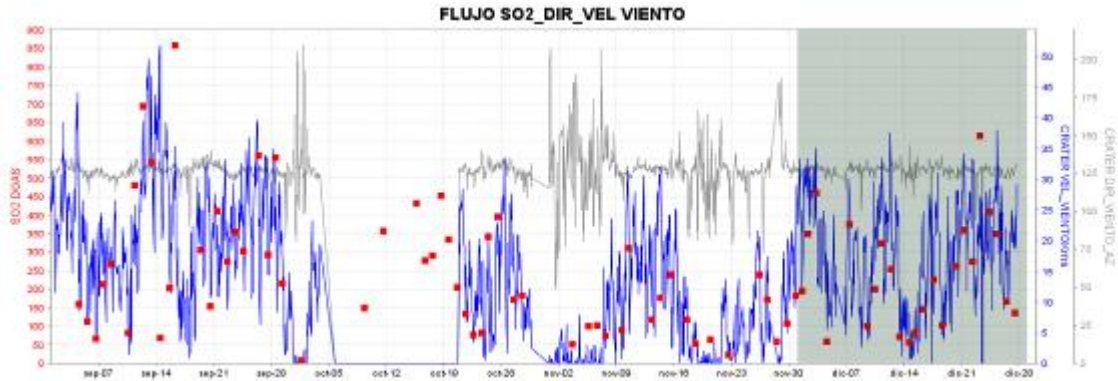


Figura 29. Flujo de emisión de SO₂, dirección y velocidad del viento para el mes de diciembre de 2015.

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 la Figura 30 se presenta la gráfica del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo. Se puede observar en la estación Lavas un comportamiento sin variaciones importantes durante el periodo evaluado. Se presenta una concentración máxima de 95129 Bq/m³ (Figura 30, Tabla 12). Para la estación Parques no se tiene registro durante el mes de diciembre debido a posibles problemas de adquisición en la estación.

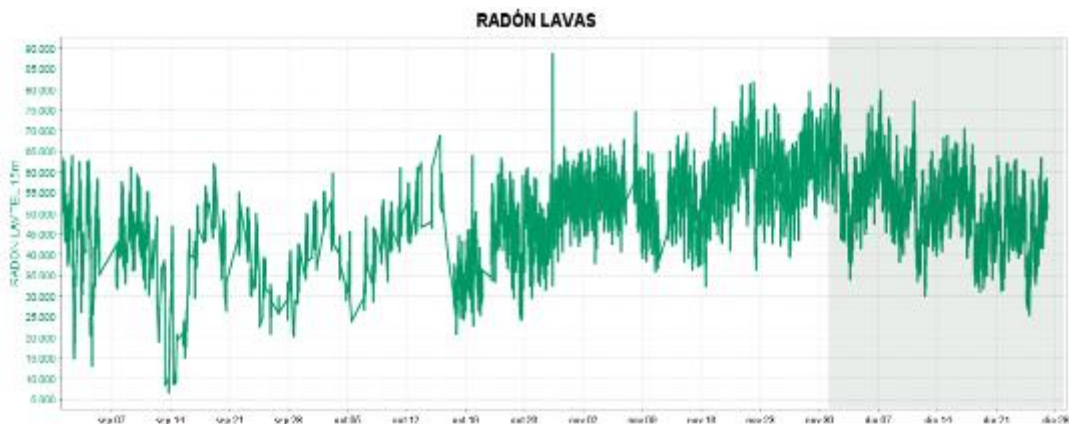


Figura 30. Concentración de gas radón en suelo - estación telemétrica LAVAS, Diciembre de 2015.

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

Concentración Radón (Bq/m³)	
Promedio	52778
Máximo	95129
Mínimo	13079

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, Barranco y Bruma.

Condiciones favorables de clima permitieron la mayor parte del tiempo observar emisiones de gases, excepto para los días 1, 7 y 26 de diciembre, 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 31 a 36 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.

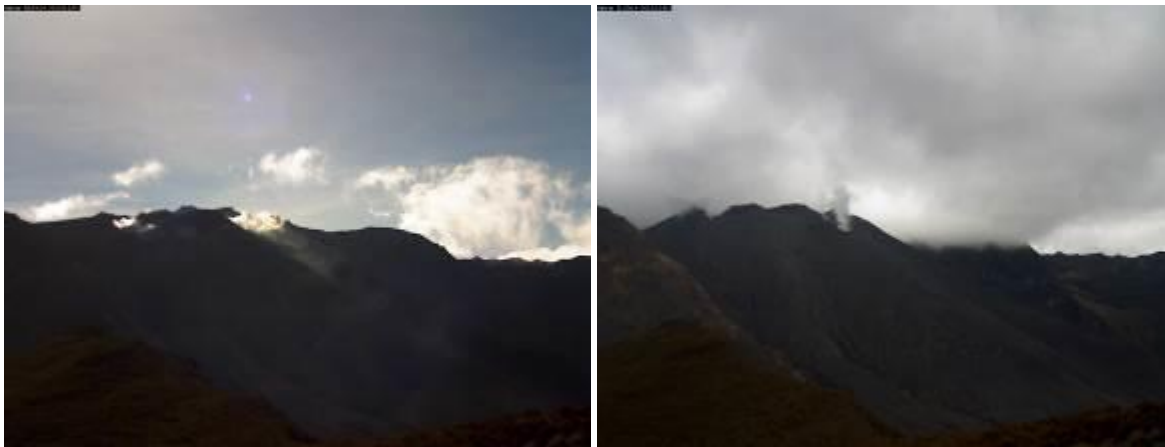


Figura 31. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 3 de diciembre de 2015, en horas de la mañana 8:28 a.m. y 11:20 a.m., capturadas desde la cámara de Barranco.



Figura 32. Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 6 de diciembre de 2015, en horas de la tarde 6:20 p.m. y 6:30 p.m., capturadas desde las cámaras de Barranco y Bruma.



Figura 33. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 8 de diciembre de 2015, en horas de la tarde 5:38 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma.



Figura 34. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 9 de diciembre de 2015, en horas de la mañana 8:22 a.m., capturada desde la cámara ubicada en Barranco.



Figura 35. Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 12 de diciembre de 2015, a las 4:57 p.m. y las 5:06 p.m., desde las cámaras de Barranco y Bruma.



Figura 36. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 31 de diciembre de 2015, en horas de la tarde 2:49 p.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 – DICIEMBRE DE 2015

2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 37 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 37).

De igual forma se cuenta con una red de muestreo de gases en fumarola y aguas en fuentes termales (Figura 37).

En la Tabla 13, se consigna el nombre de cada estación con sus características. En la Figura 38 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones.

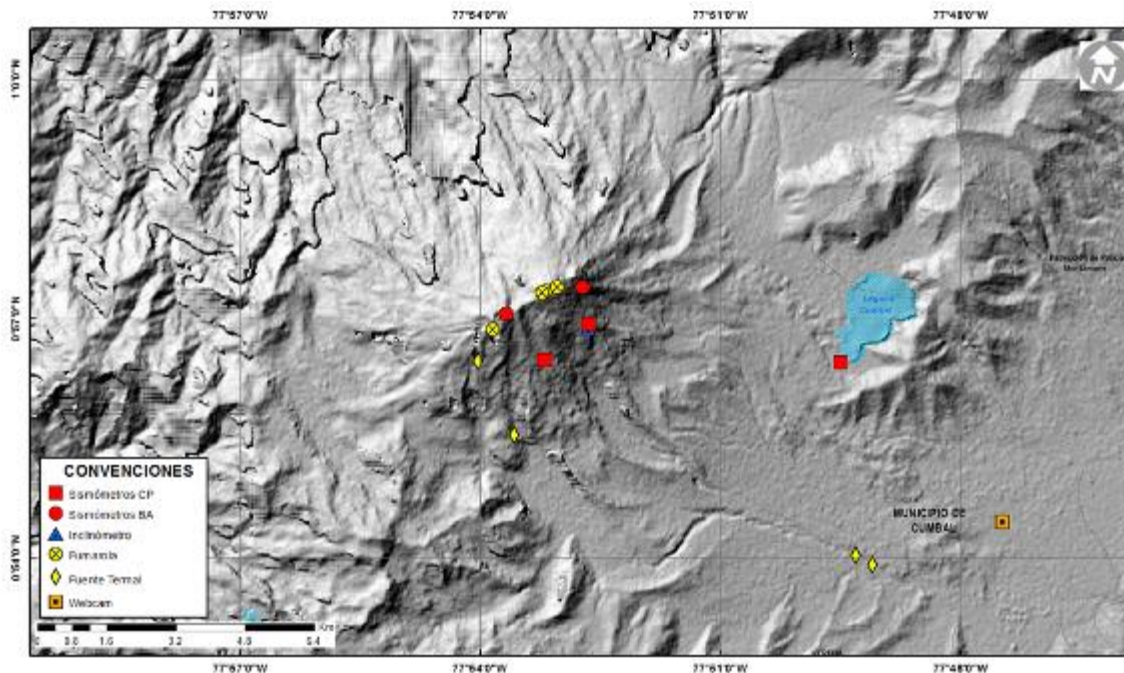


Figura 37. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de diciembre de 2015.

Las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de diciembre de 2015, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 70% (Figura 38).

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

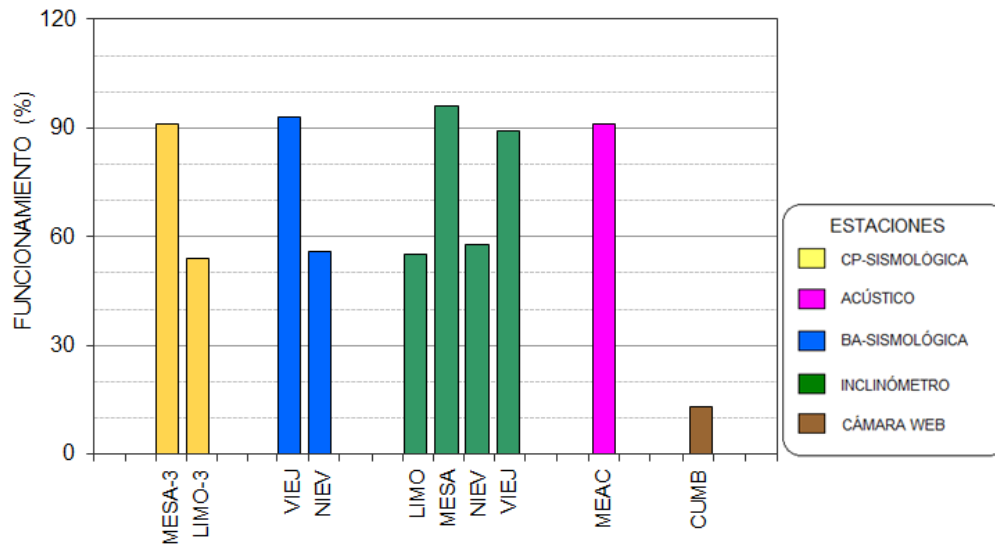


Figura 38. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2015.

2.2. SISMOLOGÍA

En diciembre de 2015 se presentó un ligero descenso del 9% en el número total de sismos volcánicos, pasando de 1228 a 1118 eventos (Tabla 14, Figura 39). El mayor descenso en ocurrencia se observó para los sismos tipo LPS con un 13.1%, seguido por los eventos asociados con fractura de roca VT con un 10.7% (Figura 40). Hubo predominio de la sismicidad tipo LPS con un 37% del total de eventos sísmicos, seguido por un 34% de los sismos asociados con fractura de roca (VT) Figura 41. En el periodo evaluado se presentaron cuatro eventos Largo Periodo tipo Tornillo (Tabla 14).

Tabla 14. Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	vt	lps	tre	hyb	tor	
01-sep-15 a 30-sep-15	107	483	0	177	5	772
01-oct-15 a 31-oct-15	260	450	0	254	7	971
01-nov-15 a 30-nov-15	429	472	0	322	5	1228
01-dic-15 a 31-dic-15	383	410	0	321	4	1118

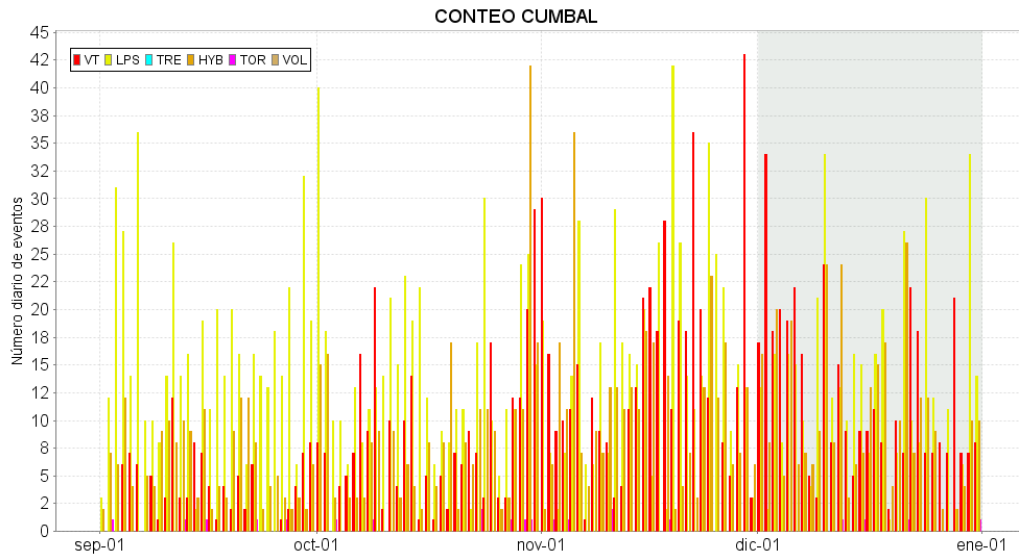


Figura 39. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre septiembre y diciembre de 2015.

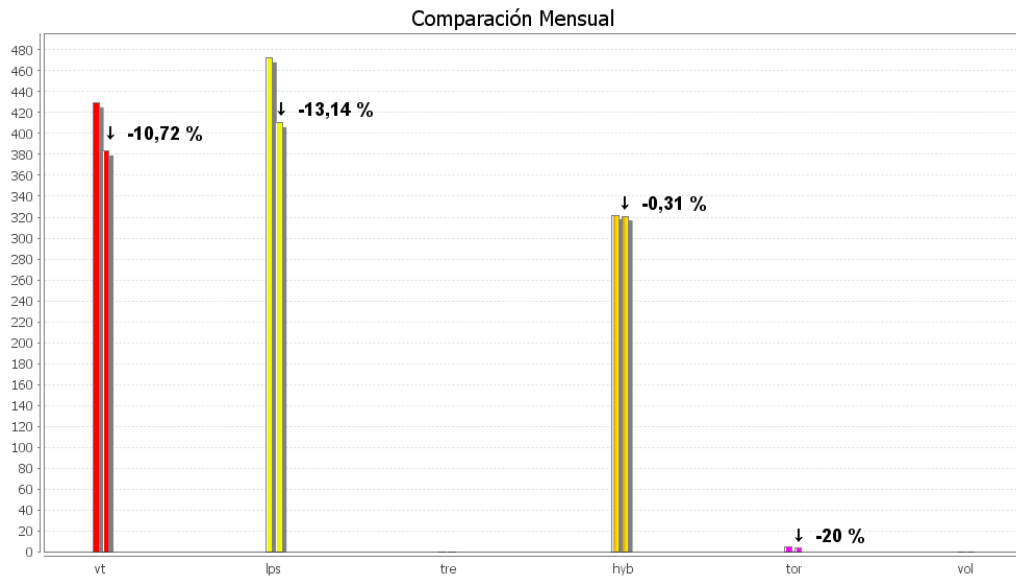


Figura 40. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre (barras de la derecha) respecto al mes de noviembre (barras de la izquierda).

Relación Porcentual Mensual



Figura 41. Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para noviembre y diciembre de 2015.

La energía liberada de los sismos localizados mostró un incremento muy importante, pasando de 3.83×10^{12} ergios a 1.39×10^{13} ergios. Fue posible localizar 90 sismos, de los cuales 73 fueron asociados con fractura de roca y 17 tipo HYB. La gran mayoría de eventos se ubicaron en inmediaciones de los dos conos volcánicos del complejo, Mundo Nuevo al sur y Cumbal al norte, con profundidades entre 0.2 y 9.5 km, cerca del 54% profundidades menores a 1 km. La magnitud local estuvo entre -0.4 y 1.7 en la escala de Richter, cerca del 97% inferior a 1 (Figura 42).

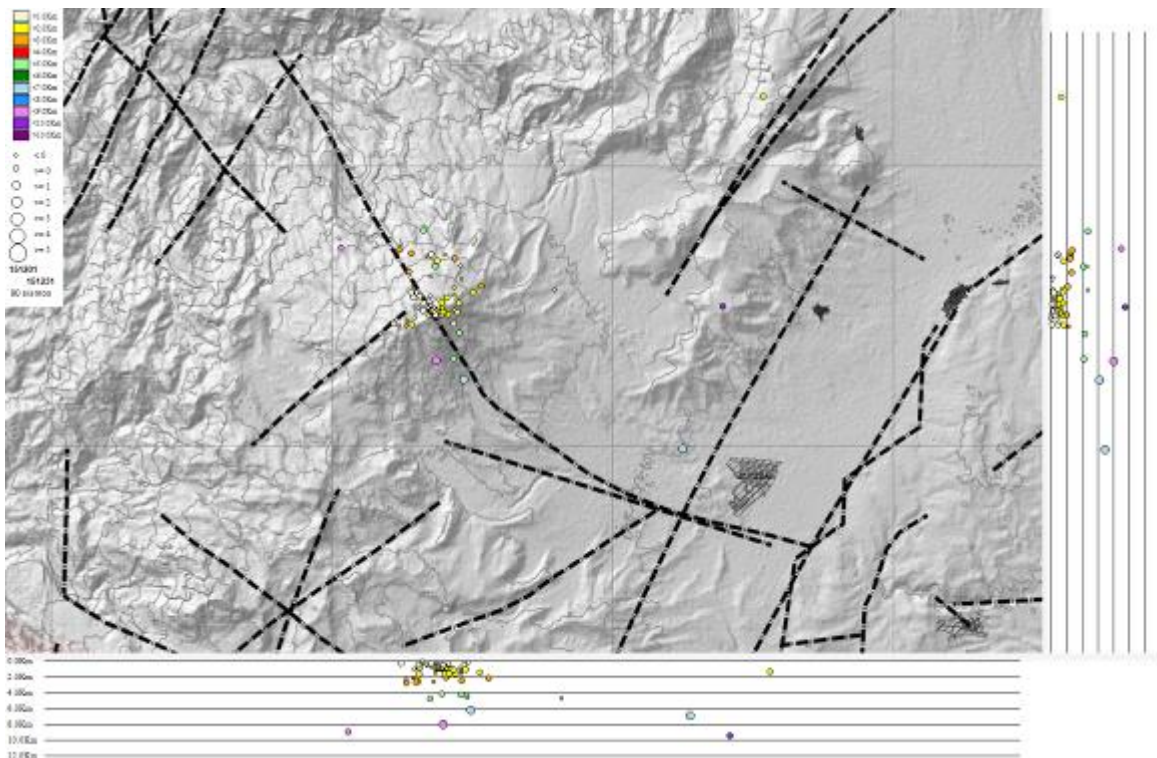


Figura 42. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de diciembre de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).

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 2.7 Hz (Figura 43), y duraciones entre 33 y 94 segundos. En las Figuras 44 y 45 se presentan a manera de ejemplo, el registro de los eventos TOR ocurridos el 15 y el 31 de diciembre 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.

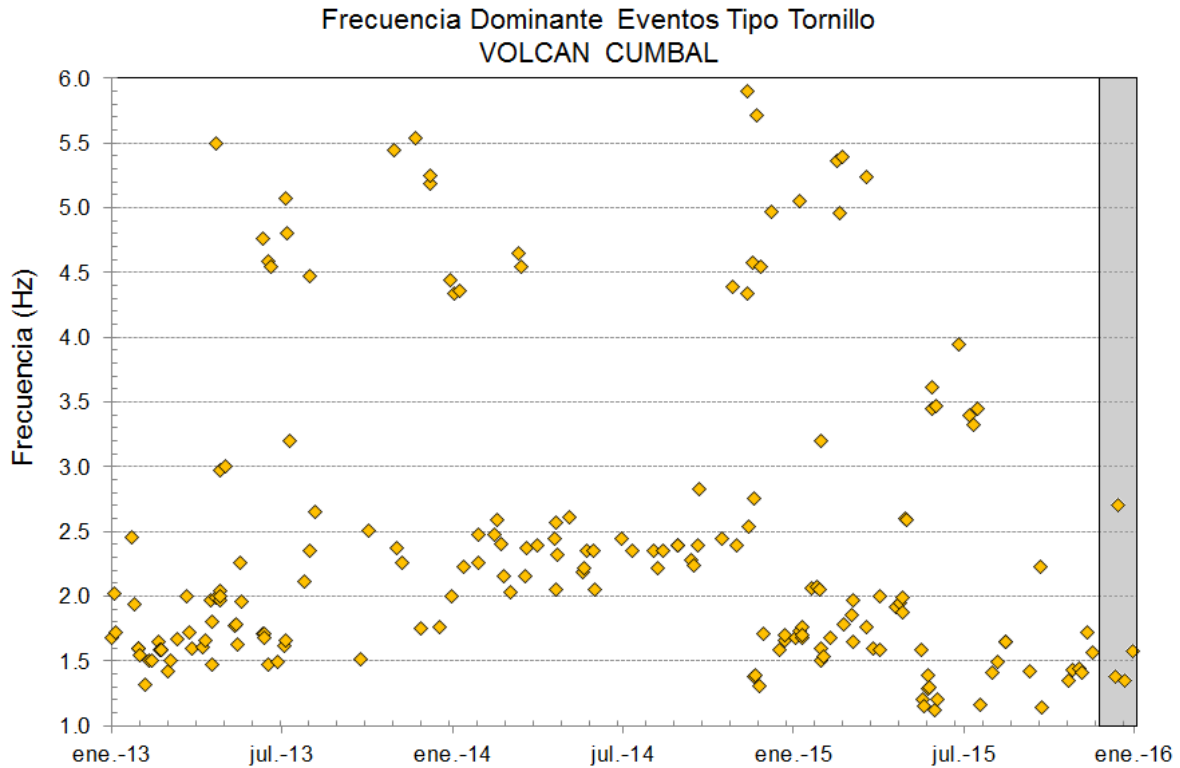


Figura 43. Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2015, resaltando los eventos registrados en el mes de diciembre de 2015 en el recuadro gris.

Diciembre 15/2015 7:09 p.m.
Estación base: Limones
Dduración: 34 s
Frecuencia dominante: 2.7 Hz.
Amplitud: 66 cuentas pp
h = 0.00277
Q = 180.71

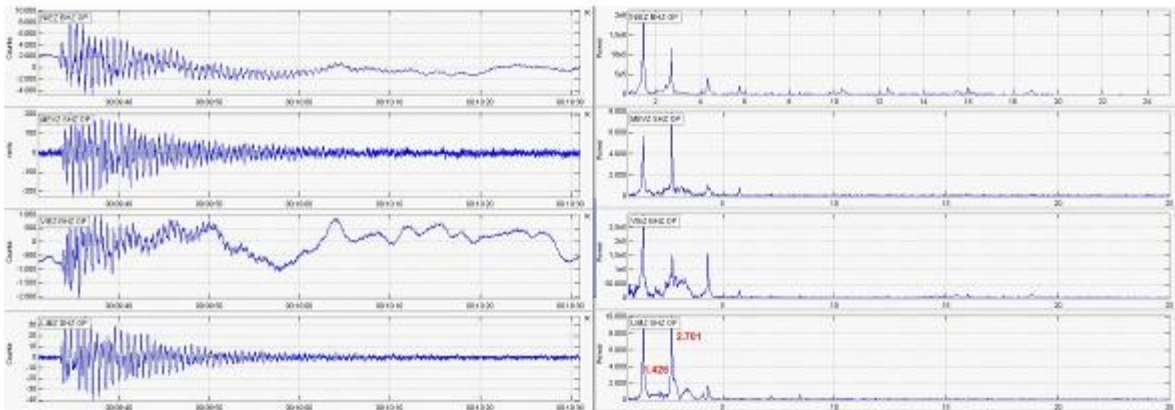


Figura 44. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 15 de diciembre de 2015 a las 7:09 p.m., registrando 34 segundos de duración.

Diciembre 31/2015 9:34 p.m.
estación base: La Mesa
Amplitud: 128 cuentas pp
Duración: 66 s
Frecuencia dominante: 1.58 Hz.
h = 0.00570
Q = 87.7967

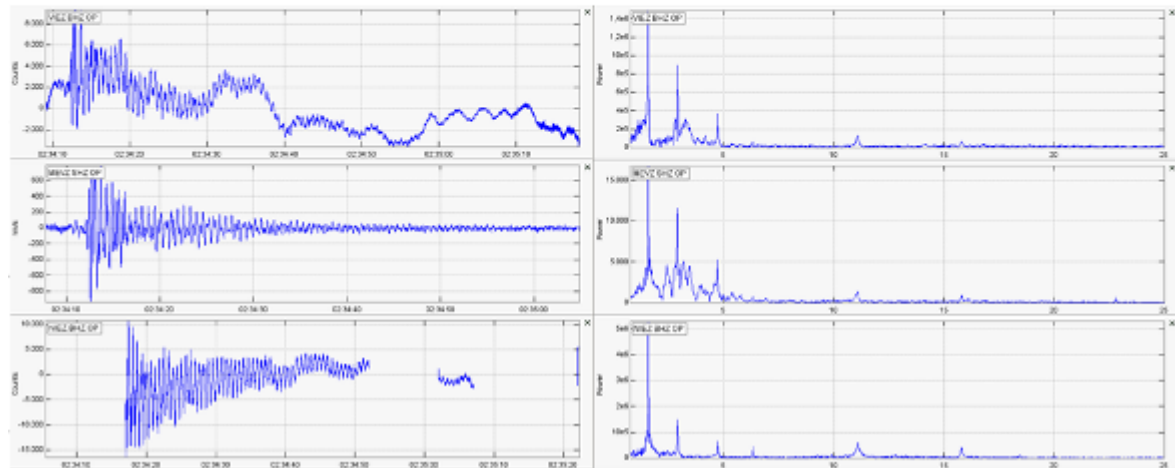


Figura 45. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 31 de diciembre de 2015 a las 9:34 p.m., registrando 66 segundos de duración.

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 46). 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 47).



Figura 46. 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 diciembre de 2015.

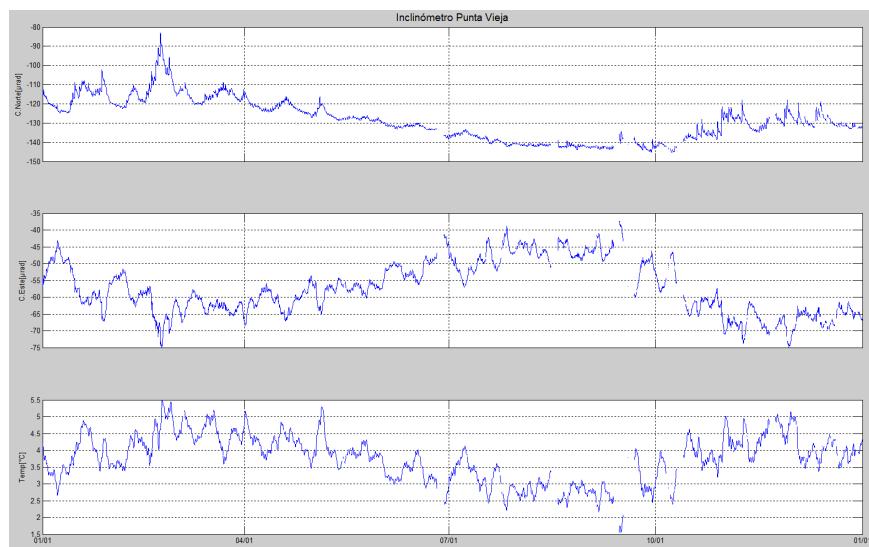


Figura 47. Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Debido a problemas técnicos en la cámara ubicada en el Municipio de Cumbal, presentados desde el pasado 5 de diciembre solo fue posible evidenciar emisión de gases en la zona del Complejo Volcánico de Cumbal para los días 2 y 3 de diciembre, 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 48 y 49 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Cumbal.



Figura 48. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 2 de diciembre de 2015, a las 5:02 p.m.



Figura 49. Imagen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal, el 3 de diciembre de 2015, a las 7:37 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 diciembre 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 DICIEMBRE 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 50). Chiles tiene una altura de 4748 msnm y Cerro Negro, de 4470 msnm.

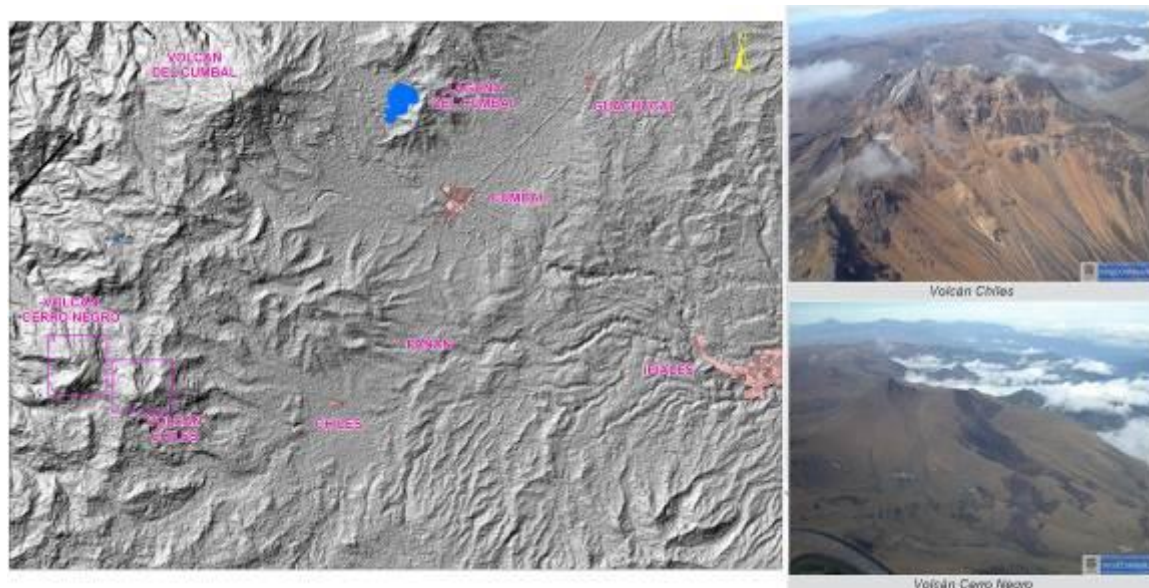


Figura 50. Localización geográfica de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

3.2. RED DE VIGILANCIA

Actualmente la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha y dos inclinómetros electrónicos, una de las estaciones ubicada en la cima volcánica en el costado occidental de Chiles (sismómetro e inclinómetro), otra denominada Termales (sismómetro) ubicada muy próxima a la estación térmica, en el sector de Baño Grande, otra en el sector denominado Canguil (sismómetro y sensor de presión acústica) al nor-noroccidente del volcán Chiles, otra se encuentra en cercanías del volcán Cerro Negro y está conformada por una estación sísmica de banda ancha y un inclinómetro electrónico, ubicada al noroccidente de la parte alta del volcán, la estación Panán, a 7.4 km al nororiente del volcán Chiles, la estación Laguna ubicada al nor-nororiente del volcán Chiles y la estación Termales (Sismómetro), ubicada en el sector de Baño Grande (Figura 51, Tabla 15). 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 51) y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 51, Tabla 16).

De igual forma se cuenta con una cámara Web instalada en la población de Nazate (Figura 51).

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 90% (Figura 52).

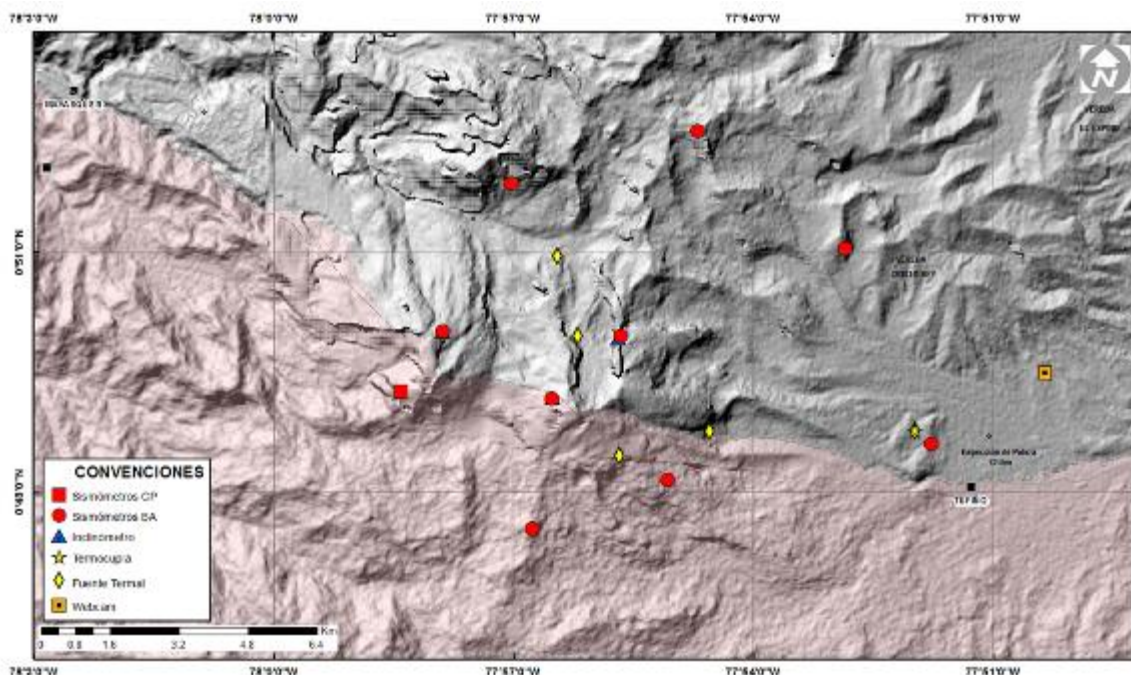










Figura 51. Estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de diciembre de 2015.

Tabla 15. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre 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
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750
Termales	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329

Tabla 16. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia 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

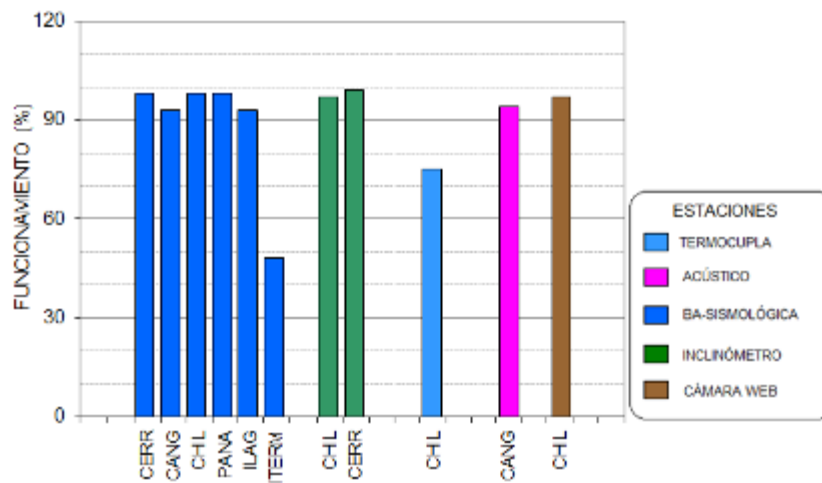


Figura 52. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre de 2015.

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 diciembre de 2015, se han registrado en total 544.550 sismos, la gran mayoría presentados en el periodo que va desde septiembre 29 de 2014 hasta abril 30 de 2015 con 427.261 sismos, en los últimos meses se nota la clara tendencia descendente con algunas fluctuaciones en la ocurrencia sísmica diaria (Figura 53).

La ocurrencia sísmica en el mes de diciembre de 2015 mostro un importante descenso, cercano al 60% del número registrado en noviembre, pasando de 2210 a 900 sismos, en su mayoría asociados

con fractura de roca (VT) (Tabla 17, Figura 54). El día 15 de diciembre se registró la tasa más elevada de ocurrencia diaria contabilizando 82 eventos.

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

Tabla 17. Número de eventos sísmicos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro registrados entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	vt	lps	tre	hyb	TOTAL
01-sep-15 a 30-sep-15	1001	56	5	3	1065
01-oct-15 a 31-oct-15	1169	42	0	18	1229
01-nov-15 a 30-nov-15	2157	33	0	20	2210
01-dic-15 a 31-dic-15	857	29	0	14	900

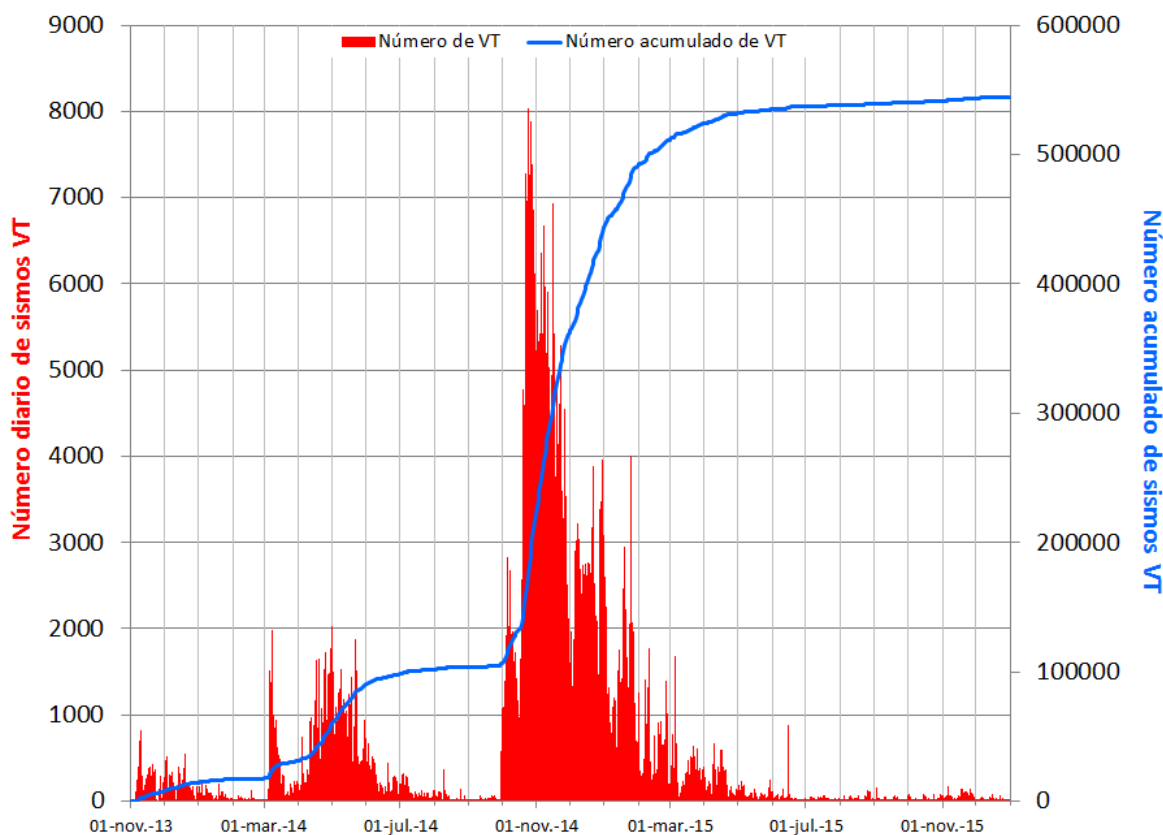


Figura 53. Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y diciembre 31 de 2015.

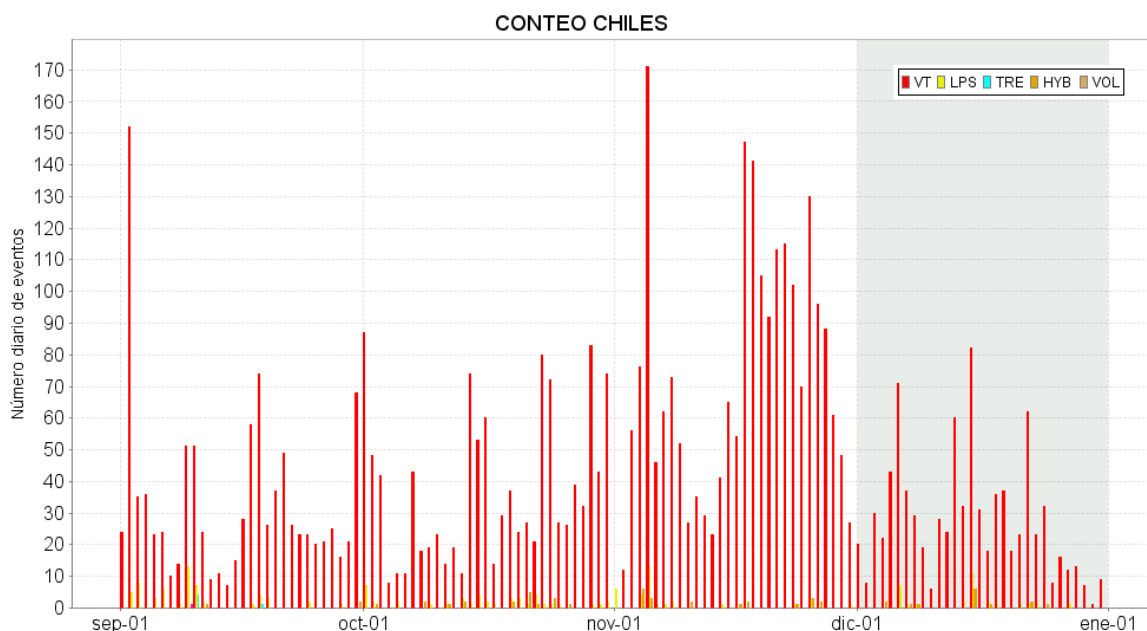


Figura 54. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de septiembre y diciembre de 2015.

En el mes de diciembre fue posible obtener una solución de localización para 190 sismos VT (Figura 55), 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 7.5 km de la cima, con profundidades entre 0.9 y 13.8 km, con una mayor concentración entre 2 y 7 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 2.1 en la escala de Richter, el 92% de la sismicidad localizada presentó magnitud menor a 1, el 7% entre 1 y 2, y el 1% magnitud local mayor a 2 en la escala de Richter. Ningún evento reportado como sentido.

La energía sísmica liberada fue estimada con base en la magnitud de los sismos, con respecto al mes anterior se observa un descenso cercano al 31% (Tabla 18, Figura 56).

Tabla 18. Energía sísmica liberada por los eventos tipo VT localizados para los meses entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

Periodo Evaluado	vt	TOTAL
02-sep-15 a 30-sep-15	6.26E+07	6.26E+07
01-oct-15 a 31-oct-15	3.36E+08	3.36E+08
01-nov-15 a 30-nov-15	7.26E+07	7.26E+07
01-dic-15 a 31-dic-15	5.01E+07	5.01E+07

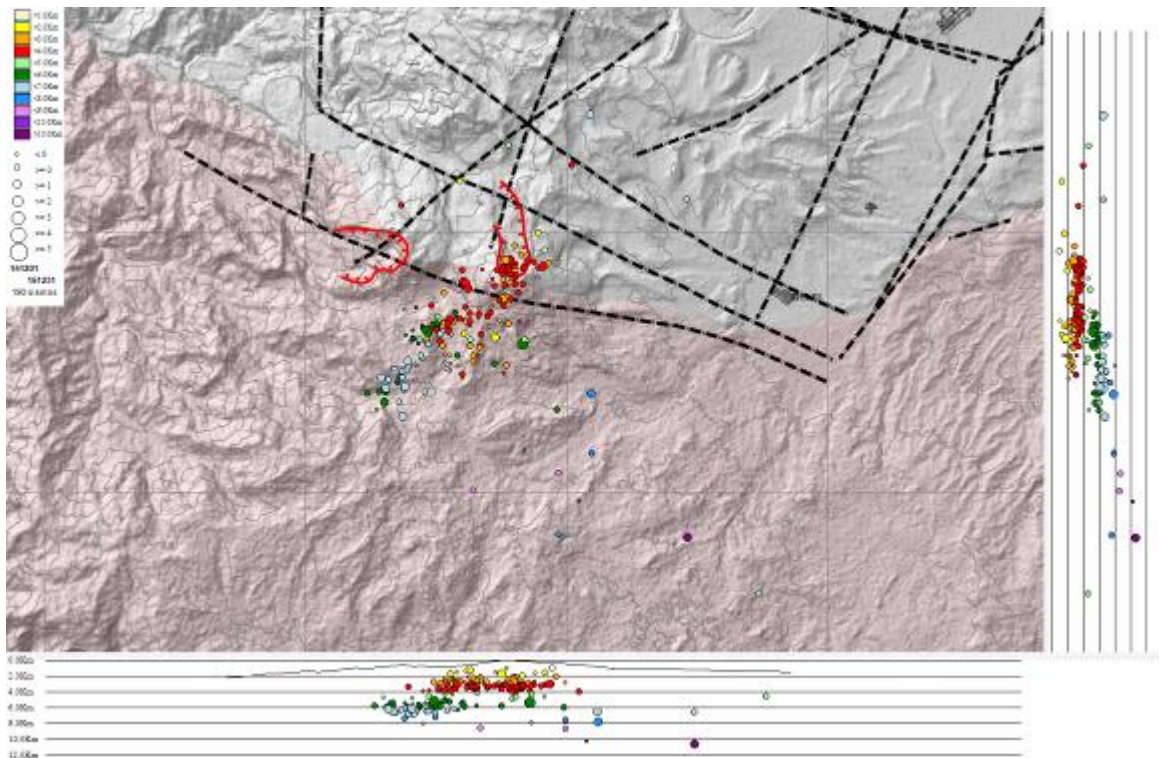


Figura 55. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en diciembre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.

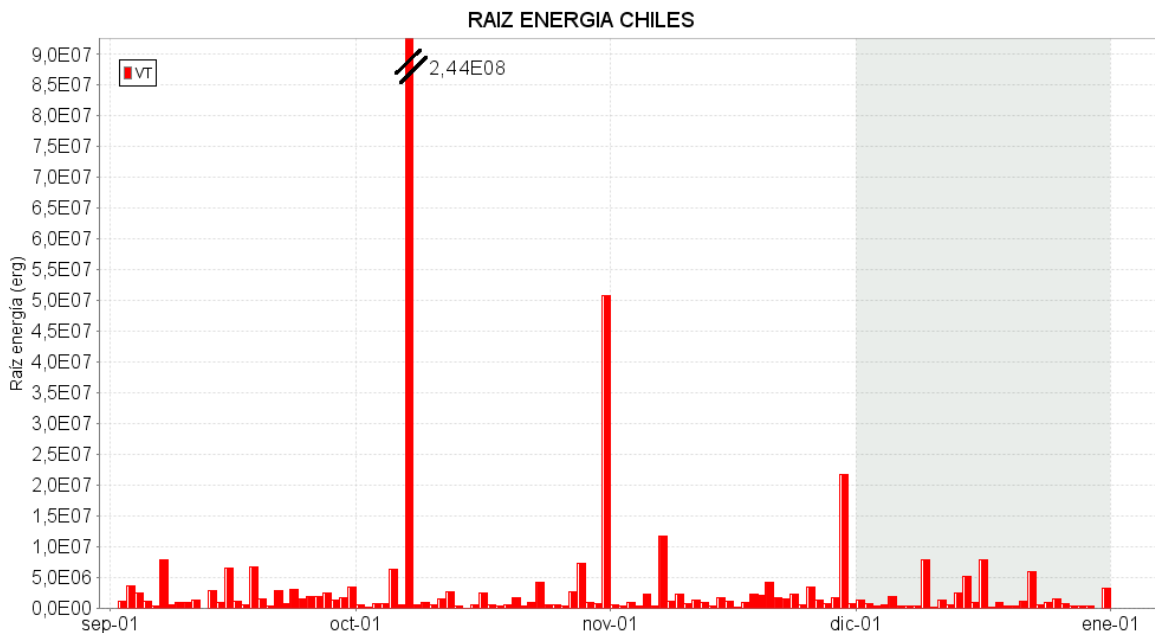


Figura 56. Energía diaria calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2015. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada.

3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Continúa el comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte del sensor Chiles, tendencia presentada desde el mes de noviembre de 2014, mientras que la componente Este presentó el comportamiento descendente hasta el 13 de diciembre de 2015, tendencia mostrada desde el mes de septiembre de 2015 (Figura 57). 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 un ascenso en la Este, la cual alcanza hasta el 31 de diciembre cerca de 150 μrad y la Norte descenso desde el 7 de octubre, de 50 μrad (Figura 58).

El inclinómetro Cneg2 paralelo al inclinómetro Cerro Negro (sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro), siguió mostrando el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Este, comportamiento que se viene registrando desde el mes de agosto de 2014, cuya variación es de 700 μrad hasta diciembre de 2015; por su parte la componente Norte muestra una tendencia descendente en su registro hasta el 23 de noviembre de 2015, alcanzando desde el mes de enero de 2015 cerca de 97 μrad (Figura 59).



Figura 57. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

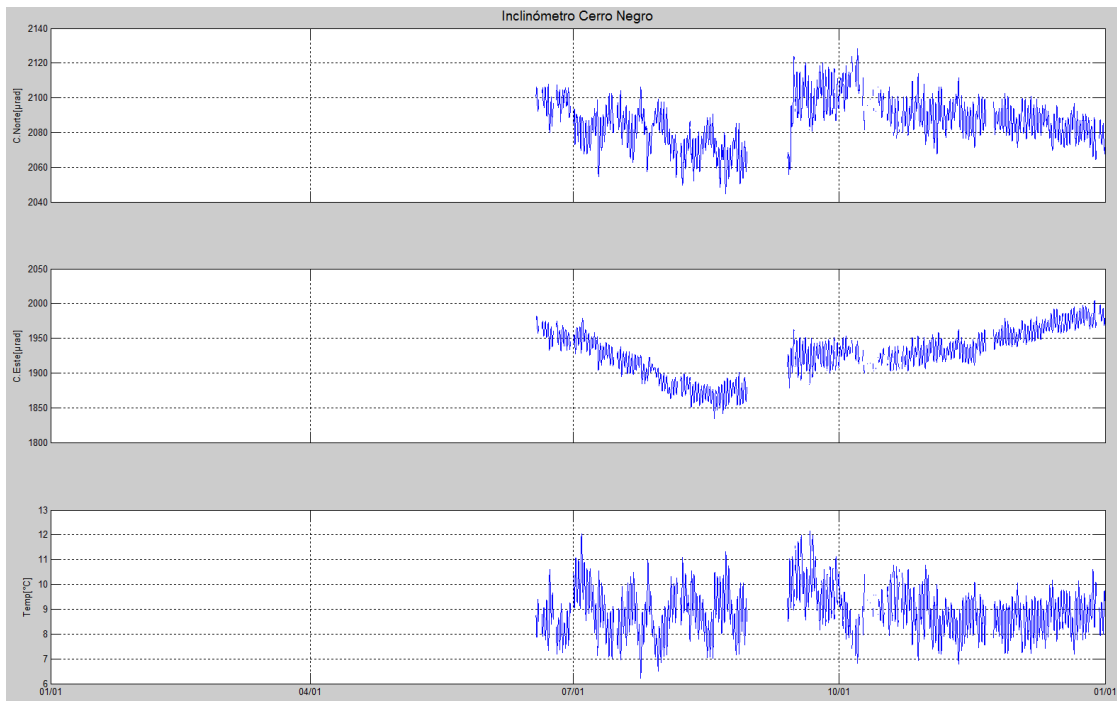


Figura 58. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

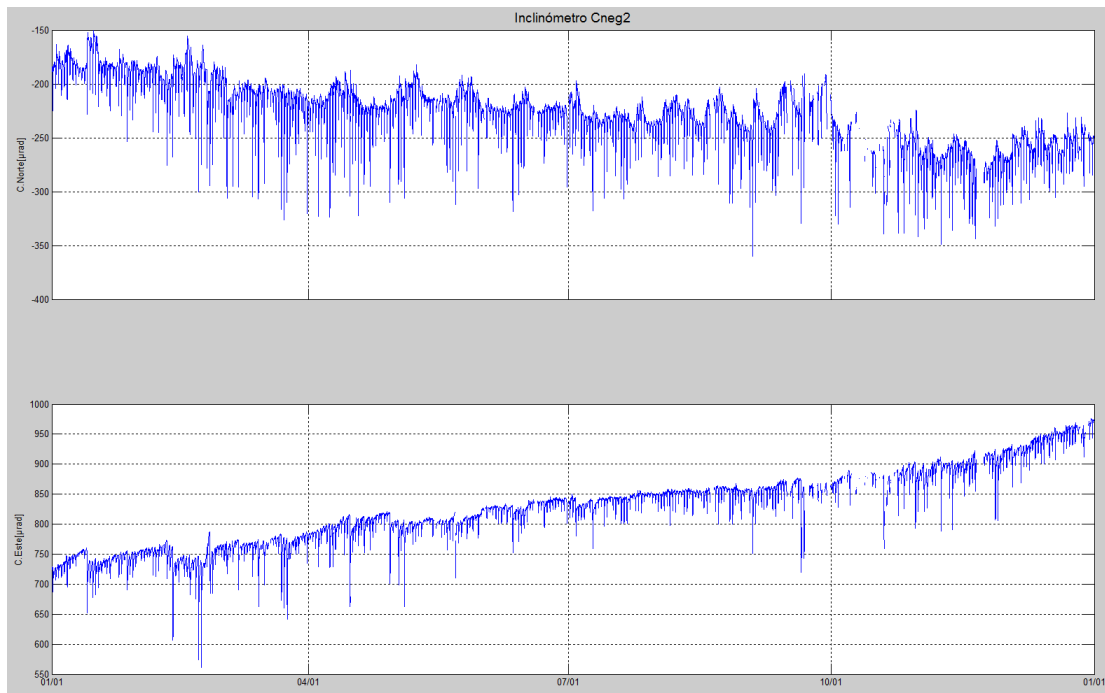


Figura 59. Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 Cneg2, paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

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 60 se registran las variaciones que corresponden a valores medidos en el transcurso del día (desde las 9:30 a.m. a las 5:30 p.m. aproximadamente), con un promedio de 42.6°C (Tabla 19). Durante el mes de diciembre se registra un valor mínimo de 41.9°C, no se registran variaciones significativas. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continúa con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.

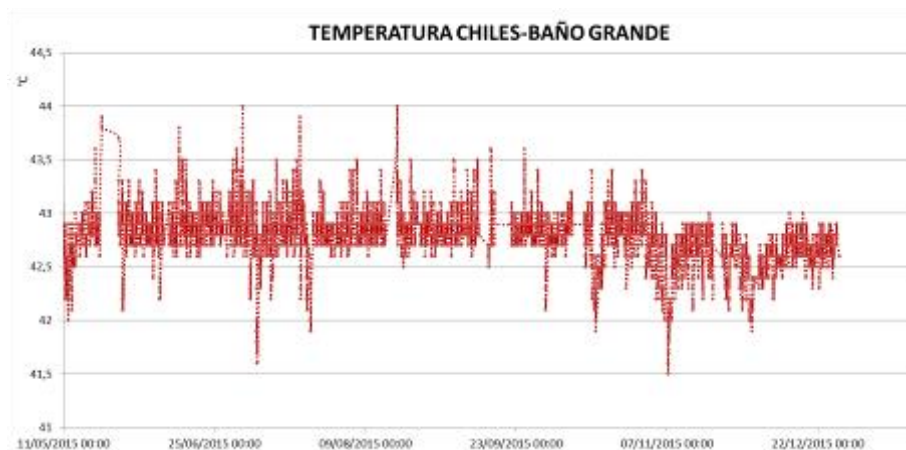


Figura 60. Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – diciembre 2015.

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

VALOR	Temp. (°C)
Mínimo	41.9
Máximo	43.0
Promedio	42.6

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de diciembre 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 diciembre 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 – DICIEMBRE 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 61), 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.

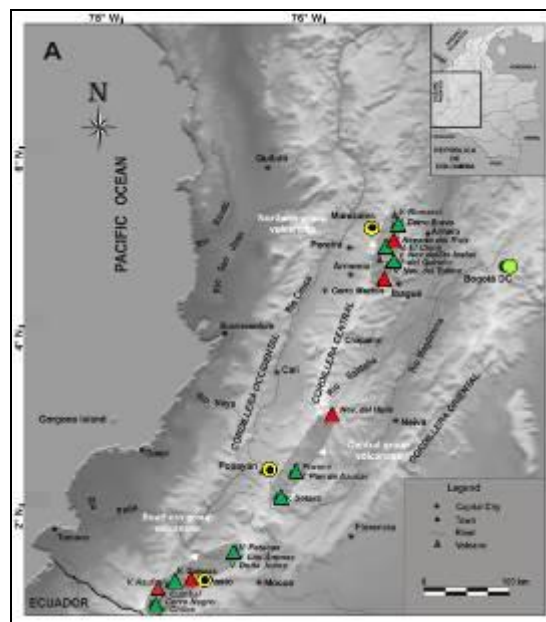


Figura 61. Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.

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 62).

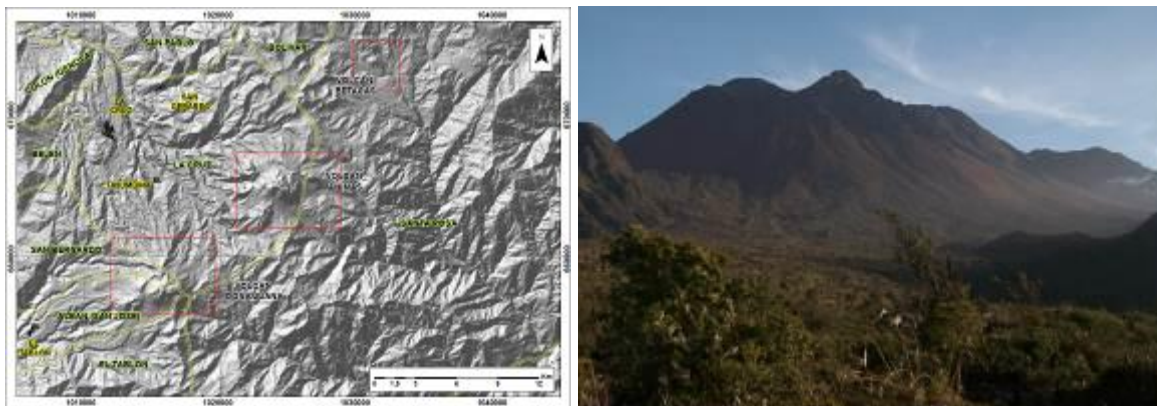


Figura 62. Localización geográfica del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

4.1.2. Red de vigilancia

Actualmente la red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas localizadas en los puntos Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental y dos inclinómetros electrónicos, y desde finales del mes de noviembre, se cuenta con una estación GNSS permanente encargada de detectar los cambios sobre la superficie volcánica (Tabla 20, Figura 63). Es de resaltar que la estación Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre 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

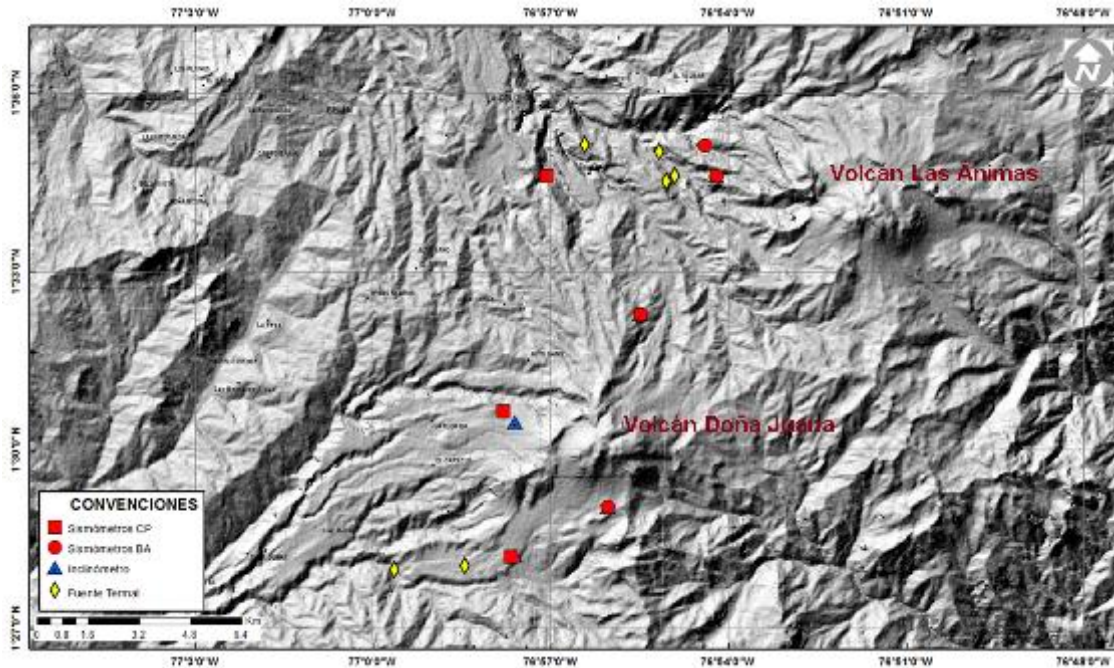


Figura 63. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2015.

En el periodo evaluado, la red de estaciones instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento promedio del 97% (Figura 64).

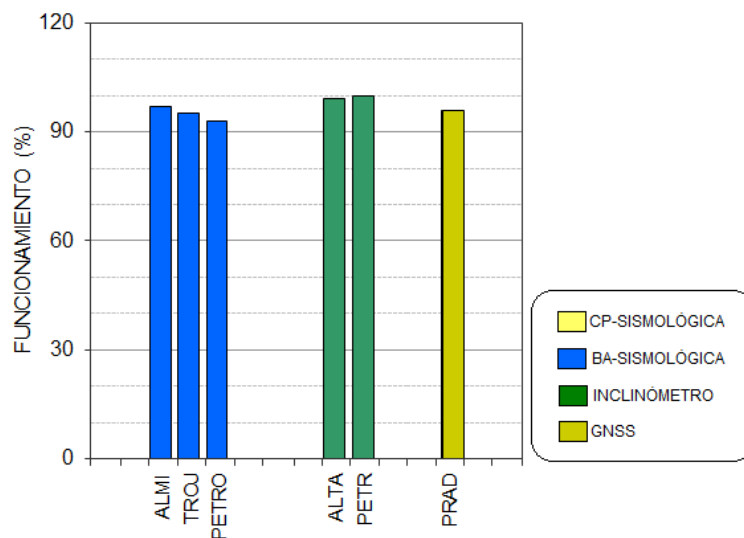


Figura 64. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante diciembre de 2015.

4.1.3. Sismología

La sismicidad en la zona de influencia del volcán Las Ánimas permaneció en niveles bajos, en diciembre se registraron 7 sismos asociados con fractura de roca VT (Tabla 21). De esta sismicidad de fractura fue posible localizar dos, los cuales se ubicaron hacia el costado suroccidental del volcán (Figura 65), en distancias entre 2.2 y 3.7 km, con profundidades entre 3.7 y 4.3 km y con magnitud local entre 0.3 y 0.9 en la escala de Richter. La energía liberada de los sismos localizados fue de 4.2×10^{11} ergios.

Tabla 21. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas registrados entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-sep-15 a 30-sep-15	1	1
01-oct-15 a 31-oct-15	13	13
01-nov-15 a 30-nov-15	2	2
01-dic-15 a 31-dic-15	7	7

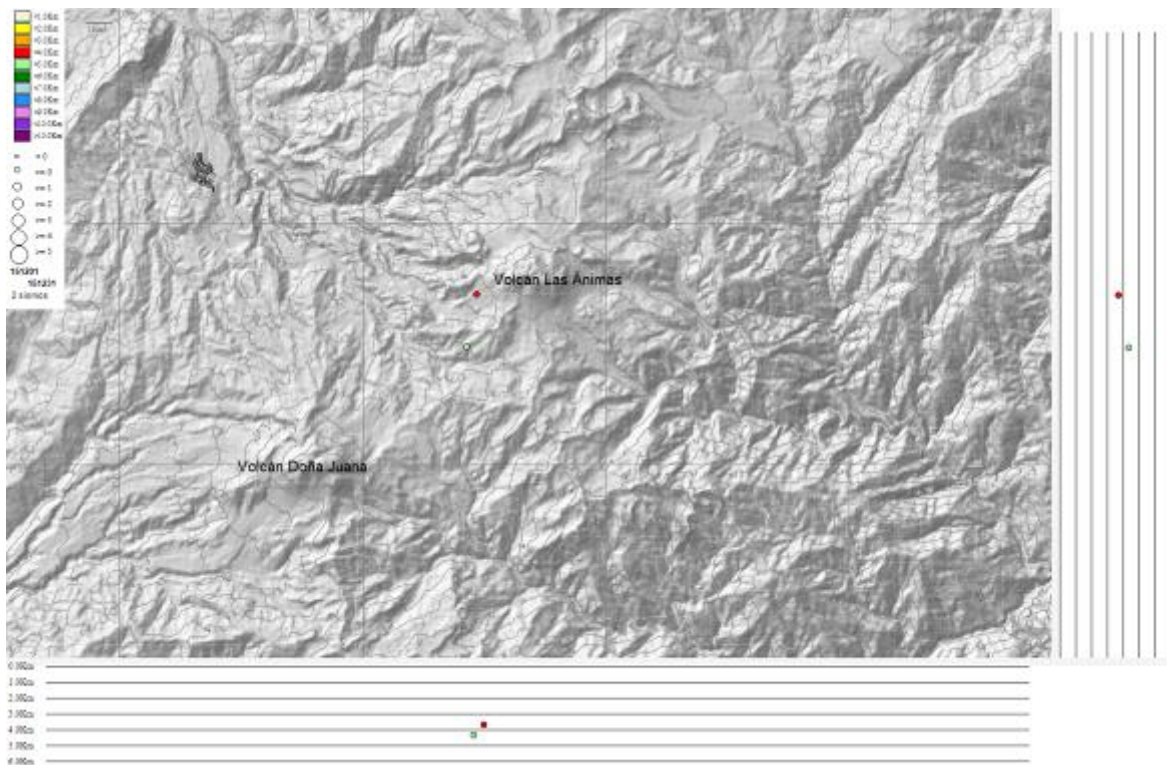


Figura 65. Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Las Ánimas, en el mes de diciembre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 1 km de profundidad.

4.1.4. Deformación Volcánica

Respecto a los cambios registrados por las estaciones de Inclinometría, continúan las tendencias ascendentes en las componentes de inclinación de Altamira, tendencias desde el pasado 27 de septiembre de 2015, alcanzando 70 μrad la componente Norte y 38 μrad la Este (Figura 66). Para el inclinómetro Petroglifo se observa estabilidad en sus registros (Figura 67). 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.

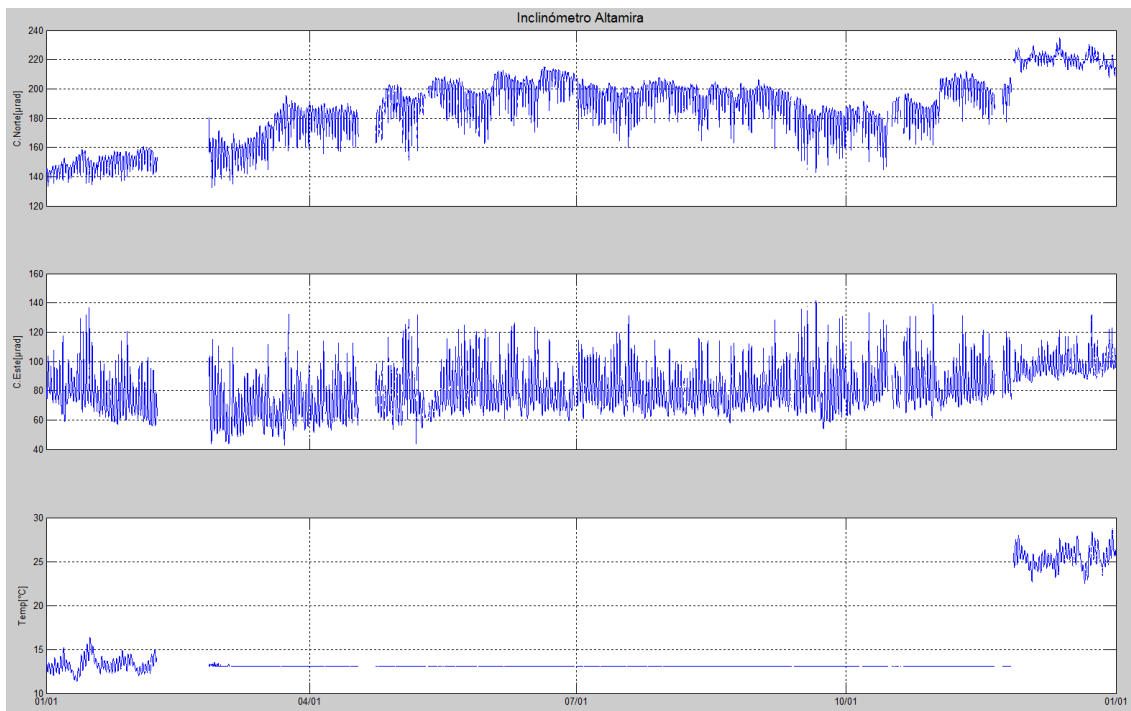


Figura 66. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

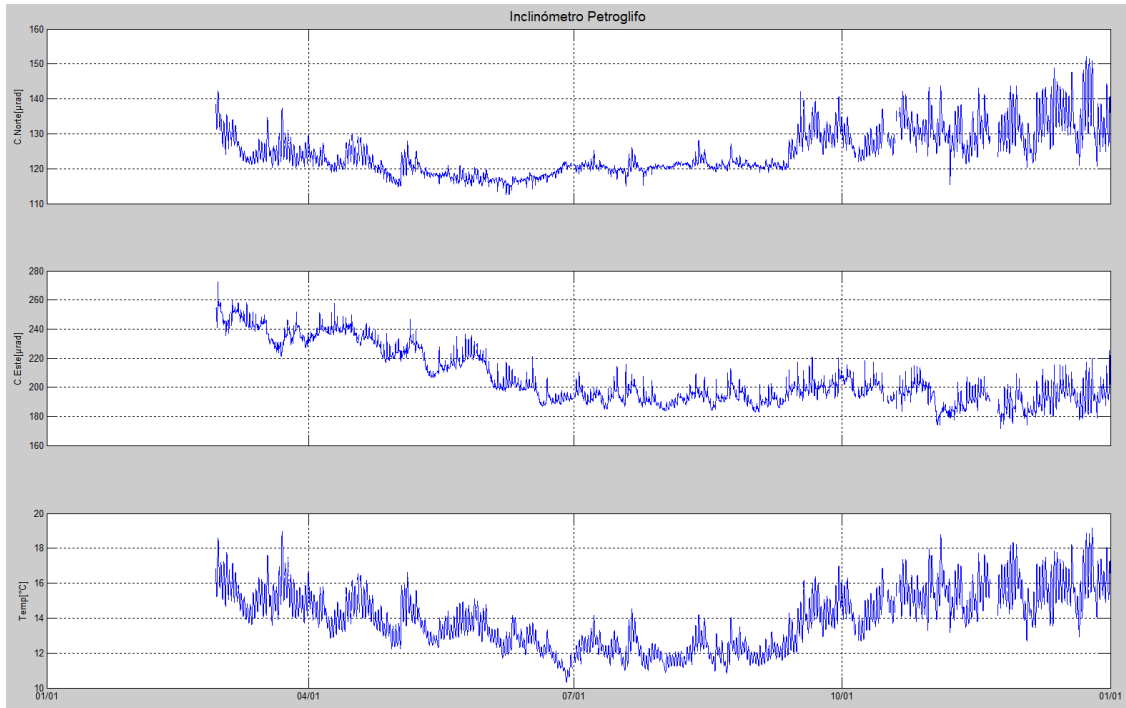


Figura 67. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de diciembre 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 diciembre 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 68, Tabla 22). Para el mes de diciembre de 2015 las estaciones presentaron un funcionamiento del 57% (Figura 69). La estación Lavas se encuentra fuera de funcionamiento por problemas de radio enlace.

Tabla 22. 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	Análogica	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4,1	SW	3145
I. Lavas	Análogica	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4,1	SW	3145
La Cruz	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Uniaxial	7,5	NNW	2761

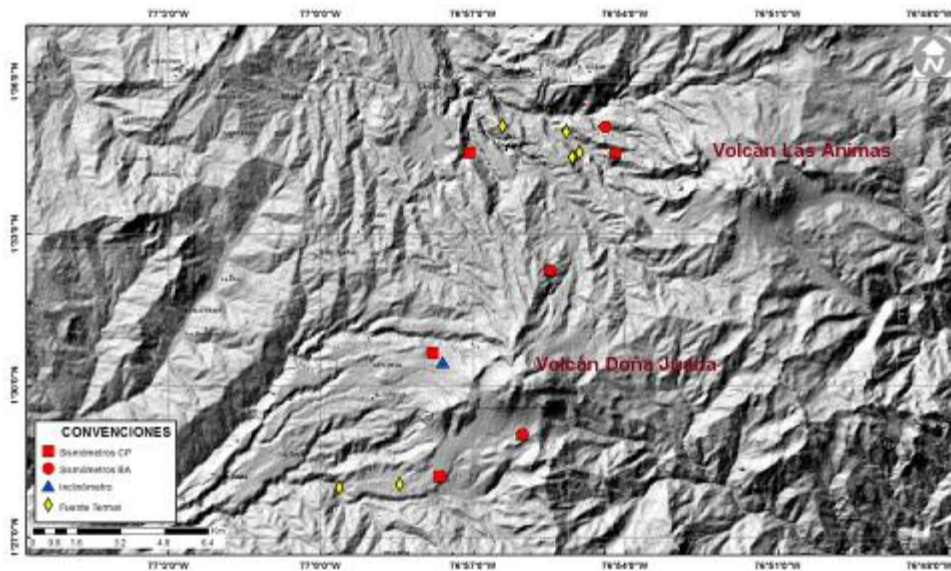


Figura 68. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

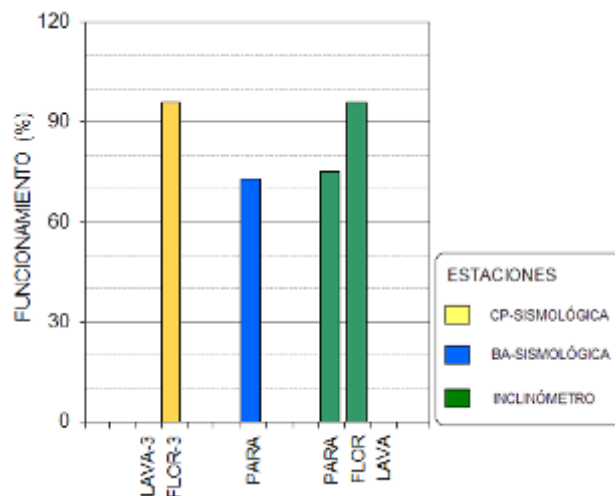


Figura 69. Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en diciembre de 2015.

4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado se tiene registro de un evento asociado con fractura (Figura 70), localizado hacia el sector sur a 12 km del edificio volcánico, con una profundidad de 15 km y una magnitud local de 1.2 en la escala de Richter (Figura 71). La energía liberada por el sismo localizado fue de 1.4×10^{12} ergios.

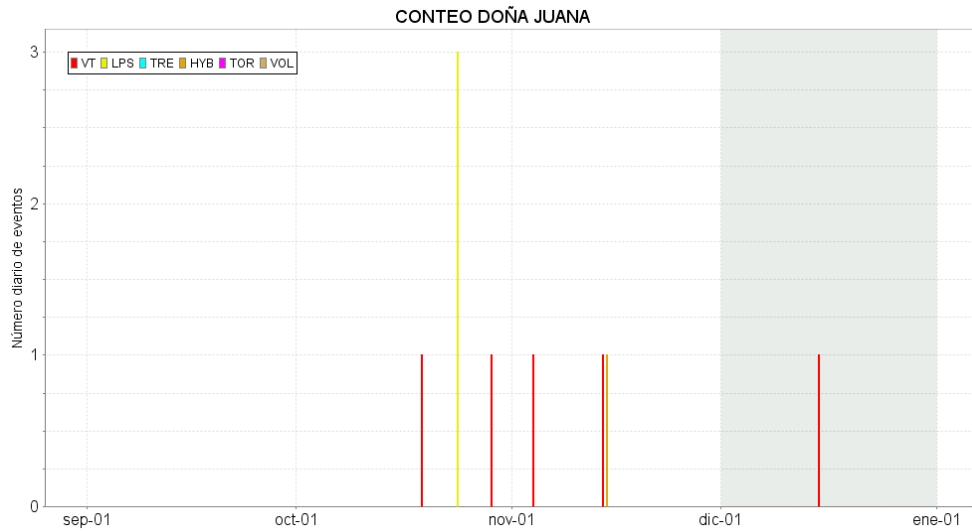


Figura 70. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, eventos ocurridos en la zona de influencia del volcán Doña Juana entre los meses de septiembre y diciembre de 2015.

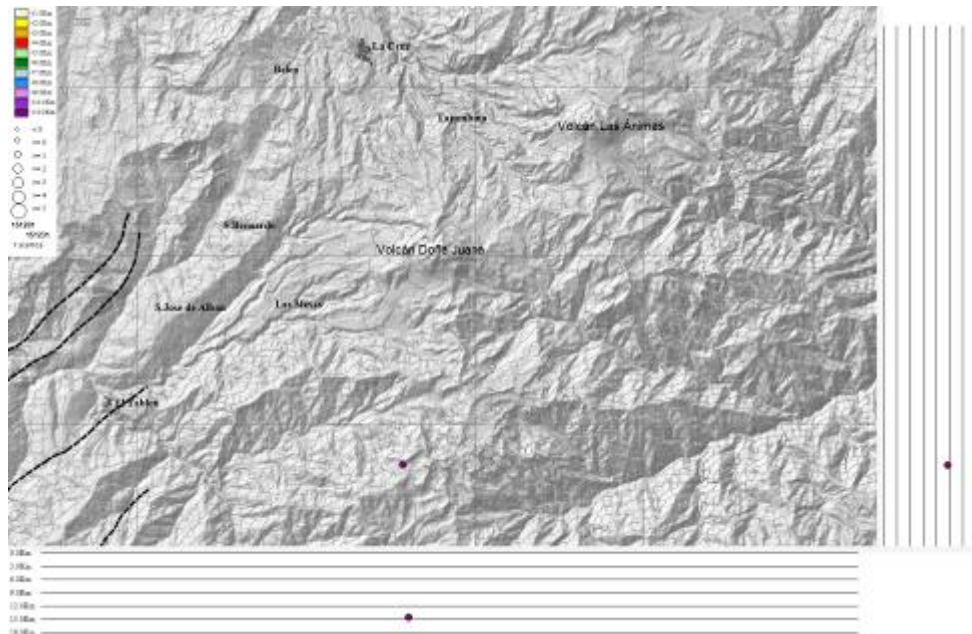


Figura 71. Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en el volcán Doña Juana, en el mes de diciembre de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.

4.2.3. Deformación Volcánica

Desde el pasado 22 de noviembre se observa una tendencia ascendente en la componente de inclinación Norte registrando cerca de 20 μrad hasta el 31 de diciembre de 2015; de igual forma es notoria la tendencia descendente en la componente Este, la cual alcanza alrededor de 70 μrad (Figura 84).

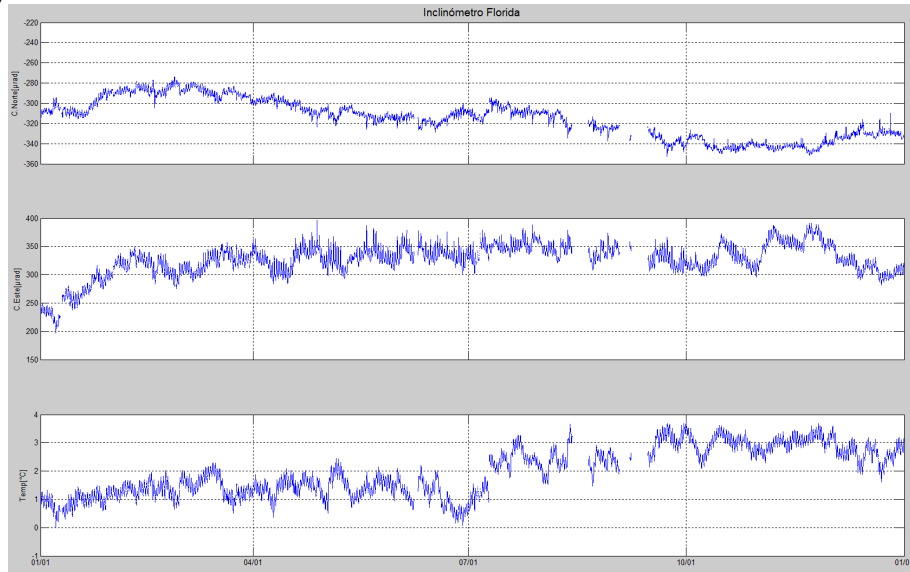


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

Desde el pasado mes de junio, se observa estabilidad en los registros de las componentes del inclinómetro electrónico Páramo (Figura 73).

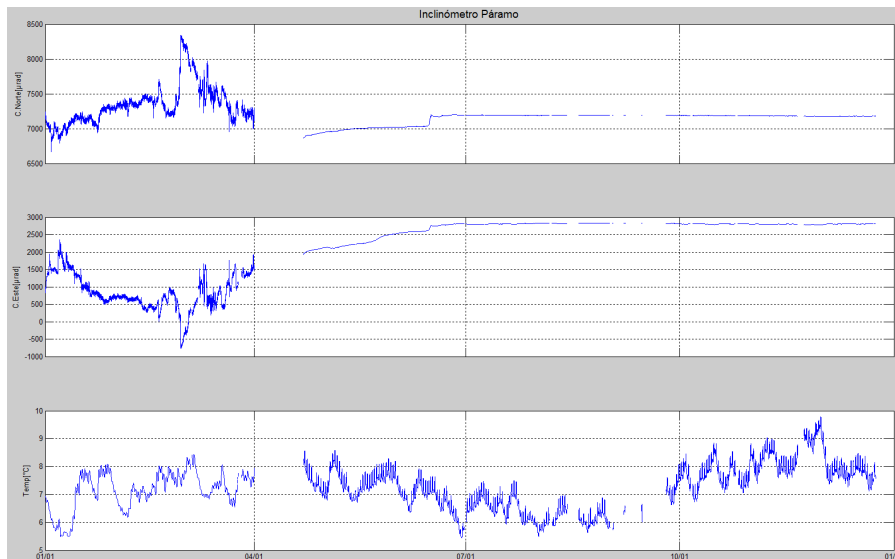


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de diciembre de 2015.

4.2.4. Actividad Superficial

Durante el mes de diciembre 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 diciembre 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 74 y 75, Tabla 23). 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 y desde el pasado mes de marzo se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparamétrica La Roca (Figura 75).

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 75).

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 88% para este mes (Figura 76).

Tabla 23. 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

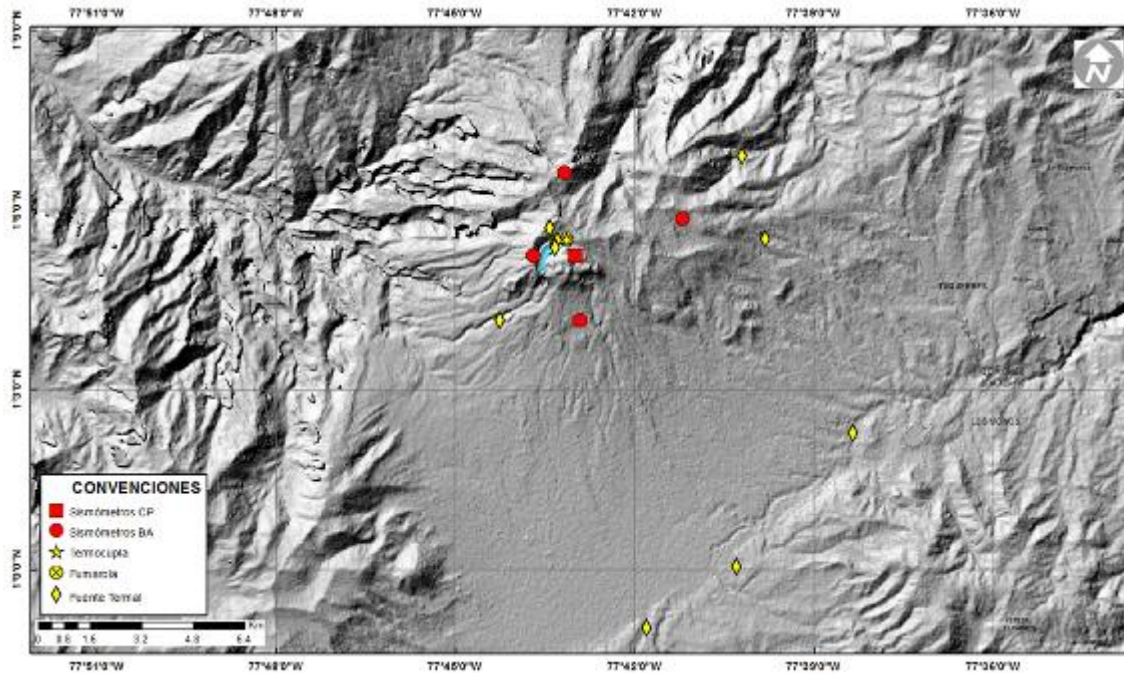


Figura 74. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2015.

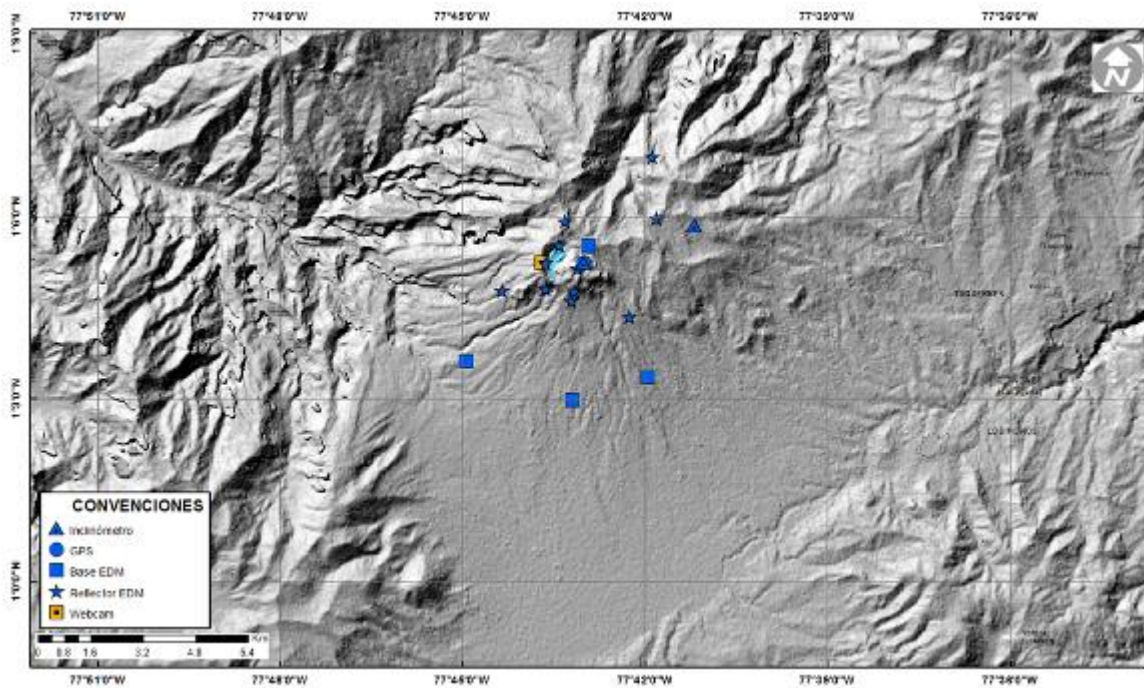


Figura 75. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2015.

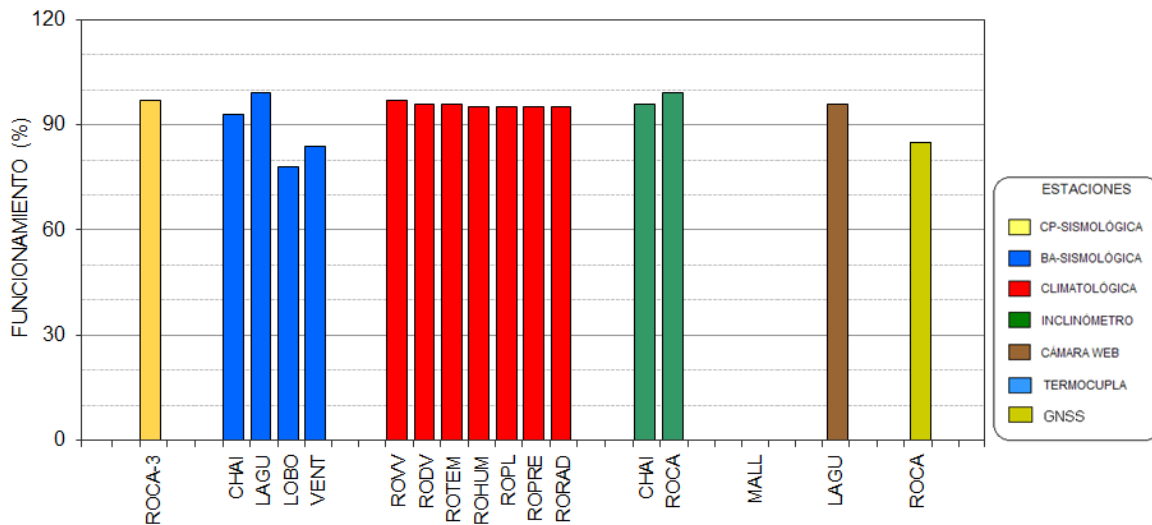


Figura 76. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2015.

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 descenso del 50% pasando de 12 a 6 sismos (Tabla 24, Figura 77), de los cuales fue posible localizar cuatro que se ubicaron dispersos en la zona de influencia de Azufral, en distancias entre 1.4 y 5 km, con profundidades entre 3.6 y 5 km y magnitud local entre 0.3 y 0.7 en la escala de Richter (Figura 78). La energía de los sismos localizados fue de 3.5×10^{11} ergios.

Tabla 24. Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre septiembre y diciembre de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo		
	vt	hyb	TOTAL
01-sep-15 a 30-sep-15	9	0	9
01-oct-15 a 31-oct-15	12	2	14
01-nov-15 a 30-nov-15	12	0	12
01-dic-15 a 31-dic-15	6	0	6

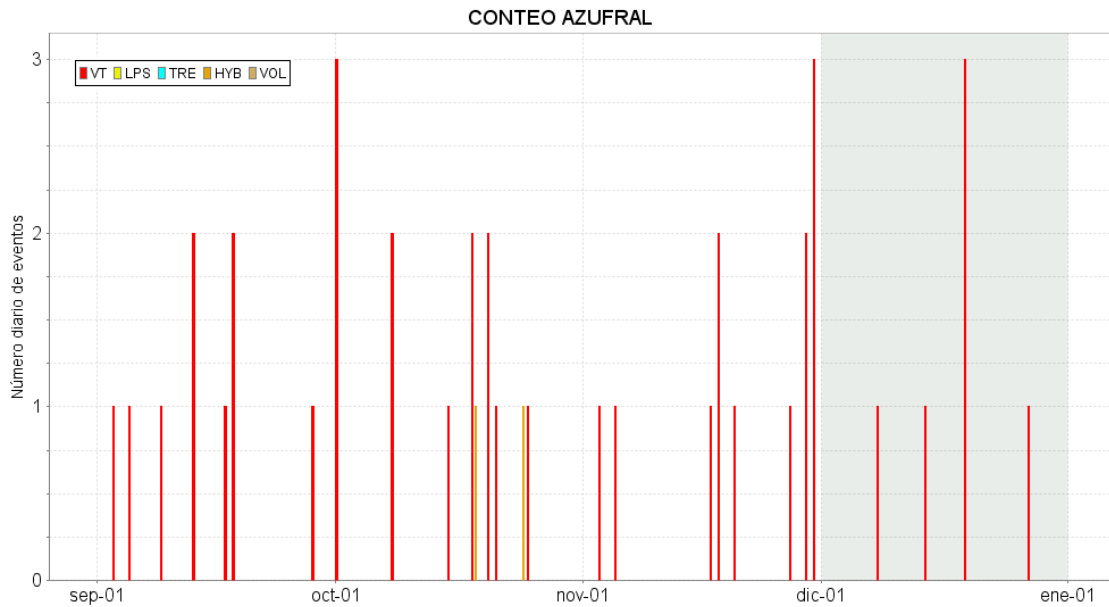


Figura 77. Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre septiembre y diciembre de 2015.

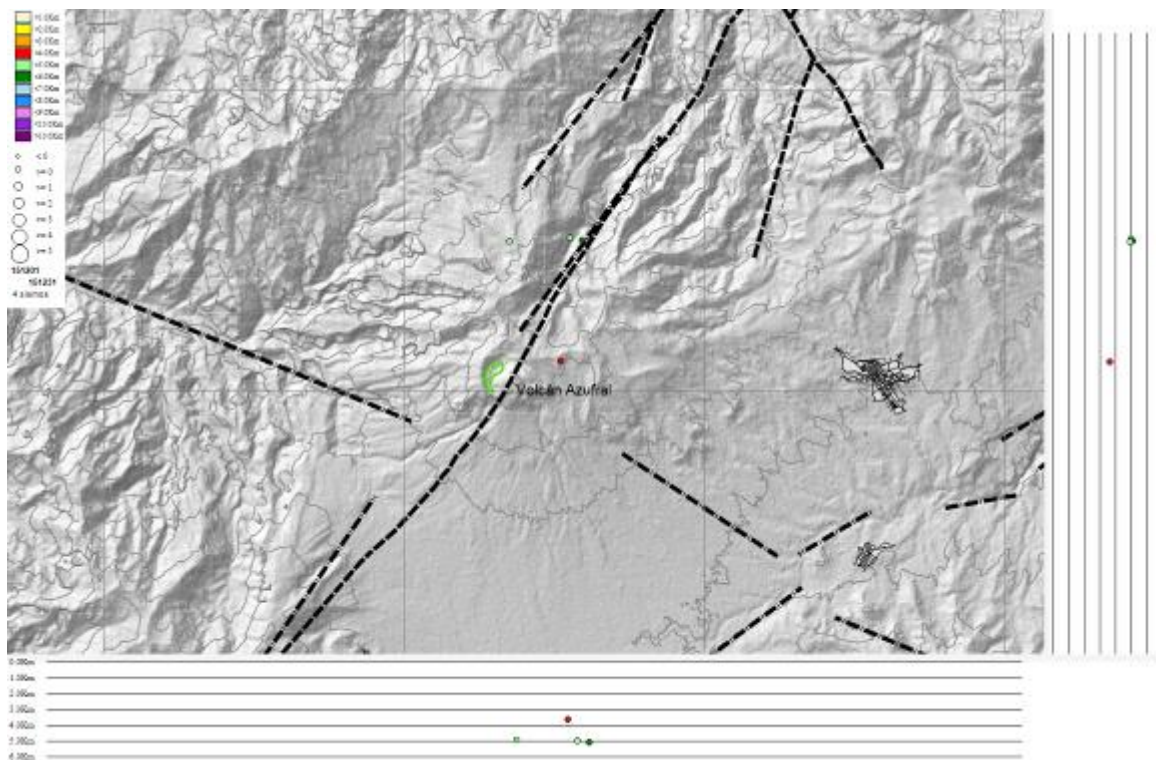


Figura 78. Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en diciembre de 2015. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 1 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.

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 79 y 80).

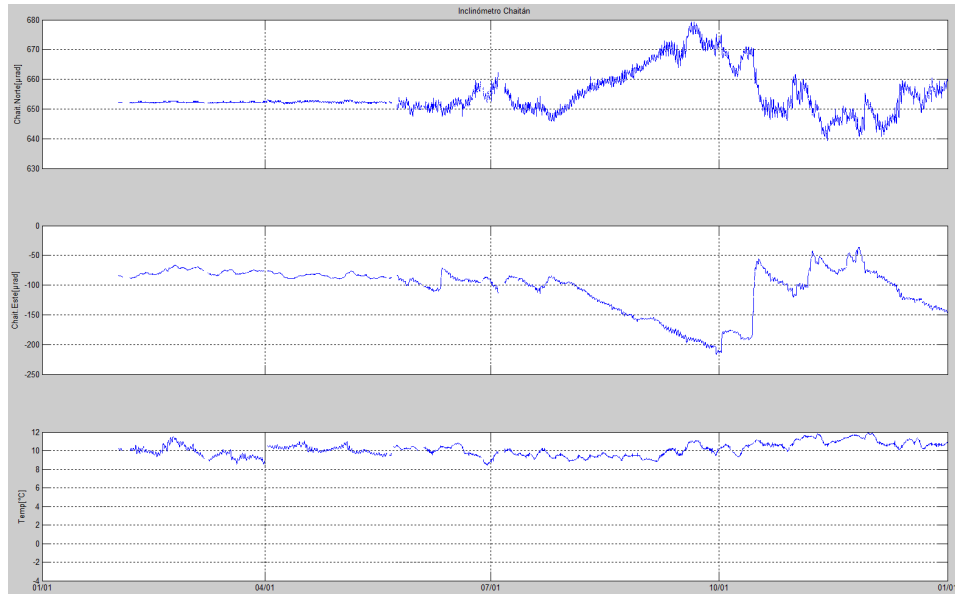


Figura 79. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2015.

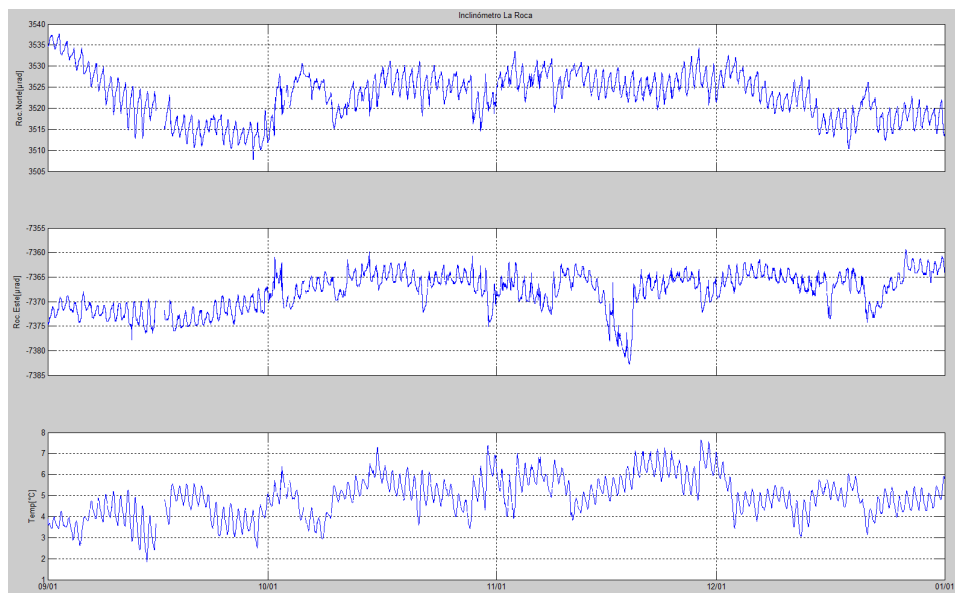


Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2015.

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

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

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 81).

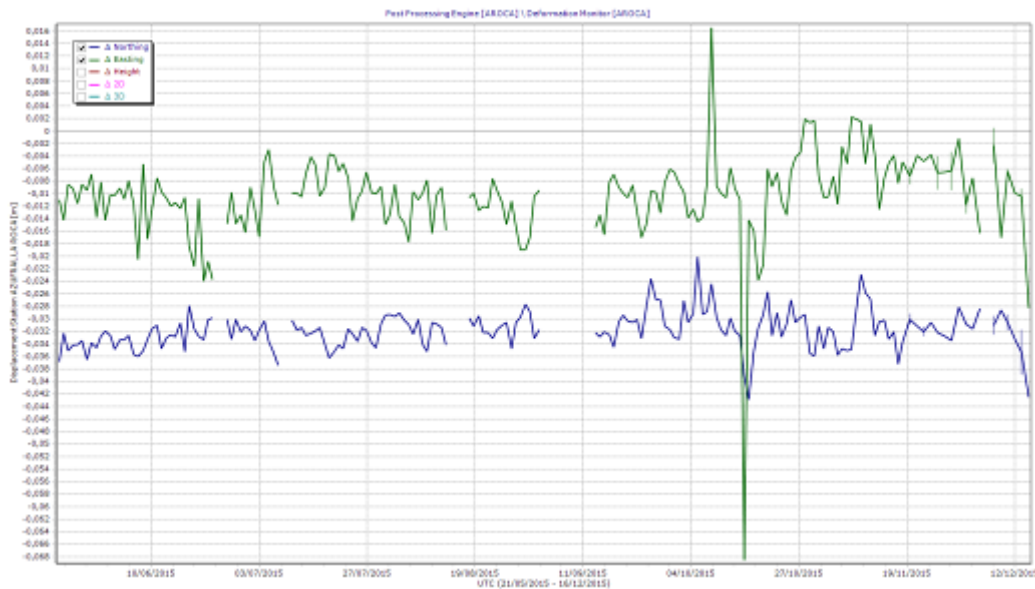


Figura 81. Variaciones en las direcciones Norte y Este de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 21 de mayo de 2015 y el 16 de diciembre de 2015.

4.3.4. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables durante los días 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 18, 24 y 30 de diciembre 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 82 a 85 se presentan algunas imágenes con procesos de emisión de gases en Azufral.



Figura 82. Emisión de gases del domo Mallama, 3 de diciembre de 2015 a las 10:11 a.m.



Figura 83. Emisión de gases del domo Mallama, 18 de diciembre de 2015 a las 5:06 p.m.



Figura 84. Emisión de gases del domo Mallama, 24 de diciembre de 2015 a las 10:06 a.m.



Figura 85. Emisión de gases del domo Mallama, 30 de diciembre de 2015 a las 10:51 a.m.

4.3.5. Conclusiones

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