

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/2015
Título		INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL, LAS ÁNIMAS, CHILES Y CERRO NEGRO. DICIEMBRE DE 2014.
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	Diciembre de 2014.

	información contenida en el conjunto de datos.	
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		
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptor primarios: -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, cono 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\2014\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 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/2014.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 20 00 92
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 2014**

Edición:

GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO

San Juan de Pasto, enero de 2015

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – DICIEMBRE DE 2014	4
1.1. RED DE VIGILANCIA	4
1.2. SISMOLOGÍA	13
1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	21
1.3.1. Inclínometría Electrónica	21
1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes	26
1.4. GEOQUÍMICA	30
1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO ₂	30
1.4.2. Mediciones del gas Radón – Rn ₂₂₂	32
1.4.3. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Galeras	37
1.5. ELECTROMAGNETISMO	
1.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS	43
1.7. CONCLUSIONES	48
2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – DICIEMBRE DE 2014	49
2.1. RED DE VIGILANCIA	49
2.2. SISMOLOGÍA	50
2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	55
2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	58
2.5. CONCLUSIONES	61
3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – DICIEMBRE DE 2014	62
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	62
3.2. RED DE VIGILANCIA	62
3.3. SISMOLOGÍA	65
3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA	68
3.5. GEOQUÍMICA	71
3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Chiles	71
3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	72
3.7. CONCLUSIONES	73
4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – DICIEMBRE DE 2014	74
4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS	75
4.1.1. Ubicación Geográfica	75
4.1.2. Red de vigilancia	75
4.1.3. Sismología	77
4.1.4. Deformación Volcánica	78
4.1.5. Actividad Superficial	80
4.1.6. Conclusiones	80
4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA	80
4.2.1. Red de vigilancia	80
4.2.2. Sismología	82
4.2.3. Deformación Volcánica	82
4.2.4. Actividad Superficial	84

4.2.5.	Conclusiones	84
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL	84
4.3.1.	Red de vigilancia	84
4.3.2.	Sismología	87
4.3.3.	Deformación Volcánica	88
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	88
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias – E.D.M.	90
4.3.4.	Geoquímica	90
4.3.4.1.	Registro de temperatura del domo Mallama en el volcán Azufral	90
4.3.5.	Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos	92
4.3.6.	Conclusiones	94
	ANEXO 1	95

TABLAS

Pág.

Tabla 1.	Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de diciembre de 2014.	5
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de diciembre de 2014.	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 2014.	6
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras.	9
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	9
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).	10
Tabla 7.	Estaciones instaladas por el sector de Barranco (Línea Barranco) para el monitoreo de gas Radón en el volcán Galeras.	10
Tabla 8.	Ubicación geográfica de las fuentes termales en el Volcán Galeras.	11
Tabla 9.	Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Galeras, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, incluyendo el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.	13
Tabla 10.	Energía liberada de ondas de cuerpo por los diferentes tipos de eventos volcánicos, ocurridos en Galeras, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, tomando periodos mensuales, incluyendo el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.	15
Tabla 11.	Emisiones de SO ₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de diciembre de 2014, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	31
Tabla 12.	Flujo del gas Radón (Rn-222) en suelo (Línea Galeras) – diciembre de 2014.	34
Tabla 13.	Flujo del gas Radón (Rn-222) en suelo (Línea Barranco) – diciembre de 2014.	34
Tabla 14.	Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Lavas – diciembre de 2014.	37
Tabla 15.	Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – diciembre de 2014.	37
Tabla 16.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras -	38

	Diciembre 2014.	
Tabla 17.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	41
Tabla 18.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2014.	50
Tabla 19.	Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Cumbal, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, incluyendo los registros clasificados como volcánicos, se resalta en color azul el mes objeto de evaluación.	51
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre de 2014.	63
Tabla 21.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales del área de influencia del volcán Chiles.	64
Tabla 22.	Número de eventos volcánicos por tipo, para el volcán Chiles, ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.	66
Tabla 23.	Variación de temperatura, estación permanente FT Baño Grande del volcán Chiles – Diciembre 2014.	71
Tabla 24.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2014.	76
Tabla 25.	Número de eventos volcánicos por tipo, para el volcán Las Ánimas, ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.	77
Tabla 26.	Estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.	80
Tabla 27.	Estaciones instaladas en el volcán Azufral.	85
Tabla 28.	Número de eventos volcánicos por tipo, para el volcán Azufral, ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.	87
Tabla 29.	Variación de temperaturas en Domo Mallama del volcán Azufral. Diciembre de 2014.	92

FIGURAS

Pág.

Figura 1	Mapa de localización de las estaciones sísmicas y de sensores acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2014.	7
Figura 2	Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros y GNSS que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2014.	8
Figura 3	Mapa de localización y orientación de las componentes de las estaciones de inclinometría instaladas en Galeras.	8
Figura 4	Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, flujos de lodos, ScanDOAS, climatológica y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2014.	9
Figura 5	Mapa de localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.	10
Figura 6	Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Galeras. Los triángulos de color naranja indican la ubicación de las Bases de medición 1, 2, 3, 4 y 5, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.	11
Figura 7	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.	12

Figura 8	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de diciembre de 2014, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.	12
Figura 9	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Galeras, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	14
Figura 10	Relación porcentual para Galeras, que compara el número de eventos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2014, con respecto al mes de noviembre de 2014.	14
Figura 11	Relación porcentual para Galeras, que compara el número de eventos por tipo ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, tomando periodos mensuales.	15
Figura 12	Energía diaria liberada por los eventos volcánicos ocurridos en Galeras entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014. La ordenada se muestra en términos de la raíz cuadrada del valor de la energía en ergios.	16
Figura 13	Relación porcentual para Galeras, que compara la energía diaria liberada de eventos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2014, con respecto al mes de noviembre de 2014.	16
Figura 14	Relación porcentual de la energía sísmica liberada por los eventos de Galeras, registrados entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2014, tomando periodos mensuales.	17
Figura 15	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por la estación sísmica Anganoy, instalada en el volcán Galeras, entre el 29 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014.	17
Figura 16	Sismogramas, espectros y espectrogramas en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 12 de diciembre de 2014 a las 6:41 a.m., registrando 119 segundos de duración.	18
Figura 17	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 16 de diciembre de 2014 a las 2:02 a.m., registrando 101 segundos de duración.	18
Figura 18	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 19 de diciembre de 2014 a las 3:49 p.m., registrando 135 segundos de duración.	19
Figura 19	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de diciembre de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4200 msnm).	20
Figura 20	Relaciones porcentuales por rangos de magnitud local (izquierda) y por rangos de profundidad (derecha) para los sismos localizados durante el mes de diciembre de 2014.	20
Figura 21	Localización epicentral (figura cruz) del sismo registrado el 18 de diciembre de 2014, a las 10:41 a.m., reportado como sentido por algunos pobladores de la ciudad de Pasto.	21
Figura 22	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.	22
Figura 23	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.	22
Figura 24	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.	23
Figura 25	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.	23
Figura 26	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.	24

Figura 27	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.	24
Figura 28	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.	25
Figura 29	Orientación y magnitud del vector resultante, calculado por las variaciones mostradas por las componentes de inclinación de las estaciones de Inclinometría, principalmente Calabozo, Arles y Cóndor.	25
Figura 30	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	26
Figura 31	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.	27
Figura 32	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 28 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.	27
Figura 33	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de diciembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.	28
Figura 34	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 5 de diciembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.	28
Figura 35	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de mayo y el 31 de diciembre de 2014.	29
Figura 36	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de diciembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.	29
Figura 37	Flujo de emisión de SO_2 registrado desde el 1 de septiembre hasta el 31 de diciembre de 2014, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	30
Figura 38	Flujo de emisión de SO_2 , dirección y velocidad del viento para el mes de diciembre de 2014.	31
Figura 39	Velocidad y dirección del viento para el mes de diciembre de 2014.	32
Figura 40	Concentraciones de gas radón en las estaciones ubicadas en la línea Barranco del Volcán Galeras en el periodo septiembre – diciembre de 2014.	33
Figura 41	Concentraciones de gas radón en las estaciones ubicadas en la línea Galeras, del Volcán Galeras en el periodo septiembre – diciembre de 2014.	34
Figura 42	Flujo de radón periodo enero – diciembre de 2014.	35
Figura 43	Variación concentración de gas radón en suelo-estación LAVA 1.	36
Figura 44	Variación concentración de gas radón en suelo-estación Parques.	36
Figura 45	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras - Diciembre 2014.	38
Figura 46	Variación del pH de las FT de Volcán Galeras - Diciembre 2014.	39
Figura 47	Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras – Diciembre 2014.	40
Figura 48	Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - Diciembre 2014.	40
Figura 49	Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - Diciembre 2014.	41
Figura 50	Imagen térmica FT Rio Pasto - Volcán Galeras - Diciembre 2014.	42
Figura 51	Imagen térmica FT Aguas Agrias - Volcán Galeras - Diciembre 2014.	42
Figura 52	Imagen térmica FT Cehani - Volcán Galeras - Diciembre 2014.	43
Figura 53	Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 5 de diciembre de	44

	2014 desde la cámara de Barranco.	
Figura 54	Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 6 de diciembre de 2014 desde las cámaras de Barranco y Bruma.	44
Figura 55	Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 7 de diciembre de 2014 desde las cámaras de Bruma y Barranco.	44
Figura 56	Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 8 de diciembre de 2014 en horas de la mañana, desde las cámaras de Bruma y Barranco.	45
Figura 57	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 10 de diciembre de 2014, en horas de la mañana 7:43 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma.	45
Figura 58	Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 13 de diciembre de 2014, en horas de la mañana, desde la cámara de Bruma.	46
Figura 59	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 15 de diciembre de 2014, en horas de la mañana 7:47 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.	47
Figura 60	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 26 de diciembre de 2014, en horas de la tarde 3:53 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.	47
Figura 61	Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 31 de diciembre de 2014, en horas de la tarde 3:16 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.	48
Figura 62	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de diciembre de 2014.	49
Figura 63	Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2014.	50
Figura 64	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Cumbal, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	51
Figura 65	Relación porcentual para Cumbal, que compara el número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2014, con respecto al mes de noviembre de 2014.	52
Figura 66	Relación porcentual para Cumbal, que compara el número de eventos por tipo ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, tomando periodos mensuales.	52
Figura 67	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por la estación sísmica La Mesa, instalada en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2014, resaltando los eventos registrados en el mes de octubre de 2014 en el recuadro gris.	53
Figura 68	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 25 de diciembre de 2014 a las 2:24 a.m., registrando 80 segundos de duración.	54
Figura 69	Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 25 de diciembre de 2014 a las 9:13 a.m., registrando 105 segundos de duración.	54
Figura 70	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de diciembre de 2014 en el complejo volcánico de Cumbal. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).	55
Figura 71	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.	56
Figura 72	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 abril y el 31 de diciembre de 2014.	56
Figura 73	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de abril	57

	y el 31 de diciembre de 2014.	
Figura 74	Componentes de inclinación Norte, Este, temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.	57
Figura 75	Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 6 de diciembre de 2014, a las 8:47 de la mañana, en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.	58
Figura 76	Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 7 de diciembre de 2014, a las 6:12 p.m., en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.	58
Figura 77	Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 11 de diciembre de 2014, a las 5:57 p.m., en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.	59
Figura 78	Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 13 de diciembre de 2014, a las 6:32 de la mañana, en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.	59
Figura 79	Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 16 de diciembre de 2014, a las 1:56 de la tarde, en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.	60
Figura 80	Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 19 de diciembre de 2014, a las 7:56 de la mañana, en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.	60
Figura 81	Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 21 de diciembre de 2014, a las 6:22 de la mañana, en la fotografía se observa emisión de gases.	61
Figura 82	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	62
Figura 83	Estaciones sísmicas y de deformación cortical para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.	63
Figura 84	Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia de los Volcanes Chiles y Cerro Negro.	64
Figura 85	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 2014.	65
Figura 86	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.	65
Figura 87	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de diciembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	66
Figura 88	Relación porcentual por rango de magnitud local para los sismos localizados durante el mes de diciembre de 2014 en la región de los volcanes Chiles – Cerro Negro.	67
Figura 89	Energía diaria liberada calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014. La ordenada se muestra en términos de la raíz cuadrada del valor de la energía en ergios.	67
Figura 90	Componentes de inclinación Norte y Este, y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 5 de noviembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014 (Parte superior), y entre el 21 de octubre y el 31 de diciembre de 2014(Parte inferior).	69

Figura 91	Componentes de inclinación Norte y Este, registro de la temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 5 de noviembre de 2013 y el 21 de diciembre de 2014.	70
Figura 92	Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 31 de diciembre de 2014.	70
Figura 93	Variación de temperatura, estación permanente FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles. Diciembre de 2014.	71
Figura 94	Gráfico filtrado por horas y fechas de la variación de temperatura, estación permanente FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles. Diciembre de 2014.	72
Figura 95	Imagen de Volcán Chiles, capturada el 17 de diciembre, a las 3:11 p.m., desde la población de Nazate (Resguardo Indígena de Chiles), cámara ubicada al oriente del volcán Chiles.	72
Figura 96	Imagen de Volcán Chiles, capturada el 21 de diciembre, a las 6:36 a.m., desde la población de Nazate (Resguardo Indígena de Chiles), cámara ubicada al oriente del volcán Chiles.	73
Figura 97	Imagen en la cual se aprecia la localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.	74
Figura 98	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	75
Figura 99	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2014.	76
Figura 100	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante diciembre de 2014.	77
Figura 101	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Las Ánimas, en el mes de diciembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	78
Figura 102	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.	79
Figura 103	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 abril y el 31 de diciembre de 2014.	79
Figura 104	Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	81
Figura 105	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de diciembre de 2014, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	81
Figura 106	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.	82
Figura 107	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.	83
Figura 108	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.	83
Figura 109	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2014.	85

Figura 110	Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Azufral. Las figuras de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2, 3 y 4, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.	86
Figura 111	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2014.	86
Figura 112	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	87
Figura 113	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de diciembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3 km., de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	88
Figura 114	Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.	89
Figura 115	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.	89
Figura 116	Mapa de localización del campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	90
Figura 117	Variación de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Diciembre 2014.	91
Figura 118	Grafico filtrado por fechas de la variación de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Diciembre 2014.	91
Figura 119	Imágenes de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, capturadas el 6 de diciembre de 2014 en horas de la tarde por la cámara instalada hacia el sector sur, en las fotografías se observa salida de gases de uno de los domos.	92
Figura 120	Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, capturada el 11 de diciembre de 2014 a las 10:48 a.m., por la cámara instalada hacia el sector sur, en la fotografía se observa salida de gases de uno de los domos.	93
Figura 121	Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, capturada el 17 de diciembre de 2014 a las 7:16 a.m., por la cámara instalada hacia el sector sur, en la fotografía se observa salida de gases de uno de los domos.	93
Figura 122	Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, capturada el 18 de diciembre de 2014 a las 5:53 de la mañana por la cámara instalada hacia el sector sur, en la fotografía se observa salida de gases de uno de los domos.	94

INTRODUCCIÓN

Durante el mes de diciembre de 2014, el Servicio Geológico Colombiano - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Azufral, Doña Juana, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Se toman datos en forma continua durante las 24 horas del día de los diferentes parámetros de estudio que permiten la evaluación de la actividad volcánica, además, se realizaron muestreos periódicos de otros parámetros geofísicos y geoquímicos, de importancia para la evaluación de la actividad.

El estado y características de un volcán pueden variar a través del tiempo, y es por ello que surge el monitoreo volcánico, el cual consiste en la vigilancia y estudio de los cambios ocurridos en diferentes fases 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 2014, 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 medibles, como los apreciables de la actividad volcánica superficial, los cuales pueden variar en intensidad, duración y frecuencia.

RESUMEN

En el mes de diciembre de 2014, la actividad sísmica de Galeras fue dominada por eventos relacionados con fracturamiento de roca y posterior movimiento de fluidos (Híbridos - HYB). En comparación con el mes anterior, para este periodo se observó descenso en la ocurrencia total de sismicidad, en contraste se presentó un incremento en la energía liberada, reflejado principalmente en los sismos clasificados como VT. Los eventos no clasificables (sismos que no alcanzan el umbral de amplitud y duración para su clasificación en una estación de referencia) mostraron descenso cercano al 58.1%. Se resalta el registro de 11 eventos LP tipo Tornillo con frecuencias dominantes entre 0.9 y 14 Hz.

La gran mayoría de sismicidad de fractura (sismos Volcano-tectónicos, VT) se ubicaron cerca al cráter, con magnitudes entre -0.1 y 3.2 en la escala de Richter, el 74% de los eventos presentaron magnitudes menores de 1.

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, tres de ellos muestran cambios simultáneos desde el mes de septiembre, tendencias ascendentes en una de sus componentes.

En el transcurso del periodo evaluado se obtuvieron tres mediciones de emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) a la atmósfera, con valores en el rango bajos para Galeras. El valor máximo de flujo de SO₂ del periodo evaluado, fue de 186 Tn/día, registrado el 30 de diciembre de 2014.

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

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

De acuerdo al monitoreo sísmico registrado por las estaciones instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado se observó que la mayor parte de eventos se asocian con procesos de movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico. En relación con el mes anterior, se observó un incremento en la ocurrencia de la sismicidad. En este mes se registraron tres eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, donde las características físicas y geometría de la cavidad propician una gran duración con un contenido frecuencial monocromático, cuyas frecuencias dominantes estuvieron entre 1.60 y 4.98 Hz. En su mayoría la sismicidad de fractura se localizó muy próximos al cráter de Cumbal y a profundidades superficiales, cuyas magnitudes estuvieron entre -0.6 y 2.6 en la escala de Richter.

La mayor parte del periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases de color blanco, cuyos focos principales continúan siendo los campos fumarólicos El Verde y Rastrojo.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de diciembre de 2014 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 descenso en la ocurrencia diaria de eventos, la mayoría de los eventos localizados se ubicaron principalmente hacia el sector suroccidente del edificio volcánico, con magnitudes entre 0.1 y 4.8 en la escala de Richter. De esta sismicidad de fractura, para el periodo evaluado se tienen reportados como sentidos 15 eventos cuyas magnitudes fluctúan entre 2.4 y 4.8 en la escala de Richter, reportados principalmente por habitantes de los Resguardos Indígenas de Chiles y Panan (Municipio de Cumbal).

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de diciembre de 2014 permitió, que la actividad en la zona de los volcanes Chiles – Cerro Negro permaneciera en **NIVEL AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

Con respecto al volcán Las Ánimas, para el periodo evaluado se registraron dos sismos asociados a fracturamiento de la roca, de bajo nivel energético, con magnitudes de 0.2 y 0.5 en la escala de Richter. Continúa el comportamiento ascendente en la componente Norte del inclinómetro Altamira.

En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado no se tuvo registro de eventos asociados con actividad volcánica. Continúa el comportamiento ascendente de las componentes de inclinación de los sensores Lavas y Florida, esto desde el pasado mes de septiembre de 2014.

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 8 eventos. De esta sismicidad se localizaron 6 eventos con magnitudes entre 0.8 y 1.7 en la escala de Richter.

La mayor parte del 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 2014

1.1. RED DE VIGILANCIA

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

- Catorce estaciones sísmicas telemétricas: ocho de corto periodo (cinco triaxiales y tres de componente vertical) y seis 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 (Figura 1, Tabla 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figuras 2 y 3, Tabla 2).
- Seis estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas alrededor del cono activo (Figura 2, Tabla 3).
- Tres estaciones con transmisión telemétrica para la detección de emisiones de dióxido de azufre (SO₂), localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 4, 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 4, 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 4).
- 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 (Figura 4).
- 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 (Figura 4).
- 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 5). 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 6).

Por otra parte como complemento al monitoreo, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales para Galeras (Tabla 8, Figura 7).

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 90%. En la Figura 8 se muestra el histograma de porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo telemétrico durante el mes de diciembre de 2014.

Tabla 1. Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de diciembre de 2014.

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

Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de diciembre de 2014.

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 2014.

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

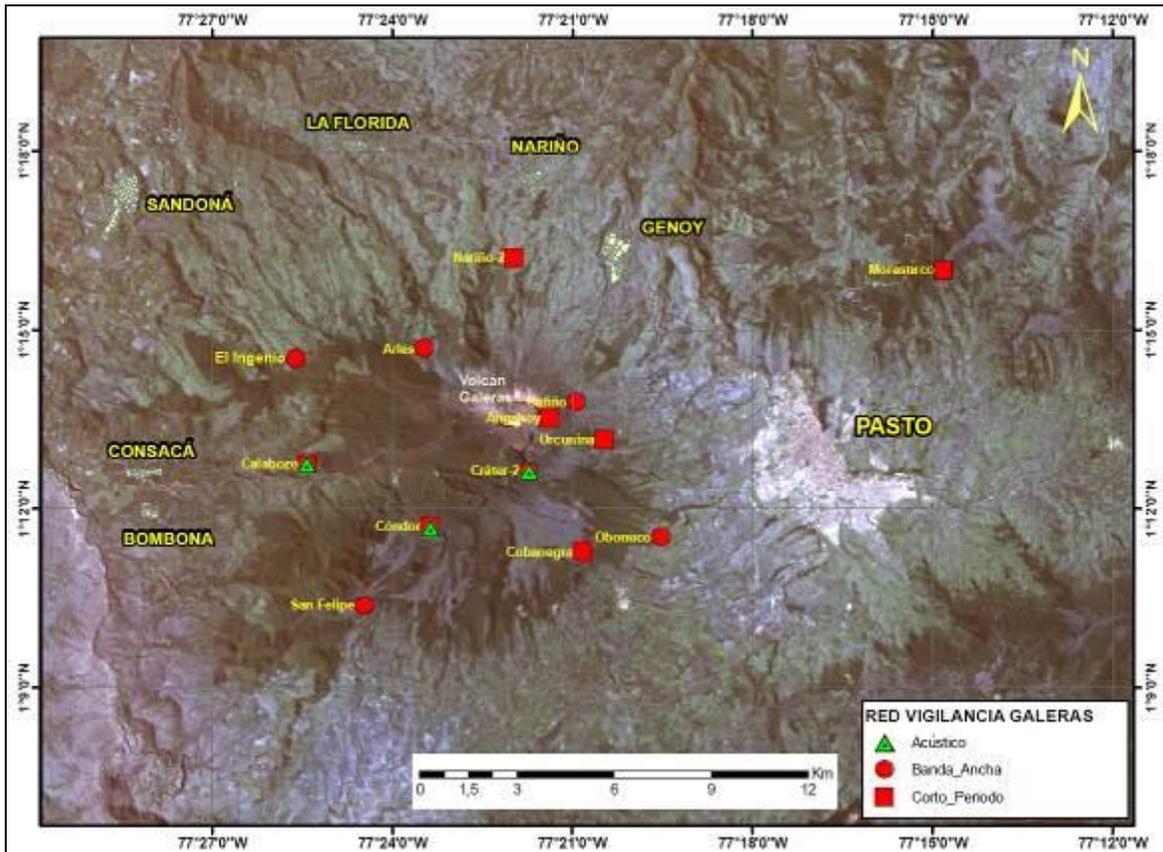


Figura 1. Mapa de localización de las estaciones sísmicas y de sensores acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2014.

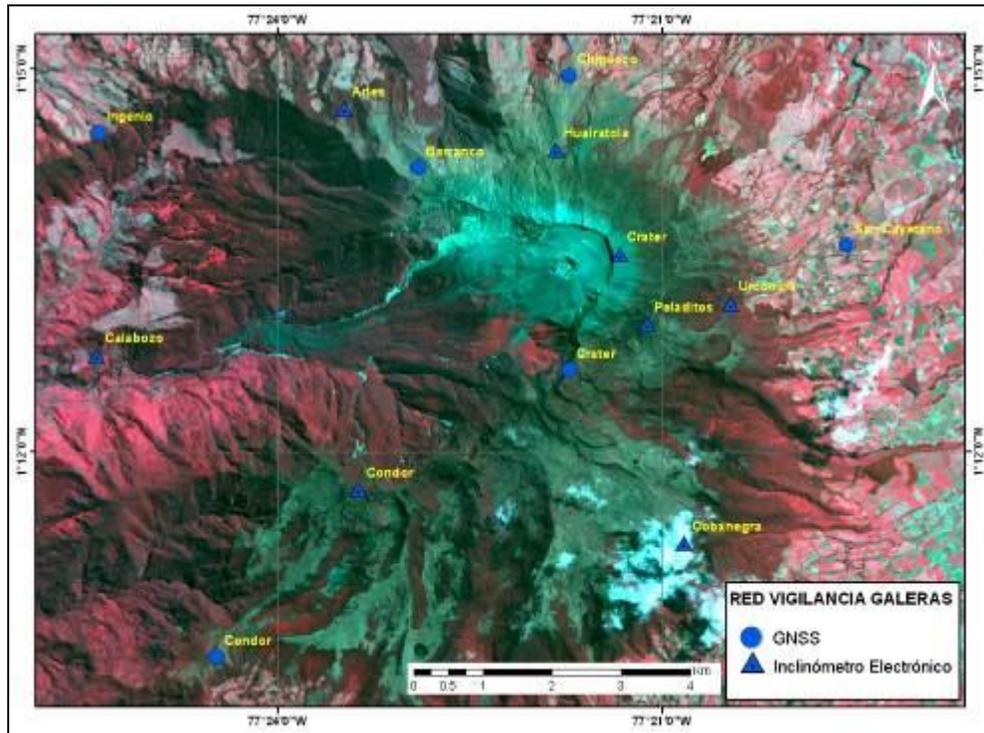


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros y GNSS que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2014.

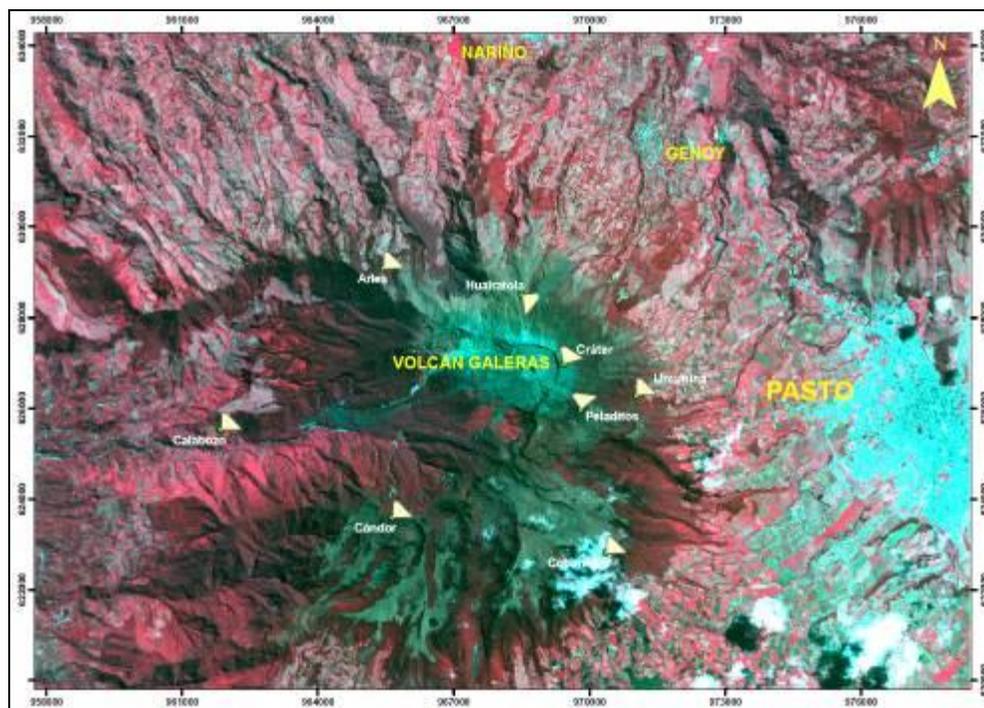


Figura 3. Mapa de localización y orientación de las componentes de las estaciones de inclinometría instaladas en Galeras.

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

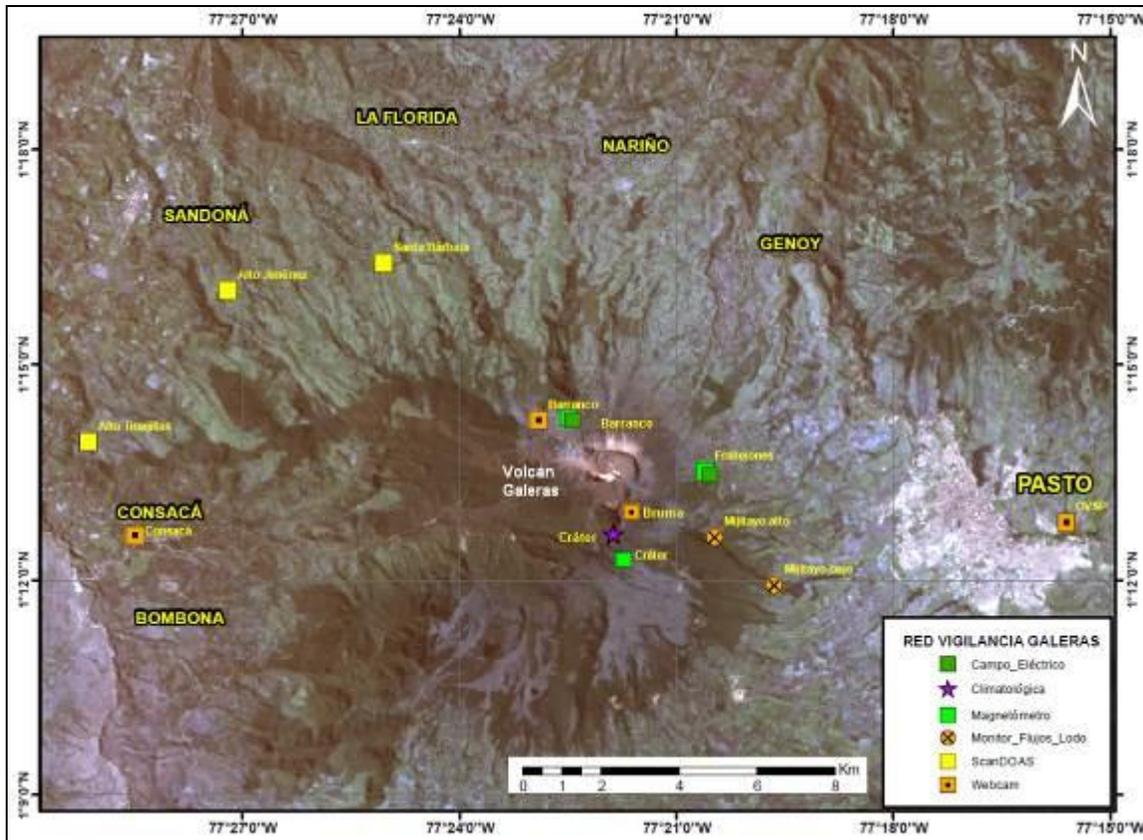


Figura 4. Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, flujos de lodos, ScanDOAS, climatológica y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de diciembre de 2014.

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

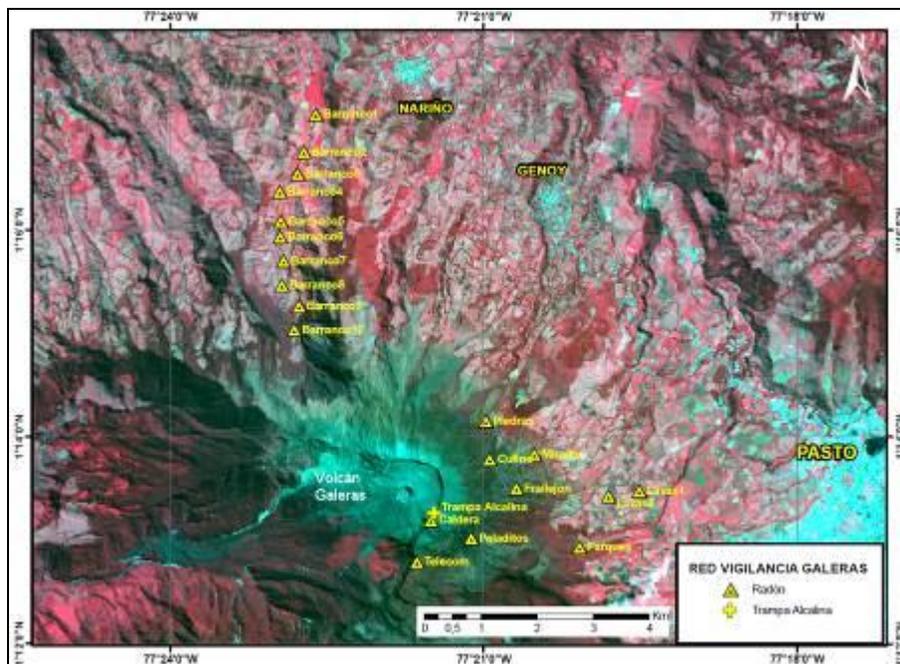


Figura 5. Mapa de localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.

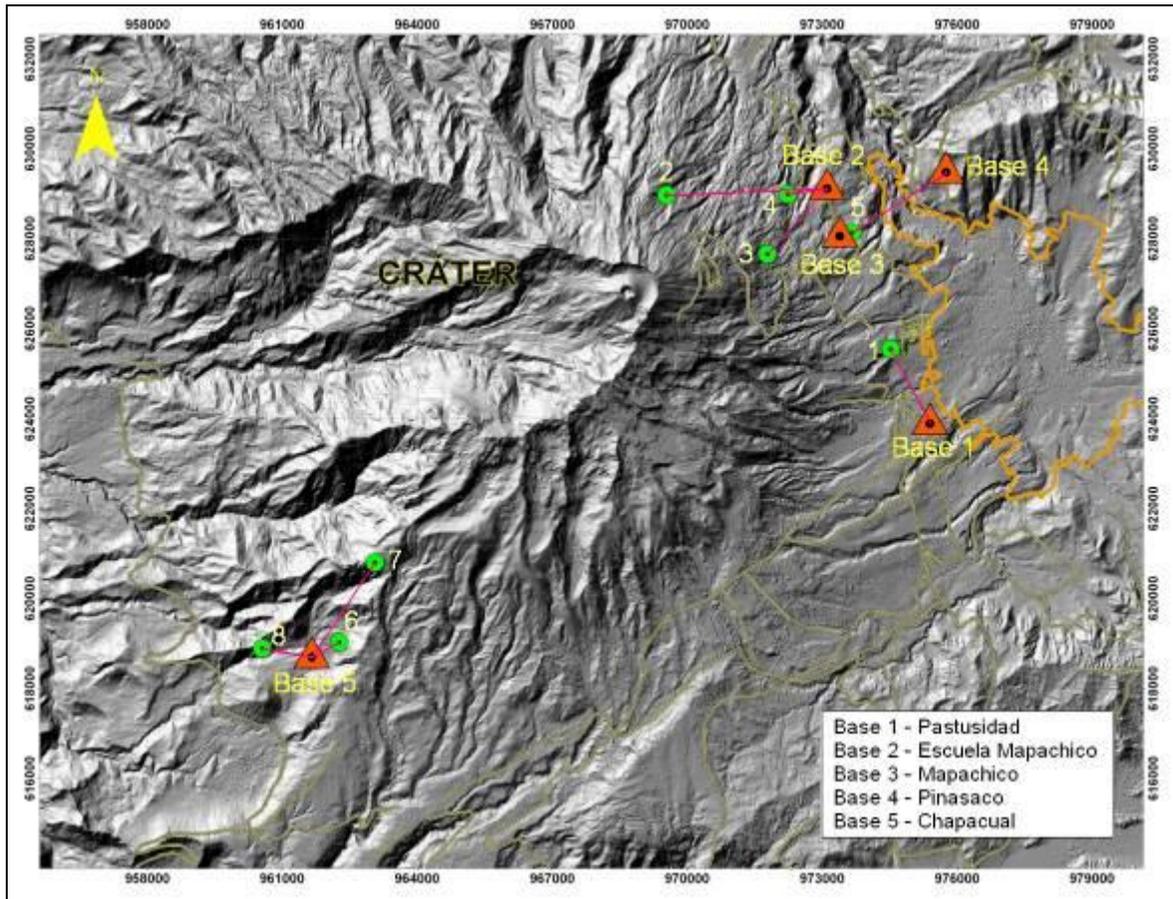


Figura 6. Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Galeras. Los triángulos de color naranja indican la ubicación de las Bases de medición 1, 2, 3, 4 y 5, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.

Tabla 8. Ubicación geográfica 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

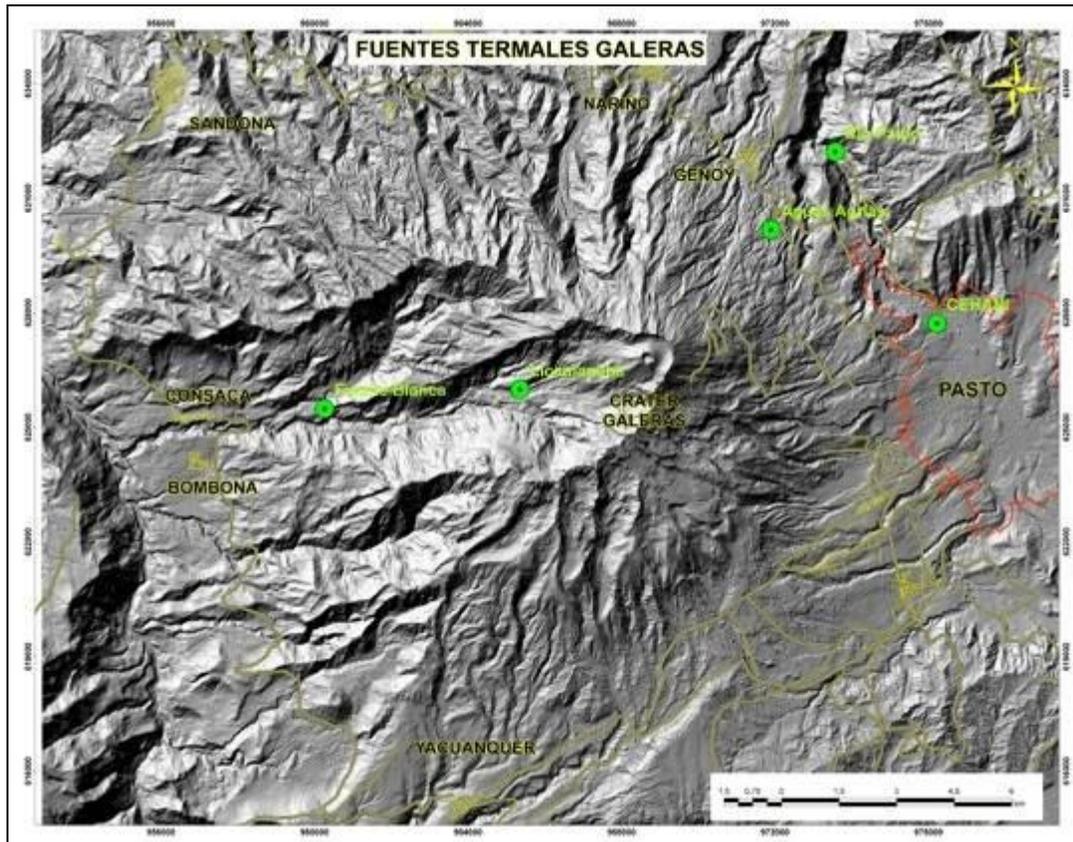


Figura 7. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

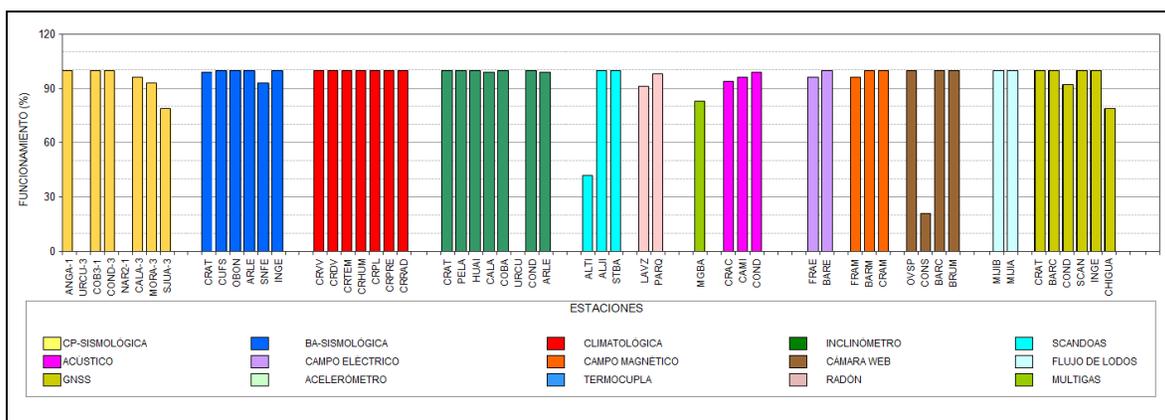


Figura 8. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de diciembre de 2014, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

1.2. SISMOLOGÍA

La actividad sísmica dominante, estuvo asociada con eventos que involucran fracturamiento de roca y posterior movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos (HYB), seguidos por sismos relacionados con fracturamiento de roca (VT) y en menor cuantía por eventos tipo TRE, los cuales involucran movimiento de fluido de fuente persistente en el tiempo (Tabla 9, Figura 9). Se resalta el registro de 11 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, donde las características físicas y geometría de la cavidad propician una gran duración con un contenido frecuencial monocromático.

En términos generales, se observó un descenso en la ocurrencia diaria de eventos sísmicos clasificables con respecto al mes anterior, cercano al 78.4% (Tabla 9); principalmente de los eventos clasificados como HYB (Tabla 9, Figura 10). Así mismo, en cuanto a los sismos registrados no clasificables, se observó un descenso, que en comparación con el mes de noviembre de 2014, es de 58.1% (Tabla 9).

En total se registraron 8 eventos tipo Tremor espasmódico clasificables, la duración por evento fluctuó entre 1 y 1.6 minutos y se totalizó una duración aproximada de 5 minutos.

En la Figura 11 se muestra una comparación en términos porcentuales de ocurrencia de la sismicidad registrada entre los meses de septiembre y diciembre de 2014, esta información permite corroborar de manera porcentual el dominio de la sismicidad tipo HYB en los cuatro últimos periodos.

Tabla 9. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Galeras, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, incluyendo el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						
	vt	lps	tre	hyb	tor	TOTAL	NO CLASIFICABLES
01-sep-14 a 30-sep-14	47	10	16	53	1	127	1634
01-oct-14 a 31-oct-14	27	9	10	30	4	80	2703
01-nov-14 a 30-nov-14	146	93	15	988	37	1279	4940
01-dic-14 a 31-dic-14	95	41	8	121	11	276	2072



Figura 9. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Galeras, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

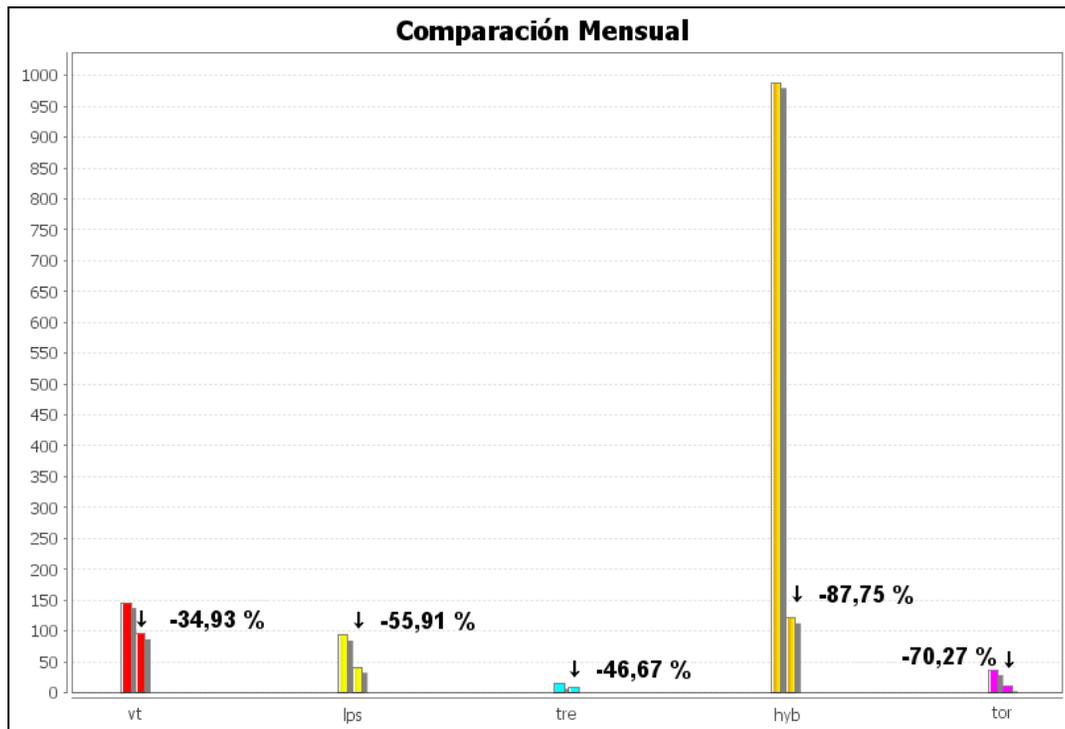


Figura 10. Relación porcentual para Galeras, que compara el número de eventos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2014, con respecto al mes de noviembre de 2014.

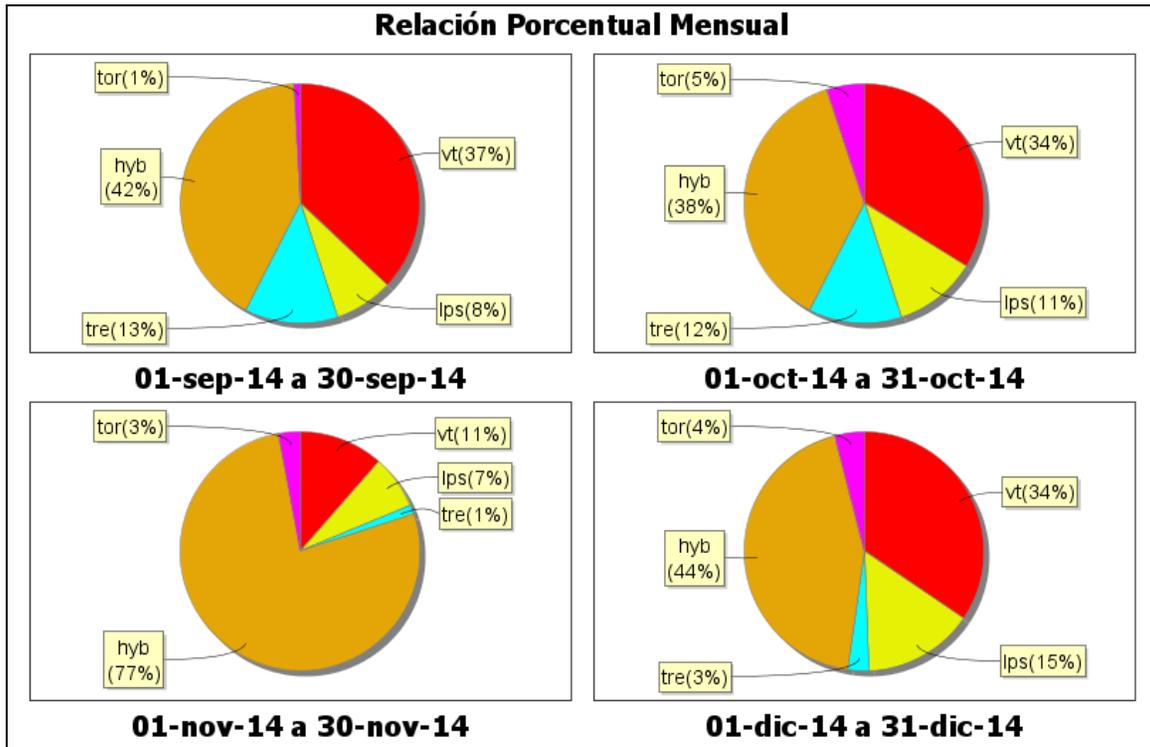


Figura 11. Relación porcentual para Galeras, que compara el número de eventos por tipo ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, tomando periodos mensuales.

En cuanto al total de liberación diaria de energía para el mes de diciembre, se observó un notable incremento cercano a los tres órdenes de magnitud, reflejado principalmente en los eventos clasificados como VT (Tabla 10, Figuras 12 y 13). El mayor aporte energético en el periodo evaluado provino de los eventos tipo VT (Tabla 10, Figura 14), aporte esencialmente dado por el evento registrado el 18 de diciembre, de magnitud local 3.2 en la escala de Richter.

Tabla 10. Energía liberada de ondas de cuerpo por los diferentes tipos de eventos volcánicos, ocurridos en Galeras, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, tomando periodos mensuales, incluyendo el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-sep-14 a 30-sep-14	9.32E+09	1.65E+11	6.33E+10	1.21E+11	3.59E+11
01-oct-14 a 31-oct-14	6.31E+08	6.09E+10	6.32E+10	3.57E+10	1.60E+11
01-nov-14 a 30-nov-14	3.68E+12	1.17E+13	8.24E+10	2.17E+13	3.72E+13
01-dic-14 a 31-dic-14	2.83E+16	3.53E+12	1.82E+11	1.80E+13	2.83E+16



Figura 12. Energía diaria liberada por los eventos volcánicos ocurridos en Galeras entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014. La ordenada se muestra en términos de la raíz cuadrada del valor de la energía en ergios.

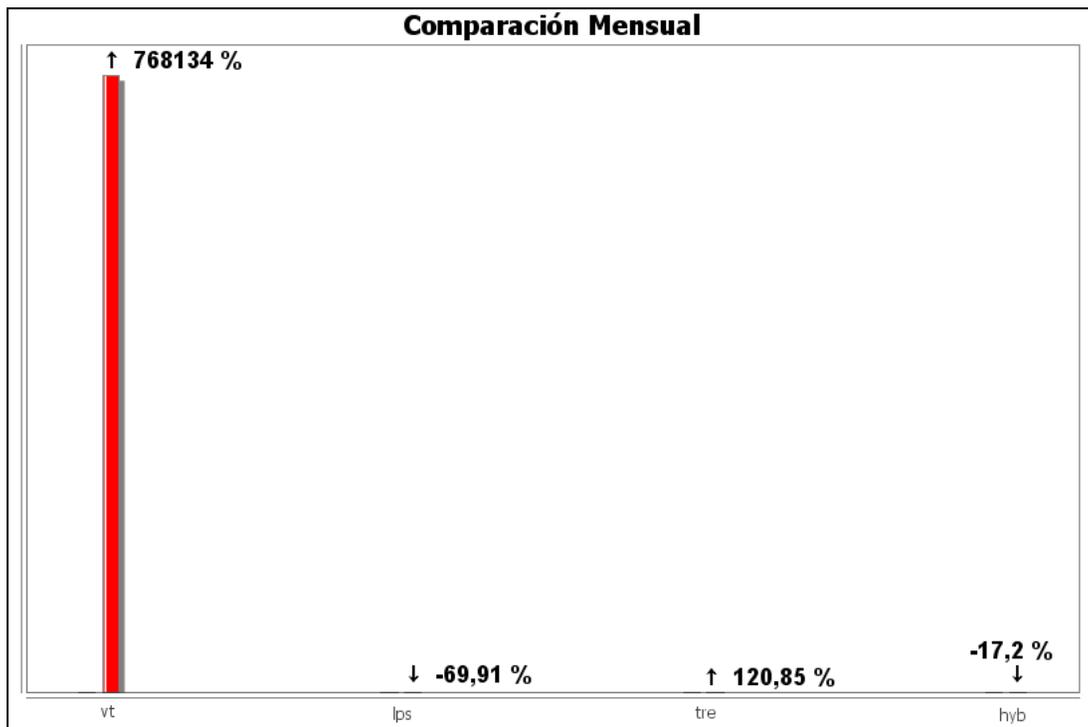


Figura 13. Relación porcentual para Galeras, que compara la energía diaria liberada de eventos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2014, con respecto al mes de noviembre de 2014.

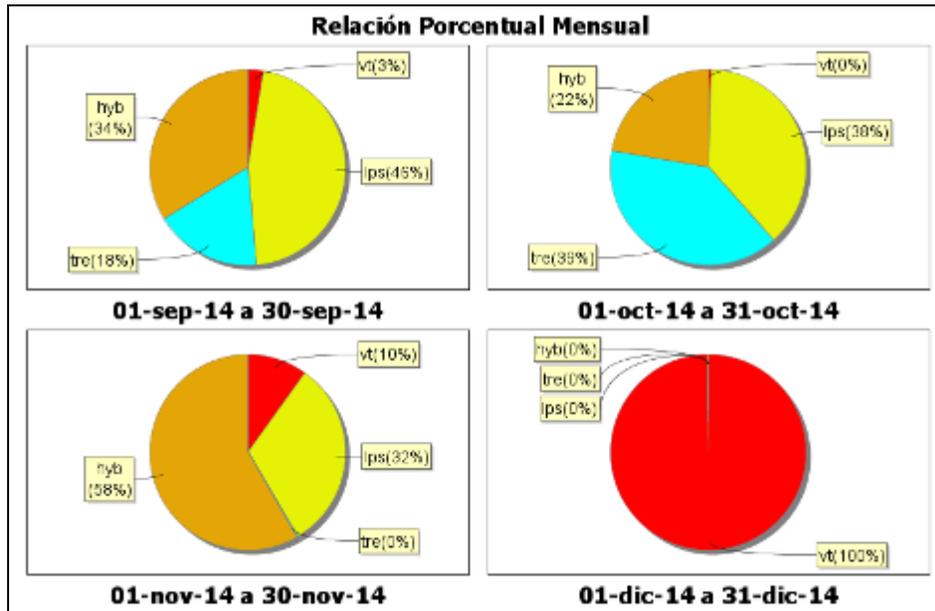


Figura 14. Relación porcentual de la energía sísmica liberada por los eventos de Galeras, registrados entre el 1 de julio y el 31 de octubre de 2014, tomando periodos mensuales.

De la actividad sísmica se resalta el registro de los eventos LPS tipo Tornillo, cuyas frecuencias dominantes estuvieron entre 0.9 y 14 Hz (Figura 15) y las duraciones entre 23 y 135 segundos. En las Figuras 16, 17 y 18 se presentan a manera de ejemplo, el registro de los eventos TOR ocurridos el 12, 16 y el 19 de diciembre de 2014.

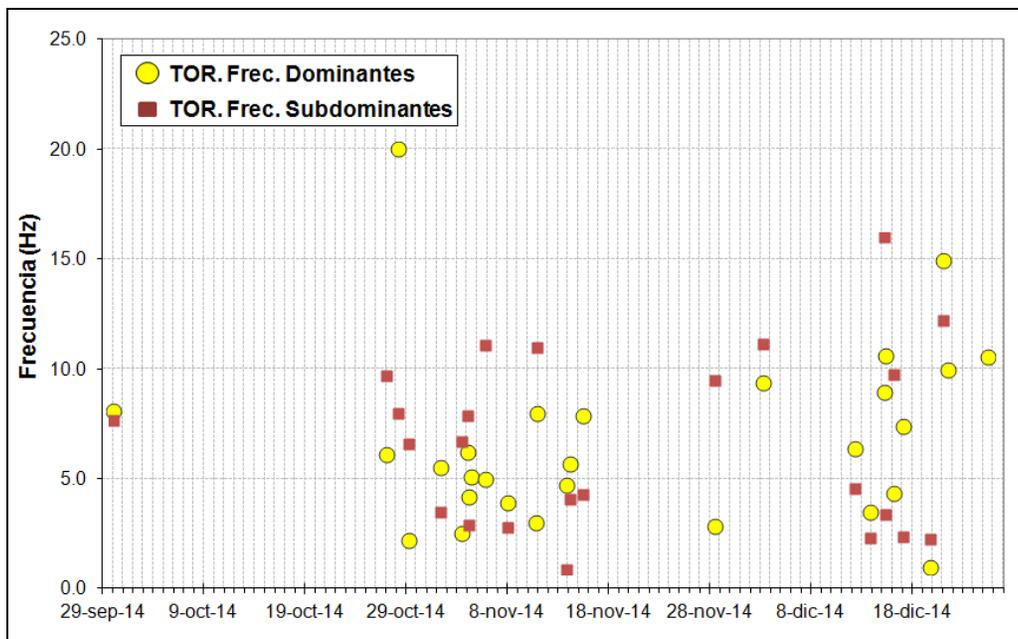


Figura 15. Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por la estación sísmica Anganoy, instalada en el volcán Galeras, entre el 29 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014.

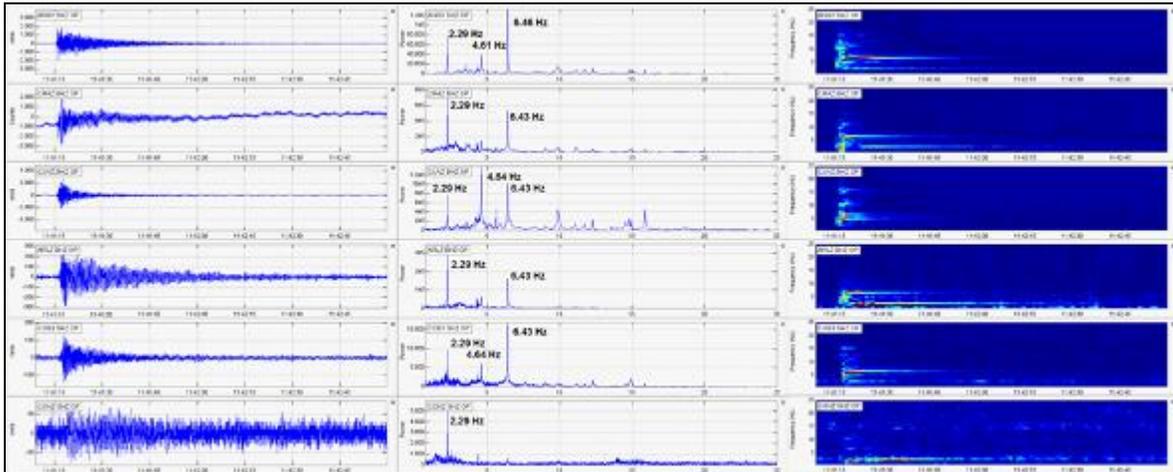


Figura 16. Sismogramas, espectros y espectrogramas en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 12 de diciembre de 2014 a las 6:41 a.m., registrando 119 segundos de duración.

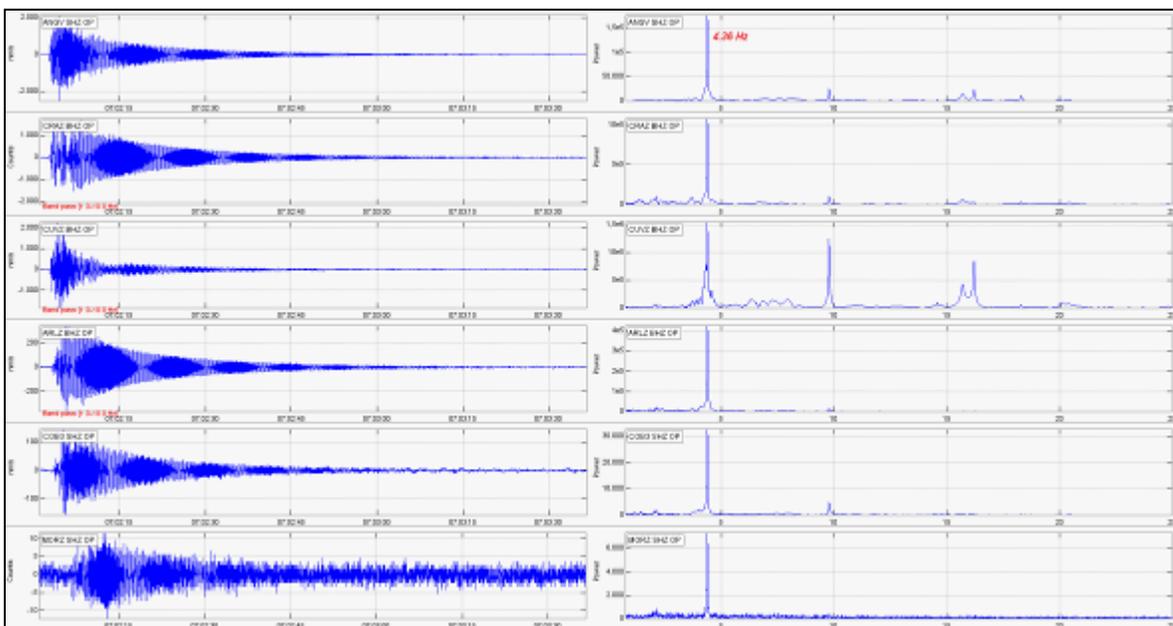


Figura 17. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 16 de diciembre de 2014 a las 2:02 a.m., registrando 101 segundos de duración.

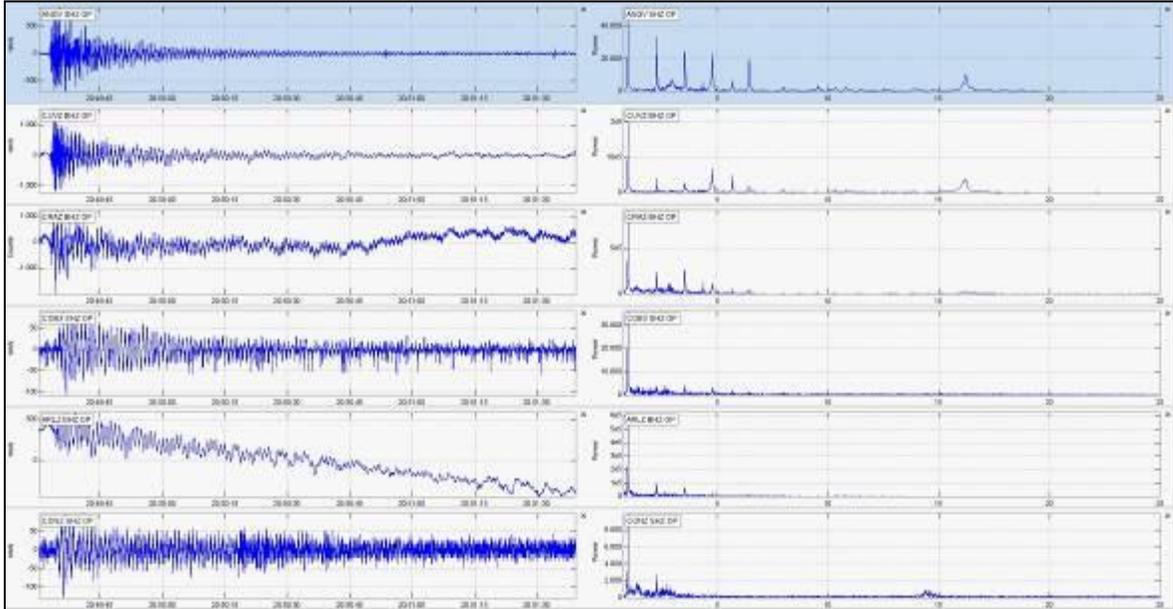


Figura 18. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Galeras, el 19 de diciembre de 2014 a las 3:49 p.m., registrando 135 segundos de duración.

En cuanto a la sismicidad cuya génesis es el fracturamiento de material cortical al interior del edificio volcánico, eventos VT e HYB, en el transcurso del mes y haciendo uso del programa HYPO71, fue posible localizar 46 sismos entre clasificables y no clasificables, 40 VT y 6 HYB, en su mayoría se ubicaron cerca al cráter, con profundidades menores a 2 km. Las distancias epicentrales fluctuaron entre 0.5 y 12 km respecto al cono activo (Figura 19) y las profundidades entre 0.2 y 13 km respecto a la cima.

Las magnitudes locales de estos sismos oscilaron entre -0.1 y 3.2 en la escala de Richter, cerca del 74% de los eventos tuvieron magnitudes menores a 1 en la escala de Richter.

En las Figuras 19 y 20, se muestran algunos parámetros de los sismos VT e HYB, como localizaciones y porcentajes de profundidad y magnitud local.

De esta sismicidad se resalta el registro del evento ocurrido el 18 de diciembre, a las 10:41 a.m., con magnitud local de 3.2 en la escala de Richter, el cual fue reportado como sentido por algunos pobladores de diferentes sectores de la ciudad de Pasto (Figura 21).

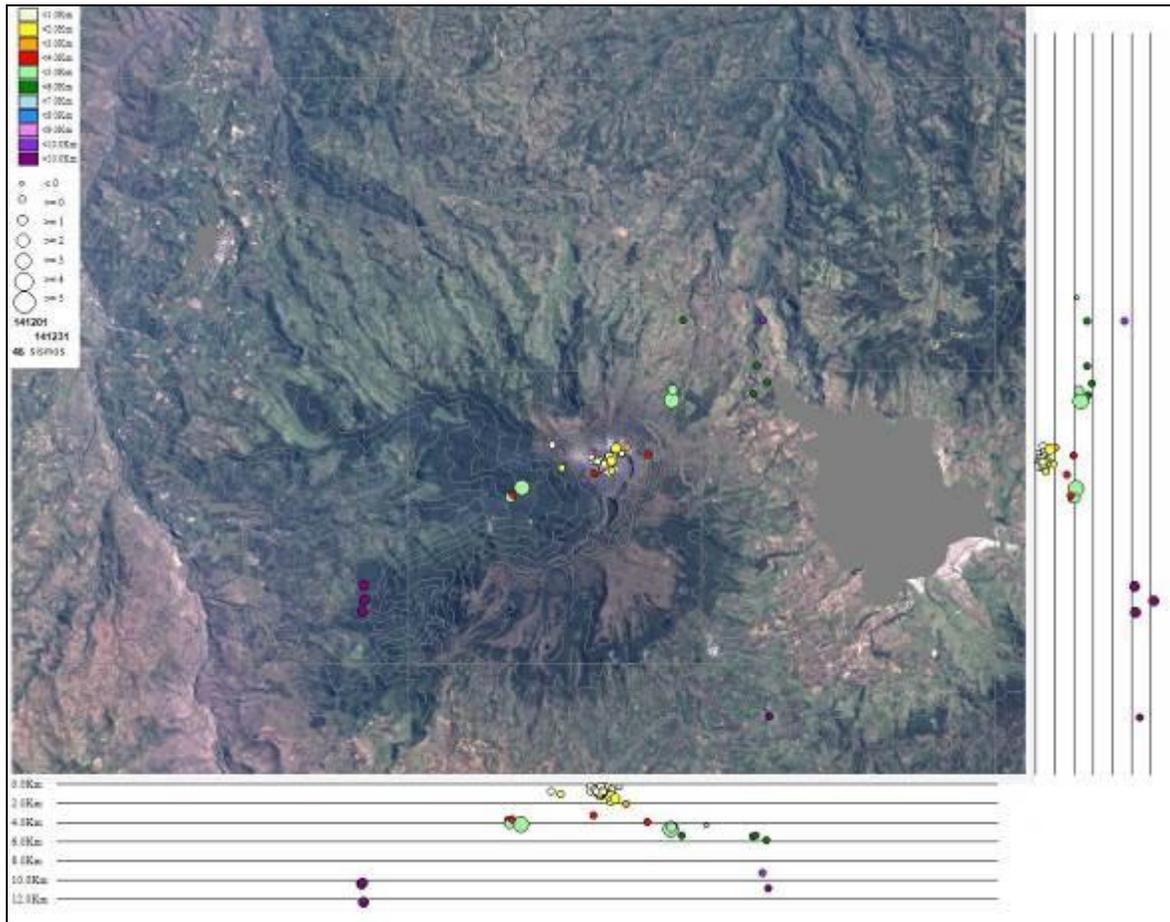


Figura 19. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de diciembre de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4200 msnm).

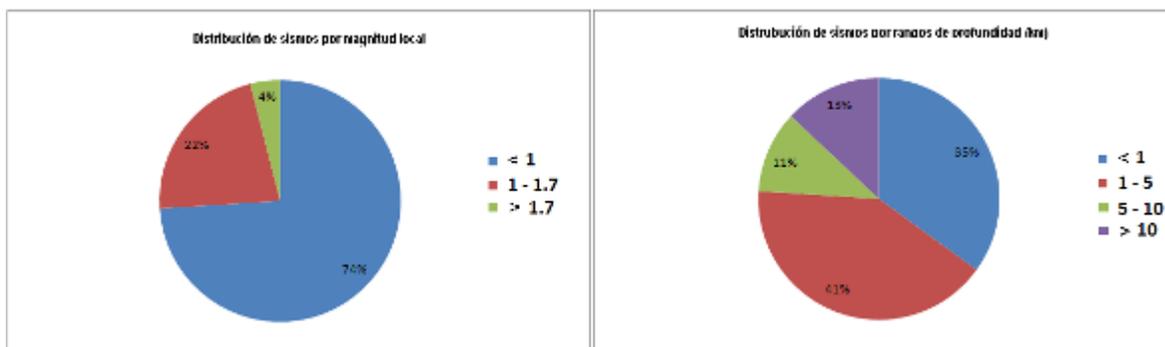


Figura 20. Relaciones porcentuales por rangos de magnitud local (izquierda) y por rangos de profundidad (derecha) para los sismos localizados durante el mes de diciembre de 2014.

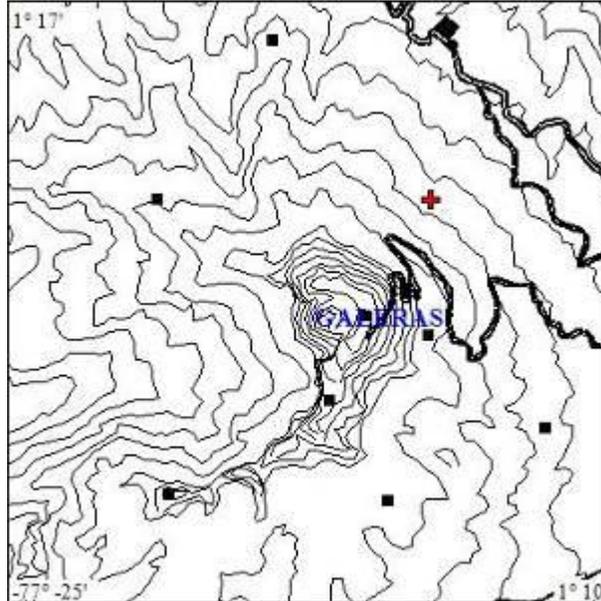


Figura 21. Localización epicentral (figura cruz) del sismo registrado el 18 de diciembre de 2014, a las 10:41 a.m., reportado como sentido por algunos pobladores de la ciudad de Pasto.

1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

1.3.1. Inclínometría Electrónica

Durante el mes de diciembre de 2014 se contó con los datos de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, Cobanegra, Calabozo, Cóndor y Arlés cuya localización se puede apreciar en las Figuras 2 y 3.

En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, se resalta que la componente de inclinación Norte de Calabozo continua con el comportamiento ascendente presentado desde el 17 de septiembre de 2014, cuya variación es de 190 μ rad, mientras que su componente Este muestra una tendencia estable en su registro (Figura 22). En Arles continua el comportamiento descendente en la componente Este, que desde el 9 de octubre alcanza cerca de 45 μ rad, la componente Norte muestra un cambio en la tendencia, luego del ascenso, parece que descendiera, esto al final del periodo evaluado (Figura 23). En la componente de inclinación Este de la estación Cóndor, continua la tendencia descendente, alcanzando 5 μ rad desde el 16 de septiembre de 2014, la componente Norte muestra estabilidad en su registro (Figura 24). En cuanto al comportamiento de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, y Cobanegra, se observa estabilidad en el registro de sus dos componentes (Figuras 25, 26, 27 y 28).

En la Figura 29 se muestra la orientación y magnitud del vector resultante calculado con las variaciones presentadas por los registros de las estaciones Calabozo, Arles y Cóndor.

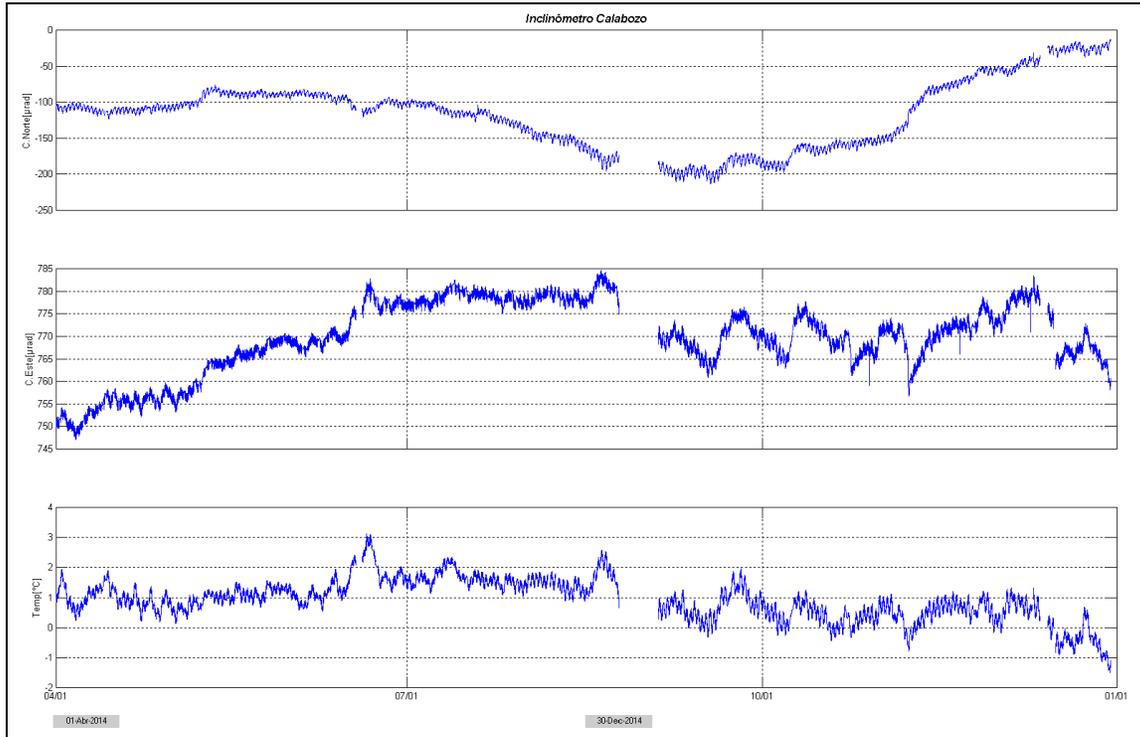


Figura 22. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.

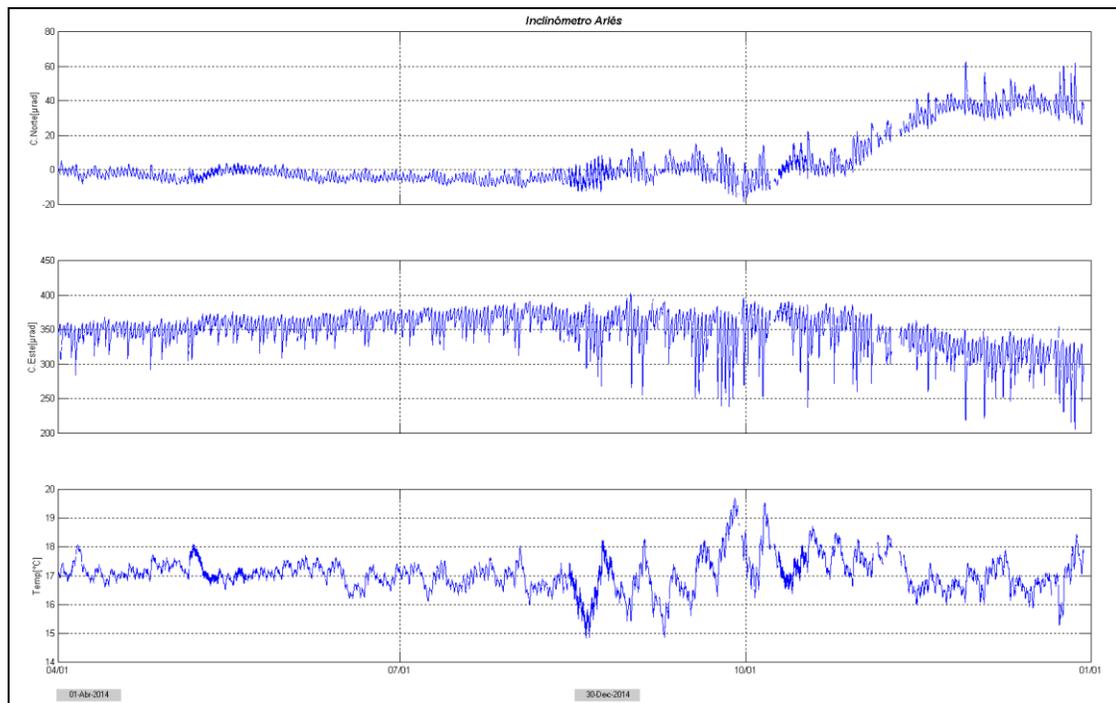


Figura 23. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.

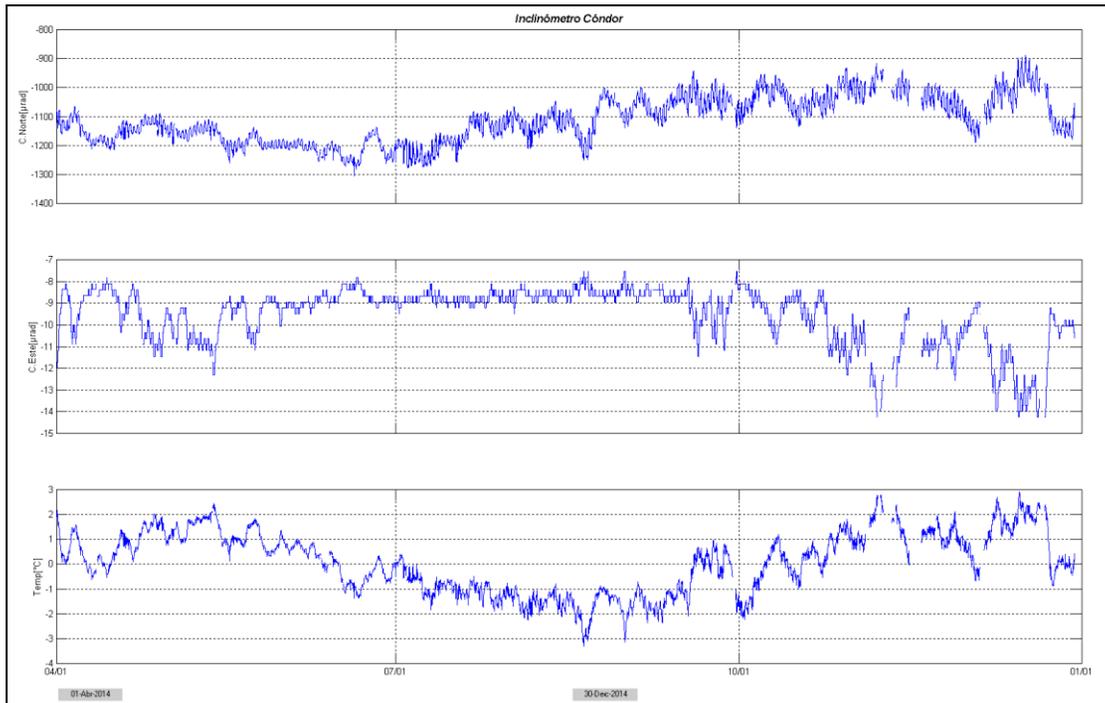


Figura 24. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Córder, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.

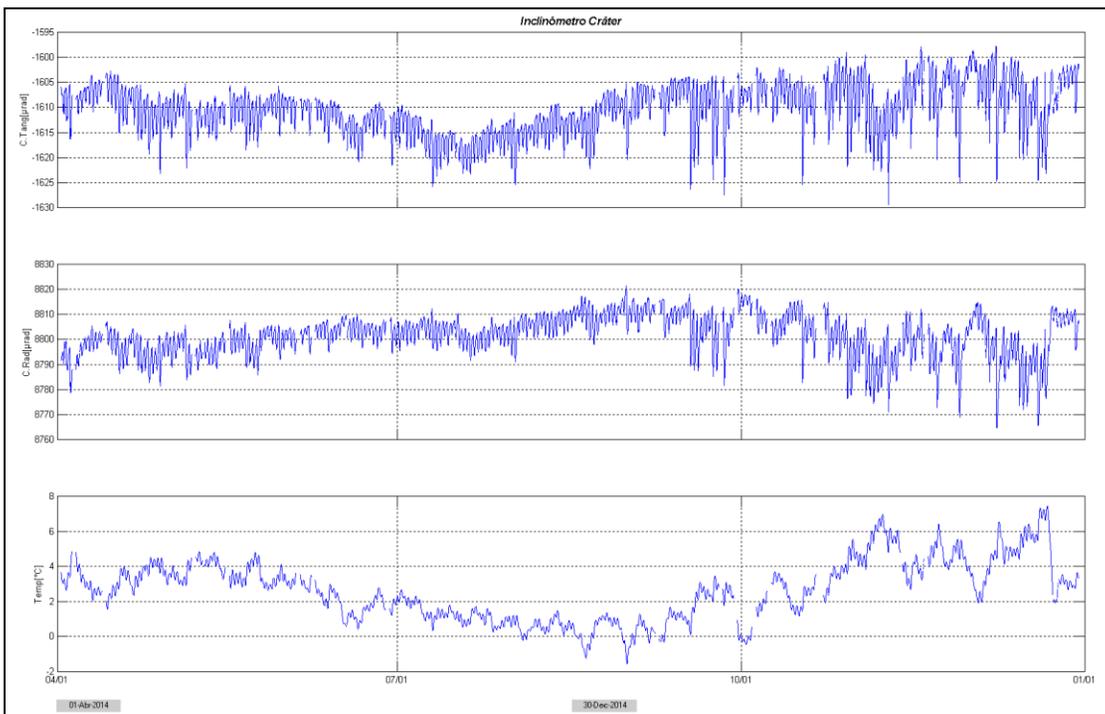


Figura 25. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.

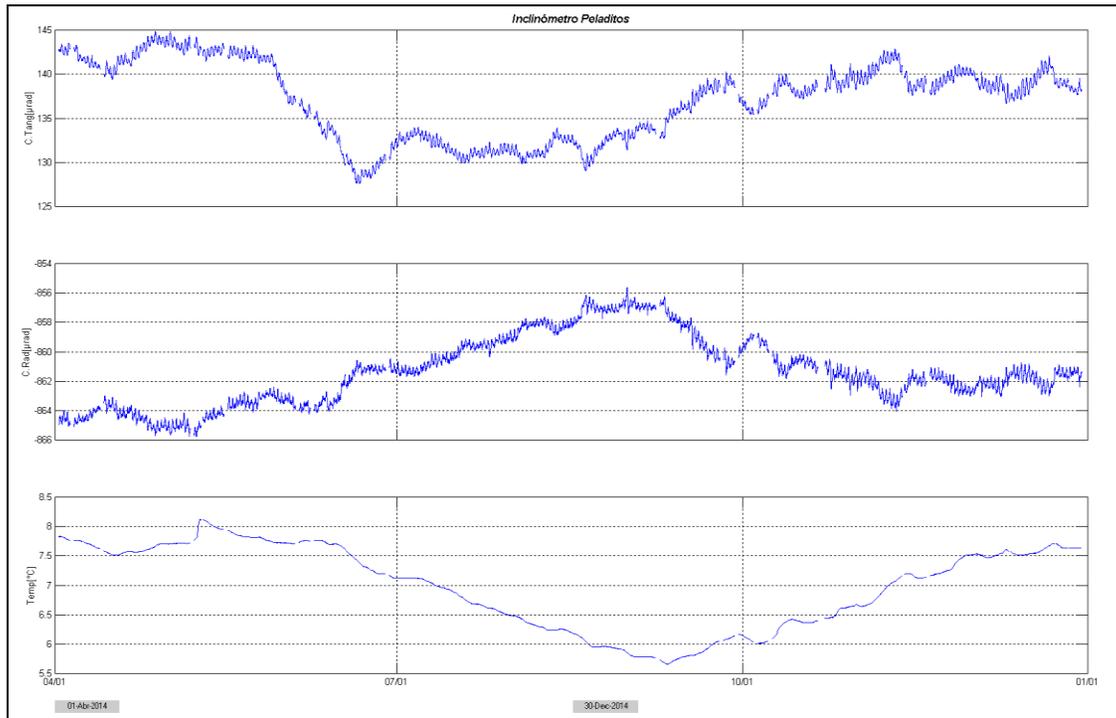


Figura 26. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.

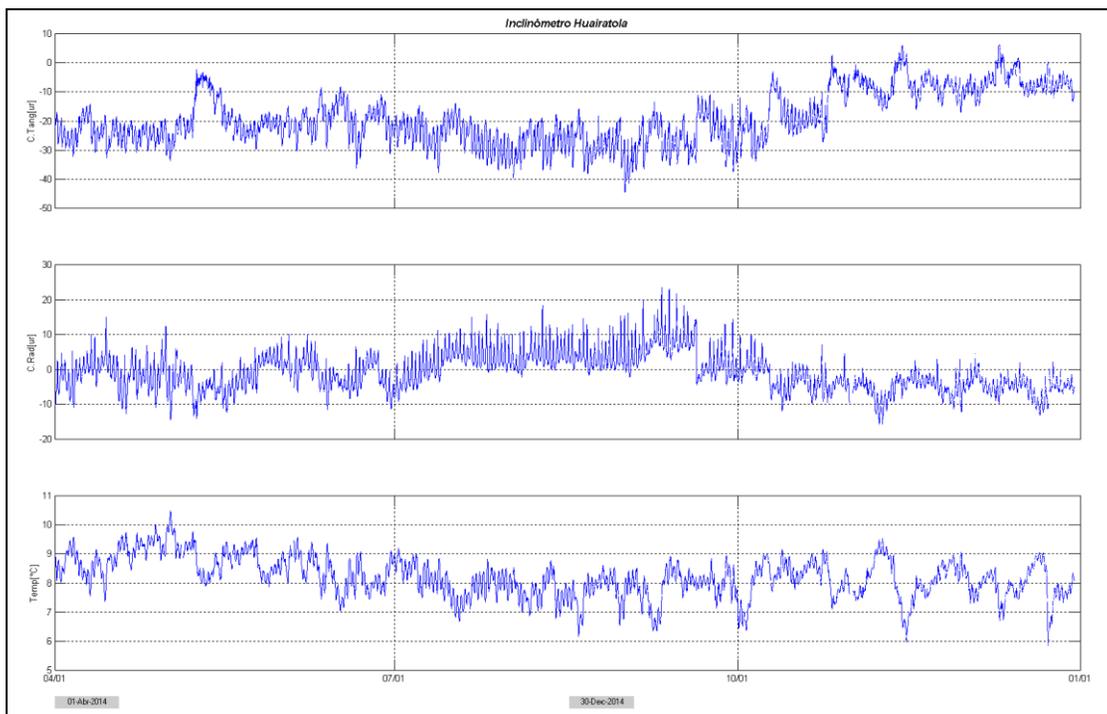


Figura 27. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.

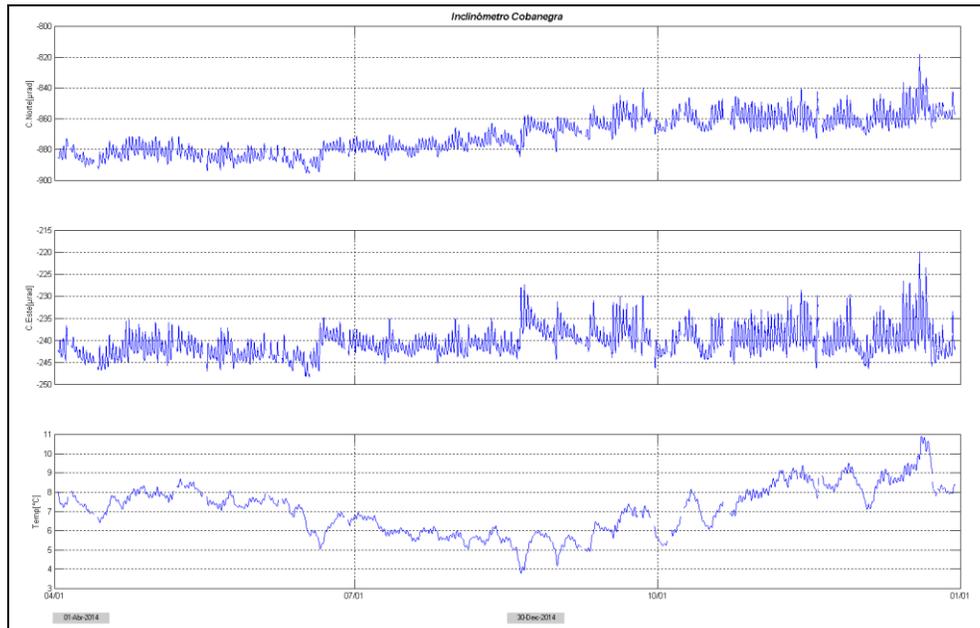


Figura 28. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad), temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.

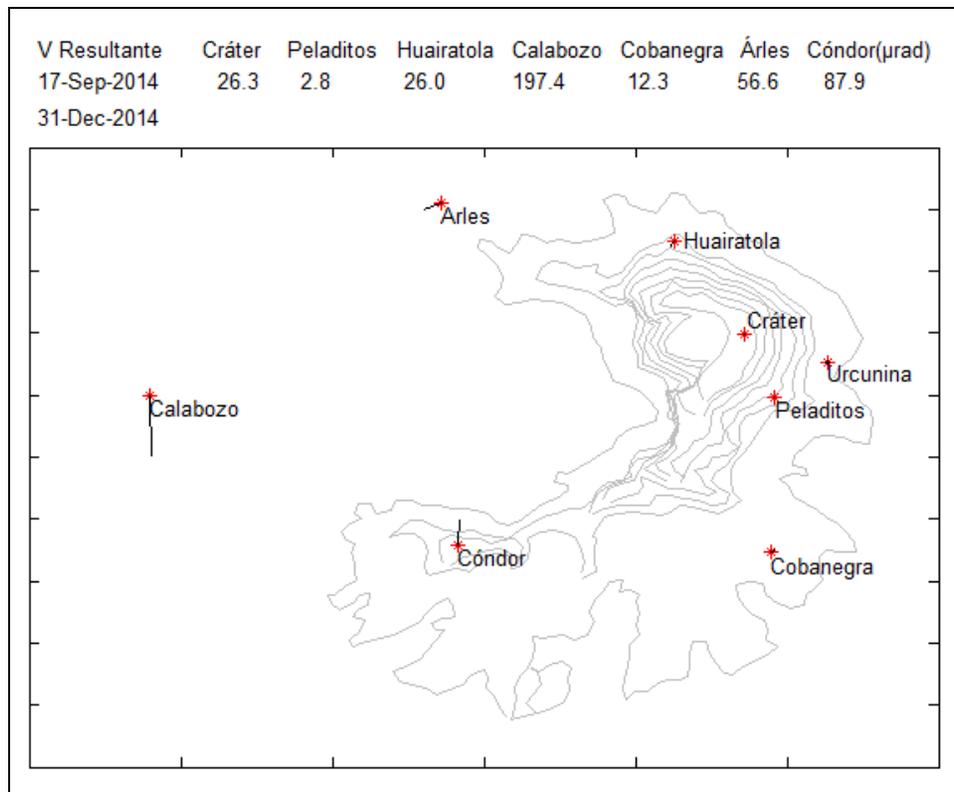


Figura 29. Orientación y magnitud del vector resultante, calculado por las variaciones mostradas por las componente de inclinación de las estaciones de Inclinometría, principalmente Calabozo, Arles y Cóndor.

1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

En diciembre de 2014 se contó con 6 estaciones receptoras GNSS permanentes.

Para el análisis se contempló inicialmente un procesamiento diferencial de la información suministrada por estas estaciones considerando una estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20.6 km de distancia respecto al cráter, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano. En la Figura 30 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 equipo. Las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, San Cayetano, en octubre de 2012, Cráter y Barranco en agosto y octubre de 2011 respectivamente, y Cónдор se reinstaló el 4 de septiembre de 2013, luego de haber sido objeto de saqueo el 20 de mayo de 2013.

Con respecto a las variaciones en la posición de las estaciones GNSS, se observa estabilidad en el registro Norte y Este de Barranco, Chiguaco, Cráter, Condor, El Ingenio y San Cayetano, se aprecian variaciones en la altura, un comportamiento descendente desde el 30 de octubre de 2014 (Figuras 31, 32, 33, 34, 35 y 36).

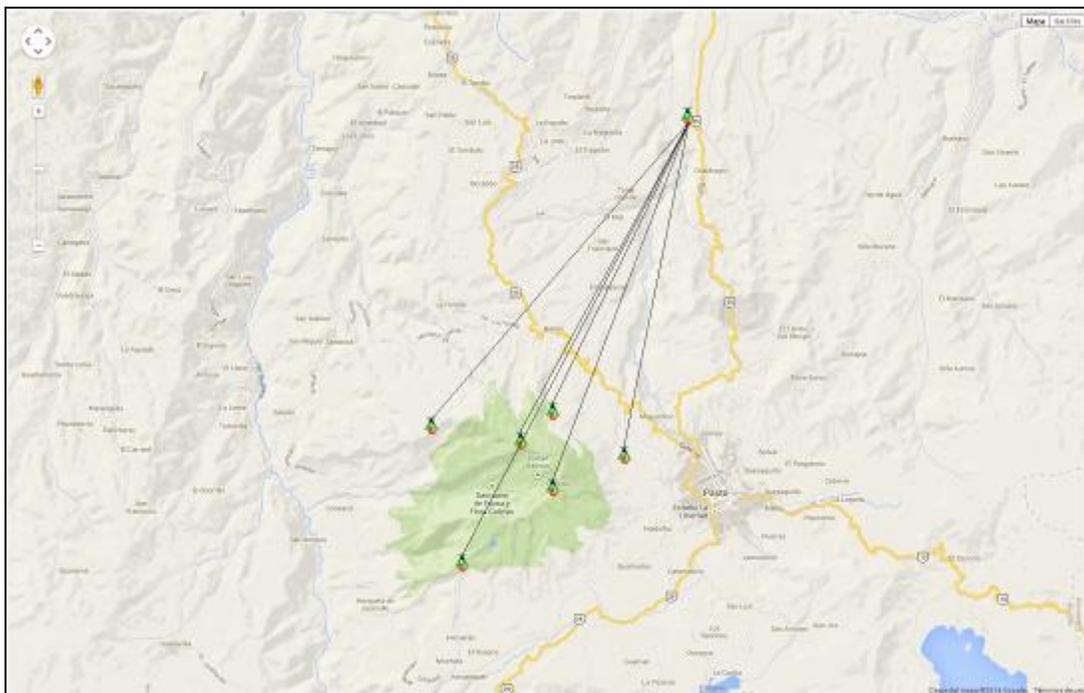


Figura 30. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.

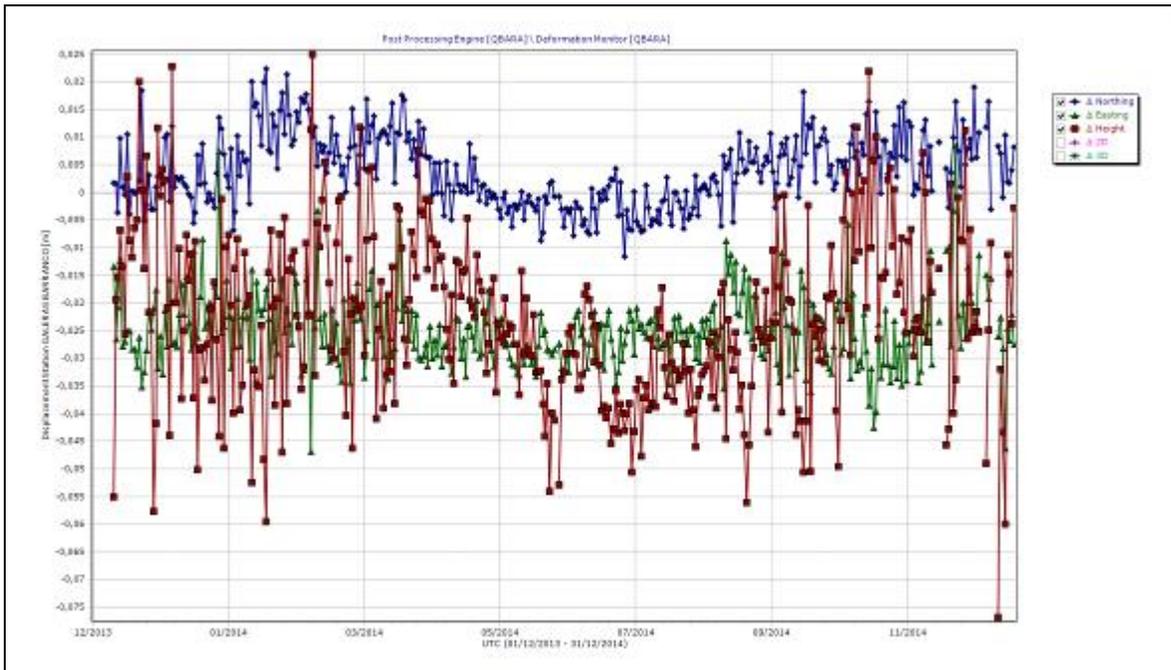


Figura 31. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.

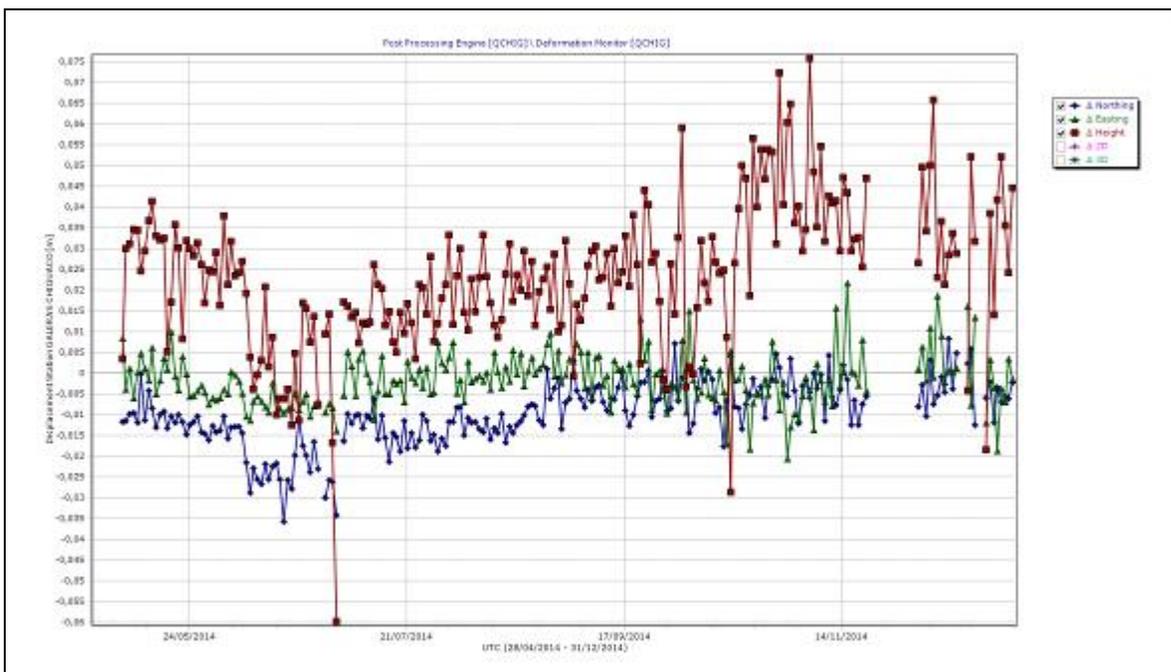


Figura 32. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 28 de abril de 2014 y el 31 de diciembre de 2014.

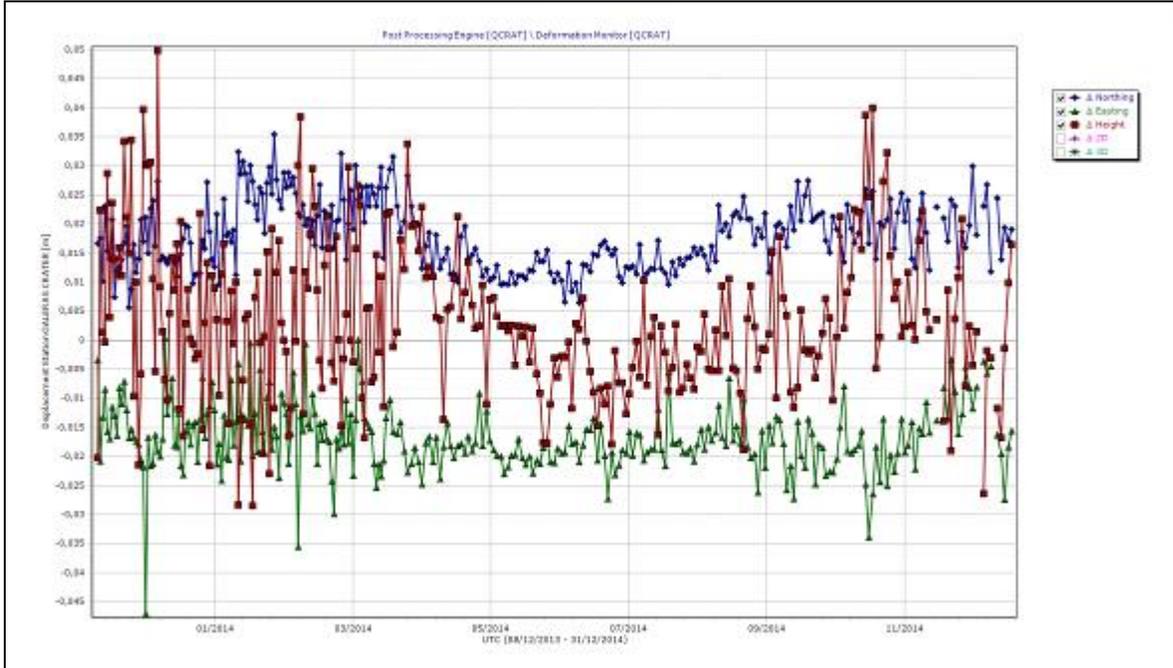


Figura 33. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de diciembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.

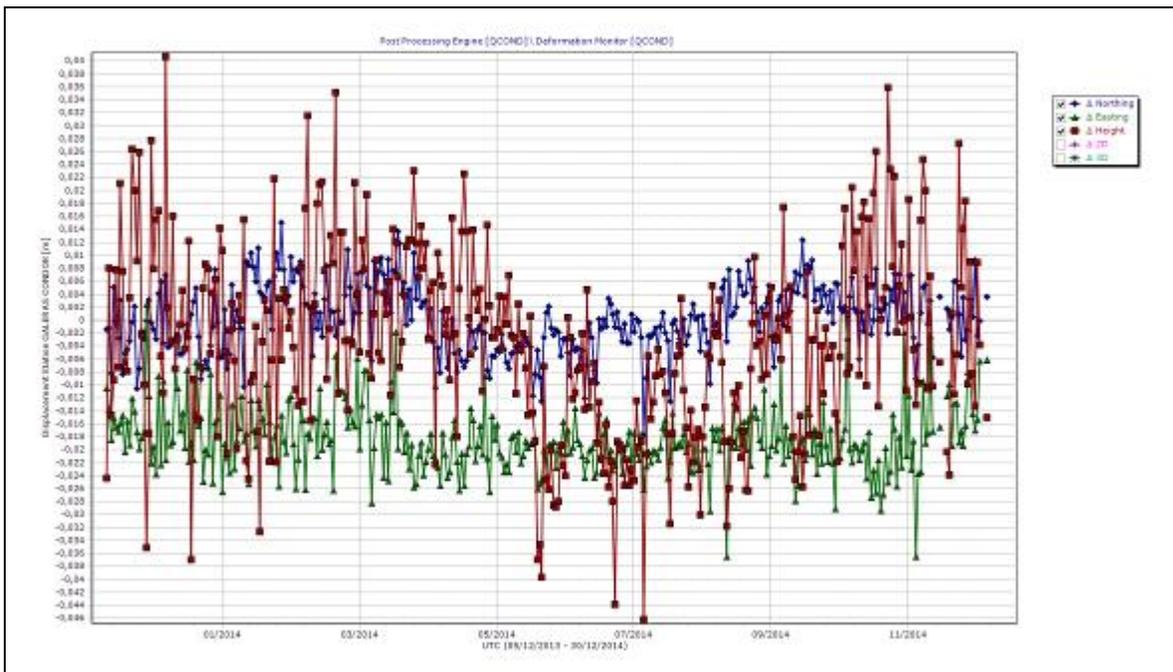


Figura 34. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 5 de diciembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.

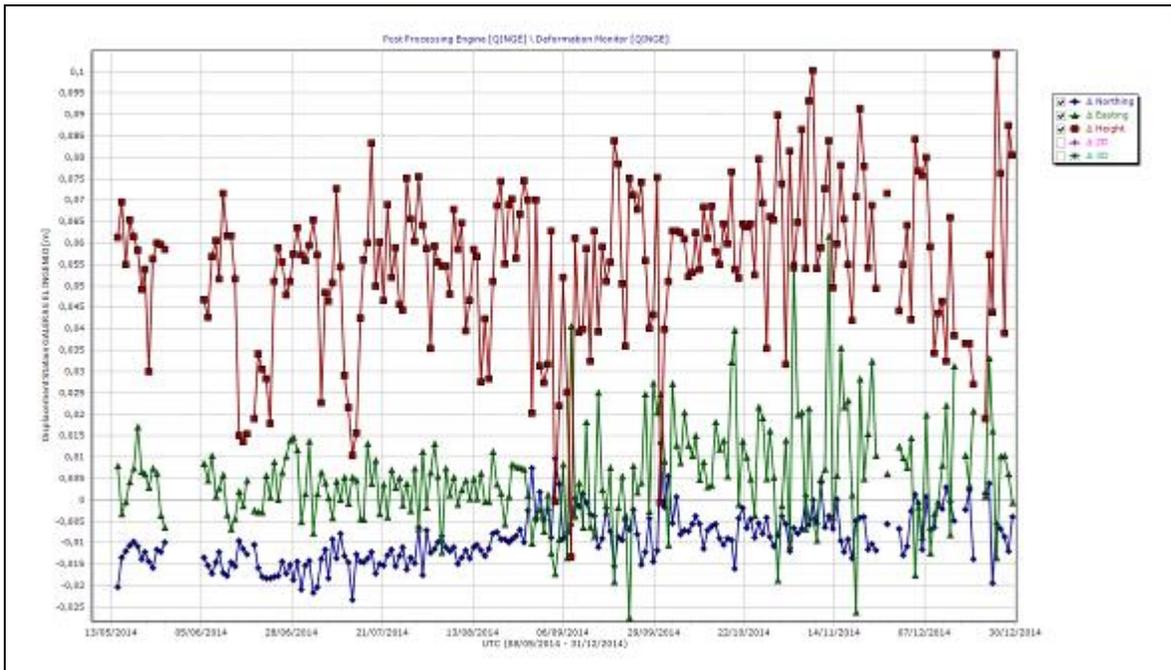


Figura 35. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de mayo y el 31 de diciembre de 2014.

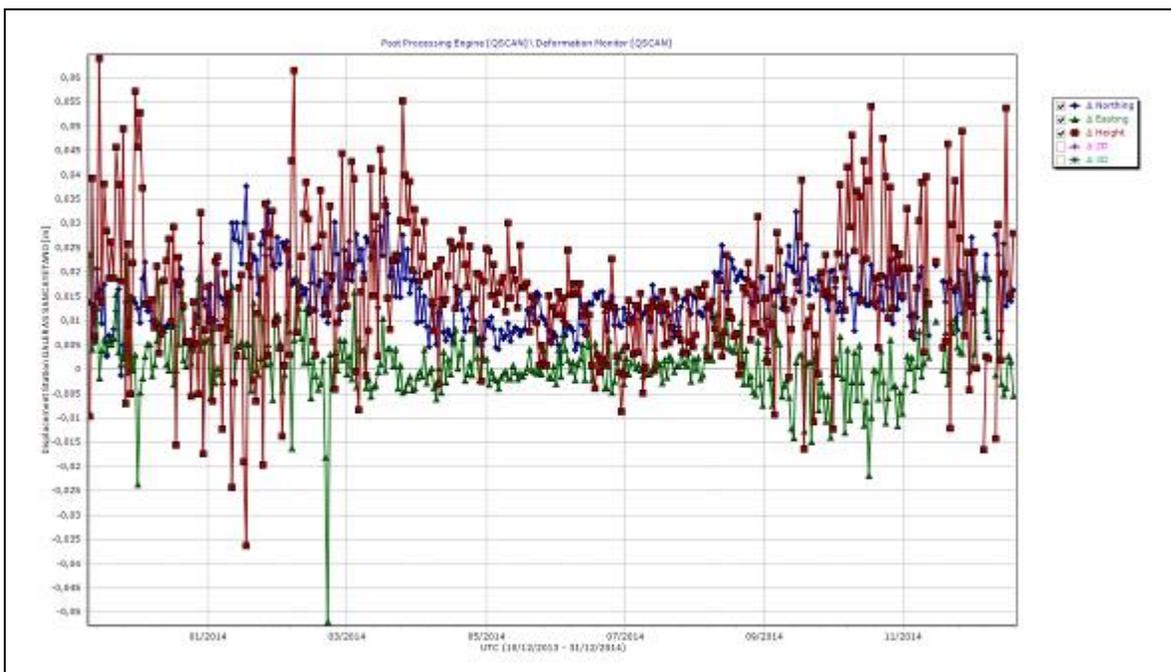


Figura 36. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 10 de diciembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.

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 2014 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, con el sistema E-PERM, e igualmente se continuo con el muestreo de aguas en fuentes termales.

1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO_2

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

En el volcán Galeras se encuentran ubicadas tres estaciones telemétricas de SCANDOAS: 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, diseñado para medir la emisión de gas SO_2 , convirtiendo la luz ultravioleta detectada en señales digitales, éstas señales son el espectro para la evaluación del gas. (Instructivo del APLICATIVO ISOLUCIÓN: IN-AME-OVS-003).

Se obtuvieron escaneos durante todos los días del mes de diciembre, para el día 30 de diciembre se obtiene el mayor flujo de SO_2 registrando 186 Ton/d. Los valores de escaneos estimados para presencia de pluma de dióxido de azufre (SO_2) en la atmósfera durante este mes obtenidos de la estación Alto Jiménez, oscilaron entre las 45 Ton/d para el 8 de diciembre hasta las 186 Ton/d para el 30 de diciembre, valores considerados como bajos Galeras (Figura 37, Tabla 11).

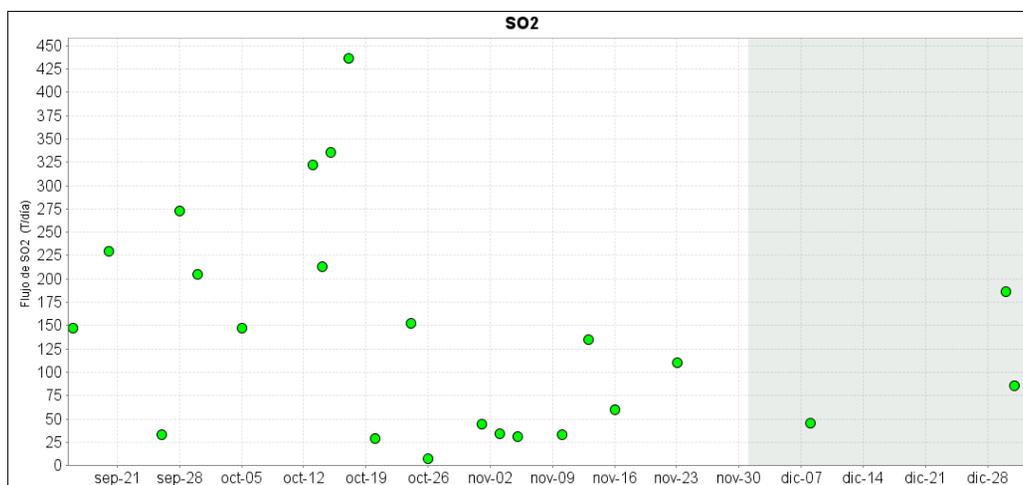


Figura 37. Flujo de emisión de SO_2 registrado desde el 1 de septiembre hasta el 31 de diciembre de 2014, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

Tabla 11. Emisiones de SO₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de diciembre de 2014, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO2 diario	Estación de registro	Instrumento
08-dic-14	01:44 PM	331,7	1	45	Alto Jimenez	SCANDOAS
30-dic-14	07:36 PM	351,6	2,67	186	Alto Jimenez	SCANDOAS
31-dic-14	05:00 PM	338,8	1,31	86	Alto Jimenez	SCANDOAS

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

En las Figuras 38 y 39 se encuentran los valores de flujo de SO₂, velocidad y dirección del viento, en el que se puede observar que existe una relación con estas dos últimas variables y la cantidad de partículas de SO₂ calculadas para el flujo total en el mes de diciembre, se observó que se mantiene una tendencia en la dirección del viento y se presenta variación en la velocidad registrada, lo que podría causar diferencias en el cálculo del flujo para SO₂.

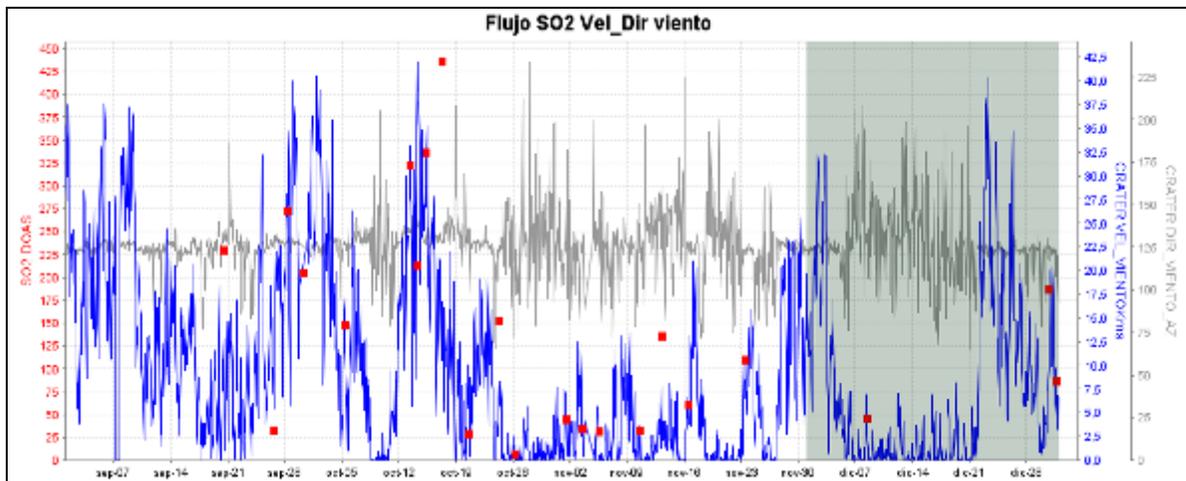


Figura 38. Flujo de emisión de SO₂, dirección y velocidad del viento para el mes de diciembre de 2014.

Entre el 1 y el 7 de diciembre se observa que la velocidad del viento oscila en valores bajos y ocasiona una oscilación grande en el registro de la dirección del viento, lo que probablemente influya en la detección de pluma en las estaciones. Para este periodo se sigue presentando proceso de desgasificación en Galeras, alcanzando para el día 30 de diciembre el valor de flujo más alto para el periodo evaluado.

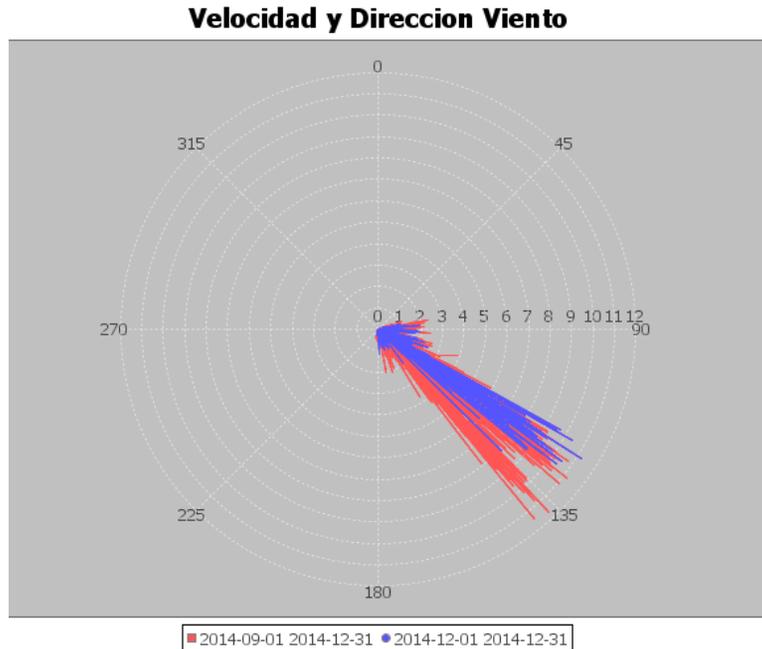


Figura 39. Velocidad y dirección del viento para el mes de diciembre de 2014.

1.4.2. Mediciones del gas Radón - Rn₂₂₂

Flujo de gas Radón no telemétrico:

El monitoreo de gas Rn₂₂₂ en el volcán Galeras, se realizó con el sistema E-PERM, canalizando el gas en tubos de Cloruro de Polivinilo (PVC), en cuyo interior se encuentra un sensor llamado "Electret" con un potencial conocido, acoplado a una cámara de volumen conocido. El análisis de la concentración de Rn₂₂₂ se fundamenta en la capacidad que tiene el isótopo para desintegrarse, produciendo partículas alfa, las cuales ionizan el aire de la cámara de medición, bombardean el sensor y lo descargan. La concentración de Rn₂₂₂, es directamente proporcional a la diferencia de potencial para el sensor e inversamente proporcional al tiempo de análisis.

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).

Los datos de flujo de gas radón en suelo para el mes de diciembre se calcularon según el instructivo IN-AME-OVS-025 (APLICATIVO ISOLUCIÓN V.3), a partir del muestreo realizado en las dos líneas de estaciones establecidas: Línea Galeras y Línea Barranco (cada una de ellas con 10 estaciones) permitiendo determinar la concentración de la removilización de los radionúclidos (U238, Rn 226) (Flexser et al., 1987; Wollenberg et al., 1984/85).

En las Figuras 40 y 41 se encuentran graficados los flujos del isótopo gas radón en suelo (Rn 222), correspondiente a los registros de las estaciones de la línea Barranco y línea Galeras, se puede observar variaciones entre las diferentes estaciones con respecto a meses anteriores. El día 9 de diciembre de 2014, se realizó el retiro de los dispositivos electret de las estaciones para medición, para continuar las medidas a partir de año 2015, por lo que en este mes sólo se tiene el registro de un valor.

En cuanto a los valores máximos de concentración de radón, se evidencia entre estos, el mayor flujo de 3411 pCi/L en suelo, correspondiente a la estación BAR 05 de la línea Barranco para el periodo entre el 29 de noviembre y el 9 de diciembre, considerándose como anomalía de radón para Galeras (flujos >2000 pCi/L). Esto indica que el proceso de difusión del gas en el suelo de Galeras sigue presentándose, pero que además el sistema de fracturas, micro-fracturas y porosidad de las rocas se encuentran abiertas y dinámicas.

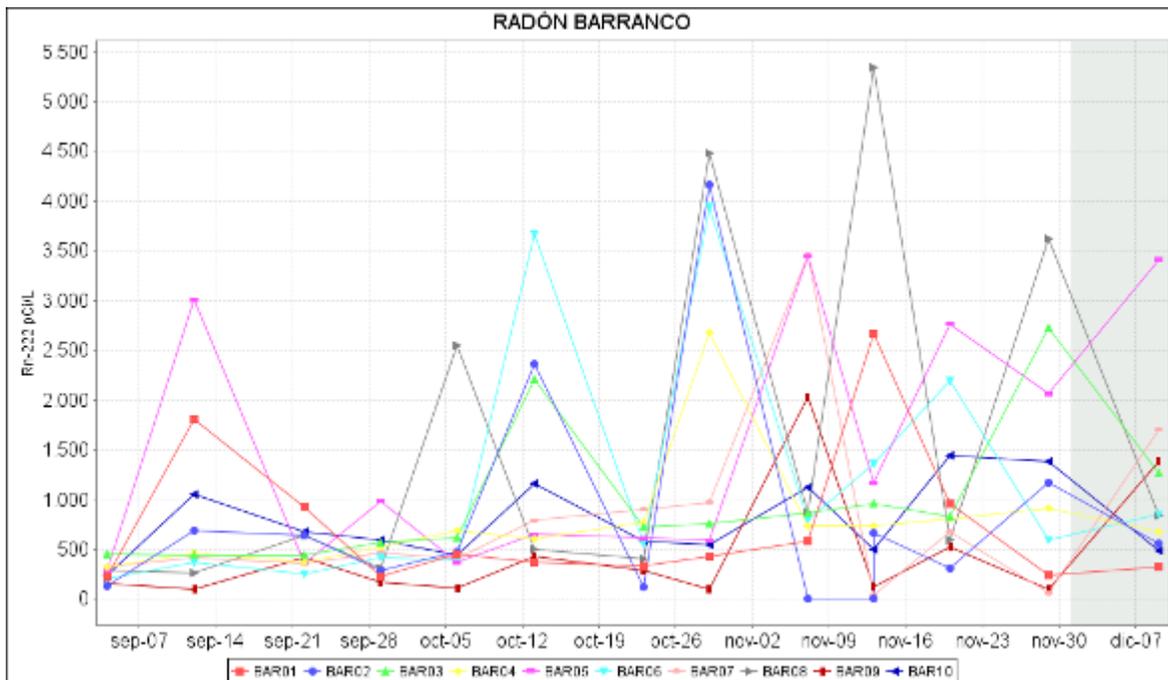


Figura 40. Concentraciones de gas radón en las estaciones ubicadas en la línea Barranco del Volcán Galeras en el periodo septiembre – diciembre de 2014.

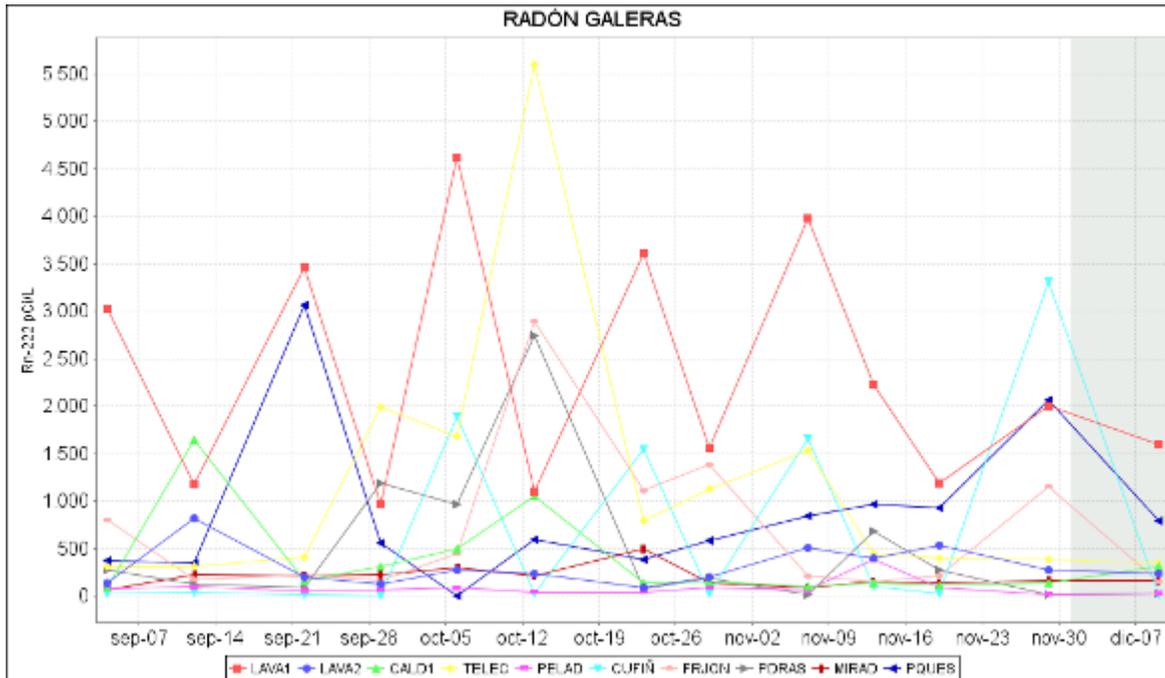


Figura 41. Concentraciones de gas radón en las estaciones ubicadas en la línea Galeras, del Volcán Galeras en el periodo septiembre – diciembre de 2014.

En la Tablas 12 y 13 se encuentran resaltados los mayores valores de flujo de radón durante el mes evaluado, correspondientes para cada una de las líneas Galeras y Barranco respectivamente. Los cuales se consideran dentro de un rango moderado para la actividad de radón en el volcán Galeras.

Tabla 12. Flujo del gas Radón (Rn-222) en suelo (Línea Galeras) – diciembre de 2014.

LÍNEA GALERAS			
ESTACIÓN	PERIODO DE MUESTREO		CONCENTRACIÓN
	INICIAL	FINAL	pCi/L
LAVA 1	29-nov-14	09-dic-14	1592

*Valores de flujo del gas isótopo radón-222 para Galeras: Bajo (0<1400 pCi/L); Moderados (>1400<4000 pCi/L); Alto (>4000<5000 pCi/L); Muy alto (>5000 pCi/L).

Tabla 13. Flujo del gas Radón (Rn-222) en suelo (Línea Barranco) – diciembre de 2014.

LÍNEA BARRANCO			
ESTACIÓN	PERIODO DE MUESTREO		CONCENTRACIÓN
	INICIAL	FINAL	pCi/L
BAR 05	29-nov-14	09-dic-14	3411

*Valores de flujo del gas isótopo radón-222 para Galeras: Bajo (0<1400 pCi/L); Moderados (>1400<4000 pCi/L); Alto (>4000<5000 pCi/L); Muy alto (>5000 pCi/L).

A continuación se presenta, en general, el flujo de radón máximo a partir del mes de enero hasta el mes de diciembre del presente año para el volcán Galeras (Figura 42), resaltado que para el periodo evaluado se tiene un solo dato.

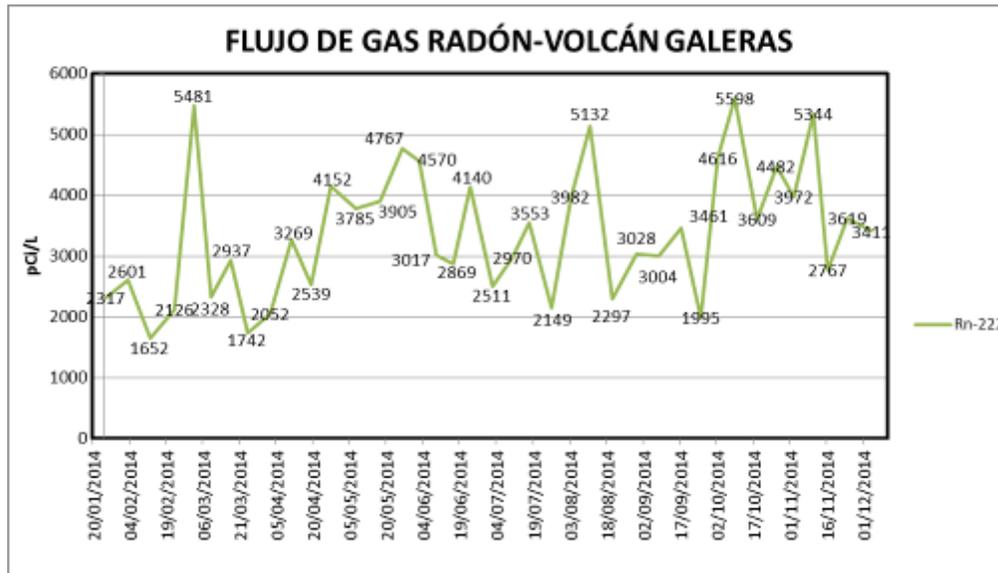


Figura 42. Flujo de radón periodo enero – diciembre de 2014.

Flujo de gas Radón telemétrico:

En las Figuras 43 y 44 se encuentra graficado el comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, se puede observar en la estación Lavas que a mediados del mes hay una concentración máxima de 160.769 Bq/m³ para el día 18 de diciembre, luego se evidencia descenso en la gráfica hasta finalizar el periodo evaluado (Figura 43, Tabla 14). La estación Parques muestra continuidad de datos en el mes de diciembre, presentando para el 10 de diciembre un máximo de 108257 Bq/m³ (Figura 44, Tabla 15).

En ambas estaciones se observa un comportamiento cíclico de incremento y descenso en la concentración a través del tiempo, y se espera tener un mayor tiempo de operación para observar las posibles tendencias.

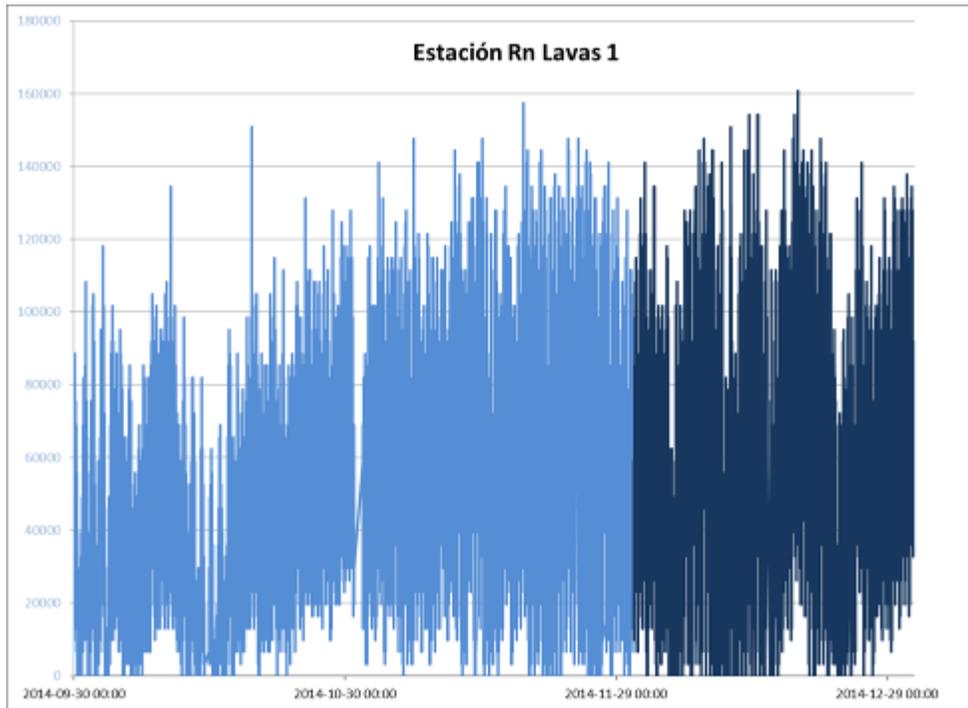


Figura 43. Variación concentración de gas radón en suelo-estación LAVA 1.

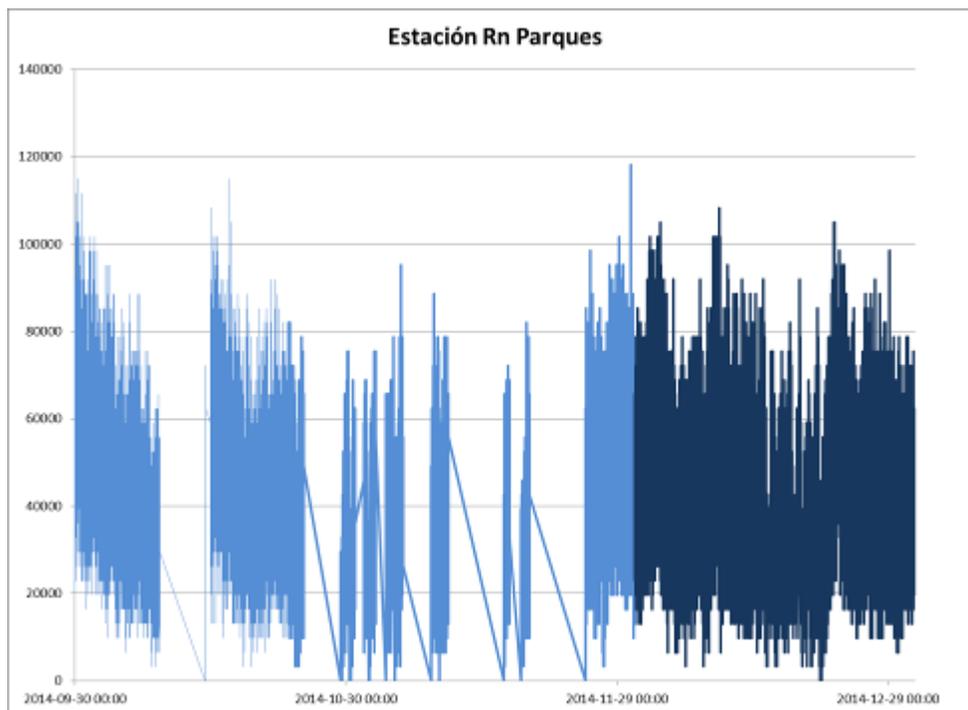


Figura 44. Variación concentración de gas radón en suelo-estación Parques.

Tabla 14. Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Lavas – diciembre de 2014.

Fecha y Hora	Radón Bq/m3
08/12/2014 17:39	147641
11/12/2014 17:36	150923
13/12/2014 18:08	154205
14/12/2014 15:29	154205
18/12/2014 17:43	160769
19/12/2014 03:26	154205
26/12/2014 04:37	141077
29/12/2014 19:08	134513
30/12/2014 16:48	131231
31/12/2014 05:07	137795

Tabla 15. Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – diciembre de 2014.

Fecha y hora	Radón Bq/m3
2014-12-02 16:18	101693
2014-12-03 19:58	104975
2014-12-10 08:18	108257
2014-12-19 05:28	91847
2014-12-21 04:52	85283
2014-12-23 03:01	104975
2014-12-29 03:05	98411

1.4.3. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Galeras

El volcán Galeras cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Río Pasto (A), FT Cehani (B), FT Aguas Agrias (C), FT Agua Blanca (D) y FT Licamancha (E). (Tablas 16).

Tabla 16. Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras - Diciembre 2014.



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

- Conductivímetro: permite hacer mediciones de conductividad eléctrica en aguas.
- Termómetro: permite hacer mediciones de temperatura.
- Para las medidas del pH se utiliza cinta de papel indicador, debido a variaciones en la lectura del equipo multiparámetro.

En la Figura 45 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de Diciembre para las FT de la zona de influencia del volcán Galeras. Los colores en las gráfica indican el estado de acidez o basicidad del manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para pH.



Figura 45. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras - Diciembre 2014.

Las fuentes termales de Galeras presentan durante el mes de diciembre potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2,46 (ácida) y 6,44 (ligeramente ácido).

A continuación se presenta la variación del pH y su relación con la variación de la concentración del ión bicarbonato en las fuentes termales del área de influencia del volcán Galeras para el mes de diciembre. Se puede observar una relativa estabilidad en el comportamiento del pH (Figuras 46 y 47) y también que sigue un comportamiento estable en la concentración del ion HCO_3^- en las FT Río Pasto y Cehani, evidenciándose para el mes de diciembre, en cuanto a la FT Aguas Agrias ausencia permanente de este ión. El pH presentó un ligero descenso en las FT Aguas Agrias, Río Pasto y Cehani aunque la variación no es significativa.

En la FT Aguas Agrias no hay presencia del ion HCO_3^- , por lo tanto esta variable no afecta en la variación del pH de este manantial, pero si la presencia de especies iónicas en la misma, como lo indica la conductividad eléctrica, además por ser altamente sulfatada, en la cual podrían estar ocurriendo procesos continuos de oxidación del sulfuro de hidrógeno (H_2S), del azufre nativo (SO_4) o del dióxido de azufre (SO_2).

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

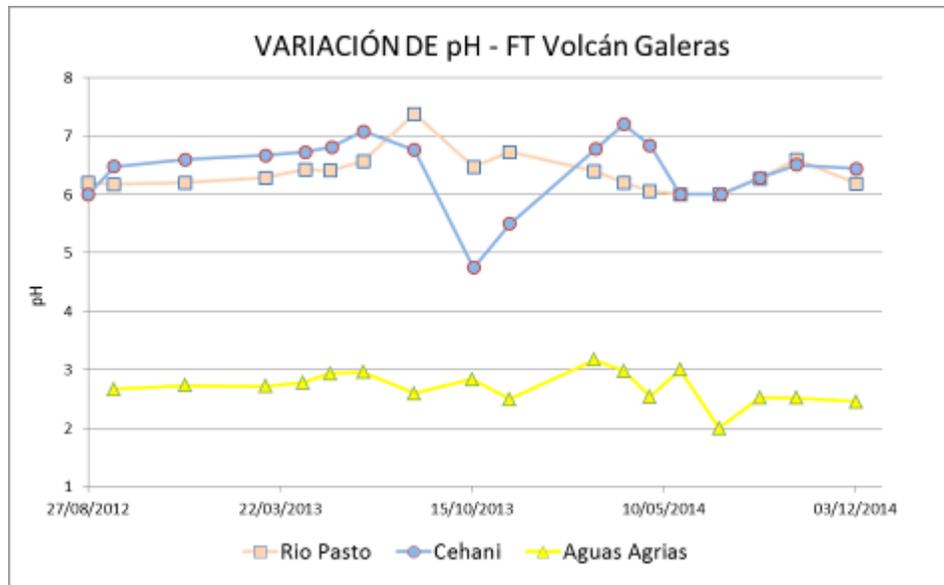


Figura 46. Variación del pH de las FT de Volcán Galeras - Diciembre 2014.

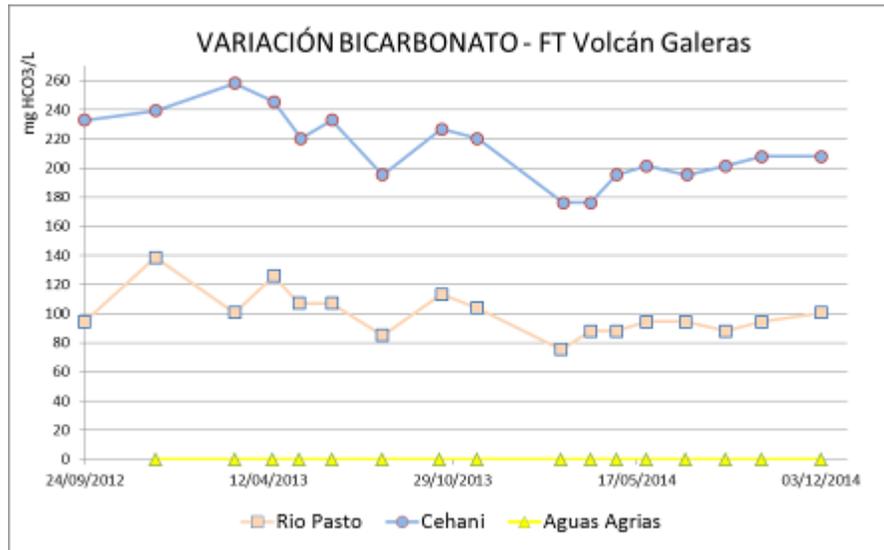


Figura 47. Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras – Diciembre 2014.

En las Figuras 48 y 49 se pueden observar las variaciones de temperatura y conductividad eléctrica en el tiempo con respecto a meses anteriores, correspondientes a las FT de la zona de influencia del volcán Galeras registradas en trabajo de campo en el mes de diciembre. Se observa un incremento de la temperatura en las tres fuentes termales muestreadas, el mayor de ellos en la FT Rio Pasto alcanzando los 45,4 °C, y coincide con el aumento en la conductividad eléctrica en las mismas.

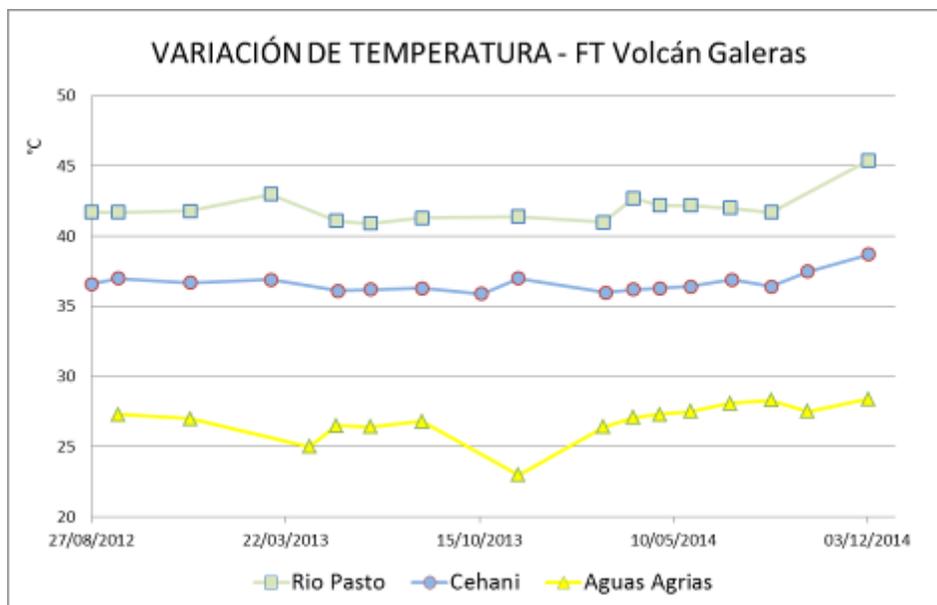


Figura 48. Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - Diciembre 2014.

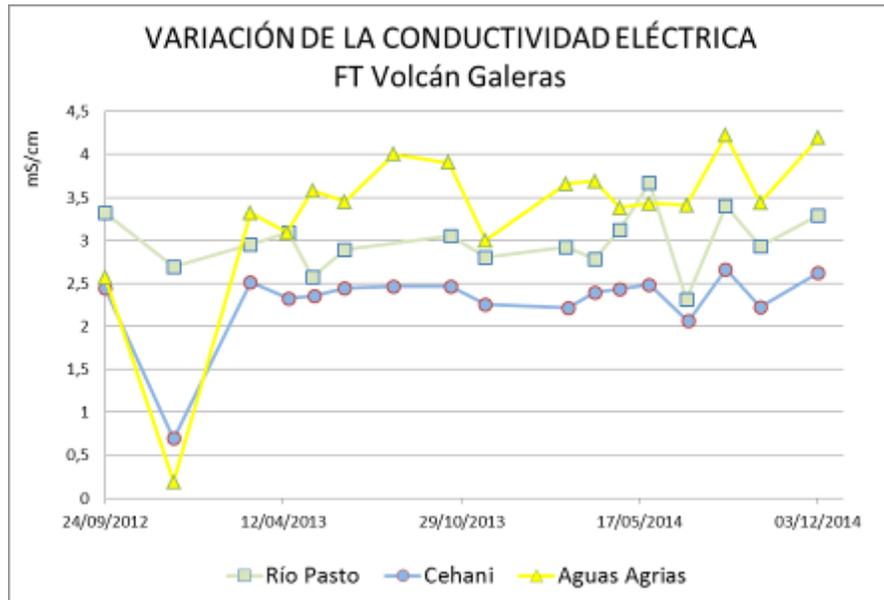


Figura 49. Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - Diciembre 2014.

Los manantiales de Galeras aquí registrados se clasifican como termales (Tabla 17), de acuerdo a su temperatura:

Tabla 17. Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.

TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN
20-35°C	Aguas hipotermales
35-45°C	Aguas mesotermales
45-100°C	Aguas hipertermales
100-150°C	Aguas supertermales

- **Fuente termal Río Pasto**

Temperatura superficial: 45,4°C (Temperatura registrada en diciembre de 2014, Figura 50).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 45°C y 100°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presentó una conductividad eléctrica de 3,29mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

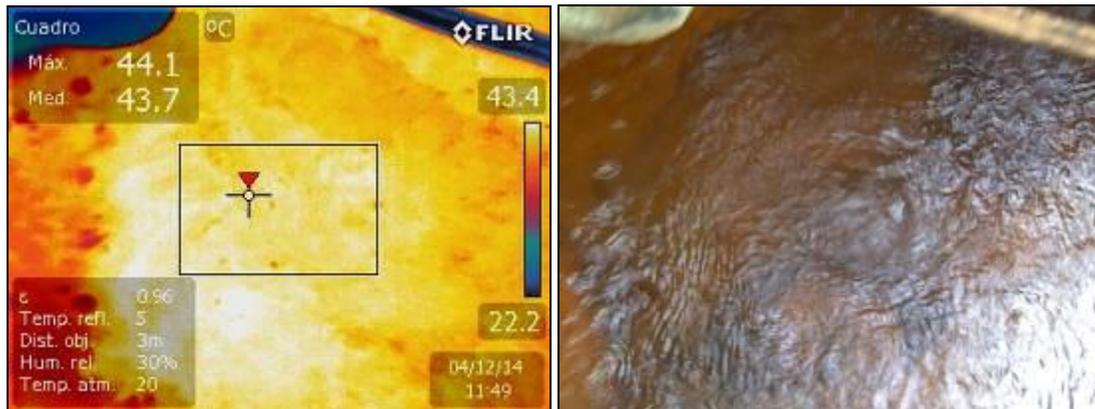


Figura 50. Imagen térmica FT Rio Pasto - Volcán Galeras - Diciembre 2014.

- **Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 28,4°C. (Temperatura registrada en diciembre de 2014, Figura 51).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 30°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presentó una medida de conductividad eléctrica de 4,19mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

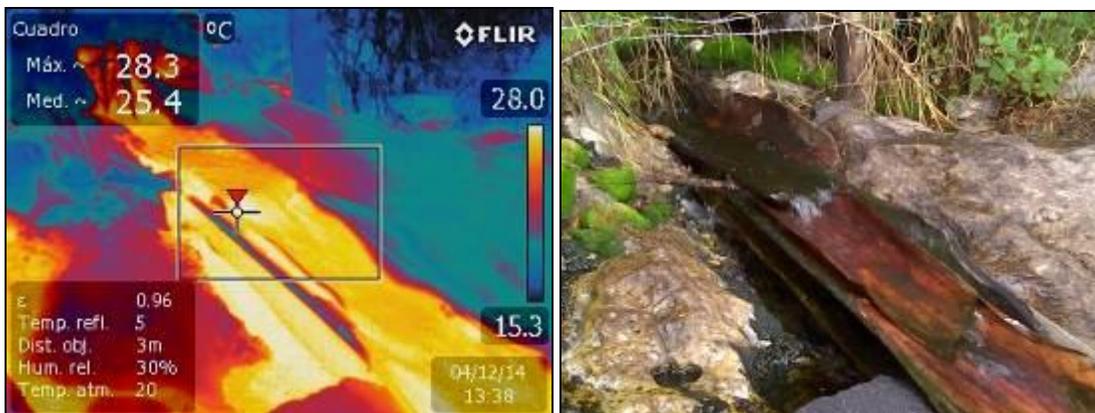


Figura 51. Imagen térmica FT Aguas Agrias - Volcán Galeras - Diciembre 2014.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 38,7°C. (Temperatura registrada en diciembre de 2014, Figura 52).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 35°C y 45°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presentó una medida de conductividad eléctrica de 2,62mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

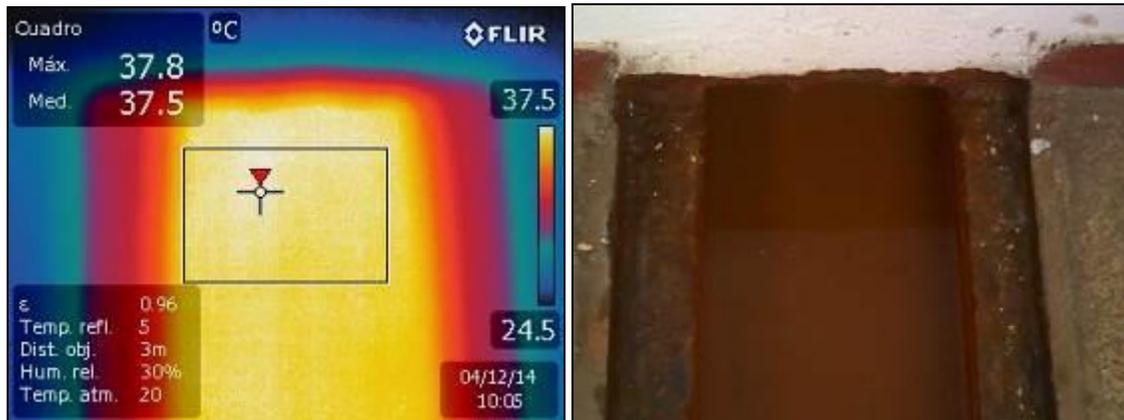


Figura 52. Imagen térmica FT Cehani - Volcán Galeras - Diciembre 2014.

1.5. ELECTROMAGNETISMO

Se realizaron muestreos de potenciales espontáneos en las cuatro estaciones dispuestas para dichas medidas: La Y, Peladitos, Urcunina y Lavas, ubicadas en la zona de influencia del volcán Galeras y se tuvo registro de las estaciones de campo Magnético (Frailejón, barranco y Cráter) y eléctrico (Frailejón y Barranco) – (ver ANEXO 1)

1.6. 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 Alto y Bruma.

Condiciones favorables de clima permitieron observar emisiones de gases la mayor parte del mes, exceptuando los días 24 y 25 de diciembre de 2014, 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 y la mayor altura de columna estuvo cerca a los 200 m sobre la cima. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, sector norte y occidente del cono volcánico.

En las Figuras 53 a 61 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.



Figura 53. Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 5 de diciembre de 2014 desde la cámara de Barranco.



Figura 54. Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 6 de diciembre de 2014 desde las cámaras de Barranco y Bruma.



Figura 55. Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 7 de diciembre de 2014 desde las cámaras de Bruma y Barranco.



Figura 56. Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 8 de diciembre de 2014 en horas de la mañana, desde las cámaras de Bruma y Barranco.



Figura 57. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 10 de diciembre de 2014, en horas de la mañana 7:43 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma.



Figura 58. Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 13 de diciembre de 2014, en horas de la mañana, desde la cámara de Bruma.



Figura 59. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 15 de diciembre de 2014, en horas de la mañana 7:47 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.



Figura 60. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 26 de diciembre de 2014, en horas de la tarde 3:53 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.



Figura 61. Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 31 de diciembre de 2014, en horas de la tarde 3:16 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.

1.7. 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 2014

2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 62 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.

En la Tabla 18, se consigna el nombre de cada estación con sus características. En la Figura 63 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones.

Las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de diciembre de 2014, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 98% (Figura 63).

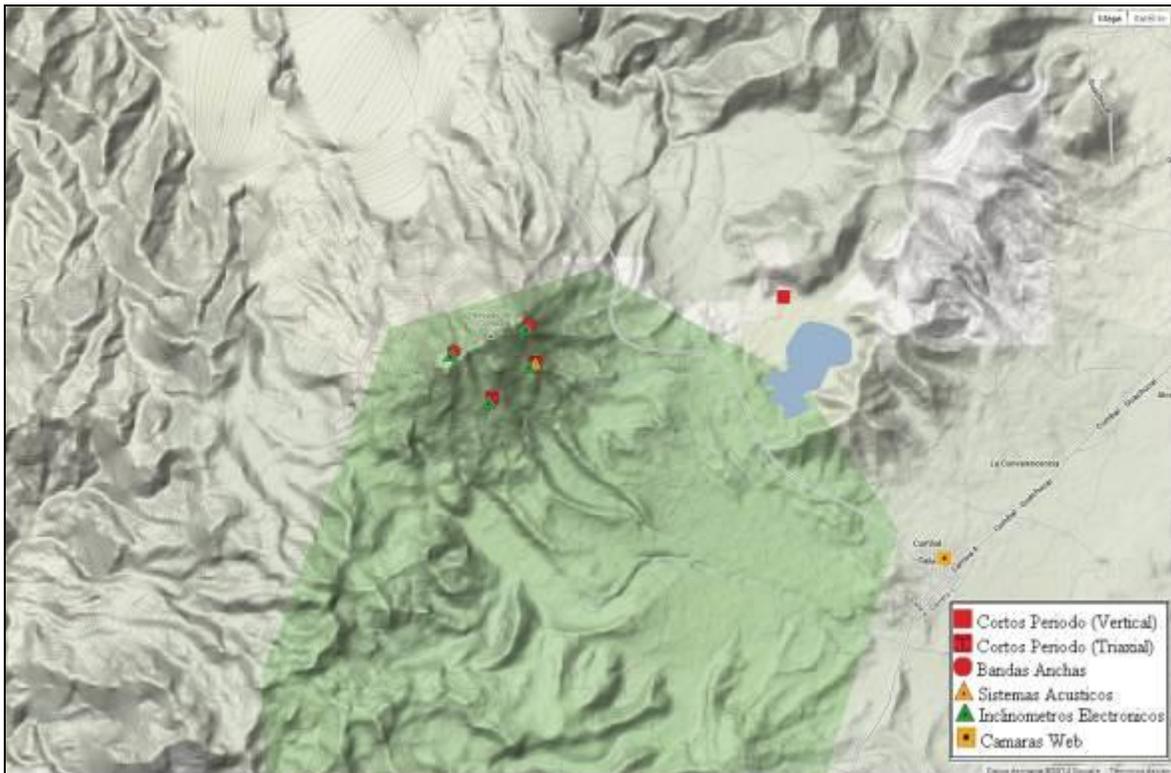


Figura 62. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de diciembre de 2014.

Tabla 18. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2014.

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

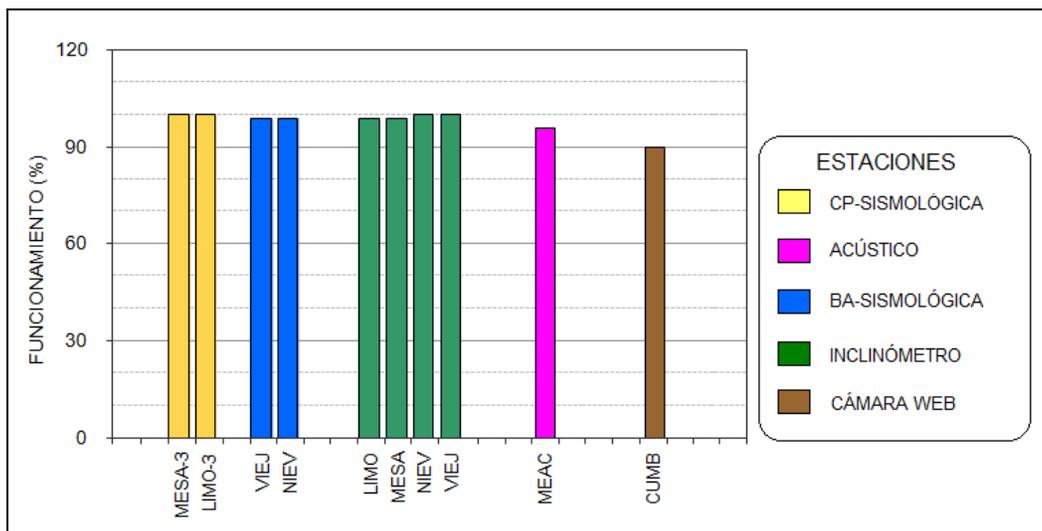


Figura 63. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de diciembre de 2014.

2.2. SISMOLOGÍA

En el transcurso del periodo evaluado, se observó que la sismicidad dominante en ocurrencia, es la relacionada con dinámica de fluidos de fuente transitoria en el tiempo, eventos LPS, seguida por los eventos clasificados como HYB, asociados con fractura y posterior movimiento de fluidos (Figura 64, Tabla 19).

Con respecto al mes anterior se tiene un incremento en la ocurrencia de eventos cercano al 58%, incremento observado principalmente en los eventos tipo VT (Figura 65).

Para el periodo evaluado se tuvo registro de tres eventos tipo Tornillo, (TOR) asociados con movimiento de fluidos en los que las características físicas y geometría de la cavidad propician una

gran duración con un contenido frecuencial monocromático, en comparación con el periodo anterior se tiene un descenso en la ocurrencia diaria (Figuras 64 y 65).

En la Figura 66, se muestra una comparación en términos porcentuales de la ocurrencia de la sismicidad registrada entre los meses de septiembre y diciembre de 2014, esta información permite corroborar de manera porcentual, que los eventos más representativos de la actividad volcánica en Cumbal, son los LP.

Tabla 19. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Cumbal, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, incluyendo los registros clasificados como volcánicos, se resalta en color azul el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						TOTAL
	vt	lps	tre	hyb	tor	vol	
01-sep-14 a 30-sep-14	156	368	94	158	46	5	827
01-oct-14 a 31-oct-14	57	237	35	96	2	0	427
01-nov-14 a 30-nov-14	53	244	26	111	10	0	444
01-dic-14 a 31-dic-14	104	383	27	183	3	0	700

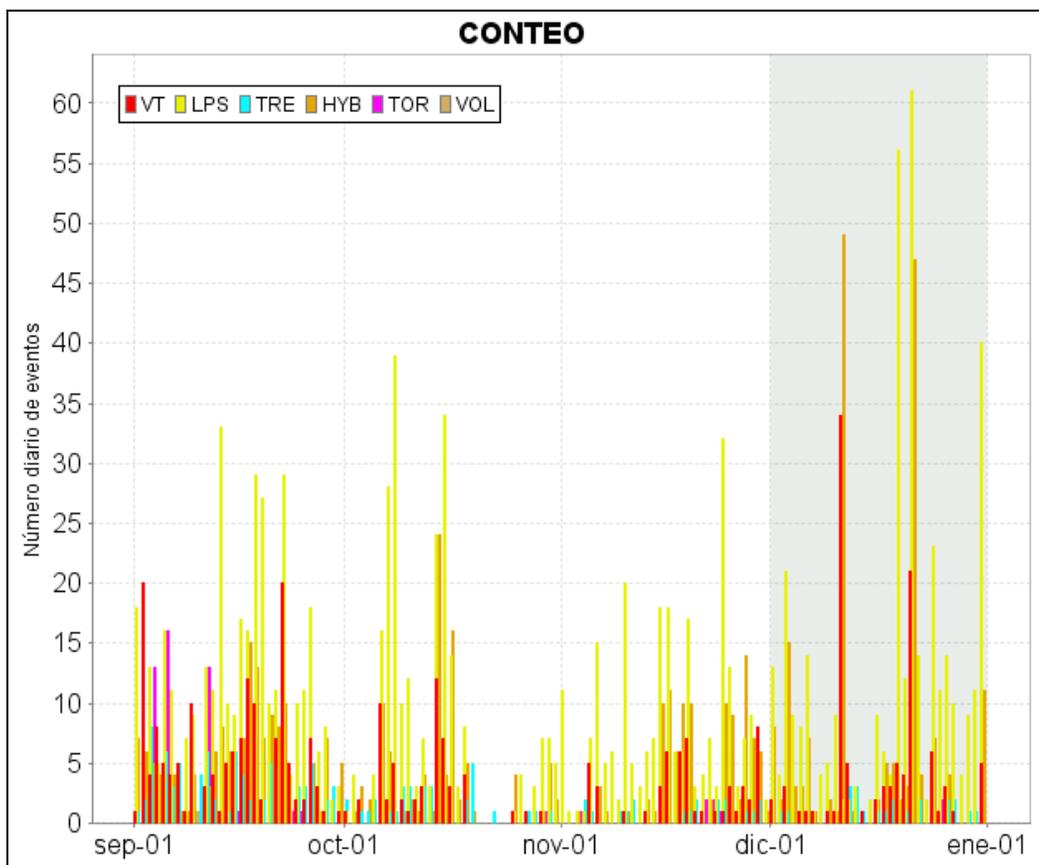


Figura 64. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Cumbal, entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

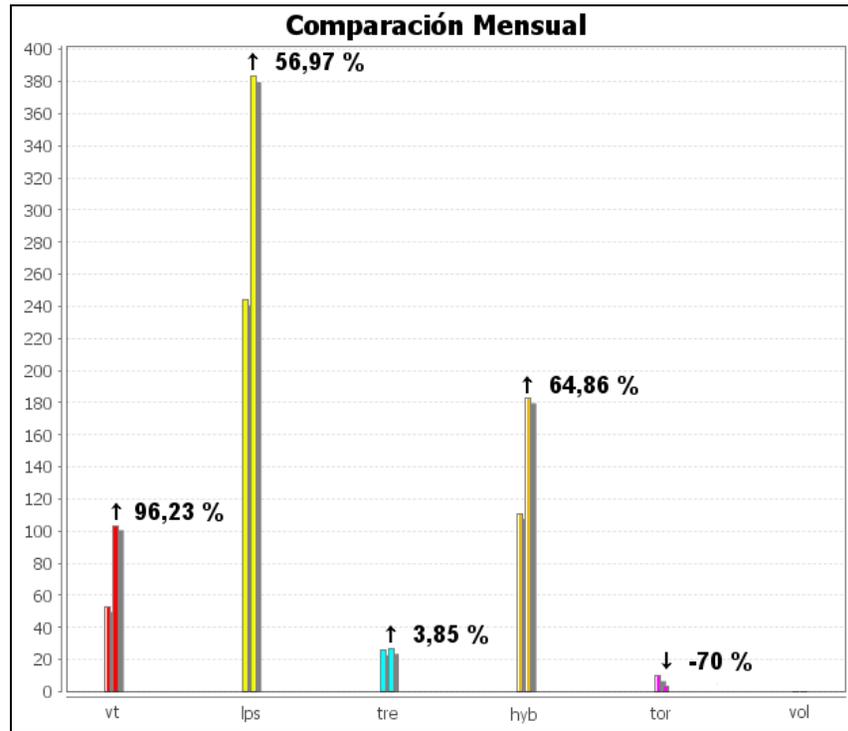


Figura 65. Relación porcentual para Cumbal, que compara el número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de diciembre de 2014, con respecto al mes de noviembre de 2014.

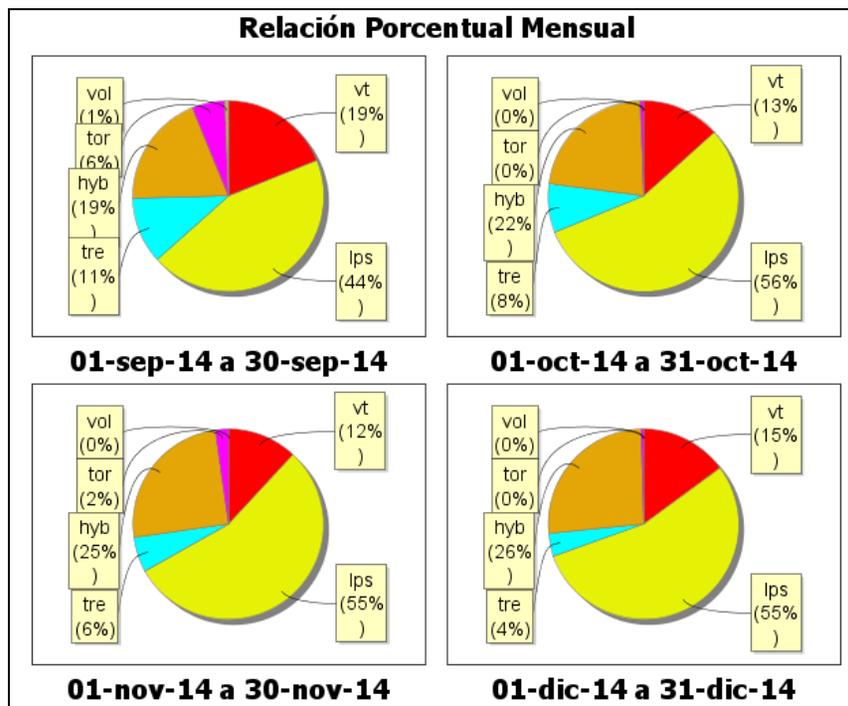


Figura 66. Relación porcentual para Cumbal, que compara el número de eventos por tipo ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, tomando periodos mensuales.

De la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de los eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR) registrados uno el 19 y dos, el 25 de diciembre, los cuales presentaron frecuencias dominantes entre 1.60 y 4.98 Hz (Figura 67), y duraciones entre 22 y 105 segundos. En las Figuras 68 y 69 se presentan a manera de ejemplo, el registro de los eventos TOR ocurridos el 25 de diciembre de 2014.

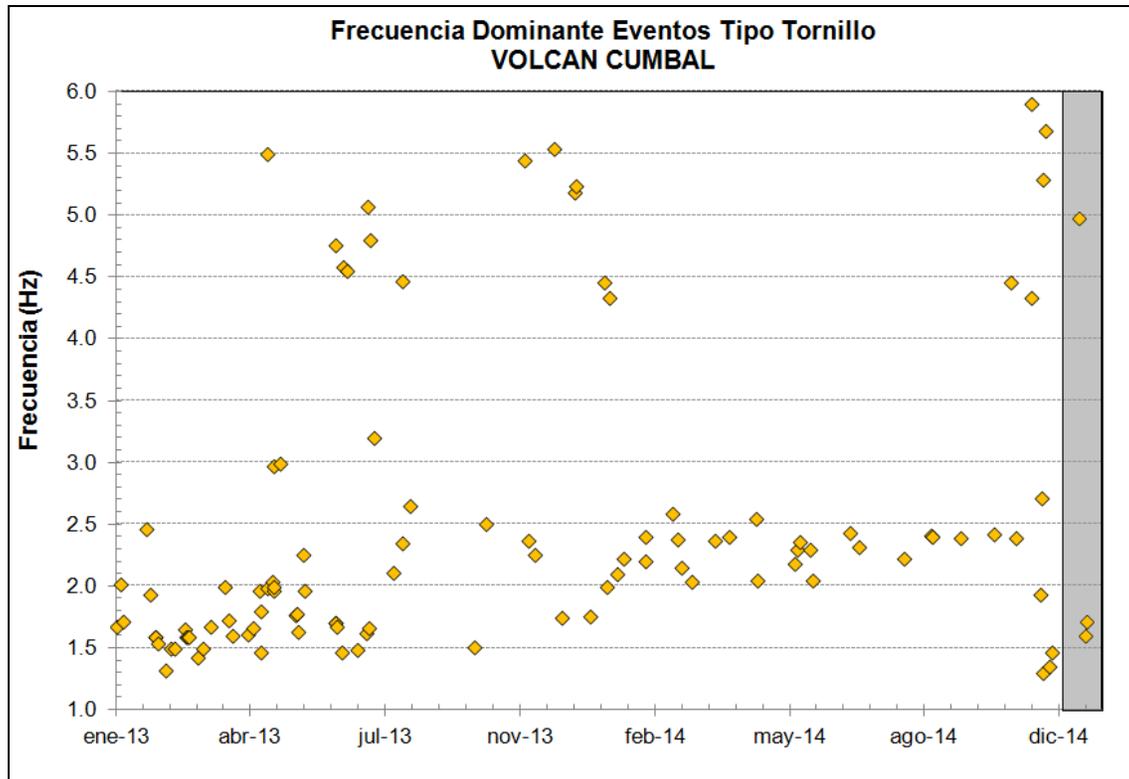


Figura 67. Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por la estación sísmica La Mesa, instalada en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2014, resaltando los eventos registrados en el mes de octubre de 2014 en el recuadro gris.

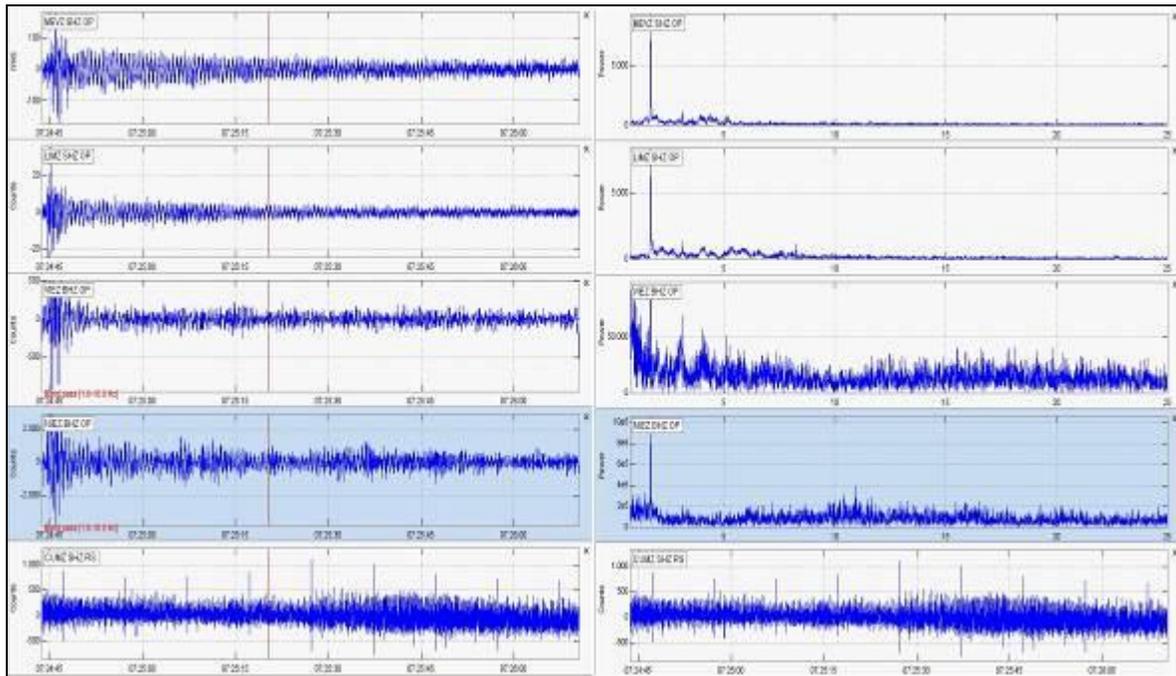


Figura 68. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 25 de diciembre de 2014 a las 2:24 a.m., registrando 80 segundos de duración.

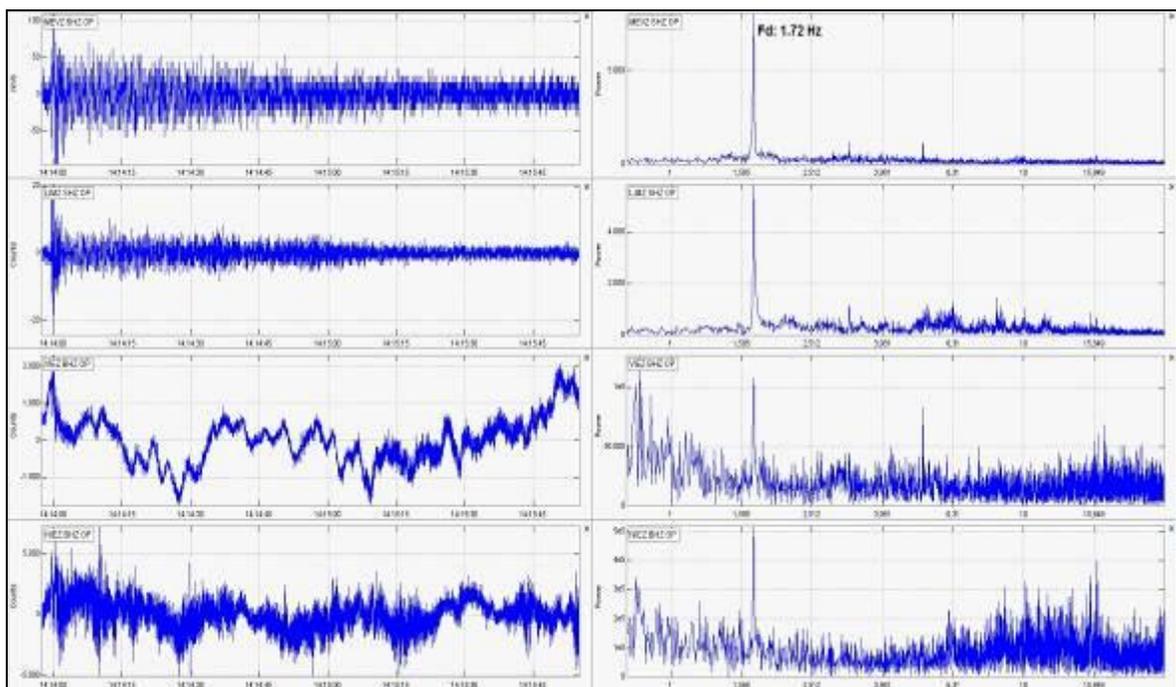


Figura 69. Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 25 de diciembre de 2014 a las 9:13 a.m., registrando 105 segundos de duración.

Con relación a los eventos tipo VT e HYB, fue posible localizar 41 sismos, en su mayoría se ubicaron muy próximos al cráter de Cumbal, a profundidades superficiales. Las profundidades fluctuaron entre 0.5 y 6.3 km respecto a la cima volcánica y las magnitudes locales entre -0.6 y 2.6 en la escala de Richter (Figura 70). Las distancias epicentrales oscilaron entre 0.1 y 4.4 km.

El 83% de los eventos localizados presentaron magnitudes menores a 1 en la escala de Richter.

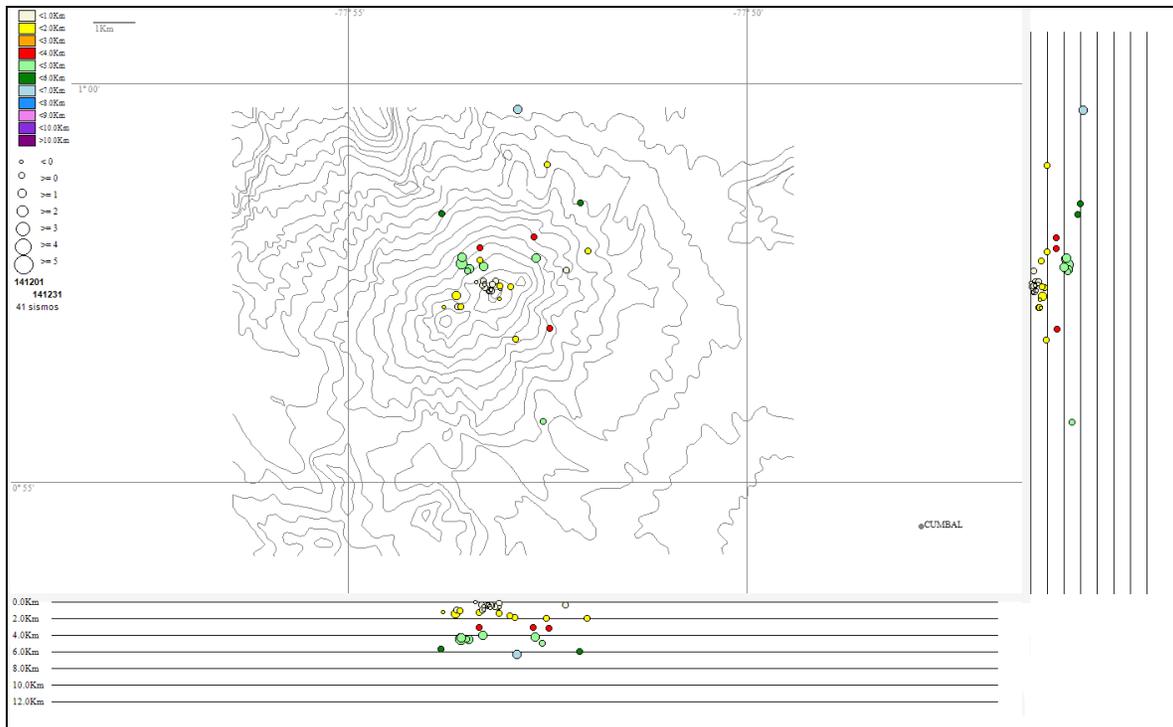


Figura 70. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 31 de diciembre de 2014 en el complejo volcánico de Cumbal. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

En cuanto a los procesos de deformación del edificio volcánico se observó que para el periodo evaluado, la componente Este del inclinómetro La Mesa, muestran continuidad en su tendencia ascendente, con 15 μ rad desde el 6 de noviembre, mientras la componente de inclinación Norte presenta estabilidad (Figura 71). Continua el comportamiento ascendente en la componente Norte de la estación Limones, cuya variación desde el 4 de abril de 2014, es de 10 μ rad, su componente Este mostro estabilidad durante el periodo evaluado (Figura 72). De igual forma se observó estabilidad en los registros de los inclinómetros electrónicos La Nieve y Punta Vieja (Figuras 73 y 74).

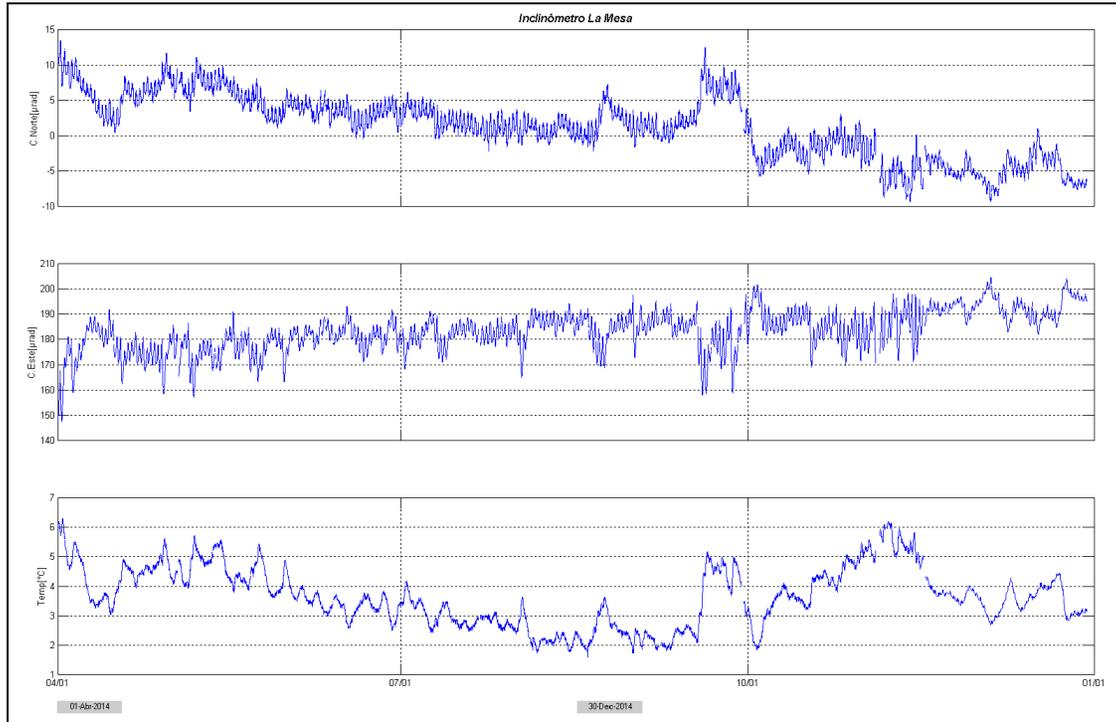


Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

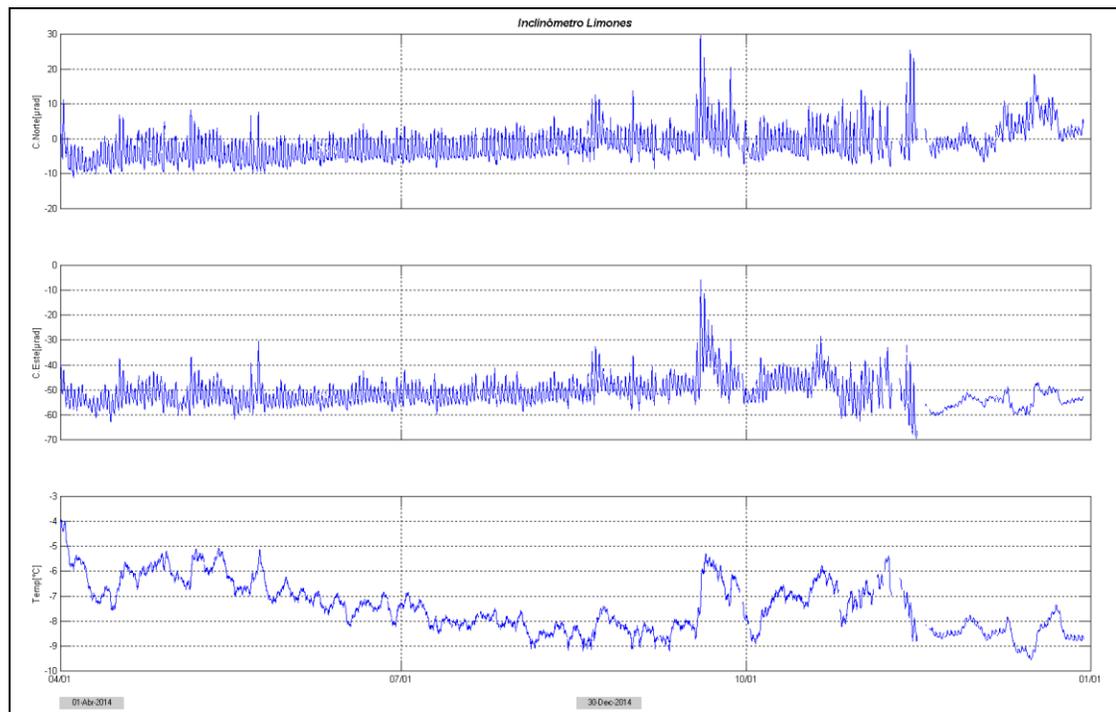


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

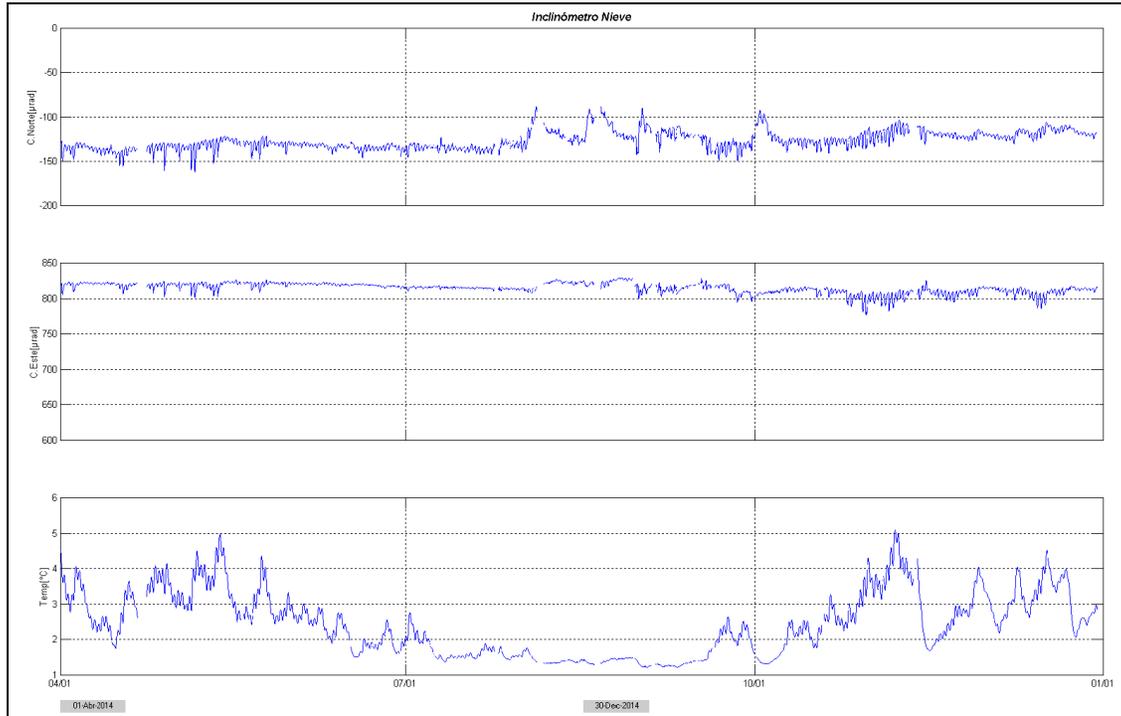


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

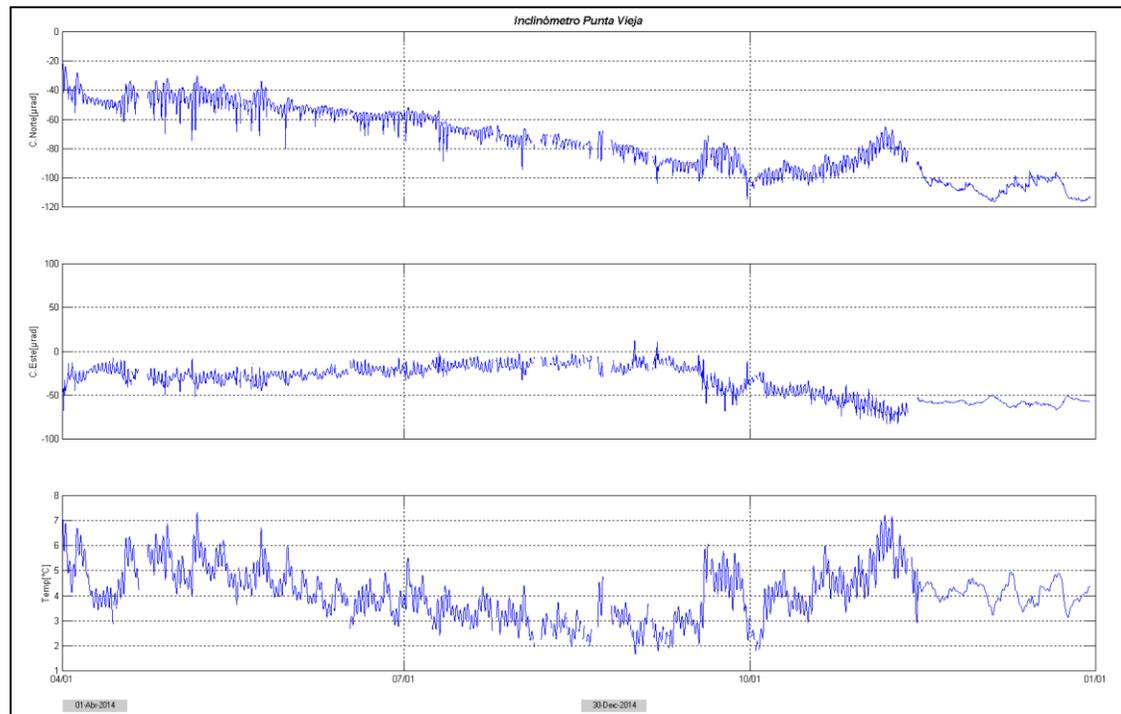


Figura 74. Componentes de inclinación Norte, Este, temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Condiciones de clima favorables durante los días 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20 y 21 de diciembre de 2014 permitieron a través de la cámara instalada en la cabecera del municipio de Cumbal, observar emisiones de gases de color blanco, principalmente desde el campo fumarólico El Verde (sector norte, Volcán Cumbal) y desde el campo fumarólico Rastrojo (Volcán Mundo Nuevo), con alturas de columna y dispersión variables por acción de los vientos.

En las Figuras 75 a 81 se muestran algunas imágenes relacionadas a estos procesos de emisión de gases en Cumbal.

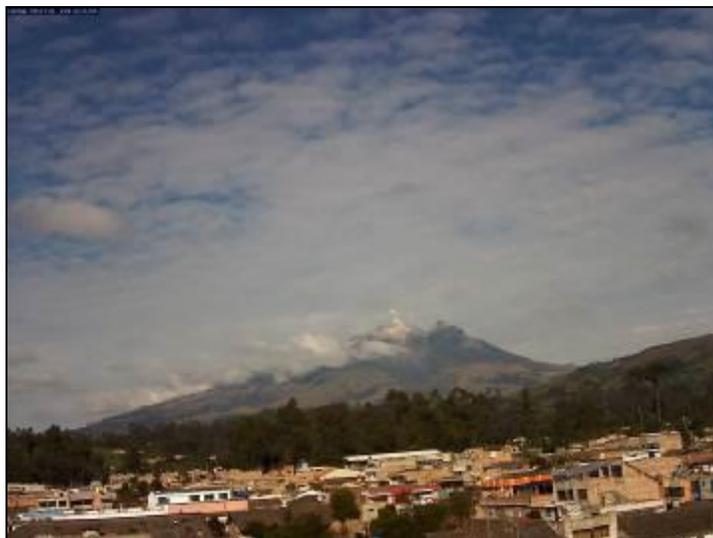


Figura 75. Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 6 de diciembre de 2014, a las 8:47 de la mañana, en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.

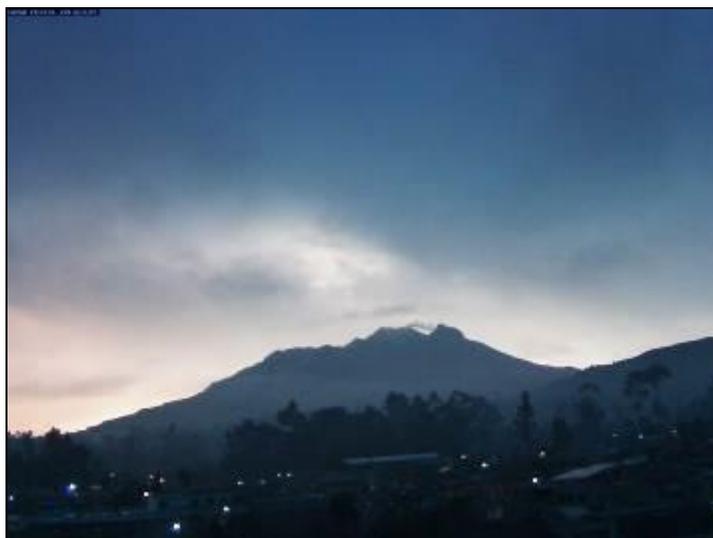


Figura 76. Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 7 de diciembre de 2014, a las 6:12 p.m., en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.



Figura 77. Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 11 de diciembre de 2014, a las 5:57 p.m., en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.

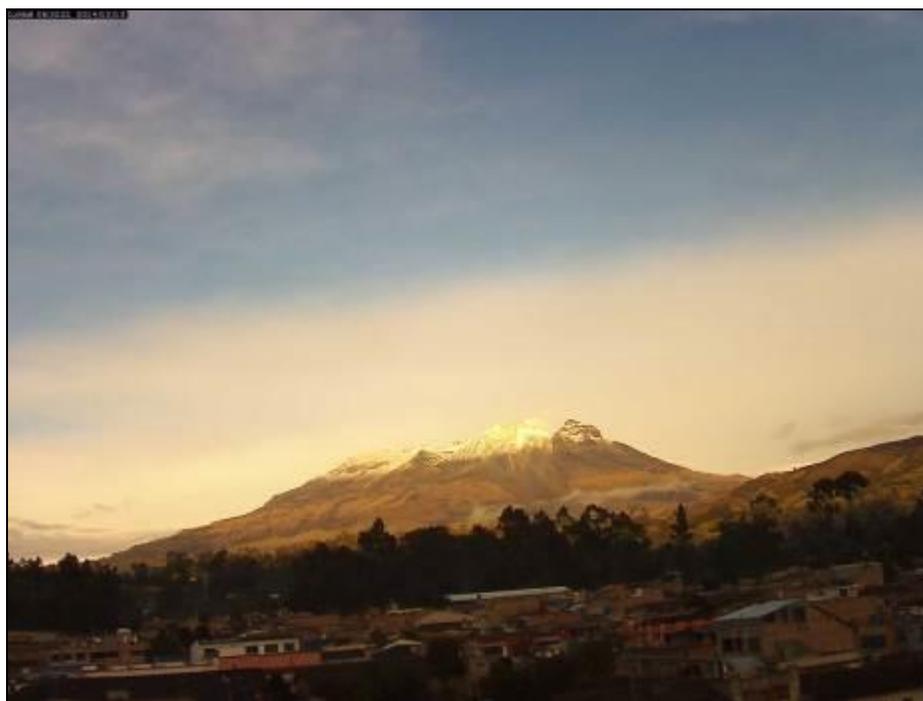


Figura 78. Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 13 de diciembre de 2014, a las 6:32 de la mañana, en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.



Figura 79. Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 16 de diciembre de 2014, a la 1:56 de la tarde, en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.



Figura 80. Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 19 de diciembre de 2014, a las 7:56 de la mañana, en la fotografía se observa emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde.



Figura 81. Imagen del Complejo Volcánico Cumbal, capturada desde el municipio de Cumbal, el 21 de diciembre de 2014, a las 6:22 de la mañana, en la fotografía se observa emisión de gases.

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 2014 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 2014

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran ubicados al suroeste del país, en el departamento de Nariño, más exactamente en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15.5 km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal. Por su parte, el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16.5 km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal (Figura 82).

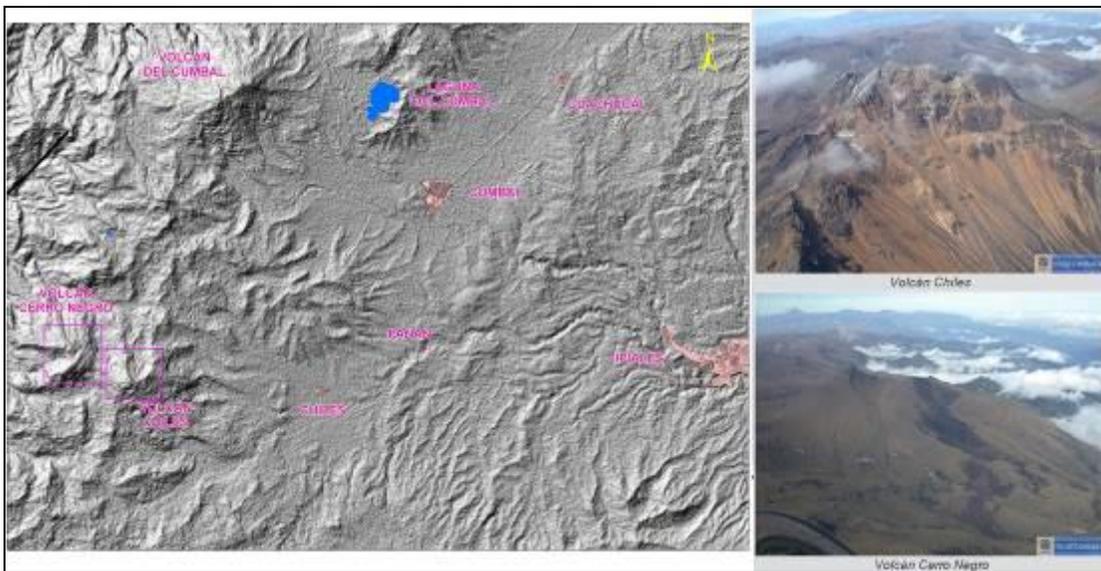


Figura 82. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

3.2. RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha y tres inclinómetros electrónicos (Figura 83, Tabla 20).

Como complemento al monitoreo se tiene una estación permanente para el seguimiento de la temperatura en la fuente termal Baño Grande, ubicada en cercanías del cabildo Indígena de Chiles (Figura 83). Adicionalmente, se cuenta con una red de monitoreo de muestreo de aguas en cuatro fuentes termales (Figura 84, Tabla 21).

De igual forma se cuenta con un sensor de presión acústica, ubicado en cercanía a la estación sísmica Canguil, también se tiene una cámara Web instalada en la cabecera de Nazate.

Con respecto a la red de vigilancia de los volcanes Chiles y Cerro Negro se resalta que el día domingo 21 de diciembre de 2014 hacia las 8:25 a.m., el sensor sísmico de la estación El Morro mostró en su registro señales asociadas con pisadas en la vecindad del sitio de ubicación de la misma, posteriormente hacia las 8:36 a.m. la estación deja de enviar señal sísmica y envía únicamente la señal portadora del radio, finalmente a las 8:49 a.m. se pierde totalmente la señal de la estación.

El daño causado a la repetidora instalada en esta estación también impide la transmisión de datos desde otras estaciones como son: Panán (sismómetro) y Canguil (sismómetro y acústico), que si bien se ubican en otros sectores del volcán, repiten sus señales en la estación El Morro.

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 93% (Figura 85).

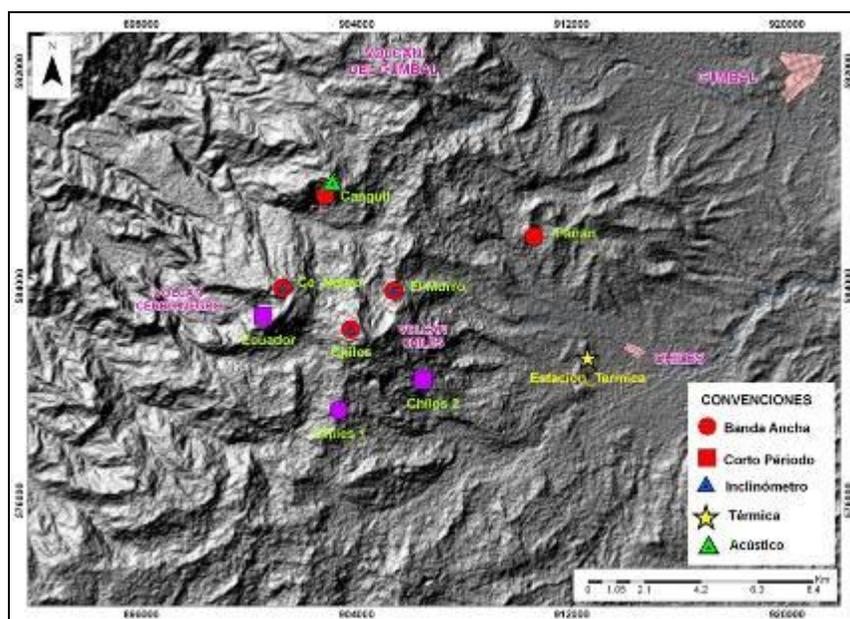


Figura 83. Estaciones sísmicas y de deformación cortical para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.

Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre de 2014.

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	Inclínómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
El Morro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1,9	NNE	4068
I. El Morro	Digital	Inclínómetro Electrónico	Biaxial	1,9	NNE	4068
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclínómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750

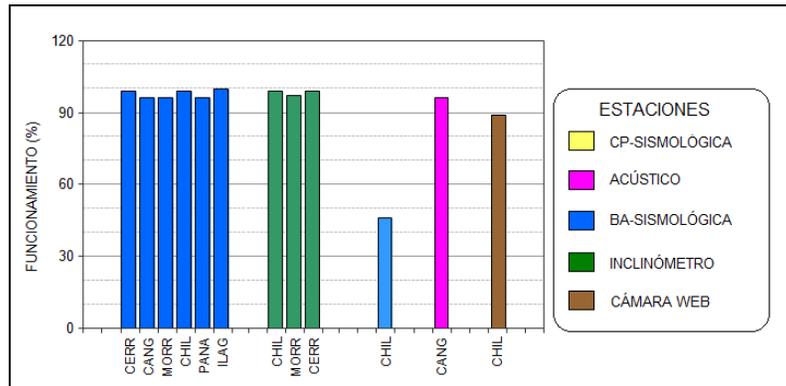


Figura 85. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de diciembre de 2014.

3.3. SISMOLOGÍA

A partir del 29 de septiembre de 2014, la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro, localizados en la frontera Colombo-Ecuatoriana registró un incremento de la actividad sísmica de estos volcanes, totalizando hasta el 31 de diciembre alrededor de 338.691 sismos asociados con procesos de fracturamiento de roca (Figura 86, Tabla 22). Para el periodo evaluado se tuvo un promedio diario de ocurrencia de 2605 sismos, con un máximo para el día 29 de diciembre, con 3966 eventos. Y desde el mes de noviembre de 2013, se tiene un aproximado de 443202 sismos.

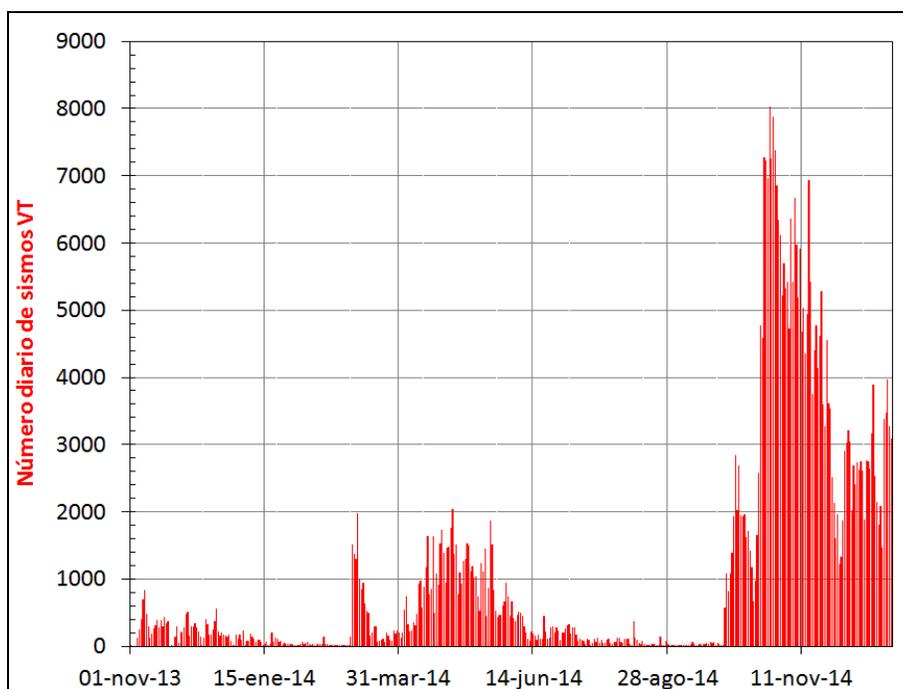


Figura 86. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014.

Con respecto al mes anterior se observa un descenso en la ocurrencia diaria de eventos, descenso cercano al 42% (Figura 86, Tabla 21).

Tabla 22. Número de eventos volcánicos por tipo, para el volcán Chiles, ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-sep-14 a 30-sep-14	2424	2424
01-oct-14 a 31-oct-14	116394	116394
01-nov-14 a 30-nov-14	139893	139893
01-dic-14 a 31-dic-14	80780	80780

De la sismicidad registrada fue posible localizar 258 sismos, ubicados en su mayoría entre 1 y 6 km al suroccidente del volcán Chiles, con profundidades promedio entre 2 y 5 km respecto a la cima volcánica; las magnitudes mostraron un rango entre 0.1 y 4.8 en la escala de Richter, cerca del 15% presentó magnitudes menores a 1 y el 31% mayores a 2 (Figuras 87 y 88).

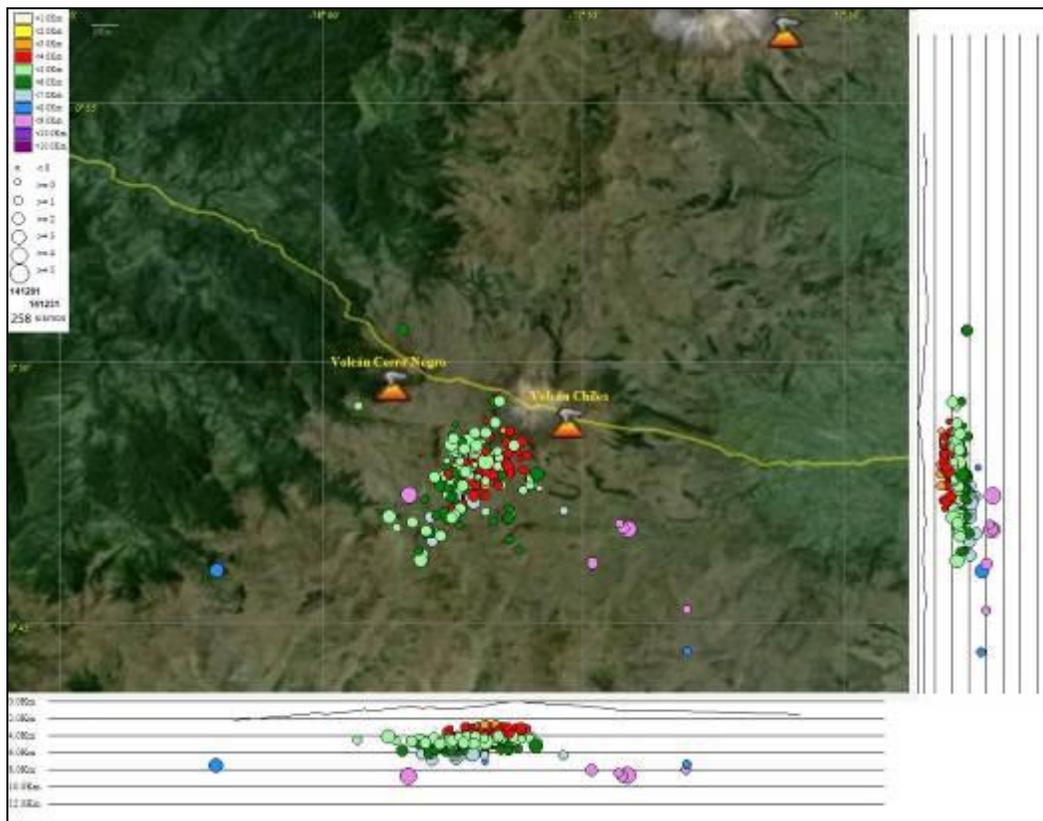


Figura 87. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de diciembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

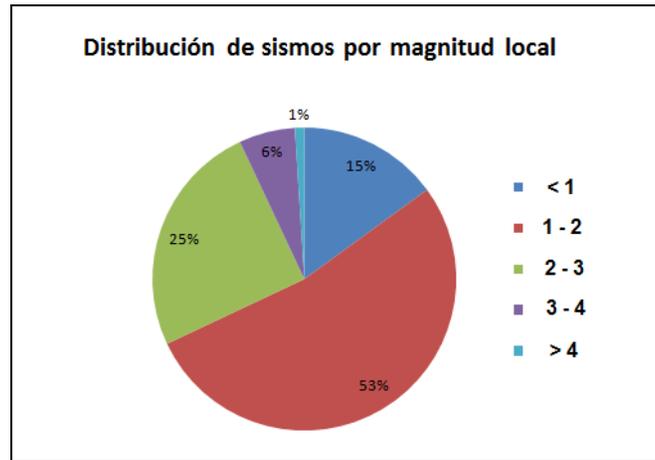


Figura 88. Relación porcentual por rango de magnitud local para los sismos localizados durante el mes de diciembre de 2014 en la región de los volcanes Chiles – Cerro Negro.

De esta sismicidad de fractura, para el periodo evaluado se tienen reportados como sentidos 15 eventos cuyas magnitudes fluctúan entre 2.4 y 4.8 en la escala de Richter, reportados principalmente por habitantes de los Resguardos Indígenas de Chiles y Panan (Municipio de Cumbal).

Teniendo en cuenta la magnitud local presentada por los eventos localizados, se logro obtener un estimativo de la energía liberada, esta grafica se representa en términos de la raíz cuadrada (Figura 89).

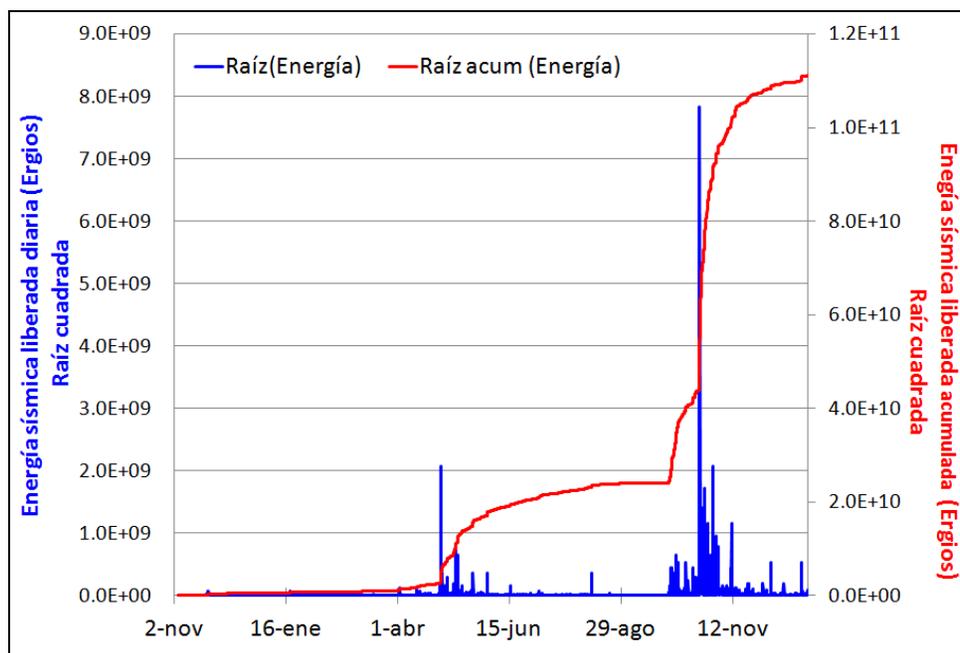


Figura 89. Energía diaria liberada calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014. La ordenada se muestra en términos de la raíz cuadrada del valor de la energía en ergios.

3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Posterior al cambio brusco presentado en los sensores de seguimiento de la deformación en superficie del edificio volcánico, se tienen, que para el inclinómetro de Chiles, tanto en la componente de inclinación Norte, como en la Este, se observa estabilidad en sus registros (Figura 90). Con respecto al sensor el Morro, se tiene registro hasta el 21 de diciembre de 2014, momento en el que sale de funcionamiento la estación, se resalta el cambio de tendencia en sus dos componentes, de descendente a ascendente, el comportamiento descendente fue entre el 5 de abril de 2014 y el 23 de noviembre, alcanzando $100 \mu\text{rad}$ para la componente de inclinación Norte y $60 \mu\text{rad}$, para la Este, para el cambio a ascendente, tomándolo entre el 23 de noviembre y el 31 de diciembre de 2014, las componentes registraron variaciones cercanas a los 10 y $20 \mu\text{rad}$, para la Norte y Este respectivamente (Figura 91).

El inclinómetro Cerro Negro muestra en sus registros anomalías en relación a su funcionamiento, por lo cual no se tiene en cuenta para documentar acerca de su comportamiento o variaciones. Adicionalmente, se tiene el inclinómetro Cerro Negro paralelo (Cneg2), sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro, esto se hizo a manera de prueba para validar el registro del inclinómetro Cerro Negro. En Cneg2 se observa que continúa el comportamiento ascendente en la componente Este, el cual desde el 21 de agosto de 2014 acumula cerca de $420 \mu\text{rad}$, mientras que su componente Norte muestra estabilidad en su registro (Figura 92).

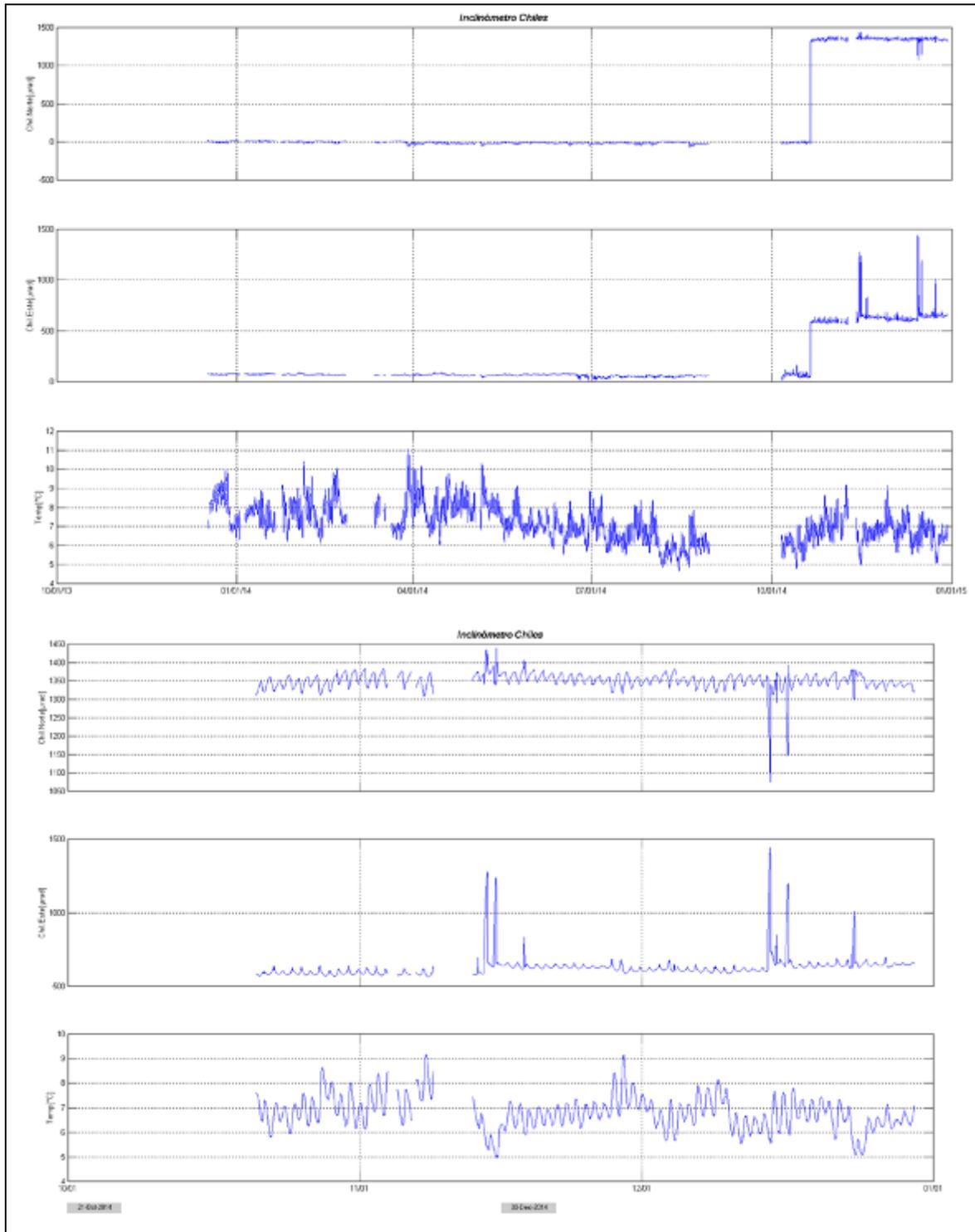


Figura 90. Componentes de inclinación Norte y Este, y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 5 de noviembre de 2013 y el 31 de diciembre de 2014 (Parte superior), y entre el 21 de octubre y el 31 de diciembre de 2014(Parte inferior).

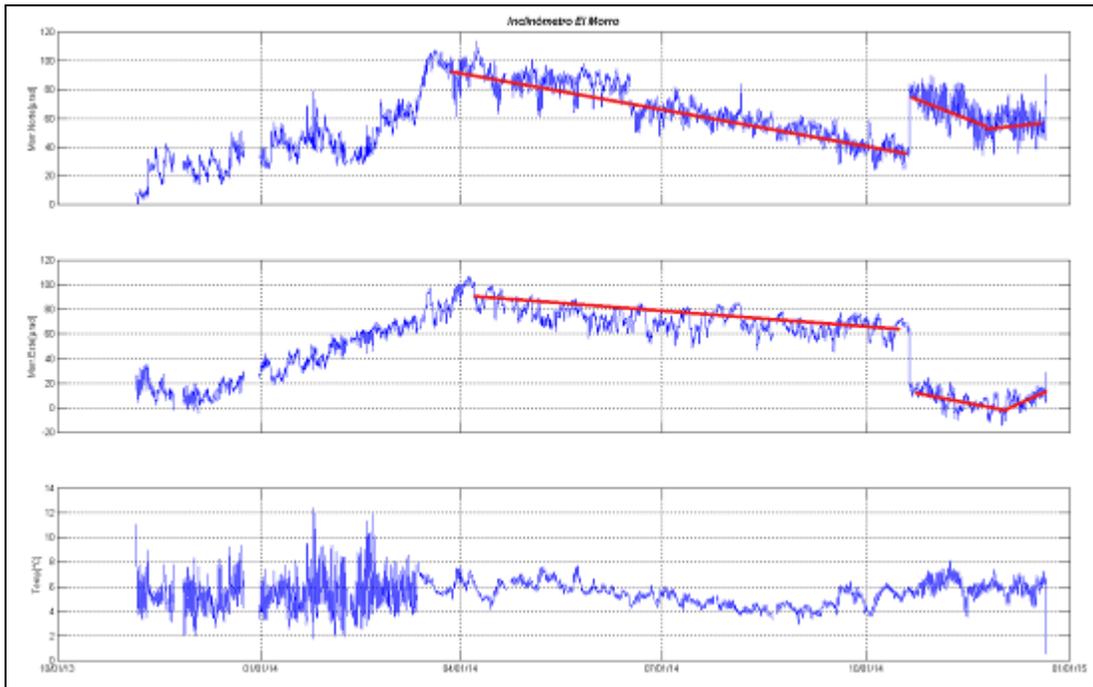


Figura 91. Componentes de inclinación Norte y Este, registro de la temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 5 de noviembre de 2013 y el 21 de diciembre de 2014.

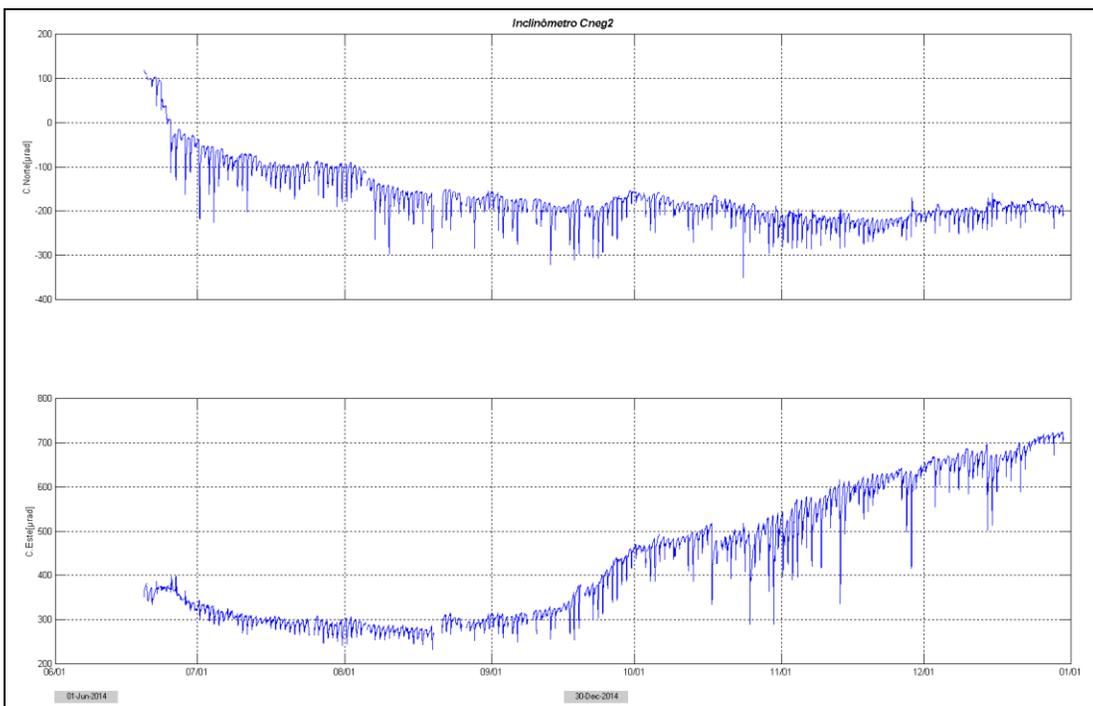


Figura 92. Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 31 de diciembre de 2014.

3.5. GEOQUÍMICA

3.5.1. Registro de temperatura – Estación Térmica Chiles

Durante el mes de diciembre se conto con los datos de medida permanente de temperatura en la FT Baño Grande del volcán Chiles.

La variación de temperatura en la FT Baño Grande del volcán Chiles, se obtiene de la estación telemétrica a partir de los datos diarios que se registran con una tasa de muestreo de cada 10 minutos y se representa en la Figura 93, Tabla 23.

En el área sombreada de la gráfica se observa el comportamiento de la temperatura durante el mes de diciembre, el cual parece estar asociada a variaciones día-noche propias del ambiente y no del fenómeno volcánico, como también se registra estabilidad en el sistema durante el periodo evaluado. Entre el 28 de noviembre y el 11 de diciembre no se tiene el registro de datos por problemas en la estación, además la variación registrada entre agosto y octubre se debe a condiciones de la termocupla y el cable aislado que se corrigen el 4 de octubre, por lo que se elabora un gráfico filtrado entre estas fechas y en las horas en las que la piscina termal se encuentra en operación, entre las 9:30 a.m. y las 5:30 p.m. para reflejar mejor la temperatura asociada a esta termal (Figura 94).

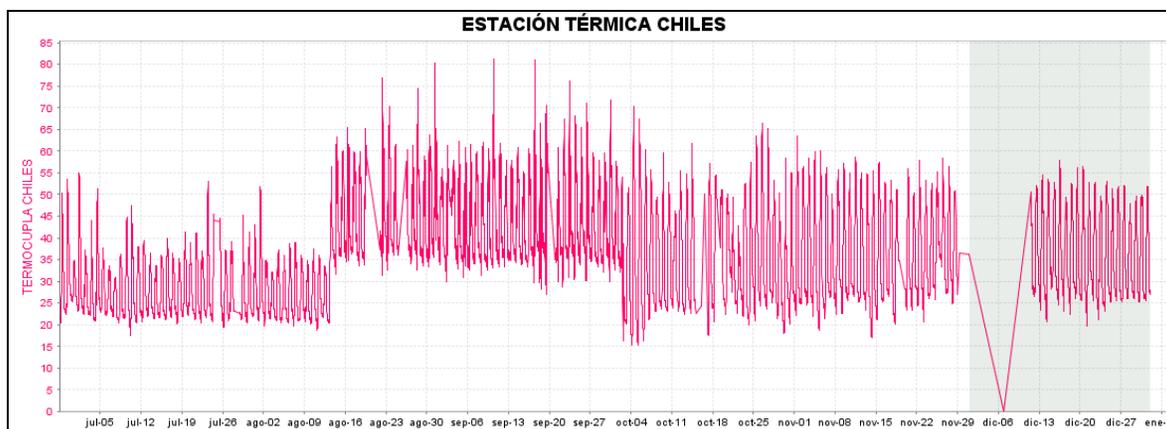


Figura 93. Variación de temperatura, estación permanente FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles. Diciembre de 2014.

Tabla 23. Variación de temperatura, estación permanente FT Baño Grande del volcán Chiles – Diciembre 2014.

Valor	Temperatura (°C)	Fecha
Máximo	57,9	2014-12-16
Mínimo	39,1	2014-12-15
Promedio	48,7	-

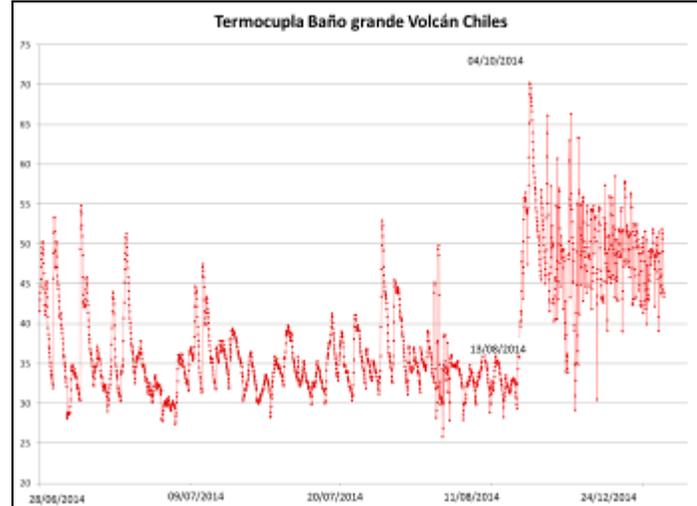


Figura 94. Gráfico filtrado por horas y fechas de la variación de temperatura, estación permanente FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles. Diciembre de 2014.

Se observa una estabilidad en la temperatura de la fuente termal Baño Grande, con variaciones asociadas posiblemente a los cambios de temperatura atmosférica relacionados con el transcurso del día, el promedio de la temperatura para el mes de diciembre es de 48,7°C, con un pico máximo registrado el día 16 de diciembre a las 13:05 LT con un valor de 57,9°C.

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de diciembre de 2014 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro. En las Figuras 95 y 96 se muestran dos fotografías capturadas por la cámara web ubicada en la población de Nazate.



Figura 95. Imagen de Volcán Chiles, capturada el 17 de diciembre, a las 3:11 p.m., desde la población de Nazate (Resguardo Indígena de Chiles), cámara ubicada al oriente del volcán Chiles.



Figura 96. Imagen de Volcán Chiles, capturada el 21 de diciembre, a las 6:36 a.m., desde la población de Nazate (Resguardo Indígena de Chiles), cámara ubicada al oriente del volcán Chiles.

3.7. CONCLUSIONES

- Las características de esta sismicidad reflejan en su mayoría procesos de fracturamiento de material cortical; sin embargo, algunos de ellos muestran procesos asociados con movimiento de fluidos de naturaleza magmática.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de diciembre de 2014 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 2014

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 97), 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.

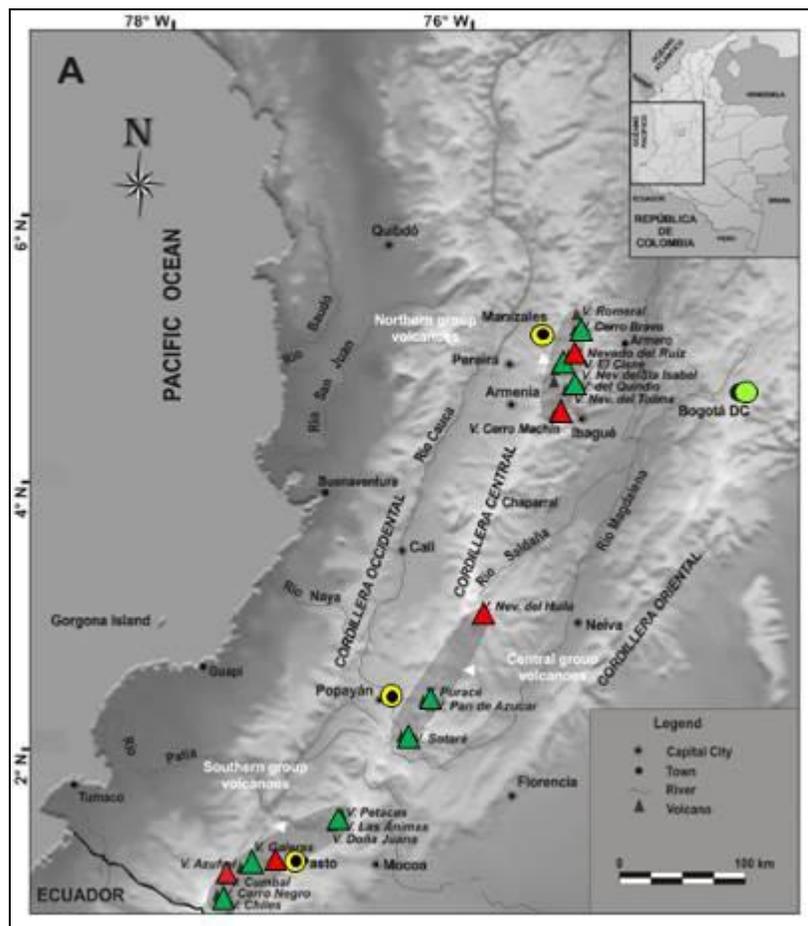


Figura 97. Imagen en la cual se aprecia la localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.

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 98).

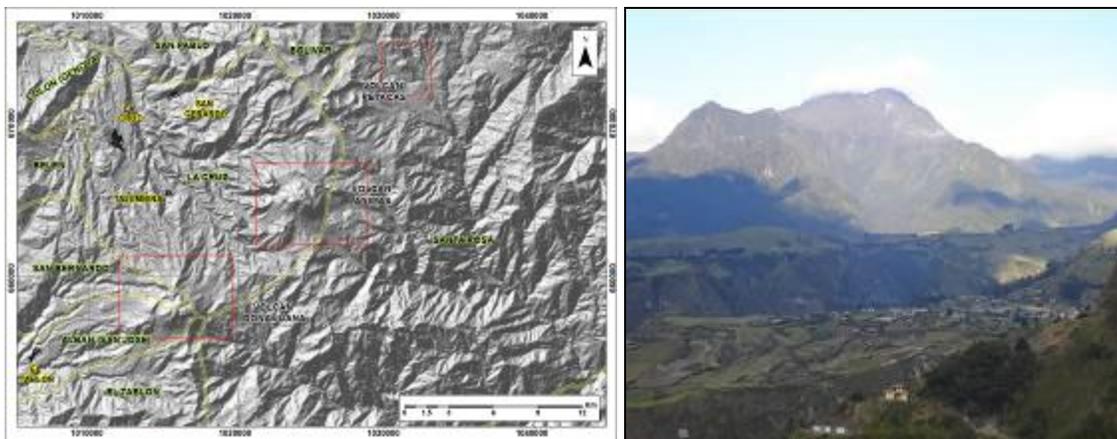


Figura 98. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

4.1.2. Red de vigilancia

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

En la Figura 99 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 24 se consignan sus características.

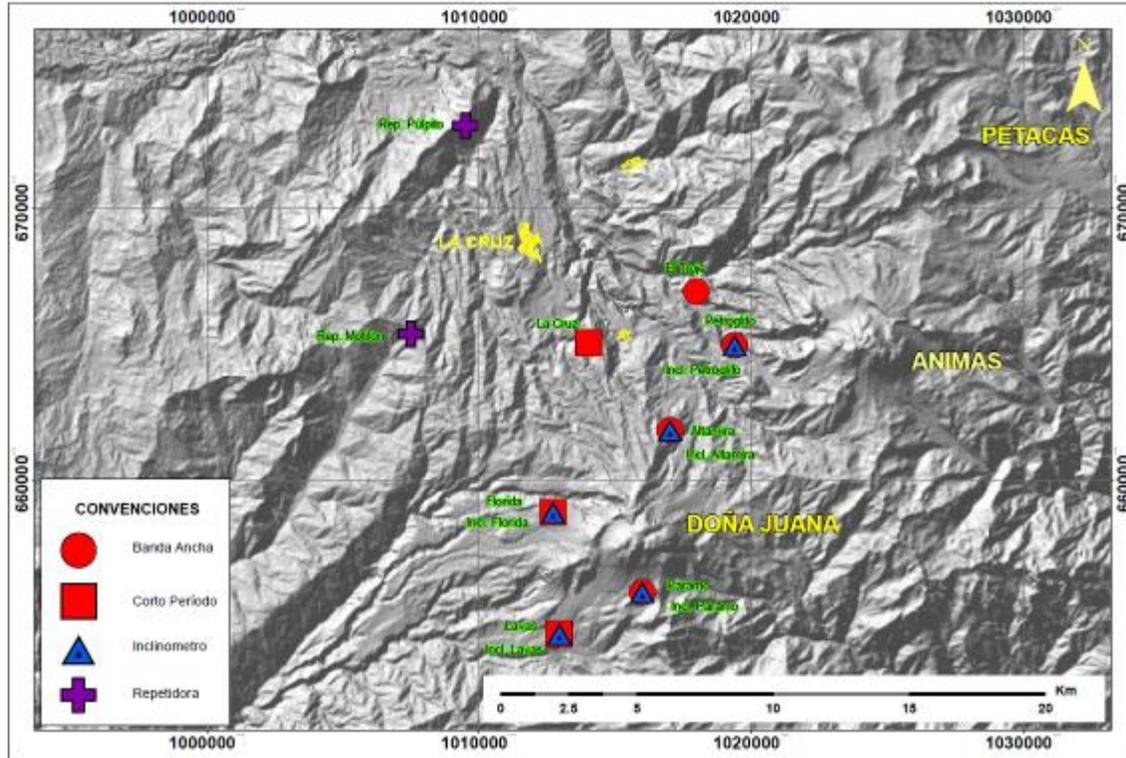


Figura 99. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2014.

Tabla 24. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de diciembre de 2014.

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

En el periodo evaluado, la red de estaciones instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento promedio del 79% (Figura 100).

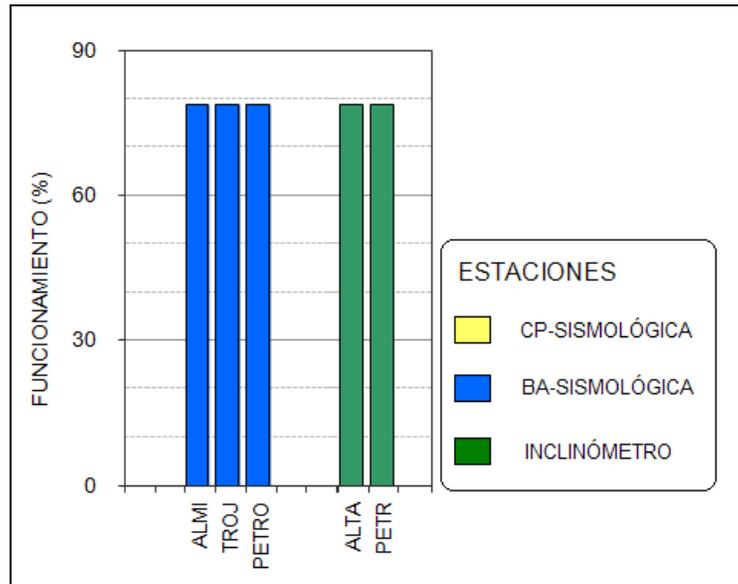


Figura 100. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante diciembre de 2014.

4.1.3. Sismología

Respecto a la actividad de este volcán, para el mes de diciembre se registraron dos eventos tipo VT (Tabla 25), localizados a 1 y 1.9 km hacia el sector occidental del edificio volcánico, y magnitudes locales de 0.2 y 0.5 en la escala de Richter (Figura 101).

Tabla 25. Número de eventos volcánicos por tipo, para el volcán Las Ánimas, ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-sep-14 a 30-sep-14	13	13
01-oct-14 a 31-oct-14	2	2
01-nov-14 a 30-nov-14	0	0
01-dic-14 a 31-dic-14	2	2

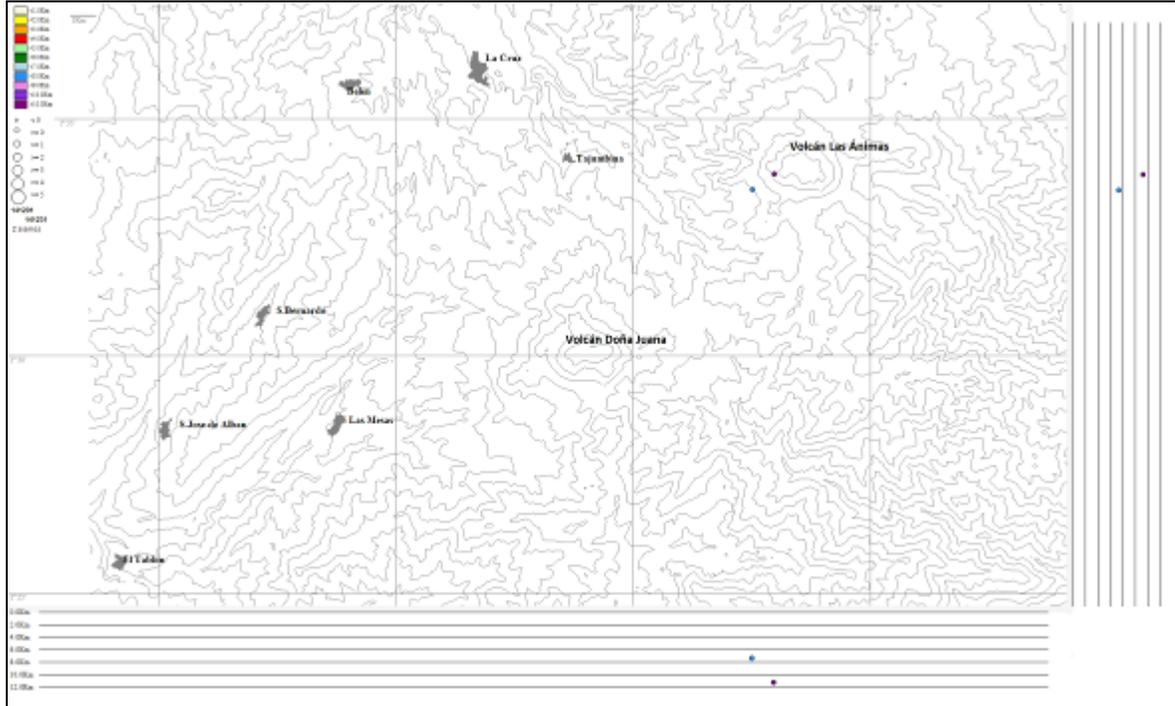


Figura 101. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Las Ánimas, en el mes de diciembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.1.4. Deformación Volcánica

Respecto a los cambios registrados por las estaciones de Inclínometría, continúa el comportamiento ascendente en la componente Norte del inclinómetro Altamira, alcanzando desde el 26 de abril de 2014, una variación de 80 μ rad, mientras que su componente de inclinación Este desde el 20 de septiembre muestra una tendencia descendente en su registro, descenso cercano a los 60 μ rad (Figura 102). En cuanto al comportamiento del inclinómetro Petroglifo, muestra variaciones que no corresponden a actividad alguna, esto posterior al 8 de diciembre, donde se evidencia un cambio brusco en el equipo, no asociado con actividad volcánica (Figura 103).

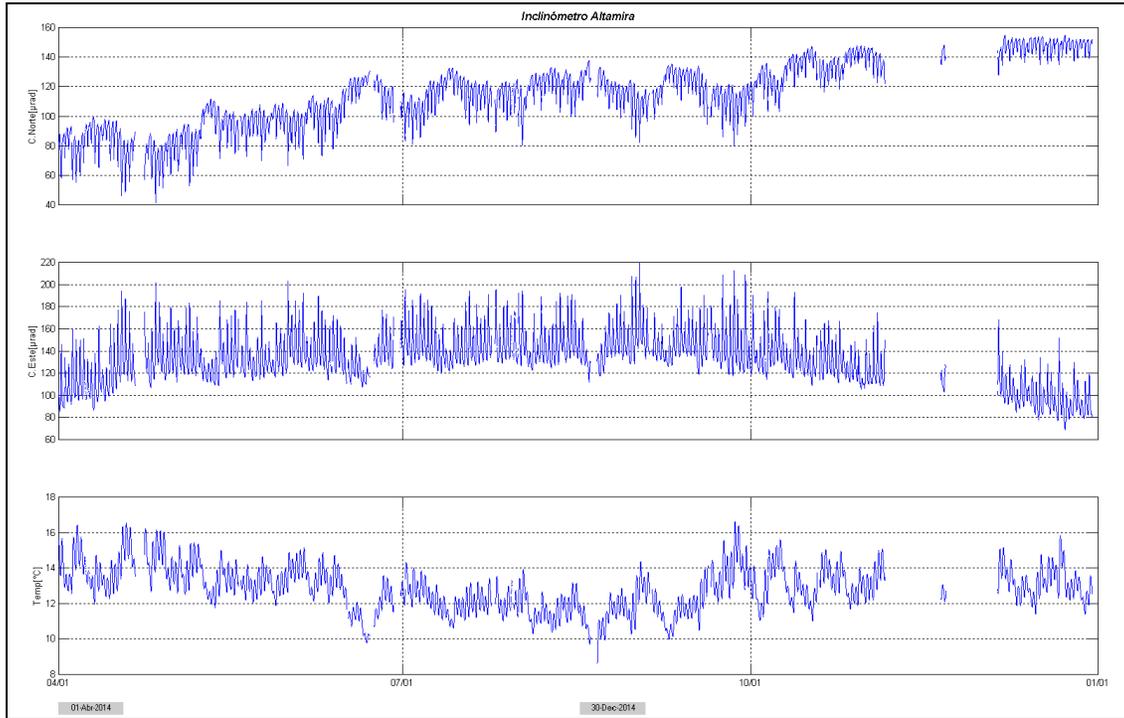


Figura 102. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

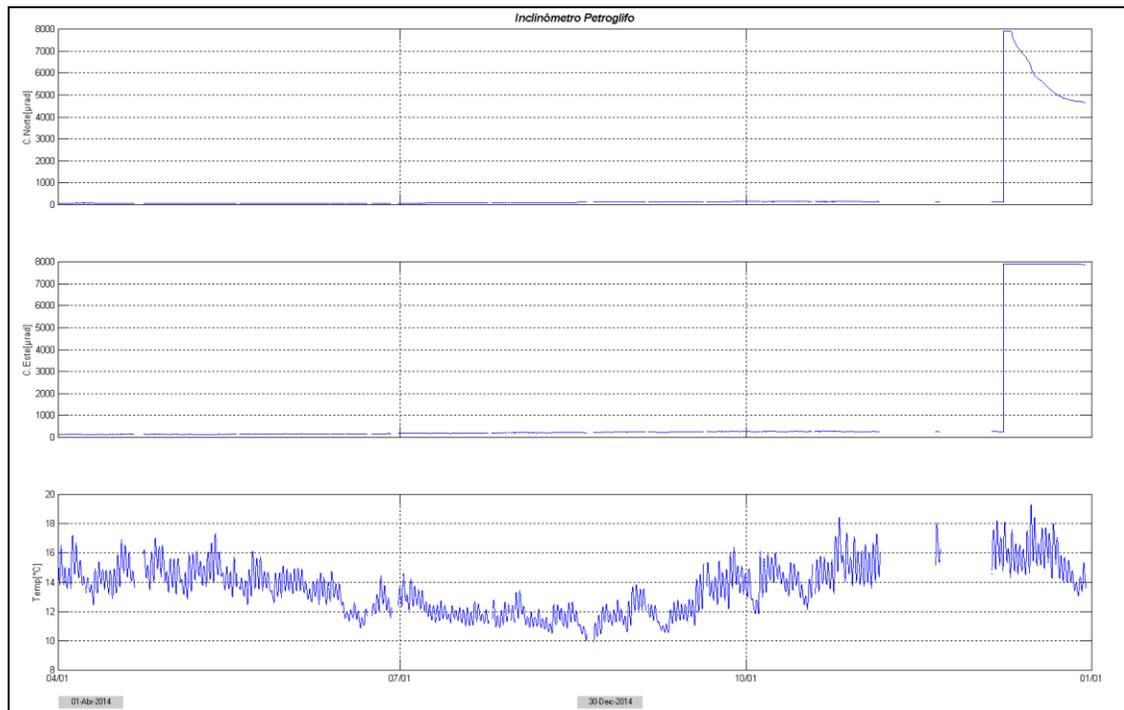


Figura 103. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de diciembre de 2014 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 2014 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA

4.2.1. Red de vigilancia

En la Figura 104 se puede apreciar la disposición de la red de vigilancia del volcán Doña Juana que consta de dos estaciones de corto periodo y una de banda ancha para monitorear su sismicidad y tres estaciones para monitorear la deformación cortical 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 104, Tabla 26).

Las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana para el mes de diciembre de 2014 presentaron un funcionamiento del 94% (Figura 105). La estación sísmica Lavas se encuentra con un porcentaje de funcionamiento del 66% debido a problemas de interferencias en la señal.

Tabla 26. Estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a los Domos (Km)	Dirección respecto a los Domos	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,1	SE	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,1	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	2,3	W	3140
I. Florida	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,3	W	3140
Lavas	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4,1	SW	3145
I. Lavas	Analógica	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4,1	SW	3145
La Cruz	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Uniaxial	7,5	NNW	2761

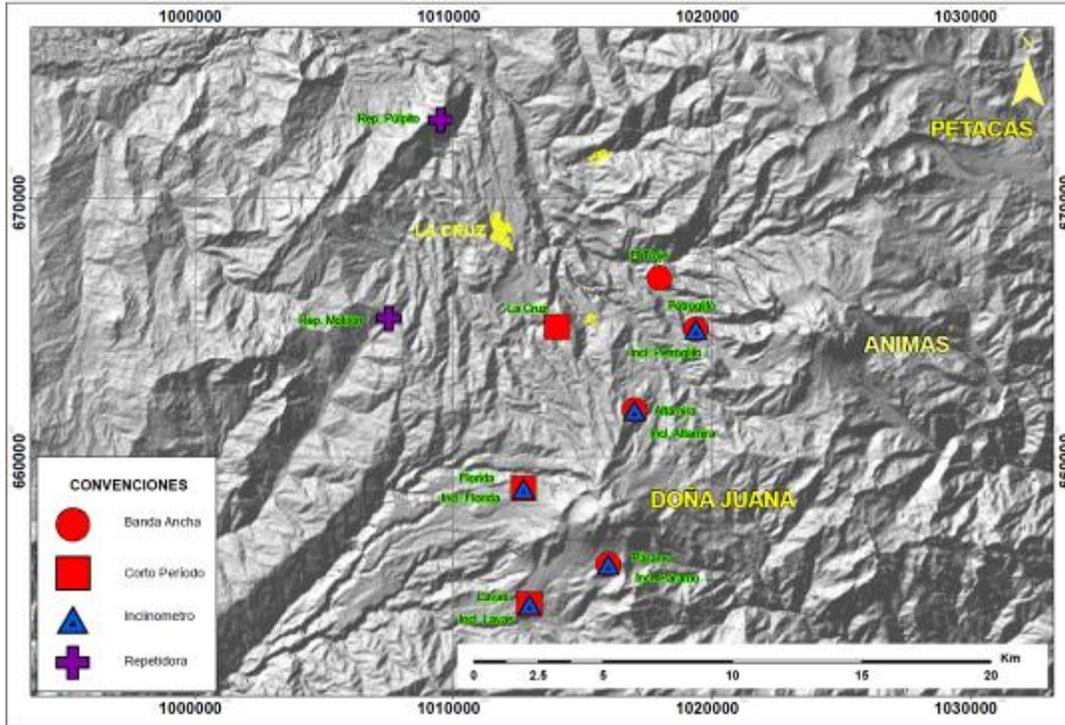


Figura 104. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

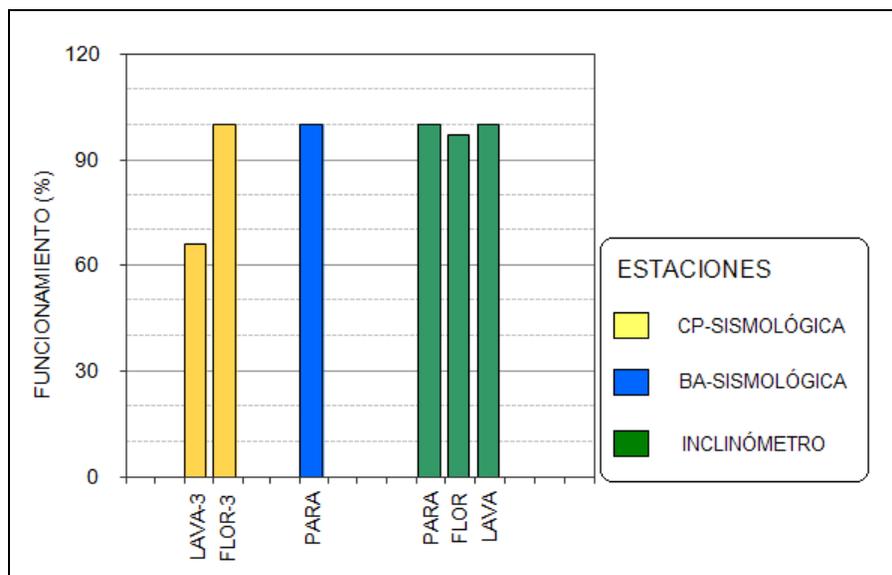


Figura 105. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de diciembre de 2014, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

4.2.2. Sismología

En relación a la sismicidad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado no se tuvo registro de eventos asociados con actividad volcánica.

4.2.3. Deformación Volcánica

Continúa el comportamiento ascendente en las componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas, alcanzando desde el 1 de septiembre de 2014, 166 y 210 μrad respectivamente, (Figura 106). De igual forma continua el comportamiento ascendente en las componentes de inclinación de Florida, que para la Norte desde el 8 de noviembre alcanza 80 μrad , y la Este, desde el 3 de octubre, es de 122 μrad (Figura 107).

Respecto a los cambios registrados por las componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Paramo, se observa un comportamiento estable (Figura 108).

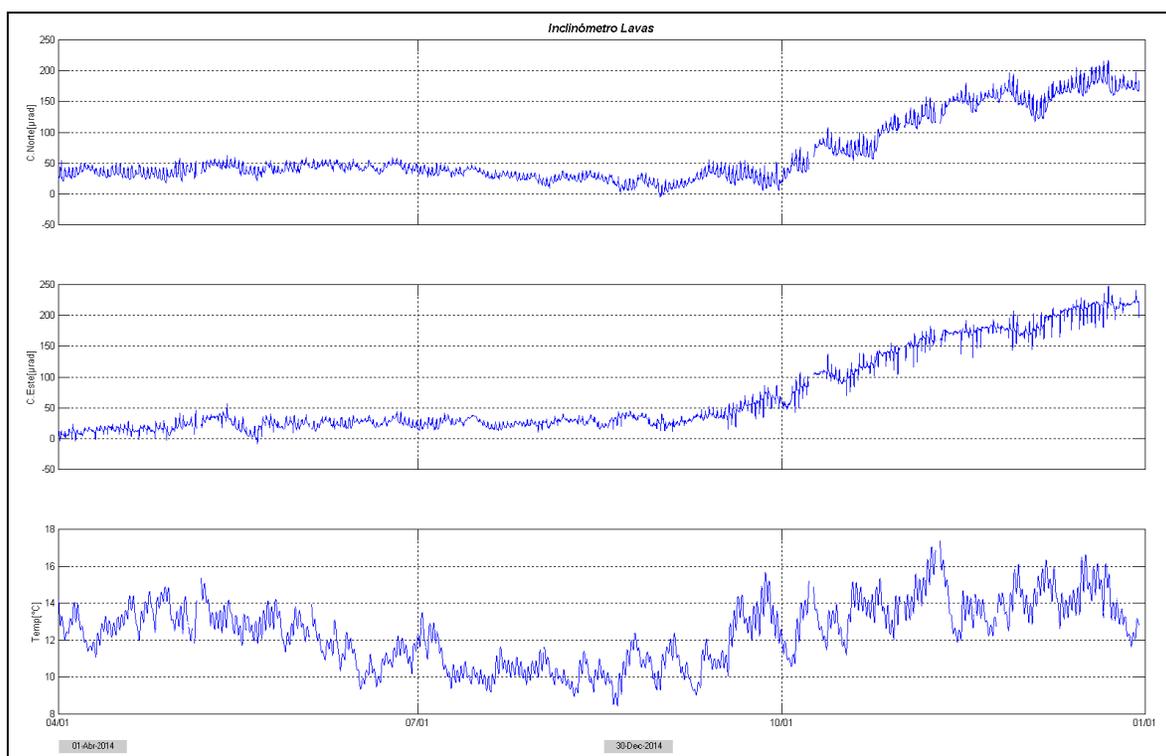


Figura 106. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

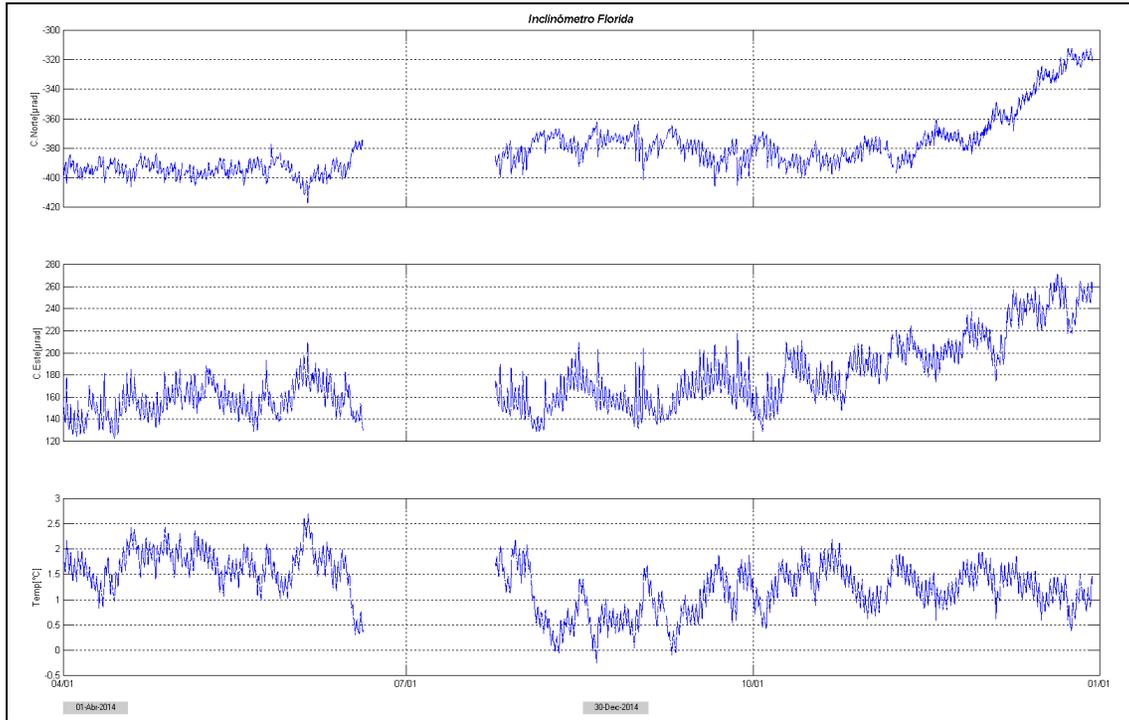


Figura 107. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

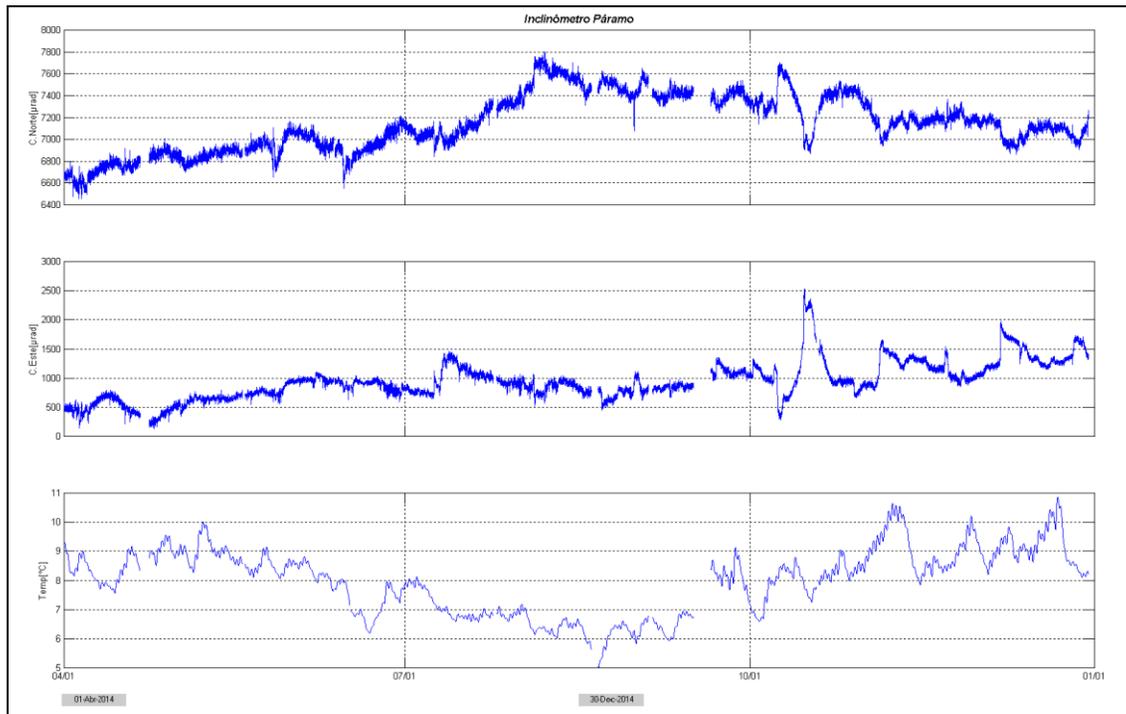


Figura 108. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

4.2.4. Actividad Superficial

Durante el mes de diciembre de 2014 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

4.2.5. Conclusiones

- La evaluación de los parámetros monitoreados durante el mes de diciembre de 2014, permitieron establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

4.3.1. Red de vigilancia

En la Figura 109 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, sus estaciones La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 27 se consignan sus características. Adicionalmente, se tiene una estación climatológica cerca a la estación La Roca, la cual consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medidas de radiación solar. De igual forma se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas en el domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

Además, 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 110).

En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 88% para este mes (Figura 111). La estación Chaitán presentó un funcionamiento del 35% debido a que la estación salió por una tormenta eléctrica.

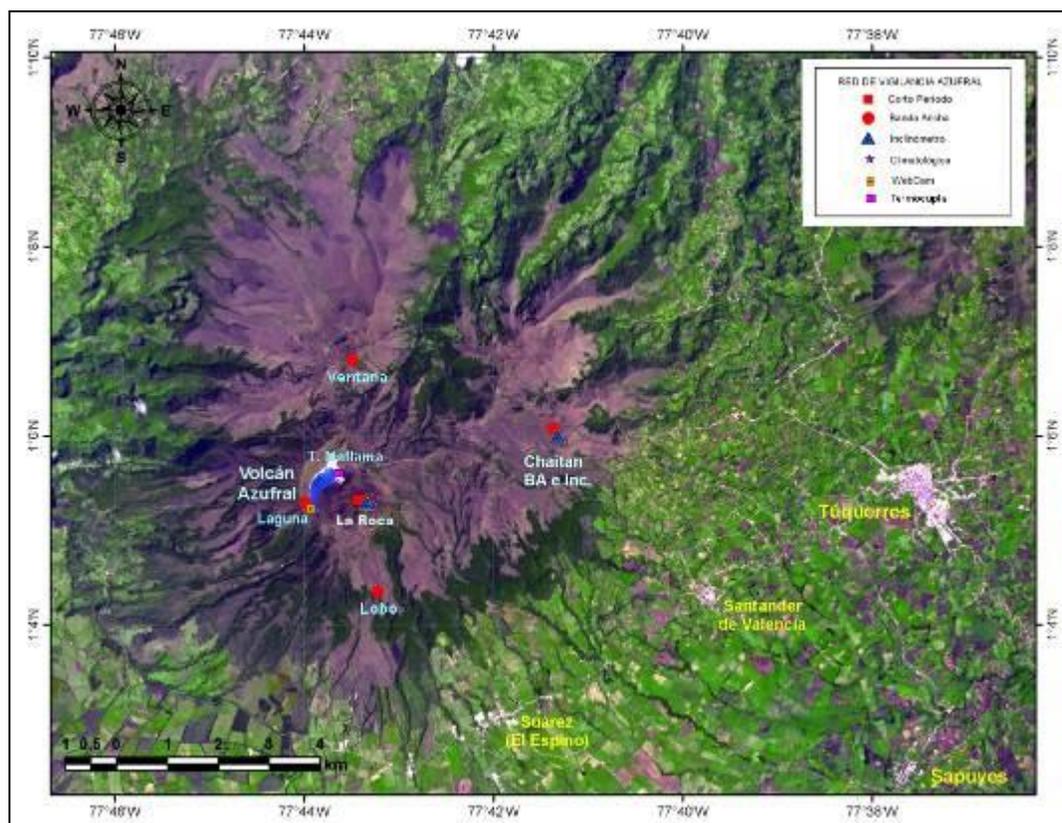


Figura 109. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2014.

Tabla 27. 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

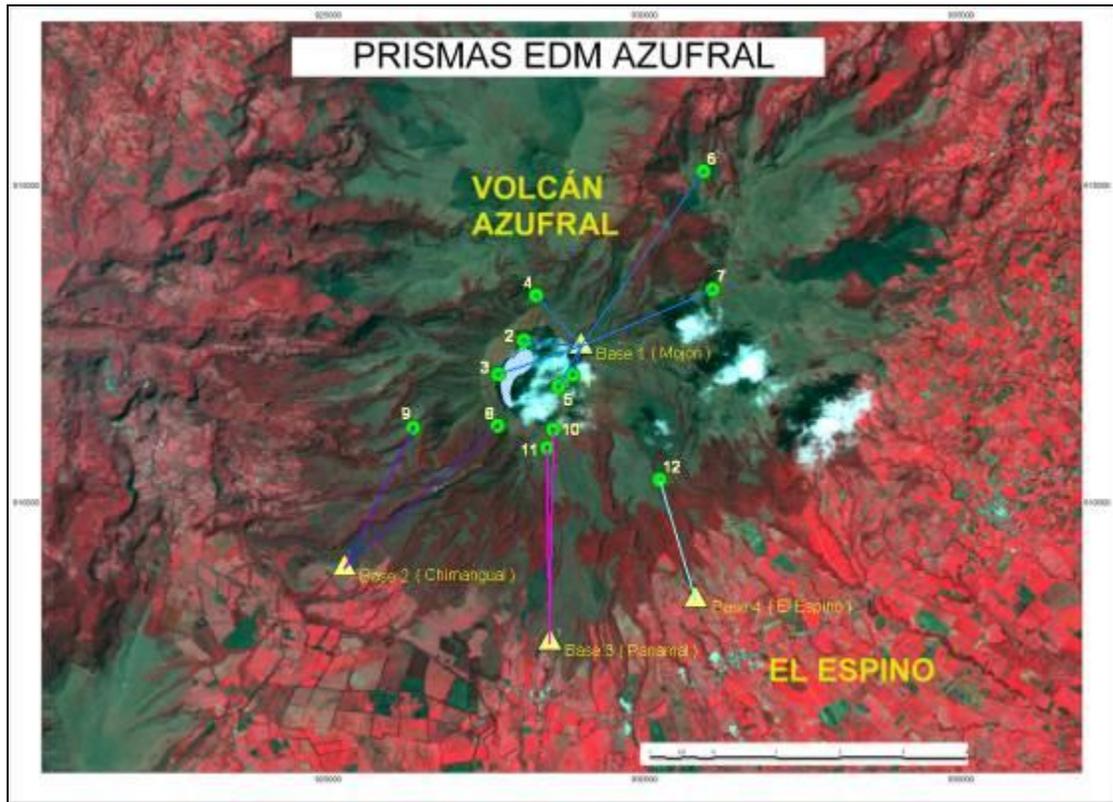


Figura 110. Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Azufral. Las figuras de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2, 3 y 4, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.

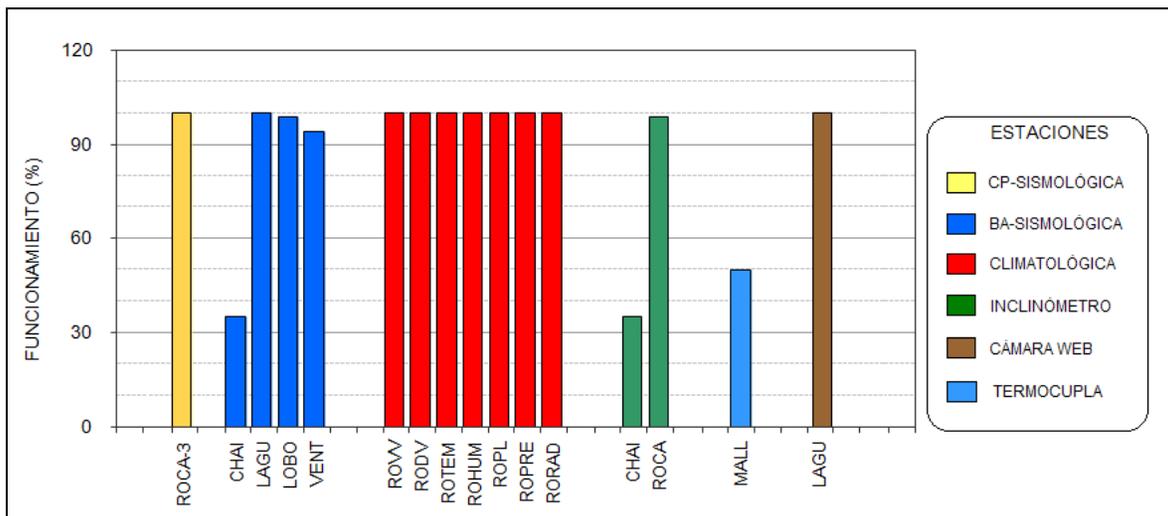


Figura 111. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de diciembre de 2014.

4.3.2. Sismología

Las estaciones sísmicas de monitoreo del volcán Azufral, mostraron que la sismicidad para el periodo evaluado estuvo dominada por registros asociados con fracturamiento de material cortical, eventos VT (Tabla 28, Figura 112). En total se registraron 8 eventos sísmicos, de los cuales fue posible localizar 6, que se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, a distancias menores a 13 km respecto a la Laguna Cratérica, con profundidades entre 3.3 y 18.5 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes fluctuaron entre 0.8 y 1.7 en la escala de Richter (Figura 113).

Tabla 28. Número de eventos volcánicos por tipo, para el volcán Azufral, ocurridos entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014, el mes objeto de evaluación, resaltado en color azul.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo	
	vt	TOTAL
01-sep-14 a 30-sep-14	16	16
01-oct-14 a 31-oct-14	7	7
01-nov-14 a 30-nov-14	14	14
01-dic-14 a 31-dic-14	8	8

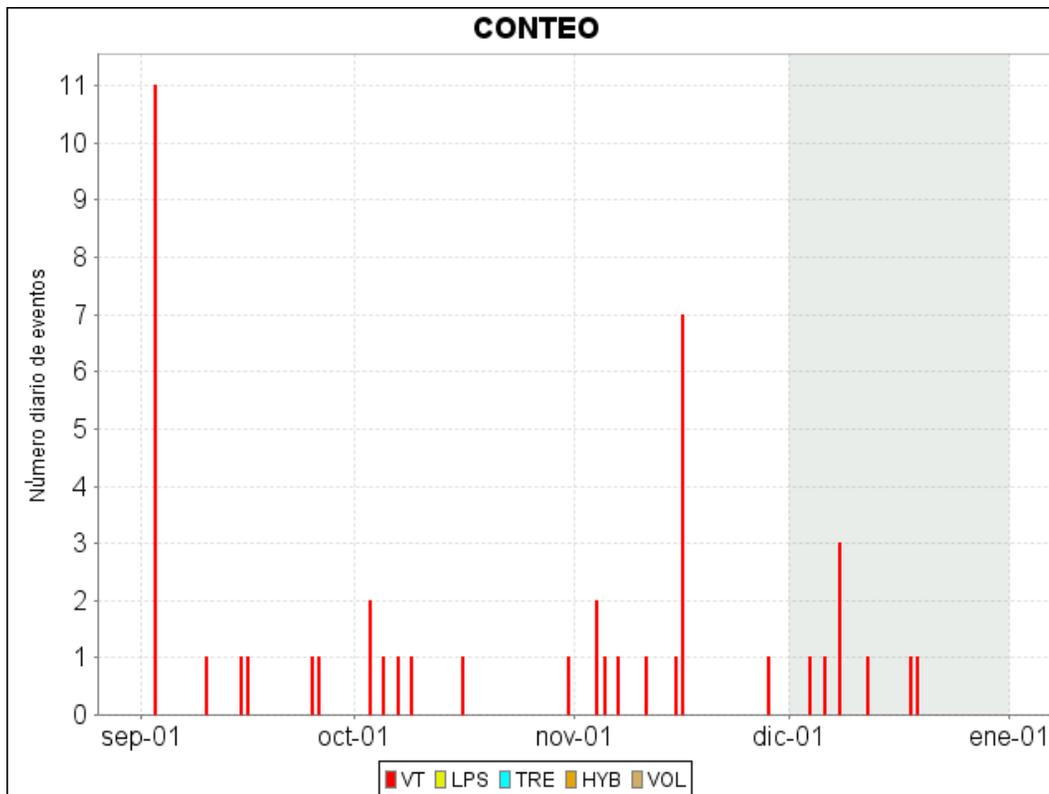


Figura 112. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de septiembre y el 31 de diciembre de 2014. El recuadro en gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

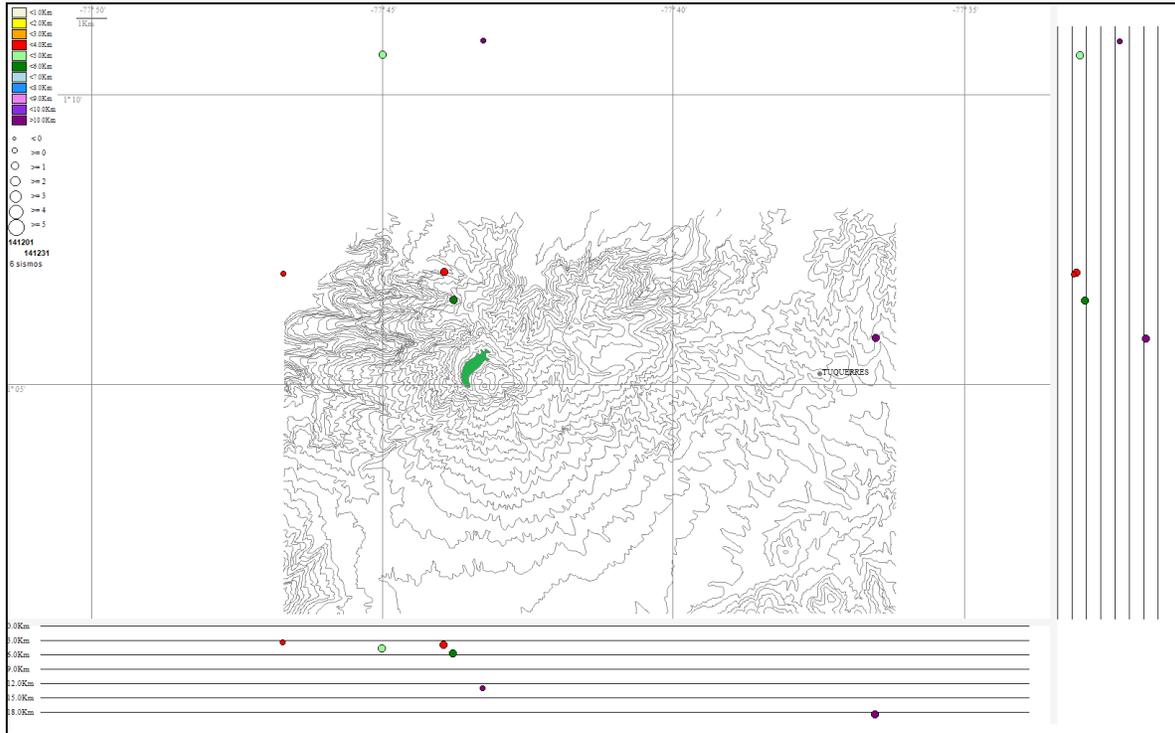


Figura 113. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de diciembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3 km., de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.3.3. Deformación Volcánica

4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

En cuanto a la deformación del edificio volcánico, se observó que el comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro Chaitán (ubicado a 4,3 km al este-noreste de la laguna cratérica, 3730 m.s.n.m.), obedecen al registro del sensor de la temperatura del equipo, por lo cual se considera estable (Figura 114).

En la Figura 115 se muestra el registro del inclinómetro La Roca (ubicado a 1.2 Km., al este de la laguna cratérica, 4025 msnm) que para el periodo evaluado presentó estabilidad en sus componentes.

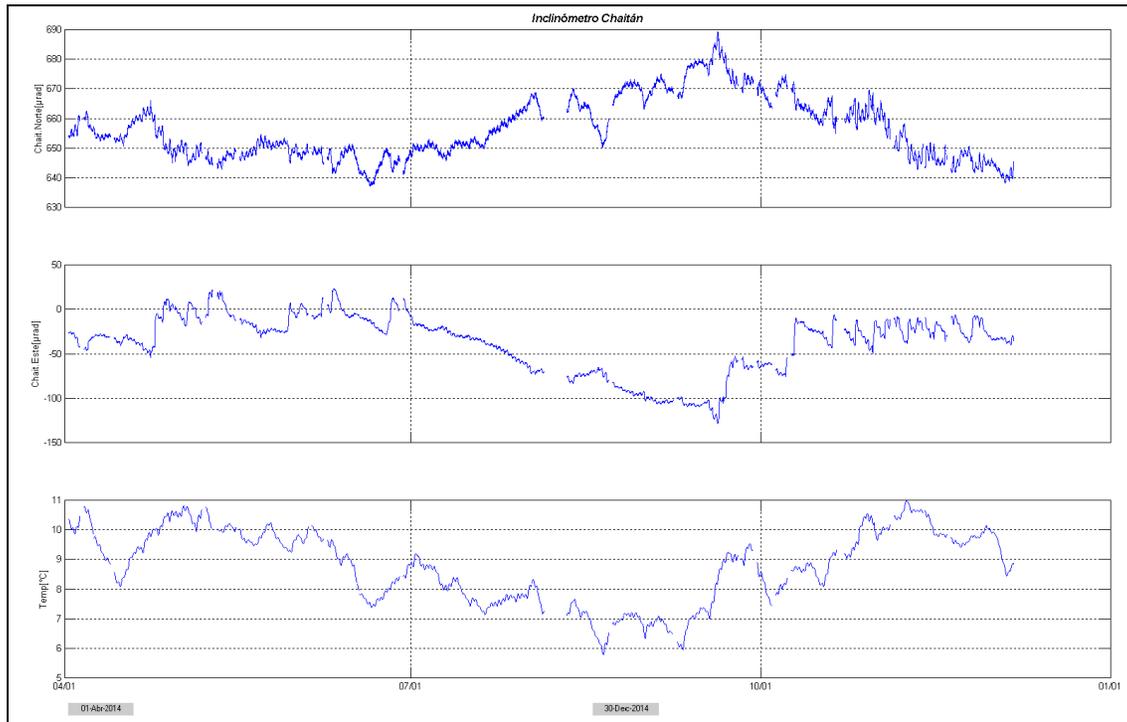


Figura 114. Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

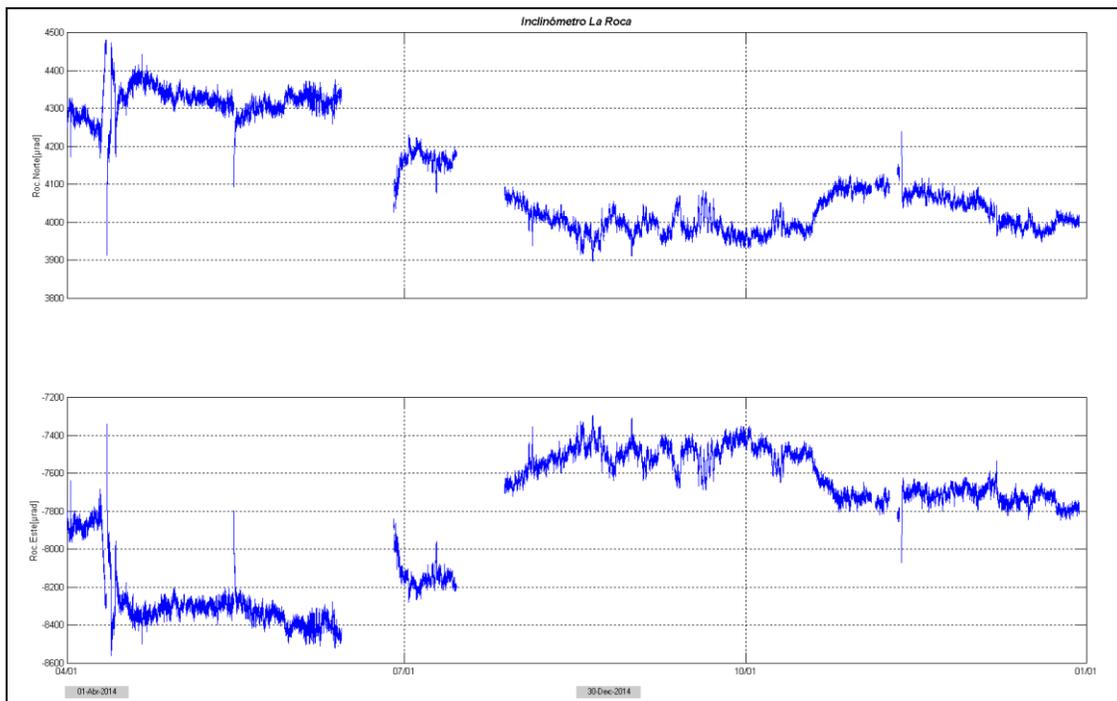


Figura 115. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de diciembre de 2014.

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.

4.3.4. Geoquímica

4.3.4.1. Registro de temperatura del domo Mallama en el volcán Azufral

En la Figura 116 se presenta el mapa de localización del campo fumarólico Domo Mallama en el cual se realiza de manera permanente la medida de la temperatura.

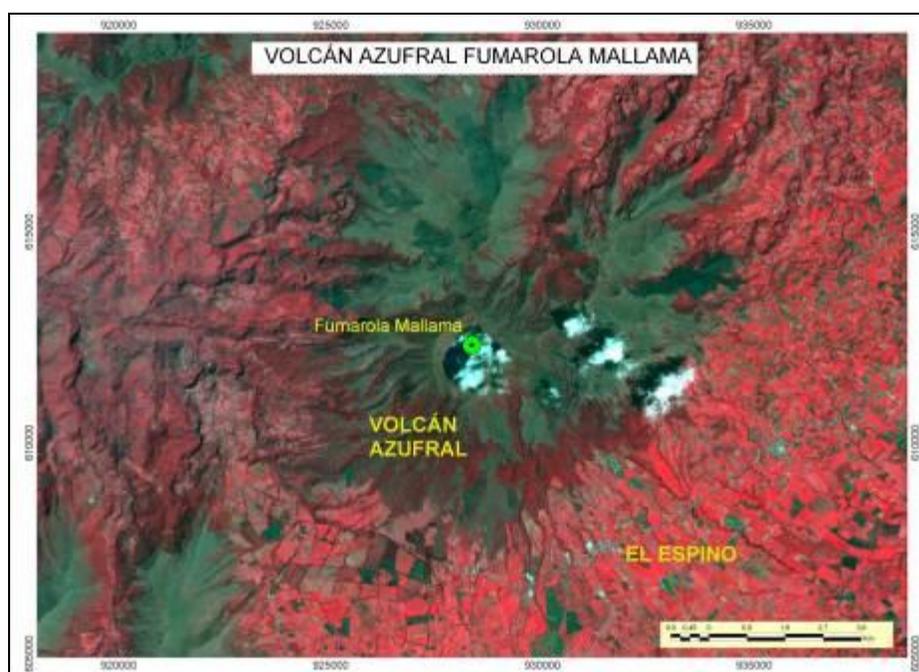


Figura 116. Mapa de localización del campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

En la Figura 117 se encuentra graficada la variación de temperatura a partir de los datos diarios obtenidos cada 10 minutos, de la estación telemétrica instalada en el mes de mayo de 2014.

Desde el día 18 de noviembre se pierde señal por daño en la estación, y se restablece la operación los días del 17 al 24 de diciembre, hasta que se presentó otro fallo en el registro, en las Figuras 117 y 118 se muestra el registro sobre la variación de temperatura respecto al tiempo.

En la Tabla 29 se encuentran los valores máximo, mínimo y promedio de los datos registrados por la termocupla ubicada en el campo fumarólico del domo Mallama en el volcán Azufral para el mes de diciembre de 2014.

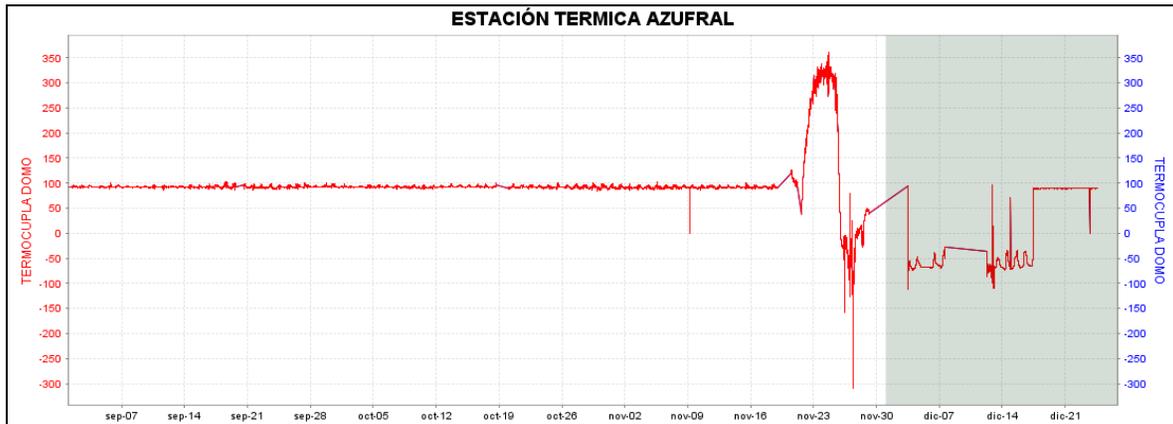


Figura 117. Variación de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Diciembre 2014.

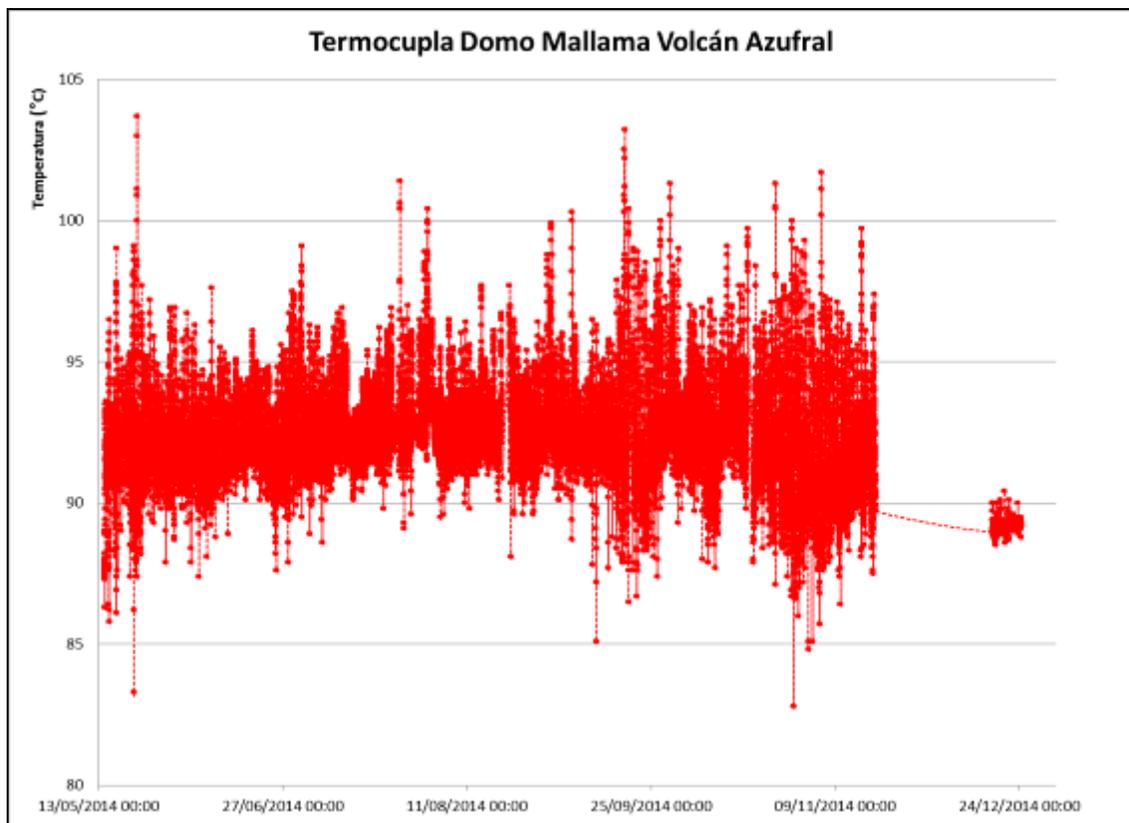


Figura 118. Grafico filtrado por fechas de la variación de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Diciembre 2014.

Tabla 29. Variación de temperaturas en Domo Mallama del volcán Azufral. Diciembre de 2014.

Valor	Temperatura (°C)	Fecha
Máximo	90,4	2014-12-20
Mínimo	88,5	2014-12-18
Promedio	89,2	-

En el período de operación para el mes de diciembre de la estación térmica Mallama del volcán Azufral, se observó una estabilidad en las lecturas de la temperatura, con un promedio de 89,2°C, que es menor a los registros de meses anteriores; sin embargo, se debe esperar a restablecer el funcionamiento de la estación para determinar las posibles causas de esta variación.

4.3.5. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables durante los días 4, 6, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 27, 30 y 31 de diciembre de 2014 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 uno de los domos activos ubicados al nororiente de la Laguna Verde.

En las Figuras 119 a 122 se presentan algunas imágenes las cuales se asocian a procesos de emisión de gases en Azufral.



Figura 119. Imágenes de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, capturadas el 6 de diciembre de 2014 en horas de la tarde por la cámara instalada hacia el sector sur, en las fotografías se observa salida de gases de uno de los domos.



Figura 120. Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, capturada el 11 de diciembre de 2014 a las 10:48 a.m., por la cámara instalada hacia el sector sur, en la fotografía se observa salida de gases de uno de los domos.



Figura 121. Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, capturada el 17 de diciembre de 2014 a las 7:16 a.m., por la cámara instalada hacia el sector sur, en la fotografía se observa salida de gases de uno de los domos.



Figura 122. Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufra, capturada el 18 de diciembre de 2014 a las 5:53 de la mañana por la cámara instalada hacia el sector sur, en la fotografía se observa salida de gases de uno de los domos.

4.3.6. Conclusiones

- La evaluación de la actividad volcánica de Azufra durante el mes de diciembre de 2014 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

ANEXO 1

ELECTROMAGNETISMO.

La red de vigilancia de campos electromagnéticos está constituida por tres sistemas de medición de la variación del campo Magnético, la estación EM-Frailejón que posee también un sistema de medición de variación del campo Eléctrico, la Estación EM-Barranco también con sistema de medición de variación de campo Eléctrico, y la estación de campo Magnético Cráter. Además se cuenta con cuatro puntos no telemétricos para toma de medidas de potencial eléctrico espontáneo conocidos con los nombre de La Y, Peladitos, Urcunina y Lavas (Figura 1).

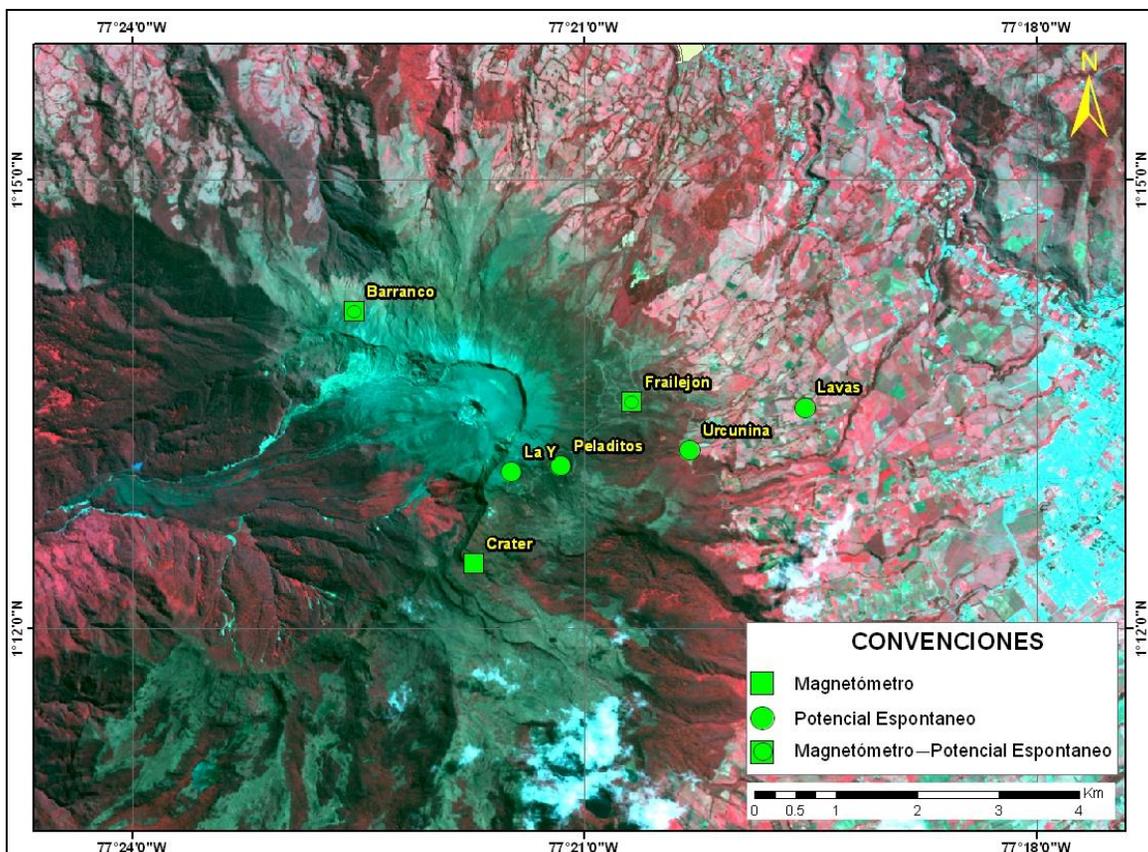


Figura 1. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, y de los puntos de potencial espontáneo que conforman la red de vigilancia del volcán Galeras.

Los diferentes procesos que se dan al interior de un volcán activo, pueden generar manifestaciones geológicas, geofísicas, geoquímicas, etc. Entre este tipo de manifestaciones que se pueden presentar, los volcanes activos pueden generar perturbación del campo eléctrico y magnético de la corteza terrestre, debido a la interacción entre el material magmático a altas temperaturas y presiones con la roca encajante del edificio volcánico y con los fluidos circundantes dentro del edificio volcánico. Entre los fenómenos electromagnéticos que se pueden generar en zonas volcánicas activas están los efectos electrocinéticos, termoeléctricos, piezoeléctricos,

piezomagnéticos, vaporización de Fluidos, cambios de resistividad, efectos termoquímicos, efectos magneto-hidrodinámicos y perturbaciones ionosféricas.

Los muestreos realizados en las cuatro estaciones de monitoreo de autopotenciales: La Y, Peladitos, Urcunina y Lavas, ubicadas en la zona de influencia del volcán Galeras, muestran hasta finales de noviembre variaciones muy bajas, menores a 40 mV y que son normales en zonas de actividad volcánica, sin embargo para mediados de diciembre de 2014 se observaron variaciones cercanas a los 250 mV que serían generadas por las corrientes ascendentes de fluidos hidrotérmicos y en general manifestaciones del sistema hidrotermal a niveles superficiales, teniendo en cuenta que para esos días los días estuvieron acompañados de abundantes lluvias (Figuras 2 y 3).

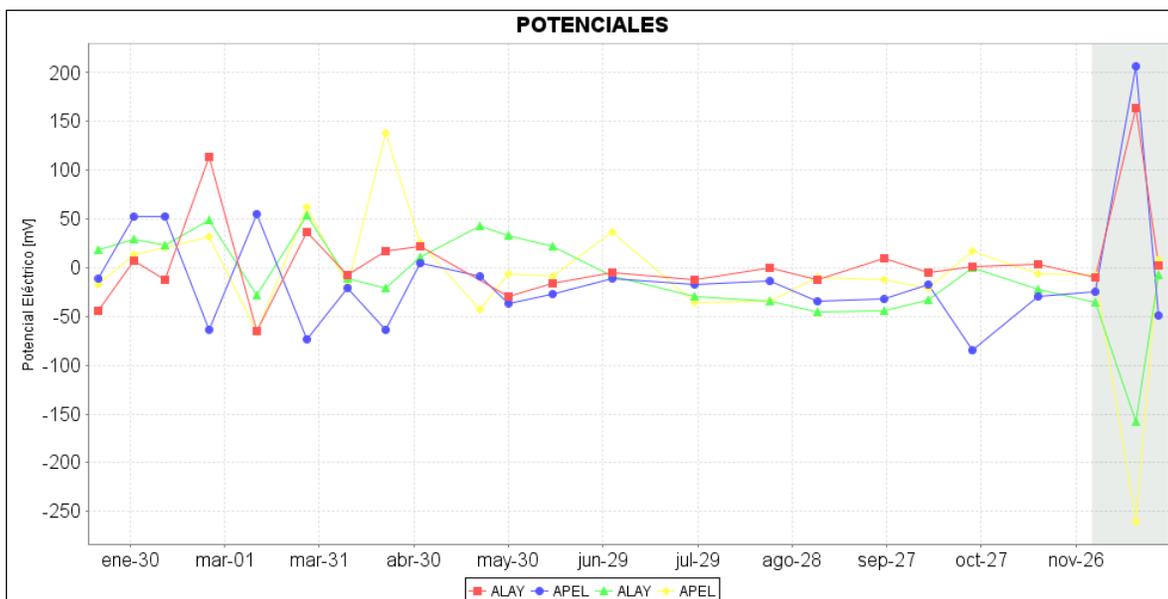


Figura 2. Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones La Y (líneas roja y verde) y Peladitos (líneas azul y amarilla), para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2014.

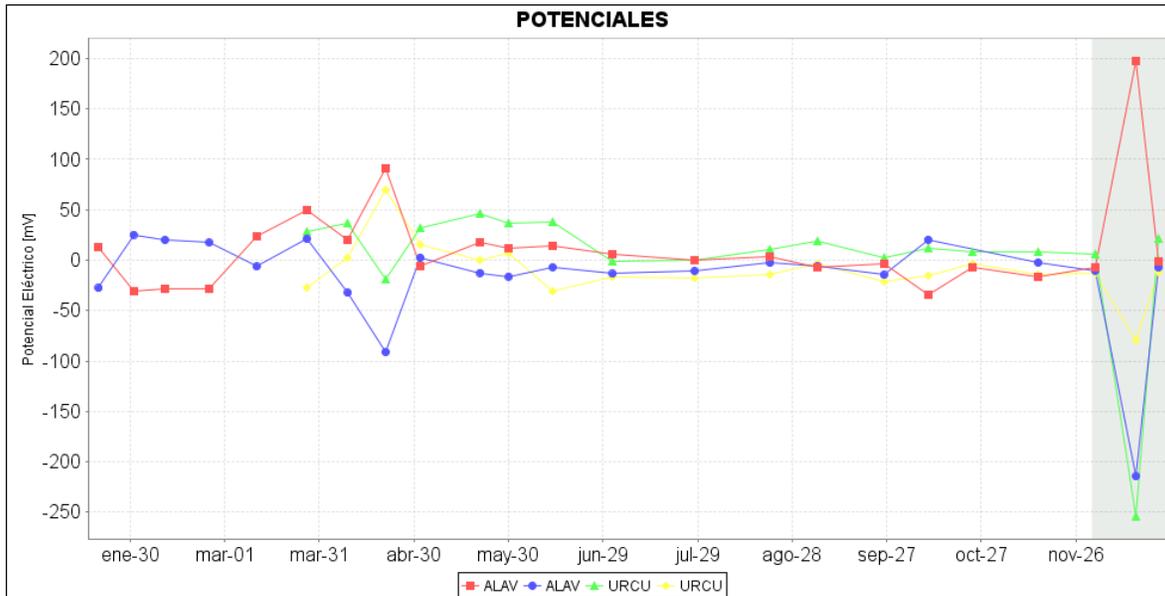


Figura 3. Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones Lavas (líneas azul y roja) y Urcunina (verde y amarilla), para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2014.

Los registros de las variaciones de Campo eléctrico, en la estación de muestreo permanente Frailejón, desde inicios de noviembre registran un comportamiento relativamente estable, sin embargo a principios de diciembre se observan algunas variaciones, que como mencionamos anteriormente podrían estar asociadas con manifestaciones del sistema hidrotermal a niveles superficiales (Figura 4).

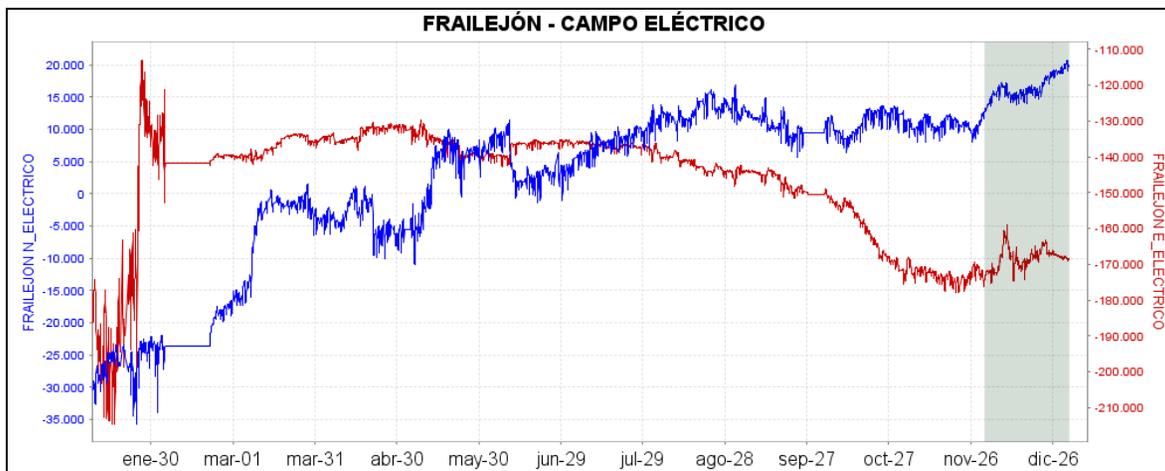


Figura 4. Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, en el periodo entre mayo y octubre de 2014.

El seguimiento de las variaciones del campo eléctrico, en la estación de monitoreo permanente de Barranco, muestra para sus dos componentes, N y E, un comportamiento estable desde inicios de octubre hasta finales de diciembre con variaciones menores a los 5 mV (Figura 5).

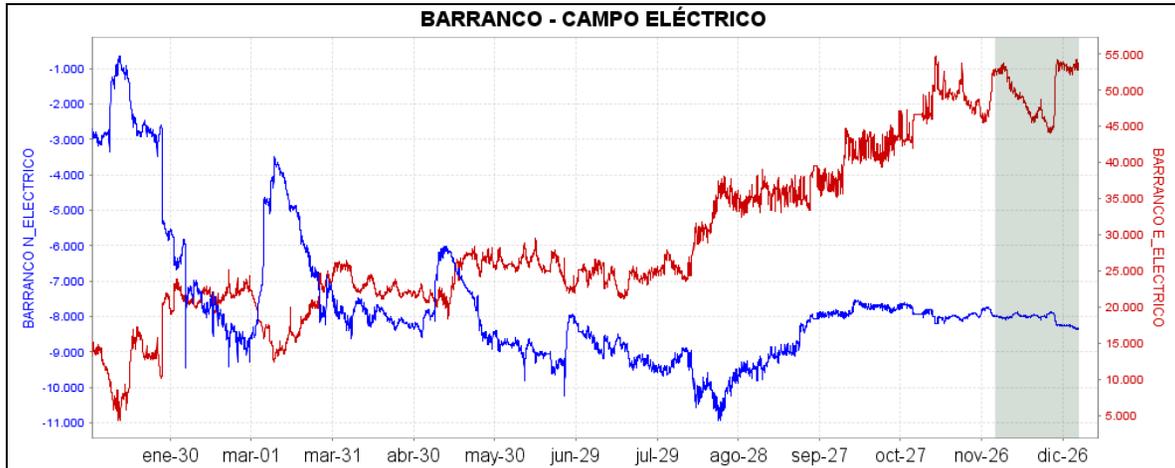


Figura 5. Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, en el periodo entre mayo y octubre de 2014.

El análisis de las variaciones del campo magnético en las estaciones de monitoreo permanente, muestra que en las estaciones Frailejón y Barranco la componente vertical registra un comportamiento ascendente posiblemente asociado con el registro de pequeños enjambres sísmicos a niveles superficiales, mientras que las componentes N y E muestran un comportamiento relativamente estable (Figuras 6 y 7). En el magnetómetro Cráter se observa dicho cambio en la componente Norte mientras que las otras dos componentes permanecen constantes (Figura 8).

FRAILEJÓN - CAMPO MAGNÉTICO

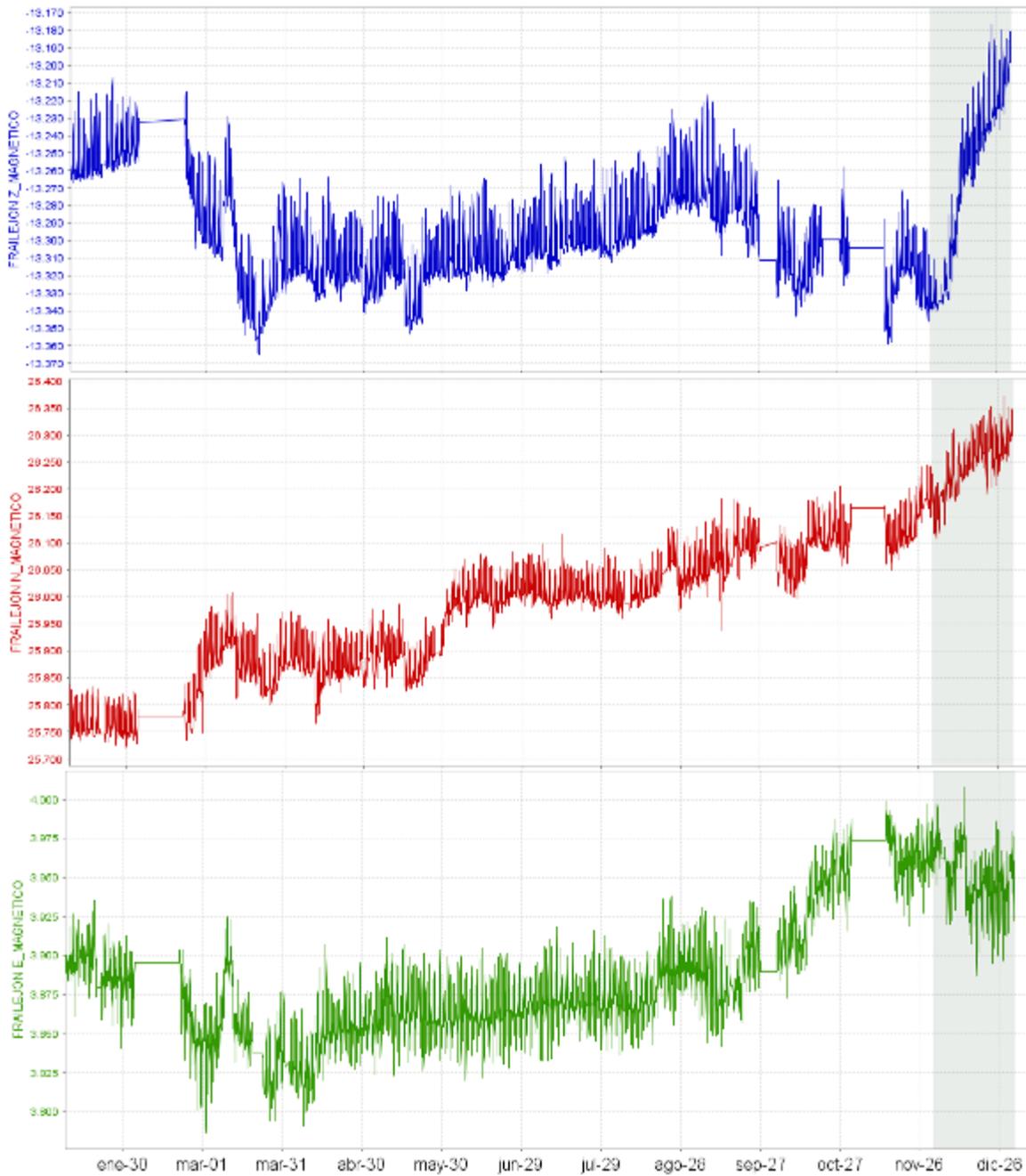


Figura 6. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (rojo) y EW (verde), de la estación de Frailejón, para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2014.

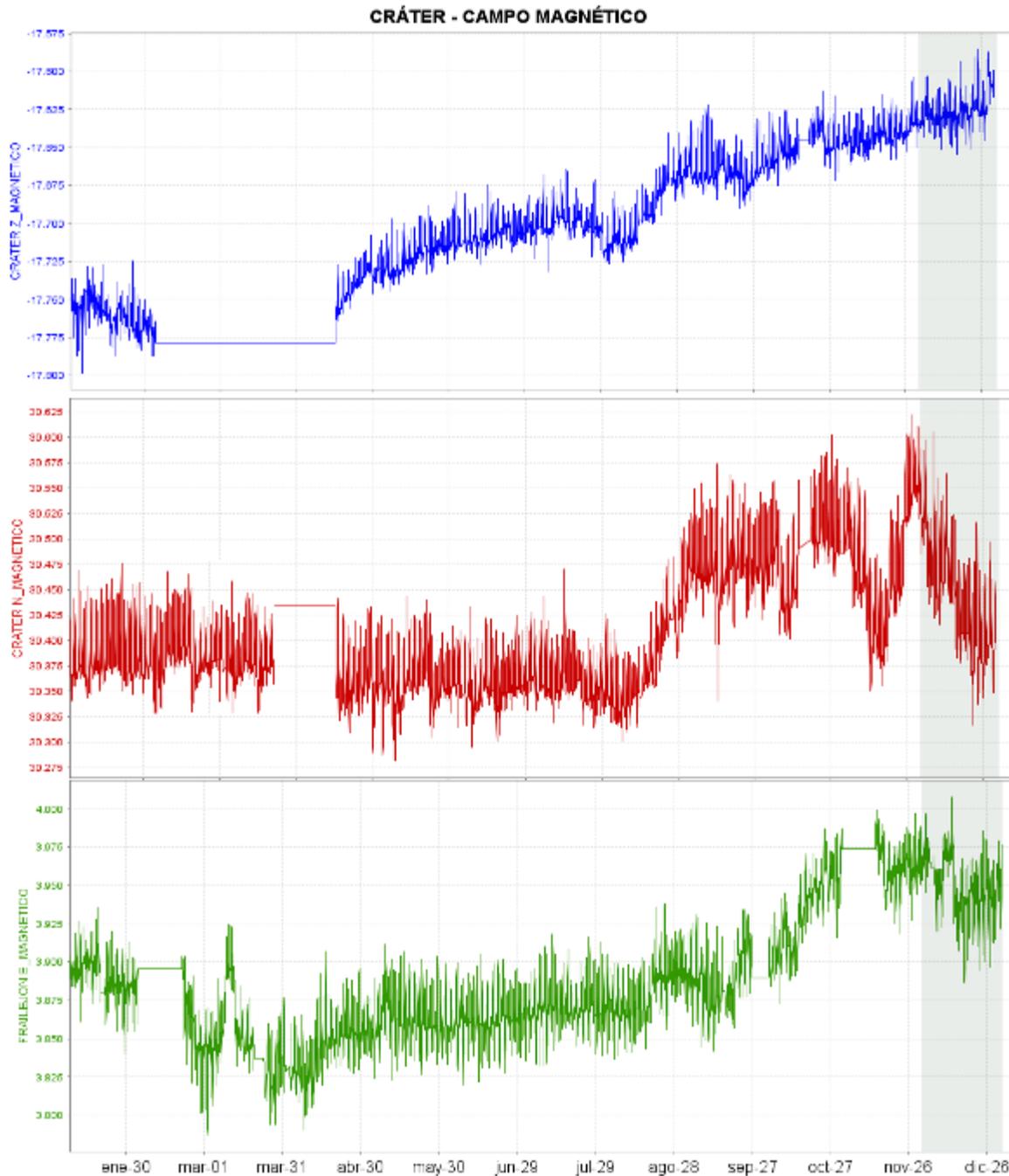


Figura 7. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (rojo) y EW (verde), de la estación de Cráter, para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2014.

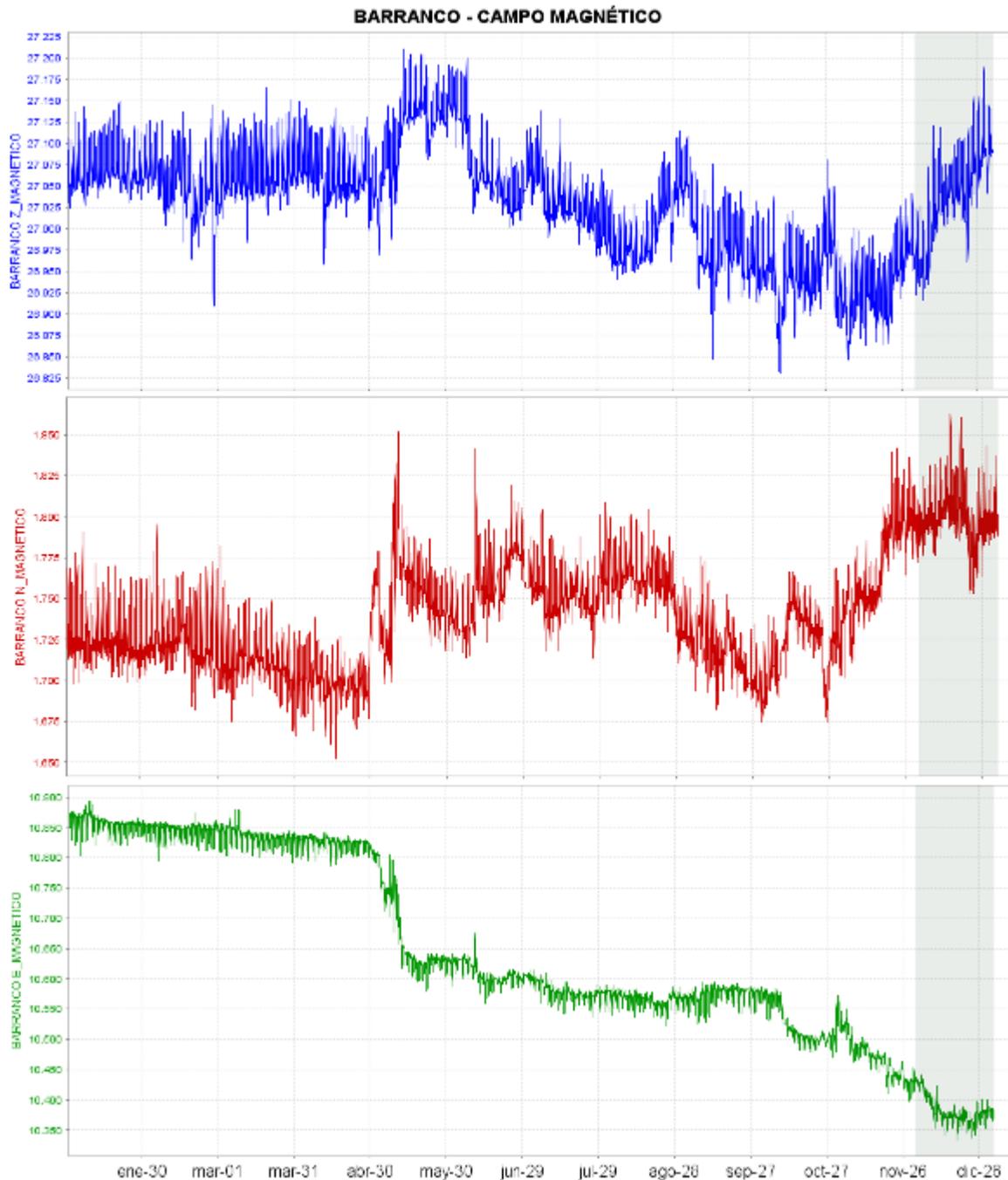


Figura 8. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2014.