

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		Edgar Antonio Muñoz Hidalgo
Fecha	De publicación/disposición tres primeras letras del mes/año	Jun/2016
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Mayo de 2016.
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 de los volcanes Galeras, Doña Juana, Las Ánimas, Cumbal, Azufral, Chiles y Cerro Negro en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Se utiliza gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones específicas donde el conjunto de datos ha sido o se está utilizando. Incluye opcionalmente lista de anexos, fuentes y documentos relacionados con el conjunto de datos.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales. (Investigación, plan, programa, proyecto)	Proyecto
Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	Investigación y Monitoreo de la Actividad Volcánica (AME13-06).
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos	Mayo de 2016.
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica.	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de

	Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km ²	influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral. Zona de influencia del Volcán Las Ánimas.
Coordenadas /limites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptor de tema: -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación -Electromagnetismo -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios	- Zona de influencia del Volcán Galeras, cono activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Cumbal - Zona de influencia del Volcán Doña Juana - Zona de influencia del Volcán Azufral - Zona de influencia del Volcán Las Ánimas - Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro
Código temático		Capas de información
Restricción de acceso	Limitaciones para acceso al conjunto de datos incluye restricciones que aseguren protección de privacidad o propiedad intelectual o limitaciones en obtención del conjunto de datos.	Derechos de propiedad intelectual. Prohibida su reproducción total o parcial con fines comerciales. Incluye información básica para documentos e investigación.
Muestra gráfica	Ilustración gráfica del conjunto de datos. Se especifica la dirección del computador, trayectoria, nombre y extensión del archivo.	Los datos se encuentran en el Servidor de Archivos Principal en el directorio: V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2016\may
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido, normatividad	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y sísmica en la zona de influencia de los Volcanes Galeras, Cumbal, Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Chilles y Cerro Negro para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos.
Distribución		
Distribuidor		
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa, imagen satelital, informe técnico	Informe Técnico
Proceso estándar de pedido		
Productos impresos	Identificación que tipo de producto impreso. Ej. mapa impreso a color	No aplica.
Forma digital		

Formato	Nombre, versión del formato. Ejm: PDF.- Si no se encuentra en forma digital se escribe "No disponible"	El informe se encuentra en formato DOC y PDF
Opción de transferencia digital		
Dirección en línea	Dirección electrónica donde se puede obtener el conjunto de datos	http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2016.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	CDROM
Contacto		
Organización	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano.
Cargo/persona	Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos	Cristian López, Jefe de Proyecto Ame09-42
Sede		Bogotá
Dirección		Diag. 53 No. 34-53
Ciudad		Bogotá, D.C.
Departamento		Cundinamarca
País		Colombia
Teléfono		(57+1)2 20 02 00 - 2 20 01 00 - 2 22 18 11 (57+1) 01-8000-110842
Fax		(57+1) 222 07 97
Correo electrónico		<u>cliente@sgc.gov.co</u>



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

Edición:

GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO

San Juan de Pasto, junio de 2016

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	9
	INTRODUCCION	11
1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – MAYO DE 2016	12
1.1.	RED DE VIGILANCIA	12
1.2.	SISMOLOGÍA	16
1.3.	DEFORMACIÓN	22
1.3.1.	Estaciones de Inclinometría Electrónica	22
1.3.2.	Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras	27
1.3.3.	Estaciones GNSS permanentes	27
1.4.	ELECTROMAGNETISMO	32
1.5.	GEOQUÍMICA	36
1.5.1.	Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras	36
1.5.1.1.	Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO ₂) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS	36
1.5.1.2.	Flujo de gas Radón 222 – (Rn222) telemétrico	37
1.5.2.	Muestreo de aguas en fuentes termales.	39
1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	47
1.7.	CONCLUSIONES	49
2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MAYO DE 2016	50
2.1.	RED DE VIGILANCIA	50
2.2.	SISMOLOGÍA	51
2.3.	DEFORMACIÓN	53
2.4.	GEOQUÍMICA	56
2.5.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	56
2.6.	CONCLUSIONES	57
3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – MAYO DE 2016	58
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	58
3.2.	RED DE VIGILANCIA	58
3.3.	SISMOLOGÍA	61
3.4.	DEFORMACIÓN	64
3.5.	GEOQUÍMICA	66
3.5.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales del volcán Chiles	66
3.5.2.	Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	66
3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	67
3.7.	CONCLUSIÓN	67
4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MAYO DE 2016	68
4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	69
4.1.1.	Ubicación Geográfica	69
4.1.2.	Red de Vigilancia	70
4.1.3.	Sismología	71
4.1.4.	Deformación	71
4.1.5.	Actividad Superficial	73
4.1.6.	Conclusión	73
4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	74
4.2.1.	Red de vigilancia	74
4.2.2.	Sismología	75

4.2.3.	Deformación	75
4.2.4.	GEOQUÍMICA	77
4.2.5.	Actividad Superficial	85
4.2.6.	Conclusión	85
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	86
4.3.1.	Red de vigilancia	86
4.3.2.	Sismología	88
4.3.3.	Deformación	90
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	90
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	91
4.3.4.	Geoquímica	91
4.3.4.1	Muestreo de aguas en fuentes termales en el volcán Azufral	91
4.3.5.	Actividad Superficial	95
4.3.6.	Conclusión	98

FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en mayo de 2016.	13
Figura 2.	Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en mayo de 2016.	14
Figura 3.	Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en mayo de 2016.	15
Figura 4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en mayo de 2016.	16
Figura 5.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de febrero y mayo de 2016.	17
Figura 6.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016. La región sombreada corresponde al mes de mayo de 2016.	18
Figura 7.	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).	18
Figura 8.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.	19
Figura 9.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para mayo de 2016 (barras de la derecha) respecto a abril de 2016 (barras de la izquierda).	20
Figura 10.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde febrero a mayo de 2016.	20
Figura 11.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de mayo de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,0 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).	21
Figura 12.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	23
Figura 13.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	23
Figura 14.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 14 de septiembre de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	24
Figura 15.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 31 de mayo de 2016.	24
Figura 16.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de abril de 2011 y el 31 de mayo de 2016.	25
Figura 17.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de marzo de 2012 y el 31 de mayo de 2016.	25
Figura 18.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de mayo de 2016.	26
Figura 19.	Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre 11 de septiembre de 2011 y el 31 de mayo de 2016.	26
Figura 20.	Vector Resultante de la red de inclinómetros electrónicos instalados en el volcán Galeras, para un periodo comprendido entre enero de 2014 y mayo de 2016.	27

Figura 21.	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	28
Figura 22.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.	29
Figura 23.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.	29
Figura 24.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre 1 mayo de 2014 y el 15 de mayo de 2016.	30
Figura 25.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	30
Figura 26.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.	31
Figura 27.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre en 1 de enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.	31
Figura 28.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, ubicado en el municipio de Chachagüí, departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre en 1 de enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.	32
Figura 29.	Componente Horizontal (H-magenta) del campo magnético, registrado en las estación de Frailejón (superior), Barranco (medio) y Cráter (inferior), perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de marzo y mayo de 2016. La zona sombreada corresponde al mes evaluado, mayo de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	33
Figura 30.	Campo magnético total (F), registrado en las estación de Frailejón (superior), Barranco (medio) y Cráter (inferior), perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de marzo y mayo de 2016. La zona sombreada corresponde al mes evaluado, mayo de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	34
Figura 31.	Componente Horizontal (H-magenta) del campo magnético, registrado en la estación de Barranco, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras y condiciones de lluvia en la zona del volcán Galeras, registradas en la estación Mijitayo Bajo (en rojo); entre los meses de marzo y mayo de 2016. La zona sombreada corresponde al mes evaluado, mayo de 2016. La escala de medición del campo magnético esta en nano Teslas (nT) y de la lluvia en cuentas.	34
Figura 32.	Intensidad del campo magnético Terrestre total (F – negro) y componente Horizontal (H-Magenta), del campo magnético Terrestre, registrados en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de mayo de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).	35
Figura 33.	Variaciones la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Frailejón (superior) y Barranco (inferior), pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el mes de mayo de 2016). La escala de medición del campo eléctrico está en mili voltios por metro y el pluviómetro en cuentas.	35
Figura 34.	Flujo de dióxido de azufre (SO ₂) Volcán Galeras - mes de mayo 2016.	36
Figura 35.	Flujo de dióxido de azufre (SO ₂), velocidad y dirección del viento - mes de mayo 2016.	37
Figura 36.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras.	38
Figura 37.	Concentración radón en suelo volcán Galeras - Estación telemétrica Lavas – mes de mayo de 2016.	39
Figura 38.	Concentración radón en suelo volcán Galeras - Estación telemétrica Parques – mes de mayo 2016.	39
Figura 39.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.	40
Figura 40.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras para el mes de mayo de 2016.	41
Figura 41.	Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - mayo 2016.	42
Figura 42.	Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - mayo 2016.	42

Figura 43.	Imagen térmica FT Río Pasto en mayo de 2016.	43
Figura 44.	Imagen térmica FT Cehani en mayo de 2016.	44
Figura 45.	Imagen térmica FT Agua Blanca en mayo de 2016	45
Figura 46.	Imagen térmica FT Licamancha en mayo de 2016.	45
Figura 47.	Variación del pH de las FT de Volcán Galeras en mayo de 2016.	46
Figura 48.	Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras en mayo de 2016.	46
Figura 49.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en la repetidora Bruma el 5 de mayo de 2016 a las 6:26 p.m.	47
Figura 50.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 7 de mayo de 2016 a las 11:06 a.m.	47
Figura 51.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 10 de mayo de 2016 a las 7:53 a.m.	48
Figura 52.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 31 de mayo de 2016 a las 6:44 a.m.	48
Figura 53.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de mayo de 2016.	50
Figura 54.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en mayo de 2016.	51
Figura 55.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre febrero y mayo de 2016. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	52
Figura 56.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.	52
Figura 57.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de mayo de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).	53
Figura 58.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre agosto de 2012 y el 31 de mayo de 2016.	54
Figura 59.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	54
Figura 60.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico La Mesa instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de mayo de 2016.	55
Figura 61.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Nieves, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre agosto de 2013 y el 31 de mayo de 2016.	55
Figura 62.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 2 de mayo de 2016 a las 7:26 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	56
Figura 63.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 10 de mayo de 2016 a las 5:25 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	56
Figura 64.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	58
Figura 65.	Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de mayo de 2016.	59
Figura 66.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante mayo de 2016.	60
Figura 67.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de mayo de 2016.	61
Figura 68.	Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de febrero y mayo de 2016.	62

Figura 69.	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 mayo de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	63
Figura 70.	Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.	64
Figura 71.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	65
Figura 72.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de mayo de 2016.	65
Figura 73.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	66
Figura 74.	Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles entre agosto de 2015 y mayo de 2016.	67
Figura 75.	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.	68
Figura 76.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	69
Figura 77.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de mayo de 2016. En el mapa se distingue también el volcán Doña Juana. Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos.	70
Figura 78.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante mayo de 2016.	71
Figura 79.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 31 de mayo de 2016.	72
Figura 80.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 31 de mayo de mayo de 2016.	72
Figura 81.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.	74
Figura 82.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de mayo de 2016.	75
Figura 83.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	76
Figura 84.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 31 de mayo de 2016.	76
Figura 85.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	77
Figura 86.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	78
Figura 87.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas mes de mayo 2016.	80
Figura 88.	Comportamiento del pH de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas mayo de 2016.	80
Figura 89.	Imagen térmica FT Tajumbina mayo 2016.	81
Figura 90.	Imagen térmica FT Ánimas I mayo de 2016.	81
Figura 91.	Imagen térmica FT Ánimas II mayo 2016.	82
Figura 92.	Imagen térmica FT Ánimas III mayo 2016.	82

Figura 93.	Imagen térmica FT La Vega mayo 2016.	83
Figura 94.	Imagen térmica FT El Silencio mayo 2016.	83
Figura 95.	Comportamiento de la temperatura de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas hasta mayo 2016.	84
Figura 96.	Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas mayo de 2016.	85
Figura 97.	Comportamiento del contenido de Bicarbonato de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas hasta mayo de 2016.	85
Figura 98.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán AzufraI durante el mes de mayo de 2016.	86
Figura 99.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán AzufraI durante el mes de mayo de 2016.	87
Figura 100.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán AzufraI durante el mes de mayo de 2016.	88
Figura 101.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán AzufraI entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.	88
Figura 102.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán AzufraI, en el mes de mayo de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	89
Figura 103.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán AzufraI, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.	90
Figura 104.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán AzufraI, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2015 y el 31 de mayo de 2016.	91
Figura 105.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán AzufraI mayo 2016.	92
Figura 106.	Variación de temperatura de las FT de Volcán AzufraI – mayo 2016.	93
Figura 107.	Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán AzufraI – mayo 2016.	93
Figura 108.	Variación del pH en las FT de Volcán AzufraI – Mayo 2016	94
Figura 109.	Variación en la concentración de bicarbonato en las FT de Volcán AzufraI – Mayo 2016.	94
Figura 110.	Imágenes registradas por la cámara web ubicada en el sector sur de la Laguna Verde del volcán AzufraI.	96
Figura 111.	Imágenes registradas el día 19 de mayo de 2016 sobre salida de material del 10 de mayo de 2016.	97
Figura 112.	Imágenes térmicas salida de material.	98

TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en mayo de 2016.	14
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en mayo de 2016.	15
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en mayo de 2016.	15
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en mayo de 2016.	16
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	16
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras.	16
Tabla 7.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero de 2016 y el 31 de mayo de 2016, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	17
Tabla 8.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016, resaltando en color verde el mes evaluado.	19
Tabla 9.	Emisiones de SO ₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de mayo de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	37
Tabla 10.	Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – mes de mayo de 2016.	39
Tabla 11.	Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Parques – Volcán Galeras – mes de mayo de 2016.	39
Tabla 12.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras – mayo de 2016.	40
Tabla 13.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	43
Tabla 14.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante m	51
Tabla 15.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016 (resaltado en color verde).	51
Tabla 16.	Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	59
Tabla 17.	Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.	60
Tabla 18.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.	61
Tabla 19.	Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – mayo de 2016.	67
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en mayo de 2016.	70
Tabla 21.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en mayo de 2016.	75
Tabla 22.	Ubicación geográfica fuentes termales volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	79
Tabla 23.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante mayo de 2016.	87
Tabla 24.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.	89
Tabla 25.	Ubicación geográfica fuentes termales del área de influencia del volcán Azufral.	92

RESUMEN

Durante el mes de mayo de 2016, la ocurrencia sísmica y la energía liberada por los eventos registrados en el volcán Galeras disminuyeron en comparación a los valores registrados en abril. Los sismos asociados con fracturamiento de material cortical (VT) seguidos por aquellos asociados a movimiento de fluidos de fuente transitoria (LPS) fueron los que aportaron el mayor número. Los eventos asociados con fracturamiento de material cortical fueron los que aportaron la mayor fracción de energía liberada.

Respecto a la localización de sismos relacionados con fracturamiento de roca (VT) e (HYB), fue posible identificar cuatro fuentes: los más superficiales se concentraron muy próximos al cono volcánico, a distancias epicentrales menores a 1 km, la segunda fuente se ubicó a 4.5 km hacia el sector suroriental a profundidades entre 3 y 5 km respecto de la cima de Galeras, una tercera fuente se localizó a 7 km al suroccidente del cráter, presentando profundidades entre 5 y 7 km y una cuarta con mayor concentración de sismos hacia el sector nororiente a 11 km, con profundidades entre los 6 y 12,5 km respecto a la cima. Las magnitudes calculadas fueron menores a 2.7 en la escala de Richter

Los sensores que monitorean las deformaciones volcánicas continúan mostrando cambios en algunos de los flancos del volcán, siendo más relevante la deformación hacia el lado occidental.

En cuanto a la actividad superficial con base en la información que aportan las imágenes capturadas del cráter activo, fue posible evidenciar emisiones de gases durante la mayor parte del mes, en su mayoría de coloración blanca; los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental de la cima del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos y con alturas relativamente bajas sobre la cima de Galeras.

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

Con relación al monitoreo del Complejo volcánico de Cumbal, la evaluación de los registros sísmicos en la estaciones instaladas en este volcán muestran que la mayoría de eventos ocurridos se asocian movimiento de fluidos de fuente transitoria al interior del sistema volcánico (LP). Comparando la actividad sísmica del periodo evaluado con la del mes anterior, se observa una incremento del 43,5%.

Respecto a la localización de sismos VT e HYB, para el periodo evaluado fue posible localizar 210 sismos, que en su mayoría se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela a distancias menores de 2,0 km, desde el centro del Complejo volcánico y a profundidades inferiores a 4 3 km respecto de la cima. Las magnitudes locales de los eventos localizados estuvieron por debajo de 1,3 en la escala de Richter.

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

La ocurrencia sísmica de los Volcanes Chiles y Cerro Negro, en el mes de mayo disminuyó en un 21,4% en comparación al mes de abril, pasando de 463 a 364 sismos. De esta sismicidad fue posible localizar 133 eventos, la mayoría de los cuales se ubicaron en inmediaciones de la cima y hacia los sectores sur y suroccidente del volcán Chiles; algunos eventos se ubicaron de manera dispersa hacia el sur y suroriente de este volcán; los sismos se localizaron a menos de 9 km respecto al centro del volcán Chiles, a profundidades de hasta 11 km respecto de la cima. Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 1,8 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta la magnitud local presentada por los eventos localizados, se logró obtener un estimativo de la energía liberada en términos de su raíz cuadrada, observándose que ésta aumentó en comparación a la energía liberada en el mes anterior pasando de $8,4 \times 10^{13}$ ergios a $7,7 \times 10^{14}$ ergios.

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

La evaluación del proceso volcánico para los volcanes Chiles – Cerro Negro durante mayo de 2016 permitió mantener el **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

En los volcanes Las Ánimas y Azufral se tuvo registro de 1 y 9 eventos tipo VT respectivamente, los cuales fueron de bajo nivel energético. Para el volcán doña Juana no se tuvo registro de eventos sísmicos.

La actividad del volcán Azufral se caracterizó por la ocurrencia de un proceso eruptivo que muy probablemente es de origen hidrotermal, en una zona de alteración pre-existente, hacia el sector nororiente de la Laguna Verde, en el sitio llamado La Playa, fenómeno que produjo agrietamientos y diversos colapsos a través de los cuales emitió material fluido caliente, que dejó un depósito de 10x6 m aproximadamente. Salida de material que ya se ha evidenciado en esta zona, la primera vez en julio de 2009, posteriormente y en menor cuantía en agosto de 2010 y ahora para mayo de 2016.

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

INTRODUCCION

Durante el mes de mayo de 2016, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles y Cerro Negro, Doña Juana, Azufral y Las Ánimas, mediante el monitoreo continuo y en tiempo real durante las 24 horas del día. Esto permitió evaluar el estado de actividad de cada uno de estos volcanes.

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

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

1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – MAYO DE 2016

1.1. RED DE VIGILANCIA

En mayo de 2016 la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Catorce estaciones sísmicas telemétricas: cuatro de corto periodo triaxiales y diez de banda ancha triaxiales (Figura 1, Tabla 1).
- Tres sensores de presión acústicos, uno ubicado en el sector occidental en el sitio de la estación sísmica de corto periodo Calabozo, el segundo en el sitio de la estación sísmica de banda ancha Cráter-2 y el último ubicado en el sitio de la estación sísmica Cóndor (Figura 1, Tabla 1).
- Cuatro cámaras de video permanentes para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, otra en el municipio de Consacá, otra instalada en el flanco norte de la cima de Galeras, en el sitio denominado Barranco Alto y la última Bruma, hacia el sector suroccidental del cono (Figura 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2)
- Seis estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas en el sitio de la estación sísmica Cráter-2, sector de Barranco Alto, San Felipe al noroccidente, otro hacia el sector de San Cayetano hacia el oriente de Galeras, en el sector de la estación sismológica Ingenio y el último instalado en el sector nororiente de Galeras (Figura 2, Tabla 3).
- Con el fin de monitorear los cambios en la superficie del edificio volcánico de Galeras se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 5 bases y 8 prismas reflectores (Figura 2).
- Tres estaciones de detección de emisiones de dióxido de azufre (SO₂) con transmisión telemétrica localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 3, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de variación del campo Magnético, Cráter, Frailejón y Barranco. Adicionalmente, las estaciones EM-Frailejón y EM-Barranco cuentan con sistemas de medición de variación de campo eléctrico Cráter (Figura 3, Tabla 5).
- Dos estaciones para monitoreo constante de flujos de lodos, con transmisión telemétrica, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo.
- Una estación meteorológica, conformada con sensores para medición de velocidad y dirección del viento, pluviometría, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente. Esta estación se encuentra emplazada en el sitio de la estación sísmica Cráter-2.

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

Durante mayo de 2016, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 95,7 %, garantizando la obtención de información confiable para la evaluación de la actividad volcánica. La Figura 4, muestra el histograma con el porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo volcánico.

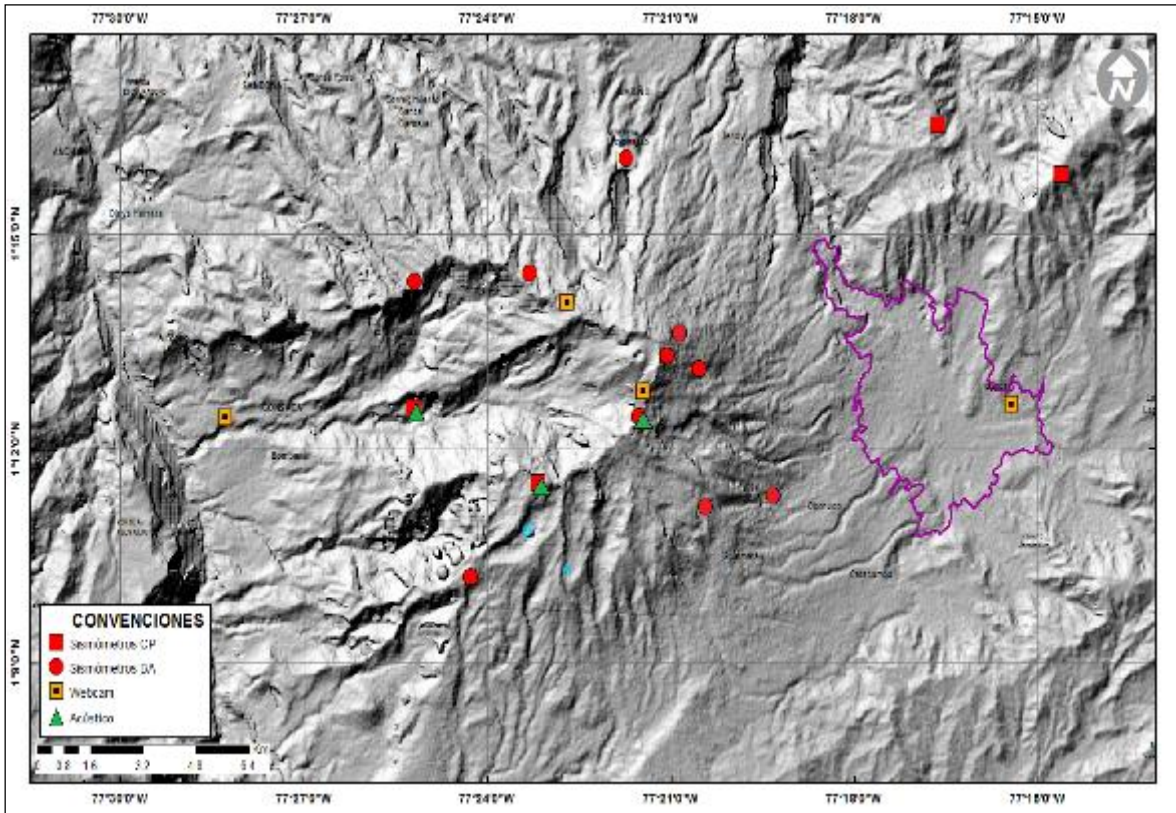


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en mayo de 2016.

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

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

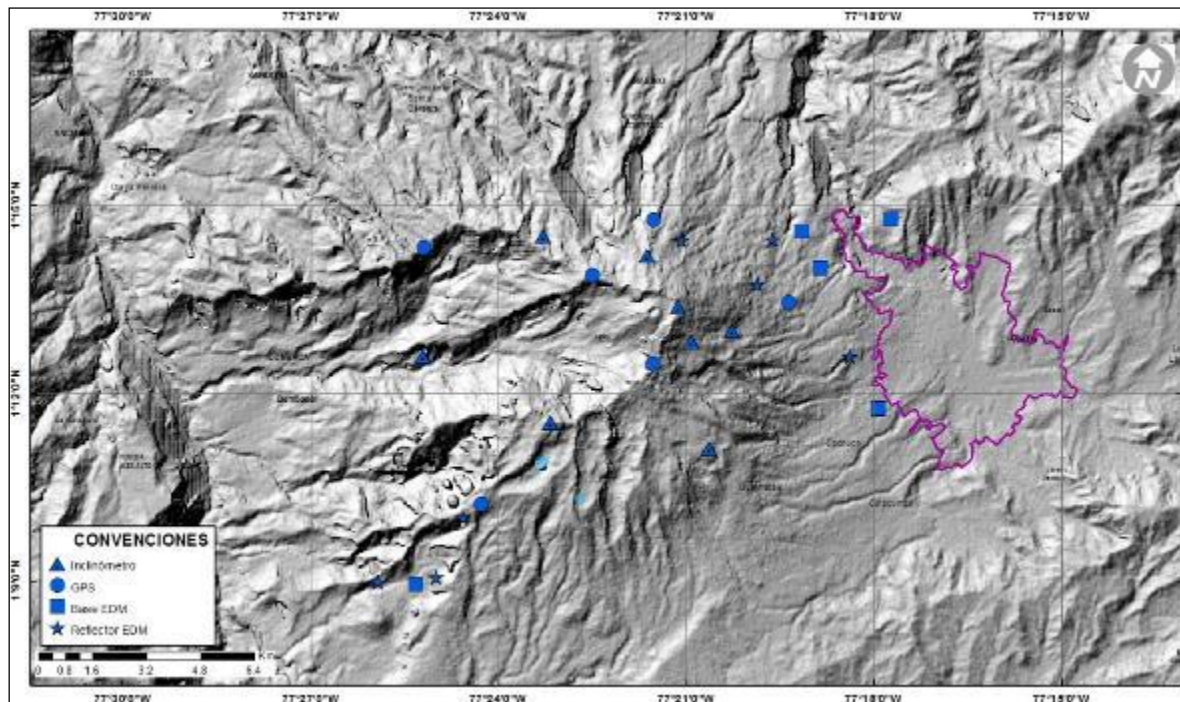


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en mayo de 2016.

Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en mayo de 2016.

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

Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en mayo de 2016.

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

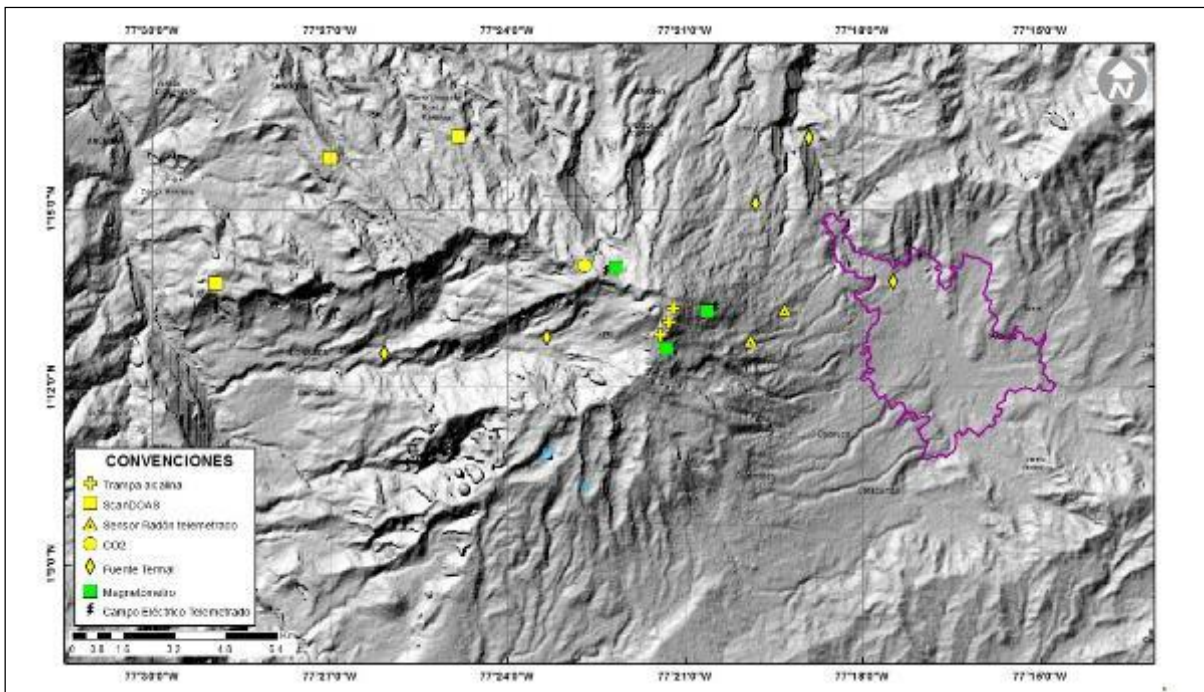


Figura 3. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en mayo de 2016.

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

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

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

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

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

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

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

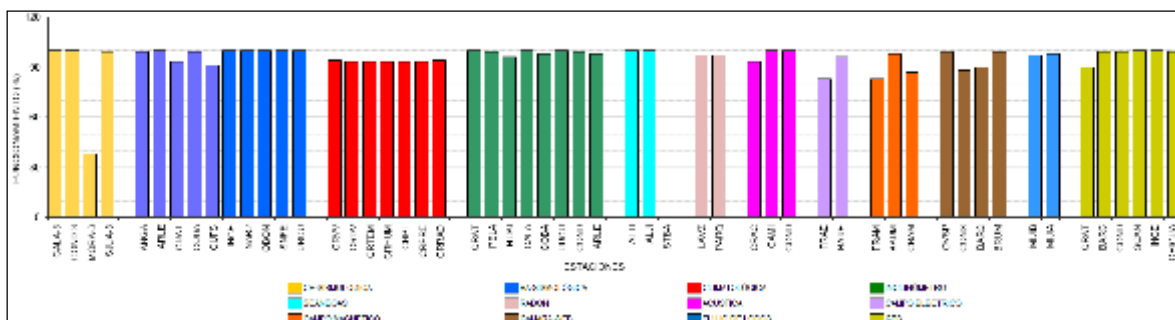


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en mayo de 2016.

1.2. SISMOLOGIA

En el mes de mayo de 2016, la actividad sísmica de Galeras disminuyó en un 32,4% respecto al mes de abril de 2016 pasando de 188 a 127 eventos. La sismicidad se caracterizó por el predominio de eventos asociados con fracturamiento de roca al interior de la estructura volcánica (sismos tipo VT)

con un 75,6% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de ocurrencia por eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (Eventos Tipo LP) y eventos asociados a fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (sismos tipo HYB) los cuales aportaron con un 15% respectivamente. Por su parte, los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE) aportaron con un 0,8%. La Figura 5 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos.

En comparación con el mes anterior se evidencia que el número de eventos VT fue menor en un 21,3%, los sismos LPS disminuyeron en 66,7% y los HYB disminuyeron su ocurrencia en un 6,3% (Tabla 7, Figuras 6 y 7).

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero de 2016 y el 31 de mayo de 2016, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					NO CLASIFICABLES
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL	
01-feb-16 a 29-feb-16	122	101	1	30	254	538
01-mar-16 a 31-mar-16	101	54	0	15	170	663
01-abr-16 a 30-abr-16	122	45	3	16	188	880
01-may-16 a 31-may-16	96	15	1	15	127	216

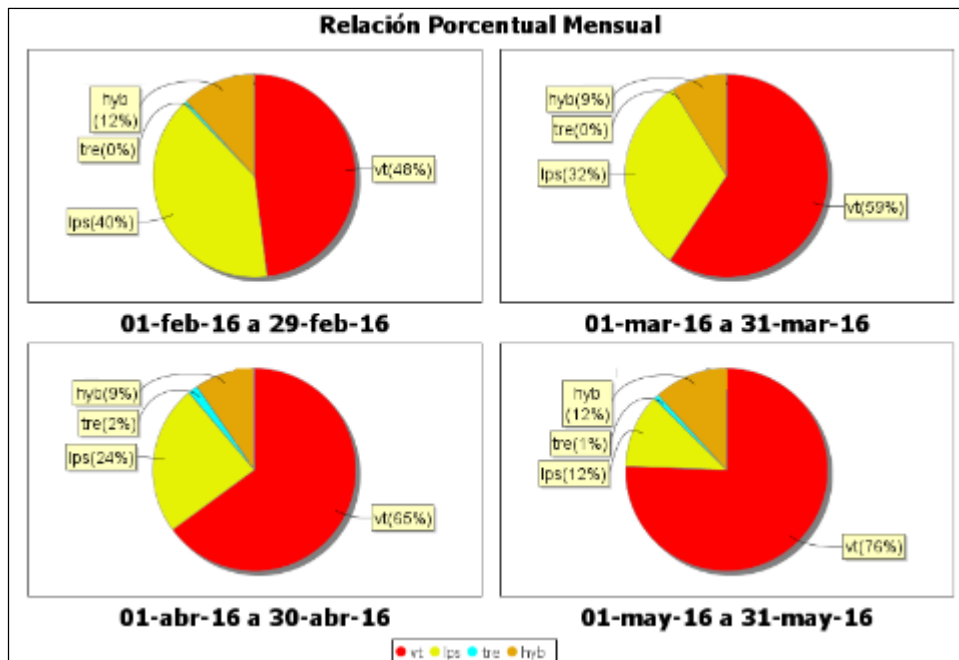


Figura 5. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de febrero y mayo de 2016.

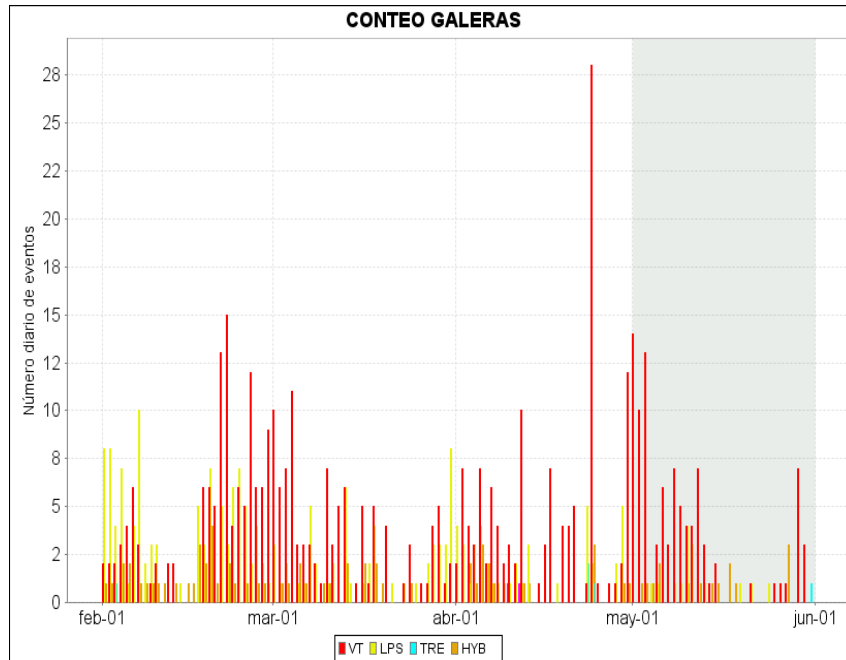


Figura 6. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016. La región sombreada corresponde al mes de mayo de 2016.

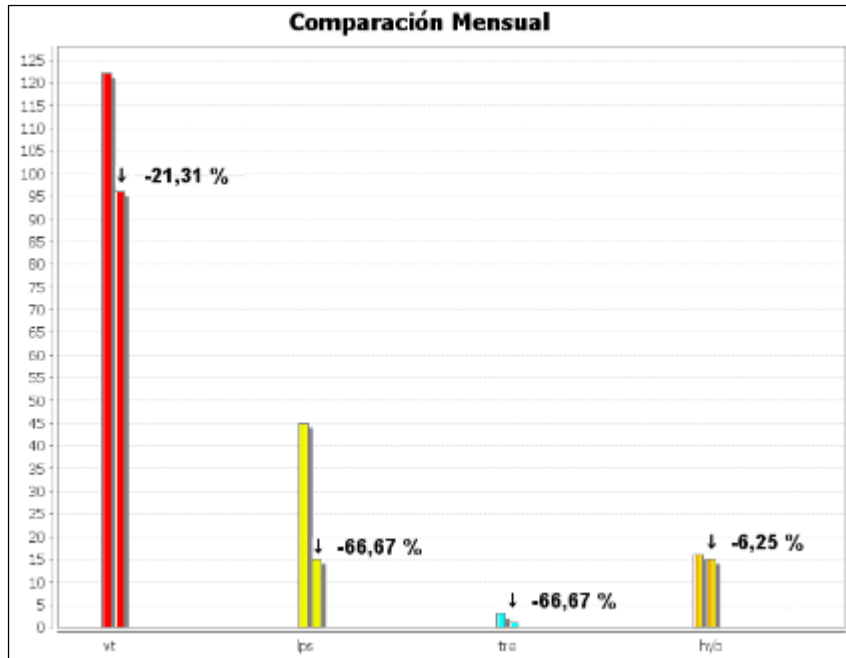


Figura 7. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada disminuyó en un 96,9% en comparación a lo registrado en abril, pasando de $3,56 \times 10^{13}$ ergios a $1,10 \times 10^{12}$ ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos VT con un 90,3%, seguidos por los eventos tipo

HYB con un 6,7%, mientras que los eventos tipo LPS y TRE aportaron con el 2,9% y 0,1% respectivamente (Tabla 8, Figuras 8, 9 y 10).

Tabla 8. Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016, resaltando en color verde el mes evaluado.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-feb-16 a 29-feb-16	9.74E+11	9.45E+11	1.91E+08	6.09E+11	2.53E+12
01-mar-16 a 31-mar-16	4.08E+12	2.40E+12	0.00E+00	2.22E+12	8.70E+12
01-abr-16 a 30-abr-16	3.37E+13	1.60E+12	1.74E+09	2.32E+11	3.56E+13
01-may-16 a 31-may-16	9.97E+11	3.24E+10	4.13E+08	7.38E+10	1.10E+12

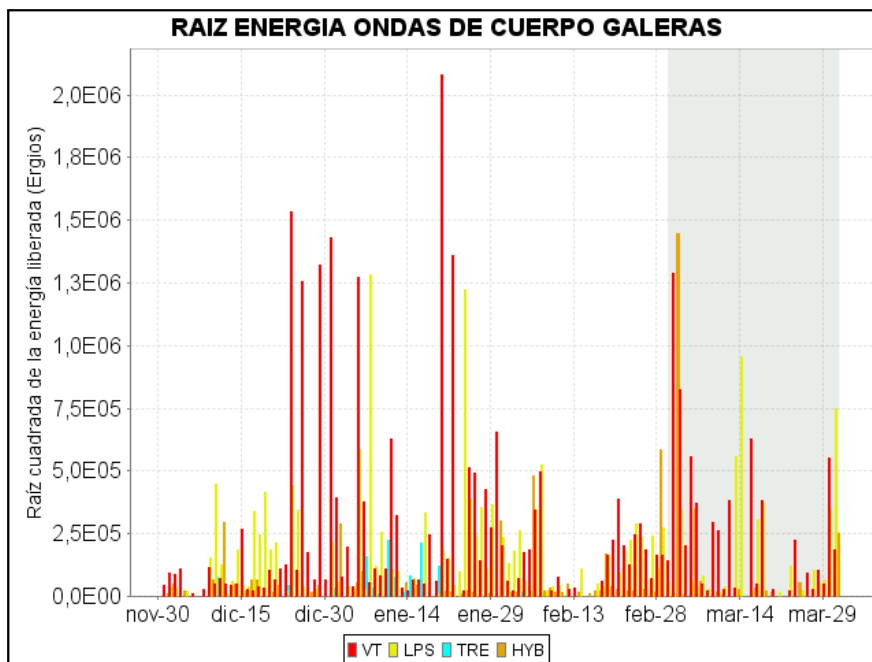


Figura 8. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.

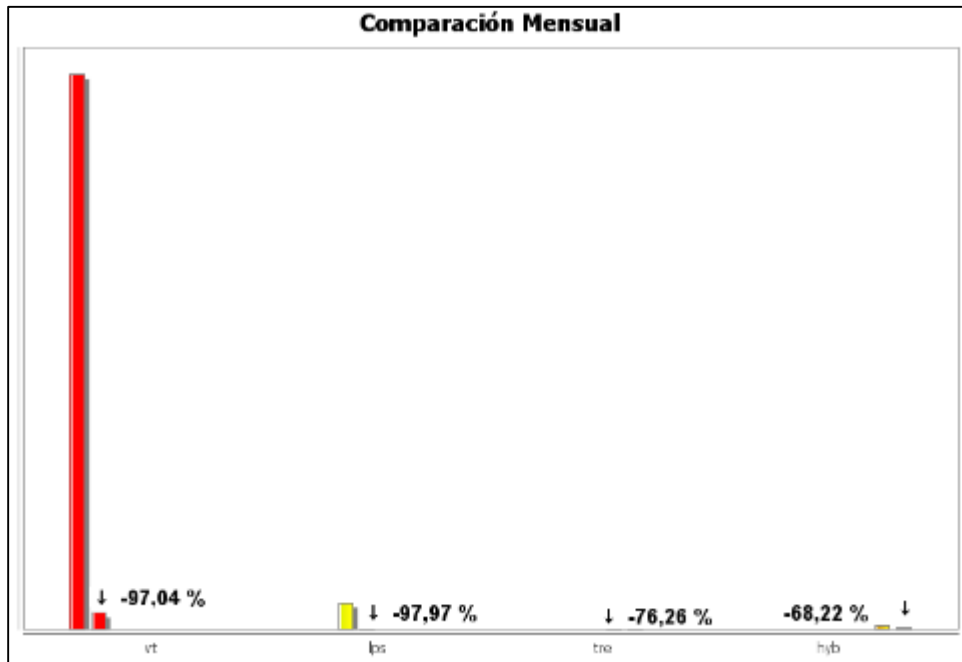


Figura 9. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para mayo de 2016 (barras de la derecha) respecto a abril de 2016 (barras de la izquierda).

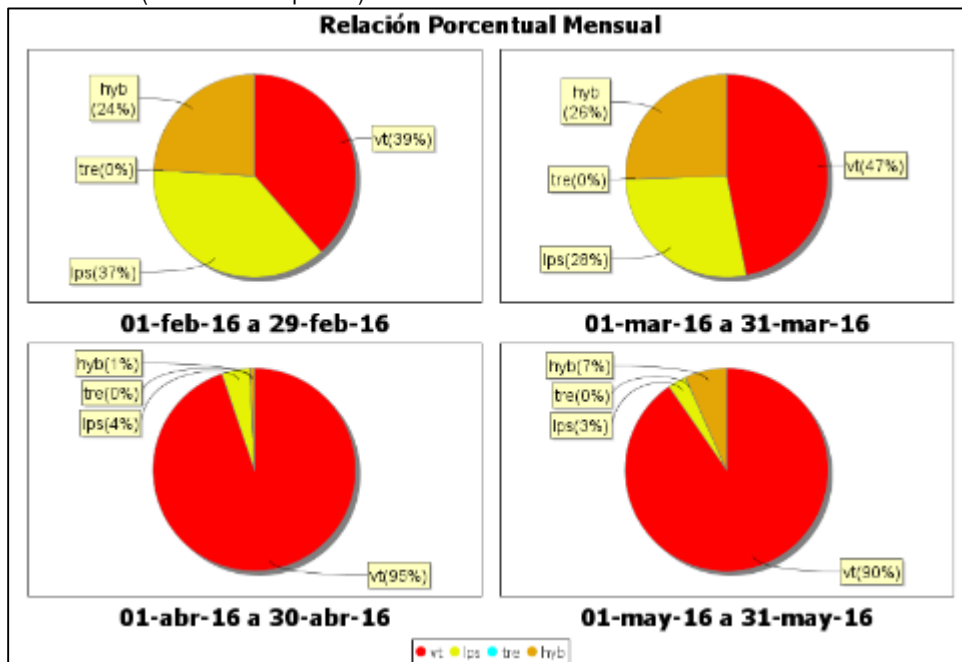


Figura 10. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde febrero a mayo de 2016.

La sismicidad asociada con fracturamiento de material cortical al interior del edificio volcánico fue localizada utilizando la minimización de los residuales de tiempos de arribo de las ondas P y S en las estaciones de monitoreo volcánico de la red de Galeras. Fue posible estimar la localización de 52 sismos, 48 de ellos tipo VT y 3 HYB. De las localizaciones obtenidas es posible identificar cuatro

fuentes: los más superficiales se concentraron muy próximos al cono volcánico, a distancias epicentrales menores a 1 km, la segunda fuente se ubicó a 4.5 km hacia el sector suroriental a profundidades entre 3 y 5 km respecto de la cima de Galeras (4276 msnm), una tercera fuente se localizó a 7 km al suroccidente del cráter, presentando profundidades entre 5 y 7 km y una cuarta con mayor concentración de sismos hacia el sector nororiente a 11 km, con profundidades entre los 6 y 12,5 km respecto a la cima. Las magnitudes calculadas fueron menores a 2.7 en la escala de Richter (Figura 11).

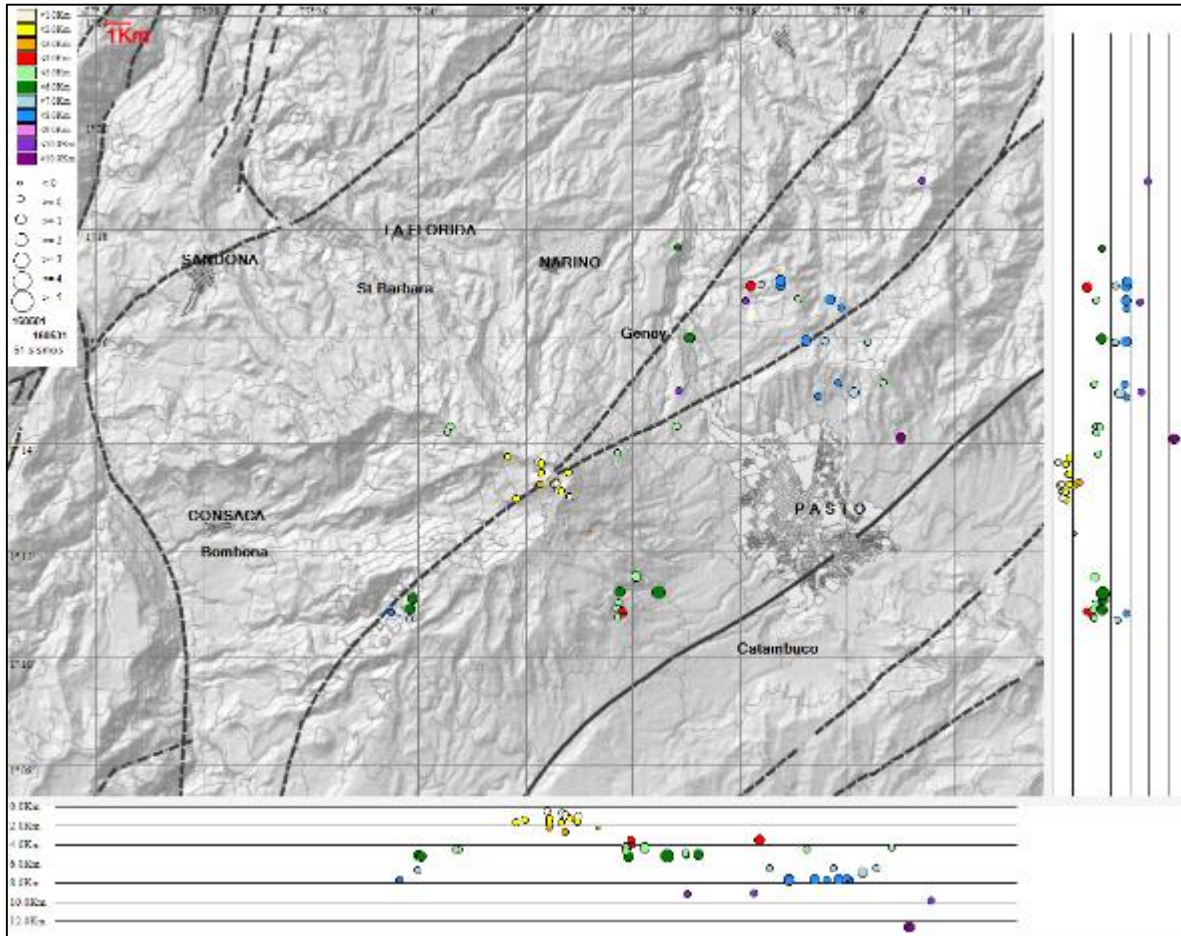


Figura 11. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de mayo de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,0 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).

1.3. DEFORMACIÓN

1.3.1. Estaciones de Inclinometría Electrónica

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

El comportamiento de deformación registrada por los equipos instalados en el edificio volcánico, se analiza por periodos de cambio y se resume a continuación. El comportamiento de los inclinómetros Cráter, Huairatola, Cóndor y Arlés, continúan con el comportamiento estable, con variaciones que se asocian a cambios de temperatura en la zona y al sistema de alimentación (Figuras 12, 13, 14 y 15).

El inclinómetro Peladitos muestra una tendencia ligeramente descendente en la componente Tangencial hasta inicios de 2015, a partir de ahí la componente se mantiene estable; igualmente, la componente Radial, a partir de septiembre de 2014 indica una tendencia estable (Figura 16). La componente Este del inclinómetro Calabozo mantiene su tendencia estable, por su parte la componente Norte mantiene su tendencia ascendente acumulando hasta la fecha unos 450 μrad (Figura 17). En Cobanegra continúa el comportamiento ascendente en la componente Norte, cercano a los 100 μrad , en la Este se aprecia un ligero descenso de 20 μrad hasta octubre de 2015, y posteriormente una tendencia ascendente cercada a los 25 μrad (Figura 18). En Urcunina continúa el registro descendente en la componente Norte, variación de 110 μrad desde el pasado mes de diciembre de 2011, sin embargo se encuentra en revisión porque presenta cambios que pueden obedecer a problemas eléctricos. (Figura 19).

Realizando un cálculo del vector resultante para la red de inclinómetros, tomando como periodo de evaluación a partir del 1 de enero de 2014 hasta el 31 de mayo de 2016, se aprecia que para las estaciones de Peladitos, Cráter y Huairatola, las variaciones son menores de 35 μrad , que puede ser considerado que está dentro de los niveles de variación diaria de los sensores, que se ven afectados por las condiciones de temperatura. Los inclinómetros con mayores cambios corresponden a Cobanegra y Calabozo (Figura 20), que pueden estar asociadas con la actividad volcánica, a niveles más profundos.

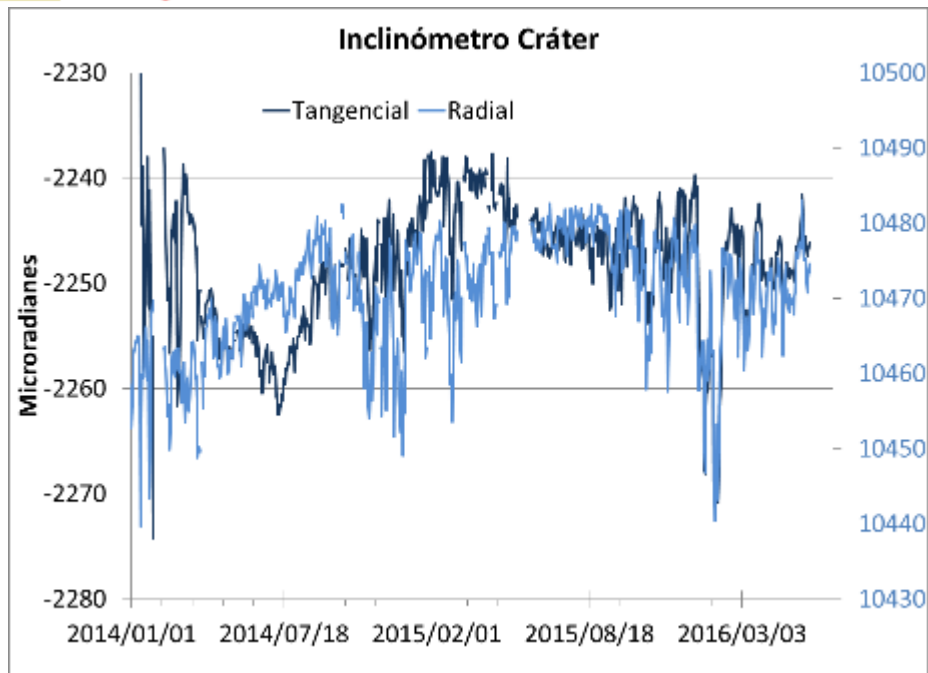


Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

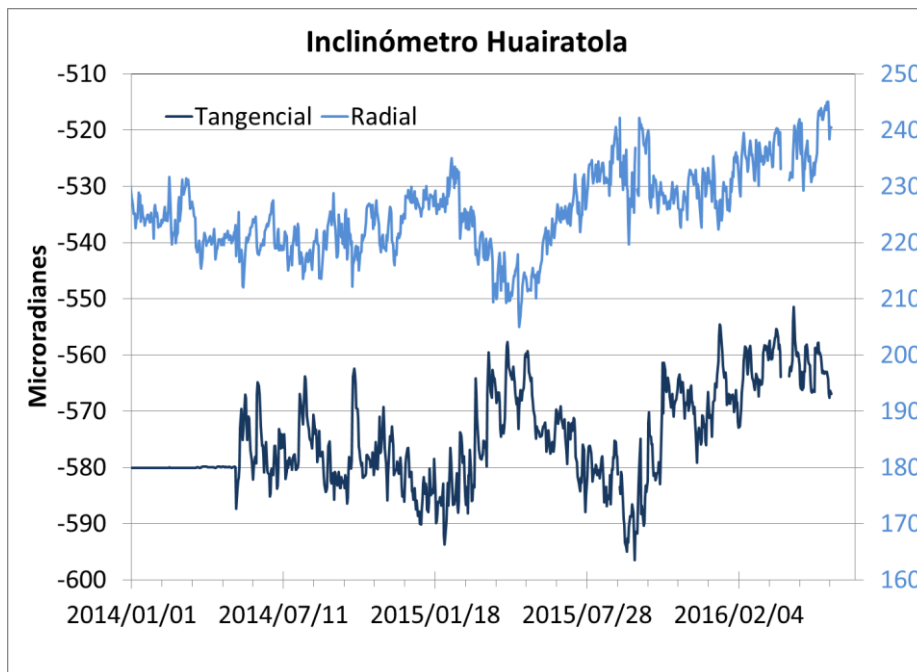


Figura 13. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

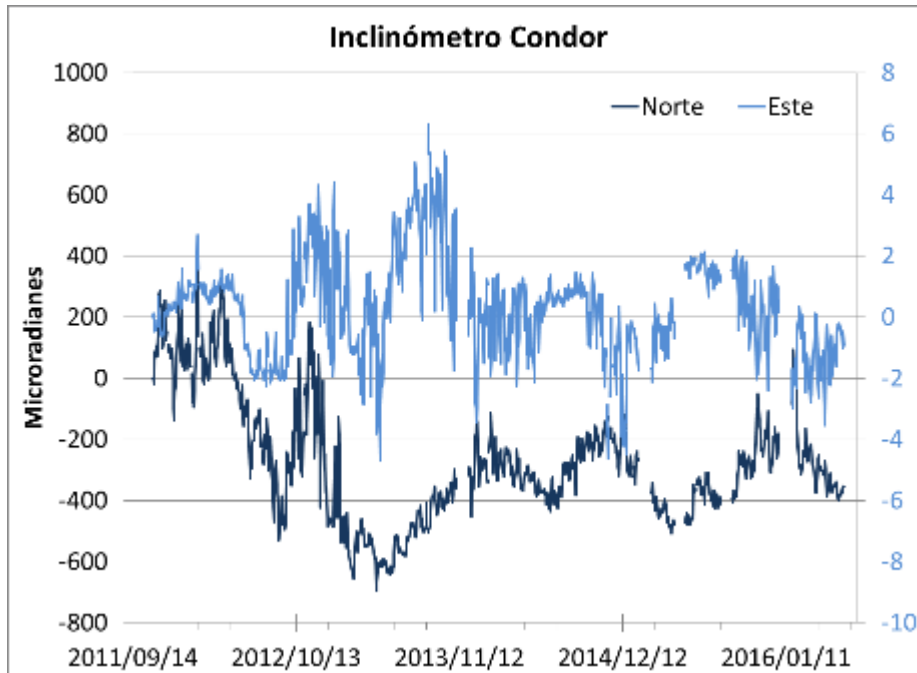


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cónдор, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 14 de septiembre de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

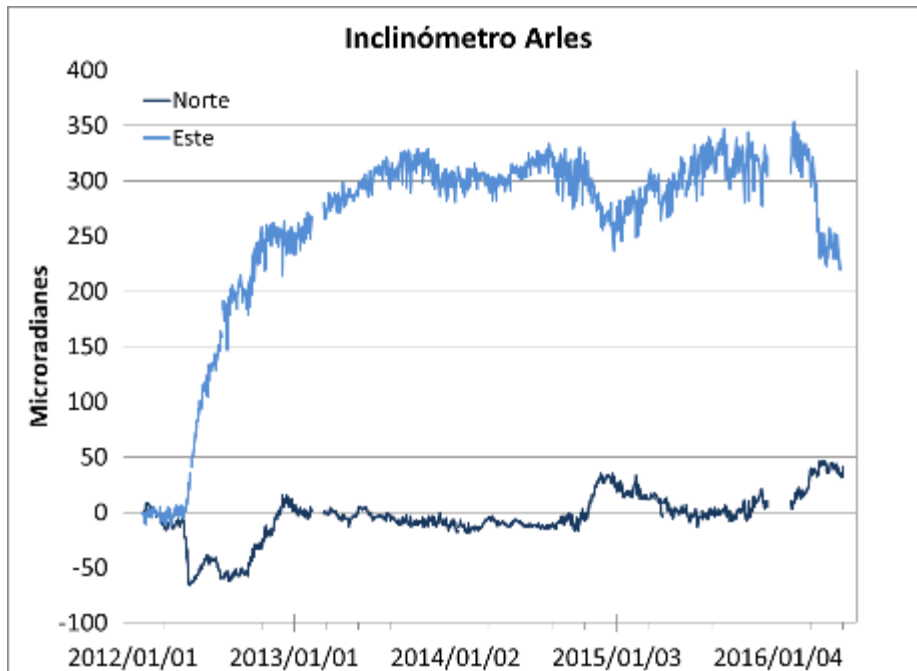


Figura 15. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 31 de mayo de 2016.

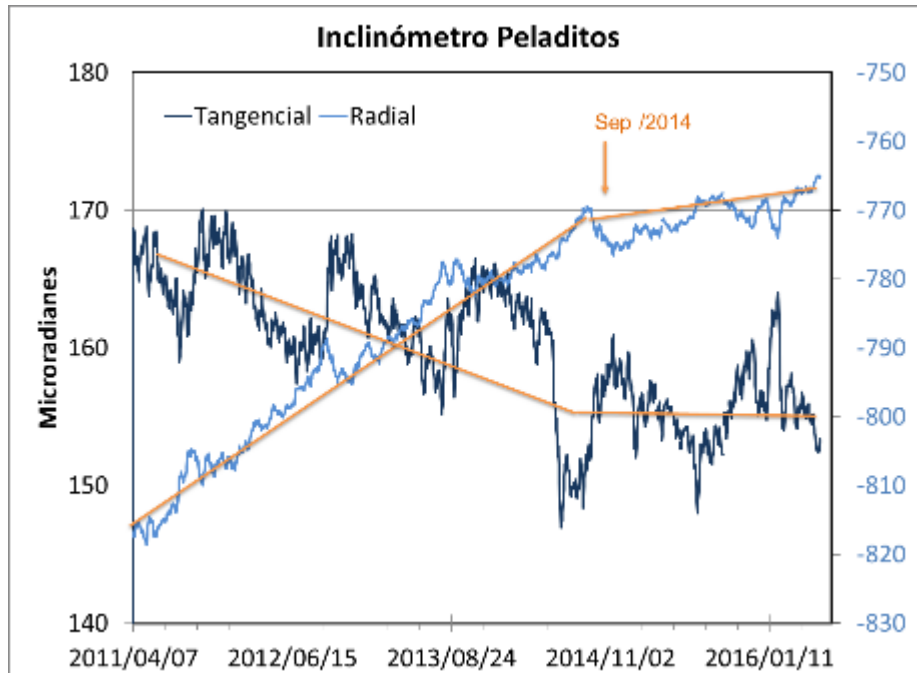


Figura 16. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de abril de 2011 y el 31 de mayo de 2016.

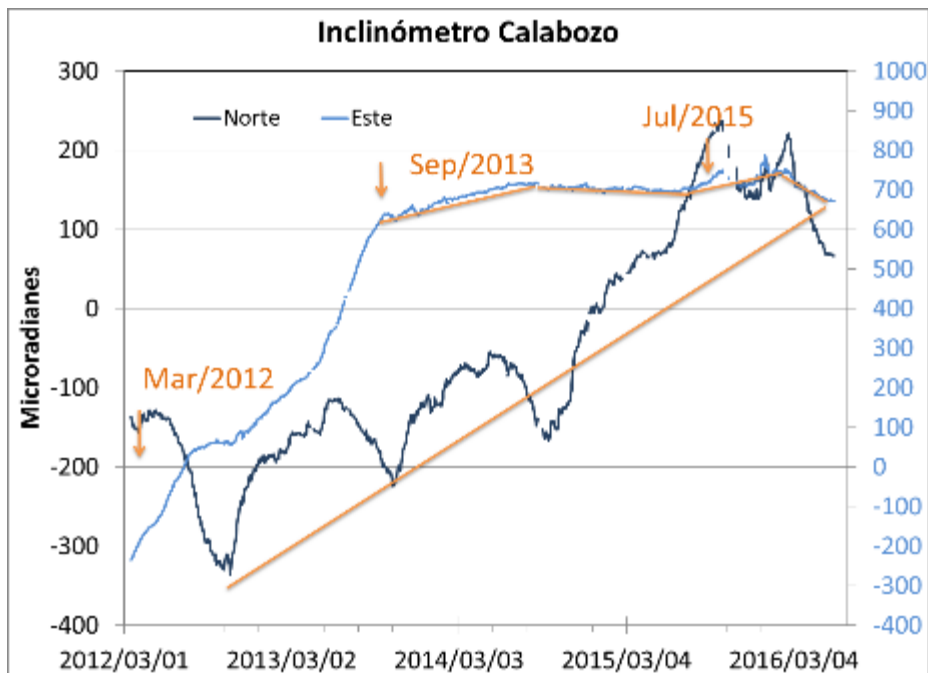


Figura 17. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de marzo de 2012 y el 31 de mayo de 2016.

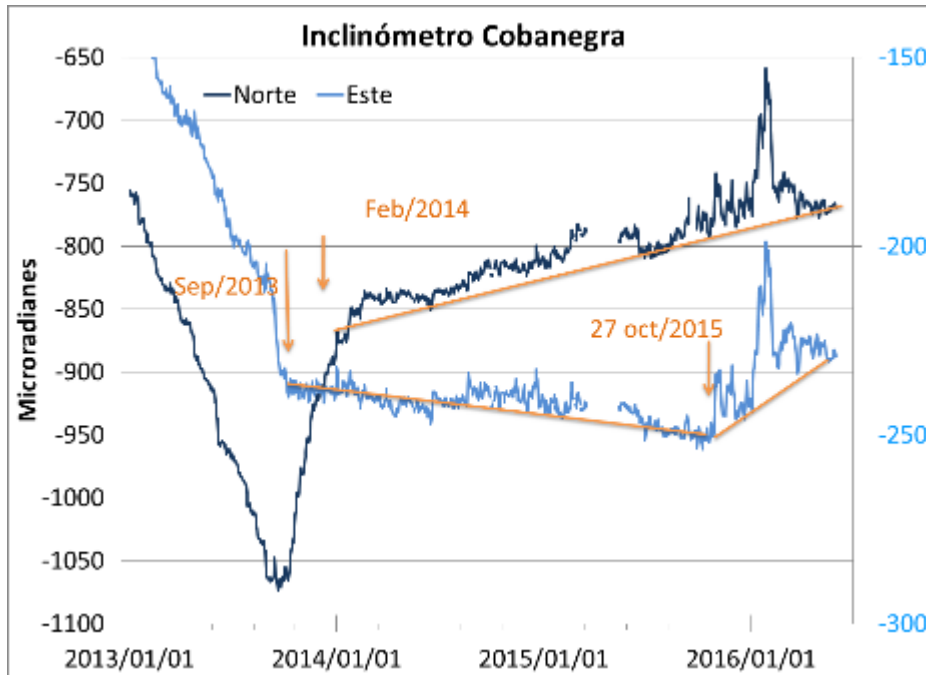


Figura 18. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de mayo de 2016.

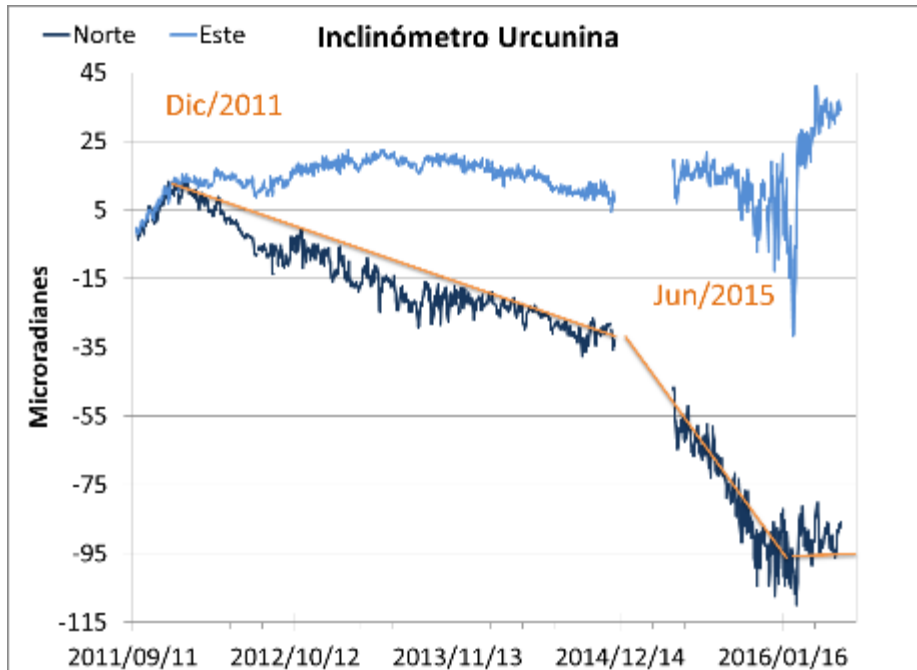


Figura 19. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre 11 de septiembre de 2011 y el 31 de mayo de 2016.

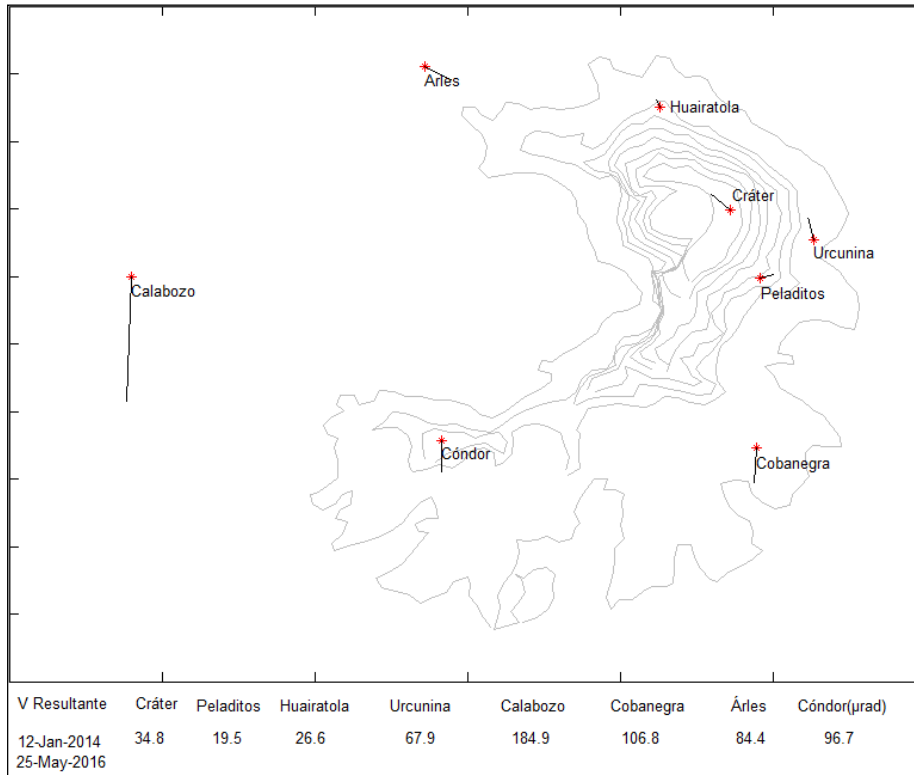


Figura 20. Vector Resultante de la red de inclinómetros electrónicos instalados en el volcán Galeras, para un periodo comprendido entre enero de 2014 y mayo de 2016.

1.3.2. Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras

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

1.3.3. Estaciones GNSS permanentes

En mayo de 2016 se contó con el registro de 6 estaciones receptoras GNSS permanentes. Para el análisis se contempló inicialmente un procesamiento diferencial de la información suministrada por estos equipos considerando una estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20.6 km de distancia respecto al cráter, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano. En la Figura 21 se muestra la ubicación de las estaciones respecto al GNSS QUIL.

Los GNSS Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014 y Cóbndor se reinstaló el 21 de febrero de 2015.

El procesamiento absoluto se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y

posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las figuras de la 22 a la 28, se indica el comportamiento de los GNSS instalados en Galeras.

En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las componentes Este, Norte y Altura. La componente Norte indica el desplazamiento del bloque NorAndino (J. N. Kellogg et al., 1985), sobre la cual se encuentra Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año y que puede verificarse en el comportamiento observado en la componente Norte de la estación QUILL, ubicada en el aeropuerto Antonio Nariño 26 km, del volcán Galeras.



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

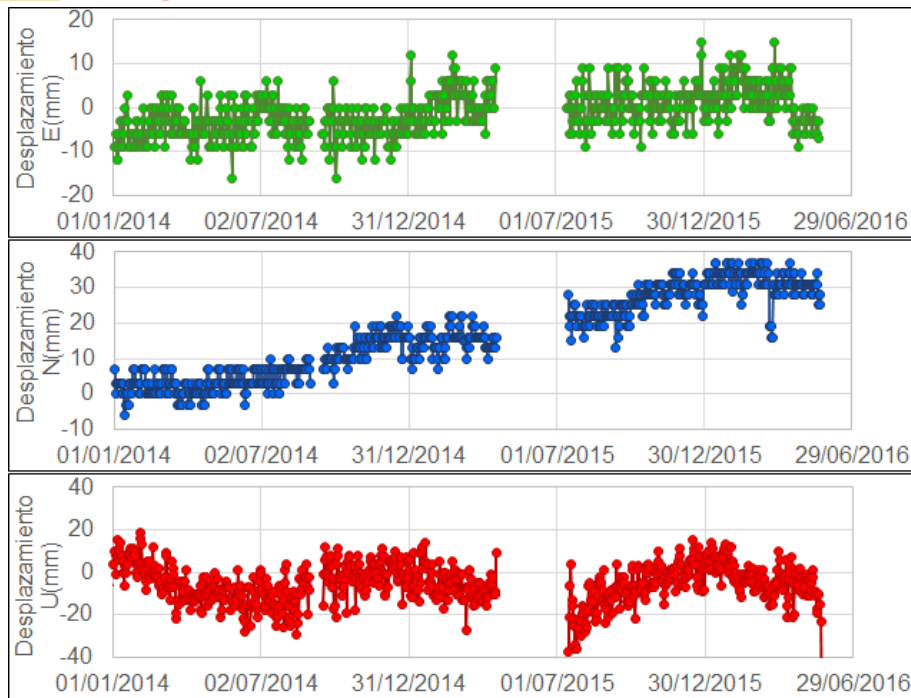


Figura 22. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.

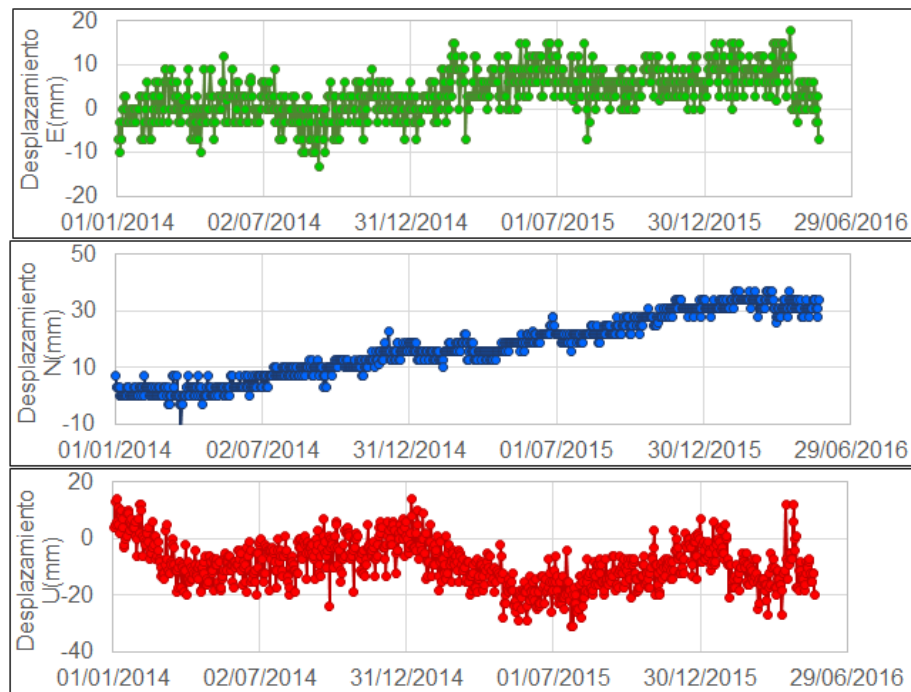


Figura 23. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.

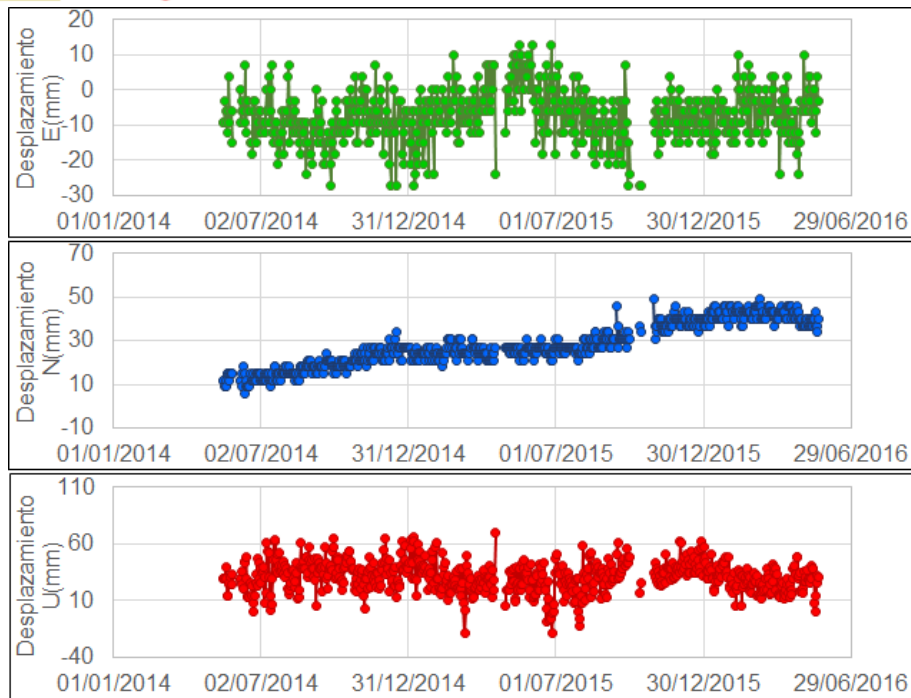


Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre 1 mayo de 2014 y el 15 de mayo de 2016.

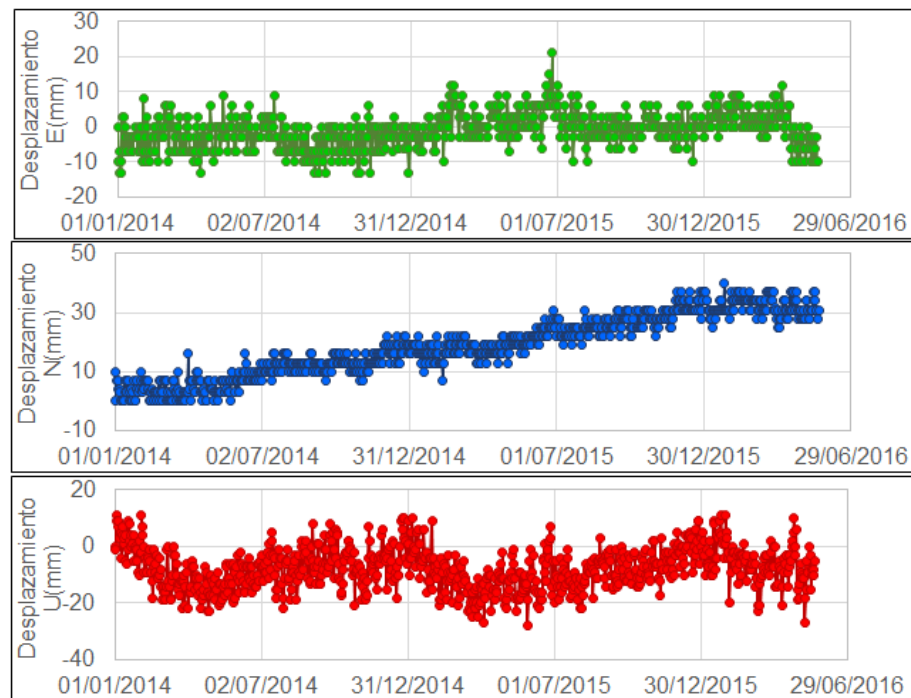


Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

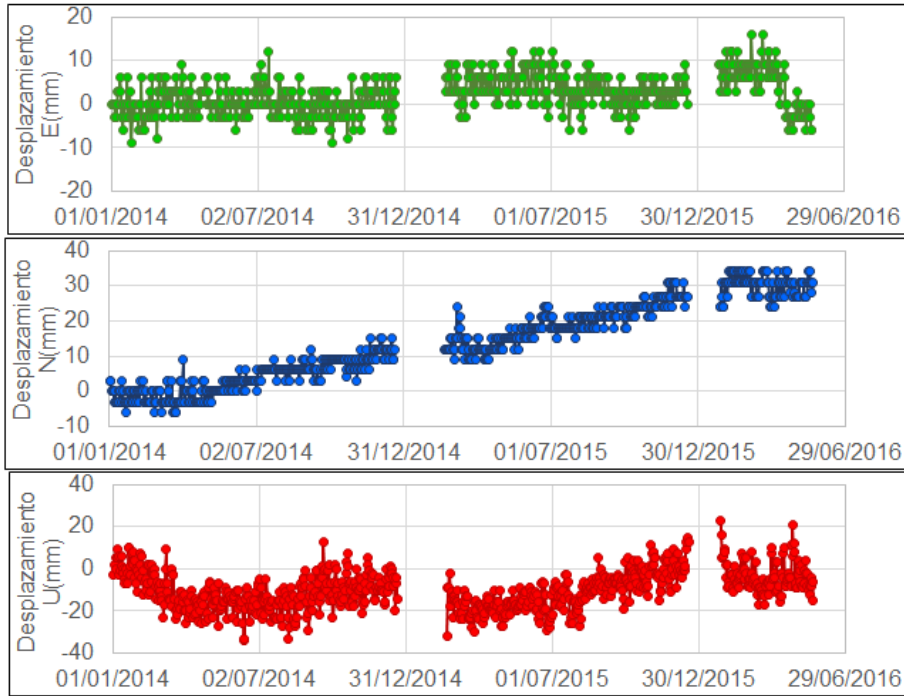


Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cándor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.

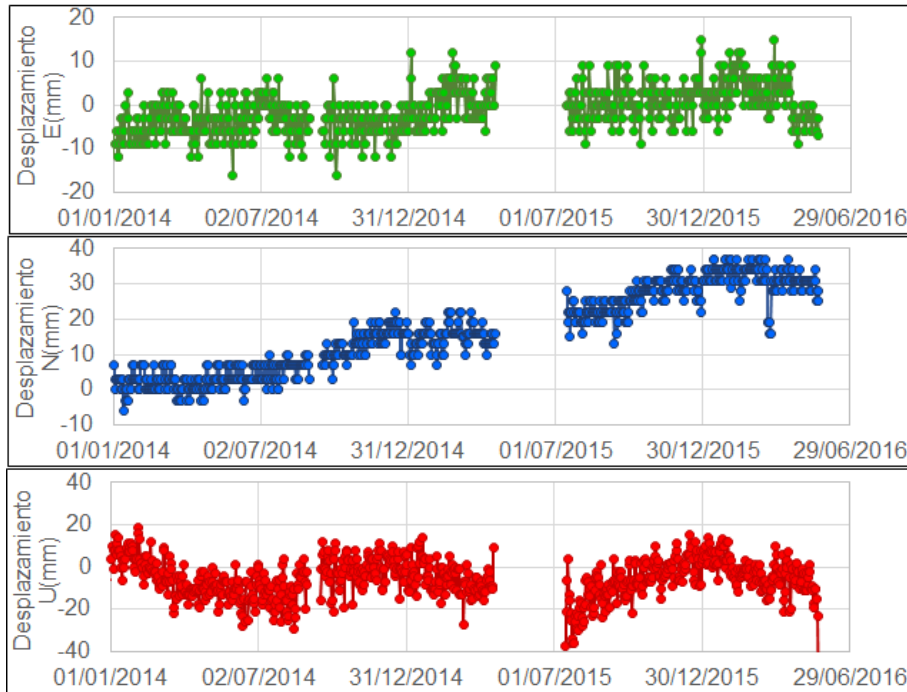


Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre en 1 de enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.

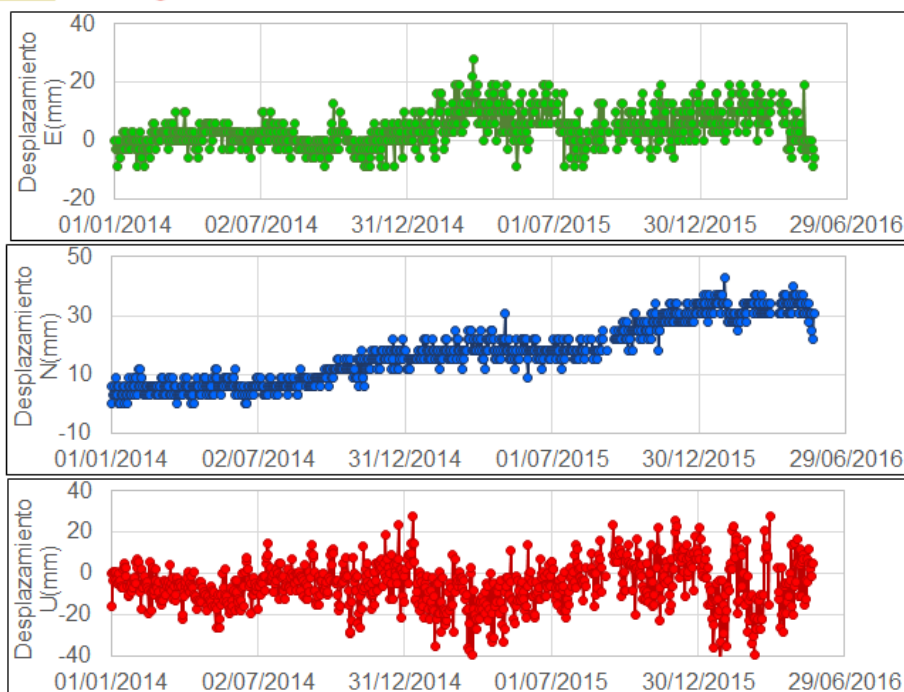


Figura 28. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, ubicado en el municipio de Chachaguí, departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre en 1 de enero de 2014 y el 15 de mayo de 2016.

1.4. ELECTROMAGNETISMO.

Durante el mes de mayo de 2016, el monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras, se realizó con base en los registros de tres estaciones magnéticas y dos eléctricas, Frailejón y Barranco con sensores eléctricos y magnéticos, y Cráter con sensor solamente magnético.

Las variaciones de la componente horizontal (H) (Figura 29), del Campo Magnético Terrestre, así como las variaciones del Campo Magnético Total (F) (Figura 30), en las estaciones, Frailejón, Barranco y Cráter, correspondientes a la red de monitoreo electromagnético en Galeras, muestran un comportamiento estable, durante el mes de mayo de 2016, que con excepción del cambio que se observa entre los días 7 y 8 de mayo, que en su momento se asoció con variaciones del campo magnético externo. Los registros de las tres estaciones de monitoreo electromagnético, pero especialmente los correspondientes a la estación Barranco, se han visto afectados por variaciones de gran amplitud. Al analizar esta información conjuntamente con los registros de la estación de monitoreo de lluvias Mijitayo_Bajo, permite asociar estas variaciones con las condiciones de fuertes lluvia, en la zona donde se ubican los equipos (Figura 31).

La estabilidad en cuanto a las mediciones de la información de las estaciones de monitoreo magnética en Galeras, se corroboran con los registros del campo magnético horizontal (H) y total (F) de la estación de referencia Kourou, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del Instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (La estación se ubica en Guayana Francesa).

Los valores promedio del campo magnético total, en la estación de Kourou, para el mes de mayo de 2016, fue de alrededor de 27.940 nT, para la componente Horizontal del campo (H) y, de alrededor de 28.870 nT, para el campo total (F) (Figura 32)

El valor promedio de las variaciones de la Componente Horizontal del Campo Magnético Terrestre, para el mes de mayo, fue de alrededor de 25.120 nT, para Frailejón, 26.570 nT, para Barranco y 29.470 nT, para Cráter (Figura 29). En tanto que, el valor promedio para las variaciones del Campo Magnético Total, fue de 28.570 nT, para Frailejón, 28.480 nT, para Barranco y 33.330 nT, para Cráter. (Figura 30).

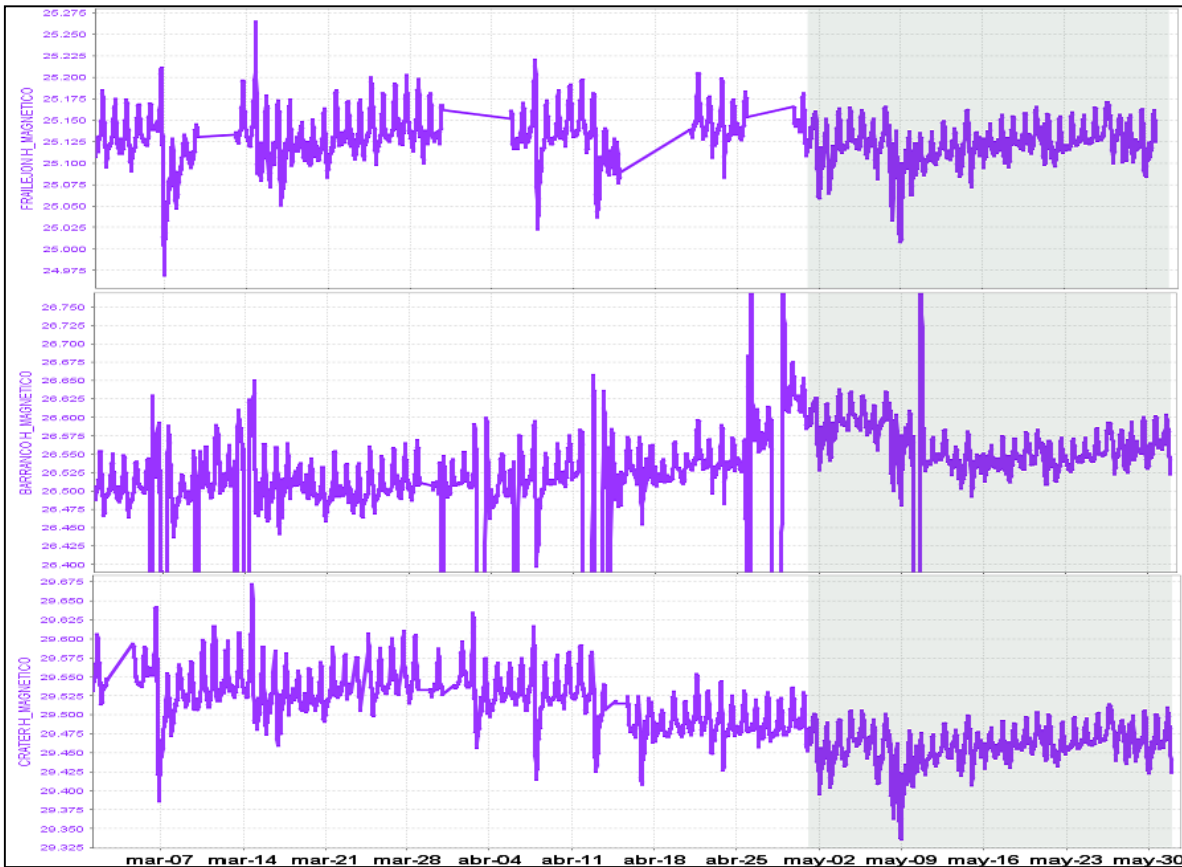


Figura 29. Componente Horizontal (H-magenta) del campo magnético, registrado en las estación de Frailejón (superior), Barranco (medio) y Cráter (inferior), perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de marzo y mayo de 2016. La zona sombreada corresponde al mes evaluado, mayo de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

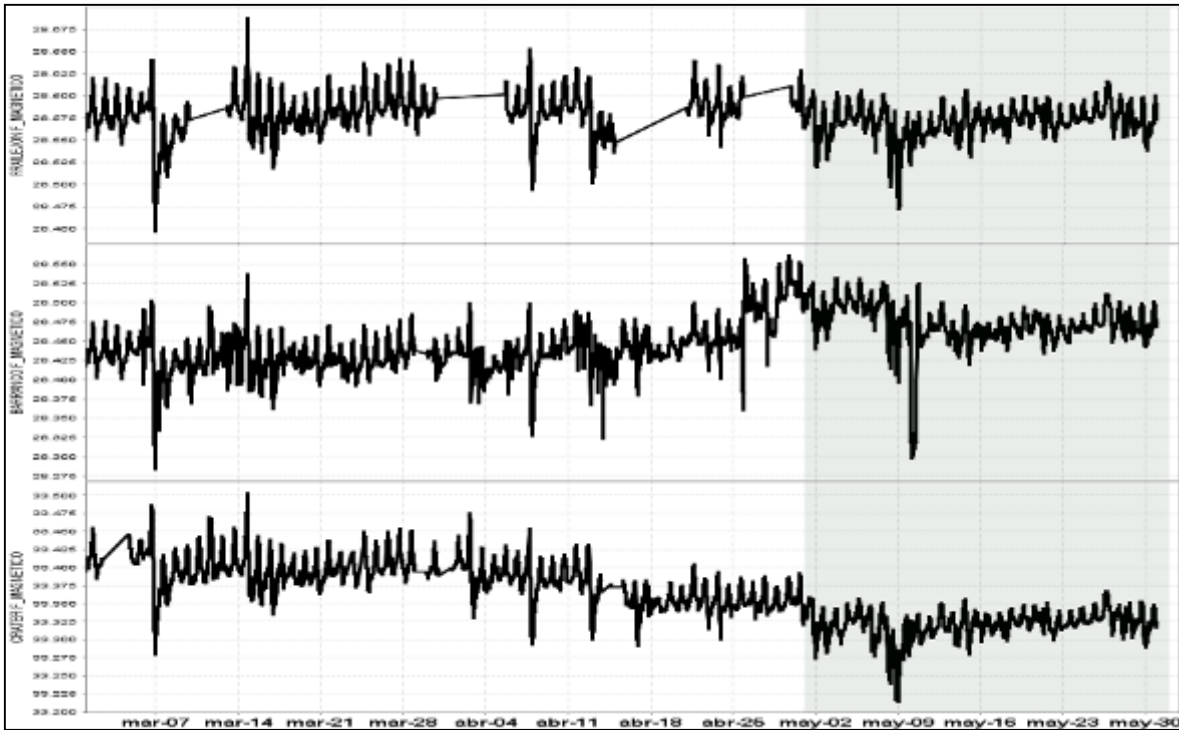


Figura 30. Campo magnético total (F), registrado en las estación de Frailejón (superior), Barranco (medio) y Cráter (inferior), perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras, entre los meses de marzo y mayo de 2016. La zona sombreada corresponde al mes evaluado, mayo de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

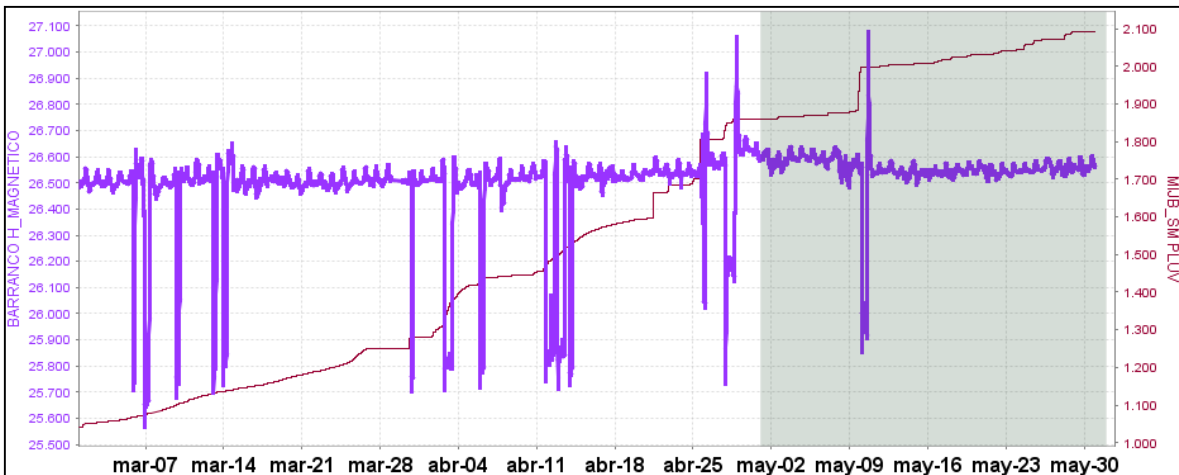


Figura 31. Componente Horizontal (H-magenta) del campo magnético, registrado en la estación de Barranco, perteneciente a la red de monitoreo del volcán Galeras y condiciones de lluvia en la zona del volcán Galeras, registradas en la estación Mijitayo Bajo (en rojo); entre los meses de marzo y mayo de 2016. La zona sombreada corresponde al mes evaluado, mayo de 2016. La escala de medición del campo magnético esta en nano Teslas (nT) y de la lluvia en cuentas.

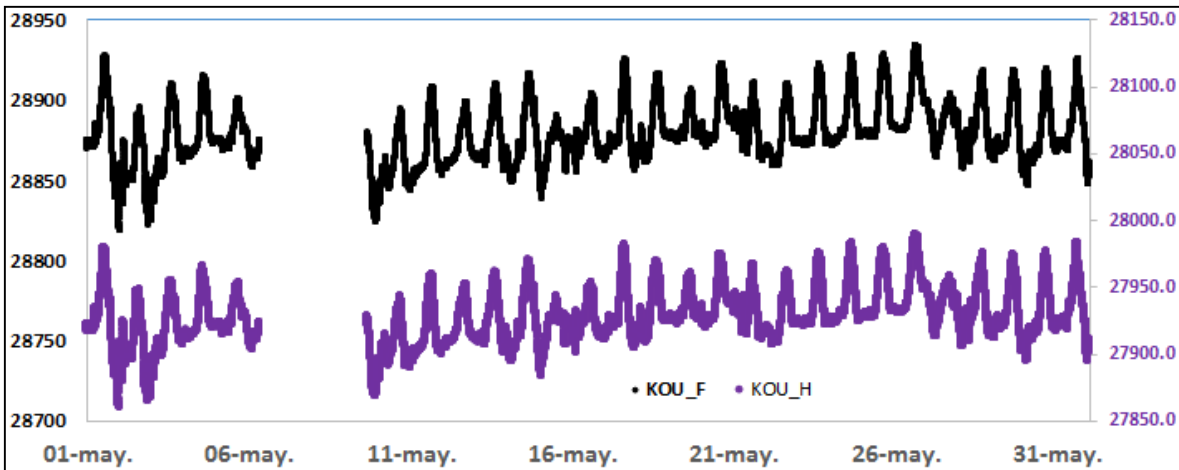


Figura 32. Intensidad del campo magnético Terrestre total (F – negro) y componente Horizontal (H-Magenta), del campo magnético Terrestre, registrados en la estación Kourou, en Guyana Francesa, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, para el mes de mayo de 2016. La escala de medición está dada en nano Teslas (nT).

En cuanto a las variaciones eléctricas; las dos estaciones Frailejón y Barranco, muestran influencia de los procesos de lluvias fuertes, durante el periodo evaluado. Al comparar el comportamiento de los registros de las variaciones horizontales de los campo eléctricos, tanto de Frailejón como de Barranco, con los registros de los procesos de lluvias en la estación de Mijitayo_Bajo, se observa que estos procesos se correlacionan muy acertadamente con la mayoría de las variaciones de gran amplitud de los campos eléctricos monitoreados en Galeras (Figura 33).

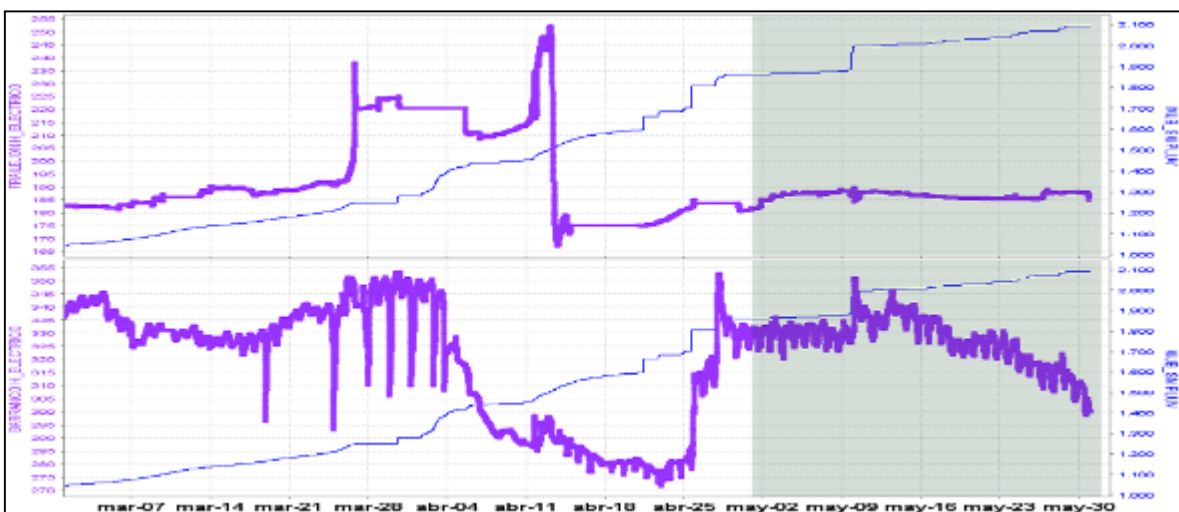


Figura 33. Variaciones la componente horizontal del campo eléctrico, en la estación Frailejón (superior) y Barranco (inferior), pertenecientes a la red de monitoreo del volcán Galeras, para el mes de mayo de 2016). La escala de medición del campo eléctrico está en mili voltios por metro y el pluviómetro en cuentas.

Para el mes de mayo, las variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico en la estación de Frailejón, fue de alrededor de 187 mV/m, en tanto que para la estación de Barranco, las variaciones de la componente horizontal del campo eléctrico, fue de alrededor de 327 mV/m (Figura 33).

1.5. GEOQUIMICA.

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

1.5.1.1. Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO₂) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS

La intrusión de nuevos cuerpos de magma o ascenso del mismo, afecta el flujo de SO₂ hacia la superficie. Los valores estimados de flujo de Dióxido de azufre (SO₂) de Galeras, corresponden a los escaneos de tres estaciones telemétricas permanentes ScanDOAS, (Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara) localizadas en el cuadrante noroccidental de Galeras (Figura 3). Su funcionamiento parte de detectar la luz Ultravioleta (UV) dispersa, a través de un telescopio acoplado a una fibra óptica de cuarzo que transfiere la luz a un espectrómetro (OceanOptics S2000) y lo compara con un espectro de referencia dentro de una longitud de onda específica entre 280 a 420 nm con una resolución de 0,6 nm, un filtro en el telescopio bloquea la luz visible con longitudes de onda mayores a 360 nm, reduciendo efectivamente la luz difusa (Galle et al., 2002). Cada uno de los espectros obtenidos se traducen en escaneos que permiten conocer la absorbencia de la pluma de SO₂ en tiempo real (Euripides et al., 2012). Para el cálculo de flujo de SO₂ se tiene en cuenta los valores de velocidad del viento medidos por la estación climática instalada en la cima del volcán, los cuales se ajustan a la zona donde se genera la columna. A partir de los escaneos de SO₂, de las estaciones fijas, diariamente se realiza la evaluación de cada uno de ellos y se reporta el valor máximo del día y la estación donde se registró.

Se registran escaneos durante todos los días del mes de mayo del 2016, para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, de la estación Santa Bárbara aún no se tiene registro de escaneos; los valores para emisión de SO₂ a la atmósfera se encuentran entre 38 y 431 Ton/día, valores considerados como bajos para el volcán (Figura 34 y 35, Tabla 9).

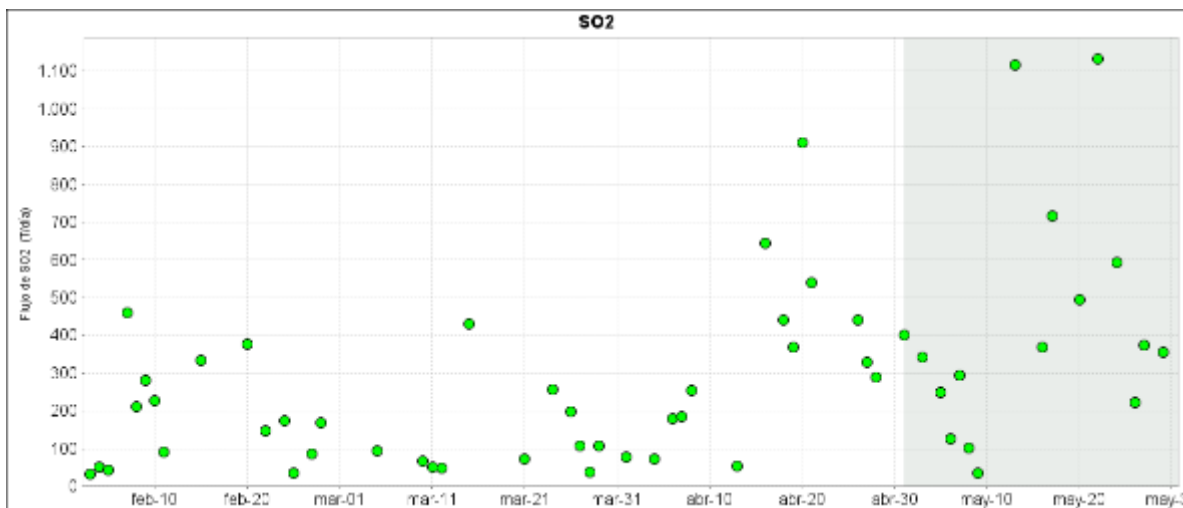


Figura 34. Flujo de dióxido de azufre (SO₂) Volcán Galeras - mes de mayo 2016.

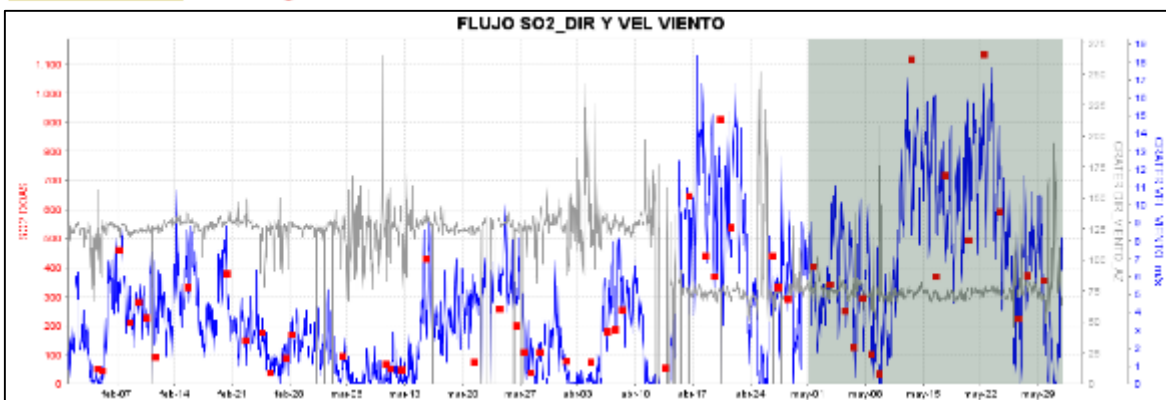


Figura 35. Flujo de dióxido de azufre (SO₂), velocidad y dirección del viento - mes de mayo 2016.

Para este periodo se registra un importante incremento en el proceso de desgasificación en comparación con meses anteriores, tal y como se observa en la Figura 34, y correlacionado también con observaciones de actividad superficial en Galeras a través de las cámaras web instaladas en cercanías al volcán. Los valores de SO₂ considerados como altos, se podrían asociar principalmente a los altos valores de velocidad del viento presentados en el mes de mayo, el cual alcanzaron los 16,7 m/s y una dirección de viento predominante a 330° Azimut aproximadamente. El mayor flujo de SO₂ registrado para el volcán Galeras durante el mes, se presenta el día 22 de mayo de 2016 con un valor de 1132 Ton/día, considerado como un flujo alto para el volcán Galeras.

Tabla 9. Emisiones de SO₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de mayo de 2016, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO2 diario	Estación de registro	Instrumento
01-may-16	03:11 PM	332.5	6.3	401	Alto Tinajillas	SCANDOAS
03-may-16	03:54 PM	351.5	5.2	342	Alto Tinajillas	SCANDOAS
05-may-16	12:09 PM	340.1	5.8	250	Alto Tinajillas	SCANDOAS
06-may-16	03:00 PM	353.4	2.2	126	Alto Tinajillas	SCANDOAS
07-may-16	01:58 PM	352.2	5.3	294	Alto Tinajillas	SCANDOAS
08-may-16	03:51 PM	330.4	2.6	101	Alto Tinajillas	SCANDOAS
09-may-16	03:38 PM	283.1	1	35	Alto Jimenez	SCANDOAS
13-may-16	02:20 PM	75.69	8.3	1116	Alto Tinajillas	SCANDOAS
16-may-16	02:55 PM	4.4	8.4	368	Alto Tinajillas	SCANDOAS
17-may-16	03:53 PM	354	8.1	717	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-may-16	11:37 AM	345.3	9.7	495	Alto Tinajillas	SCANDOAS
22-may-16	10:43 AM	347.1	16.7	1132	Alto Jimenez	SCANDOAS
24-may-16	08:13 AM	333.6	11.4	593	Alto Jimenez	SCANDOAS
26-may-16	03:36 PM	334.9	5.4	223	Alto Tinajillas	SCANDOAS
27-may-16	03:31 PM	345.9	5.2	373	Alto Tinajillas	SCANDOAS
29-may-16	03:43 PM	325.1	5.1	355	Alto Jimenez	SCANDOAS

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

1.5.1.2. Flujo de gas Radón 222 – (Rn₂₂₂) telemétrico

Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas. La emisión de radón desde la tierra a la atmósfera, es un proceso permanente que registra valores excepcionalmente altos en zonas de fallas geológicas. En zonas de actividad sísmica y volcánica y

específicamente en el área de influencia del volcán Galeras se realizan muestreos de gas Rn 222, ya que es considerado como un posible precursor de la actividad tanto sísmica como volcánica.

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 235, tiene una vida media de 3,8 días y no se encuentra más allá de los 50 a 60 m de profundidad, entonces su difusión es la única responsable de su dispersión (Dyck y Smith 1969). La figura 36 corresponde al mapa con la ubicación de las estaciones para medición de flujo de gas Radón, en la zona de influencia del volcán Galeras.

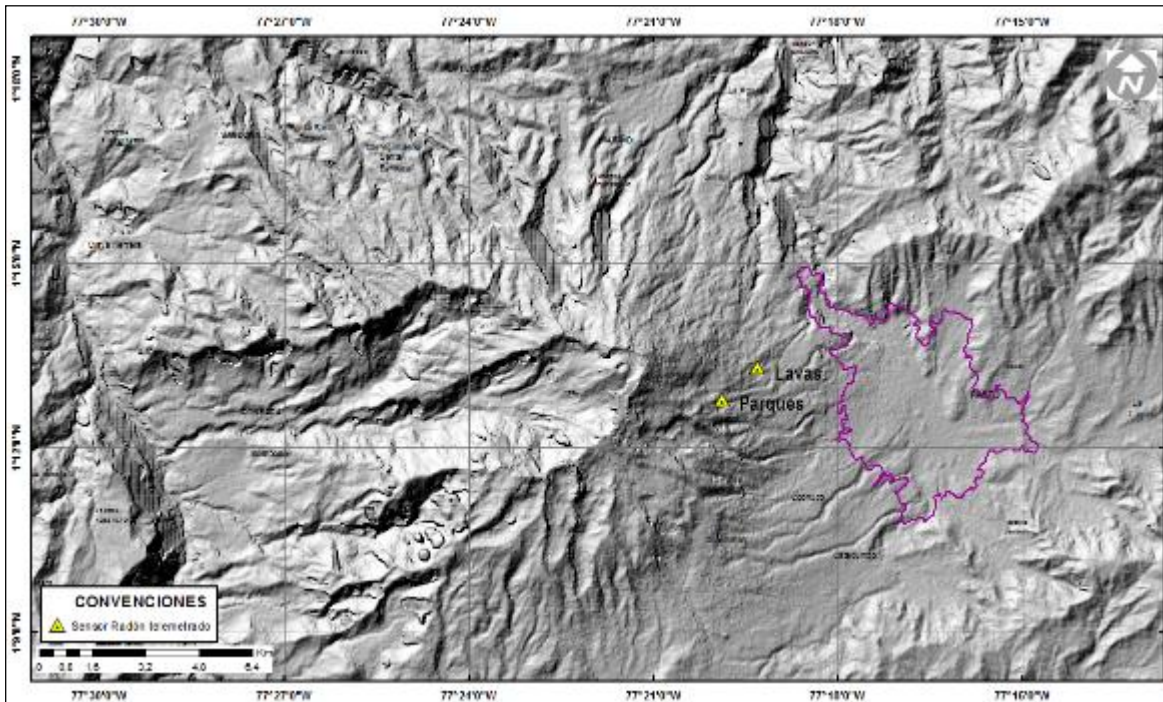


Figura 36. Mapa de localización de las estaciones telemétricas, utilizadas para medición de flujo de gas radón en zona de influencia del volcán Galeras.

En las figuras 37 y 38 se presentan la gráficas del comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, se puede observar para las estaciones Lavas y Parques variaciones propias de la difusión de radón en el sitio donde se ubica actualmente el sensor, sin variaciones significativas en comparación con el mes de abril. Se continuará realizando seguimiento a estas variaciones para poder evaluar este comportamiento y su relación con la actividad volcánica. Se presenta un máximo de concentración de 92503 Bq/m³ y 98411 Bq/m³ para las estaciones Lavas y Parques respectivamente (Figura 37 y 38; Tabla 10 y 11).

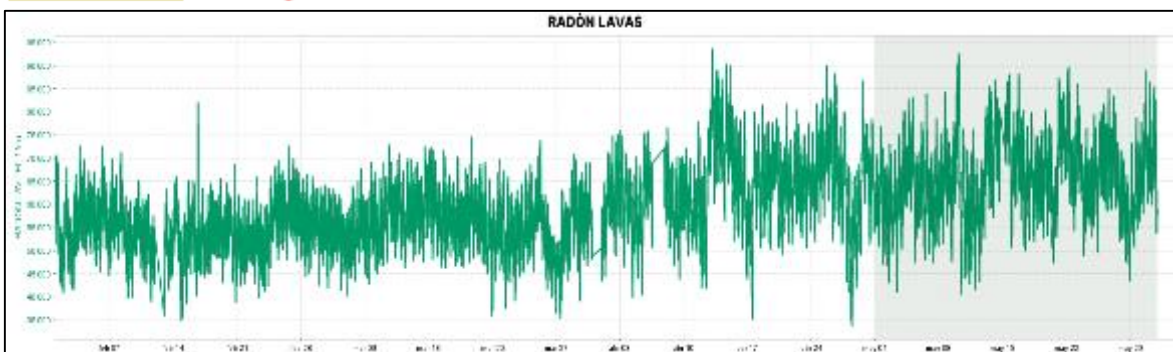


Figura 37. Concentración radón en suelo volcán Galeras - Estación telemétrica Lavas – mes de mayo de 2016.

Tabla 10. Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – mes de mayo de 2016.

Concentración radón (Bq/m ³)	
Valor promedio	65670
Valor máximo	92503
Valor mínimo	40648

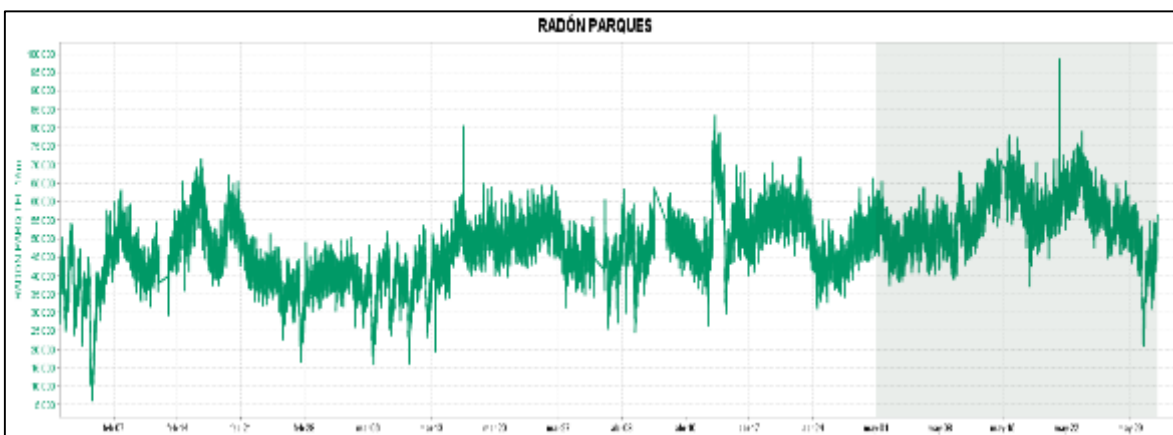


Figura 38. Concentración radón en suelo volcán Galeras - Estación telemétrica Parques – mes de mayo de 2016.

Tabla 11. Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Parques – Volcán Galeras – mes de mayo de 2016.

Concentración radón (Bq/m ³)	
Valor promedio	54981
Valor máximo	98411
Valor mínimo	20956

1.5.2. Muestreo de aguas en fuentes termales

El volcán Galeras cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Río Pasto (A), FT Cehani (B), FT Aguas Agrías (C), FT Agua Blanca (D) y FT Licamancha (E). (Figura 39, Tabla 12).

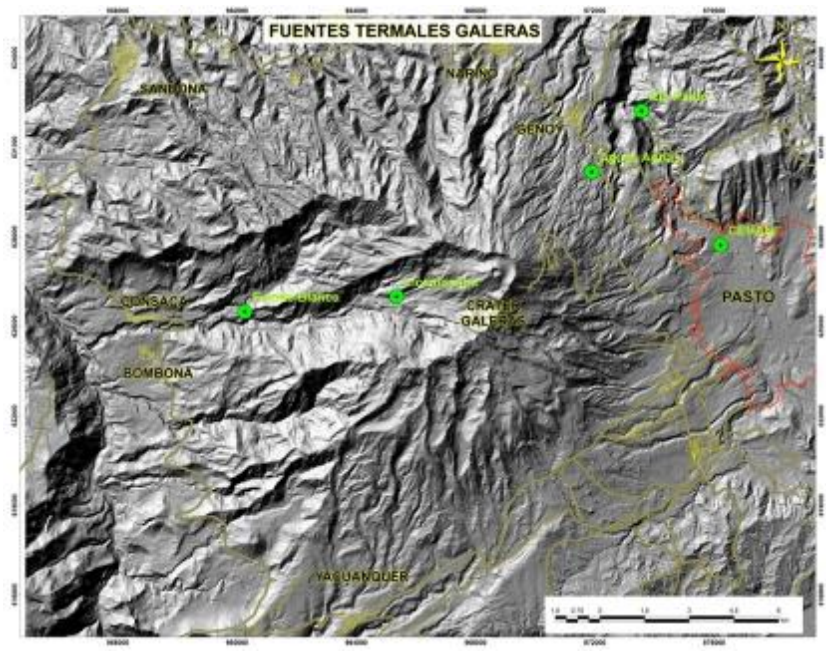


Figura 39. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

Tabla 12. Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras – mayo de 2016.



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

- Equipo multiparámetro (pH metro, T y ORP) SCHOTT (pH11/12): permite medir el potencial de hidrógeno, temperatura y potencial de óxido reducción en fuentes termales.
- Conductímetro: permite hacer mediciones de conductividad eléctrica en aguas.
- Termómetro: permite hacer mediciones de temperatura.

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 40).

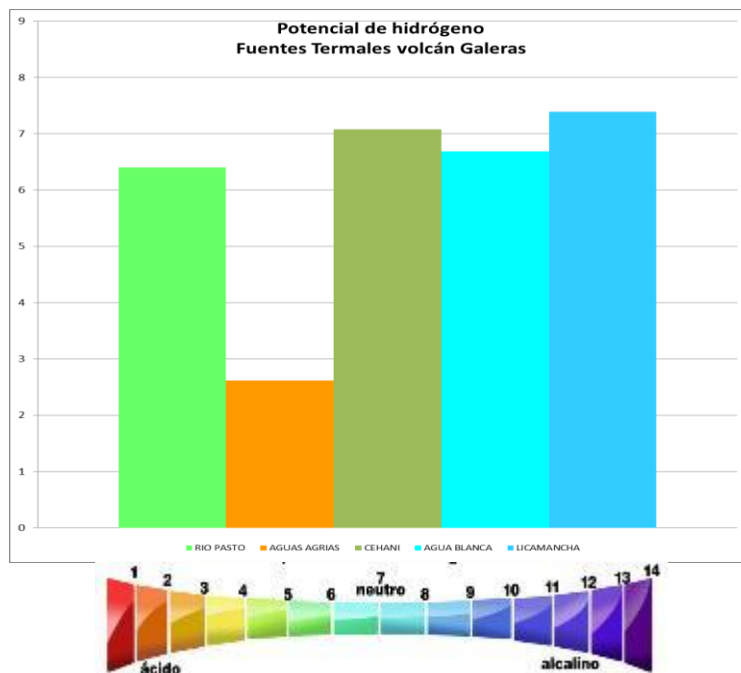


Figura 40. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras para el mes de mayo de 2016.

Las fuentes termales de Galeras presentan durante el mes de mayo potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2,6 (ácida) y 7,4 (neutro).

En las figuras 41 y 42 se puede observar las variaciones de temperatura y conductividad eléctrica con respecto a meses anteriores, correspondientes a las FT de la zona de influencia del volcán Galeras registradas en trabajo de campo durante el mes de mayo.

Para el caso de la temperatura y la conductividad se observa estabilidad relativa en todos los manantiales termales en comparación con el año 2015, sin embargo la FT Aguas Agrías parece seguir incrementando los valores de conductividad.

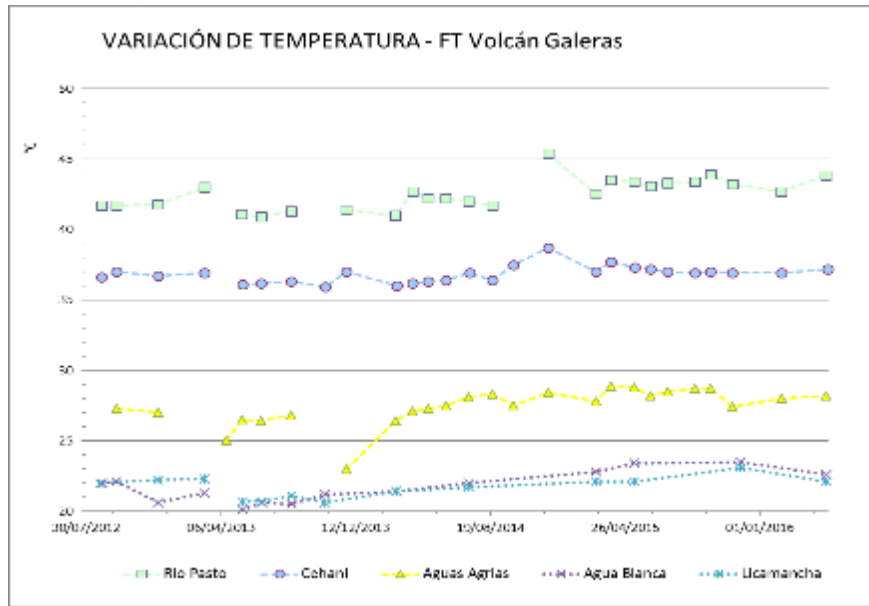


Figura 41. Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - mayo 2016.

Los manantiales de Galeras aquí registrados se clasifican como termales (tabla 13), de acuerdo a su temperatura:

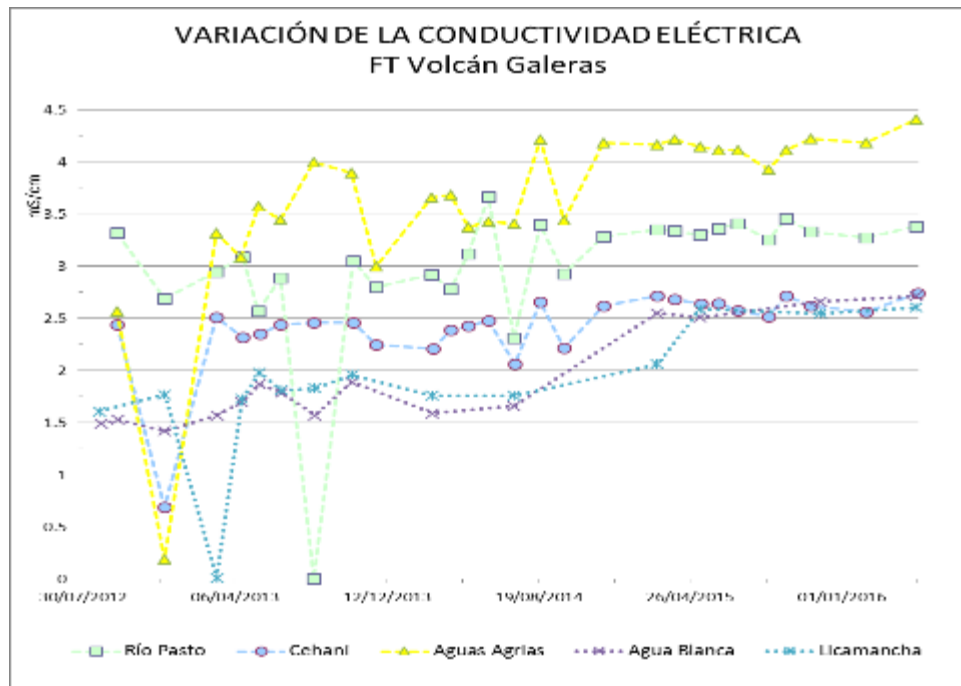


Figura 42. Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - mayo 2016.

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

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

A continuación se muestran imágenes térmicas de las fuentes termales (Figuras 43, 44, 45 y 46).

- **Fuente termal Río Pasto**

Temperatura superficial: 43,8°C (Temperatura registrada en mayo de 2015 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 35°C y 45°C (Figura 43), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 3,4 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

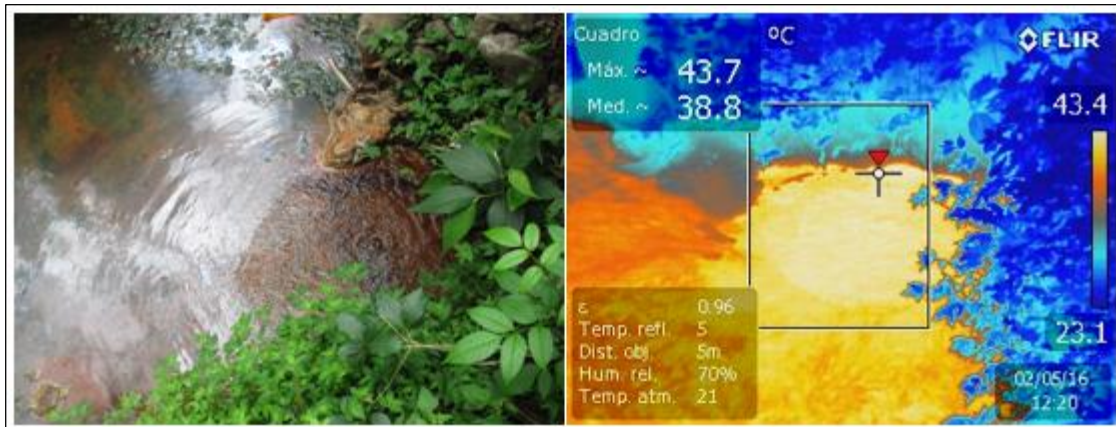


Figura 43. Imagen térmica FT Río Pasto en mayo de 2016.

- **Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 28,2°C. (Temperatura registrada en mayo de 2015 con termómetro digital)

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. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 4,4mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 37,2°C. (Temperatura registrada en mayo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Las temperaturas de las manifestaciones termales se encuentran entre los 35°C y 45°C (Figura 44), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesothermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2,7mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.



Figura 44. Imagen térmica FT Cehani en mayo de 2016.

- **Fuente termal Agua Blanca**

Temperatura superficial: 22.1° C. (Temperatura registrada en mayo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 35°C (Figura 45), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipothermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.7 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

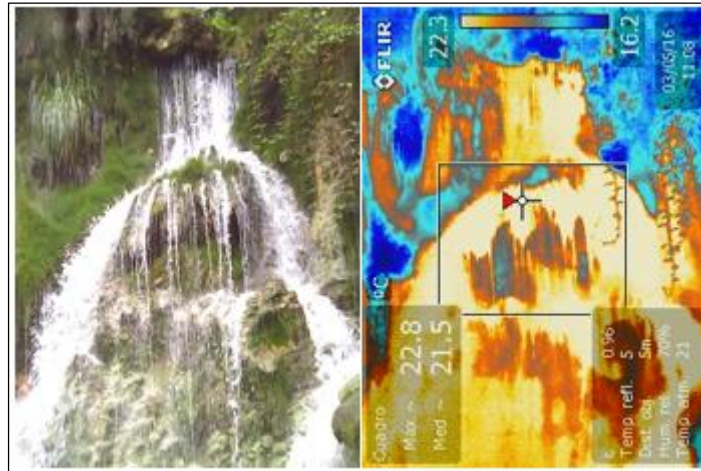


Figura 45. Imagen térmica FT Agua Blanca en mayo de 2016

- **Fuente termal Licamancha**

Temperatura superficial: 22.1° C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 35°C (Figura 46), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.6 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

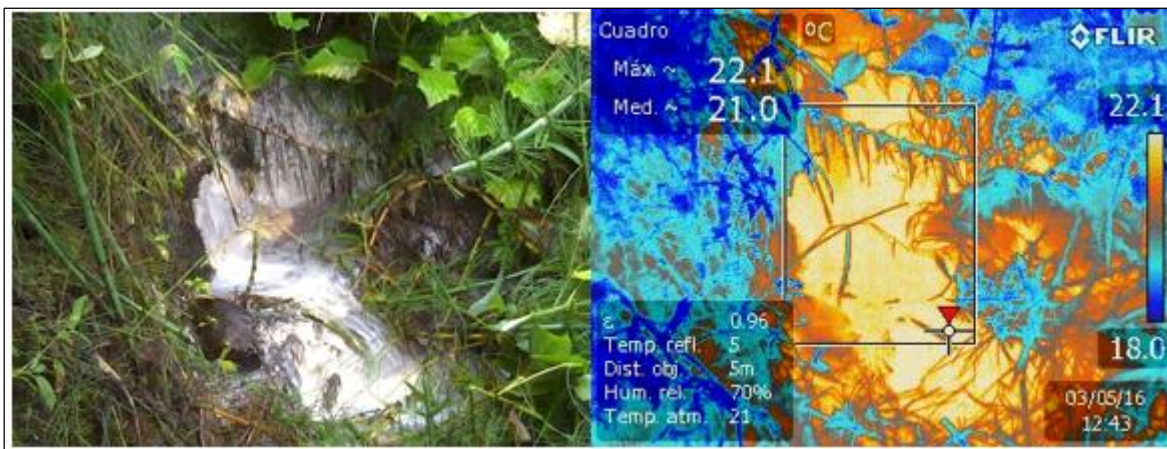


Figura 46. Imagen térmica FT Licamancha en mayo de 2016.

En las figuras 47 y 48 se presenta la variación del pH y la variación de la concentración del ión bicarbonato para lo cual no se observan cambios importantes pero si estabilidad en el sistema. En la FT Aguas Agrías 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 (Figura 42).

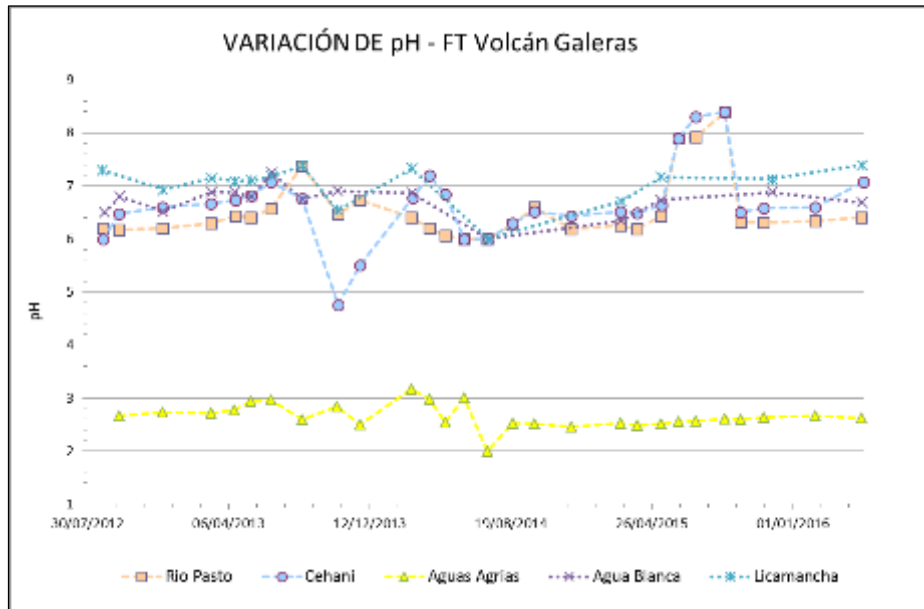


Figura 47. Variación del pH de las FT de Volcán Galeras en mayo de 2016.

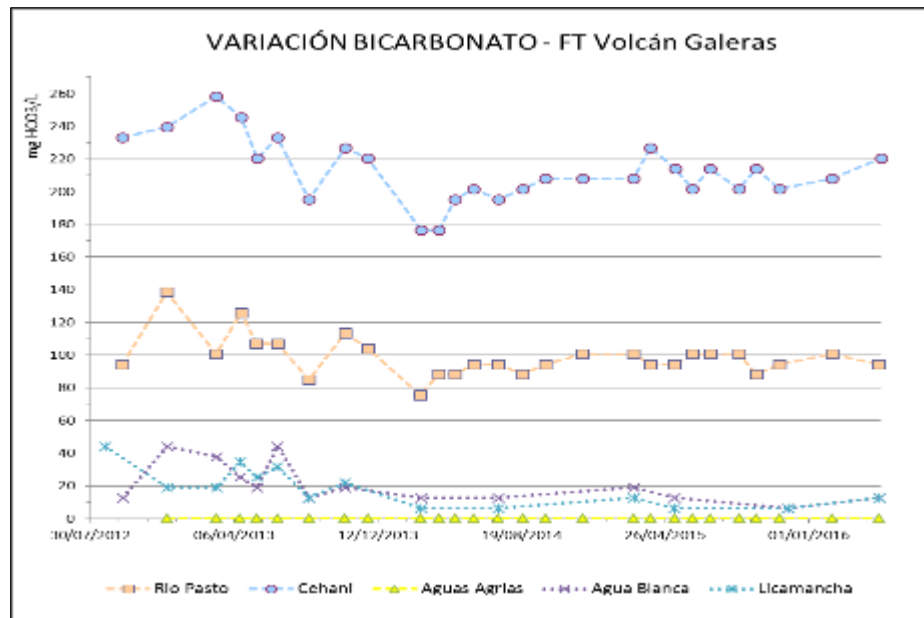


Figura 48. Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras en mayo de 2016.

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.

1.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas a la cima de Galeras desde la sede del OVSP y por videos e imágenes de las cámaras Web instaladas en la sede del OVSP en Pasto (SE del volcán), en Consacá (W del volcán) y en la cima de Galeras en el sector denominado Bruma (S del cono activo) y en el sector denominado Barranco (NW del volcán). Condiciones de clima favorables permitieron observar emisiones de gases de color blanco durante la mayor parte del mes exceptuando los días 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23 y 24 de mayo. La altura alcanzada por las columnas de gas fue baja respecto a la cima volcánica y la dispersión de éstas fue variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, sector norte y occidente de la parte alta del cono volcánico, principalmente en los campos fumarólicos Chavas al occidente y El Paisita al norte.

En las Figuras 49 a 52 se presentan imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en mayo de 2016.



Figura 49. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en la repetidora Bruma el 5 de mayo de 2016 a las 6:26 p.m.



Figura 50. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 7 de mayo de 2016 a las 11:06 a.m.



Figura 51. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 10 de mayo de 2016 a las 7:53 a.m.



Figura 52. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el sector de Barranco Alto el 31 de mayo de 2016 a las 6:44 a.m.

1.7. CONCLUSIONES

- Continúa observándose cambios en el comportamiento de la actividad del volcán, reflejados en las fluctuaciones de la actividad sísmica, siendo la sismicidad dominante aquella asociada a fracturamiento de material cortical, seguida por eventos asociados a movimiento de fluidos de fuente transitoria al interior del sistema volcánico.
- Por medio de la red de cámaras de video del OVSP y gracias a las condiciones climáticas, durante la mayor parte del mes se evidenció emisiones de gases con columnas de baja altura respecto a la cima de Galeras, las cuales se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos. Los principales focos de emisión continúan siendo el Cráter principal y los cráteres secundarios El Paisita y Chavas ubicados en el sector norte y occidente de la cima del cono volcánico.

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

2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MAYO DE 2016

2.1. RED DE VIGILANCIA

En mayo de 2016 la red de vigilancia del complejo volcánico de Cumbal estuvo conformada por:

- Cuatro estaciones sísmicas telemétricas: Dos de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 53, Tabla 14).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 58, Tabla 14).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 58).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 53).

Para este periodo las estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica y la cámara web tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 91,3% (Figura 54).

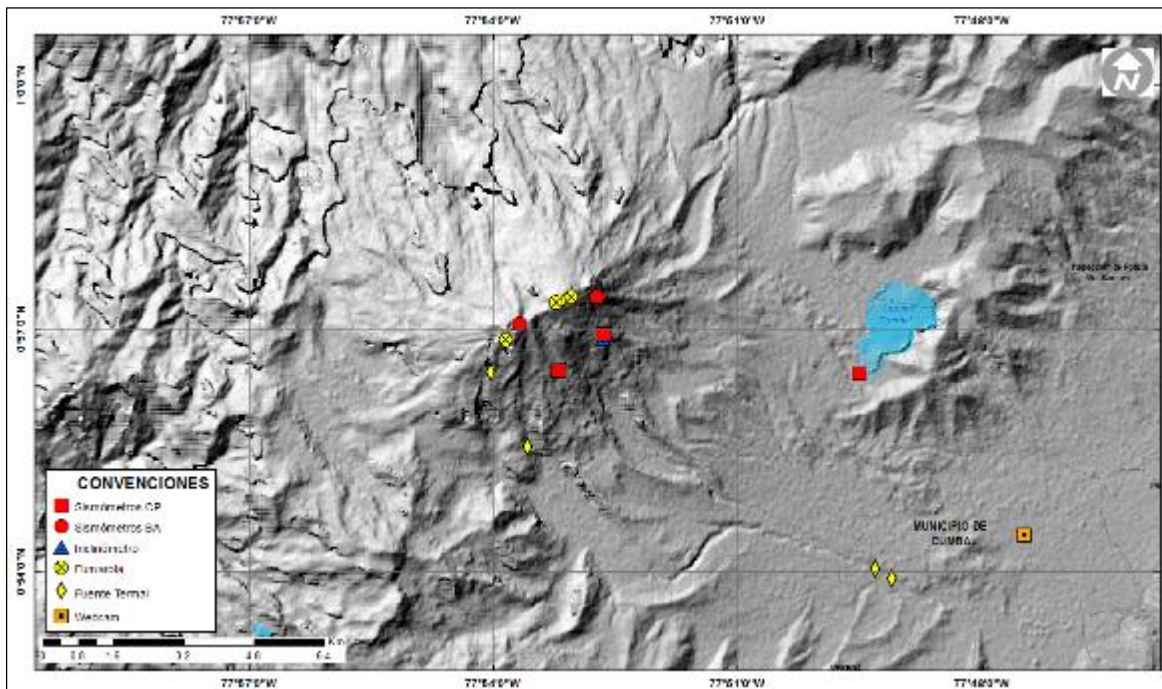


Figura 53. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de mayo de 2016.

Tabla 14. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante mayo de 2016.

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

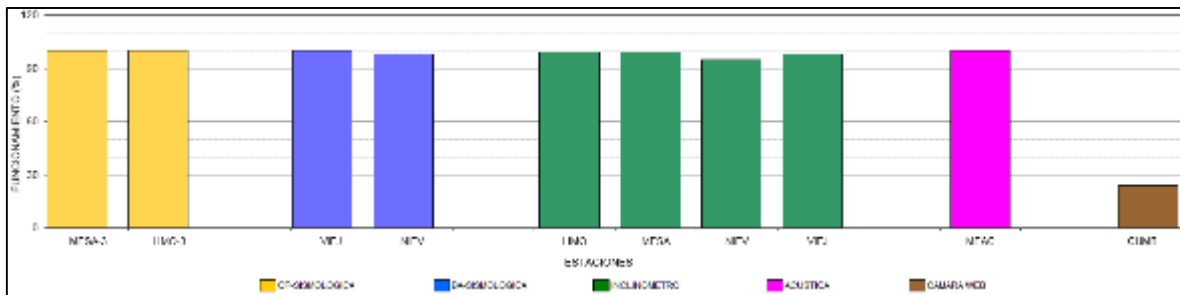


Figura 54. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en mayo de 2016.

2.2. SISMOLOGÍA

En el mes de mayo de 2016, la ocurrencia sísmica aumentó en un 43,5% en comparación a abril, pasando de 1041 a 1494 eventos. La sismicidad dominante fue la de tipo LPS con un porcentaje del 42,9%, seguido por los eventos tipo HYB con un 28,6%, los sismos tipo VT aportaron con el 28,5%. En este periodo no se tuvo registro de eventos tipo TRE (Tabla 15, Figuras 55 y 56).

Tabla 15. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016 (resaltado en color verde).

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	TOTAL
01-feb-16 a 29-feb-16	274	486	0	282	1	1043
01-mar-16 a 31-mar-16	316	479	0	344	1	1140
01-abr-16 a 30-abr-16	352	434	0	255	0	1041
01-may-16 a 31-may-16	426	641	0	427	0	1494

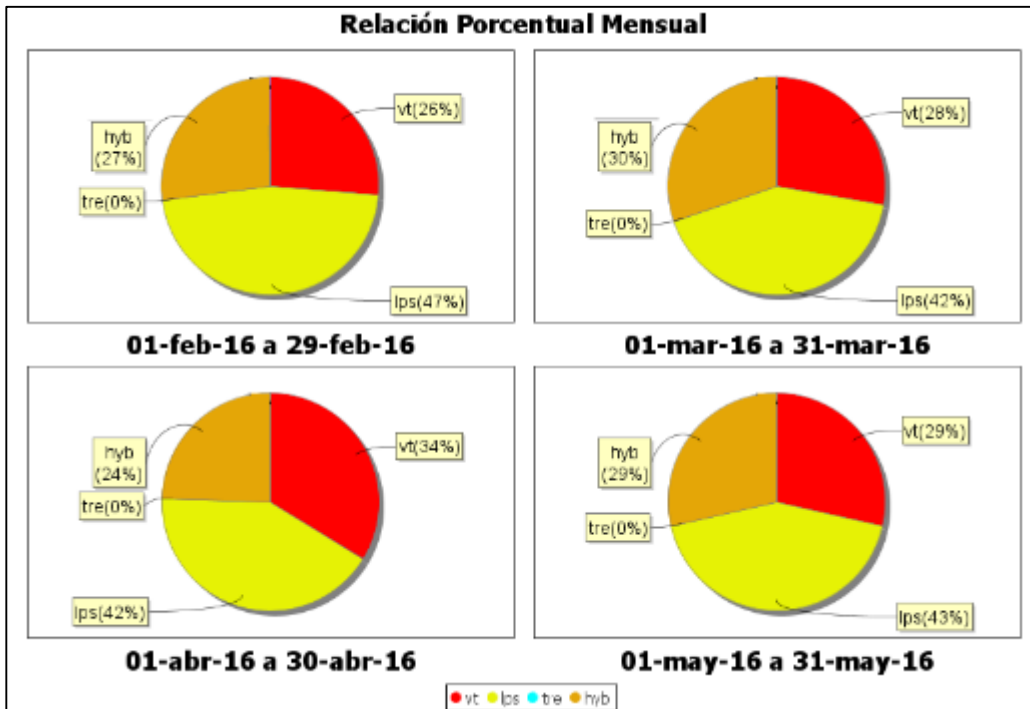


Figura 55. Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre febrero y mayo de 2016. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.

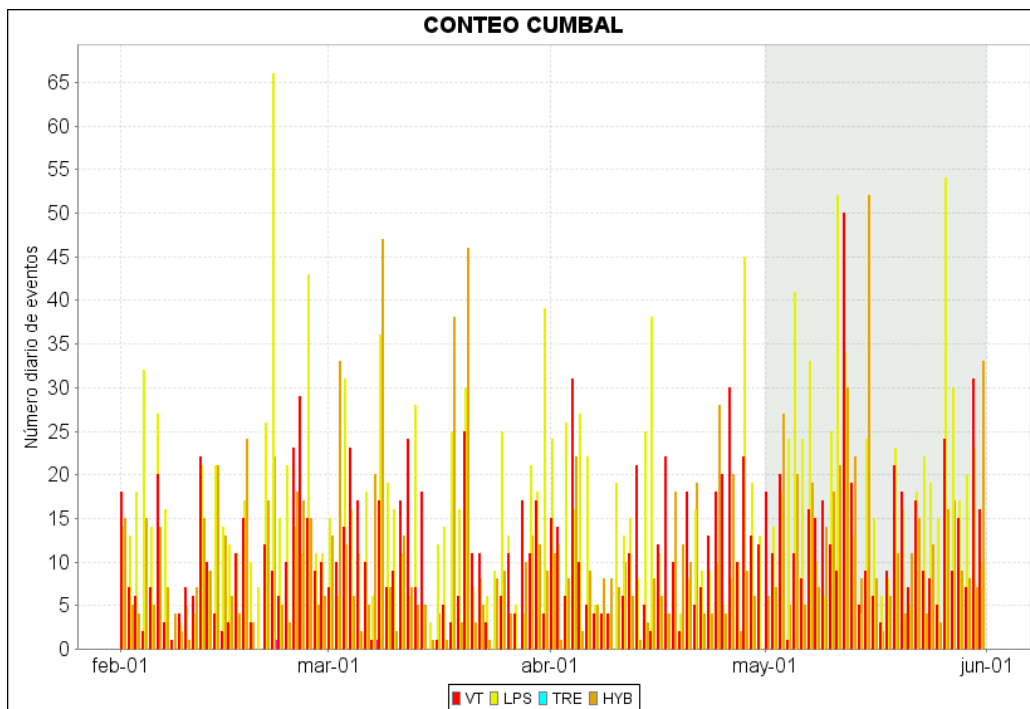


Figura 56. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.

En relación con la sismicidad asociada con fracturamiento de material cortical al interior del Complejo Volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado fue posible localizar 210 sismos, 151 de ellos tipo VT y 59 HYB, la mayoría de los eventos se ubicaron en inmediaciones del cráter La Plazuela, sector nororiente del complejo volcánico de Cumbal, con profundidades inferiores a 4 km, los más dispersos presentaron profundidades de hasta 14 km. La magnitud local mostró valores menores a 1.3 en la escala de Richter (Figura 57).

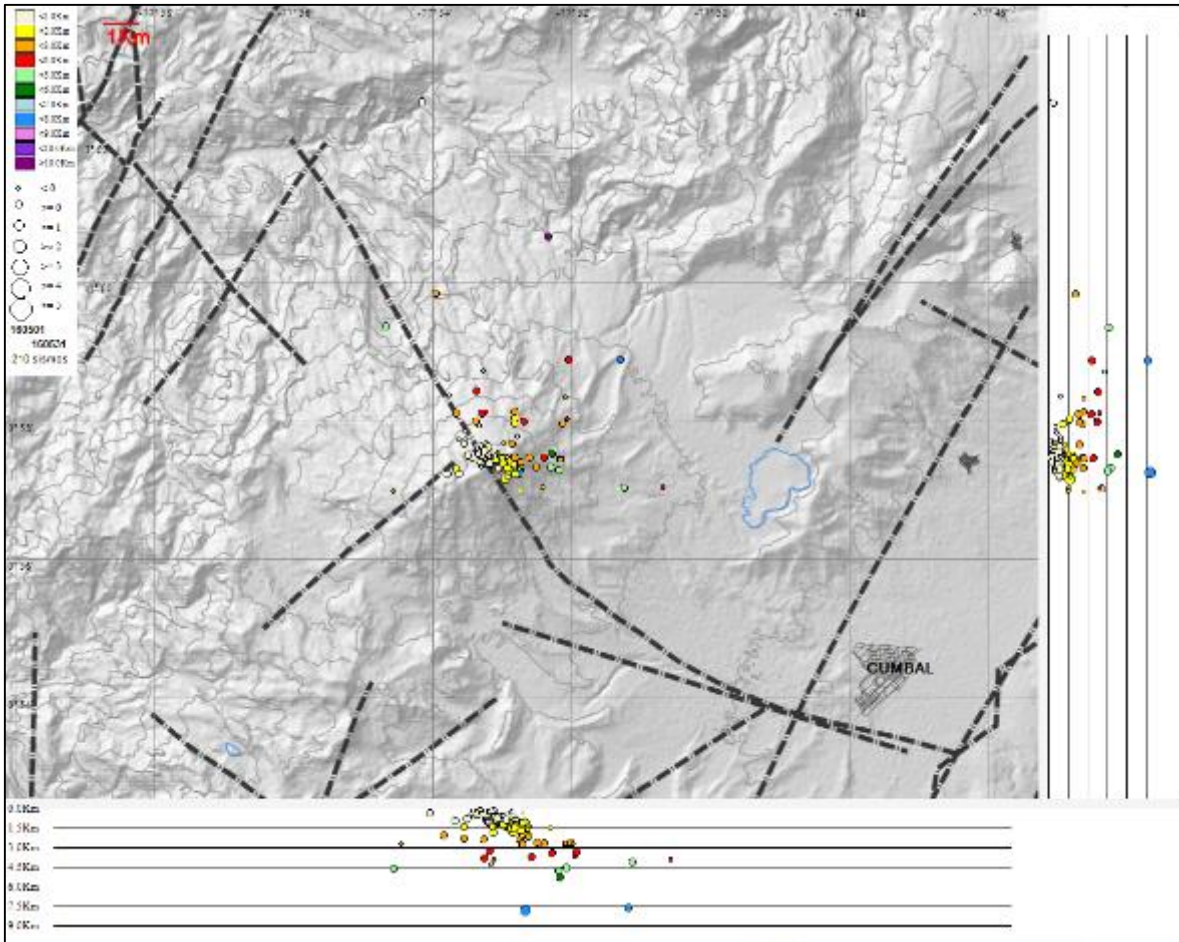


Figura 57. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de mayo de 2016. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

2.3. DEFORMACIÓN

Para el mes de mayo de 2016, se contó con cuatro inclinómetros electrónicos, Limones, La Mesa, Punta Vieja y Nieves. Las componentes del inclinómetro Limones continúan estables (Figura 58). El inclinómetro Punta Vieja, continúa con la tendencia descendente que trae la componente Este, desde abril de 2014, acumulando hasta el 31 de mayo de 2016 unos 60 μ rad; la componente Norte, hasta septiembre de 2015 acumuló cerca de 100 μ rad, posteriormente presenta un cambio de tendencia acumulando hasta el 31 de mayo de 2016 una variación de 20 μ rad. (Figura 59). El inclinómetro

Nieves, después de la reinstalación en febrero de 2016, continuó mostrando la tendencia ascendente que trae desde mediados del 2013, acumulando hasta la fecha unos 40 μ rad (Figuras 60). El inclinómetro la Mesa, muestra estabilidad en sus componentes (Figuras 61).

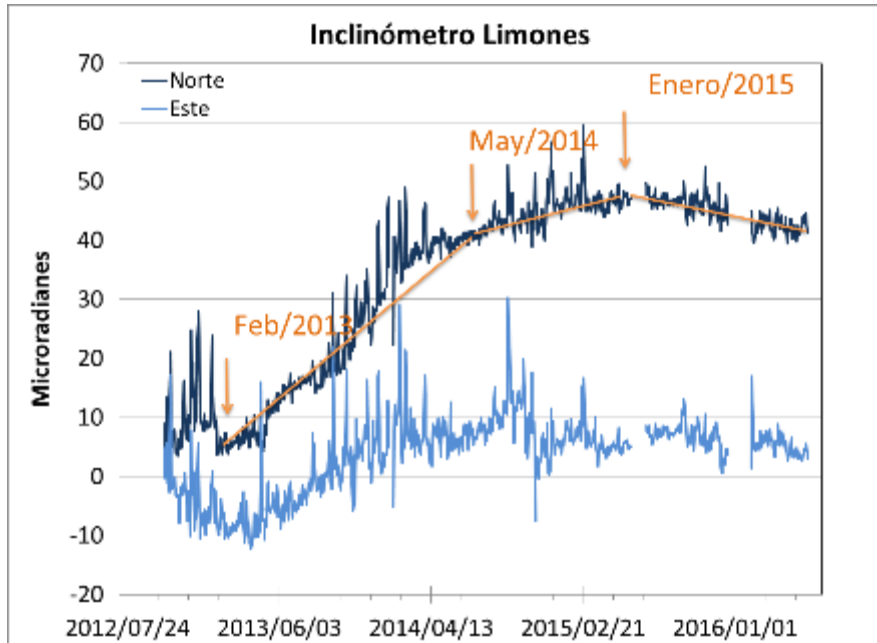


Figura 58. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre agosto de 2012 y el 31 de mayo de 2016.

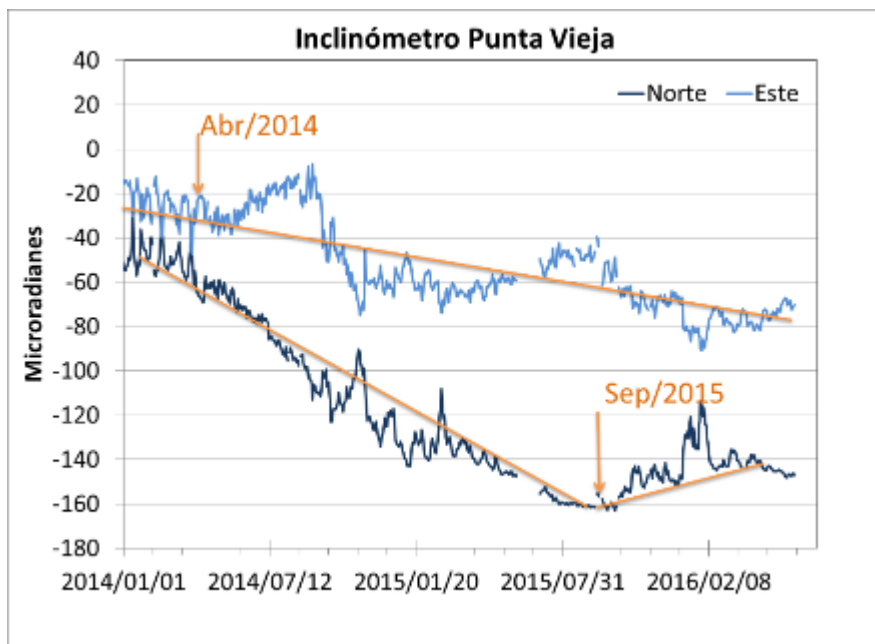


Figura 59. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

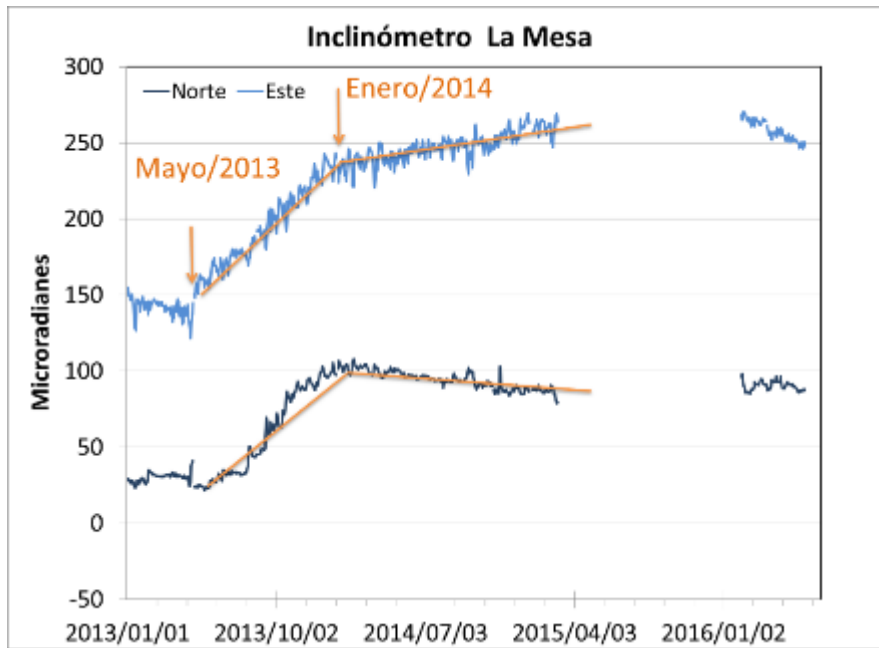


Figura 60. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico La Mesa instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de mayo de 2016.

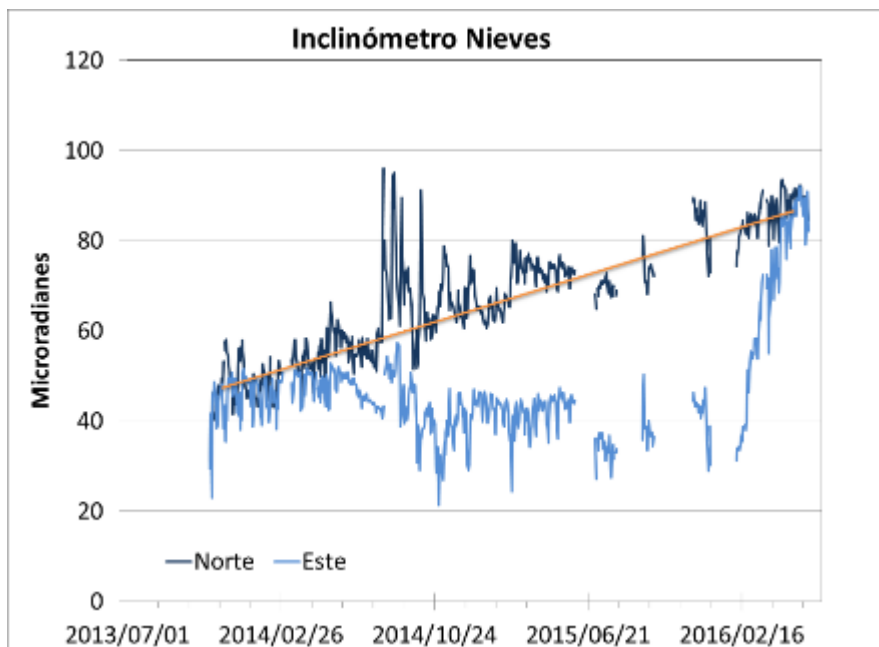


Figura 61. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Nieves, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre agosto de 2013 y el 31 de mayo de 2016.

2.4. GEOQUIMICA.

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

2.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En mayo de 2016 la actividad superficial se documentó a partir de las observaciones realizadas a los videos e imágenes de la cámara Web instalada en el municipio de Cumbal. Condiciones de clima favorables durante los días 2, 6, 9, 10 y 11, permitieron observar emisiones de gases de color blanco, provenientes principalmente del campo fumarólico El Verde (en Cumbal), las cuales fueron de baja altura y se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos (Figuras 62 y 63).



Figura 62. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 2 de mayo de 2016 a las 7:26 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.



Figura 63. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 10 de mayo de 2016 a las 5:25 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.

2.6. CONCLUSIONES

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

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de mayo de 2016 permitió mantener para la actividad del volcán Cumbal, en **NIVEL AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO MAYO DE 2016

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran ubicados al suroeste del país, en el departamento de Nariño, más exactamente en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15,5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal. Por su parte el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16,5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 64).

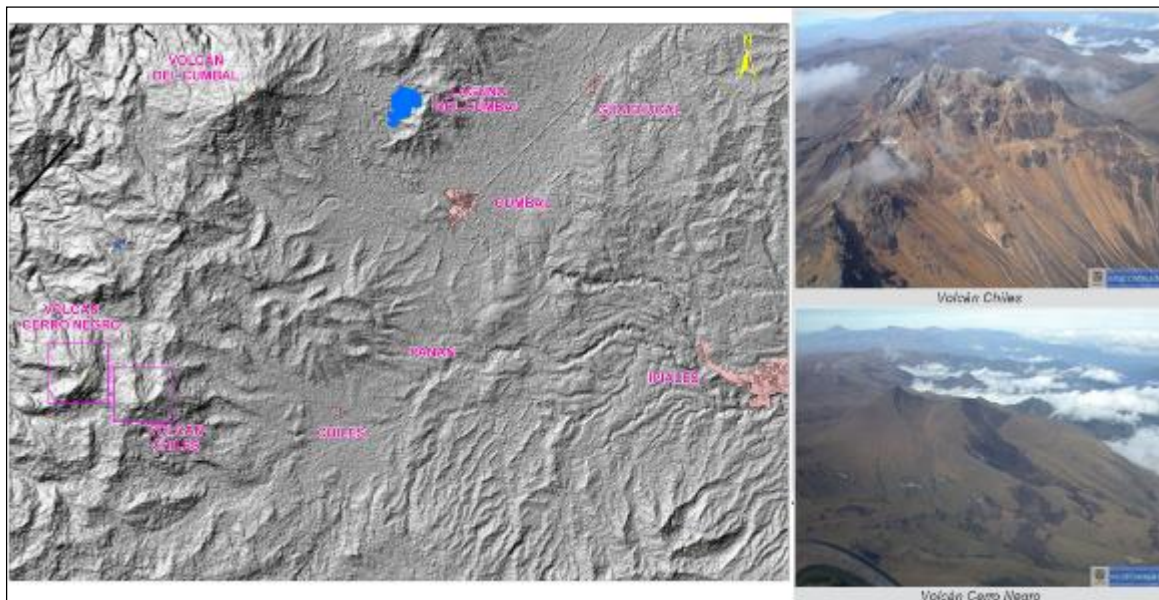


Figura 64. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

3.2. RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha y 2 inclinómetros electrónicos, una de las estaciones ubicada en la cima volcánica en el costado occidental de Chiles (sismómetro e inclinómetro), otra en el sector denominado Canguil (sismómetro y sensor de presión acústica) al nor-noroccidente del volcán Chiles, otra se encuentra en cercanías del volcán Cerro Negro y está conformada por una estación sísmica de banda ancha y un inclinómetro electrónico, ubicada al noroccidente de la parte alta del volcán, la estación Panán, a 7,4 km al nororiente del volcán Chiles, la estación Laguna ubicada al nor-nororiente del volcán Chiles y la estación Termales (Sismómetro), ubicada en el sector de Baño Grande. Además se cuenta con una estación para el monitoreo de la temperatura en la fuente termal Baño Grande ubicada en cercanías del cabildo de Chiles y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 65, Tablas 16 y 17).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvo un funcionamiento promedio del 97,5 (Figura 66).

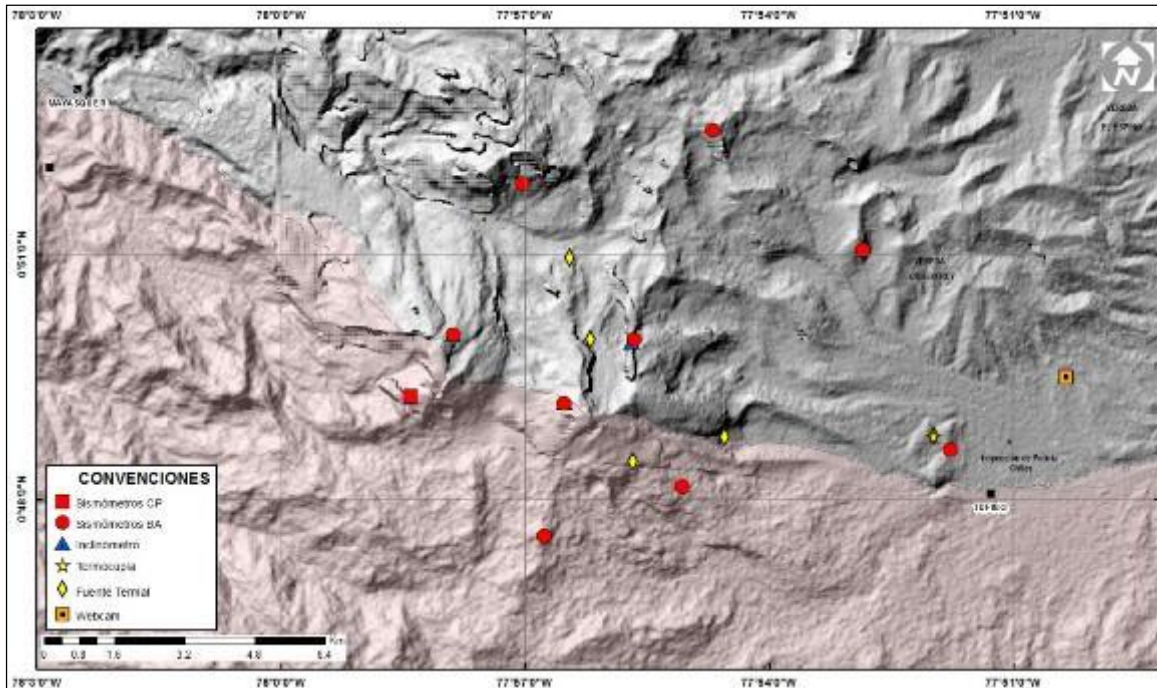







Figura 65. Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de mayo de 2016.

Tabla 16. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750
Termales	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329

Tabla 17. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.

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

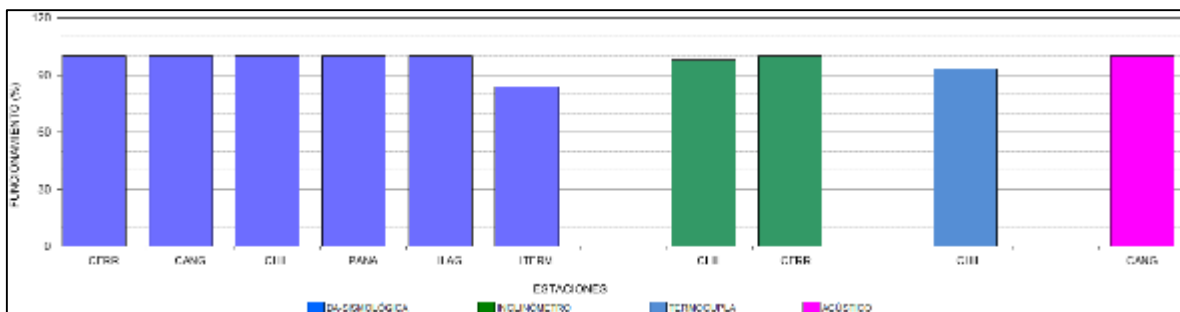


Figura 66. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante mayo de 2016.

3.3. SISMOLOGÍA

Respecto a la actividad del complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de mayo de 2016 la ocurrencia sísmica disminuyó en un 21,4 % respecto a la registrada en abril, pasando de un total de 463 a 364 sismos, 358 eventos fueron de tipo VT (Figura 67 Tabla 18). Con la instalación permanente de instrumentación especializada en noviembre 5 de 2013 hasta el 31 de mayo de 2016 se han registrado en total 549349 sismos, la gran mayoría registrados entre septiembre 29 de 2014 y 30 de abril de 2015 con 432560 sismos. Se resalta que en el último año la sismicidad tuvo un descenso muy notorio con algunas fluctuaciones en la ocurrencia sísmica diaria, adicionalmente en la actividad sísmica registrada se destaca la presencia de eventos asociados con movimiento de fluidos de tipo magmático a profundidades menores a los 5 km (Tabla 18, Figura 68).

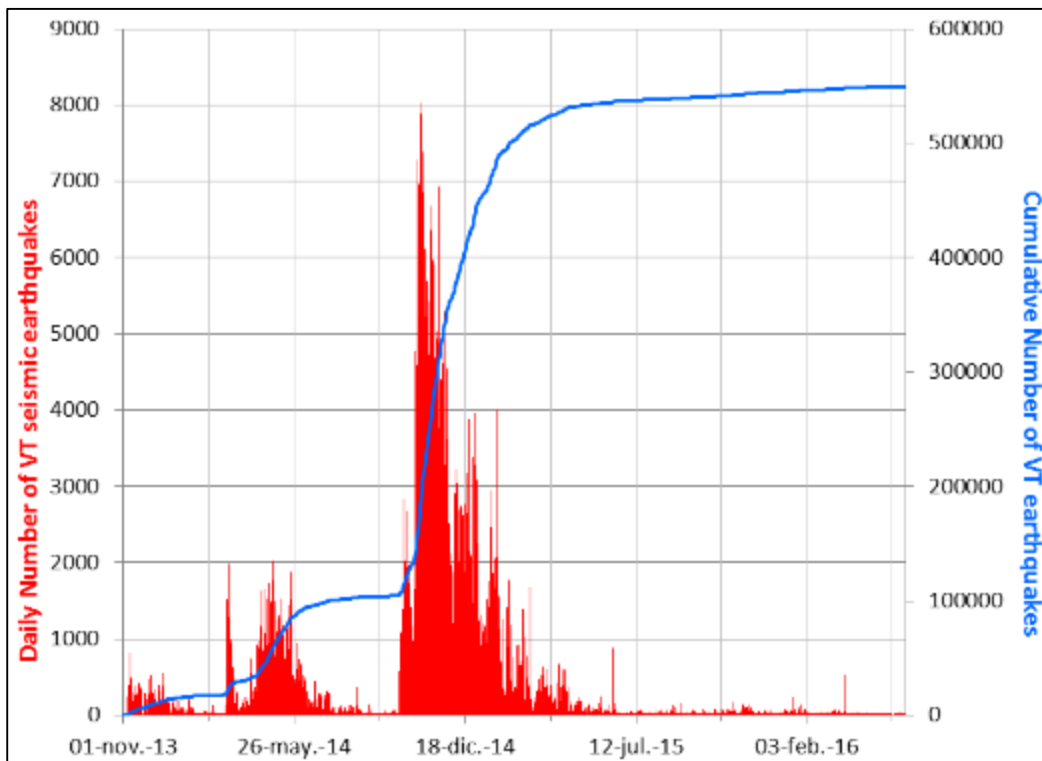


Figura 67. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de mayo de 2016.

Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-feb-16 a 29-feb-16	702	22	0	15	739
01-mar-16 a 31-mar-16	1587	18	0	15	1620
01-abr-16 a 30-abr-16	438	10	0	15	463
01-may-16 a 31-may-16	358	2	0	4	364

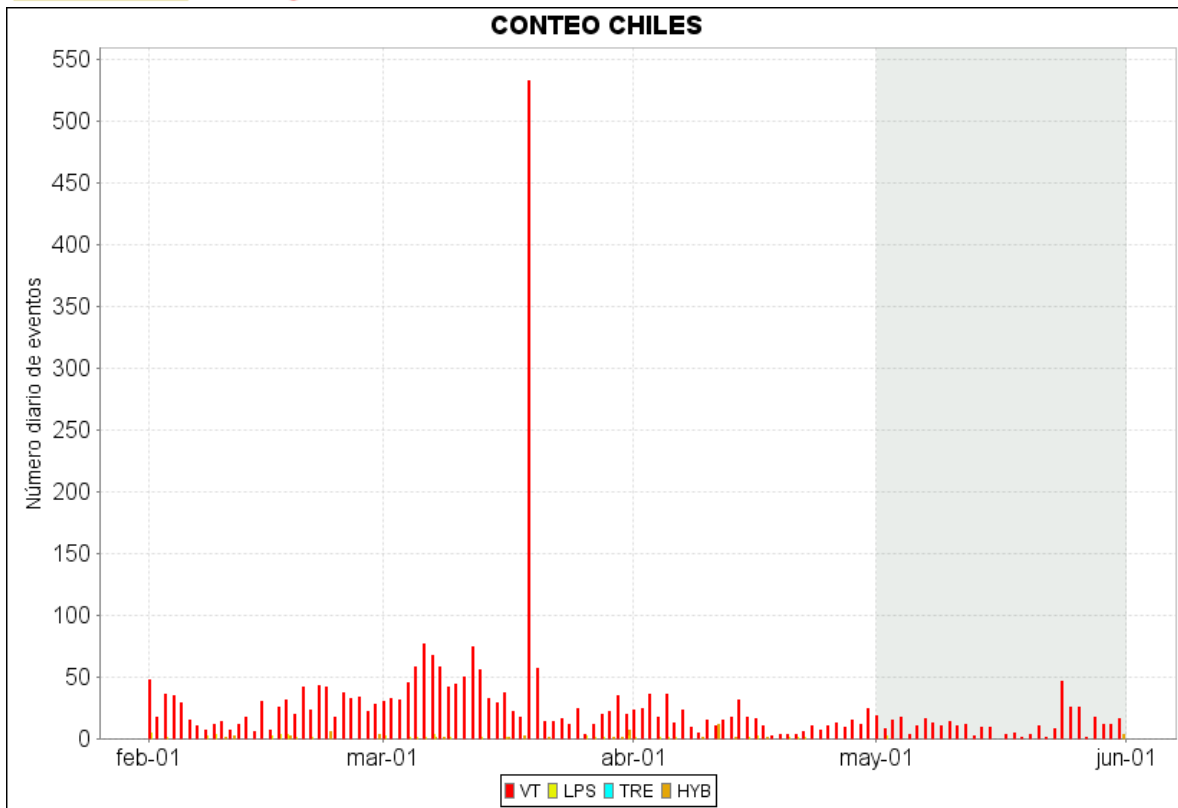


Figura 68. Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de febrero y mayo de 2016.

De los 133 eventos localizados, la mayoría de los cuales se ubicaron en inmediaciones de la cima y hacia los sectores sur y suroccidente del volcán Chiles a distancias epicentrales entre 0 y 5 km, y profundidades menores a 11 km respecto a la cima volcánica (4.700 msnm); unos cuantos se ubicaron de manera dispersa hacia el sur y suroriente de este volcán a profundidades alrededor de los 8 km y distancias epicentrales menores a 9 km respecto al centro del volcán Chiles. Los sismos localizados presentaron magnitudes menores a 1,8 en la escala de Richter (Figura 69), sin embargo la mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 1 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta la magnitud local presentada por los eventos localizados, se logró obtener un estimativo de la energía liberada en términos de su raíz cuadrada (Figura 70). En general la energía liberada por estos eventos aumentó en comparación al mes anterior, pasando de $8,4 \times 10^{13}$ ergios a $7,7 \times 10^{14}$ ergios.

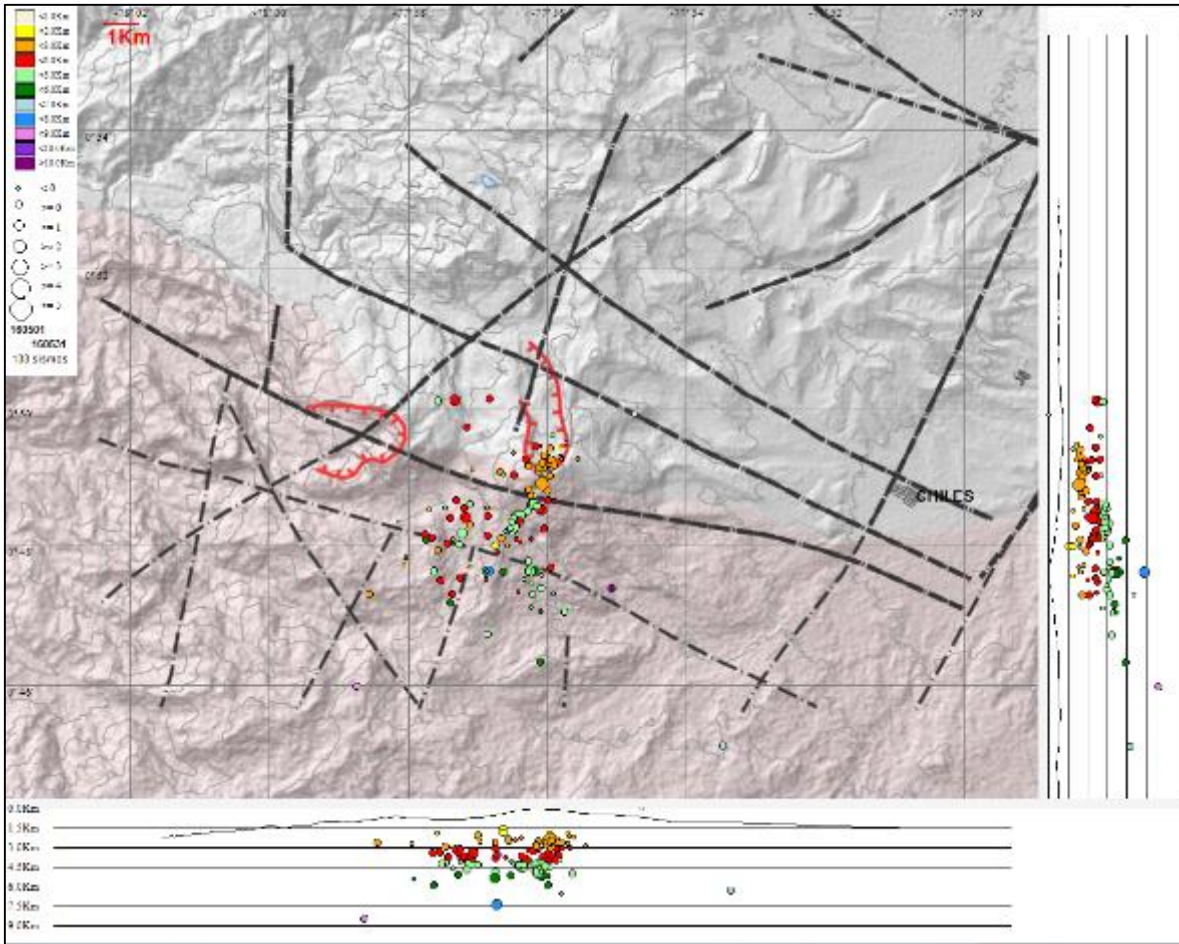


Figura 69. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de mayo de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

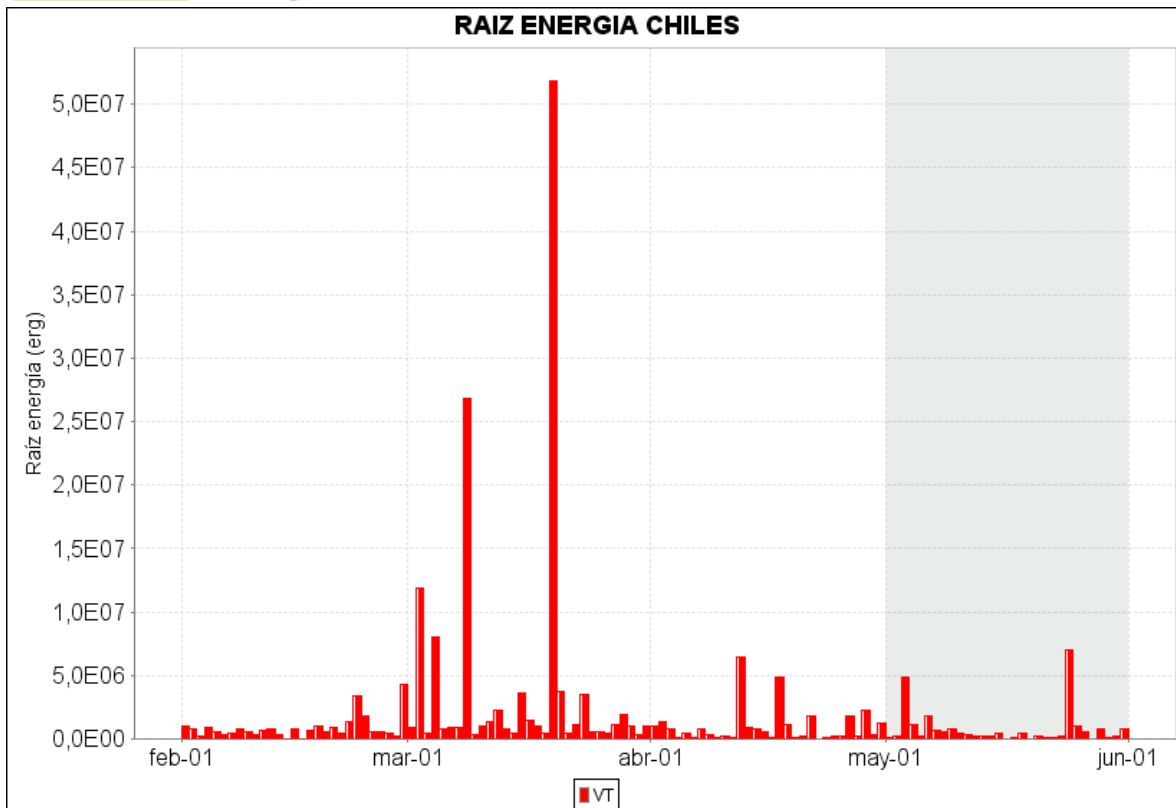


Figura 70. Raíz de la Energía diaria liberada expresada en Ergios, calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chile – Cerro Negro entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.

3.4. DEFORMACIÓN

En el mes de mayo de 2016, la red de deformación contó con tres inclinómetros, uno instalado en el volcán Chiles y dos en el volcán Cerro Negro (instalados en paralelo), que llevan los mismos nombres.

La componente de inclinación Norte del sensor Chiles, continúa con la variación registrada desde octubre de 2014, con un acumulado cercano a los 130 μrad ; la componente Este entre julio de 2015 y febrero de 2016, mostró una variación de 160 μrad , posteriormente presenta una inflexión, acumulando hasta el 31 de mayo de 2016 unos 40 μrad (Figura 71). Con respecto a los cambios mostrados por el inclinómetro Cerro Negro, entre agosto de 2015 y febrero de 2016; la componente Este mostró un ascenso de 160 μrad , luego presentó un cambio de tendencia hasta abril de 2016 con una variación cercada a los 40 μrad , y retoma la tendencia ascendente, acumulando hasta el 31 de mayo de 2016, unos 20 μrad ; la componente Norte, hasta abril de 2016, mantuvo la tendencia descendente que traía desde agosto de 2015, acumulando unos 40 μrad , más adelante hace una inflexión acumulando hasta el 31 de mayo de 2016, menos de 10 μrad (Figura 72). El inclinómetro Cneg2 paralelo al inclinómetro Cerro Negro (sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro), continuó mostrando el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Este, tomando como periodo de evaluación desde enero de 2015, la componente Este presenta un acumulado de 450 μrad y la componente Norte de 200 μrad (Figura 73). Es importante anotar que los tres inclinómetros

mostraron cambios, ya sea de pendiente o de tendencia que se han presentado durante este año, hasta el momento no se han correlacionado con algún cambio en la actividad del volcán.

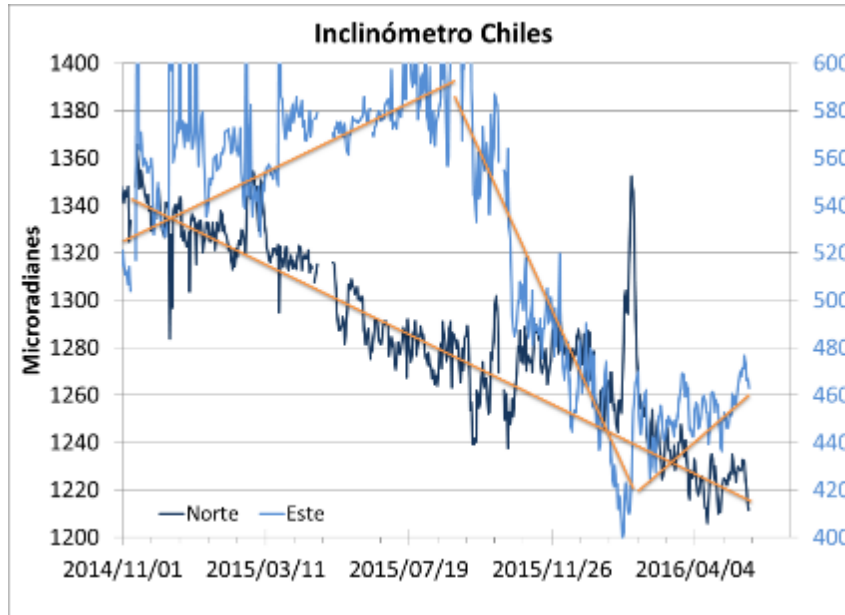


Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

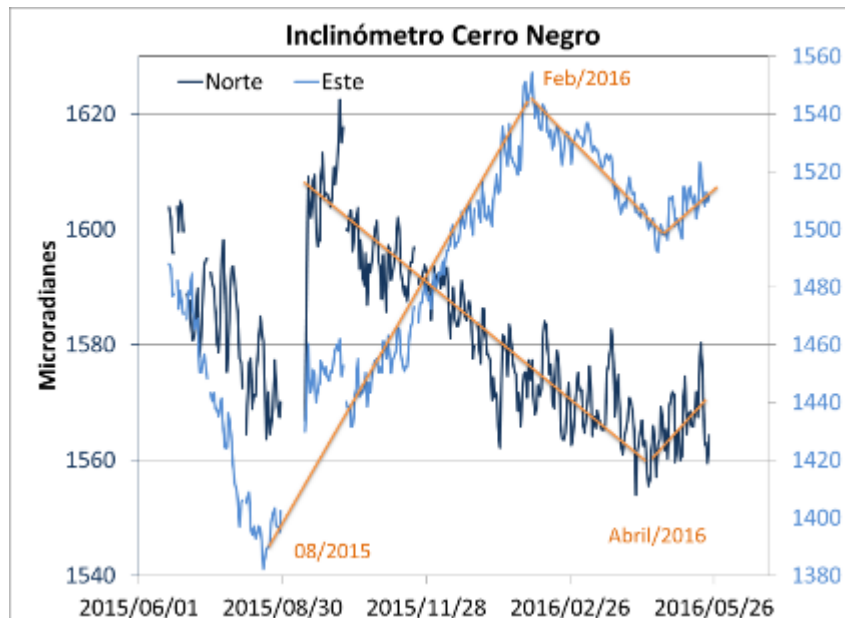


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2015 y el 31 de mayo de 2016.

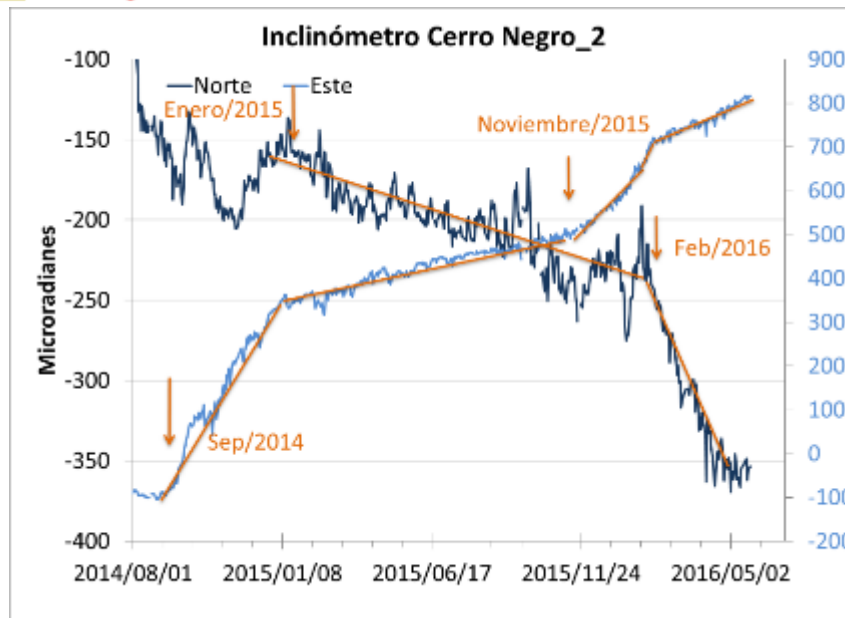


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

3.5. GEOQUÍMICA

3.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales del Volcán Chiles.

Para el periodo evaluado no se realizó muestreo en las fuentes termales ubicadas en área de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

3.5.2. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande

Los datos sobre la variación de temperatura en la FT Baño Grande del volcán Chiles, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada en el sitio de la fuente termal donde se realizan los muestreos periódicos (Figura 61, tabla 16), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de una muestra cada 10 minutos.

En la figura 74 se registran las variaciones que corresponden a valores medidos en el transcurso del día (desde las 9:30 a las 17:30 aproximadamente), con un promedio de 42,9°C (Tabla 19). Durante el mes de mayo se registra un valor máximo de 43,8°C, no se registran variaciones significativas. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continúa con el monitoreo de ésta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.

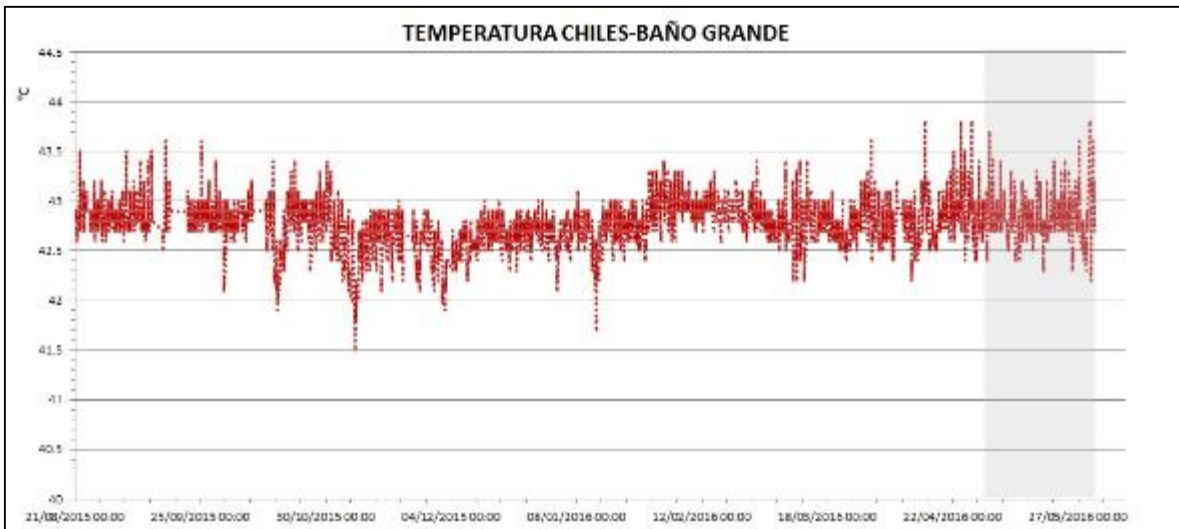


Figura 74. Gráfico de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles entre agosto de 2015 y mayo de 2016.

Tabla 19. Valores de temperatura filtrados en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – mayo de 2016.

VALOR	Temp. (°C)
Mínimo	42,2
Máximo	43,8
Promedio	42,9

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de mayo de 2016 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.7. CONCLUSIÓN

Aunque hasta el momento no se han observado cambios en las manifestaciones de actividad superficial, la actividad sísmica muestra una disminución gradual alcanzando hasta 48 sismos por día, asociados con una posible intrusión de magma en profundidad, por lo cual el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio y es posible que vuelvan a suceder sismos de niveles energéticos importantes que sean sentidos por pobladores de la zona de influencia volcánica. Por tanto, se recomienda a las autoridades y comunidades mantener precaución, permanecer atentos a la información y a las recomendaciones dadas por las entidades oficiales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de mayo de 2016 permitió que la actividad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro permaneciera en **NIVEL AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

4.1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

4.1.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente de Colombia en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 Km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 Km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño y Florencia, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 76).

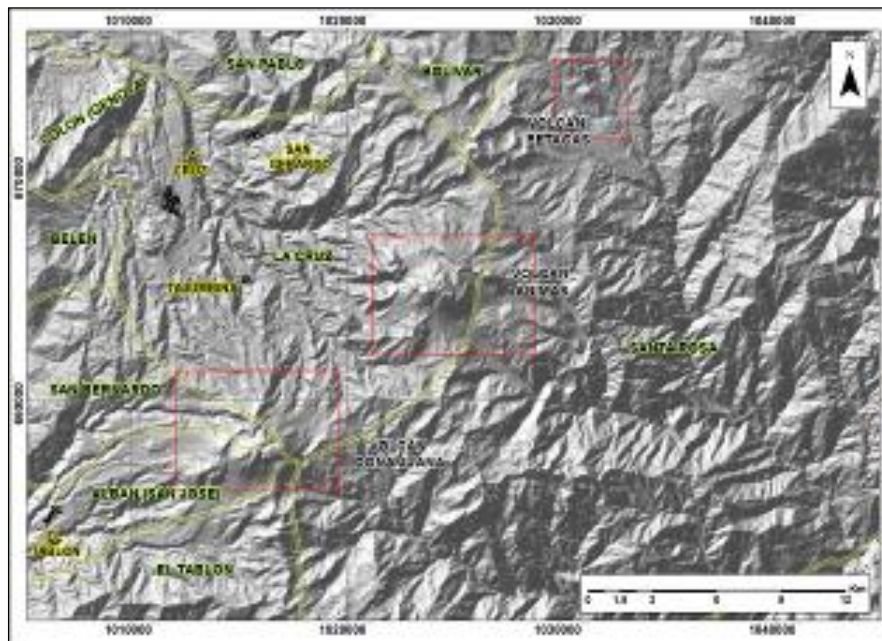


Figura 76. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

4.1.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas, dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental, y desde finales del mes de noviembre de 2015, se cuenta con una estación GNSS permanente encargada de detectar los cambios sobre la superficie volcánica. Es de resaltar que la estación multiparámetro Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

En la Figura 77 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 20 se consignan sus características.

Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en mayo de 2016.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al centro del volcán (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Altamira	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,9	SW	3137
I. Altamira	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	7,9	SW	3137
Petroglifo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4,6	W	2905
I. Petroglifo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4,6	NW	2905
Troje	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	6,2	NW	2726
Pradera	Digital	GNSS	Triaxial	4,0	WSW	2995

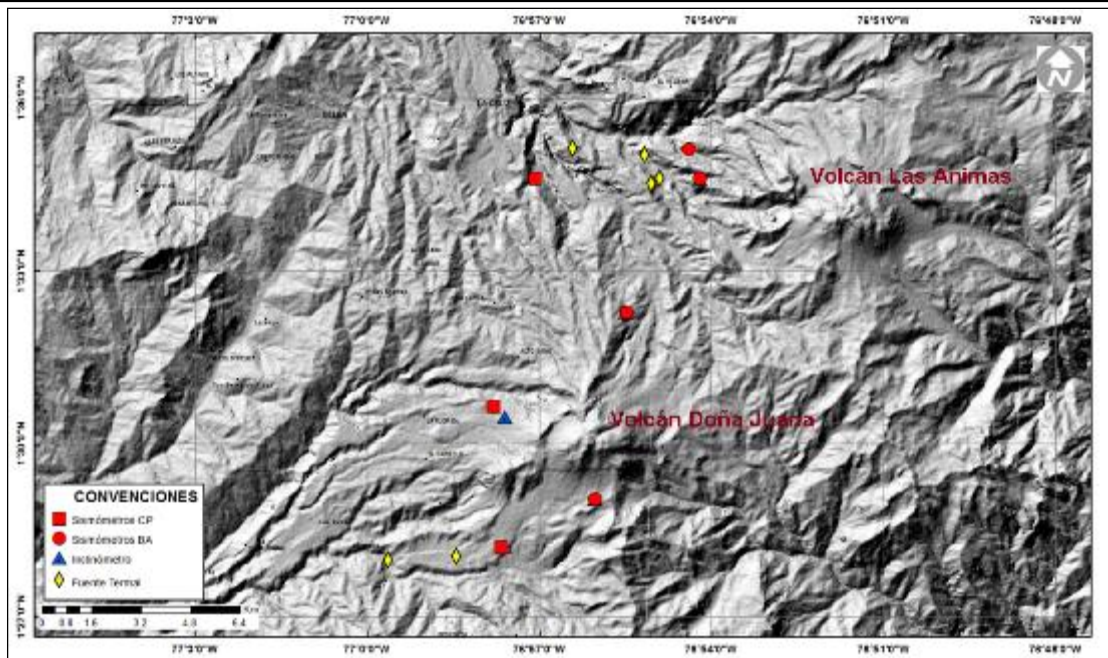


Figura 77. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de mayo de 2016. En el mapa se distingue también el volcán Doña Juana. Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Las Ánimas tuvo un funcionamiento del 98,7% (Figura 78).

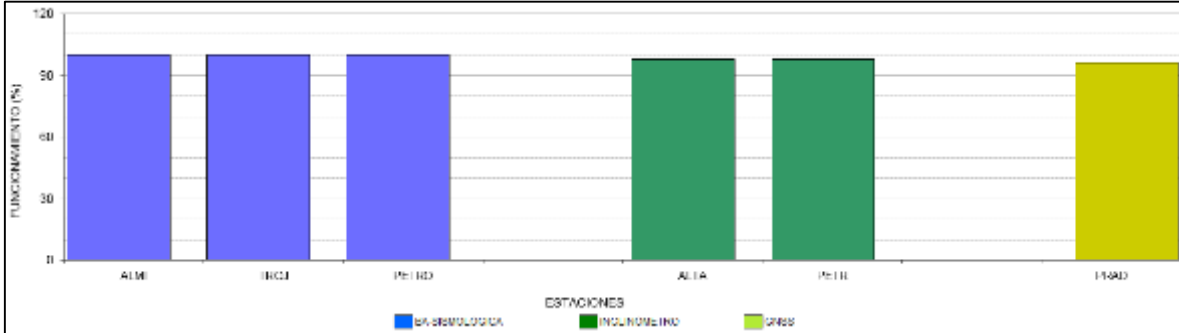


Figura 78. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante mayo de 2016.

4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado en el volcán Las Ánimas se tuvo registro de 1 sismo, que por la forma de onda y sus características espectrales se clasificó como VT, asociado con fractura de material rocoso, el cual por su bajo nivel energético no fue posible localizarlo.

4.1.4. Deformación

Respecto a los cambios registrados por las estaciones de Inclínometría, para el periodo evaluado se observa a partir de junio de 2015 para el inclinómetro Petroglifo (ubicado a 7,9 km al noroeste del volcán, 3137 m.s.n.m.), estabilidad en la componente Este, y una leve tendencia ascendente en la componente Norte que hasta el 31 mayo de 2016 acumula 35 μ rad (Figura 79). La componente Norte del inclinómetro Altamira (ubicado a 4,6 km al oeste de Las Ánimas, 2905 m.s.n.m.) hasta enero de 2016, tuvo una tendencia ascendente acumulando 180 μ rad y la componente Este se mantiene estable (Figura 80).

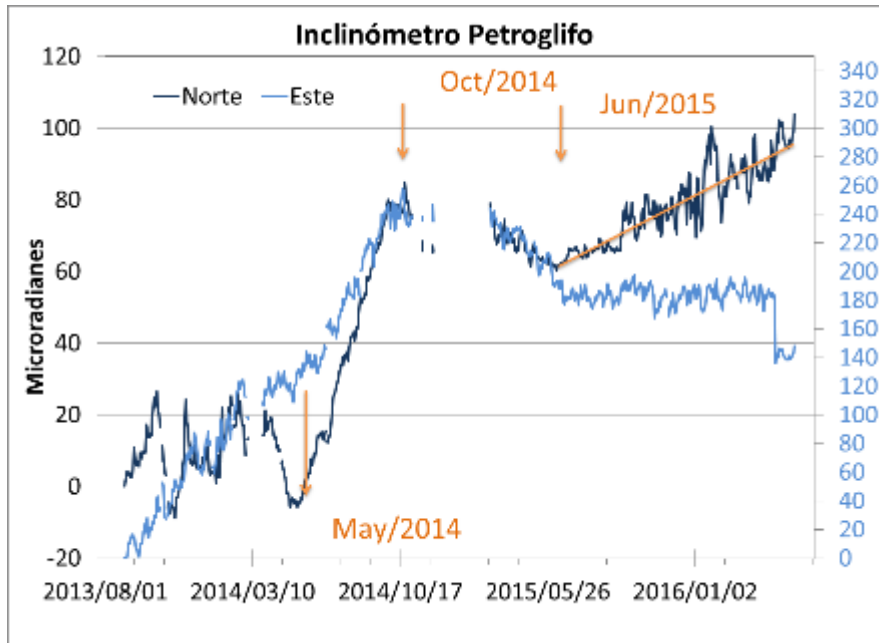


Figura 79. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 31 de mayo de 2016.

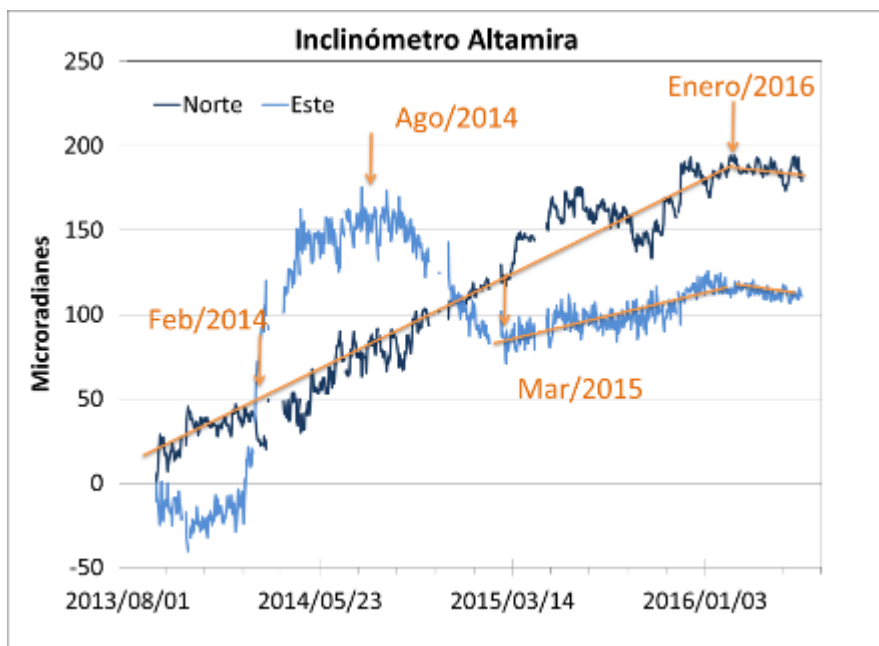


Figura 80. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2013 y el 31 de mayo de mayo de 2016.

4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de mayo de 2016 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Las Ánimas.

4.1.6. Conclusión

Con base en la información disponible del mes de mayo de 2016 el nivel del volcán permaneció en **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA

4.2.1. Red de Vigilancia

Para el mes de mayo de 2016, la red de vigilancia del volcán Doña Juana estuvo conformada por:

- Tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de Corto Periodo y una de Banda Ancha (Figura 81, Tabla 21).
- La red de deformación del volcán Doña Juana cuenta con tres inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 81, Tabla 21).
- A partir del 25 de febrero se cuenta con la señal de la estación GNSS permanente La Palma, instalada hacia el sector nororiente del volcán Doña Juana

Adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 81, Tabla 21).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvo un funcionamiento promedio del 98,4% (Figura 82).

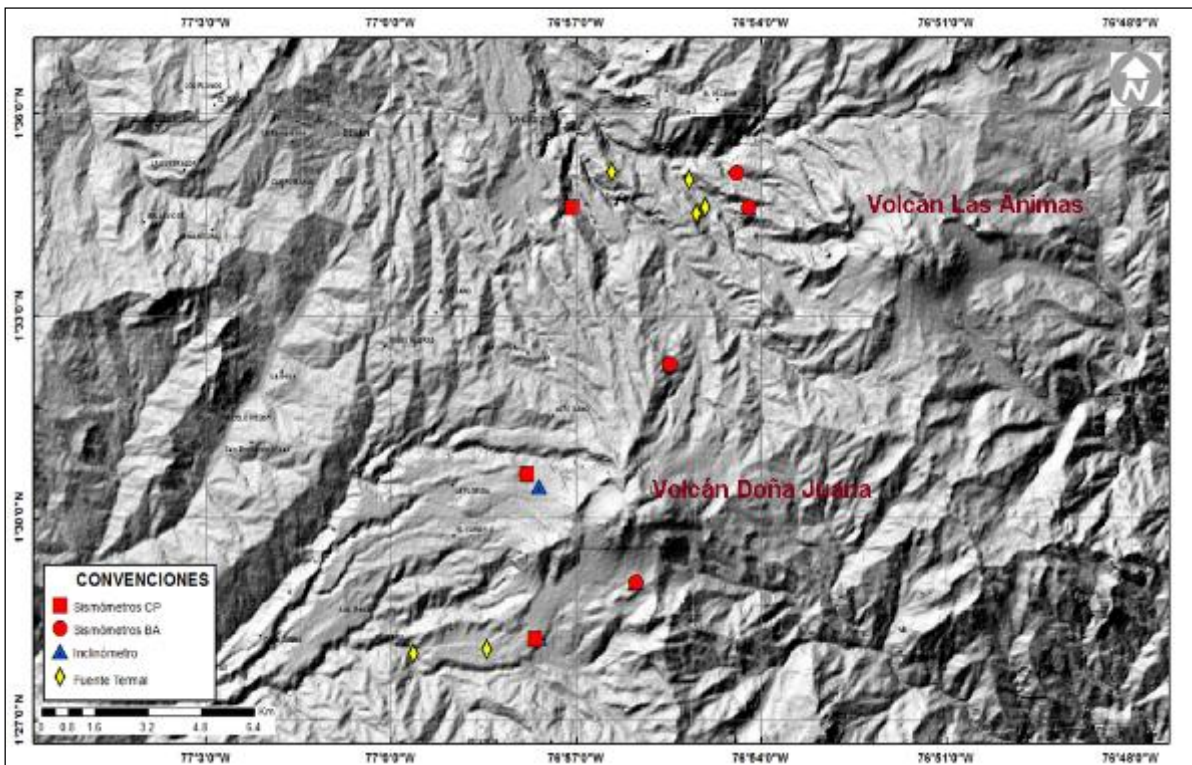


Figura 81. Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.

Tabla 21. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en mayo de 2016.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al centro del volcán (Km)	Dirección respecto al volcán	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,1	SE	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,1	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	2,3	W	3140
I. Florida	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,3	W	3140
Lavas	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4,1	SW	3145
I. Lavas	Analógica	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4,1	SW	3145
La Cruz	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Uniaxial	7,5	NNW	2761
La Palma	Digital	GNSS	Triaxial	2,7	NNW	3478

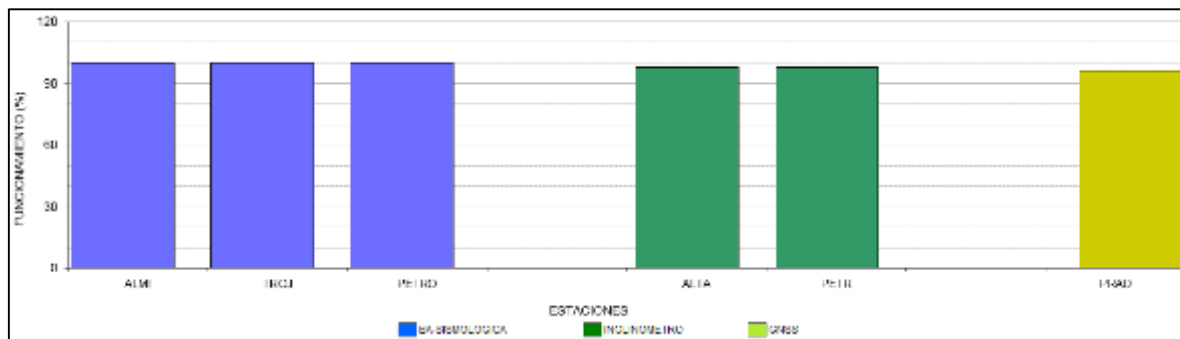


Figura 82. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de mayo de 2016.

4.2.2. Sismología

Durante mayo de 2016, no se tuvo registro de eventos sísmicos en el volcán Doña Juana.

4.2.3. Deformación

Continúa el comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte del sensor Florida, variación cercana a los 70 μ rad desde el pasado mes de febrero de 2015, y en la componente Este se observa estabilidad (Figura 83). Después de la reinstalación del inclinómetro Páramo, éste muestra variaciones que están asociadas a condiciones externas y que están dentro de su propio nivel base (Figura 84). El inclinómetro Lavas, reinstalado en enero de 2016, continuó con la tendencia ascendente que traía desde marzo de 2015, acumulando hasta la fecha unos 70 μ rad, la componente Este para el mismo periodo muestra estabilidad (85).

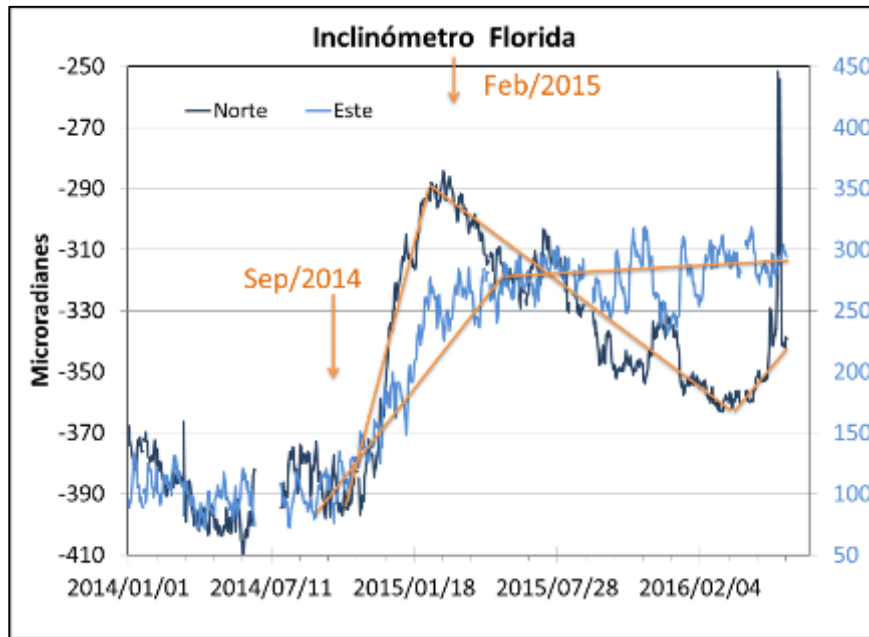


Figura 83. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

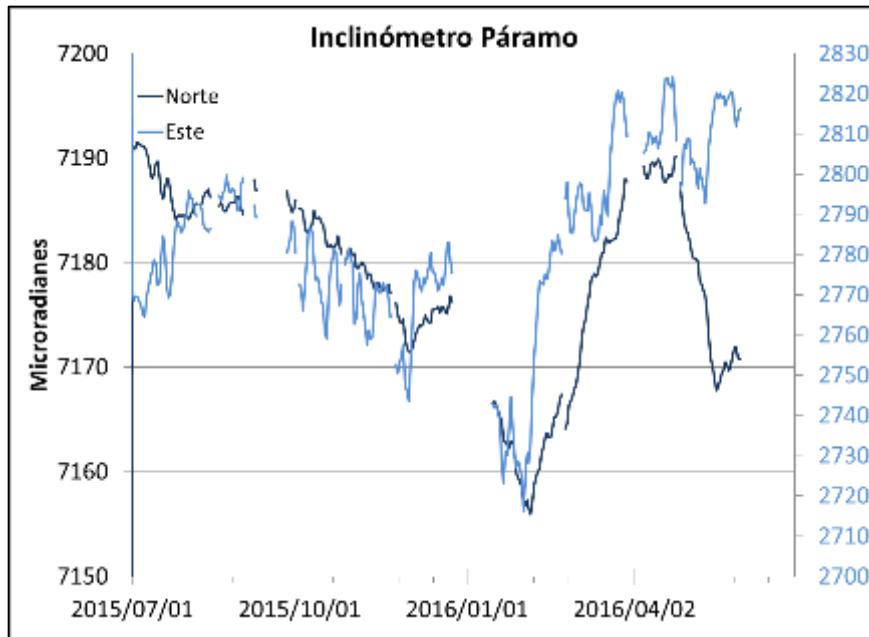


Figura 84. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 31 de mayo de 2016.

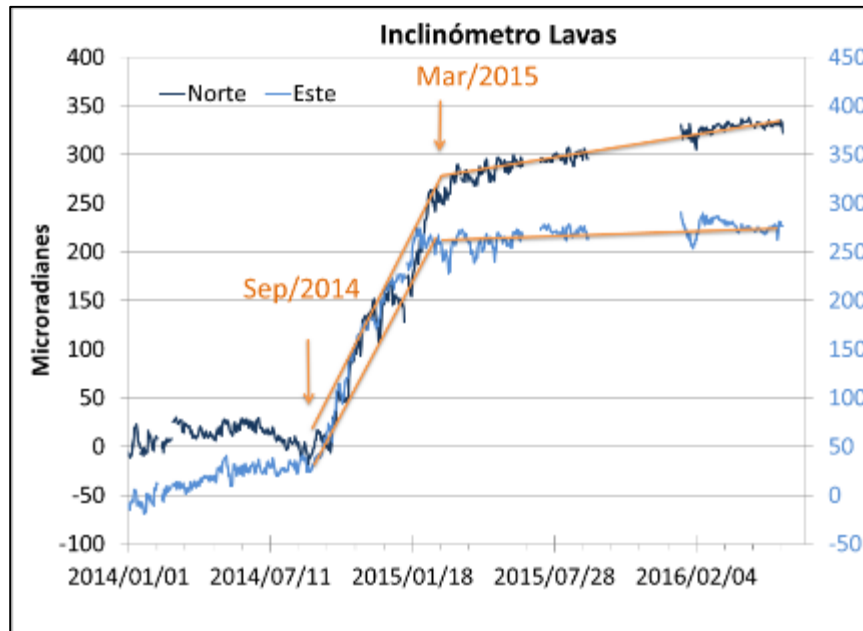


Figura 85. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

4.2.4 GEOQUÍMICA

El complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas cuenta con una red actual de monitoreo de 6 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Tajumbina (A), FT Animas I (B), FT Animas II (C), FT Animas III (D), que corresponde al volcán Las Ánimas y las FT La Vega (E), El Silencio (F), que corresponden al volcán Doña Juana. (Figura 86, Tabla 22). Los parámetros fisicoquímicos y muestras para análisis permitirán su caracterización y comprensión desde el punto de vista geoquímico para este complejo volcánico.

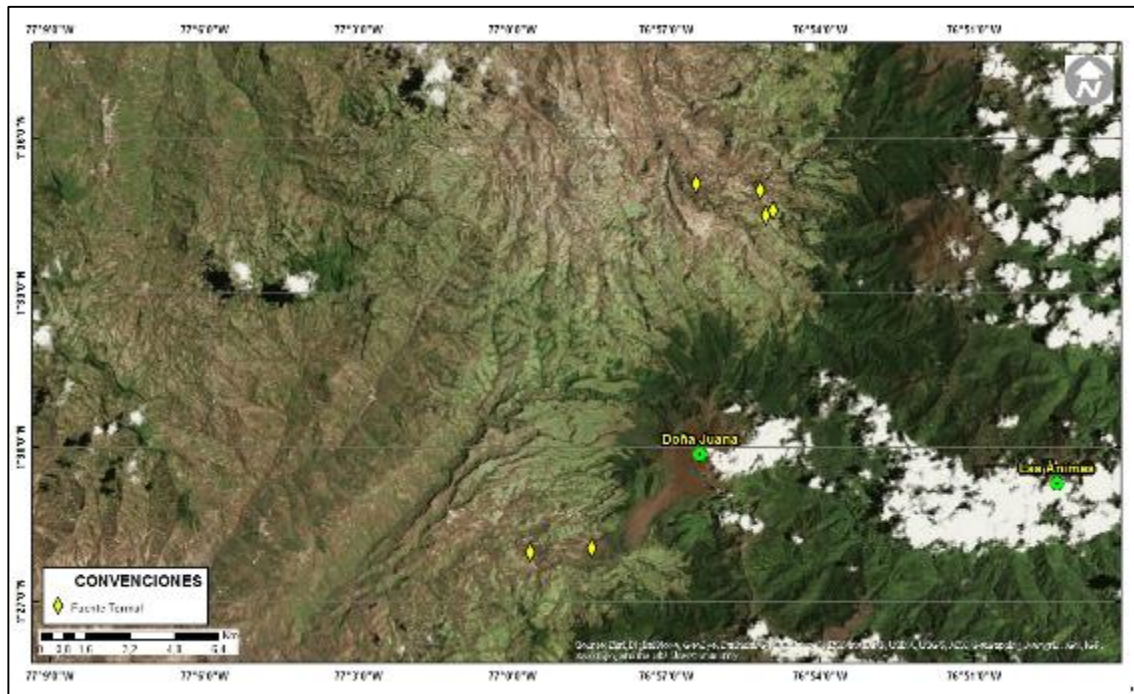


Figura 86. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Con respecto a la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos en las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del volcán Doña Juana y Las Ánimas, se utilizaron los siguientes equipos:







- Equipo multiparámetro Orion (pH metro, T y ORP): permite medir el potencial de hidrógeno, temperatura y potencial de óxido reducción en fuentes termales.
- Termómetro digital: permite hacer mediciones de temperatura.
- Cámara térmica: para registrar la temperatura de las superficies.

En la figura 87 se registran los valores del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de mayo de 2016 de las fuentes termales muestreadas. Los colores en las gráfica indican el estado de acidez o basicidad del manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para el pH.

Las fuentes termales que hacen parte de la red de monitoreo de aguas de origen volcánico asociadas a los volcanes Doña Juana y las Ánimas entre los días 19 y 20 de mayo de 2016, presentaron potenciales de Hidrógeno (pH), entre 6,3 (neutro) y 7,3 (neutro).

En la figura 88 se observa el comportamiento del parámetro pH en los diferentes muestreos realizados a través del tiempo de monitoreo de las termales, y se puede observar que no hay variaciones importantes.

Tabla 22. Ubicación geográfica fuentes termales volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

FUENTE TERMAL		COORDENADAS		ALTURA
		Latitud Norte	Longitud Occidental	
Animas I		01° 34' 30.4"	76° 55' 3.1"	2586 msnm
Animas II		01° 35' 0.2"	76° 55' 10.2"	2486 msnm
Animas III		01° 34' 36.4"	76° 54' 54.5"	2578 msnm
Tajumbina		01° 34' 68"	76° 56' 25"	2500 msnm
La Vega		01° 27' 52.4"	76° 59' 28.1"	2432 msnm
El Silencio		01° 28' 2.3"	76° 58' 26.6"	2458 msnm

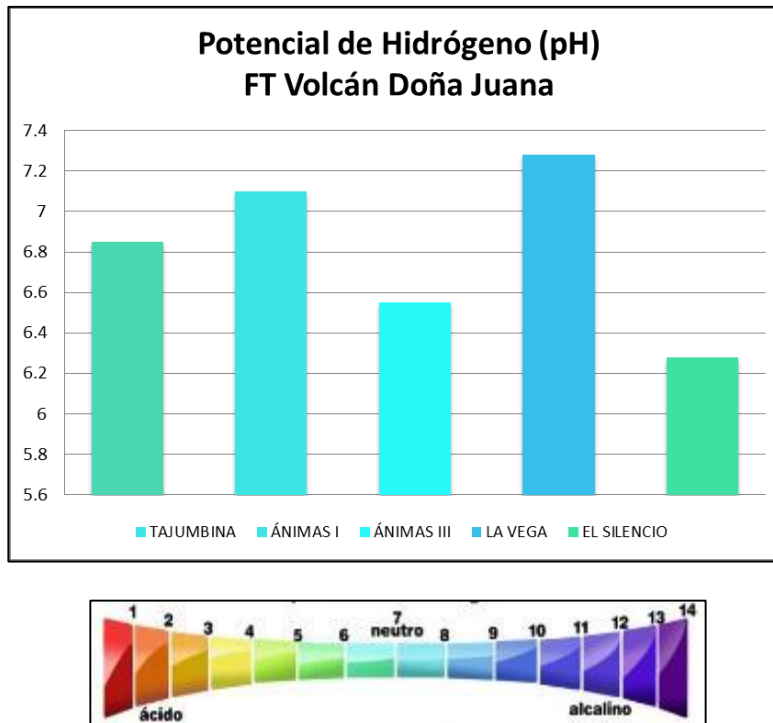


Figura 87. Potencial de hidrógeno de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas mes de mayo 2016.

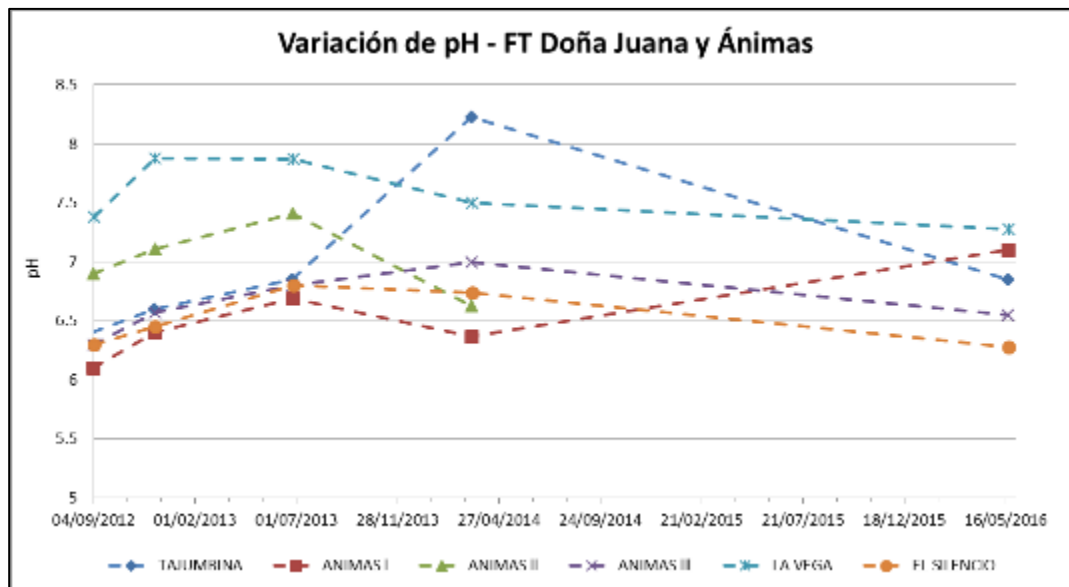


Figura 1. Comportamiento del pH de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas mayo de 2016.

De acuerdo a la tabla 13, la clasificación de las aguas termales respecto a la temperatura tendríamos que los manantiales se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- **Fuente termal Tajumbina**

Temperatura superficial: 62.7°C -Temperatura registrada en mayo de 2016 con termómetro digital y cámara térmica (Figura 89).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Por la temperatura de la manifestación termal puede ser clasificada como hipertermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 6,1 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

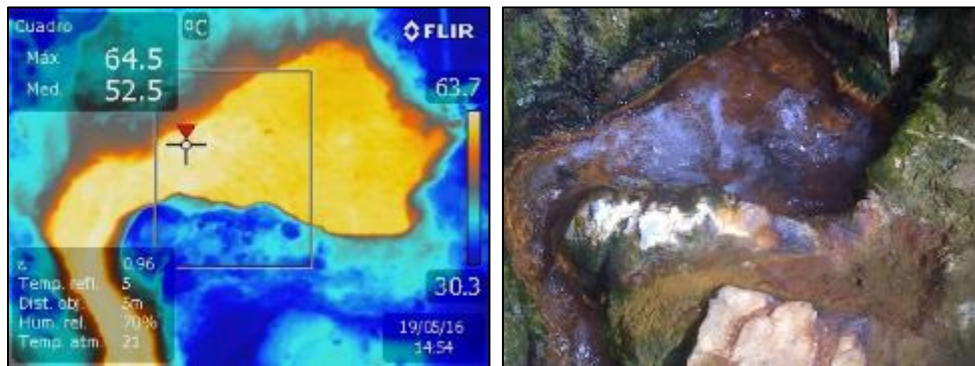


Figura 89. Imagen térmica FT Tajumbina mayo 2016.

- **Fuente termal Ánimas I**

Temperatura superficial: 63.5°C. -Temperatura registrada en mayo de 2016 con termómetro digital y cámara térmica (Figura 90).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 5.9 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

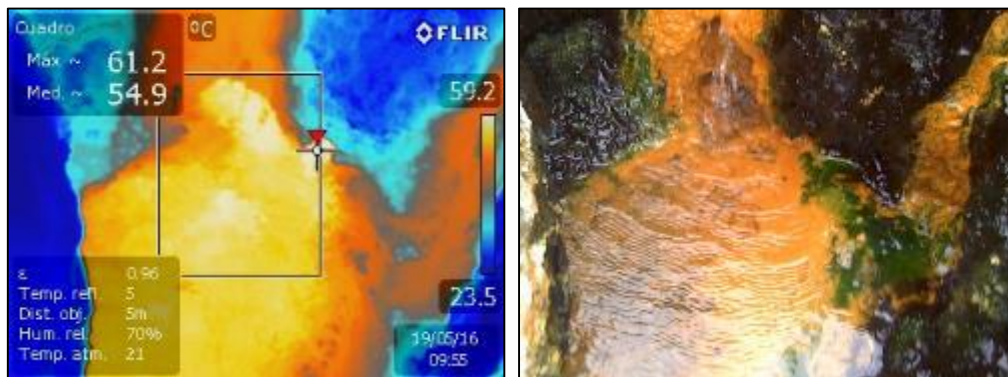


Figura 2. Imagen térmica FT Ánimas I mayo de 2016.

- **Fuente termal Ánimas II**

Temperatura superficial: 44.8°C. -Temperatura registrada en mayo de 2016 con termómetro digital y cámara térmica (Figura 91).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal.

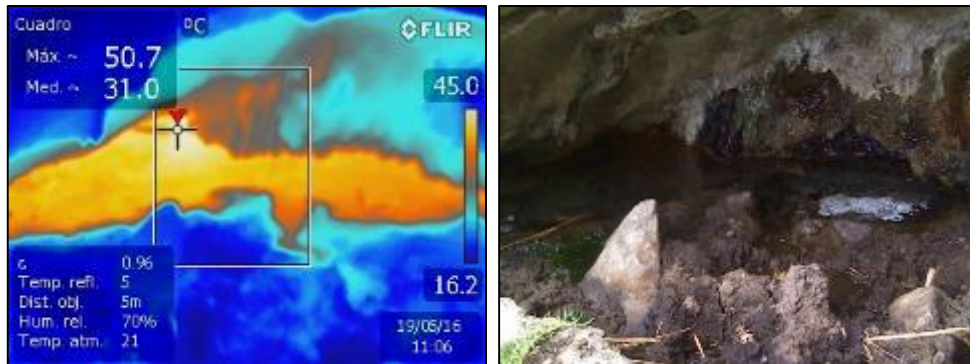


Figura 91. Imagen térmica FT Ánimas II mayo 2016.

- **Fuente termal Ánimas III**

Temperatura superficial: 46°C. -Temperatura registrada en mayo de 2016 con termómetro digital y cámara térmica (Figura 92).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una baja conductividad eléctrica de 2.7 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

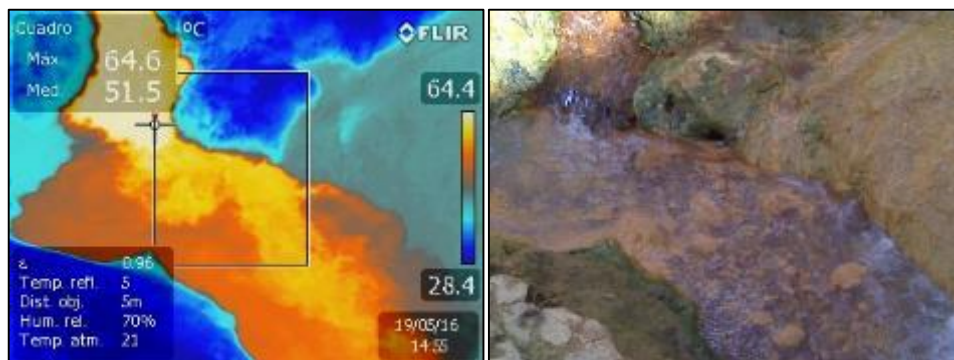


Figura 92. Imagen térmica FT Ánimas III mayo 2016.

- **Fuente termal La Vega**

Temperatura superficial: 23.9°C. -Temperatura registrada en mayo de 2016 con termómetro digital y cámara térmica (Figura 93).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 0,58 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

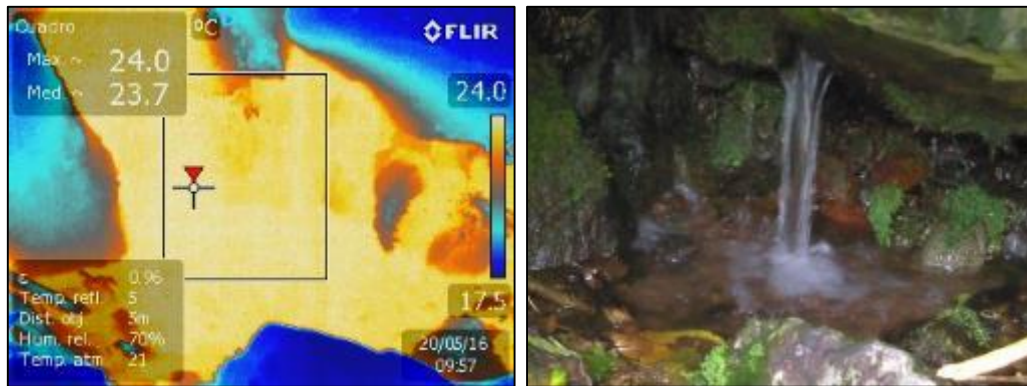


Figura 93. Imagen térmica FT La Vega mayo 2016.

- **Fuente termal El Silencio**

Temperatura superficial: 24,4°C. -Temperatura registrada en mayo de 2016 con termómetro digital y cámara térmica (Figura 94).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 0,62 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

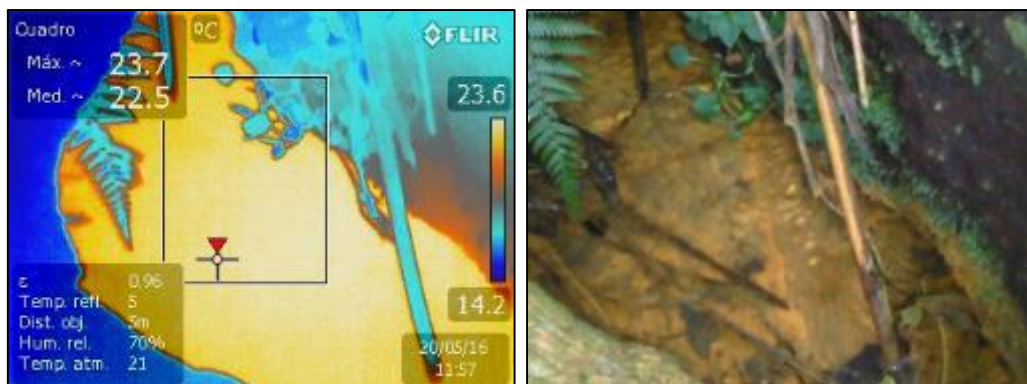


Figura 94. Imagen térmica FT El Silencio mayo 2016.

Las Figuras 95, 96 y 97 representan la variación de datos fisicoquímicos registrados a partir de datos históricos y aquellos registrados en la última visita de campo.

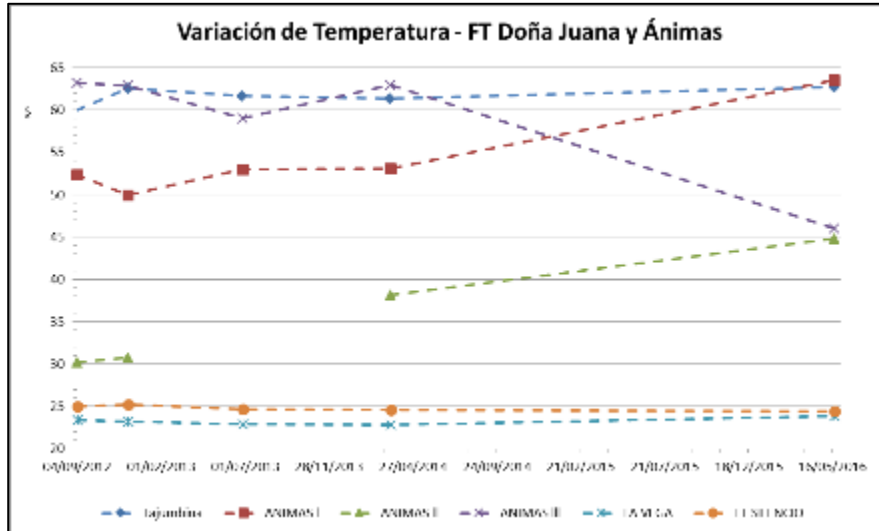


Figura 95. Comportamiento de la temperatura de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas hasta mayo 2016.

En la figura 95 se observa el comportamiento de la temperatura en las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, de esta manera se registra aumento de temperatura para la FT Ánimas I, FT Ánimas II y disminución para la FT Ánimas III, mientras que para las demás no se observan cambios relevantes en esta variable.

Estos cambios podrían deberse a la dinámica del sistema hidrotermal asociándose también a la actividad volcánica, sin embargo se continuará realizando monitoreo a la temperatura para descartar o determinar el origen de estos cambios.

En la figura 96, se presenta la gráfica para la variación de la conductividad eléctrica en las aguas de las fuentes termales de origen volcánico, se puede observar que se presenta una disminución en el valor de conductividad para la FT Ánimas I en comparación a la mediciones anteriores, para las demás FT se observa estabilidad; estas variaciones están directamente involucradas con la composición iónica de las aguas consiguiendo de esta manera ser la causa de la disminución de la temperatura en la misma FT Las Ánimas.

La concentración del ion bicarbonato determinado en campo mediante valoración con ácido clorhídrico frente a indicador azul de bromofenol, presenta variaciones en las fuentes termales Animas I y Tajumbina, las demás termales presentan estabilidad (Figura 97). La presencia de bicarbonato se debe a la ausencia o presencia de CO₂ disuelto en agua que depende del factor pH para existir como tal en solución, sin embargo por la composición iónica y cambios en la temperatura del agua también puede verse afectada la presencia de este ión.

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

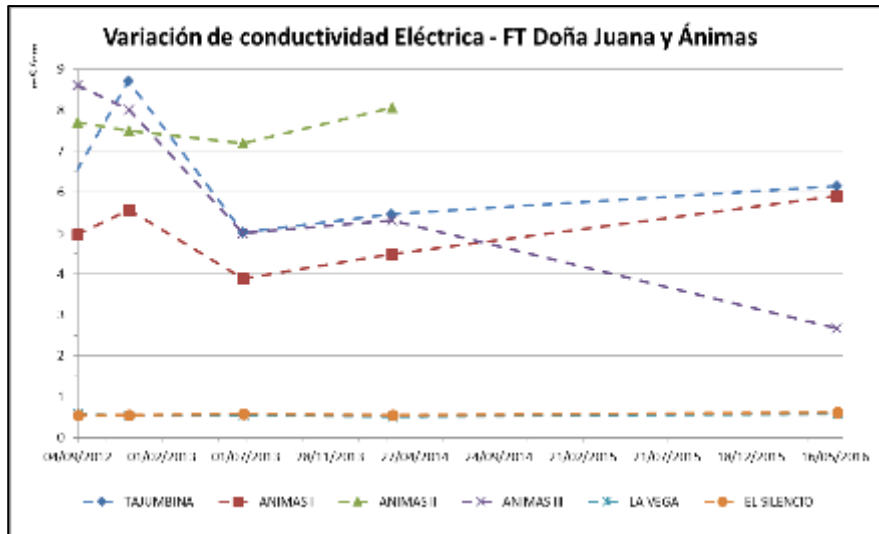


Figura 96. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas mayo de 2016.

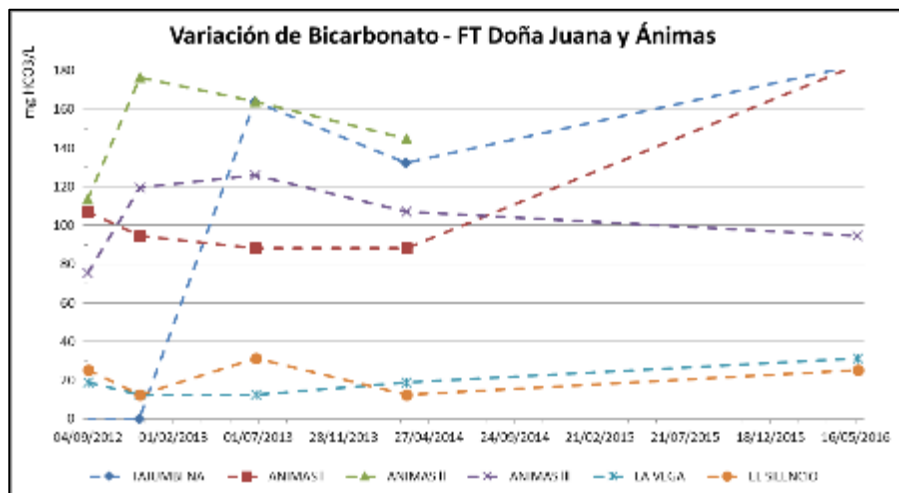


Figura 97. Comportamiento del contenido de Bicarbonato de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas hasta mayo de 2016.

4.2.5. Actividad Superficial

Durante el mes de mayo de 2016 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

4.2.6. Conclusión

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

4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

4.3.1. Red de vigilancia

La Figura 98 muestra la distribución de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 23 están sus características. Adicionalmente se cuenta con una estación climatológica cerca a la estación La Roca, que consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medidas de radiación solar. Adicionalmente se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Desde el pasado mes de marzo de 2015 se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparámetro La Roca (Figura 99).

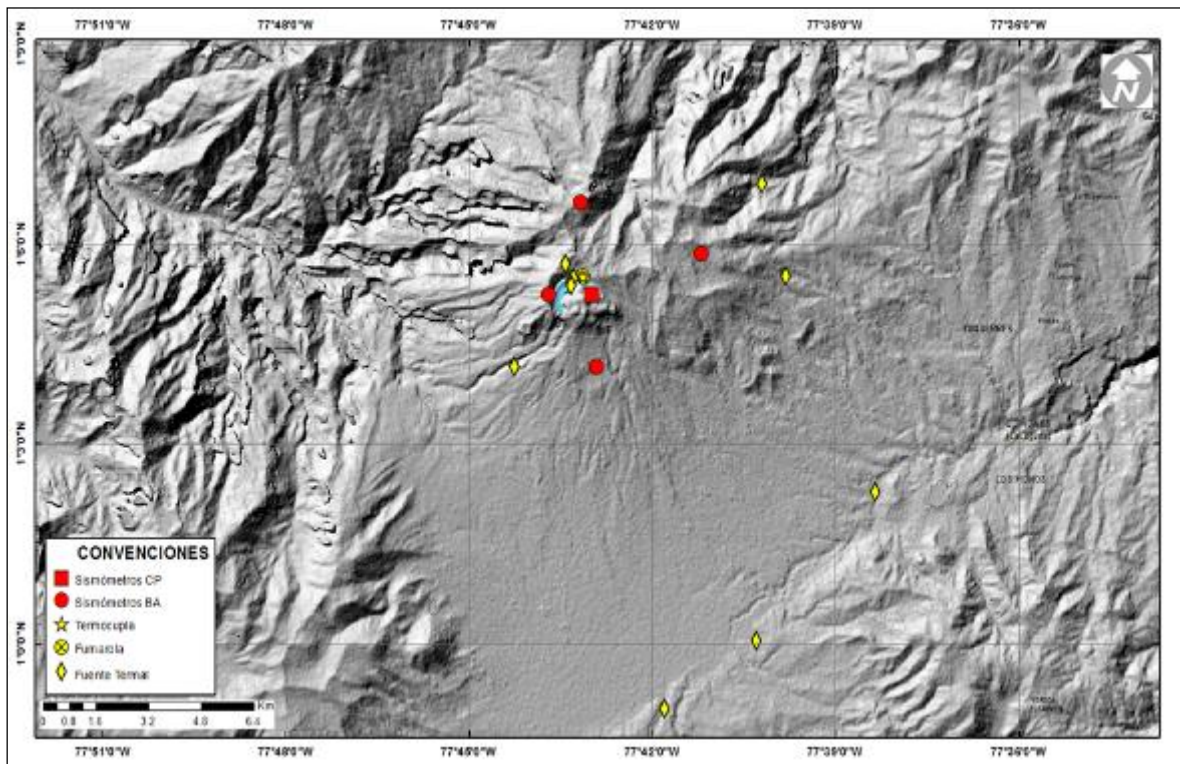


Figura 98. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2016.

Tabla 23. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante mayo de 2016.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a la Laguna (Km)	Ubicación Respecto a la Laguna	Altitud (msnm)
La Roca	Analógica	Sismómetro Corto período	Triaxial	1.2	E	4025
Chaitán	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	4.3	ENE	3730
Laguna	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	0.5	SW	3921
Lobo	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2.4	SE	3569
Ventana	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2.5	NE	3981
La Roca	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	1.2	E	4025
Chaitán	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	4.3	ENE	3730
Mallama	Digital	Termocupla		0.5	NE	3805

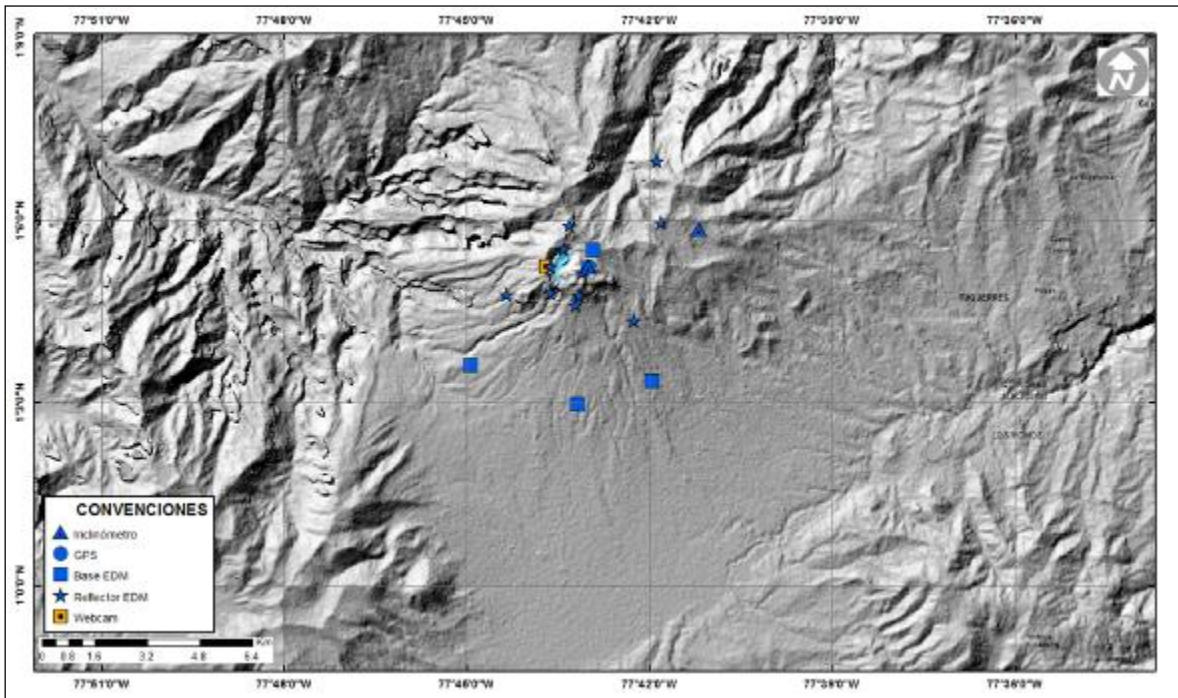


Figura 99. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2016.

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 91,7% para este mes (Figura 100).

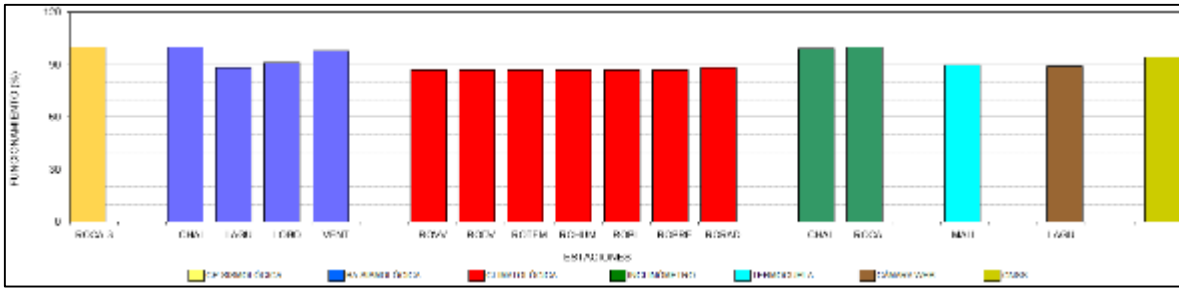


Figura 100. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2016.

4.3.2. Sismología

Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán en mayo de 2016 disminuyó en un 81,3% en comparación a la registrada en abril de 2016, registrándose 9 eventos tipo VT (Figura 101, Tabla 24). De estos eventos se localizaron 8, los cuales se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, con distancias epicentrales entre 1 y 13 km respecto al centro de la Laguna cratérica y profundidades de hasta 16 km respecto a la cima (4070 msnm). La magnitud local fue menor de 1.7 en la escala de Richter, 5 eventos presentaron magnitudes menores a 1 (Figura 102).

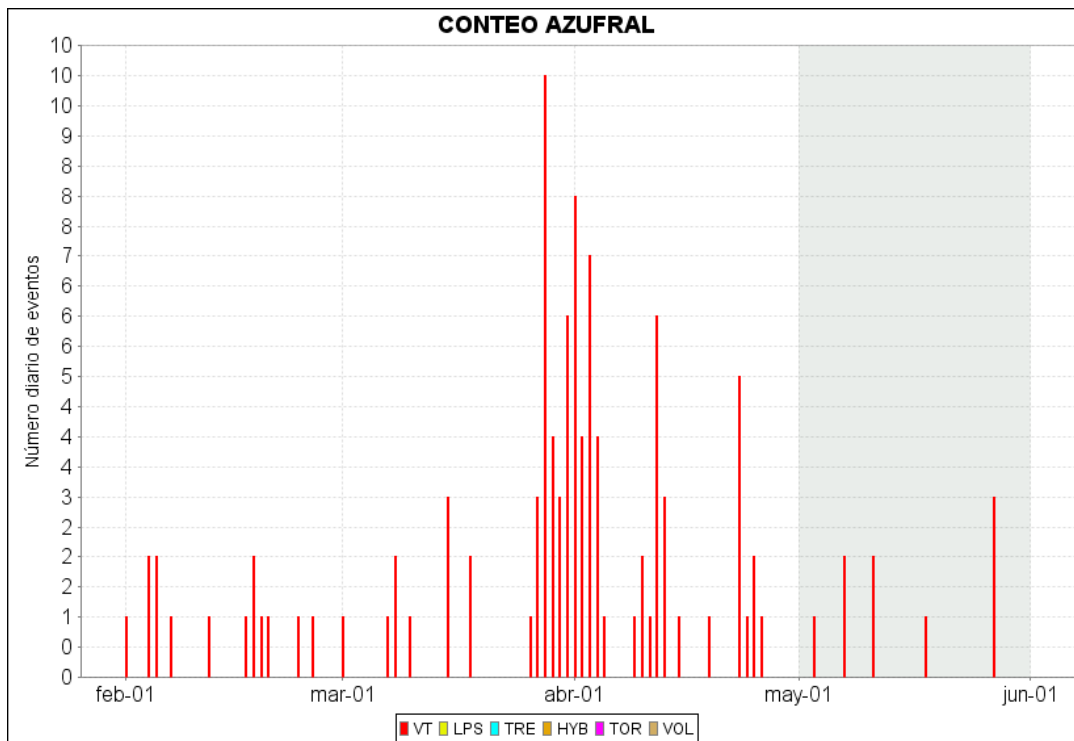


Figura 101. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016.

Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2016. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-feb-16 a 29-feb-16	14	0	0	0	14
01-mar-16 a 31-mar-16	37	0	0	0	37
01-abr-16 a 30-abr-16	48	0	0	0	48
01-may-16 a 31-may-16	9	0	0	0	9

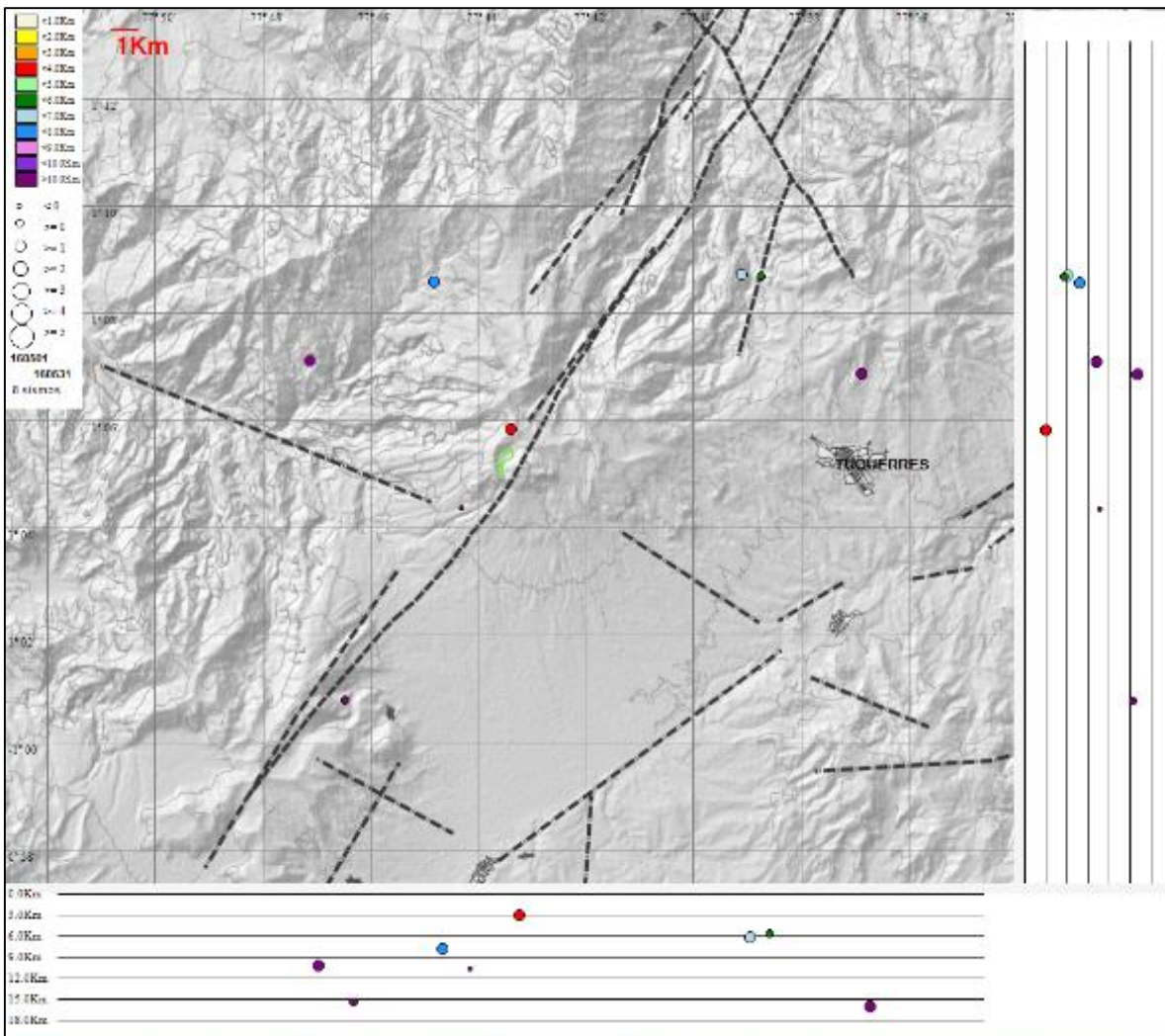


Figura 102. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de mayo de 2016, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.3.3. Deformación

4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Para el periodo evaluado, se observa estabilidad en los registros de las componentes de inclinación de Chaitán, con variaciones que están dentro del nivel de ruido del mismo (Figuras 103). En el inclinómetro La Roca las dos componentes muestran tendencias descendentes, acumulando hasta el 31 de mayo de 2016, 20 μrad y 100 μrad , para la componente Norte y Este respectivamente (Figuras 104).

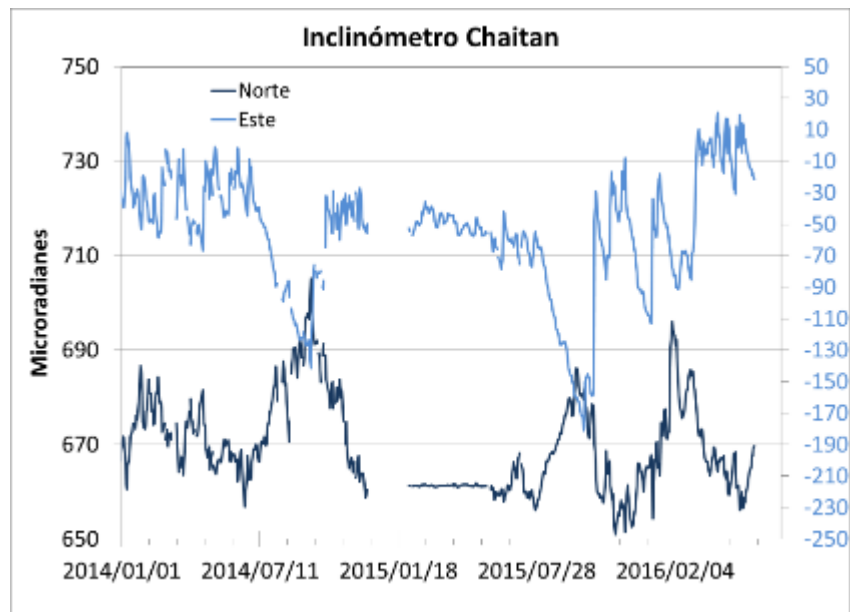


Figura 103. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de mayo de 2016.

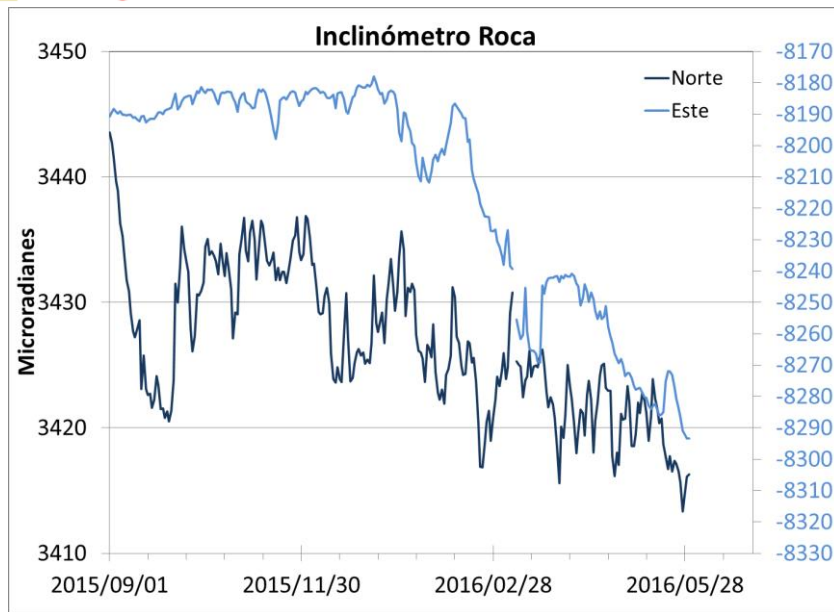


Figura 104. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2015 y el 31 de mayo de 2016.

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

En mayo de 2016 no se realizaron medidas de EDM.



4.3.4. Geoquímica

4.3.4.1. Muestreo de aguas en fuentes termales en el volcán Azufral

El volcán Azufral cuenta con una red actual de monitoreo de 9 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Salado de Malaver (A), FT La Cabaña (B), FT Quebrada Blanca (C), FT San Ramón (D), FT Arrayán Salado (E), FT Tutachag (F), FT Laguna Verde N°1 (G), FT Laguna Verde N°2 (H), Laguna Verde N°3 (I), Laguna Verde N°4 (J) (Figura 98, Tabla 25).

Se realiza una salida de campo el día 19 de mayo de 2016 para realizar el muestreo geoquímico de la zona afectada por salida de material. Se muestrea las FT N° 1 y 4 dentro de las actividades del trabajo de campo.

Tabla 25. Ubicación geográfica fuentes termales del área de influencia del volcán Azufral.

FUENTE TEMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
LAGUNA VERDE 1		1.09139°	77.72163°	3782
LAGUNA VERDE 4		1.09157°	77.72290°	3788

En la figura 105 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de mayo de 2016 para las FT de la zona de influencia del volcán Azufral. 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.

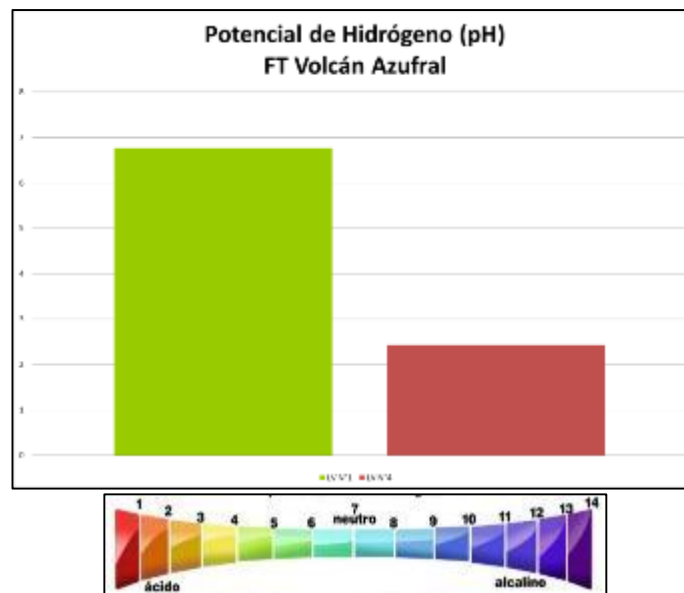


Figura 105. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Azufral mayo 2016.

Las fuentes termales LV N°1 y LV N°4 del volcán Azufral presentan durante el mes de mayo potenciales de Hidrógeno (pH) de 2.4 (ácida) y 6.8 (Neutra).

En las figuras 106, 107, 108 y 109 se puede observar las variaciones de temperatura y conductividad eléctrica, pH y concentración del ión bicarbonato en el tiempo respecto a meses anteriores, correspondientes a las FT muestreadas de la zona de influencia del volcán Azufral registradas en trabajo de campo durante el mes de mayo.

Para el caso de la temperatura (Figura 106) se observa estabilidad relativa en los manantiales termales, en cuanto a la conductividad (Figura 107) no se observan variaciones en la FT LV N°1, no fue posible tomar este dato para la FT LV N°4.

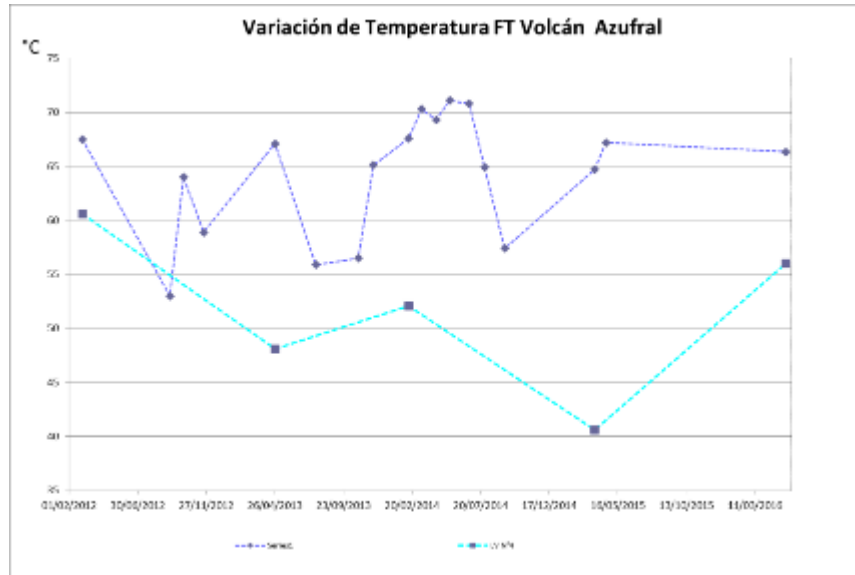


Figura 106. Variación de temperatura de las FT de Volcán Azufral – mayo 2016.

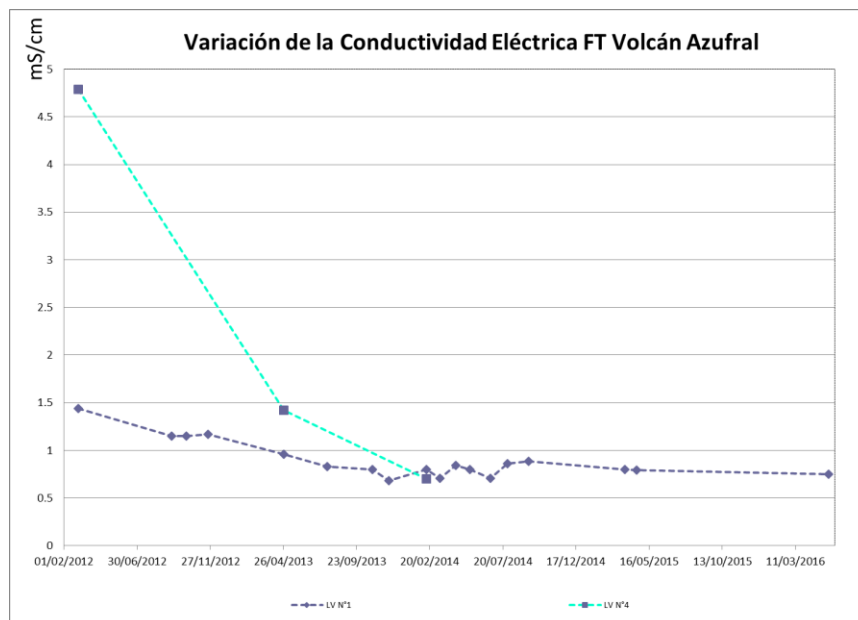


Figura 107. Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Azufral – mayo 2016.

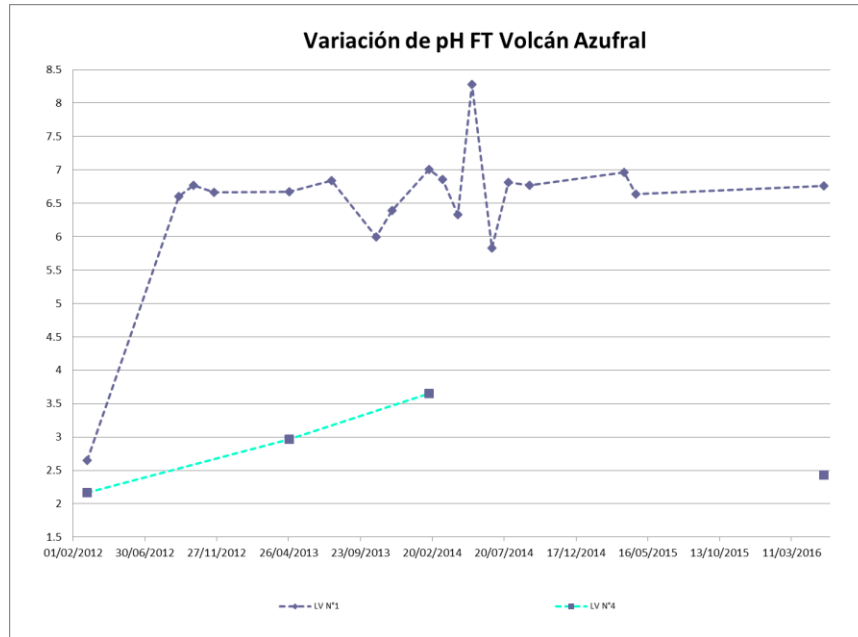


Figura 108. Variación del pH en las FT de Volcán Azufra – Mayo 2016

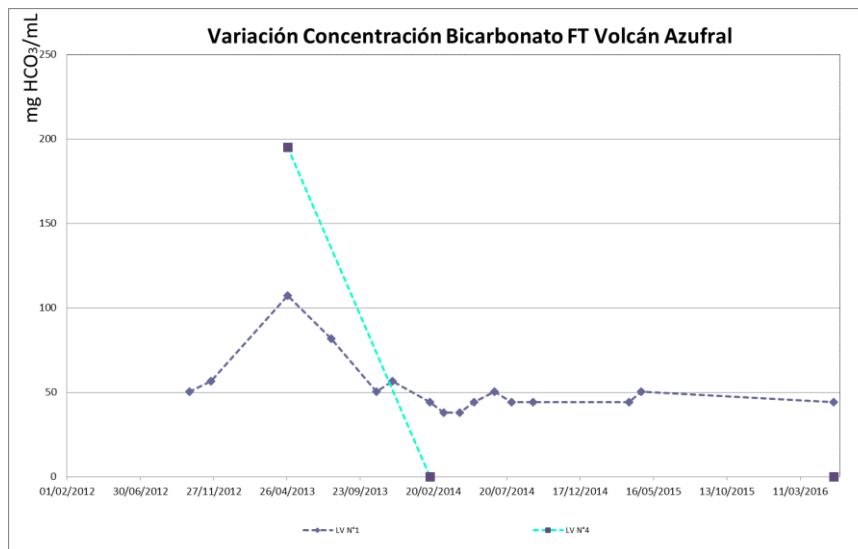


Figura 109. Variación en la concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Azufra – Mayo 2016.

Los manantiales de Azufra aquí registrados se clasifican como termales (tabla 13), de acuerdo a su temperatura.

Respecto a la variación de pH y la concentración del ión bicarbonato. Para la FT LVN°1, no se observan cambios importantes pero si estabilidad en el sistema. Mientras que para la FT LVN°4 no fue posible determinar la concentración de bicarbonato por contaminación del agua de la laguna.

- **Fuente termal LV N°1**

Temperatura superficial: 66.3°C -Temperatura registrada en mayo de 2016 con termómetro digital).

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. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 0.8 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de pocas sales solubles en el medio.

- **Fuente termal LV N°4**

Temperatura superficial: 56.0°C -Temperatura registrada en mayo de 2016 con termómetro digital).

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. No fue posible realizar medida de conductividad eléctrica por la mezcla con el agua fría de la Laguna Verde.

4.3.5. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del mes, permitieron a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura y en poca cantidad provenientes principalmente del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde.

La actividad del volcán Azufral se caracterizó por la ocurrencia de un proceso eruptivo que muy probablemente es de origen hidrotermal, en una zona de alteración pre-existente, hacia el sector nororiente de la Laguna Verde, en el sitio llamado La Playa, fenómeno que produjo agrietamientos y diversos colapsos a través de los cuales emitió material fluido caliente, que dejó un depósito de 10x6 m aproximadamente. Salida de material que ya se ha evidenciado en esta zona, la primera vez en julio de 2009, posteriormente y en menor cuantía en agosto de 2010 y ahora para mayo de 2016.

A continuación se anexan las imágenes de la salida de material registrada el 10 de mayo de 2016 por la cámara web situada en el volcán Azufral y las imágenes durante el trabajo de campo realizado el 19 de mayo de 2016. La salida de material corresponde a Azufre elemental, producto de actividad hidrotermal del volcán. El material encontrado se ubicó en el sector oeste de la Laguna Verde en la zona denominada como la “La Playita”.

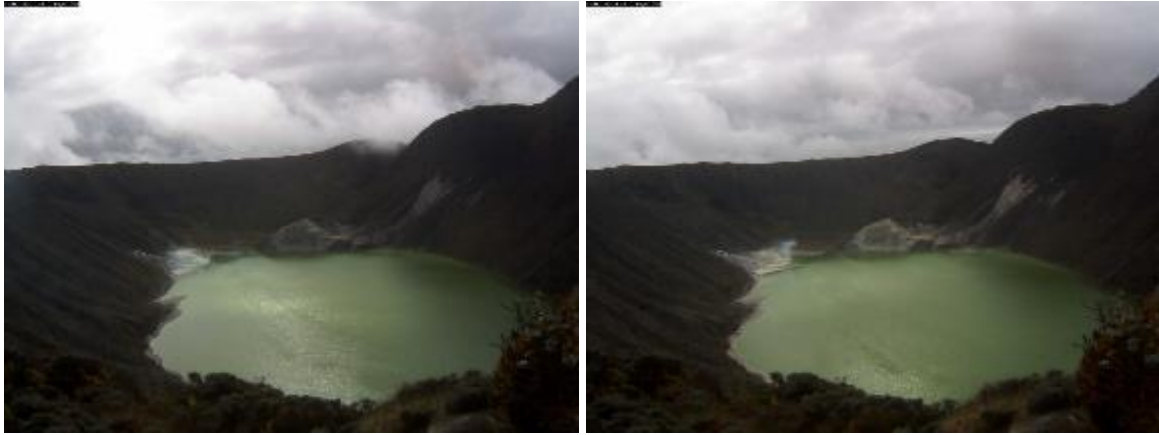


Figura 110. Imágenes registradas por la cámara web ubicada en el sector sur de la Laguna Verde del volcán Azufral.



Figura 111. Imágenes registradas el día 19 de mayo de 2016 sobre salida de material del 10 de mayo de 2016.

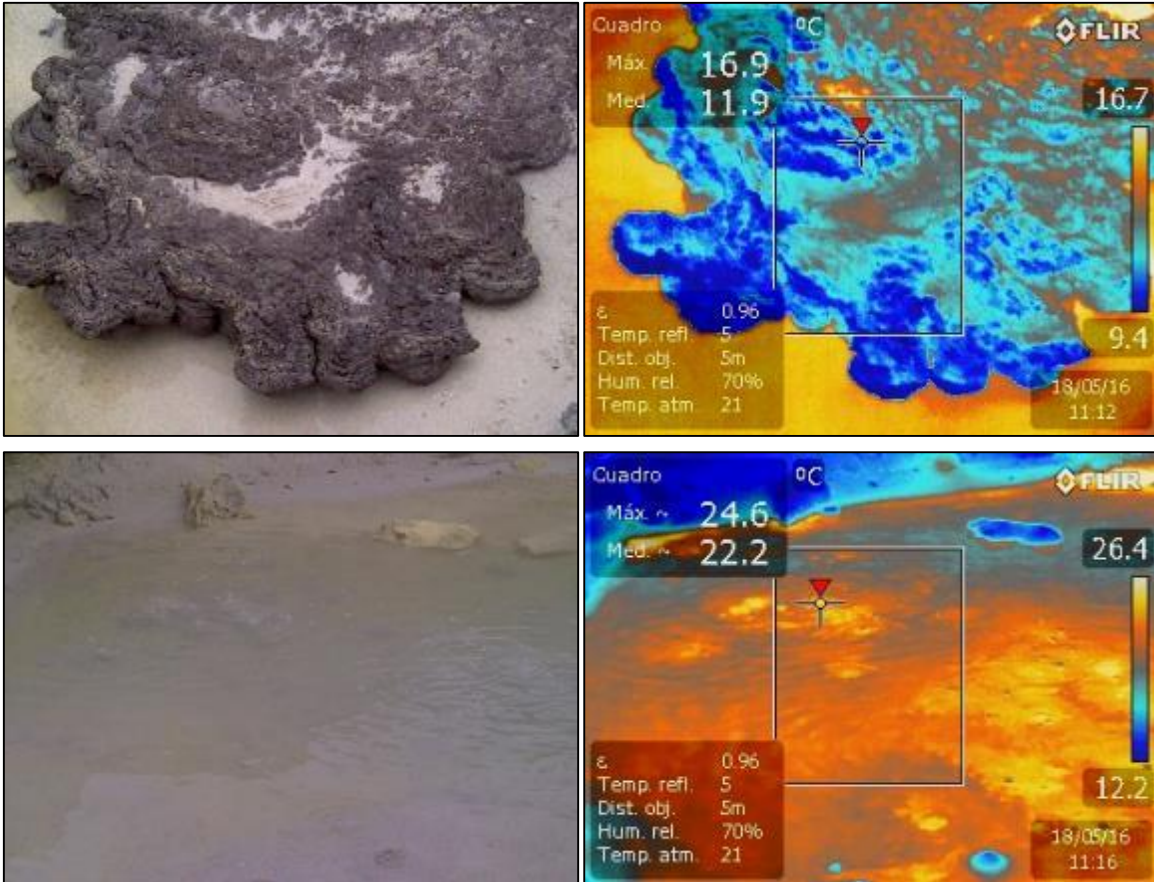


Figura 112. Imágenes térmicas salida de material.

4.3.6. Conclusión

- La evaluación de la actividad volcánica de Azufral durante mayo de 2016 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): "Volcán activo y comportamiento estable"**.