

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/2014
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Mayo de 2014.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
Identificador	En proceso de definición	
Descripción	Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados	Presentación de resultados y análisis de los datos obtenidos del monitoreo continuo a la actividad del volcán Galeras en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Presentación de datos obtenidos del monitoreo continuo de la actividad de los volcanes Doña Juana, Cumbal y Azufral. 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 2014
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km ²	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán 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.
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	<p>Descriptor primarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> -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	<ul style="list-style-type: none"> - 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: \\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_yecnicos_mensuales\2014\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 y Azufral para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos. Se establece el monitoreo permanente de la actividad de los volcanes Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, para establecer una línea base, tendiente a un mayor conocimiento de los mismos.
Distribución		
Distribuidor		
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa, imagen satelital, informe técnico	Informe Técnico
Proceso estándar de pedido		
Productos impresos	Identificación que tipo de producto impreso. Ej. mapa impreso a color	No aplica.
Forma digital		

Formato	Nombre, versión del formato. Ejm: PDF.- Si no se encuentra en forma digital se escribe "No disponible"	El informe se encuentra en formato DOC y PDF
Opción de transferencia digital		
Dirección en línea	Dirección electrónica donde se puede obtener el conjunto de datos	http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2014.aspx
Medio digital/Ubicación	Opciones del medio digital en el cual puede ser entregado el conjunto de datos y su ubicación física. Disquete de 3-1/2; CD-ROM	CDROM
Contacto		
Organización	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano.
Cargo/persona	Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos	John Makario Londoño, 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 2014**

Edición:

GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO

San Juan de Pasto, junio de 2014

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	11
	INTRODUCCION	14
1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – MAYO DE 2014	15
1.1.	RED DE VIGILANCIA	15
1.2.	SISMOLOGÍA	21
1.3.	DEFORMACIÓN	27
1.3.1.	Estaciones de Inclínometría Electrónica	27
1.3.2.	Estaciones GNSS permanentes	31
1.4.	ELECTROMAGNETISMO	35
1.5.	GEOQUÍMICA	40
1.5.1.	Mediciones de flujo de emisión de SO ₂ con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS	40
1.5.2.	Mediciones del isótopo de gas Radón 222 – (Rn ₂₂₂)	41
1.5.3.	Trampa alcalina-volcán Galeras	46
1.5.4.	Muestreo de aguas en fuentes termales.	49
1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	54
1.7.	CONCLUSIONES	57
2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MAYO DE 2014	59
2.1.	RED DE VIGILANCIA	59
2.1.	SISMOLOGÍA	60
2.1.	DEFORMACIÓN	66
2.1.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	69
2.1.	CONCLUSIONES	70
3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – MAYO DE 2014	71
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	71
3.2.	RED DE VIGILANCIA	71
3.3.	SISMOLOGÍA	73
3.4.	DEFORMACIÓN	75
3.5.	GEOQUÍMICA	77
3.5.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales - Volcán Chiles	77
3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	84
3.7.	CONCLUSIÓN	84
4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MAYO DE 2014	85
4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	86
4.1.1.	Ubicación Geográfica	86
4.1.2.	Red de Vigilancia	86
4.1.3.	Sismología	88
4.1.4.	Deformación	89
4.1.5.	Actividad Superficial	91
4.1.6.	Conclusión	91
4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	92
4.2.1.	Red de vigilancia	92
4.2.2.	Sismología	93
4.2.3.	Deformación	95
4.2.4.	Actividad Superficial	96
4.2.5.	Conclusiones	96

4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL		97
4.3.1.	Red de vigilancia		97
4.3.2.	Sismología		99
4.3.3.	Deformación		101
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica		101
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.		102
4.3.4.	Geoquímica		102
4.3.4.1.	Muestreo de aguas en Fuentes Termales		102
4.3.5.	Actividad Superficial		113
4.3.6.	Conclusiones		114

FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante mayo de 2014.	16
Figura 2.	Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de mayo de 2014.	17
Figura 3.	Localización y orientación de las estaciones de inclinometría electrónica instaladas en Galeras. Los catetos de los triángulos muestran las direcciones de las componentes de cada sensor.	18
Figura 4.	Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, detectores de flujos de lodos, ScanDOAS, climática y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante mayo de 2014.	19
Figura 5.	Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.	20
Figura 6.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en mayo de 2014.	21
Figura 7.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de febrero y mayo de 2014.	22
Figura 8.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.	23
Figura 9.	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).	23
Figura 10.	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 2014.	24
Figura 11.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para mayo de 2014 (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).	25
Figura 12.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde febrero a mayo de 2014.	25
Figura 13.	Sismograma en la estación sísmica Anganoy del enjambre de eventos sísmicos registrado entre el 26 y 27 de mayo de 2014.	26
Figura 14.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de mayo de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).	27
Figura 15.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	28
Figura 16.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	28
Figura 17.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	29
Figura 18.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	29
Figura 19.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31	30

	de mayo de 2014.	
Figura 20.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	30
Figura 21.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Cóndor para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	31
Figura 22.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	31
Figura 23.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de mayo de 2014.	32
Figura 24.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2013 y el 31 de mayo de 2014.	33
Figura 25.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre agosto de 2013 y el 31 de mayo de 2014.	33
Figura 26.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre febrero de 2013 y el 31 de mayo de 2014.	34
Figura 27.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el mes de mayo de 2014.	34
Figura 28.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el mes de mayo de 2014.	35
Figura 29.	Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, y de los puntos de potencial espontáneo que conforman la red de vigilancia del volcán Galeras en mayo de 2014.	36
Figura 30.	Comportamiento de las variaciones periódicas de SP, en las estaciones La Y (componente NS-roja, componente EW-verde) y, Peladitos (componente NS-azul, componente EW-amarilla).	37
Figura 31.	Comportamiento de las variaciones periódicas de SP, en las estaciones La Urcunina (componente NS-verde, componente EW-amarilla) y, Lavas (componente NS-azul, componente EW-roja).	37
Figura 32.	Comportamiento del monitoreo continuo de las variaciones SP en la estación de Frailejón. La línea azul corresponde a la componente NS y la roja a la componente EW.	38
Figura 33.	Comportamiento del monitoreo continuo de las variaciones SP en la estación de Barranco. La línea azul corresponde a la componente NS y la roja a la componente EW.	38
Figura 34.	Variaciones de campo magnético en la estación de monitoreo continuo de Frailejón. La línea azul corresponde a la componente vertical, la roja a la NS y la café a la EW.	39
Figura 35.	Variaciones de campo magnético en la estación de monitoreo continuo de Barranco. La línea azul corresponde a la componente vertical, la roja a la NS y la café a la EW.	39
Figura 36.	Variaciones de campo magnético en la estación de monitoreo continuo de Cráter. La línea azul corresponde a la componente vertical, la roja a la NS y la café a la EW.	39
Figura 37.	Flujo de emisión de SO_2 registrado entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014 por los equipos ScanDOAS y MobileDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	41
Figura 38.	Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre enero y mayo de 2014.	41
Figura 39.	Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Barranco para el periodo comprendido entre los meses de febrero y mayo de 2014.	42
Figura 40.	Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Galeras para el periodo comprendido entre los meses de febrero y mayo de 2014.	43
Figura 41.	Flujo de SO_2 , eventos sísmico tipo VT y el flujo de radón noviembre 2013 a mayo 2014.	46
Figura 42.	Mapa de localización estaciones trampa alcalina volcán Galeras	47
Figura 43.	Toma de muestras- estaciones Trampa Alcalina-Cima volcán Galeras mayo de 2014.	48
Figura 44.	Azufre y cloruro de hidrógeno total- estación Trampa Alcalina Base Militar-Cima volcán Galeras.	48

Figura 45.	Dióxido de carbono- estación Trampa Alcalina Base Militar-Cima volcán Galeras.	49
Figura 46.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.	49
Figura 47.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras en mayo de 2014.	51
Figura 48.	Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - mayo 2014.	51
Figura 49.	Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - mayo 2014.	52
Figura 50.	Variación del pH de las FT de Volcán Galeras - mayo 2014.	53
Figura 51.	Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras - mayo 2014.	54
Figura 52.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco (Izquierda) y Bruma (Derecha) el 1 de mayo de 2014 a las 6:10 a.m. y a las 7:43 a.m. respectivamente.	55
Figura 53.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma (Izquierda) y Barranco (Derecha) el 5 de mayo de 2014 a las 9:10 a.m. y a las 9:40 a.m. respectivamente.	55
Figura 54.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámara web ubicadas en Barranco el 15 de mayo de 2014 a las 5:02 p.m.	56
Figura 55.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Izquierda) y Consacá (Derecha) el 17 de mayo de 2014 a las 7:40 a.m.	56
Figura 56.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda), OVSP (Centro) y Barranco (Derecha) el 21 de mayo de 2014 a las 8:56 a.m., 5:09 p.m. y a las 6:24 p.m. respectivamente.	56
Figura 57.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en la sede del OVSP (Izquierda) y desde Consacá (Derecha) el 22 de mayo de 2014 a las 2:14 p.m. y 2:45 p.m. respectivamente.	57
Figura 58.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Consacá el 16 de mayo a las 6:31 a.m.	57
Figura 59.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de mayo de 2014.	59
Figura 60.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en mayo de 2014.	60
Figura 61.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre febrero de 2014 y mayo de 2014. En la figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	61
Figura 62.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.	61
Figura 63.	Energía sísmica diaria liberada en términos de su raíz cuadrada para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal por los eventos volcánicos según su tipo registrados entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.	62
Figura 64.	Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 24 de mayo de 2014 a las 10:41 p.m.	63
Figura 65.	Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de mayo de 2014.	63
Figura 66.	Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de mayo de 2014.	64
Figura 67.	Sismograma de la estación La Mesa del enjambre de eventos sísmicos registrados entre las 3:00 a.m. y 6:00 a.m. del 28 de mayo de 2014.	65
Figura 68.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de mayo de 2014. 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).	66
Figura 69.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	67
Figura 70.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo	67

	comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	
Figura 71.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	68
Figura 72.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	68
Figura 73.	Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 13 y 17 de mayo a las 5:55 a.m. y a las 6:06 p.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	69
Figura 74.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 22 de mayo a las 6:20 a.m. (Izquierda) y a las 7:00 a.m. (Derecha), desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	69
Figura 75.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	71
Figura 76.	Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.	72
Figura 77.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante mayo de 2014.	72
Figura 78.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.	73
Figura 79.	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 2014, 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.	74
Figura 80.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura reportados como sentidos, en el mes de mayo de 2014, 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.	75
Figura 81.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre enero y mayo de 2014.	76
Figura 82.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre enero y mayo de 2014.	76
Figura 83.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y mayo de 2014.	77
Figura 84.	Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles.	77
Figura 85.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Chiles - mayo 2014.	79
Figura 86.	FT Baño Grande: Rango (23.8°C-40.4°C), con un máximo de 41.6°C.	79
Figura 87.	FT Baño Grande: Rango (27.6°C-43.9°C), con un máximo de 44.3°C.	80
Figura 88.	FT Aguas Hediondas: Rango (32.2°C-58.2°C), con un máximo de 58.7°C.	80
Figura 89.	Sector Lagunas Verdes fuente de agua: Rango (10.2°C-14.9°C), con un máximo de 15.6°C.	80
Figura 90.	FT Río Blanco: Rango (15.9°C-20.2°C), con un máximo de 58.7°C.	81
Figura 91.	Variación de temperatura en las FT de Volcán Chiles - mayo 2014.	82
Figura 92.	Variación del pH en las FT de Volcán Chiles - mayo 2014.	82
Figura 93.	Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Chiles - mayo 2014.	83
Figura 94.	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.	85
Figura 95.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	86
Figura 96.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de mayo de 2014. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas.	87

Figura 97.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante mayo de 2014.	88
Figura 98.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas de estaciones de la red de monitoreo de Las Ánimas, en el mes de mayo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	89
Figura 99.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 mayo de 2014.	90
Figura 100.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	90
Figura 101.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.	92
Figura 102.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de mayo de 2014.	93
Figura 103.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Doña Juana entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.	94
Figura 104.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas estaciones de la red de monitoreo de Doña Juana, en el mes de mayo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km. de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	94
Figura 105.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	95
Figura 106.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	96
Figura 107.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2014.	98
Figura 108.	Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Azufral. Los triángulos de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2, 3 y 4, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.	98
Figura 109.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2014.	99
Figura 110.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.	100
Figura 111.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas de estaciones de la red de monitoreo de Azufral, en el mes de mayo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	100
Figura 112.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	101
Figura 113.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.	102
Figura 114.	Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	103
Figura 115.	Variación de temperatura del campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Mayo 2014.	103
Figura 116.	Registro de flujo de CO ₂ difuso en suelo en el campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Mayo 2014.	104
Figura 117.	Mapa del recorrido para el muestreo de flujo de CO ₂ difuso en suelo en el campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Mayo 2014.	105

Figura 118.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	106
Figura 119.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Azufral - mayo 2014.	107
Figura 120.	Variación del pH en las FT del Volcán Azufral – Mayo 2014.	107
Figura 121.	Variación de la temperatura en las FT del Volcán Azufral - Mayo 2014.	108
Figura 122.	Variación en la concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Azufral - Mayo 2014.	108
Figura 123.	Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Azufral - Mayo 2014.	109
Figura 124.	Imagen térmica de la fuente termal LV N° 1 del Volcán Azufral.	110
Figura 125.	Imagen térmica de la fuente termal LV N° 3 del Volcán Azufral.	110
Figura 126.	Imagen térmica de la fuente termal San ramón del Volcán Azufral.	111
Figura 127.	Imagen térmica de la fuente termal La Cabaña del Volcán Azufral.	111
Figura 128.	Imagen térmica de la fuente termal Salado de Malaver del Volcán Azufral.	112
Figura 129.	Imagen térmica de la fuente termal Quebrada Blanca del Volcán Azufral.	112
Figura 130.	Imagen térmica de la fuente termal Arrayán Salado 1 del Volcán Azufral.	113
Figura 131.	Imagen térmica de la fuente termal Tutachag del Volcán Azufral.	113
Figura 132.	Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 3 de mayo a las 3:32 p.m. (Izquierda) y el 5 de mayo a las 1:52 p.m. (Derecha).	114
Figura 133.	Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 13 de mayo a las 12:12 p.m. (Izquierda) y el 30 de mayo a las 12:07 p.m.	114

TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y de sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras durante mayo de 2014.	17
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante mayo de 2014.	18
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de mayo de 2014.	18
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en mayo de 2014.	19
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	19
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).	20
Tabla 7.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas en el sector denominado Barranco (Línea Barranco).	21
Tabla 8.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	22
Tabla 9.	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 2014 resaltando en color verde el mes evaluado.	24
Tabla 10.	Emisiones de SO ₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de mayo de 2014, por las estaciones ScanDOAS y MobileDOAS (Proyecto NOVAC).	40
Tabla 11.	Flujo del isótopo Rn ²²² en suelo en las estaciones de la línea Barranco en mayo de 2014.	44
Tabla 12.	Flujo del isótopo Rn ²²² en suelo en las estaciones de la línea Galeras en mayo de 2014.	45
Tabla 13.	Ubicación geográfica estaciones Trampa Alcalina en Volcán Galeras.	47
Tabla 14.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras – Mayo de 2014.	50
Tabla 15.	Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Galeras.	50
Tabla 16.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	52
Tabla 17.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante mayo de 2014.	60
Tabla 18.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo (resaltado en color verde) de 2014.	60
Tabla 19.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal, entre el 1 de febrero de 2014 y el 31 de mayo (resaltado en color verde) de 2014.	62
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante mayo de 2014.	72
Tabla 21.	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 2014.	73
Tabla 22.	Ubicación geográfica de las fuentes termales del área de influencia del volcán Chiles.	78
Tabla 23.	Datos fisicoquímicos FT Aguas Hediondas 1996-2014.	81
Tabla 24.	Datos fisicoquímicos FT Baño Grande 1996-2014.	81
Tabla 25.	Datos fisicoquímicos Fuente de agua Lagunas Verdes-2014.	83

Tabla 26.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en mayo de 2014.	87
Tabla 27	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014. Resaltado en verde el mes objeto de evaluación.	88
Tabla 28.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en mayo de 2014.	93
Tabla 29.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014, donde el último mes objeto de evaluación es resaltado en color verde para el volcán Doña Juana.	93
Tabla 30.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante mayo de 2014.	98
Tabla 31.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014. Resaltado en verde se tiene el último mes objeto de evaluación.	99
Tabla 32.	Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Azufral.	106

RESUMEN

Durante el mes de mayo de 2014, la actividad sísmica en el volcán Galeras presentó un aumento en la ocurrencia, mientras que la energía sísmica liberada disminuyó respecto a los valores registrados en abril de 2014. Los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente (eventos tipo tremor, TRE) fueron los que aportaron el mayor número y la mayor fracción de energía liberada. Algunos de los sismos TRE estuvieron asociados con procesos de emisión de gases que fueron observados desde diversos sectores de la zona de influencia del volcán.

Respecto a la localización de sismos relacionados con fracturamiento de roca, o Volcano-tectónicos (VT) e (HYB), algunos se ubicaron en inmediaciones del cráter principal a profundidades superficiales (menores a 1 km respecto a la cima volcánica). Varios de los eventos se localizaron hacia el sector Noreste de Galeras, a distancias mayores a 1,5 km y menores a 1 km respecto al cono y profundidades entre los 4 y 8 km respecto a la cima. Otros de los eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a distancias menores a los 17 km y profundidades menores a los 15 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 1,8 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, el inclinómetro Calabozo muestra variaciones que pueden estar asociadas con la actividad de Galeras, sin embargo los demás inclinómetros muestran estabilidad en sus componentes. En cuanto a la actividad superficial con base en la información que aportan las imágenes capturadas del cráter activo y reportes por personal del OVSP, fue posible evidenciar emisiones de gases durante todo el mes, exceptuando los días 7 y 26 de mayo, 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 menores a 1 km sobre sus centros de emisión.

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

Con relación al monitoreo del Complejo volcánico de Cumbal, la evaluación de los registros sísmicos en la estaciones instaladas en este volcán muestran que la mayoría de eventos ocurridos se asocian con movimiento de fluidos de fuente transitoria (eventos tipo LPS) en el interior de la estructura volcánica. Comparando la actividad sísmica del periodo evaluado con la del mes anterior, se observó un aumento del 60%.

La energía sísmica liberada aumentó en un 3,1% en comparación al mes anterior, siendo los eventos tipo LPS los que aportaron la mayor energía.

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 77 sismos, la mayoría se localizaron en inmediaciones del complejo volcánico Cumbal a menos de 1 km de distancia y profundidades menores a 1,5 km. Otros sismos se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio

volcánico a distancias menores de 16 km respecto al centro del complejo y a profundidades de hasta 8 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 2,7 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, mostró un incremento del 11,7% respecto a la registrada en abril, todos ellos asociados con fractura de material cortical. De esta sismicidad fue posible localizar 1250 eventos, ubicados en su mayoría entre 1 y 6 km de distancia al suroccidente del volcán Chiles, con profundidades de hasta 6 km respecto a la cima volcánica. Algunos eventos se ubicaron de manera dispersa hacia el suroriente del edificio volcánico, a distancias de hasta 8,5 km, con profundidades menores a los 8 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 4,4 en la escala de Richter. Se resalta que 18 de estos eventos fueron reportados como sentidos por habitantes de los Resguardos de Chiles, Mayasquer y Panán en el lado Colombiano.

Adicionalmente, cabe mencionar que desde el mes de diciembre de 2013 se viene registrando un cambio importante en la deformación cortical del edificio del volcán Cerro Negro.

Se resalta que en este mes, se dio inicio a l muestreo de algunas fuentes termales ubicadas en zona de influencia del volcán Chiles en las cuales se evidenciaron cambios importantes en su composición Físicoquímica en comparación con algunos datos históricos encontrados.

La evaluación del proceso volcánico de Chiles y Cerro Negro durante el mes de mayo de 2014 permitió mantener el nivel de actividad en **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

En el volcán Las Ánimas se tuvo un incremento considerable en la ocurrencia de eventos tipo VT, contabilizándose 22 sismos, la mayoría de ellos se ubicaron a 6,2 al suroccidente del volcán Las Ánimas, a 3,5 km de profundidad respecto a la cima volcánica y magnitudes locales por debajo de 1,4 en la escala de Richter.

En el volcán Doña Juana se registró un evento tipo VT, localizado al sur, a 17 km de distancia respecto a los domos del volcán con profundidad de 8 km respecto a la cima y magnitud de 0,6 en la escala de Richter.

Para el volcán Azufral, aunque en bajo número, predominó la sismicidad asociada con procesos de fractura de material cortical, tipo VT, los cuales se localizaron de manera dispersa en la zona de influencia del volcán Azufral, con profundidades entre 1 y 10 km respecto a la cima volcánica y hasta 17 km de distancia respecto al centro de la laguna cratérica. Las magnitudes estuvieron por debajo de 1,5 en la escala de Richter.

Condiciones de clima favorables durante gran parte del mes, permitieron evidenciar a través de la cámara instalada en el costado suroccidental de la cima volcánica, emisiones de gas de color blanco de baja altura, provenientes principalmente de uno de los domos ubicados al nororiente de la Laguna Verde.

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

INTRODUCCION

Durante el mes de mayo de 2014, 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, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro mediante el monitoreo en forma continua 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 2014

1.1. RED DE VIGILANCIA

En mayo de 2014 la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Catorce estaciones sísmicas telemétricas: ocho de corto periodo (cinco triaxiales y tres de componente vertical) y seis de banda ancha triaxiales (Figura 1, Tabla 1), la última de ellas instalada el 29 de mayo a 10,5 km al costado NE respecto al cráter de Galeras y denominada “San Juan”.
- Tres sensores de presión acústicos, uno ubicado en el sector occidental en el sitio de la estación sísmica de corto periodo Calabozo, otro en el sitio de la estación sísmica de banda ancha Cráter-2 y el último ubicado en el sitio de la estación sísmica Cóndor (Figura 1, Tabla 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figuras 2 y 3, Tabla 2)
- Seis estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, ubicadas 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 sísmológica Ingenio y el último instalado en el sector nororiente de Galeras (Figura 2, Tabla 3).
- Tres estaciones de detección de emisiones de dióxido de azufre (SO₂) con transmisión telemétrica localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 4, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de la variación del campo Magnético, la estación EM-Frailejón que posee también un sistema de medición de variación del campo Eléctrico, la Estación EM-Barranco también con sistema de medición de variación de campo Eléctrico, y la estación de campo Magnético Cráter (Figura 4, Tabla 5).
- Cuatro cámaras de video permanentes para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, otra en el municipio de Consacá, otra instalada en el flanco norte de la cima de Galeras, en el sitio denominado Barranco Alto y la última Bruma, hacia el sector suroccidental del cono (Figura 4).
- Dos estaciones para monitoreo constante de flujos de lodos, con transmisión telemétrica, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo (Figura 4).
- Un anemómetro telemétrico, para medición de la velocidad y dirección del viento, emplazado en el sitio de la estación sísmica Cráter-2 (Figura 4).
- Veinte estaciones para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón (Rn-222) proveniente del suelo, distribuidas en dos líneas, una hacia el sector oriental del volcán, por la vía de acceso a la cima del volcán y la segunda hacia el sector norte del volcán (Figura 5, Tablas 6 y 7).

Durante mayo de 2014, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 95,5 %, garantizando la obtención de información confiable para la evaluación de la actividad volcánica. La Figura 6, muestra el histograma con el porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo volcánico. La estación de monitoreo de flujo de SO₂ Alto Tinajillas se encuentra fuera de funcionamiento debido a problemas en el funcionamiento del radio transmisor. Por su parte la estación sismológica Ingenio presentó un bajo porcentaje de funcionamiento debido a problemas en el radioenlace, los cuales se deben solucionar directamente en campo.

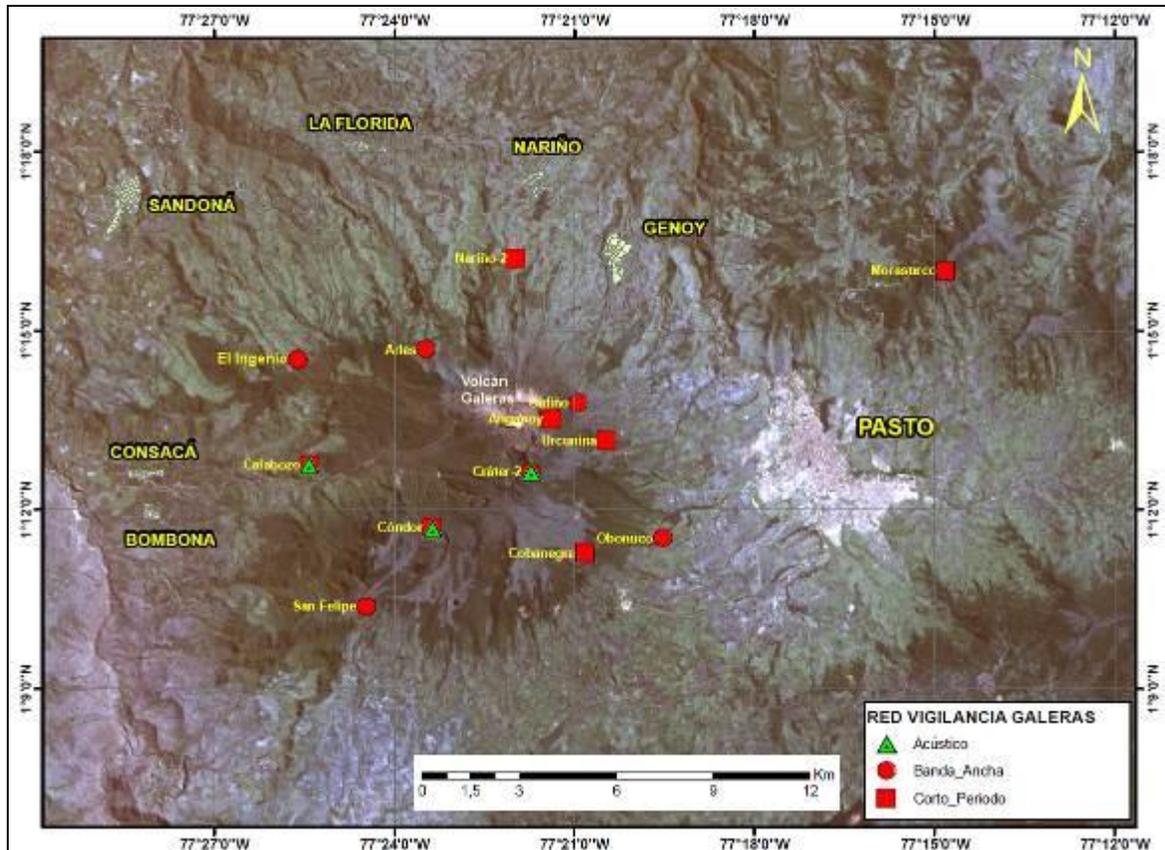


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante mayo de 2014.

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras durante mayo de 2014.

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	ANGV	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Vertical	0.8	E	4170
Cráter-2	CR2R	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.5	S	4048
Cufiño-BB	CUVZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	1.9	ENE	3800
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	2.3	ESE	3494
Cobanegra-3	COB3	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Vertical	3.9	SSE	3625
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro banda Ancha	Triaxial	4.0	NW	3450
Condor	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
Condor 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

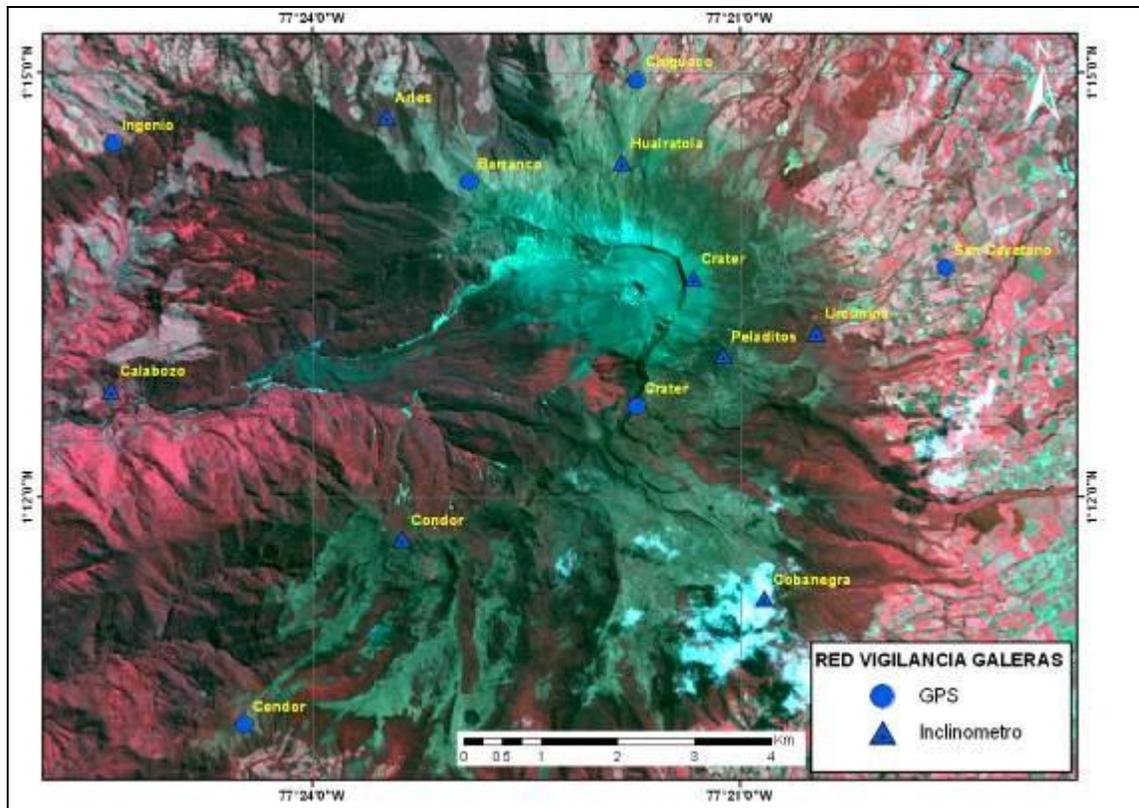


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de mayo de 2014.

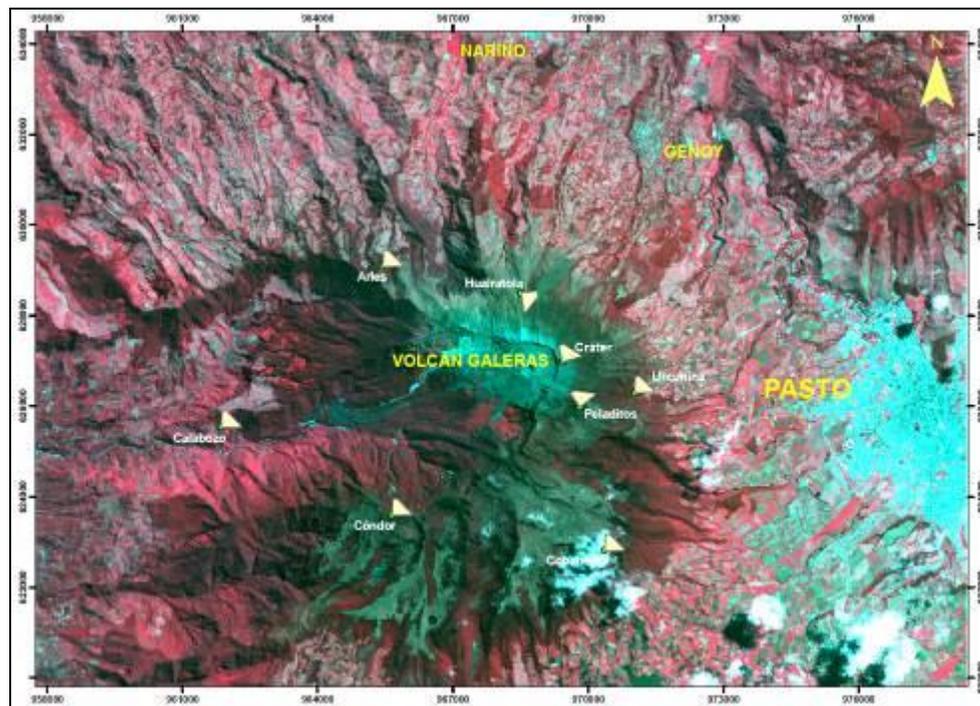


Figura 3. Localización y orientación de las estaciones de inclinometría electrónica instaladas en Galeras. Los catetos de los triángulos muestran las direcciones de las componentes de cada sensor.

Tabla 2. Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante mayo de 2014.

Inclinómetros 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 durante el mes de mayo de 2014.

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

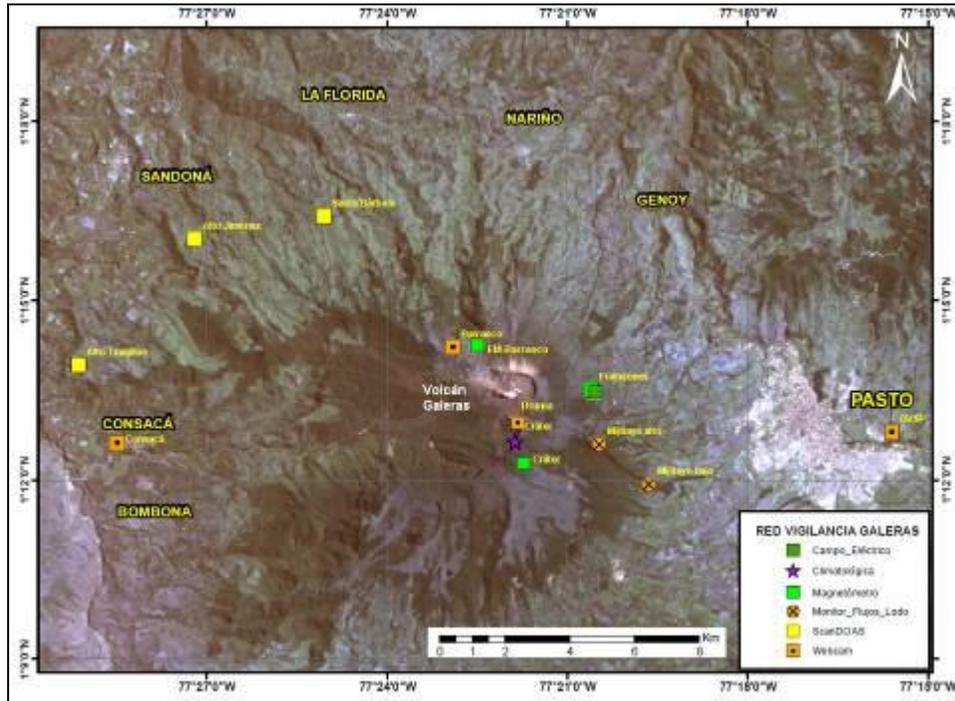


Figura 4. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, detectores de flujos de lodos, ScanDOAS, climática y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante mayo de 2014.

Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en mayo de 2014.

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

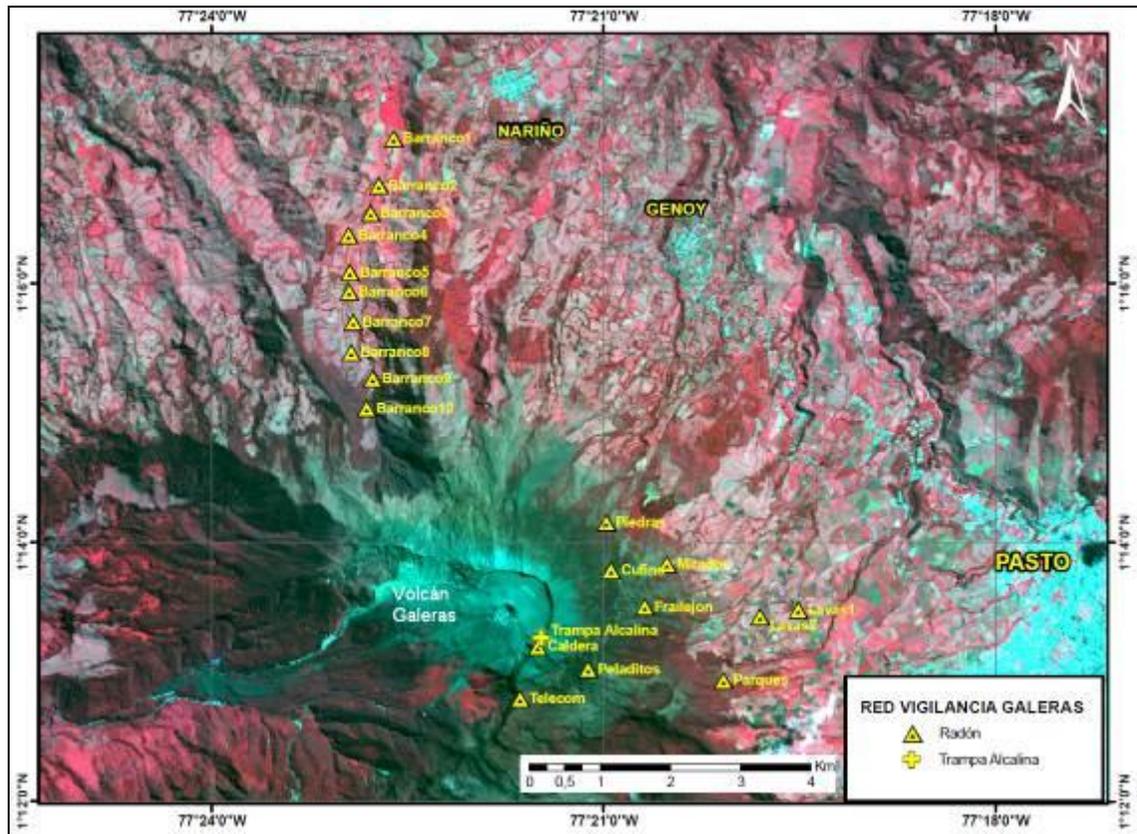


Figura 5. Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.

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

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

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

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

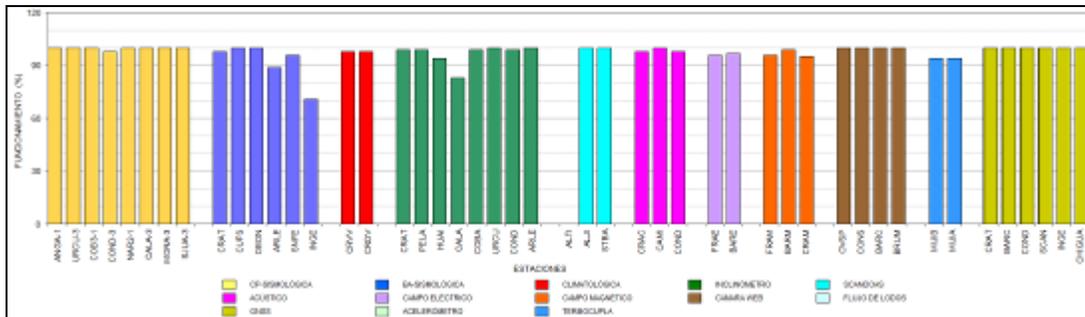


Figura 6. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en mayo de 2014.

1.2. SISMOLOGIA

En el mes de mayo, la actividad sísmica de Galeras presentó un aumento del 49,2% (pasando de 61 a 91 sismos) con relación al mes anterior. La sismicidad se caracterizó por el predominio de eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE), aportando con el 53,8% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de ocurrencia por eventos asociados a fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (sismos tipo HYB) con un 23,1%. Los sismos asociados a fracturamiento de roca al interior de la estructura volcánica (sismos tipo VT) y los asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (eventos tipo LP) aportaron con el 12,1 y 10% respectivamente. La Figura 7 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos.

En comparación con el mes anterior se evidencia que los eventos TRE aumentaron en un 19,5%, los sismos HYB triplicaron su número, los LPS aumentaron en un 100% y los sismos tipo VT aumentaron en un 37,5%. De igual manera, en la evaluación de la actividad se observó que sismos de muy bajo nivel energético fueron 2,3 veces mayor al número registrado en abril de 2014 (Tabla 8, Figuras 8 y 9).

En este mes se registraron 49 episodios de tremor espasmódico, es decir, presentaron banda espectral en frecuencias amplia, con valores por debajo de los 20 Hz, y que totalizaron una duración de 754 minutos.

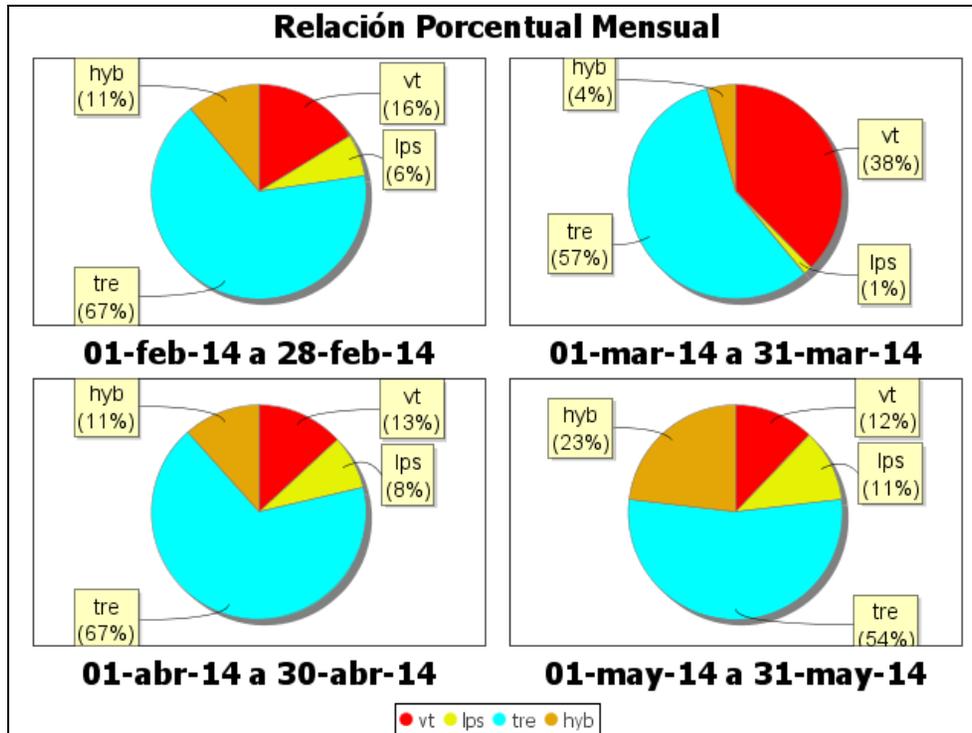


Figura 7. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de febrero y mayo de 2014.

Tabla 8. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					NO CLASIFICABLES	Duración TREMOR (min)
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL		
01-feb-14 a 28-feb-14	18	7	74	12	111	1157	270
01-mar-14 a 31-mar-14	27	1	41	3	72	2185	159
01-abr-14 a 30-abr-14	8	5	41	7	61	1051	608
01-may-14 a 31-may-14	11	10	49	21	91	2418	754

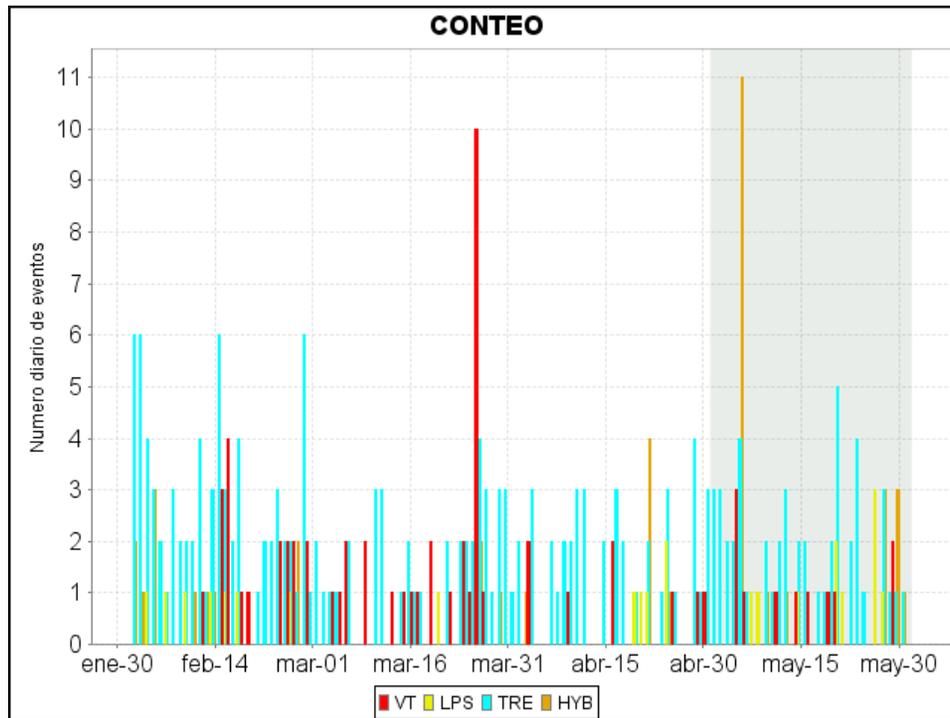


Figura 8. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.

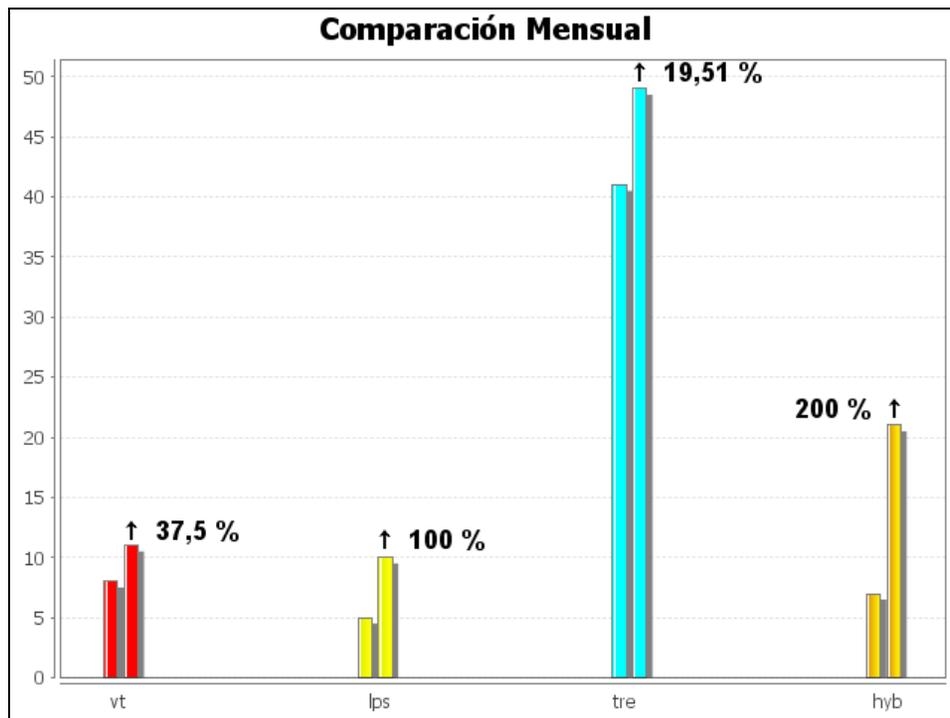


Figura 9. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada disminuyó en un 92% en comparación a lo registrado en abril de 2014, pasando de $4,67 \times 10^{12}$ ergios a $3,74 \times 10^{11}$ ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos TRE con un 43,6%, seguidos por los eventos tipo HYB con un 35,9%, mientras que los eventos tipo LPS y VT aportaron con el 11,3% y 9,2% (Tabla 9, Figuras 10, 11 y 12).

Tabla 9. 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 2014 resaltando en color verde el mes evaluado.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-feb-14 a 28-feb-14	3.90E+15	1.66E+10	3.35E+11	2.76E+10	3.90E+15
01-mar-14 a 31-mar-14	4.74E+11	2.28E+09	1.17E+11	1.11E+10	6.04E+11
01-abr-14 a 30-abr-14	2.88E+12	1.19E+10	1.76E+12	1.64E+10	4.67E+12
01-may-14 a 31-may-14	3.43E+10	4.23E+10	1.63E+11	1.34E+11	3.74E+11

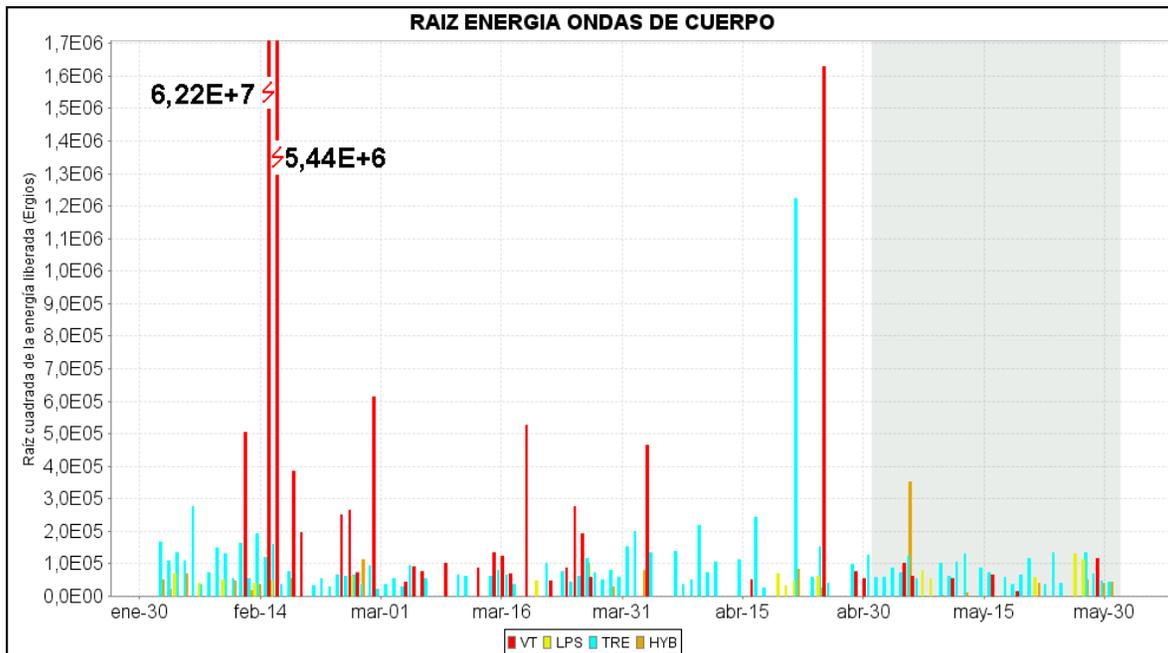


Figura 10. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.

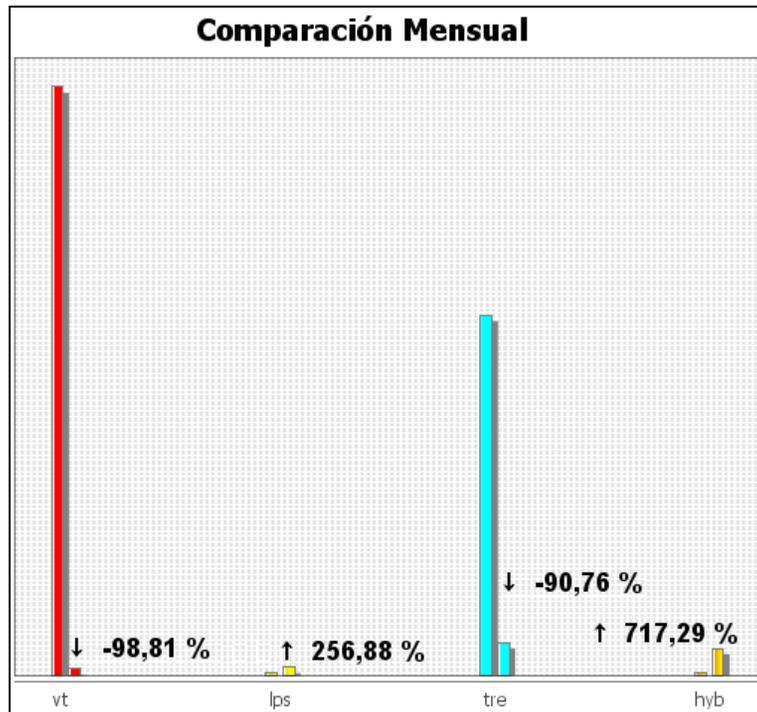


Figura 11. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para mayo de 2014 (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

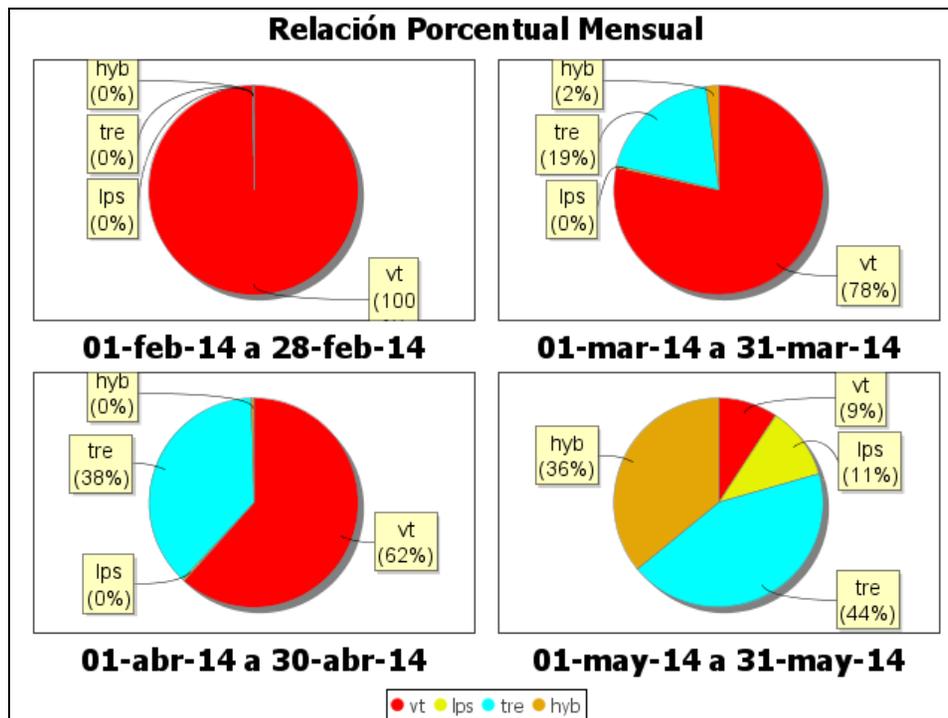


Figura 12. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde febrero a mayo de 2014.

De la actividad en el mes, se resalta la ocurrencia de dos enjambres sísmicos, el primero registrado entre la noche del 26 y la madrugada del día 27, contabilizando 216 eventos de fuente transitoria, y el segundo registrado el 28 de mayo, contabilizando 101 eventos. En la Figura 13 se observa el enjambre sísmico de bajo nivel energético (recuadro rojo) ocurrido entre las 9:00 p.m. del día 26 y las 5:00 a.m. del 27 de mayo de 2014.

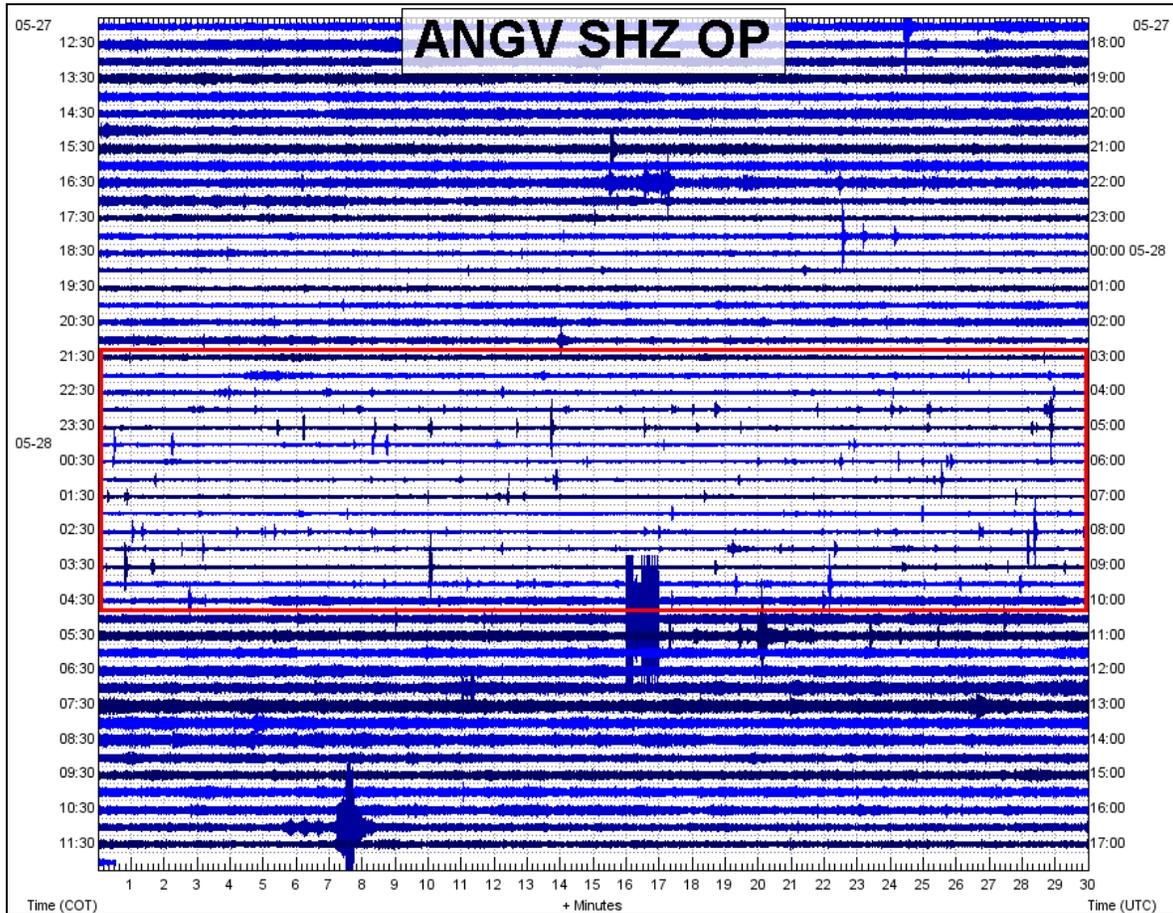


Figura 13. Sismograma en la estación sísmica Angany del enjambre de eventos sísmicos registrado entre el 26 y 27 de mayo de 2014.

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 24 sismos, 18 de ellos tipo VT y 6 HYB, notándose que algunos de los sismos se ubicaron en inmediaciones del cráter principal a profundidades superficiales (menores a 1 km respecto a la cima volcánica). Varios de los eventos se localizaron hacia el sector Noreste de Galeras, a distancias mayores a 1,5 km y menores a 1 km respecto al cono y profundidades entre los 4 y 8 km respecto a la cima. Otros de los eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a distancias menores a los 17 km y profundidades menores a los 15 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 1,8 en la escala de Richter (Figura 14).

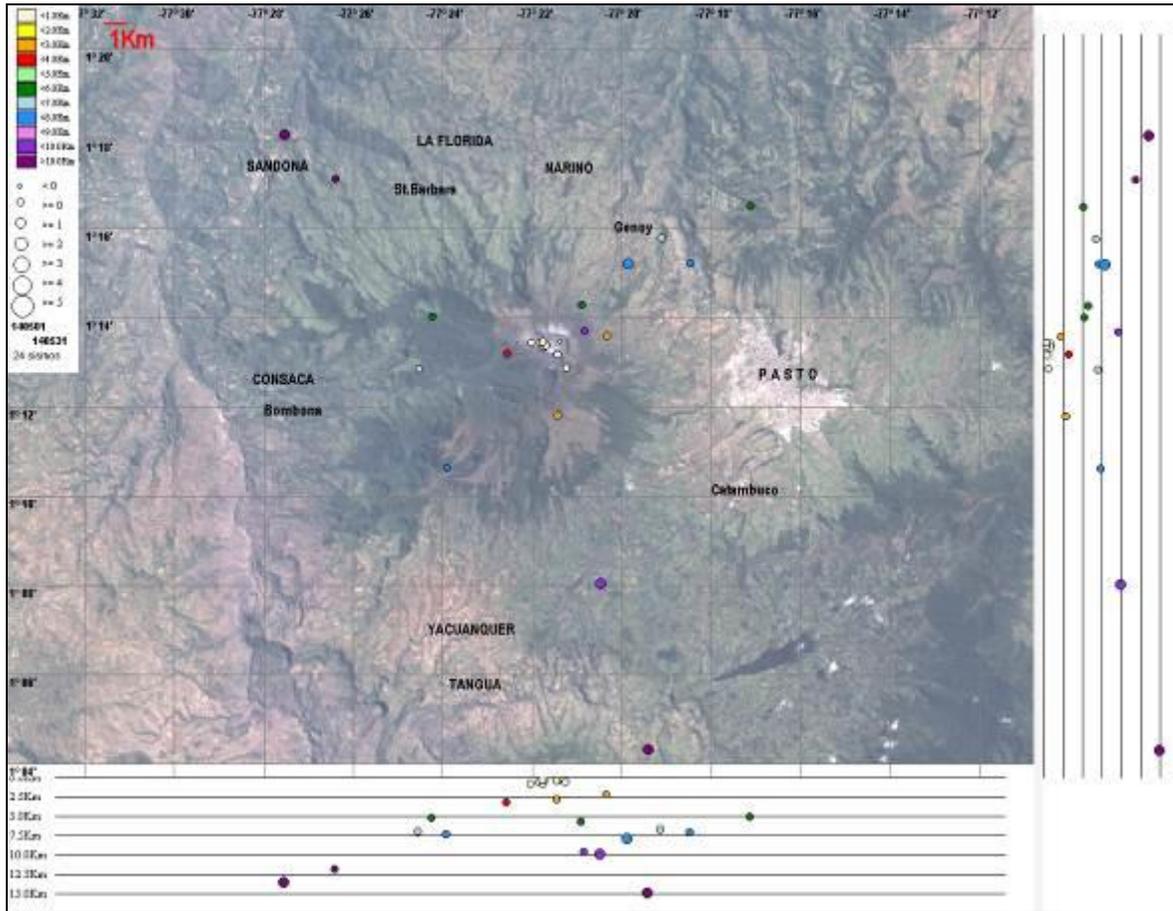


Figura 14. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de mayo de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).

1.3. DEFORMACIÓN

1.3.1. Estaciones de Inclínometría Electrónica

De los procesos de deformación del edificio volcánico, con base en la evaluación de la información obtenida por medio de la red de inclinómetros electrónicos de Galeras, en mayo de 2014 se resalta:

La componente Este del inclinómetro Calabozo (localizado a 6,8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 m.s.n.m.), registra desde el pasado 24 de septiembre de 2013 un comportamiento ascendente, acumulando hasta el 31 de mayo de 2014 una variación de 82 μ rad, mientras que la componente Norte presenta estabilidad a partir del 12 de mayo (Figura 15).

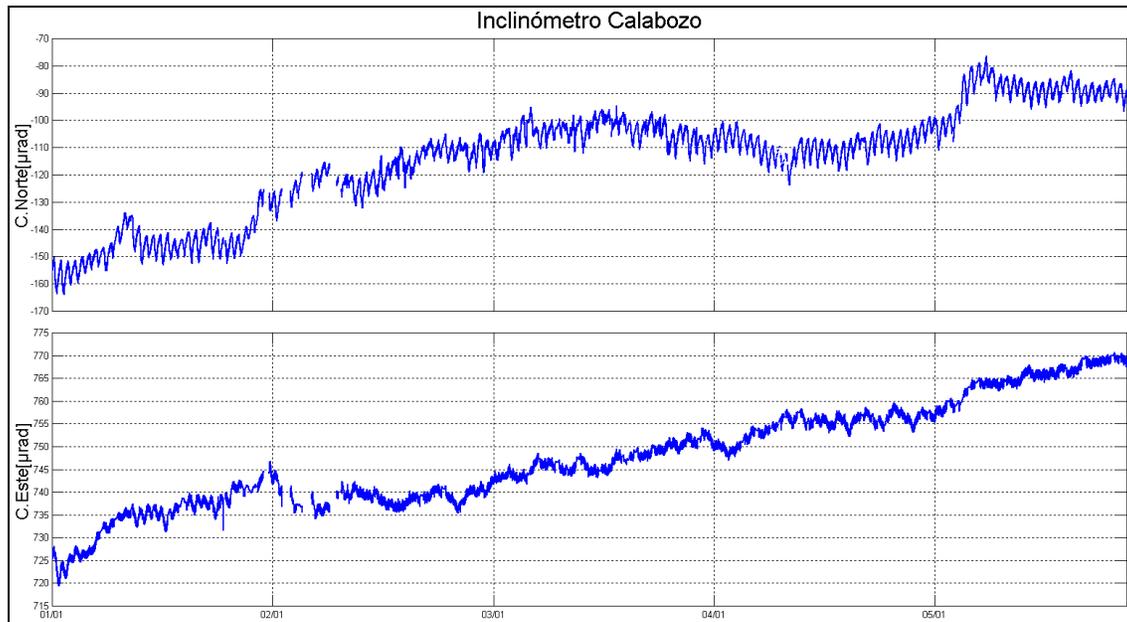


Figura 15. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

Los Inclinómetros Cráter (ubicado a 0,8 km al este del cráter principal y 4060 msnm), Peladitos (1,4 km al sureste del cráter principal, 3850 msnm), Huairatola (1,7 km al norte del cráter principal, 3745 msnm), Cobanegra (situado a 3,9 km al sur-sureste del cráter principal, a 3610 msnm), Urcunina (2,26 Km al este-sureste del cráter principal, 3494 msnm), Cóndor (4,9 Km al suroeste del cráter principal, 3985 msnm), Arlés (4,0 km al noroeste del cráter principal, 3450 msnm) (Figuras 16 a 22).

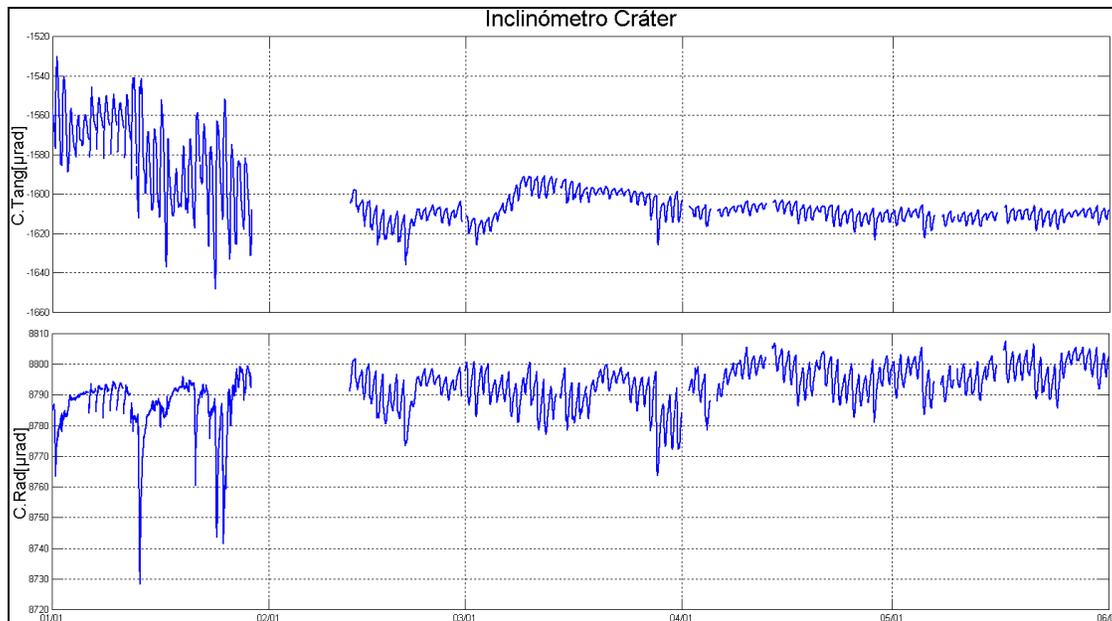


Figura 16. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

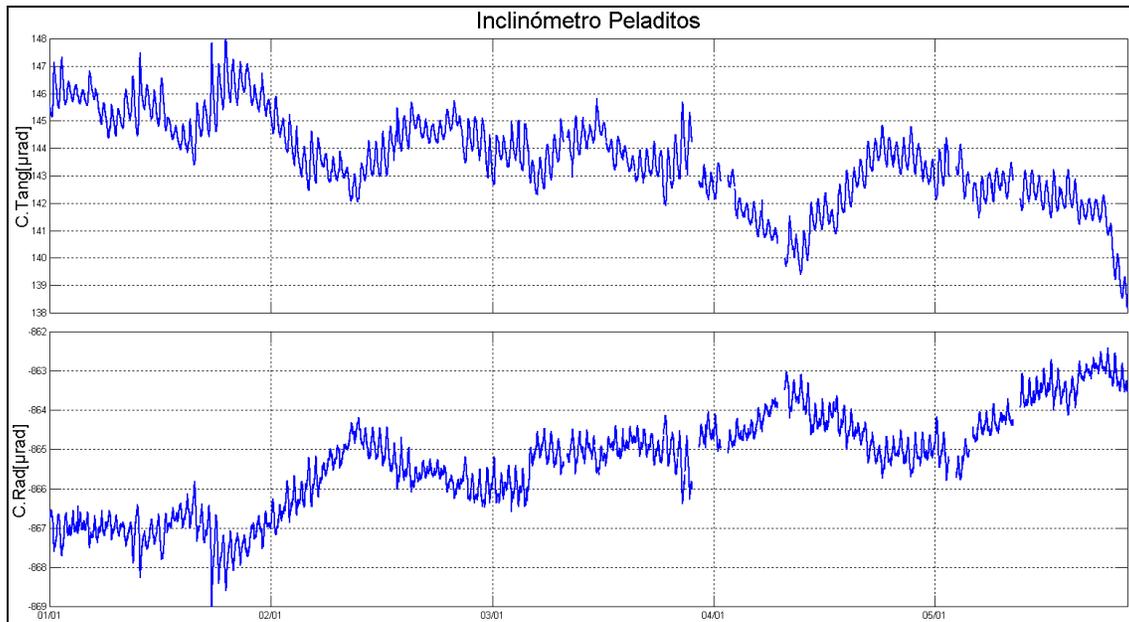


Figura 17. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

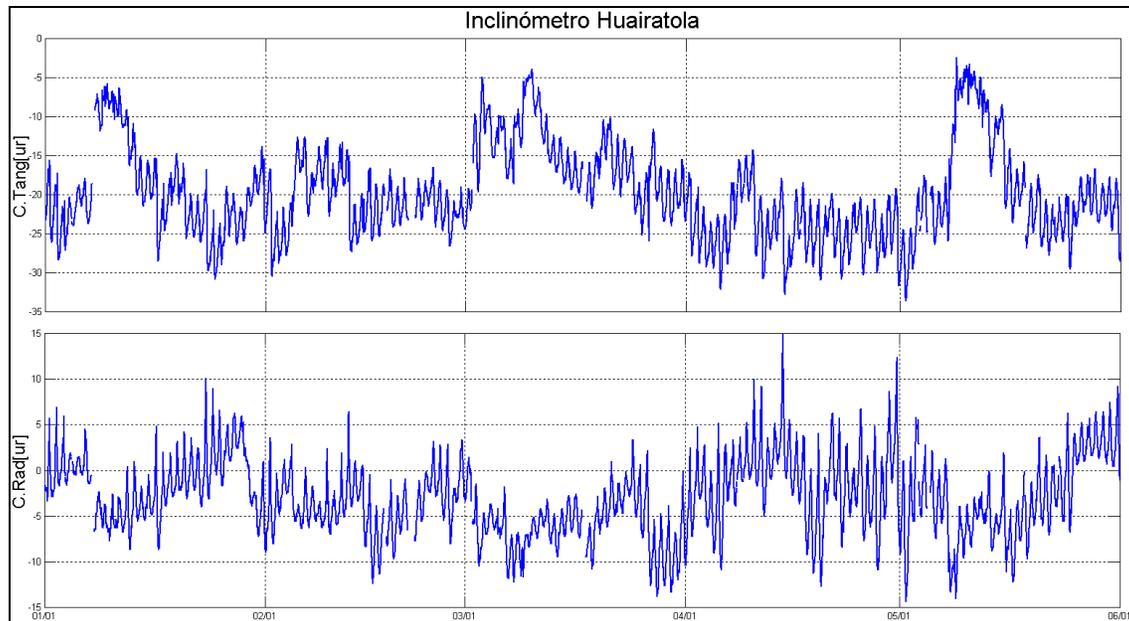


Figura 18. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

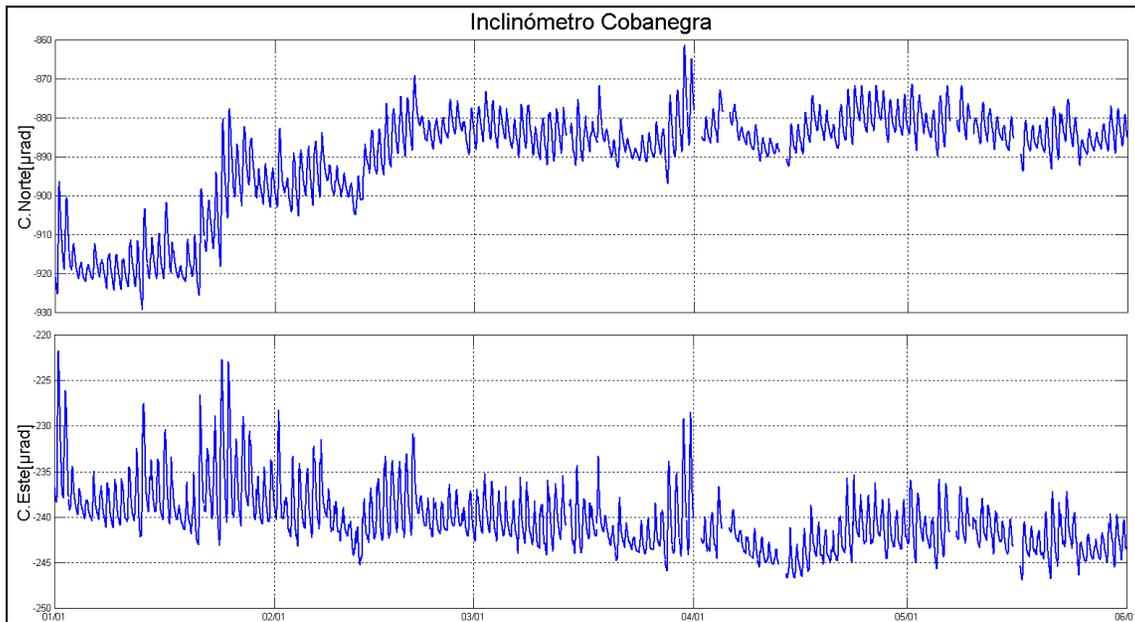


Figura 19. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

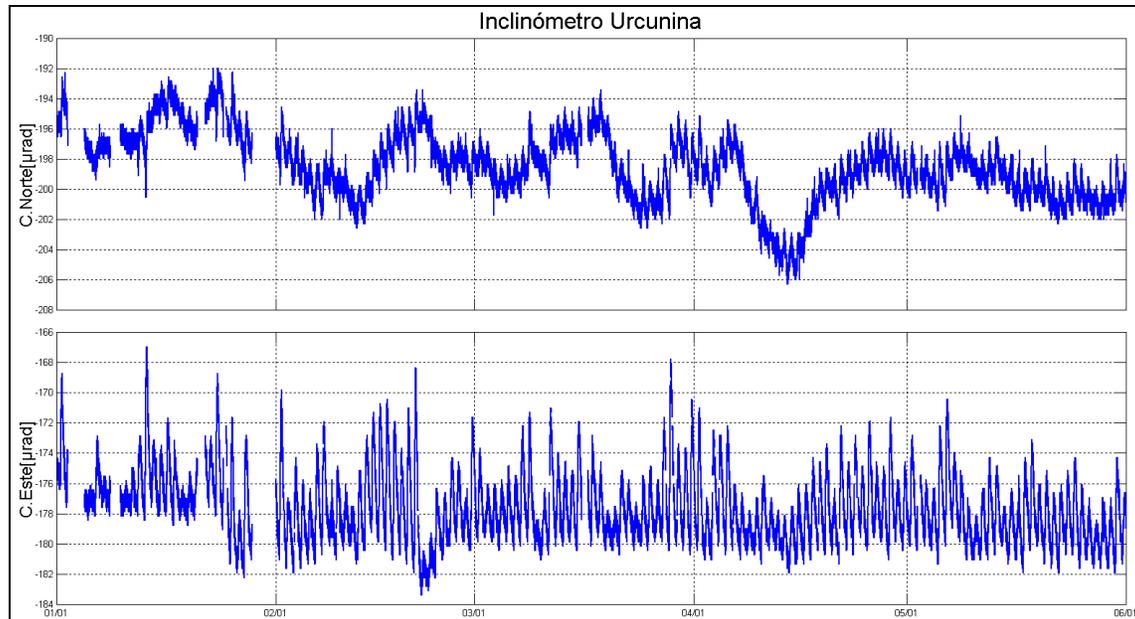


Figura 20. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

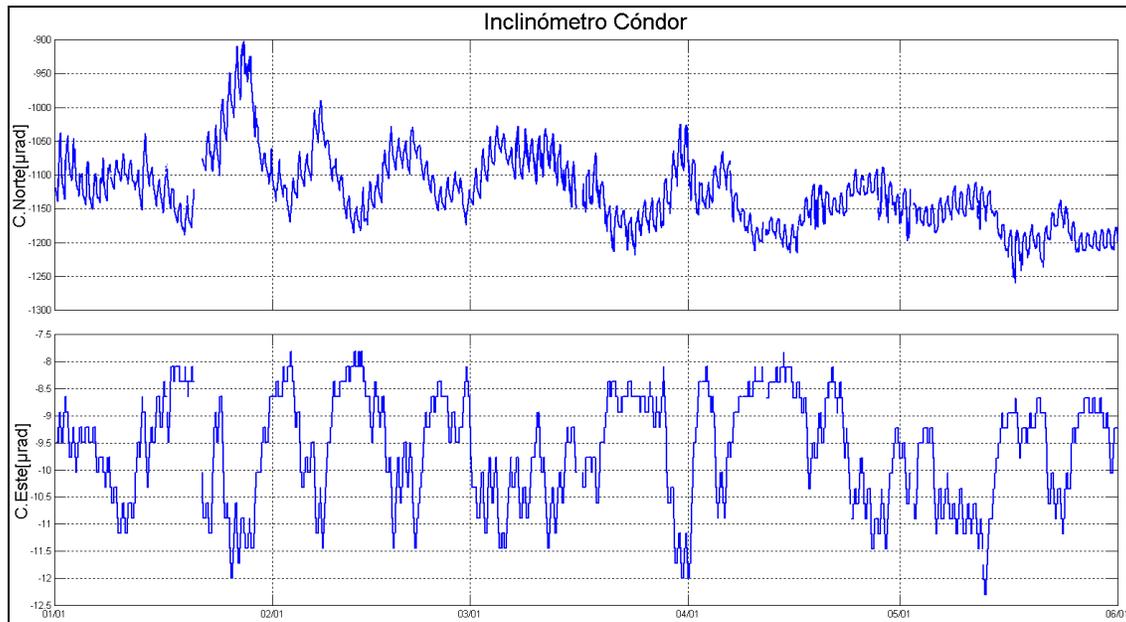


Figura 21. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Condor para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

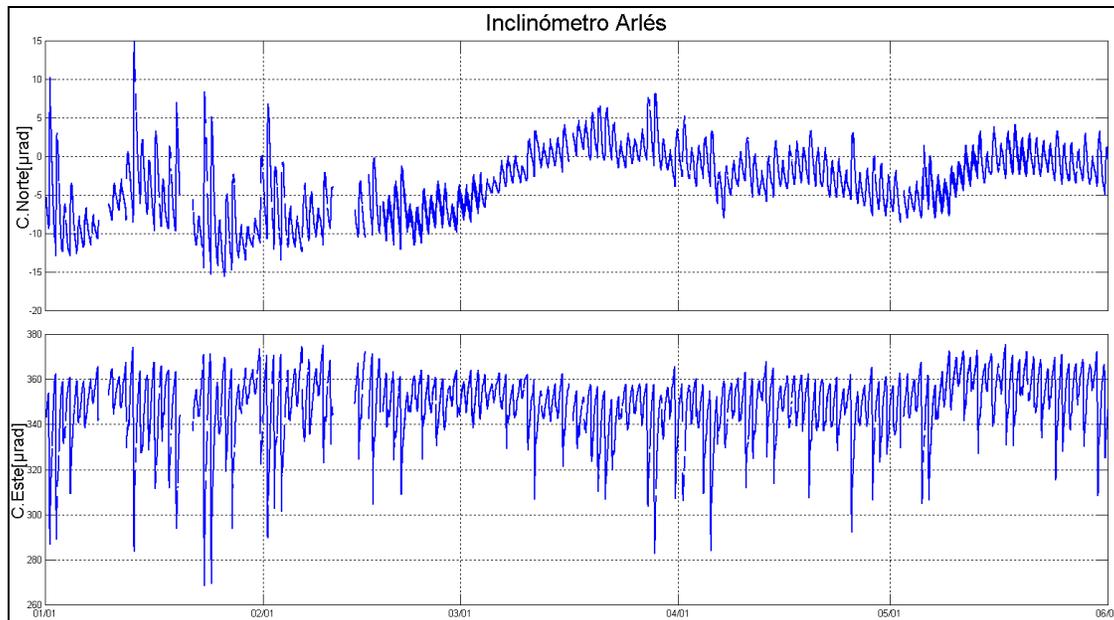


Figura 22. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

1.3.2. Estaciones GNSS permanentes

En mayo de 2014 se contó con 6 estaciones receptoras GNSS permanentes. Resaltando que las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron el mes pasado.

Para el análisis se contempló inicialmente un procesamiento diferencial de la información suministrada por estas estaciones considerando una estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Galeras en el aeropuerto Antonio Nariño a 20,6 km de distancia respecto al cráter, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano. La ubicación de las estaciones respecto al GNSS QUIL se muestra en la Figura 2.

Algunas de las estaciones se encuentran en un proceso de estabilización con respecto al nivel base y se requiere de un tiempo cercano de 2,5 años a partir de su instalación para la estabilidad del equipo. Las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, San Cayetano, en octubre de 2012, Cráter y Barranco en agosto y octubre de 2011 respectivamente y Cándor se reinstaló el 4 de septiembre de 2013, luego de haber sido objeto de saqueo el 20 de mayo de 2013.

Respecto al comportamiento de las variaciones en la posición de las estaciones GNSS, se observa una tendencia descendente en el registro Este de Cráter, Barranco, Cándor y San Cayetano, comportamiento presentado desde el 12 de abril de 2014, acumulando 23, 16, 11 y 29 mm respectivamente (Figuras 23, 24, 25 y 26).

Los cambios observados en Chiguaco e Ingenio podrían estar asociados con el proceso de estabilización de la estación (Figuras 27 y 28).

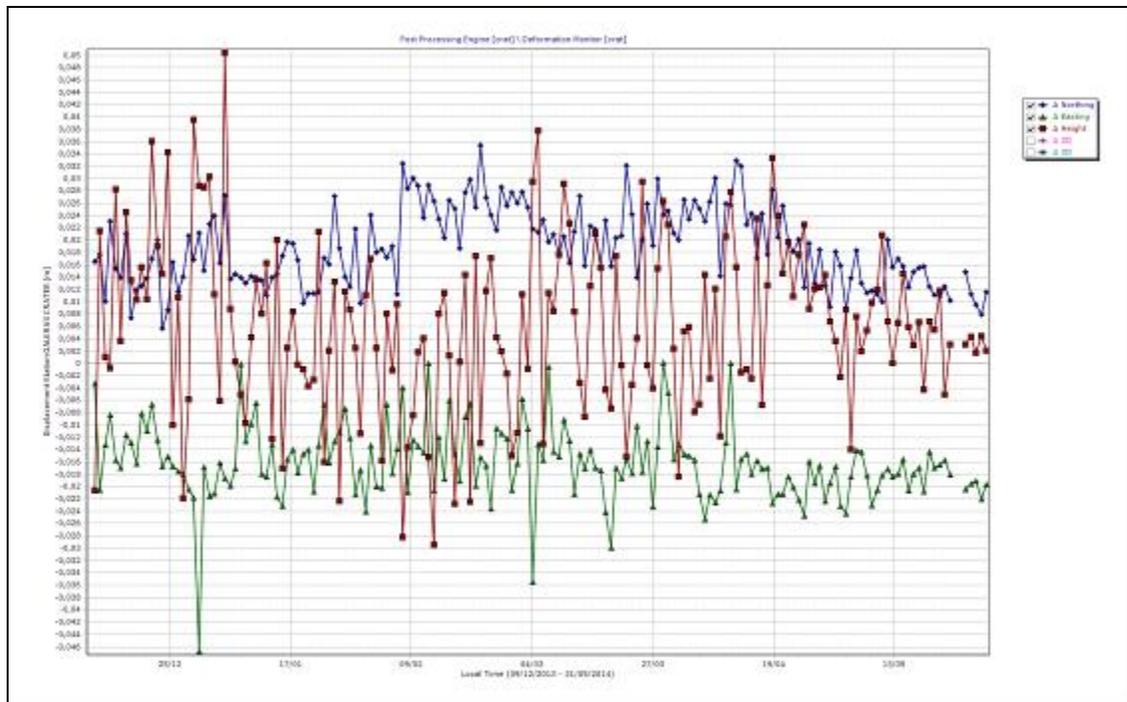


Figura 23. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de mayo de 2014.

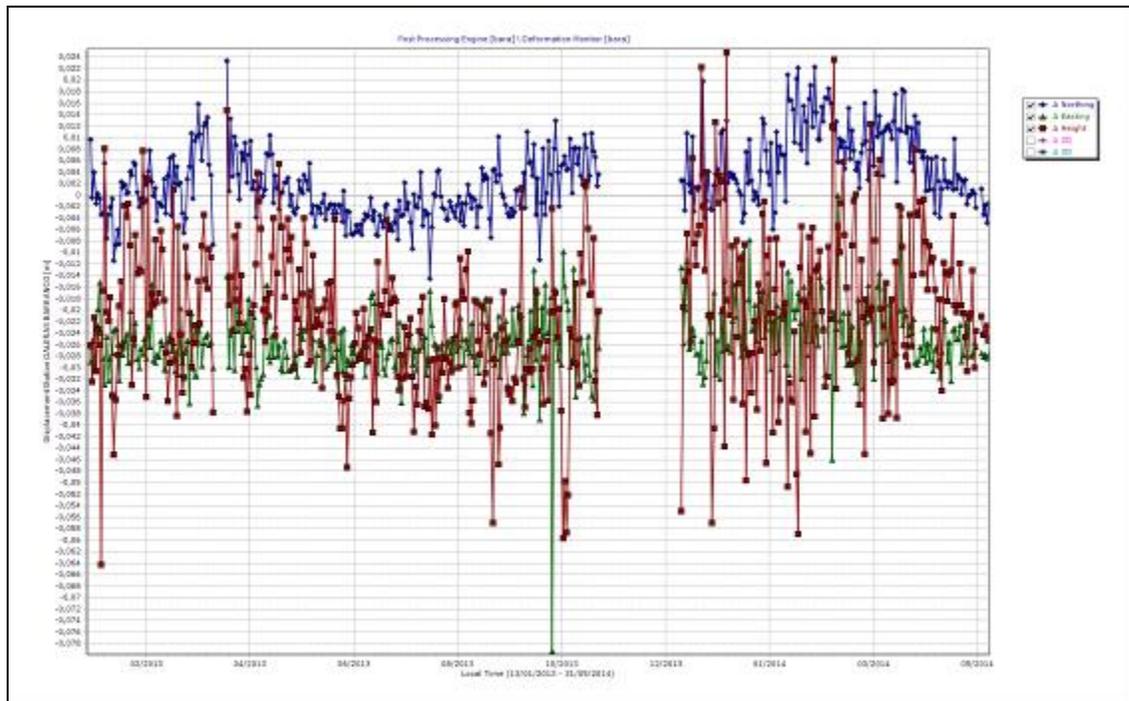


Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre enero de 2013 y el 31 de mayo de 2014.

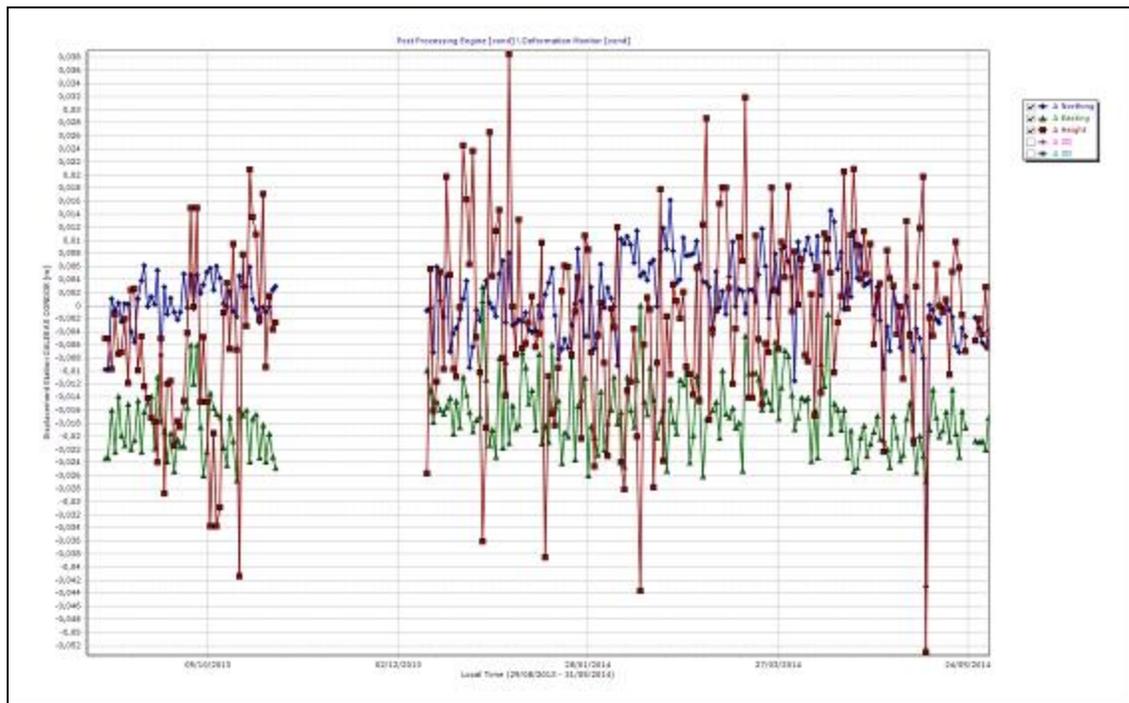


Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre agosto de 2013 y el 31 de mayo de 2014.

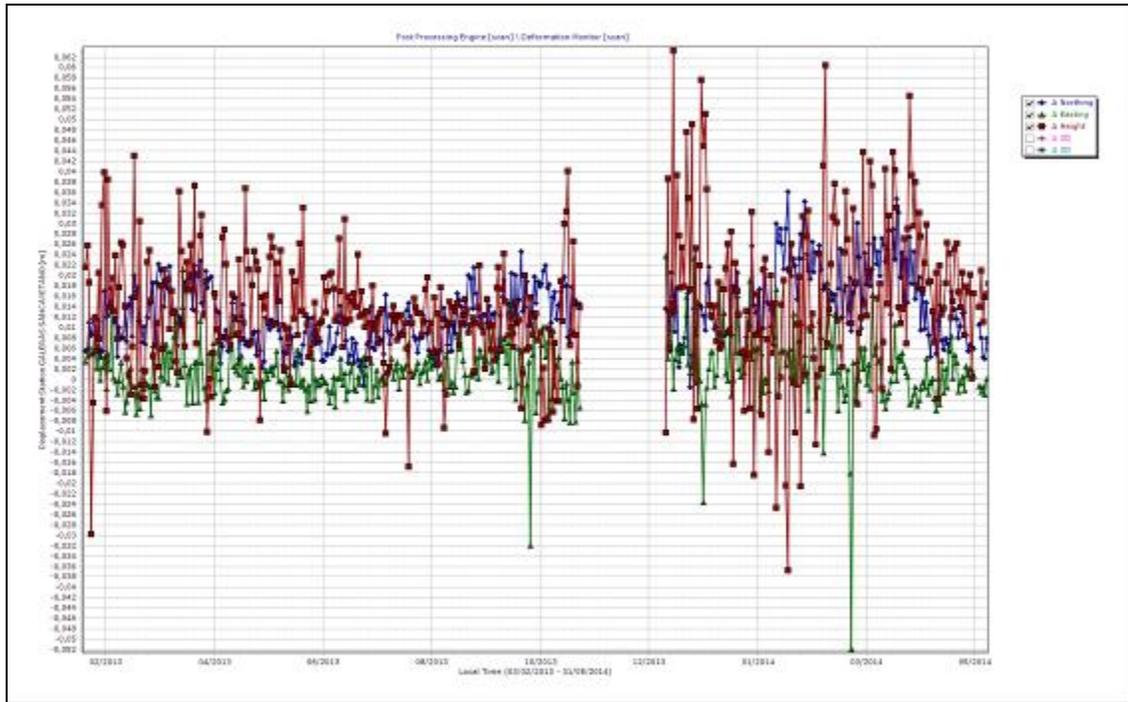


Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre febrero de 2013 y el 31 de mayo de 2014.

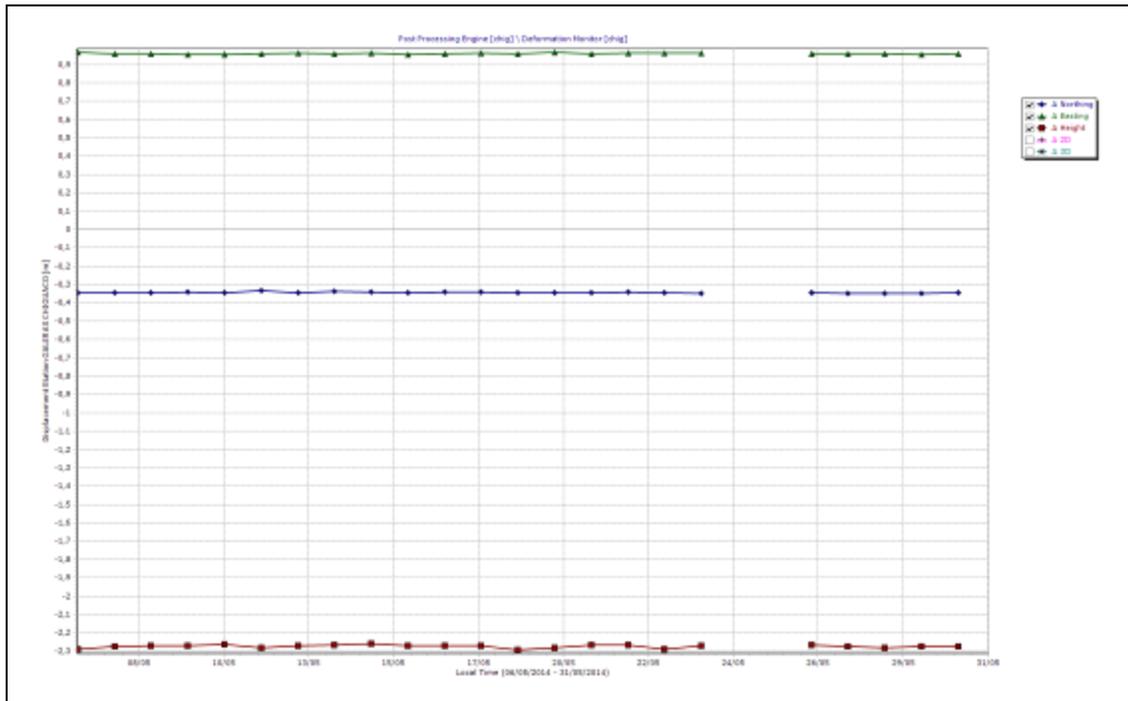


Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el mes de mayo de 2014.

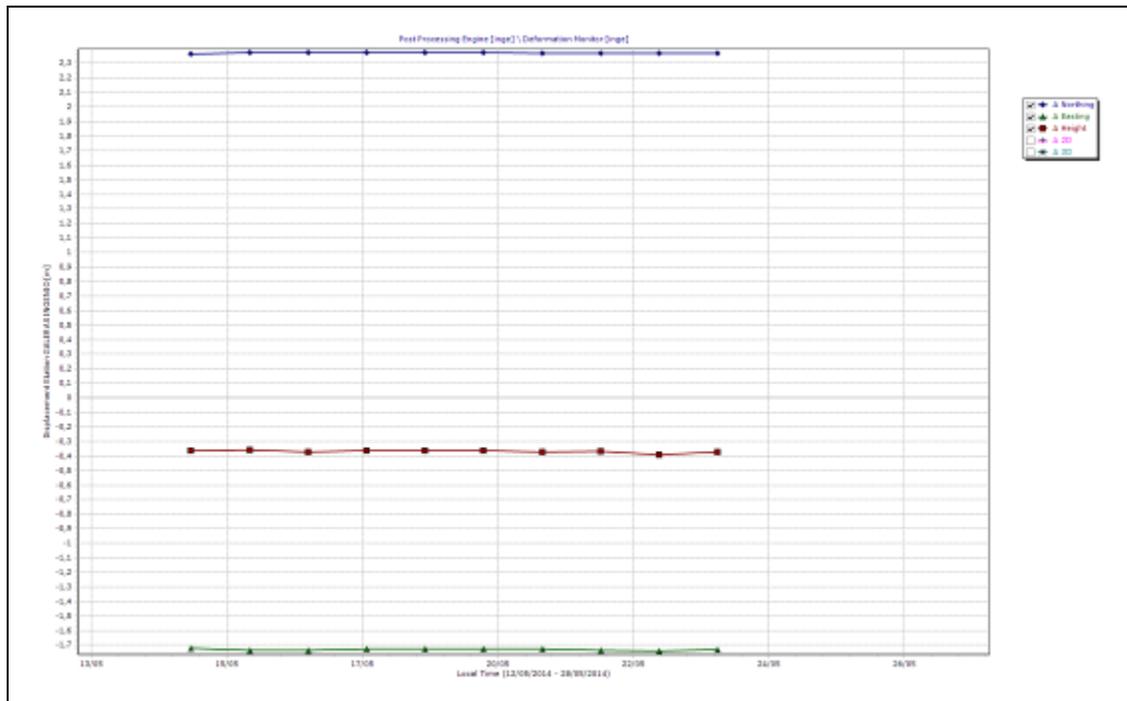


Figura 28. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el mes de mayo de 2014.

1.4. ELECTROMAGNETISMO.

La red de vigilancia de campos electromagnéticos está constituida por tres sistemas de medición de la variación del campo Magnético, la estación EM-Frailejón que posee también un sistema de medición de variación del campo Eléctrico, la Estación EM-Barranco también con sistema de medición de variación de campo Eléctrico, y la estación de campo Magnético Cráter. Además se cuenta con cuatro puntos no telemétricos para toma de medidas de potencial eléctrico espontaneo (Figura 29).

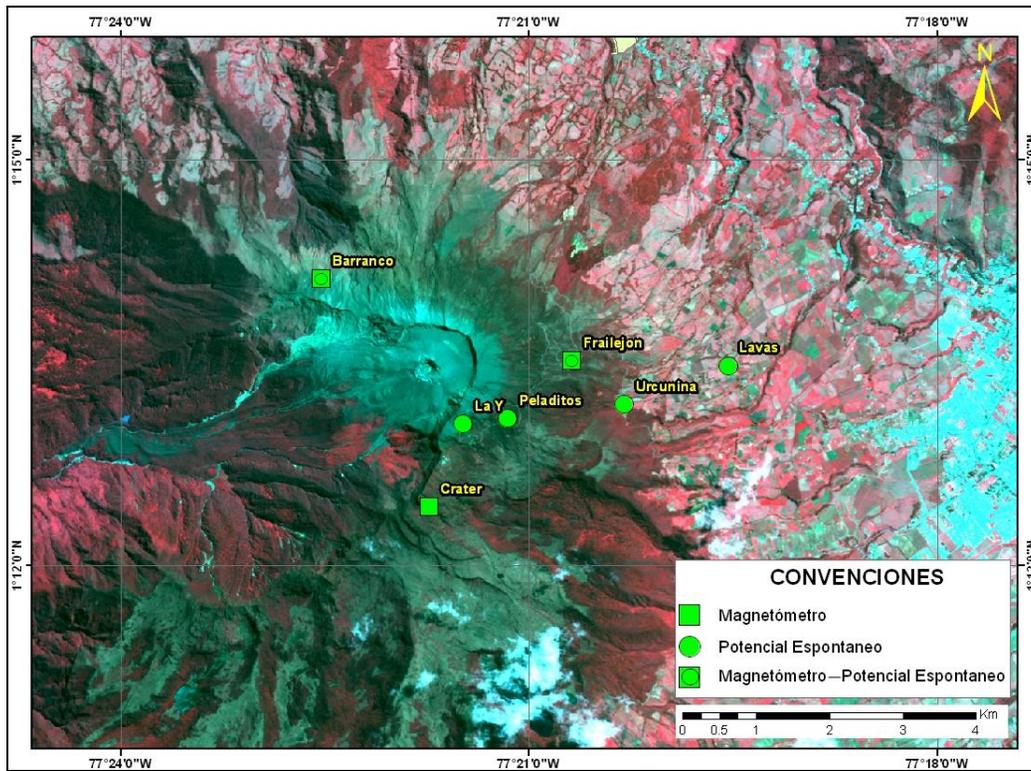


Figura 29. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, y de los puntos de potencial espontáneo que conforman la red de vigilancia del volcán Galeras en mayo de 2014.

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

En la zona de influencia del volcán Galeras se han instalado estaciones para el monitoreo periódico de los campos eléctricos y estaciones telemétricas para el monitoreo continuo de los campos electromagnéticos. Las estaciones de monitoreo eléctrico periódico, o de Potencial Espontáneo (SP, por su nombre en inglés), son cuatro, ubicadas en la vía de ascenso, por la zona oriental al volcán y son: La Y, Peladitos, Urcunina y Lavas. La estación, Urcunina es la más reciente, se instaló a finales del mes de marzo de 2014, con el propósito de tener un mayor cubrimiento de la zona en estudio, correspondiente a la vía de acceso a la cima volcánica,

Las mediciones de SP en las cuatro estaciones, muestran en general, valores de potencial menores de ± 100 mV (Figuras 30 y 31), lo que indica un comportamiento relativamente estable.

Eventualmente se observan valores mayores que se asocian con el incremento del régimen de lluvias en la zona volcánica.

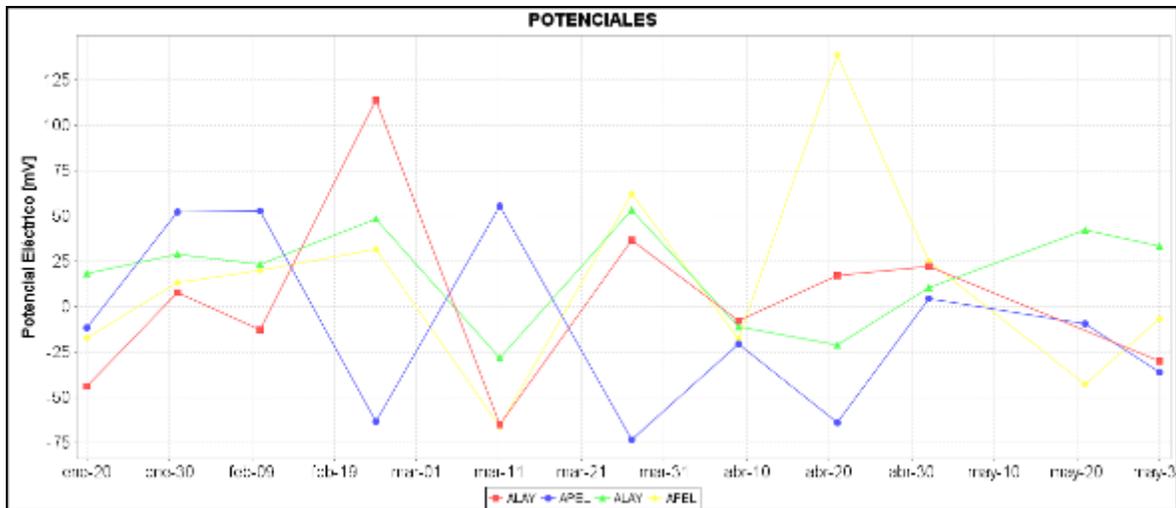


Figura 30. Comportamiento de las variaciones periódicas de SP, en las estaciones La Y (componente NS-roja, componente EW-verde) y, Peladitos (componente NS-azul, componente EW-amarilla).

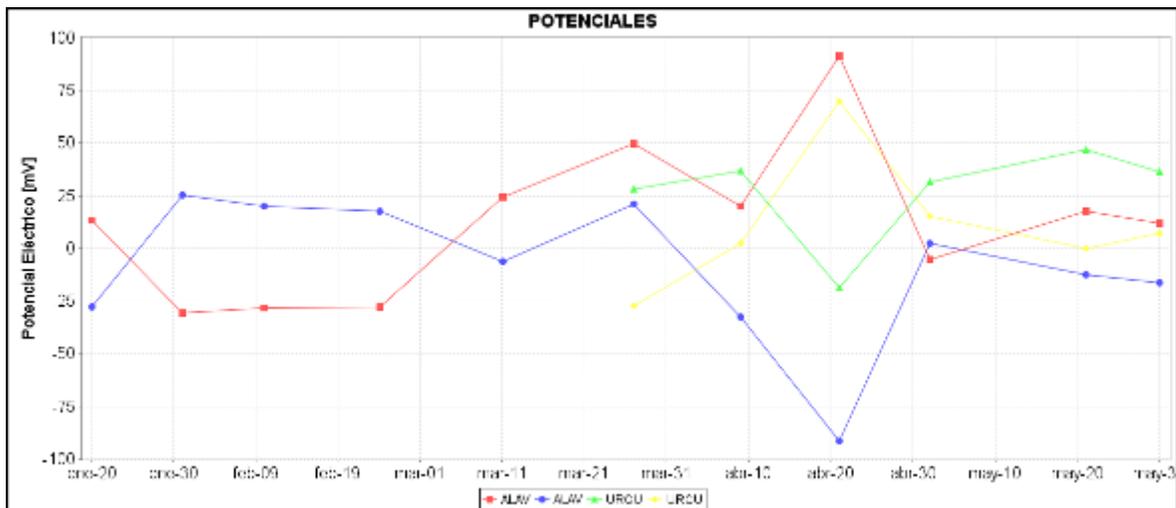


Figura 31. Comportamiento de las variaciones periódicas de SP, en las estaciones La Urcunina (componente NS-verde, componente EW-amarilla) y, Lavas (componente NS-azul, componente EW-roja).

Las variaciones eléctricas registradas en las estaciones de Frailejón y Barranco (Figuras 32 y 33), muestran anomalías que podrían estar más asociados con procesos de precipitación en la zona volcánica.

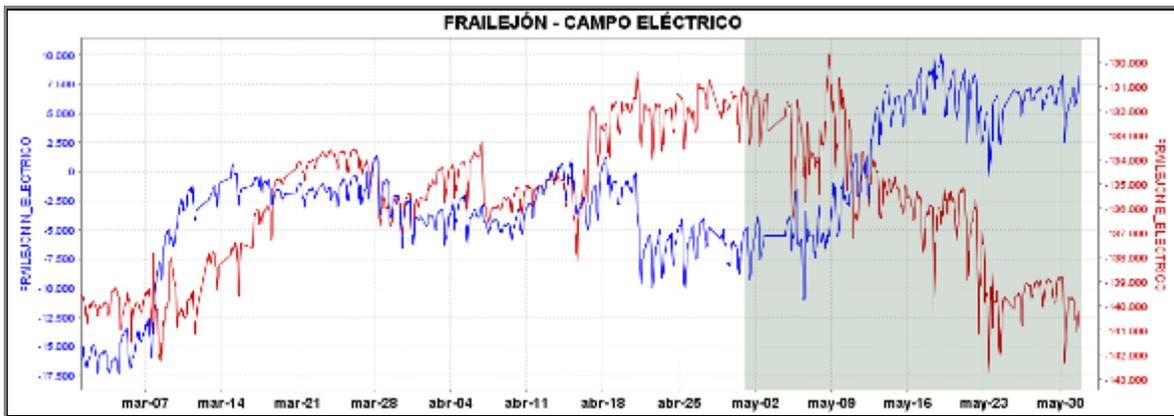


Figura 32. Comportamiento del monitoreo continuo de las variaciones SP en la estación de Frailejón. La línea azul corresponde a la componente NS y la roja a la componente EW.



Figura 33. Comportamiento del monitoreo continuo de las variaciones SP en la estación de Barranco. La línea azul corresponde a la componente NS y la roja a la componente EW.

Las variaciones de campo magnético, en la zona de influencia de volcán Galeras, en el periodo evaluado, muestran en las tres componentes de las tres estaciones de monitoreo: Frailejón, Barranco y Cráter, variaciones día-noche, debido a los efectos soli-lunares, pero en general, la tendencia de este parámetro en las componentes de las tres estaciones se mantiene estable para este periodo (Figuras 34, 35 y 36).

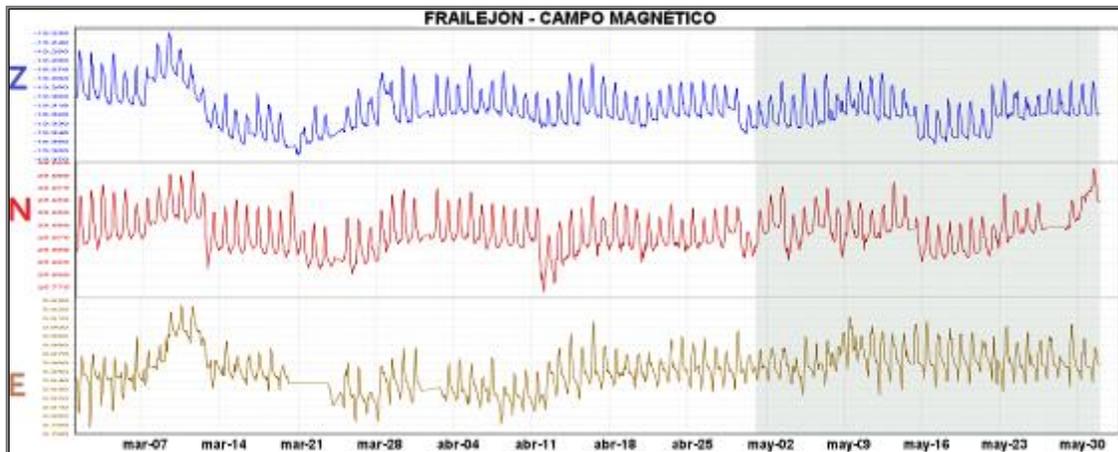


Figura 34. Variaciones de campo magnético en la estación de monitoreo continuo de Frailejón. La línea azul corresponde a la componente vertical, la roja a la NS y la café a la EW.

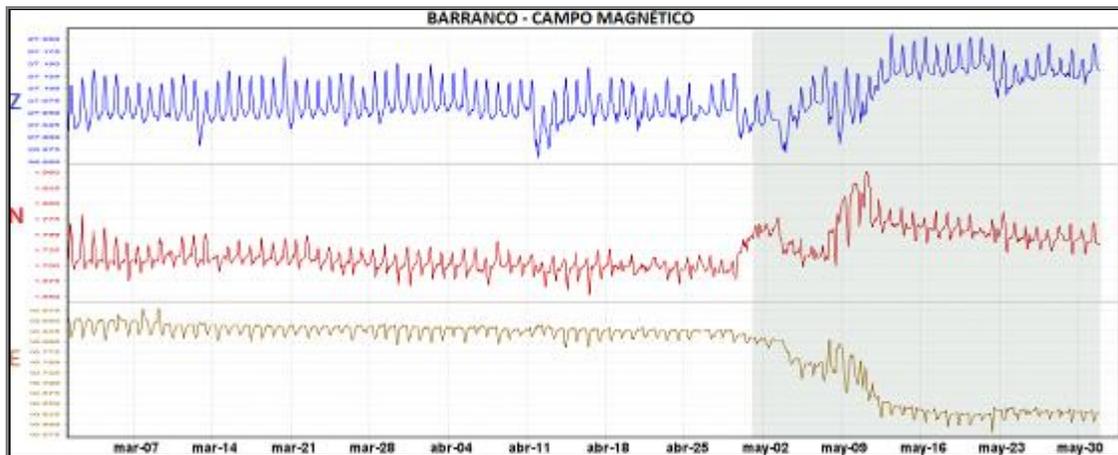


Figura 35. Variaciones de campo magnético en la estación de monitoreo continuo de Barranco. La línea azul corresponde a la componente vertical, la roja a la NS y la café a la EW.

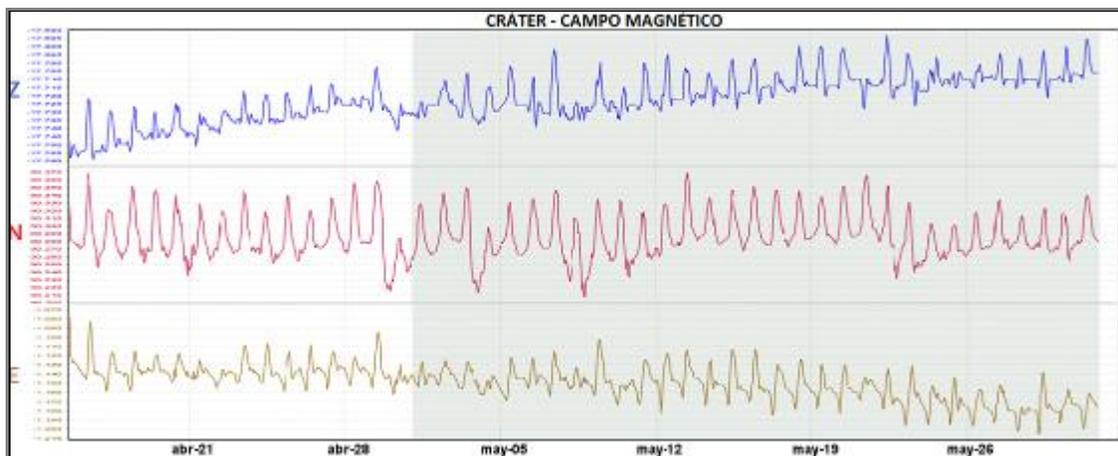


Figura 36. Variaciones de campo magnético en la estación de monitoreo continuo de Cráter. La línea azul corresponde a la componente vertical, la roja a la NS y la café a la EW.

1.5. GEOQUIMICA.

1.5.1. Mediciones de flujo de emisión de SO₂ con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS

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). 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.

Durante mayo de 2014 se registraron escaneos en todos los días del mes, el día 30 de mayo se realizó medición con equipo móvil y se obtiene el mayor flujo de SO₂ registrando un valor de 1077 Ton/d, aunque no es posible contrastar con el flujo de las de las estaciones telemétricas ya que no muestran presencia de pluma para este día. Los valores de escaneos estimados para presencia de pluma de dióxido de azufre (SO₂) en la atmósfera durante este mes y obtenidos de la estaciones Alto Jiménez, Santa Bárbara y equipo MobileDOAS, oscilaron entre las 6 Ton/d para el 21 de mayo hasta las 1077 Ton/d para el 30 de mayo, valores considerados como bajos hasta altos para Galeras. Se resalta que en este mes se registró un valor de flujo de SO₂ mayor en comparación con meses anteriores (Tabla 10, Figuras 37 y 38).

Tabla 10. Emisiones de SO₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de mayo de 2014, por las estaciones ScanDOAS y MobileDOAS (Proyecto NOVAC).

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO ₂ diario [Ton/día]	Estación de registro o recorrido	Equipo
01-may-14	09:20 AM	230.5	6.07	240	Alto Jimenez	SCANDOAS
03-may-14	02:57 PM	267.7	7.07	295	Alto Jimenez	SCANDOAS
06-may-14	08:47 AM	233.2	7.74	191	Alto Jimenez	SCANDOAS
11-may-14	12:56 PM	239.3	0.32	12	Alto Jimenez	SCANDOAS
18-may-14	12:51 PM	216.4	7.61	24	Alto Jimenez	SCANDOAS
21-may-14	02:05 PM	50.9	0.4	6	Santa Barbara	SCANDOAS
26-may-14	02:06 PM	128.44	8.74	605	MOBILEDOAS	MOBILEDOAS
30-may-14	10:01 AM	129.8	7.6	1077	MOBILEDOAS	MOBILEDOAS

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

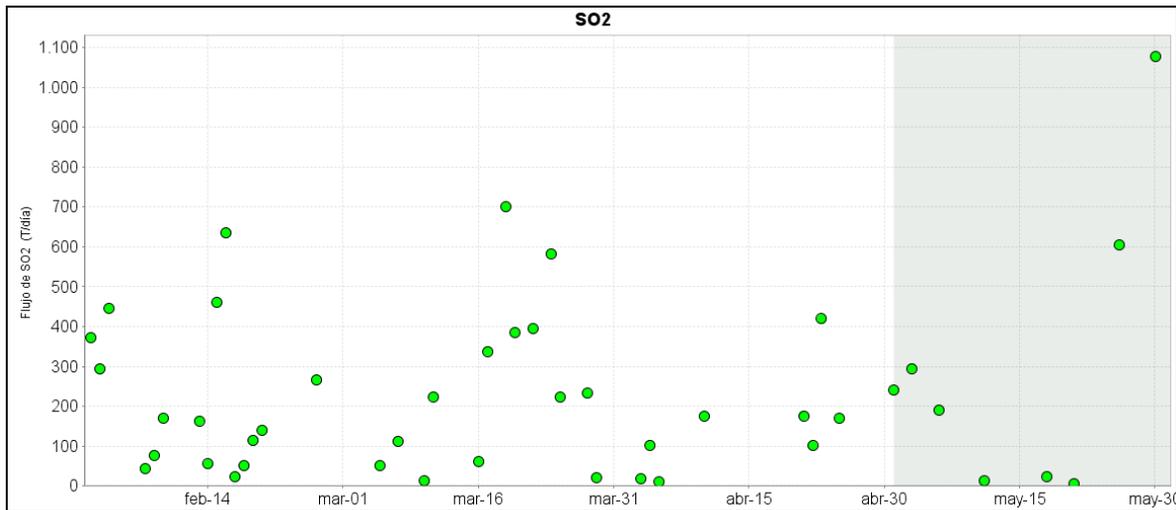


Figura 37. Flujo de emisión de SO₂ registrado entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014 por los equipos ScanDOAS y MobileDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

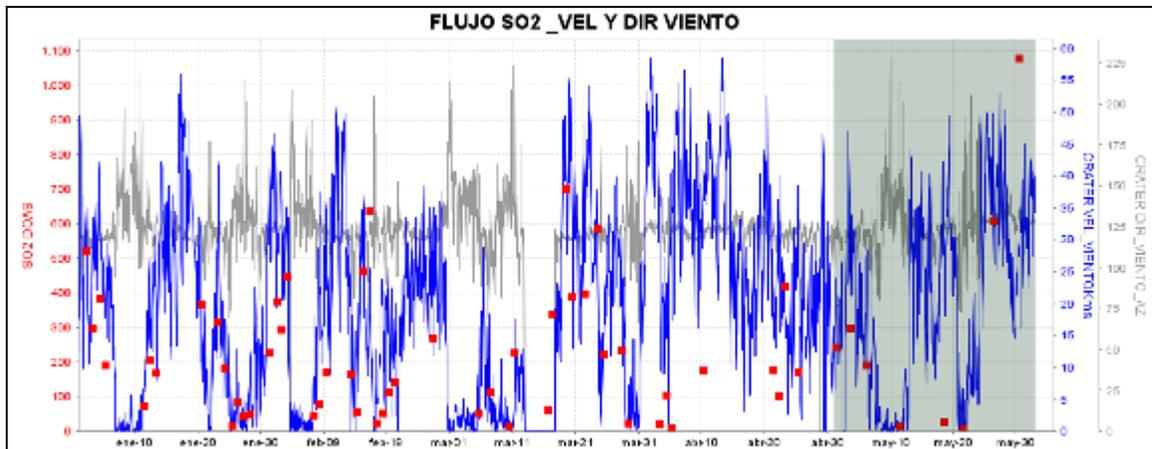


Figura 38. Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre enero y mayo de 2014.

1.5.2. Mediciones del isótopo de gas Radón 222 – (Rn₂₂₂)

Probablemente la principal fuente de generación de gas Rn₂₂₂ en el sistema volcánico Galeras es la desgasificación de radón que sufre el magma o indirectamente puede deberse a la removilización de los radionúclidos (U₂₃₈, Rn 226) (Flexser et al.,1987; Wollenberg et al.,1984/85), como también puede estar implicando un aumento de la temperatura del sistema hidrotermal. El flujo depende de la heterogeneidad de la permeabilidad de las rocas en niveles cercanos a la superficie (por etapas de deformación), colapso de poro (King (1979; 1986), microfracturación de rocas (Thomas et al.,1986) o el aumento del flujo térmico y descargas de vapor (Cox, 1980 ; Cox et al., 1980 ; De la Cruz Reina, 1985). Cada uno de estos procesos puede estar contribuyendo a incrementar la concentración de Rn₂₂₂ en el suelo durante la corta duración de los episodios volcánicos (Connor et al., 1996, Gasparini et al., 1984).

Una vez liberado por emanación e incorporado al fluido intersticial (líquido o gas) que ocupa los poros y grietas de la roca, es susceptible de ser transportado sin reaccionar con el medio. El incremento del nivel de radón se produce en zonas de intensa fracturación e inyección filoniana (dorsales) y en áreas con emisiones de CO₂, coincidentes a su vez con las zonas de vulcanismo reciente.

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

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

En las Figuras 39 y 40 y las Tablas 11 y 12 se observa las variaciones del flujo de Rn₂₂₂ en las líneas Barranco y Galeras respecto a meses anteriores.

En las estaciones ubicadas en la línea Barranco (Figura 39), se observa un pico máximo de 3824 pCi/L (valor moderado para Galeras) para el periodo comprendido entre el 22 de mayo y 30 de mayo en la estación BAR 08. También se observa para la mayoría de las estaciones el incremento en el flujo de Rn.

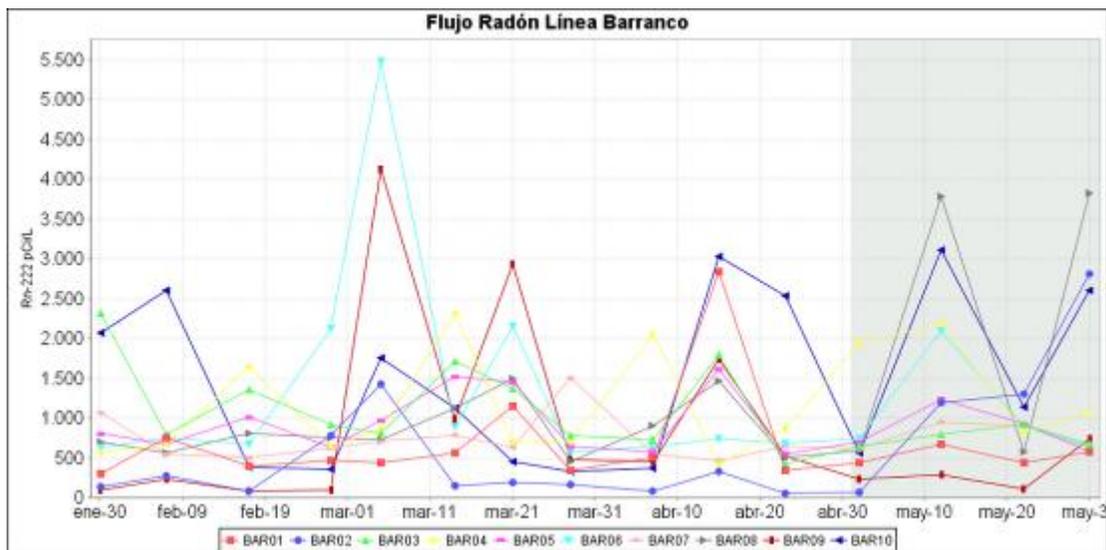


Figura 39. Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Barranco para el periodo comprendido entre los meses de febrero y mayo de 2014.

En cuanto a la línea Galeras (Figura 40), en comparación con meses anteriores se observa una notable tendencia de incremento de los valores registrados de flujo de Rn 222 en la estación LAVA1 (4767 pCi/L), para el periodo comprendido entre el 22 de mayo y 30 de mayo, valor considerado como alto para Galeras, la estación CALD1 (3695 pCi/L) también presenta uno de los valores más altos, sin embargo éste vuelve a decaer a finales del mes. El resto de estaciones continúa con un similar comportamiento.

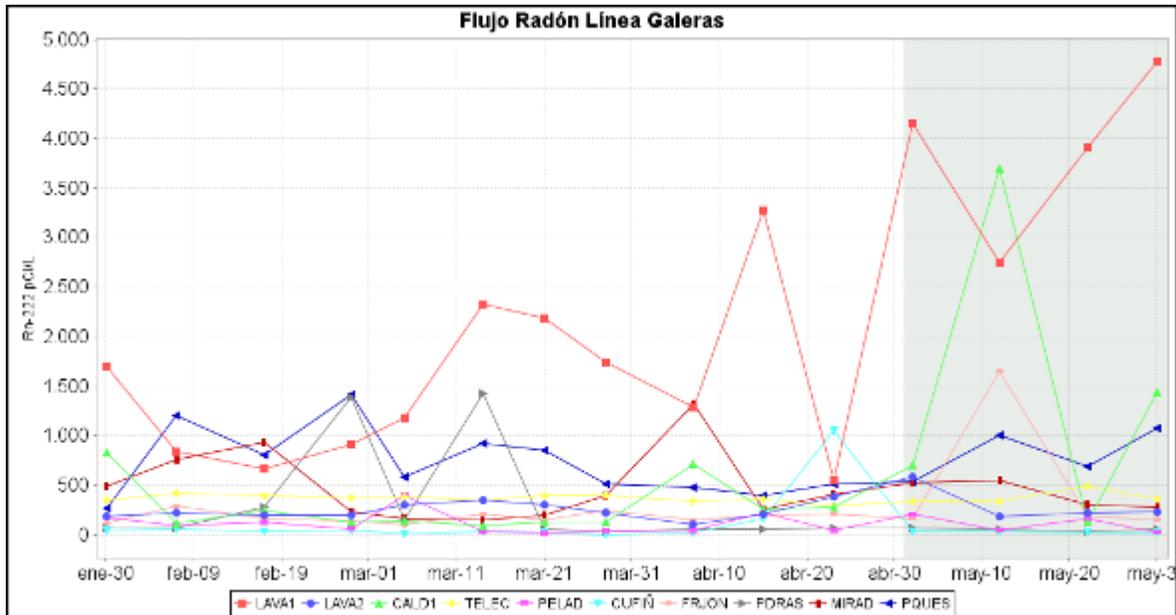


Figura 40. Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Galeras para el periodo comprendido entre los meses de febrero y mayo de 2014.

Tabla 11. Flujo del isótopo Rn₂₂₂ en suelo en las estaciones de la línea Barranco en mayo de 2014.

LÍNEA BARRANCO			
ESTACION	PERÍODO DE MUESTREO		Concentración (pCi/L)
	Inicial	Final	
BAR01	23-Abr-14	02-May-14	442
	02-May-14	12-May-14	678
	12-May-14	22-May-14	445
	22-May-14	30-May-14	573
BAR02	23-Abr-14	02-May-14	63
	02-May-14	12-May-14	1197
	12-May-14	22-May-14	1307
	22-May-14	30-May-14	2815
BAR03	23-Abr-14	02-May-14	640
	02-May-14	12-May-14	789
	12-May-14	22-May-14	917
	22-May-14	30-May-14	673
BAR04	23-Abr-14	02-May-14	1951
	02-May-14	12-May-14	2173
	12-May-14	22-May-14	820
	22-May-14	30-May-14	1075
BAR05	23-Abr-14	02-May-14	697
	02-May-14	12-May-14	1234
	12-May-14	22-May-14	930
	22-May-14	30-May-14	577
BAR06	23-Abr-14	02-May-14	745
	02-May-14	12-May-14	2098
	12-May-14	22-May-14	893
	22-May-14	30-May-14	626
BAR07	23-Abr-14	02-May-14	612
	02-May-14	12-May-14	946
	12-May-14	22-May-14	900
	22-May-14	30-May-14	651
BAR08	23-Abr-14	02-May-14	593
	02-May-14	12-May-14	3785
	12-May-14	22-May-14	578
	22-May-14	30-May-14	3824
BAR09	23-Abr-14	02-May-14	238
	02-May-14	12-May-14	294
	12-May-14	22-May-14	108
	22-May-14	30-May-14	736
BAR10	23-Abr-14	02-May-14	563
	02-May-14	12-May-14	3111
	12-May-14	22-May-14	1138
	22-May-14	30-May-14	2603

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

Tabla 12. Flujo del isótopo Rn₂₂₂ en suelo en las estaciones de la línea Galerías en mayo de 2014.

LÍNEA GALERAS			
ESTACION	PERÍODO DE MUESTREO		Concentración (pCi/L)
	Inicial	Final	
CALD1	23-Abr-14	02-May-14	696
	02-May-14	12-May-14	3695
	12-May-14	22-May-14	128
	22-May-14	30-May-14	1440
CUFIÑ	23-Abr-14	02-May-14	26
	02-May-14	12-May-14	29
	12-May-14	22-May-14	23
	22-May-14	30-May-14	15
FRJON	23-Abr-14	02-May-14	164
	02-May-14	12-May-14	1653
	12-May-14	22-May-14	188
	22-May-14	30-May-14	149
LAVA1	23-Abr-14	02-May-14	4152
	02-May-14	12-May-14	2743
	12-May-14	22-May-14	3905
	22-May-14	30-May-14	4767
LAVA2	23-Abr-14	02-May-14	580
	02-May-14	12-May-14	177
	12-May-14	22-May-14	213
	22-May-14	30-May-14	225
MIRAD	23-Abr-14	02-May-14	521
	02-May-14	12-May-14	541
	12-May-14	22-May-14	296
	22-May-14	30-May-14	282
PDRAS	23-Abr-14	02-May-14	67
	02-May-14	12-May-14	52
	12-May-14	22-May-14	33
	22-May-14	30-May-14	59
PELAD	23-Abr-14	02-May-14	205
	02-May-14	12-May-14	48
	12-May-14	22-May-14	159
	22-May-14	30-May-14	20
PQUES	23-Abr-14	02-May-14	533
	02-May-14	12-May-14	998
	12-May-14	22-May-14	690
	22-May-14	30-May-14	1078
TELEC	23-Abr-14	02-May-14	334
	02-May-14	12-May-14	329
	12-May-14	22-May-14	492
	22-May-14	30-May-14	355

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

A continuación se presenta una relación entre el flujo de SO_2 , eventos sísmico tipo VT y el flujo de radón a partir del mes de noviembre de 2013 hasta el mes de mayo del presente año para el volcán Galeras (Figura 41).

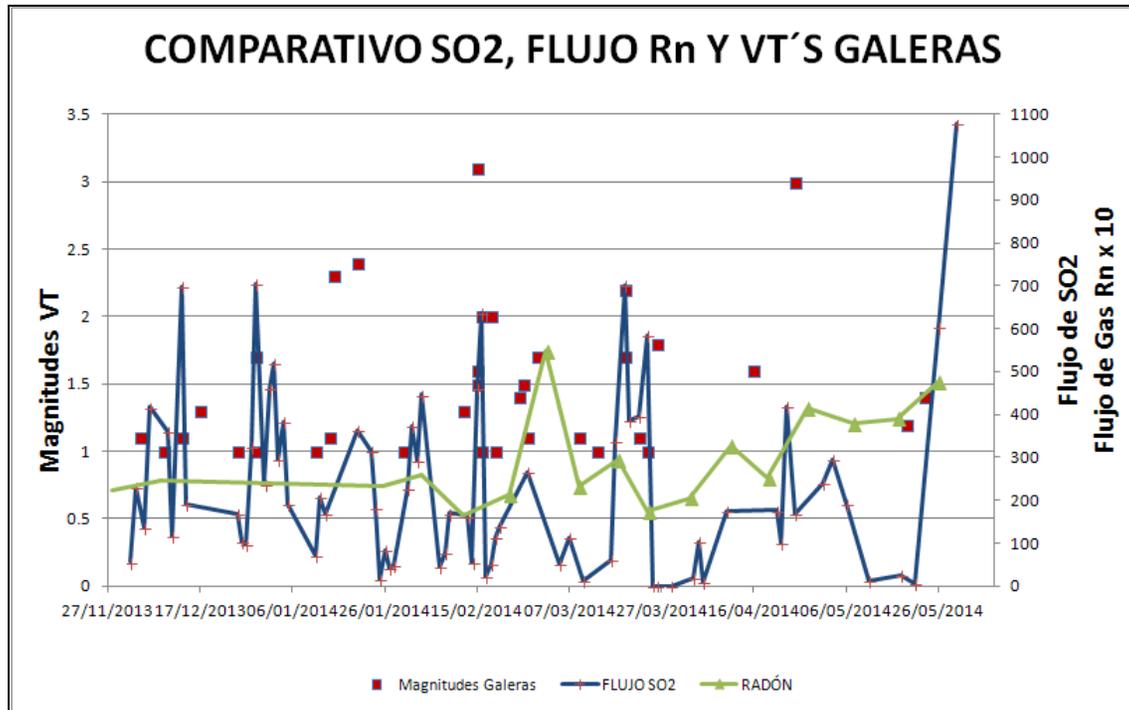


Figura 41. Flujo de SO_2 , eventos sísmico tipo VT y el flujo de radón noviembre 2013 a mayo 2014.

Se puede observar un incremento en el flujo de radón en suelo a partir del mes de abril de 2014 hasta mayo del presente año, presentando valores entre 1652 y 5481 pCi/L (flujos >2000 pCi/L considerados como anomalías de radón para Galeras). En cuanto a la desgasificación de SO_2 , el sistema muestra para este mes un nivel alto de flujo ($>0 < 1000$ Ton/día para Galeras). El aumento en la desgasificación de SO_2 puede sugerir un sistema más abierto en comparación con meses anteriores que permite un cierto nivel de despresurización en el sistema, pero también puede ser indicio de acumulación de esfuerzos en el sistema.

En cuanto a los niveles de radón, éste indica que el proceso de difusión del gas en el suelo de Galeras sigue presentándose, pero que además el sistema de fracturas, micro fracturas y porosidad de las rocas se encuentran abiertas y dinámicas.

1.5.3 Trampa alcalina-volcán Galeras

En el mes de mayo se continúa el muestreo de gases condensables por medio de los sistemas de trampa alcalina en la cima de Galeras, que permite analizar moléculas de los gases condensables emitidos por el volcán (Azufre total (S_t), Cloruro de hidrógeno (HCl) y dióxido de carbono (CO_2)).

En el volcán Galeras se encuentran ubicadas dos estaciones no telemétricas de Trampa Alcalina (Figura 42, Tabla 13): Trampa Alcalina-Base Militar y Trampa Alcalina-Mirador.

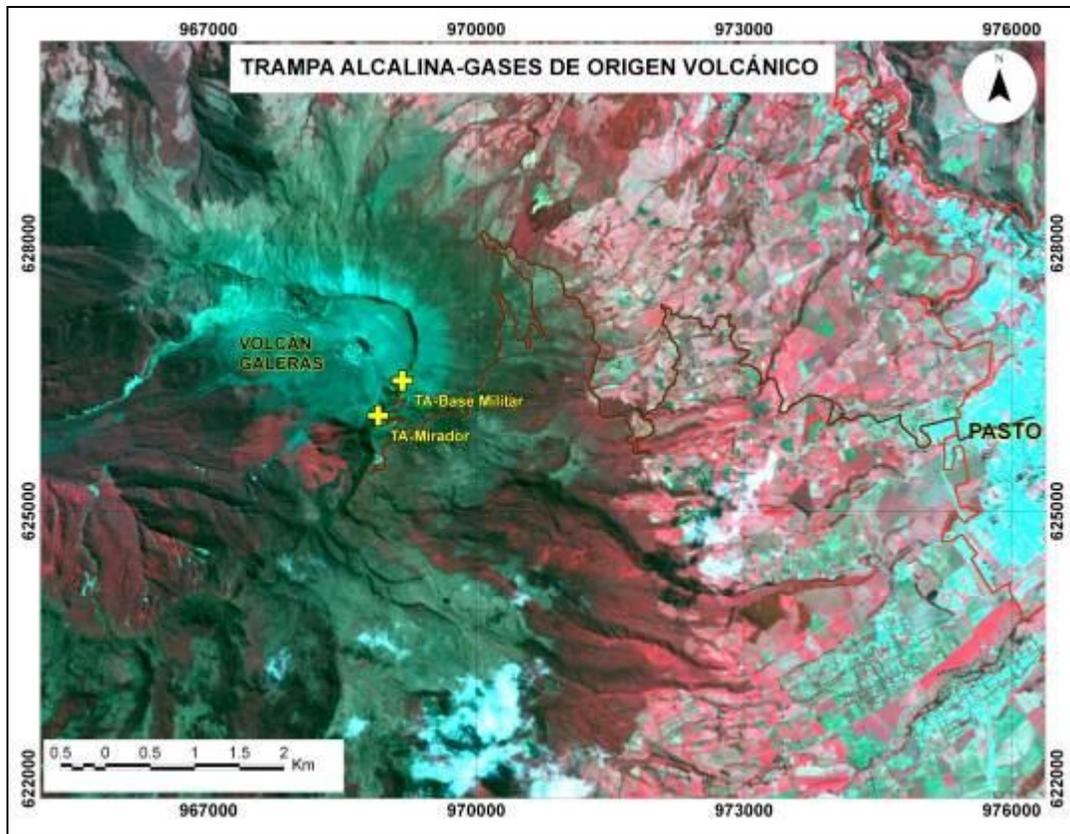


Figura 42. Mapa de localización estaciones trampa alcalina volcán Galeras.

Tabla 13. Ubicación geográfica estaciones Trampa Alcalina en Volcán Galeras.

Nombre Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
TA-Base Militar	No Telemétrica	1° 13' 05.6"	77° 21' 16.2"	4248
TA-Mirador	No Telemétrica	1° 12' 52.6"	77° 21' 25.3"	4156

La trampa alcalina consiste en utilizar un montaje (Figura 43), en el cual se encuentra un recipiente con aproximadamente 100ml de una solución alcalina (KOH 6N), esto permitirá atrapar gases de origen volcánico (gases ácidos) y sobre ella debe colocarse un tipo de balde plástico invertido al nivel del suelo que permita la circulación de gases por la trampa. Este montaje debe estar situado de ser posible en el borde del cráter y/o en puntos cercanos a fumarolas y la solución debe cambiarse periódicamente antes de la saturación. En la Figura 43 se observa la toma de muestras de las dos estaciones de trampa alcalina instaladas en volcán Galeras para el mes de mayo.



Figura 43. Toma de muestras- estaciones Trampa Alcalina-Cima volcán Galeras mayo de 2014.

Puede observarse en las Figuras 44 y 45, la composición de azufre total (S_t), cloruro de hidrogeno total (HCl_t) y dióxido de carbono (CO_2) como parte de los gases condensables obtenidos a partir del sistema de trampa alcalina durante los meses febrero hasta abril de 2014.

En la Figura 44 se evidencia un claro descenso en la composición de S_t desde el mes de febrero. El HCl_t se encuentra en menor proporción en comparación con el azufre total, variando significativamente su contenido. Sin embargo, y por lo general el contenido de S_t y HCl varían ampliamente en los sistemas volcánicos.

El contenido de azufre es inferior considerando los valores de CO_2 (Figura 45) que es una de las especies dominantes dentro de los gases de origen volcánico. En la Figura 45 se observa que el valor continúa incrementando desde febrero hasta abril del presente año.

La composición de los gases magmáticos varía de acuerdo al proceso de exsolución y ascenso de los mismos a la superficie, encontrando reacciones químicas que pueden alcanzar el equilibrio químico rápidamente e involucrar a otras especies químicas del sistema, como también procesos redox, volcanismo, altas temperaturas, incorporación de agua, entre otros.

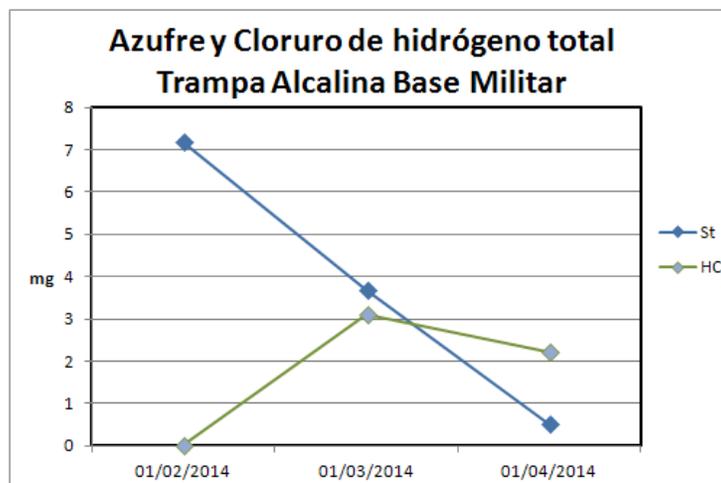


Figura 44. Azufre y cloruro de hidrógeno total- estación Trampa Alcalina Base Militar-Cima volcán Galeras.

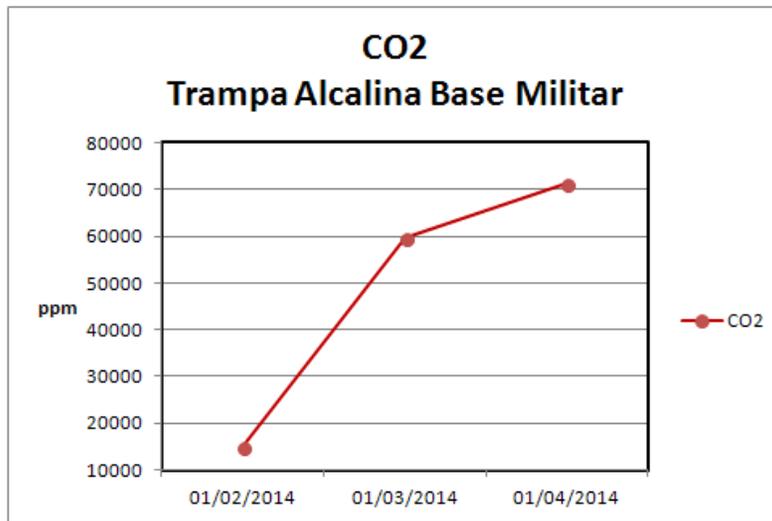


Figura 45. Dióxido de carbono- estación Trampa Alcalina Base Militar-Cima volcán Galeras.

1.5.4 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 46, Tablas 14 y 15).

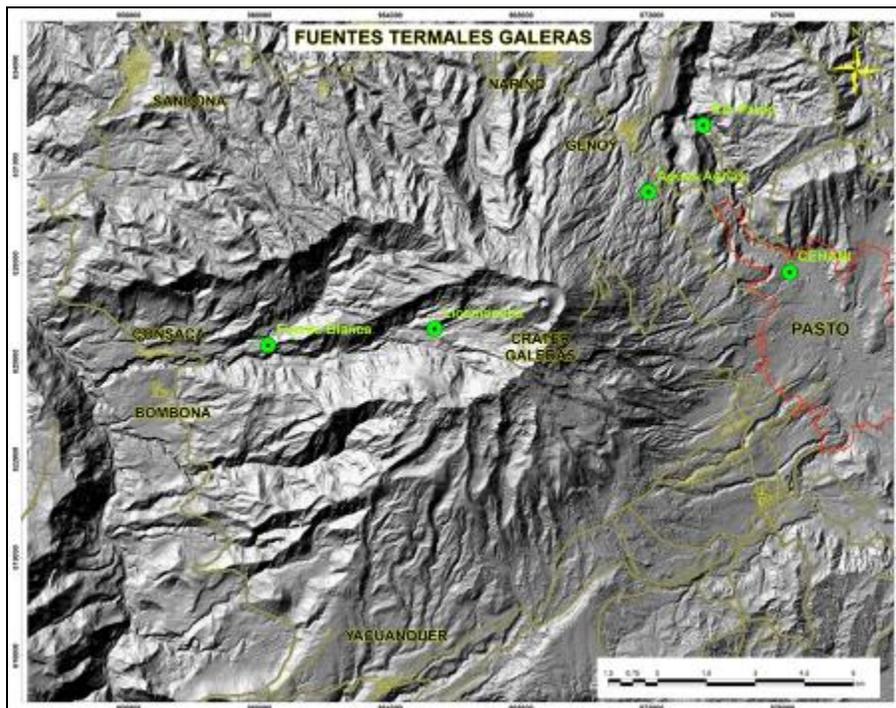


Figura 46. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

Tabla 14. Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras – Mayo de 2014.



Tabla 15. Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Galeras.

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

El trabajo de muestreo en campo para la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos en tres de 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.

En la Figura 47 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de mayo para las FT de la zona de influencia del volcán Galeras. Los colores en las gráficas indican el estado de acidez o basicidad de el manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para pH.

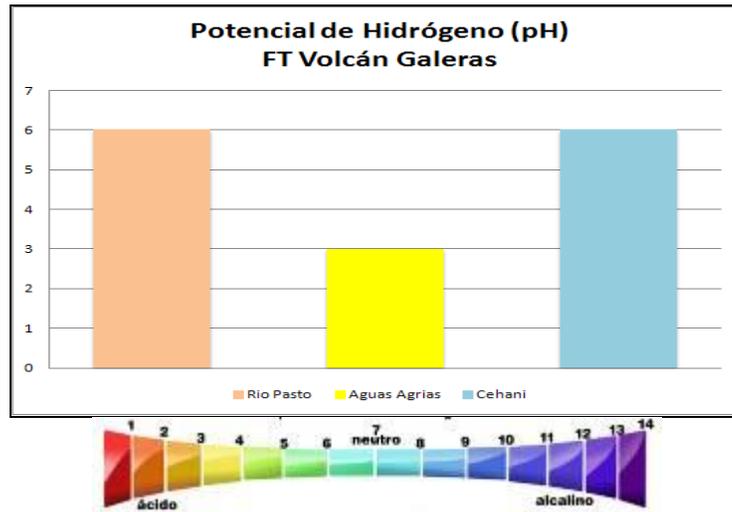


Figura 47. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras en mayo de 2014.

De acuerdo a la gráfica anterior, las fuentes termales de Galeras presentan durante el mes de mayo potenciales de Hidrógeno (pH), entre 3 (ácida) y 6,02 (ligeramente ácido).

En las Figuras 48 y 49 se puede observar las variaciones de temperatura y conductividad eléctrica en el tiempo con respecto a meses anteriores, correspondientes a las FT de la zona de influencia del volcán Galeras registradas en trabajo de campo del mes de mayo.

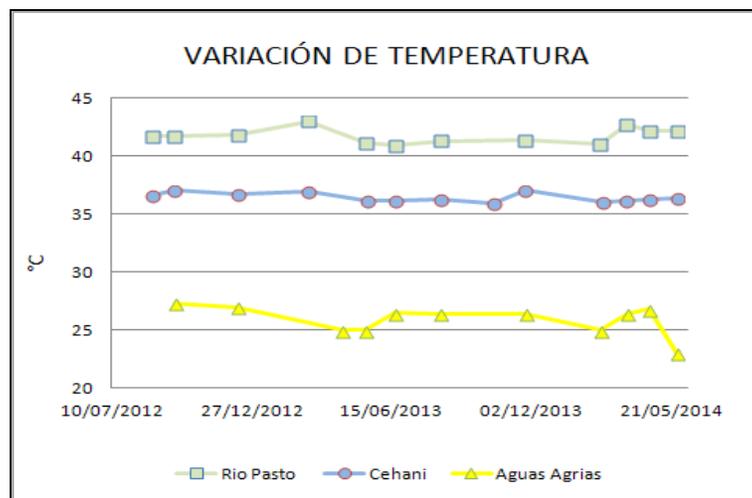


Figura 48. Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - mayo 2014.

Los manantiales de Galeras aquí registrados se clasifican como termales (Tabla 16), de acuerdo a su temperatura:

Tabla 16. 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

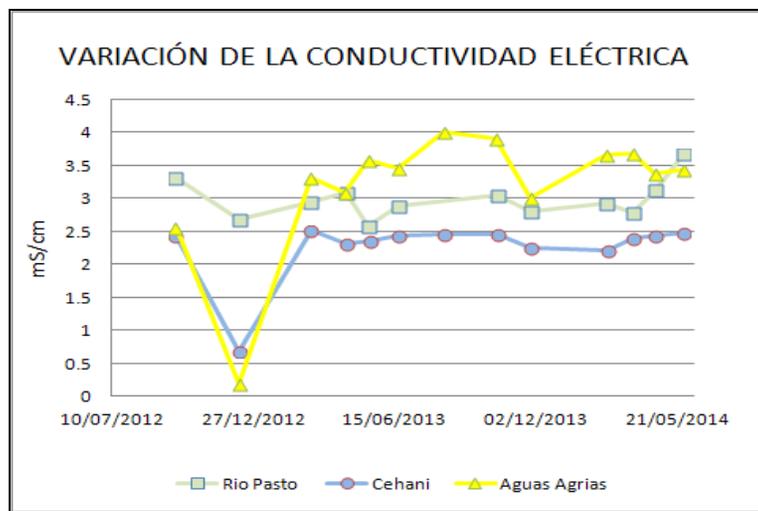


Figura 49. Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - mayo 2014.

- **Fuente termal Río Pasto**

Temperatura superficial: 42,2°C (Temperatura registrada en mayo 2014).

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. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 3,12 S/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 27,5°C. (Temperatura registrada en mayo 2014)

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 3,38mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 36,4°C. (Temperatura registrada en mayo 2014)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Las temperaturas de las manifestaciones termales se encuentran entre los 35°C y 45°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2,43mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

Respecto al comportamiento de las FT de Galeras el parámetro temperatura se observa que para el mes de mayo, las FT Rio Pasto y Cehani continúan con un comportamiento estable con respecto al tiempo, mientras que para la FT Aguas Agrías disminuye su valor.

Sobre la conductividad eléctrica, para el mes de mayo las FT siguen incrementando levemente su valor.

En las Figuras 50 y 51 se presenta la variación del pH y la variación de la concentración del ión bicarbonato en las fuentes termales del área de influencia del volcán Galeras para el mes de mayo:

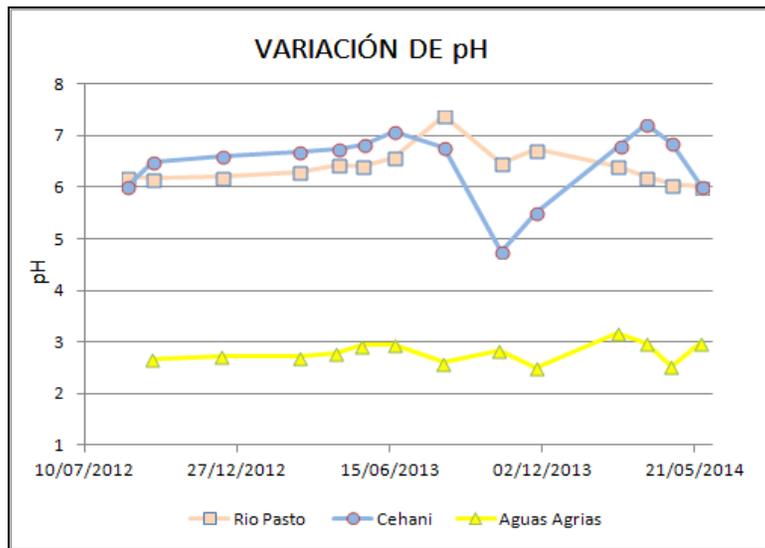


Figura 50. Variación del pH de las FT de Volcán Galeras - mayo 2014.

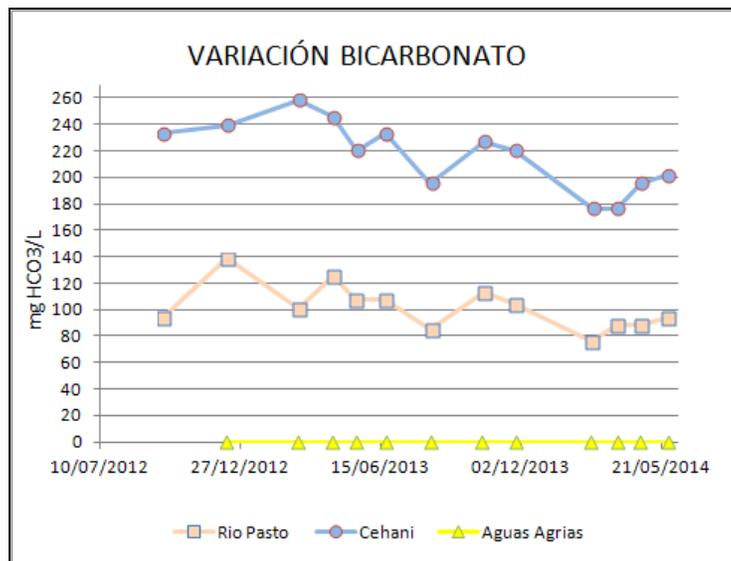


Figura 51. Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras - mayo 2014.

Se puede observar (Figura 51) que continúa incrementándose levemente la concentración del ion HCO_3^- en las FT Río Pasto y Cehani evidenciándose para el mes de mayo, en cuanto a la FT Aguas Agrías hay ausencia de este ión. El pH continúa en descenso en la FT Cehani, mientras que para las FT Río Pasto y Aguas Agrías permanece casi constante.

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, además por ser altamente sulfatada, en la cual podrían estar ocurriendo procesos continuos de oxidación del sulfuro de hidrógeno (H_2S), del azufre nativo (SO_4) o del dióxido de azufre (SO_2).

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

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, con base en los reportes obtenidos del personal en campo en sectores aledaños a la cima volcánica; por reportes de la comunidad o autoridades 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 Barranco Alto y Bruma (NW del cono activo y S respectivamente). Condiciones de clima favorables permitieron observar emisiones de gases durante todo el mes, exceptuando los días 7 y 26 de mayo. La altura máxima registrada fue de 1 km sobre la cima volcánica. La dispersión de las columnas de gases fue variable debido a la acción de los vientos. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, sector norte y occidente de la parte alta del cono volcánico.

En las Figuras 52 a 58 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en mayo de 2014.



Figura 52. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco (Izquierda) y Bruma (Derecha) el 1 de mayo de 2014 a las 6:10 a.m. y a las 7:43 a.m. respectivamente.



Figura 53. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma (Izquierda) y Barranco (Derecha) el 5 de mayo de 2014 a las 9:10 a.m. y a las 9:40 a.m. respectivamente.



Figura 54. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámara web ubicadas en Barranco el 15 de mayo de 2014 a las 5:02 p.m.

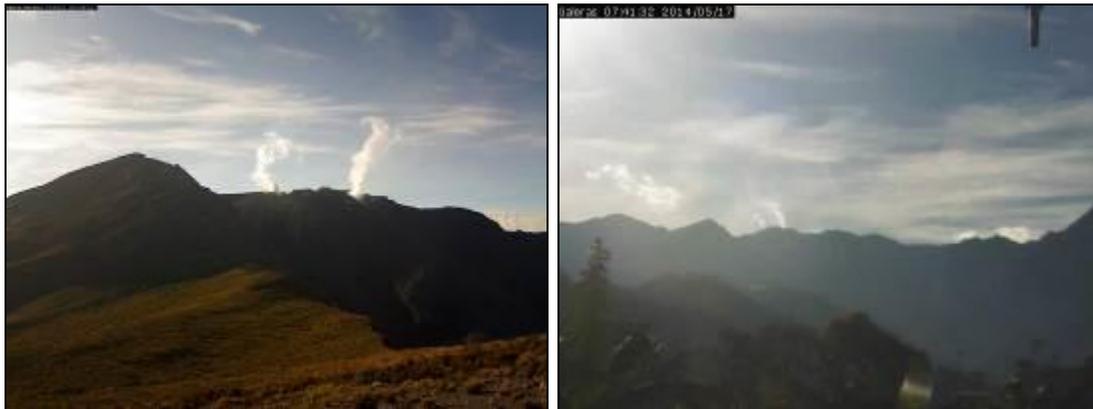


Figura 55. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Izquierda) y Consacá (Derecha) el 17 de mayo de 2014 a las 7:40 a.m.

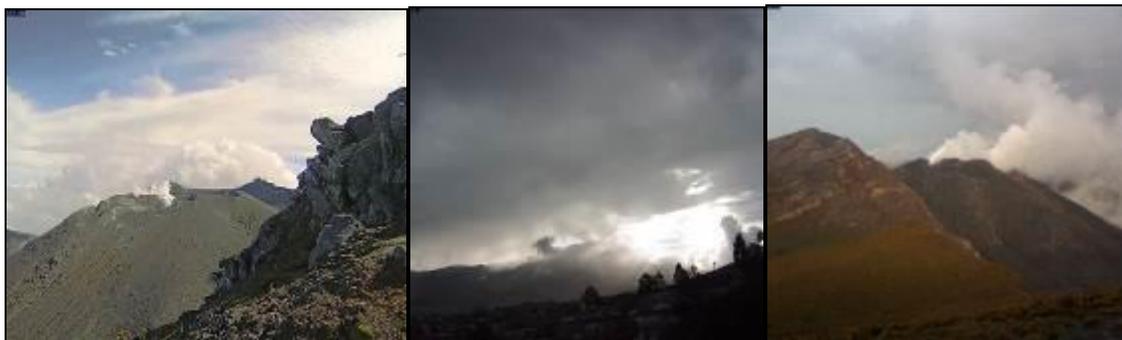


Figura 56. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda), OVSP (Centro) y Barranco (Derecha) el 21 de mayo de 2014 a las 8:56 a.m., 5:09 p.m. y a las 6:24 p.m. respectivamente.



Figura 57. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras ubicadas en la sede del OVSP (Izquierda) y desde Consacá (Derecha) el 22 de mayo de 2014 a las 2:14 p.m. y 2:45 p.m. respectivamente.



Figura 58. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Consacá el 16 de mayo a las 6:31 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 con movimiento de fluidos dentro de la estructura volcánica.
- Los registros de flujo de Dióxido de Azufre (SO_2) reflejan valores que se encuentran en rangos que van desde bajo hasta altos considerados para la actividad de Galeras.

- Por medio de la red de cámaras de video del OVSP y gracias a las condiciones climáticas, la mayor parte del periodo evaluado se evidenció emisiones de gases con columnas que alcanzaron hasta 1 km sobre 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 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 2014

2.1. RED DE VIGILANCIA

En mayo de 2014 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 59, Tabla 17).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 59, Tabla 17).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 59).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 59).

Para este periodo las estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica y la cámara web tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 99% (Figura 60).

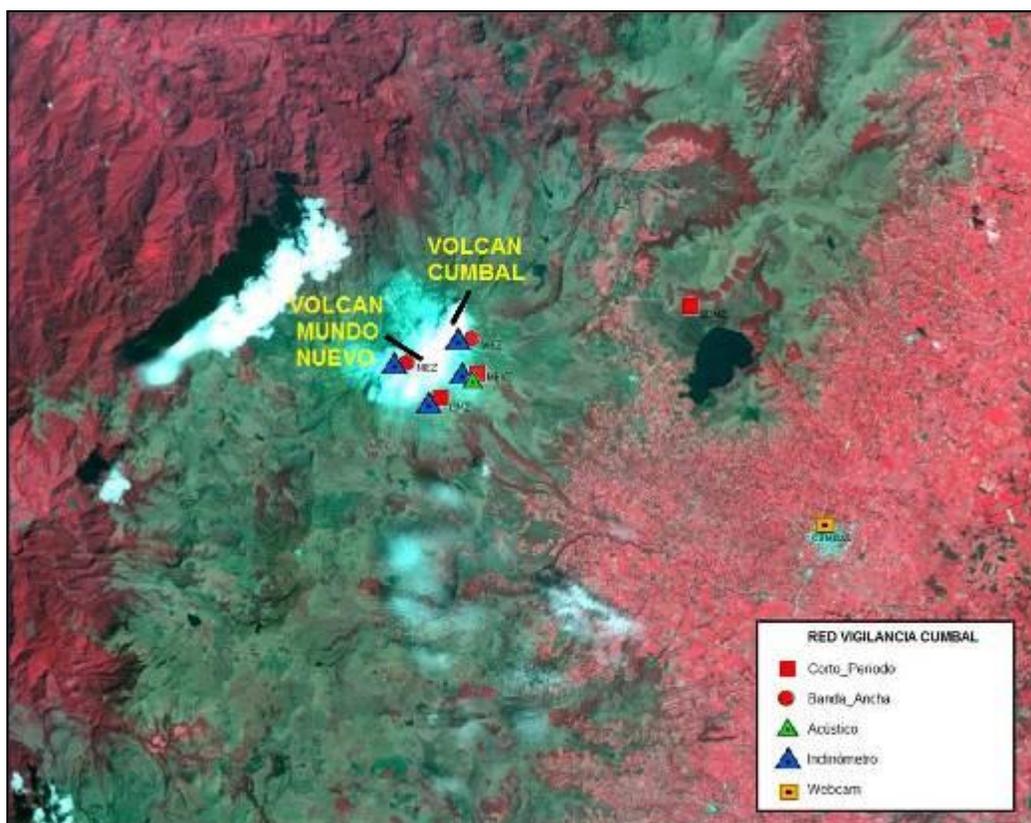


Figura 59. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de mayo de 2014.

Tabla 17. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante mayo de 2014.

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

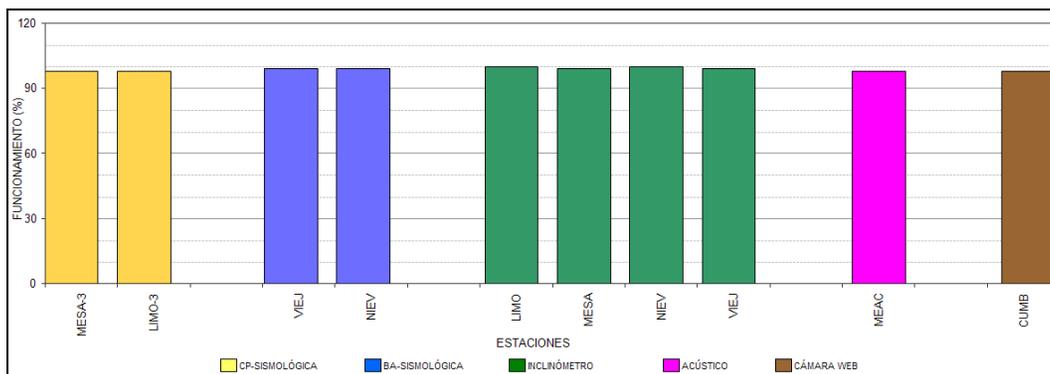


Figura 60. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en mayo de 2014.

2.2. SISMOLOGÍA

En general, en el mes de mayo de 2014, la ocurrencia sísmica aumentó en un 60% en comparación con lo registrado en el mes de abril de 2014, pasando de 553 a 885 eventos sísmicos. La sismicidad dominante en ocurrencia correspondió a sismos LPS en un porcentaje del 39,7%, con el registro de 5 eventos tipo Tornillo – TOR, seguido por los eventos tipo VT con un 23,6%. Por su parte, los eventos tipo HYB y TRE aportaron con el 20,1% y 16,6% respectivamente (Tabla 18, Figuras 61 y 62).

Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo (resaltado en color verde) de 2014.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	TOTAL
01-feb-14 a 28-feb-14	229	779	345	179	5	1532
01-mar-14 a 31-mar-14	216	427	288	142	5	1073
01-abr-14 a 30-abr-14	105	207	175	66	5	553
01-may-14 a 31-may-14	209	351	147	178	5	885

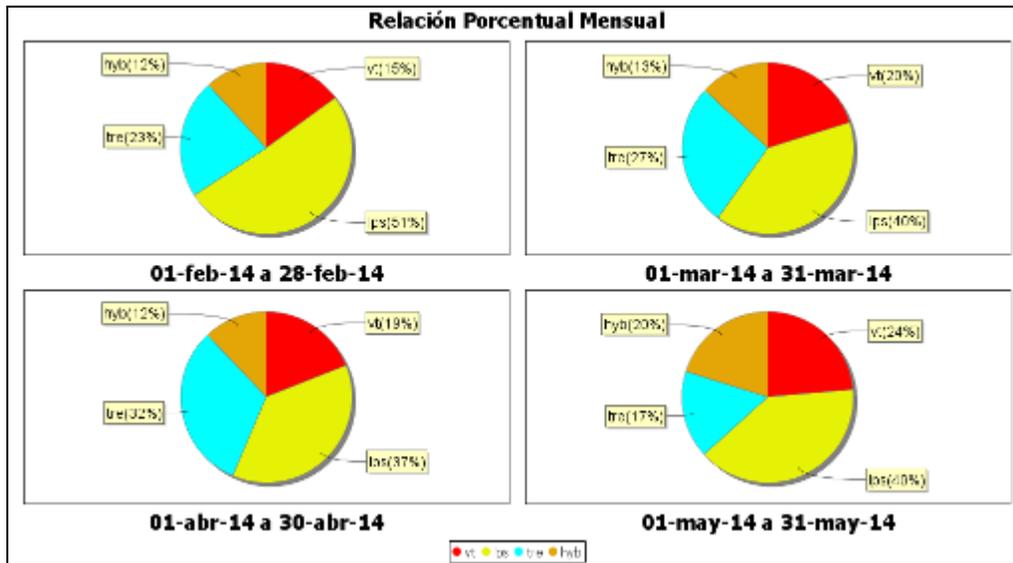


Figura 61. Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre febrero de 2014 y mayo de 2014. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.

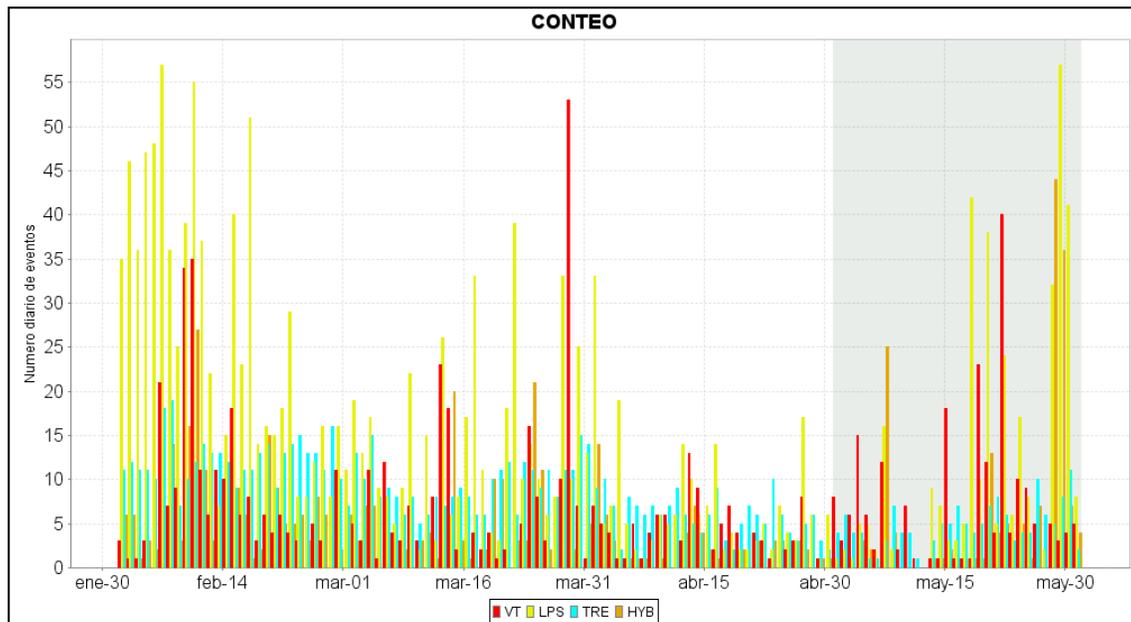


Figura 62. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.

En el transcurso del mes, se observó que la energía sísmica total liberada aumentó en un 3,1% en comparación al valor registrado en el mes anterior, pasando de $1,38 \times 10^{11}$ ergios a $1,42 \times 10^{11}$ ergios, siendo los eventos tipo LPS los que aportaron la mayor energía con un 47,5%, seguidos por los eventos tipo HYB con un 31,9%. Los eventos tipo VT y TRE aportaron con el 14% y 6,6% respectivamente (Tabla 19, Figura 63).

Tabla 19. Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal, entre el 1 de febrero de 2014 y el 31 de mayo (resaltado en color verde) de 2014.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
FEB 01 - FEB 28	6.39E+10	2.41E+11	1.18E+11	1.43E+11	5.66E+11
MAR 01 - MAR 31	3.47E+10	1.44E+11	5.57E+09	6.61E+12	6.80E+12
ABR 01 - ABR 30	1.97E+10	9.59E+10	6.45E+09	1.55E+10	1.38E+11
MAY 01 - MAY 31	1.99E+10	6.74E+10	9.42E+09	4.52E+10	1.42E+11

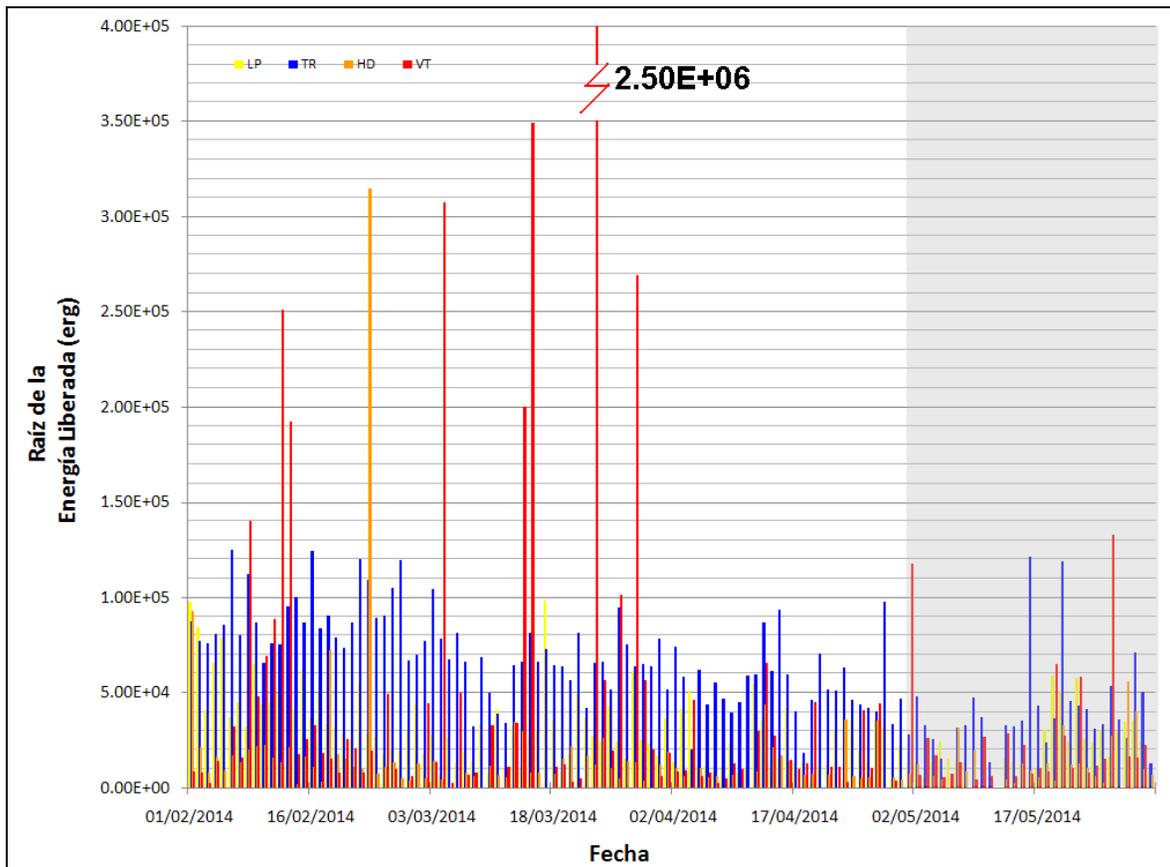


Figura 63. Energía sísmica diaria liberada en términos de su raíz cuadrada para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal por los eventos volcánicos según su tipo registrados entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.

A manera de ejemplo, la Figura 64 muestra el registro del evento asociado con movimiento de fluidos tipo TOR registrado el 24 de mayo de 2014 a las 10:41 p.m. que tuvo una frecuencia dominante de 2,3 Hz.

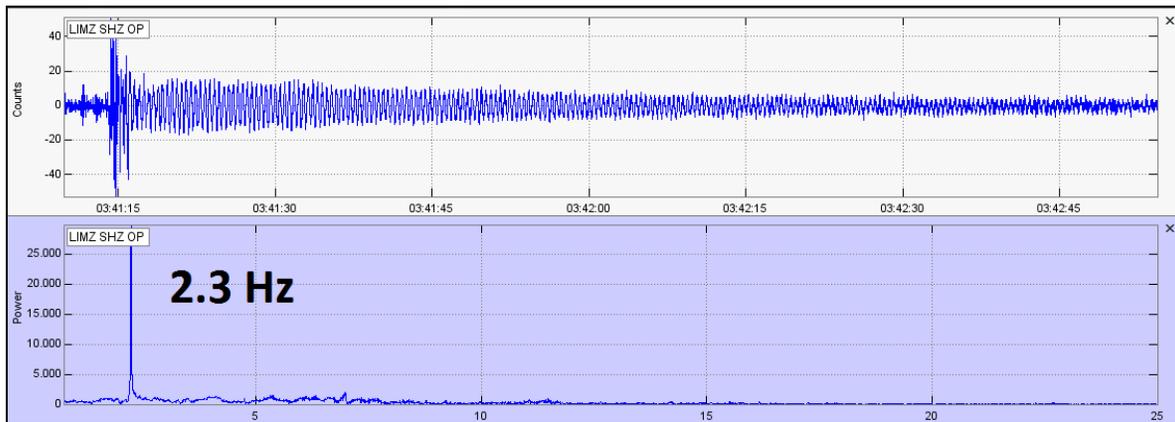


Figura 64. Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 24 de mayo de 2014 a las 10:41 p.m.

Las Figuras 65 y 66 muestran la evolución temporal de las frecuencias dominantes y la duración de los eventos clasificados como TOR registrados por la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal entre julio de 2010 y mayo de 2014. Se resalta que, a diferencia de los eventos registrados en Galeras, este tipo de eventos no muestra en sus parámetros evaluados una tendencia clara así como tampoco una correlación con procesos de presurización del sistema.

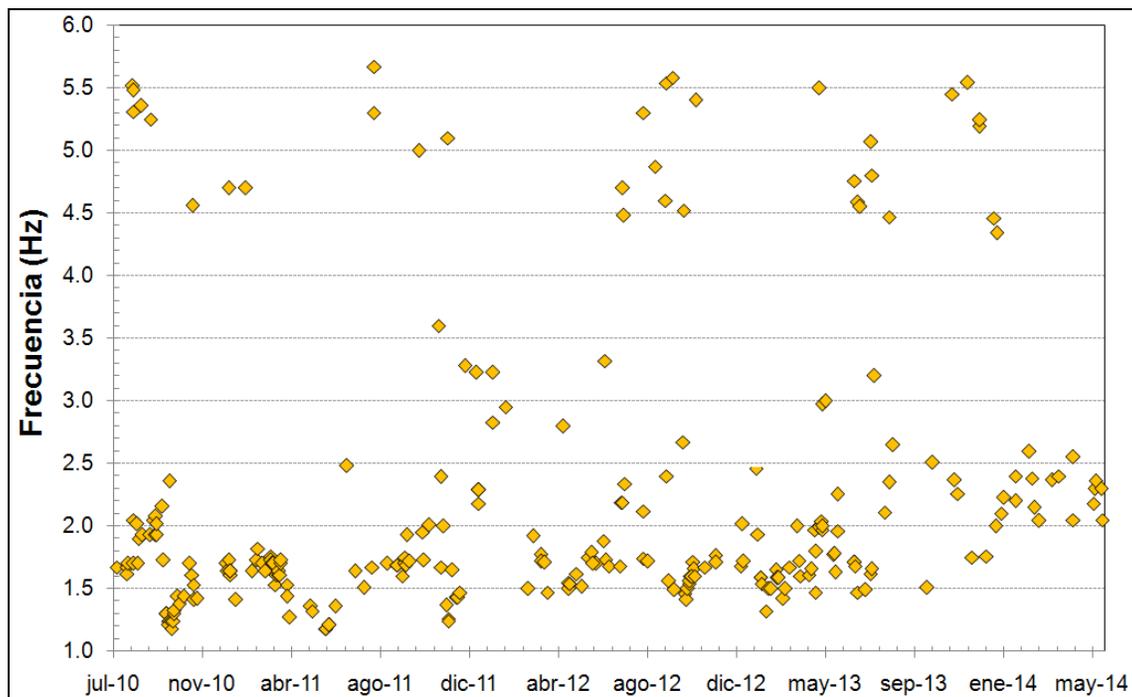


Figura 65. Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de mayo de 2014.

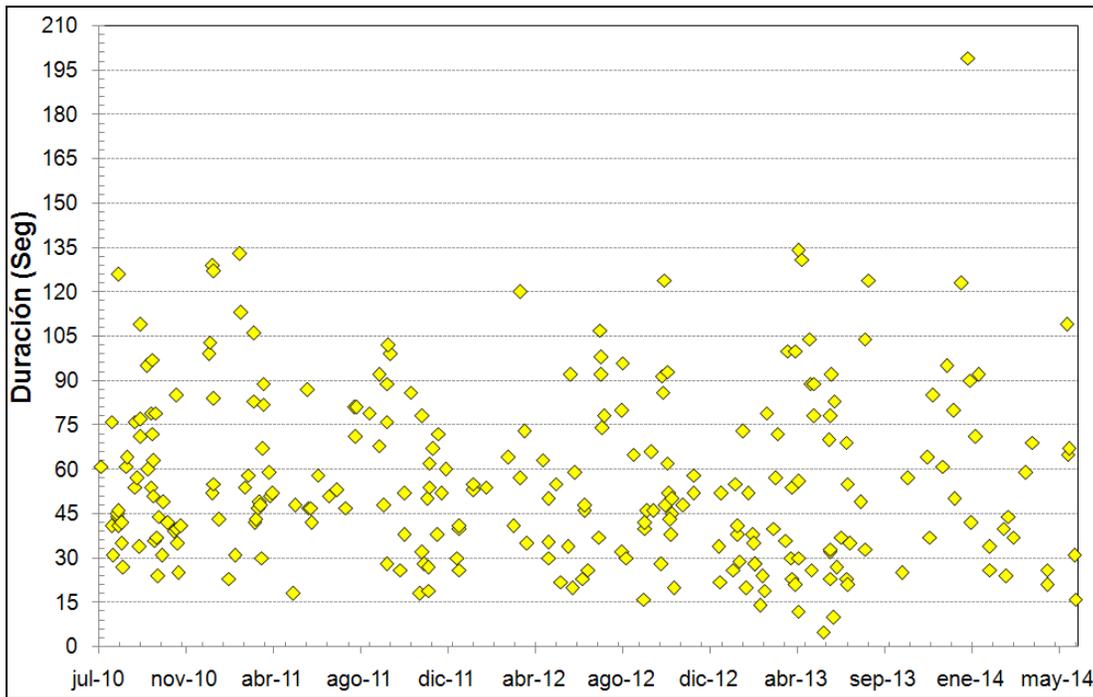


Figura 66. Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de mayo de 2014.

Se resalta que en el volcán Cumbal continúa el registro de enjambres de eventos sísmicos. La Figura 67 muestra el enjambre registrado entre las 3:00 a.m. y 6:00 a.m. del 28 de mayo de 2014, contabilizándose un total de 46 sismos, en su mayoría de fuente transitoria.

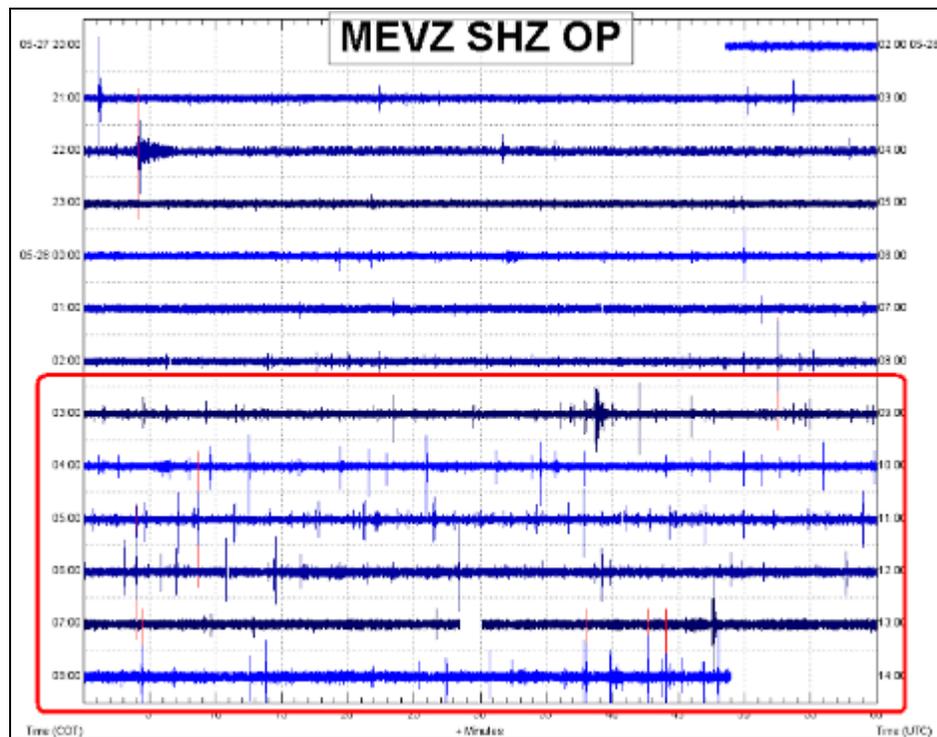


Figura 67. Sismograma de la estación La Mesa del enjambre de eventos sísmicos registrados entre las 3:00 a.m. y 6:00 a.m. del 28 de mayo de 2014.

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 77 sismos (48 VT y 29 HYB), la mayoría de eventos se localizaron en inmediaciones del complejo volcánico Cumbal a menos de 1 km de distancia y profundidades menores a 1,5 km. Algunos eventos se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a distancias menores de 16 km respecto al centro del complejo y a profundidades de hasta 8 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 2,7 en la escala de Richter (Figura 68).

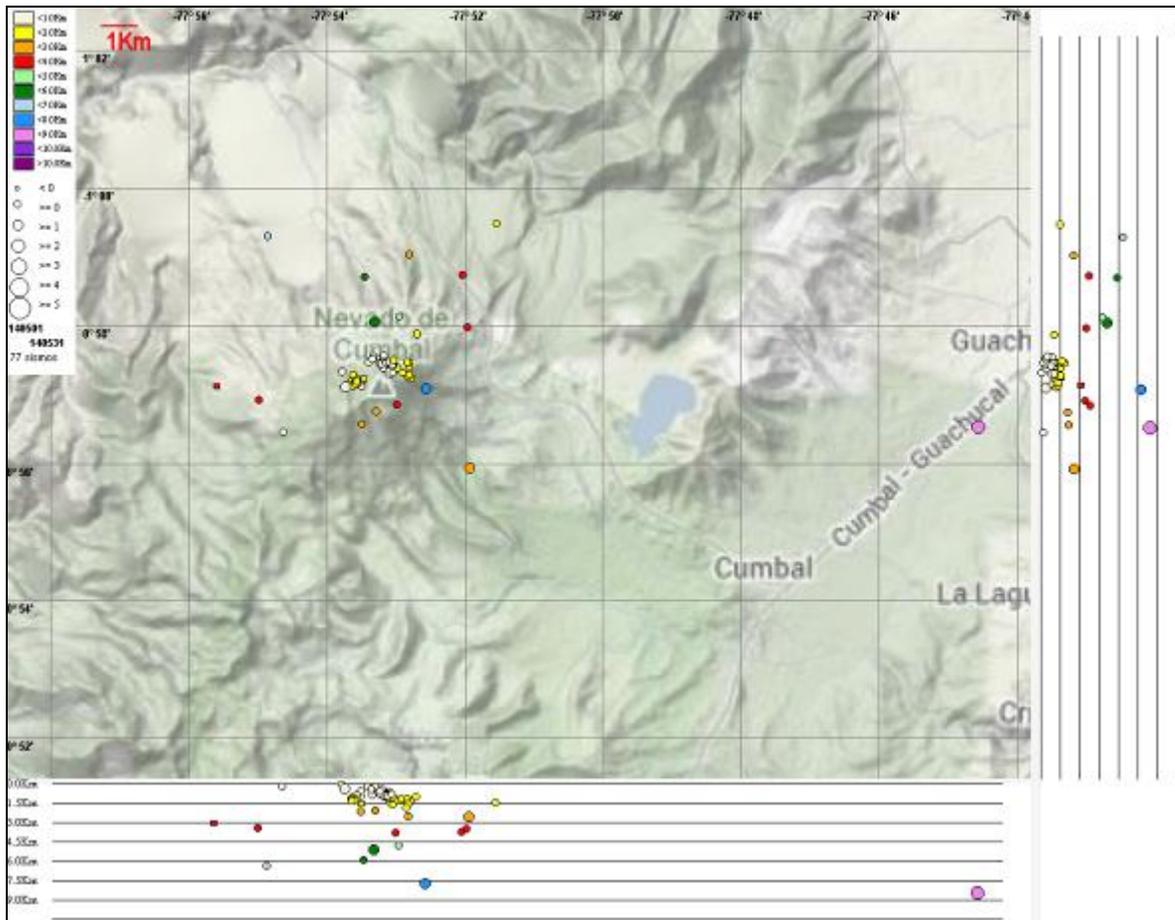


Figura 68. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de mayo de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1,5 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

2.3. DEFORMACIÓN

En relación a los procesos de deformación del edificio volcánico se observó las componentes Norte y Este de los inclinómetros La Mesa (localizado a 2,5 km al este-sureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4270 m.s.n.m.), Limones (ubicado a 1,5 km al sureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4232 m.s.n.m.), Punta Vieja (ubicado a 2 km al noreste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4519 m.s.n.m.) y Nieve (ubicado a 0,2 km al este del cráter Mundo Nuevo del volcán Cumbal, 4696 m.s.n.m.) mantiene un comportamiento estable (Figuras 69, 70, 71 y 72).

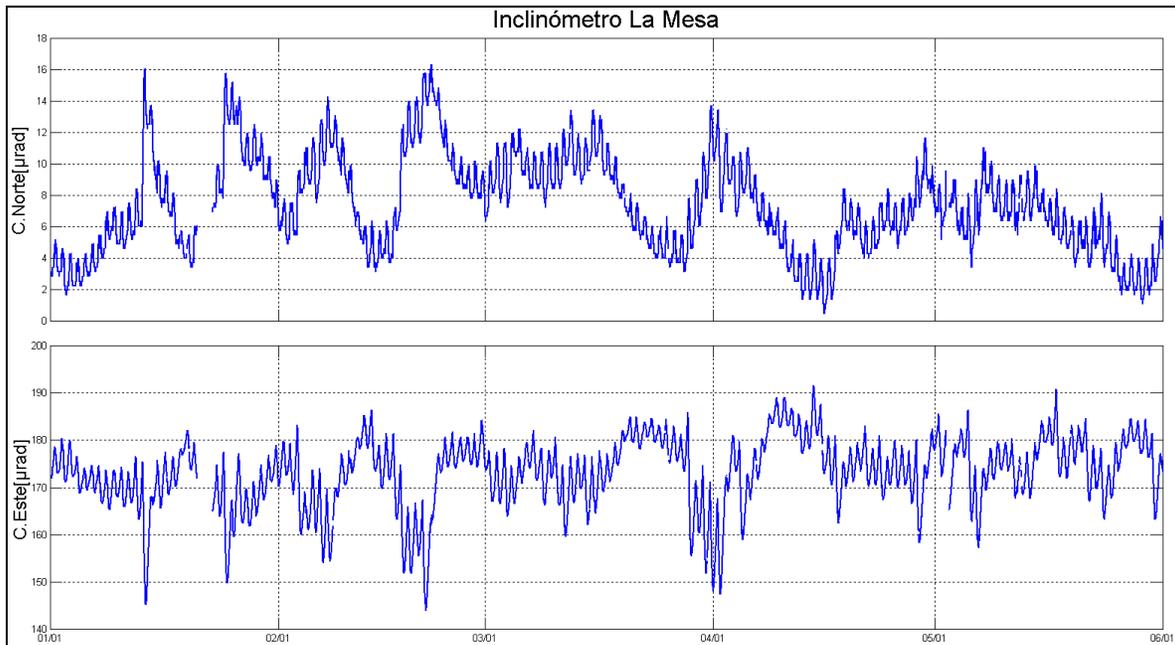


Figura 69. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

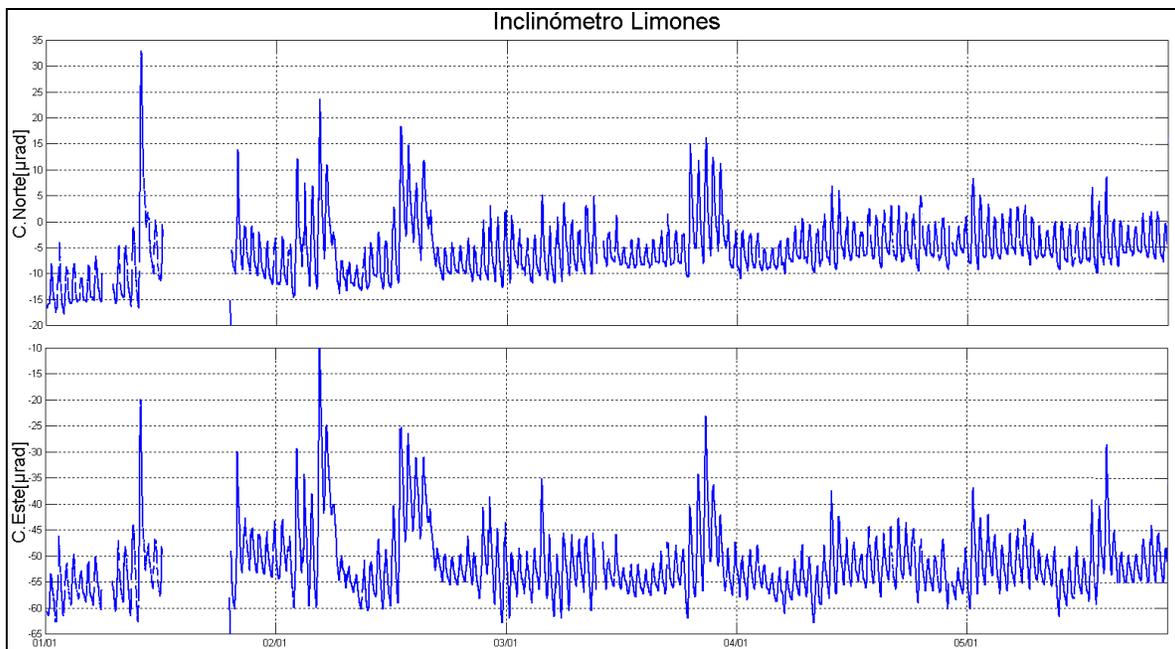


Figura 70. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

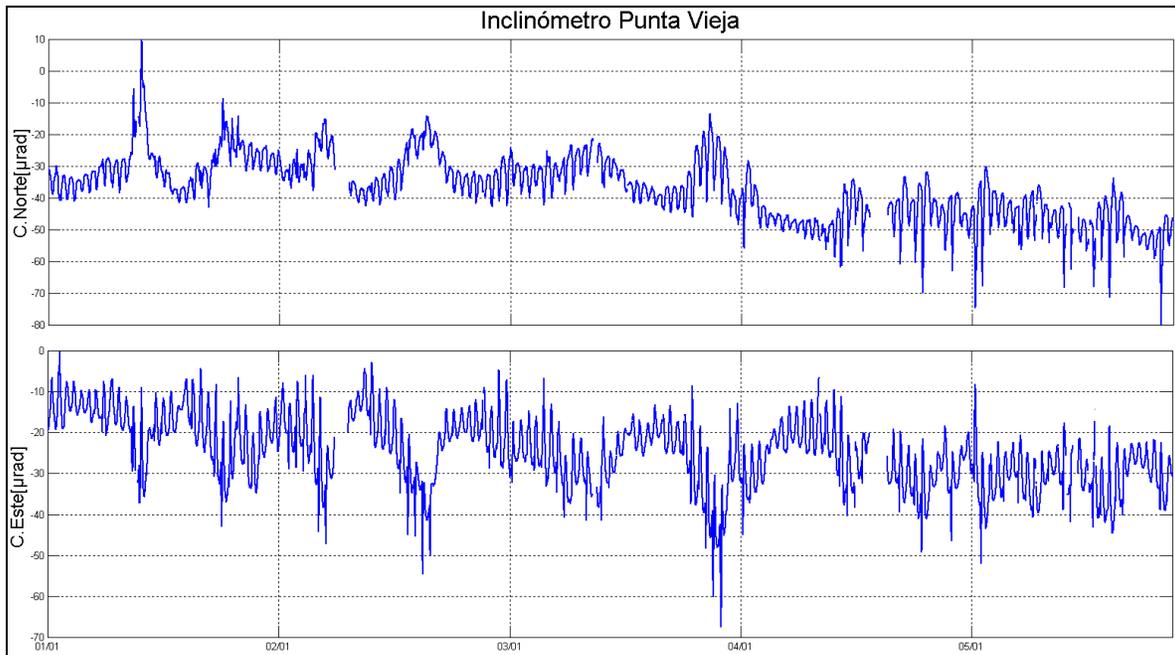


Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

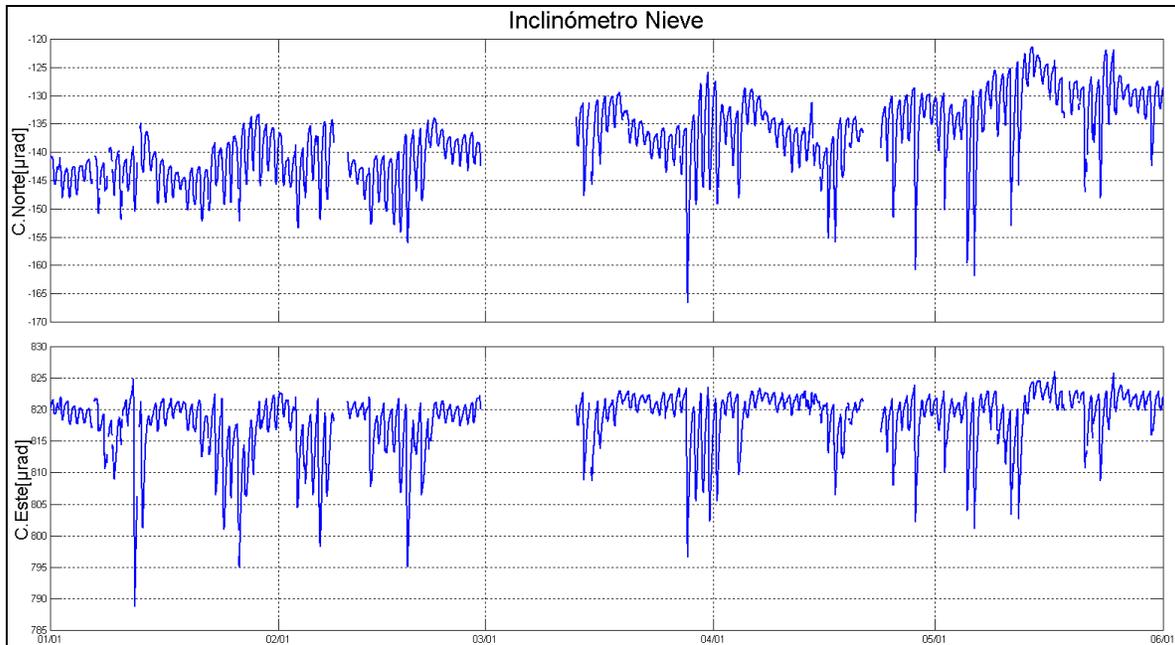


Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En mayo de 2014 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 5, 6, 7, 11, 12, 17, 21, 22 y 23 permitieron observar emisiones de gases de color blanco, provenientes principalmente del campo fumarólico El Verde al costado norte del complejo volcánico, las cuales fueron de baja altura y se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos, en algunas ocasiones se observó emisión de gases proveniente del campo fumarólico Rastrojo, al costado sur del complejo (Figuras 73 y 74).



Figura 73. Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 13 y 17 de mayo a las 5:55 a.m. y a las 6:06 p.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.



Figura 74. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 22 de mayo a las 6:20 a.m. (Izquierda) y a las 7:00 a.m. (Derecha), desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.

2.1.5. CONCLUSIONES

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

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

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran ubicados al suroeste del país, en el departamento de Nariño, más exactamente en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15,5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal. Por su parte el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16,5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal. El acceso se realiza por dos carreteras principales, una que parte desde Chiles hasta Tiuquer en Colombia, y otra desde Tufiño hasta Maldonado en el Ecuador; el ascenso hasta las partes más altas se efectúa por numerosos caminos utilizados por la gente de la región (Figura 75).

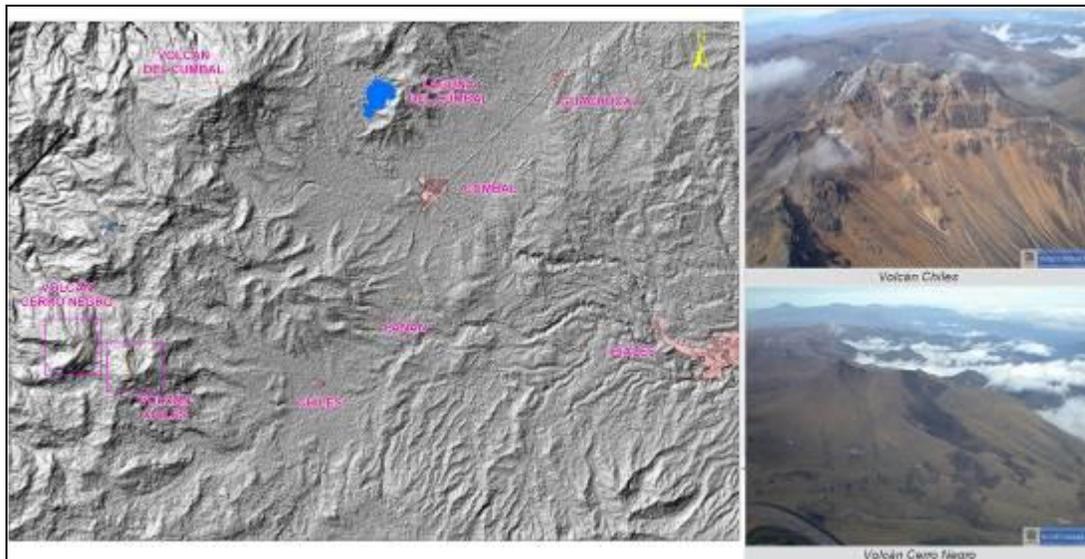


Figura 75. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

3.2. RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo del volcán Chiles está conformada por tres estaciones sísmicas de banda ancha y dos inclinómetros electrónicos, una de las estaciones ubicada en la cima volcánica en el costado occidental, otra en el sector denominado El Morro, ubicado al nororiente del volcán y la última denominada Canguil, instalada el 21 de mayo de 2014 ubicada a 5,5 km al nor-noroccidente del volcán Chiles. Por su parte, la red de monitoreo del volcán Cerro Negro está conformada por una estación sísmica de banda ancha y un inclinómetro electrónico, ubicada al noroccidente de la parte alta del volcán (Figura 76, Tabla 20).

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 87% (Figura 77). El porcentaje de funcionamiento

de la estación sísmica Canguil fue del 20% ya que el 23 de mayo salió de funcionamiento debido a una tormenta eléctrica.



Figura 76. Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.

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

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
El Morro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1,9	NNE	4068
I. El Morro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1,9	NNE	4068
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. Cerro Negro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,5	NNW	3788

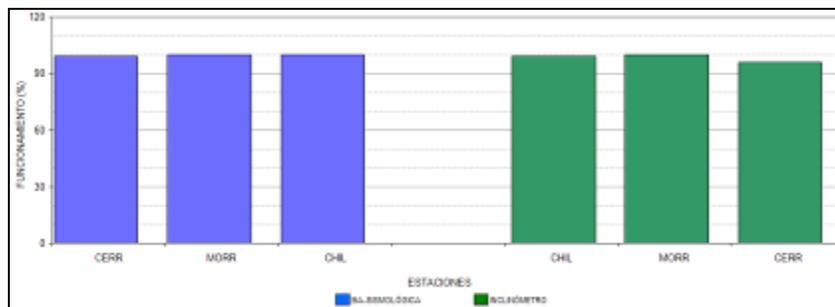


Figura 77. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante mayo de 2014.

3.3. SISMOLOGÍA

Respecto a la actividad de complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de mayo de 2014 la ocurrencia sísmica aumentó en un 11,7% respecto a la registrada en abril de 2014, pasando de un total de 27838 a 31105 sismos tipo VT (Figura 78, Tabla 21), de los cuales se localizaron 1250 eventos, ubicados en su mayoría entre 1 y 6 km al suroccidente de Chiles (4,5 al suroriente de Cerro Negro), con profundidades de hasta 6 km respecto a la cima volcánica. Algunos eventos se ubicaron de manera dispersa hacia el suroriente del edificio volcánico, a distancias de hasta 8,5 km con profundidades menores a los 8 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 4,4 en la escala de Richter (Figura 79), sin embargo la mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 2 en la escala de Richter.

Tabla 21. 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 2014.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VOL	TOTAL
01-feb-14 a 28-feb-14	793	0	0	0	0	793
01-mar-14 a 31-mar-14	13530	0	0	0	0	13530
01-abr-14 a 30-abr-14	27838	0	0	0	0	27838
01-may-14 a 31-may-14	31105	0	0	0	0	31105

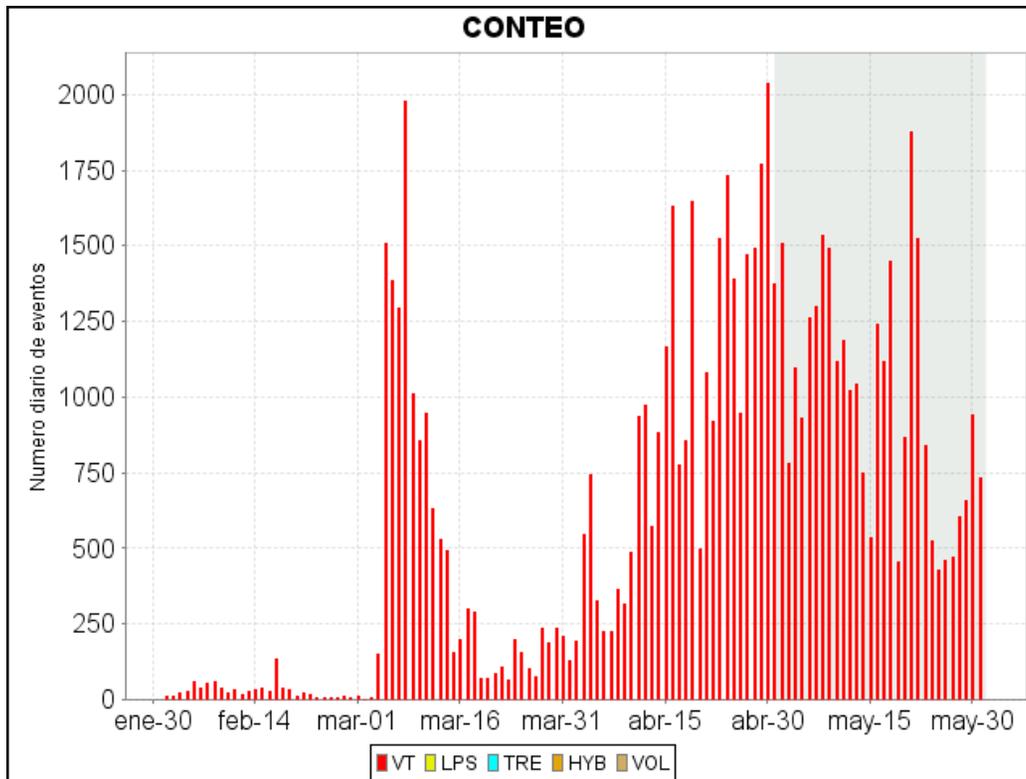


Figura 78. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.

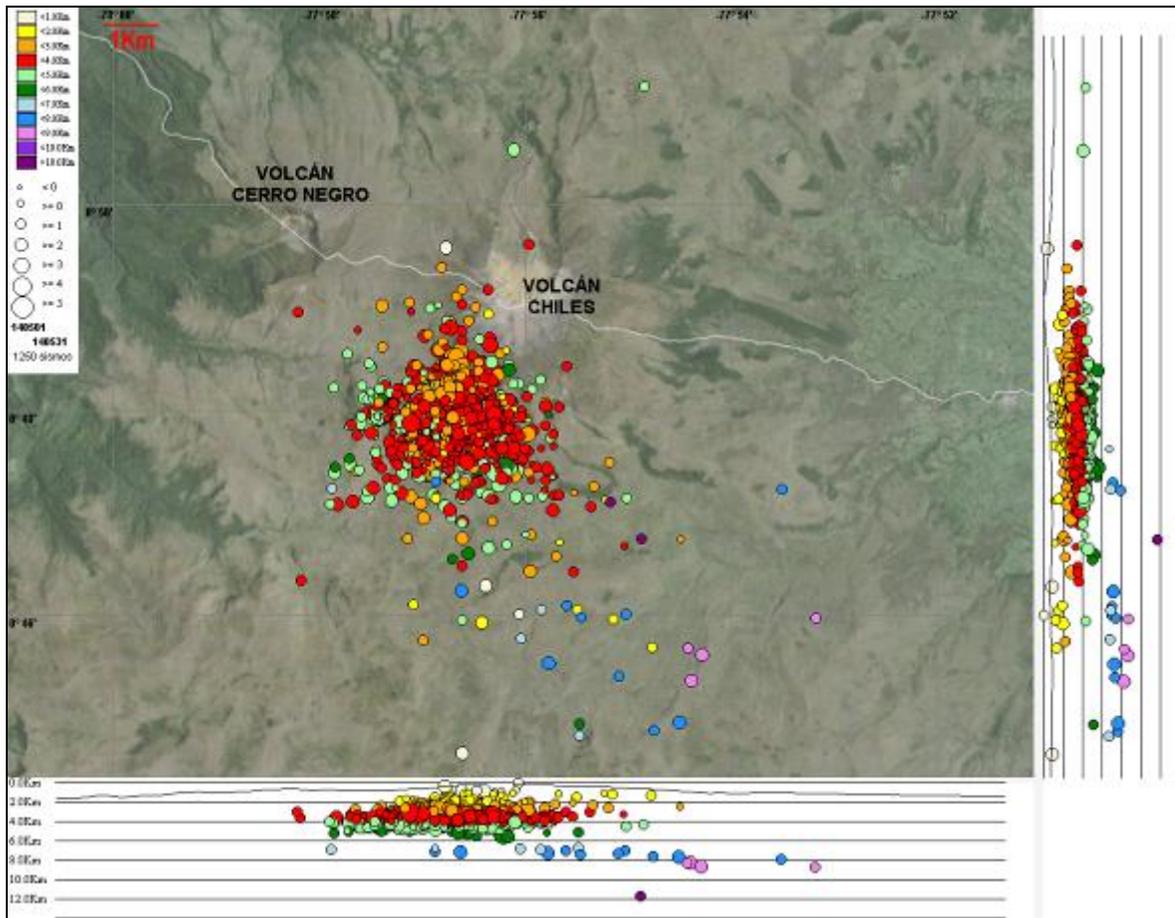


Figura 79. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de mayo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

Se aclara que debido a que los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran separados tan solo por 4 km de distancia, existe la incertidumbre si los sismos registrados son parte de la actividad del volcán Chiles o del Volcán cerro Negro.

De la sismicidad registrada se tuvo reporte de 18 eventos como sentidos, sentidos por habitantes del resguardo Indígena de Chiles, Municipio de Cumbal (N). La mayoría se ubicaron entre 3 y km al suroccidente del volcán Chiles, con profundidades entre los 2 y 6 m respecto a la cima volcánica (Figura 80).

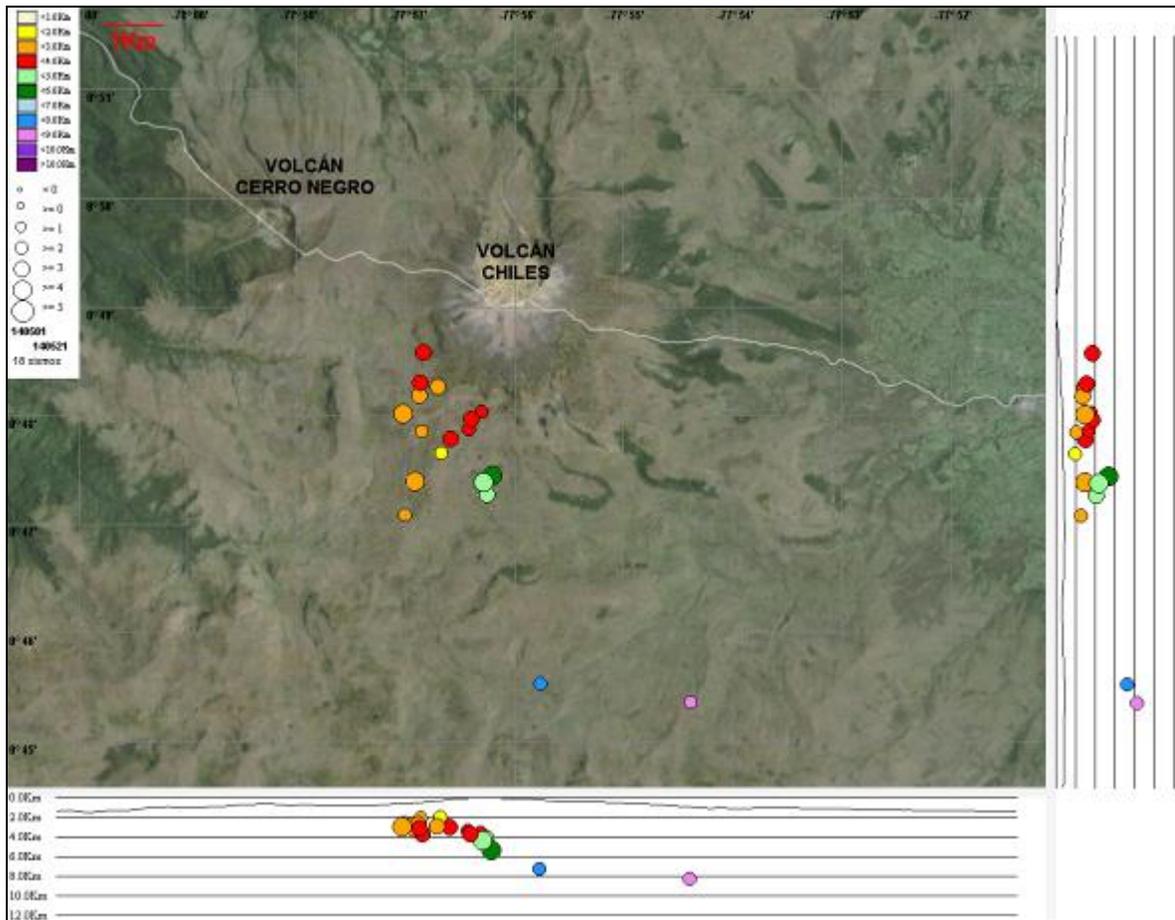


Figura 80. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura reportados como sentidos, en el mes de mayo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

3.4. DEFORMACIÓN

La red de deformación en el volcán Chiles está conformada por dos inclinómetros electrónicos: Chiles y el Morro, ubicadas en la cima volcánica en el costado occidental y en el sector denominado El Morro, al nororiente del volcán, respectivamente. Y para el seguimiento de los cambios en deformación, en el volcán Cerro Negro se tiene un inclinómetro electrónico, ubicado al noroccidente de la parte alta del volcán y recibe el mismo nombre.

Respecto a los cambios registrados por las componentes Norte y Este del inclinómetro Chiles, para el periodo evaluado se muestra un comportamiento estable, con fluctuaciones por debajo de los 20 μ rad (Figura 81).

Las componentes Norte y Este del inclinómetro El Morro continúan con el comportamiento descendente registrado desde el pasado 6 de abril, acumulando hasta el 31 de mayo de 2014 variaciones cercanas a los 30 μ rad y 40 μ rad respectivamente (Figura 82).

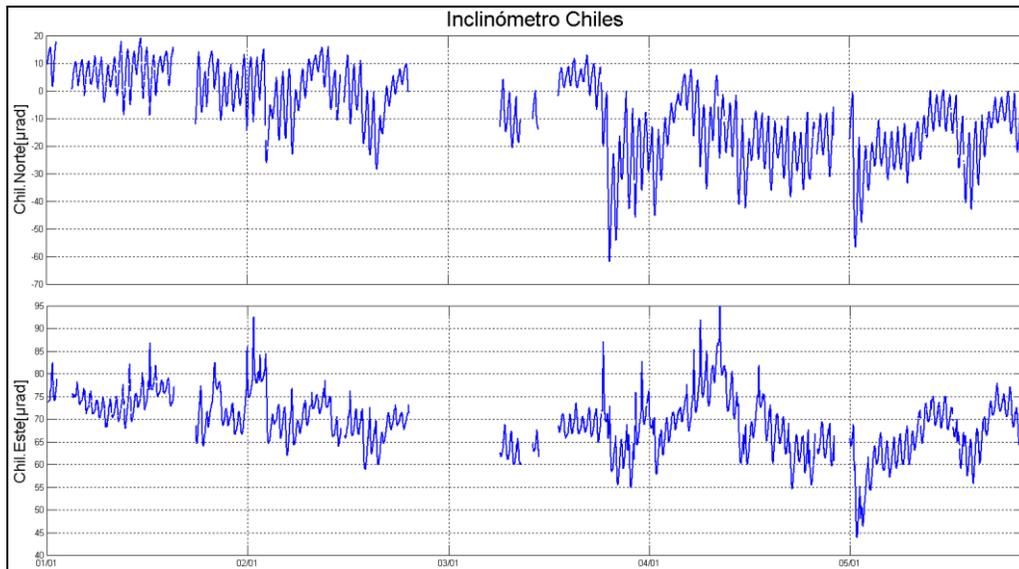


Figura 81. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre enero y mayo de 2014.

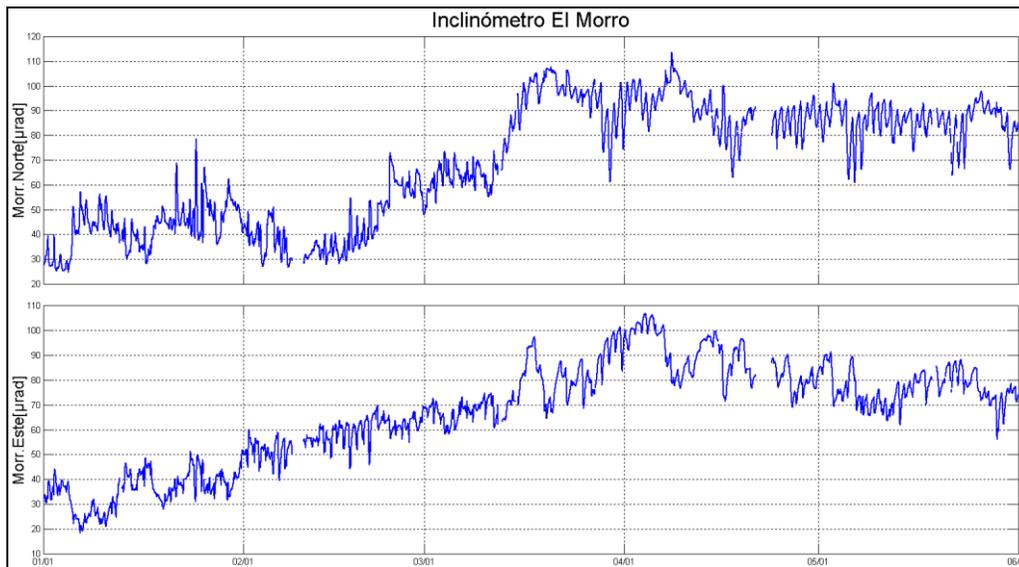


Figura 82. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre enero y mayo de 2014.

En la Figura 83 se presenta el registro del Inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, el cual continúa con el comportamiento ascendente desde el 14 de diciembre de 2013, acumulando hasta el 31 de mayo de 2014, cerca de 1300 μrad y 1050 μrad , tanto para la componente Norte y Este respectivamente.

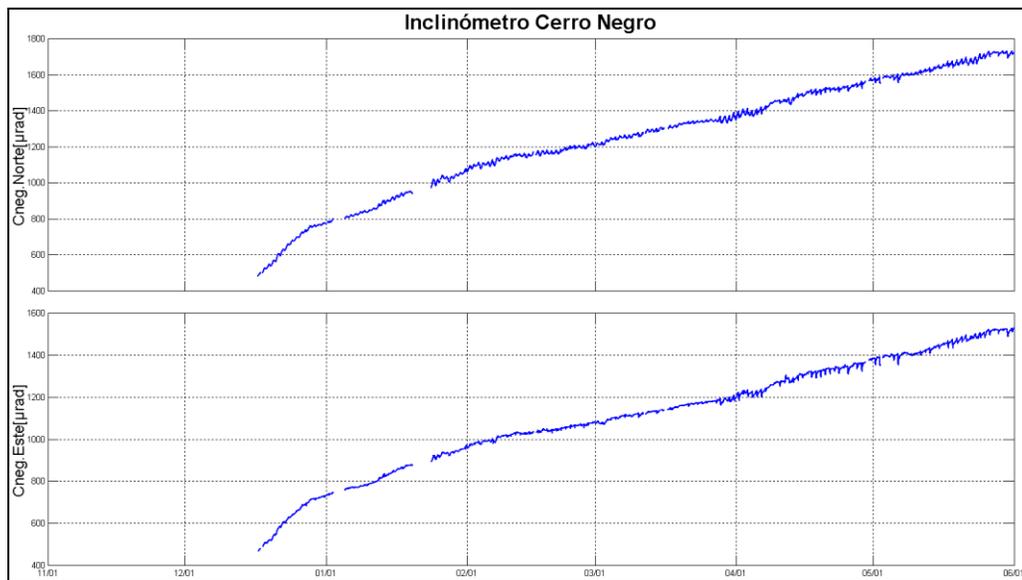


Figura 83. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y mayo de 2014.

3.5. GEOQUÍMICA

3.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- Volcán Chiles

A partir de este mes se empieza con el muestreo en el volcán Chiles debido a la reactivación de este volcán. De esta manera se inicia con una red actual de monitoreo de 4 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Baño Grande, FT Las Hediondas, FT Lagunas Verdes, FT Río Blanco. (Figura 84, 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 84. Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles.

Tabla 22. Ubicación geográfica de las fuentes termales del área de influencia del volcán Chiles.

FUENTE TEMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
BAÑO GRANDE		0.81282°	77.86624°	3318
AGUAS HEDIONDAS		0.81256°	77.90923°	3613
LAGUNAS VERDES		0.80758°	77.92791	3894
RÍO BLANCO		0.84928°	77.94092°	3611

En la Figura 85 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de mayo para las FT de la zona de influencia del volcán Chiles. Los colores en las gráfica indican el estado de

acidez o basicidad de el manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para PH.

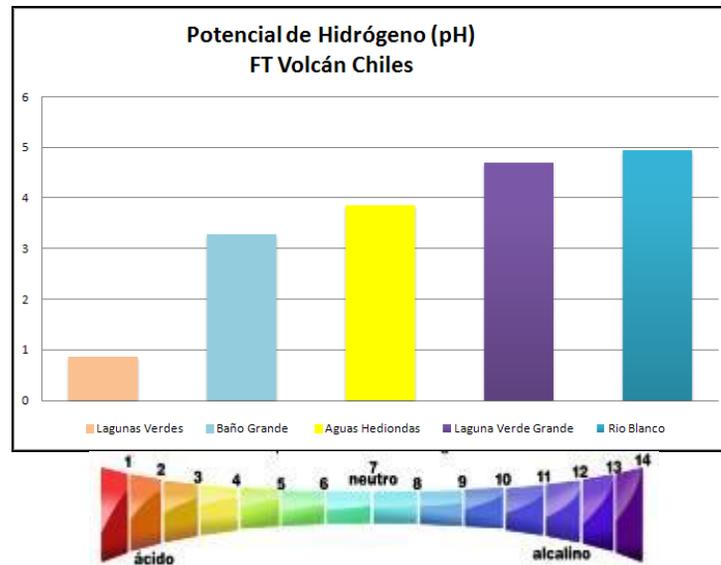


Figura 85. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Chiles - mayo 2014.

Las fuentes termales de Chiles presentan durante el mes de mayo potenciales de Hidrógeno (pH), entre 0.9 y 4.9 (ácido).

En las Figuras 86 a 90 se muestran imágenes capturadas con la cámara térmica FLIR T440 en las cuales se observa el rango de temperaturas presentes en cada una de las termales.



Figura 86. FT Baño Grande: Rango (23.8°C-40.4°C), con un máximo de 41.6°C.



Figura 87. FT Baño Grande: Rango (27.6°C-43.9°C), con un máximo de 44.3°C.



Figura 88. FT Aguas Hediondas: Rango (32.2°C-58.2°C), con un máximo de 58.7°C.

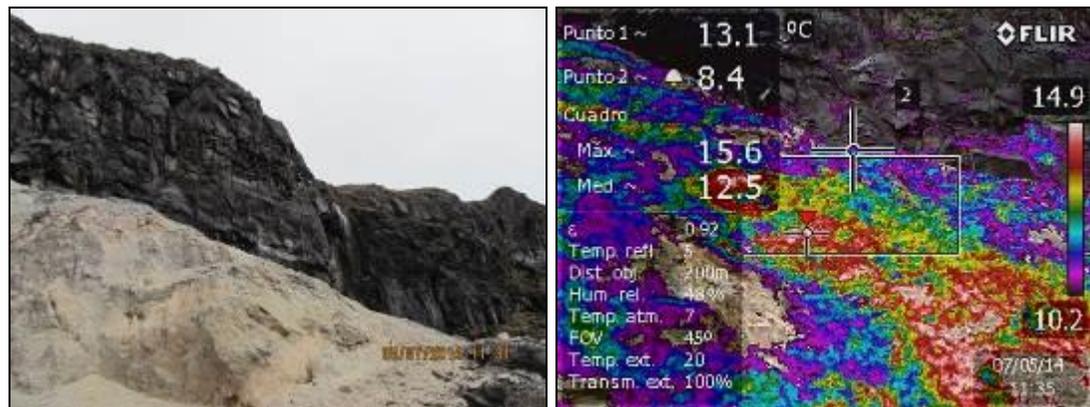


Figura 89. Sector Lagunas Verdes fuente de agua: Rango (10.2°C-14.9°C), con un máximo de 15.6°C.

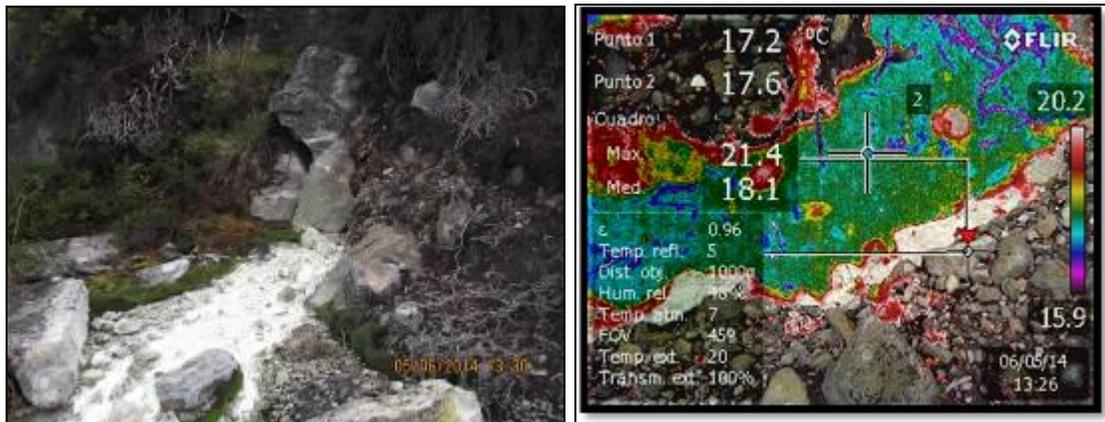


Figura 90. FT Río Blanco: Rango (15.9°C-20.2°C), con un máximo de 58.7°C.

En las Tablas 23 y 24 se presenta un comparativo de los datos fisicoquímicos anteriores a 2014 de las FT Aguas Hediondas y Baño Grande.

Tabla 23. Datos fisicoquímicos FT Aguas Hediondas 1996-2014.

MANANTIAL	AGUAS HEDIONDAS			
Municipio	Tufino			
Datos fisicoquímicos	1996	1997	2013	2014
pH	5.7	4.9	4.5	3.85
Temperatura (°C)	54.5	46	67	55
Conductividad eléctrica (μS/cm)	N.A	1800	1190	2630

Tabla 24. Datos fisicoquímicos FT Baño Grande 1996-2014.

MANANTIAL	BANO GRANDE		
Municipio	Cumbal		
Datos fisicoquímicos	1996	1997	2014
pH	6,8	6,22	3,28
Temperatura (°C)	40.5	40.3	44.4
Conductividad eléctrica (μS/cm)	N.A	1117	1570

En la Figura 91 se puede observar la variación de la variable temperatura para las FT Aguas Hediondas y Baño Grande.

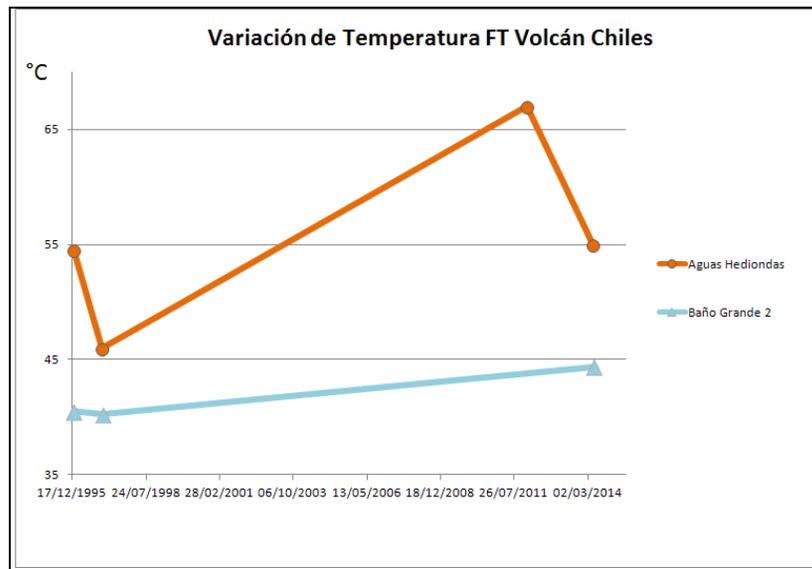


Figura 91. Variación de temperatura en las FT de Volcán Chiles - mayo 2014.

Con respecto al comportamiento de las FT Aguas Hediondas y Baño Grande en parámetros como la temperatura se puede apreciar que hay un incremento en la FT Baño Grande y una disminución en la FT Aguas Hediondas (Tabla 23).

En cuanto al pH, puede evidenciarse grandes variaciones; en la cual la FT Aguas Hediondas inicia siendo un manantial ligeramente ácido para el año 1996 y para 2014 su pH disminuye hasta encontrar un pH altamente ácido. La FT Baño Grande inicia para el año 1996 con un pH de 6,8 y para 2014 disminuye su valor hasta 3,3, presentándose como un sistema al igual que Aguas Hediondas altamente ácida (Figura 92, Tablas 23 y 24).

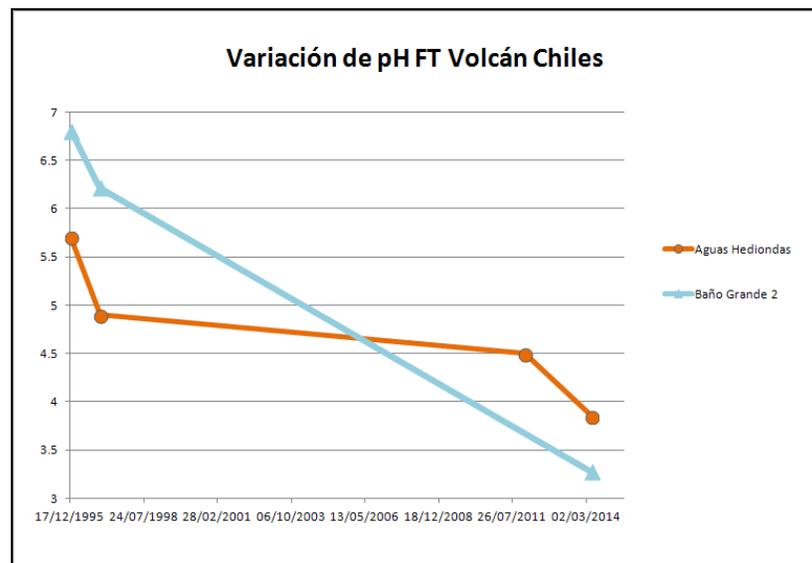


Figura 92. Variación del pH en las FT de Volcán Chiles - mayo 2014.

En la Figura 93, se observa la variación de la conductividad eléctrica, la cual se vio incrementada en los dos manantiales (Figura 93, Tablas 23 y 24).

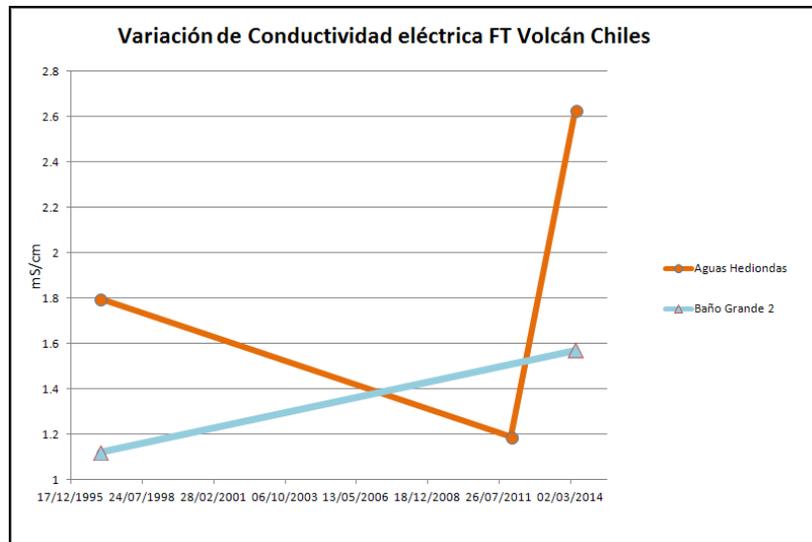


Figura 93. Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Chiles - mayo 2014.

Se aclara que debido al corto tiempo de muestreo, se hace necesario continuar con un seguimiento a estos parámetros y lograr construir una línea base para este propósito, de esta manera tendremos datos comparables y lograremos identificar cambios geoquímicos importantes.

- **Nacimiento de agua Lagunas Verdes**

Durante el trabajo realizado en el mes de mayo, se realizó un recorrido a la zona de influencia del volcán Chiles y Cerro Negro, donde se observó una posible fuente de agua dentro de un campo fumarólico en el que se evidenció olores azufrados altamente concentrados y actividad superficial (desgasificación). En la Tabla 25, se encuentran los datos de los parámetros fisicoquímicos, resultando un pH altamente ácido y una conductividad elevada, parámetros relevantes dentro de esta medición.

Tabla 25. Datos fisicoquímicos Fuente de agua Lagunas Verdes-2014.

MANANTIAL	LAGUNAS VERDES
Datos fisicoquímicos	2014
pH	0.86
Temperatura (°C)	10.1
Conductividad eléctrica (μS/cm)	12590

De acuerdo con estas características preliminares de los manantiales para el volcán Chiles, en el que se presentan pH muy bajos e incremento tanto en la conductividad como la temperatura se podría sugerir un input de gases ácidos de origen magmático en el sistema hidrotermal que se podrían estar incorporando a la fase líquida de tal manera que el vapor condensado en ascenso y aguas meteóricas, podrían inducir a aguas ricas en especies de origen magmático.

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de mayo de 2014 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.7. CONCLUSIÓN

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de mayo de 2014 permitió mantener para la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “**Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica**”.

4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MAYO DE 2014

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 94).

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

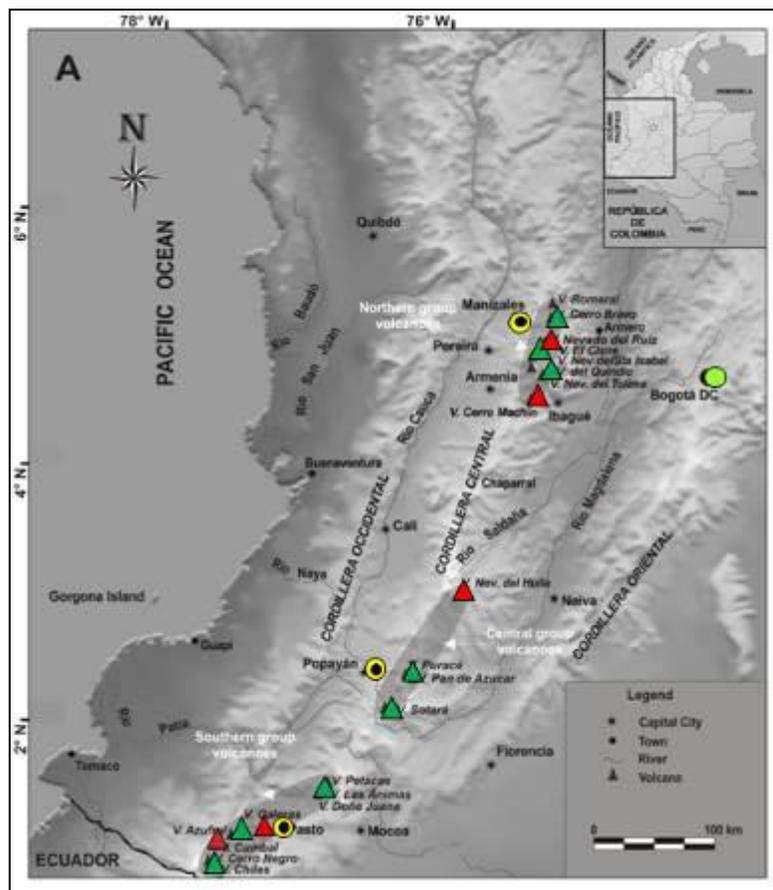


Figura 94. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.

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

4.1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

4.1.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente 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 95).

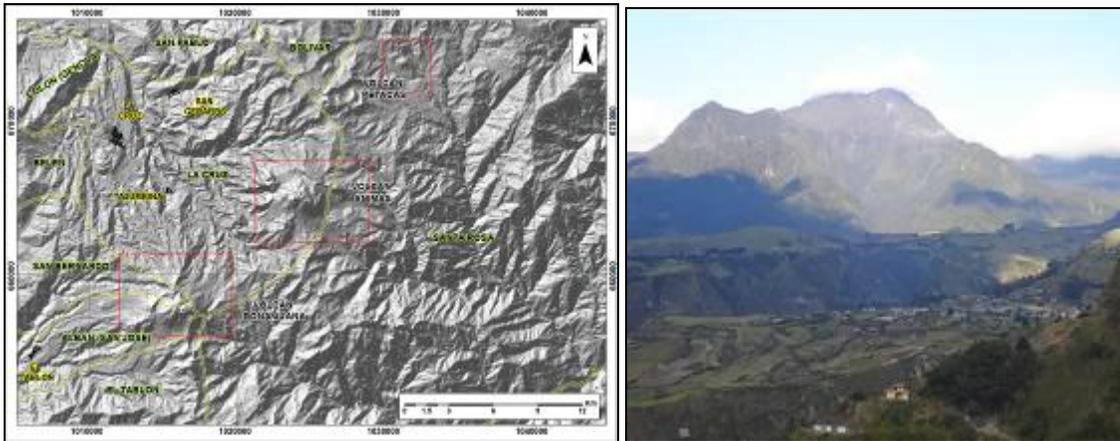


Figura 95. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

4.1.2. Red de vigilancia

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

En la Figura 96 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 26 se consignan sus características.

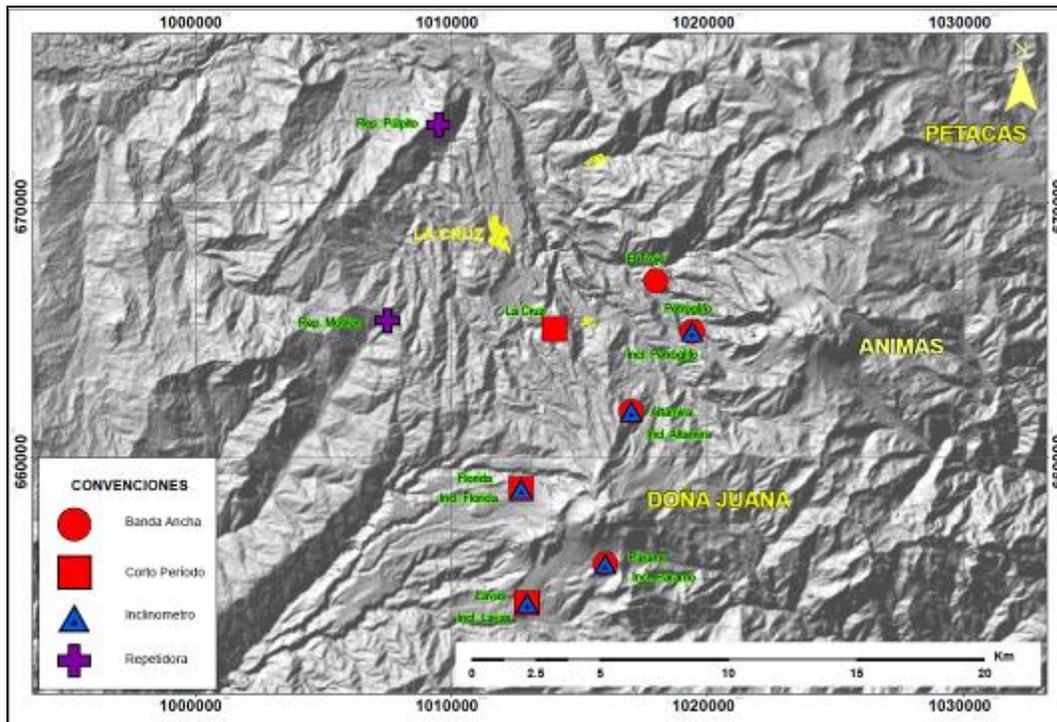


Figura 96. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de mayo de 2014. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas.

Tabla 26. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en mayo de 2014.

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

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Las Ánimas tuvo un funcionamiento del 100% (Figura 97).

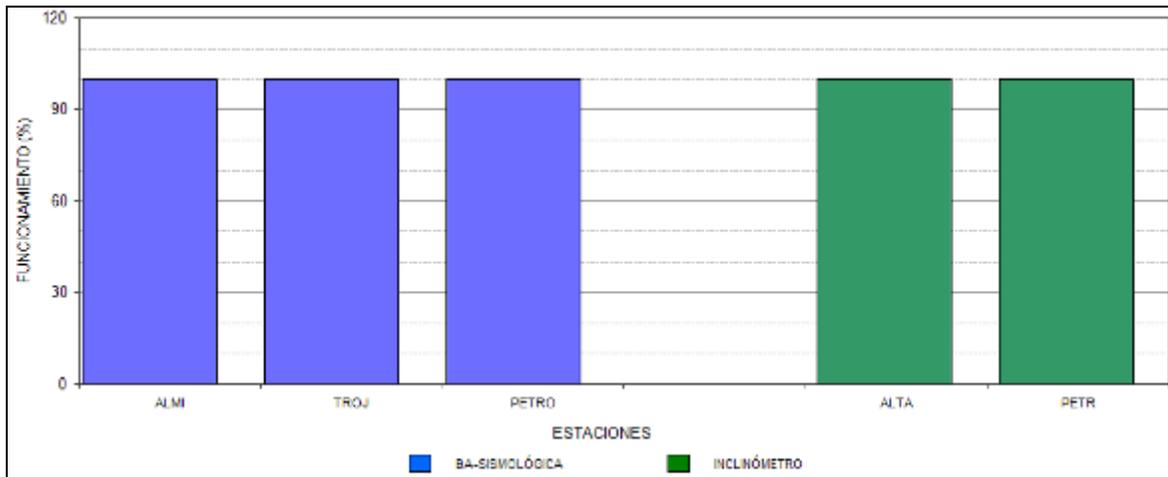


Figura 97. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante mayo de 2014.

4.1.3. Sismología

Respecto a la actividad de este volcán, para el mes de mayo se tuvo registro de 21 eventos tipo VT (Tabla 27), de los cuales fue posible localizar 13 sismos, la mayoría de ellos ubicados al suroccidente del volcán Las Ánimas, a 6,2 km de distancia y a 3,5 km de profundidad y magnitudes locales por debajo de 1,4 en la escala de Richter (Figura 98).

Tabla 27. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014. Resaltado en verde el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VOL	TOTAL
01-feb-14 a 28-feb-14	6	0	0	0	0	6
01-mar-14 a 31-mar-14	1	0	0	0	0	1
01-abr-14 a 30-abr-14	1	0	0	0	0	1
01-may-14 a 31-may-14	21	0	0	0	0	21

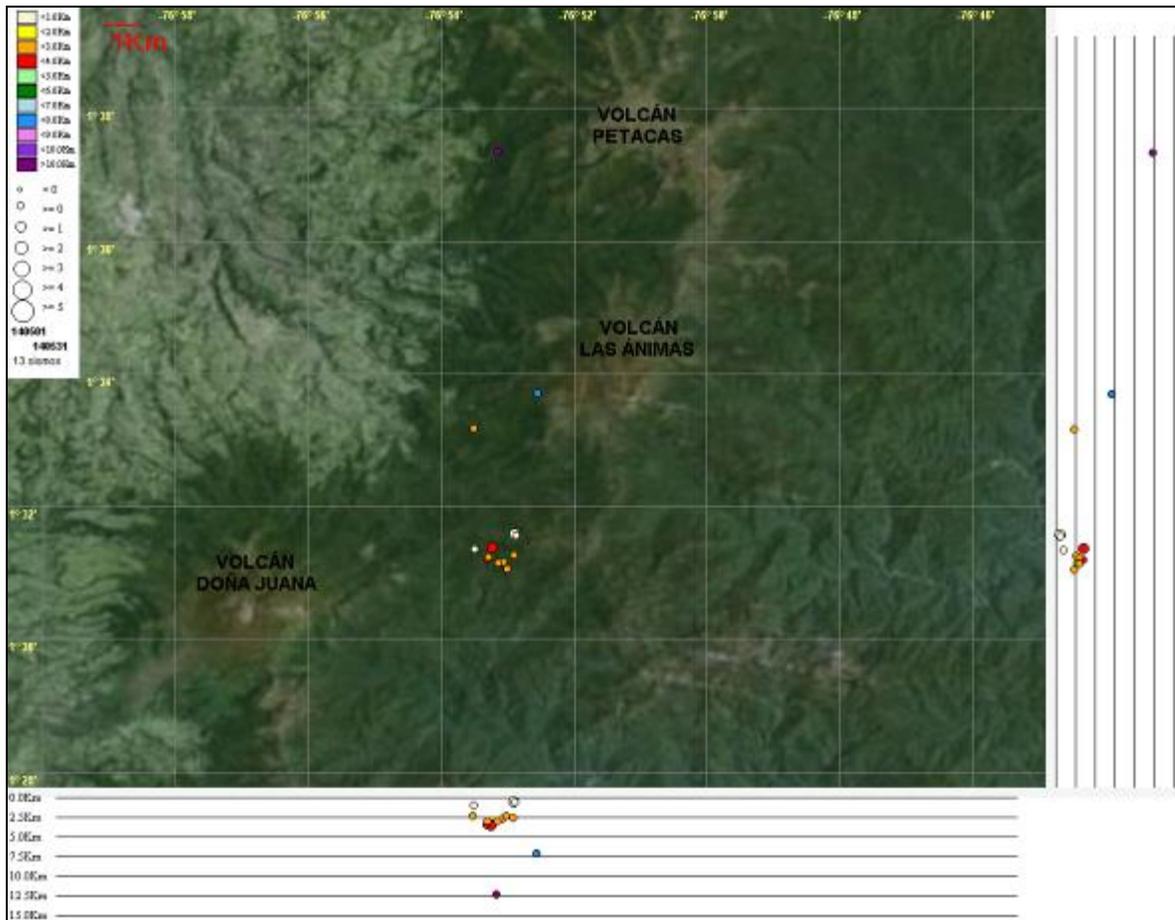


Figura 98. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas de estaciones de la red de monitoreo de Las Ánimas, en el mes de mayo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.1.4. Deformación

En este momento, para el monitoreo de los cambios en superficie del volcán Las Ánimas se cuenta con dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira y Petroglifo. La estación multiparámetro Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

En mayo de 2014, las componentes Norte Este del inclinómetro Altamira (ubicado a 4,6 km al oeste de Las Ánimas, 2905 m.s.n.m.), muestran estabilidad con algunas variaciones que pueden obedecer al sistema de alimentación o a la temperatura (Figura 99).

Respecto al registro del inclinómetro Petroglifo (ubicado a 7,9 km al noroeste del volcán, 3137 m.s.n.m.), desde el 13 de mayo de 2014, las componentes norte y este indican un comportamiento

ascendente, acumulando hasta el 31 de mayo de 2014 variaciones de 10 y 40 μrad respectivamente (Figura 100).

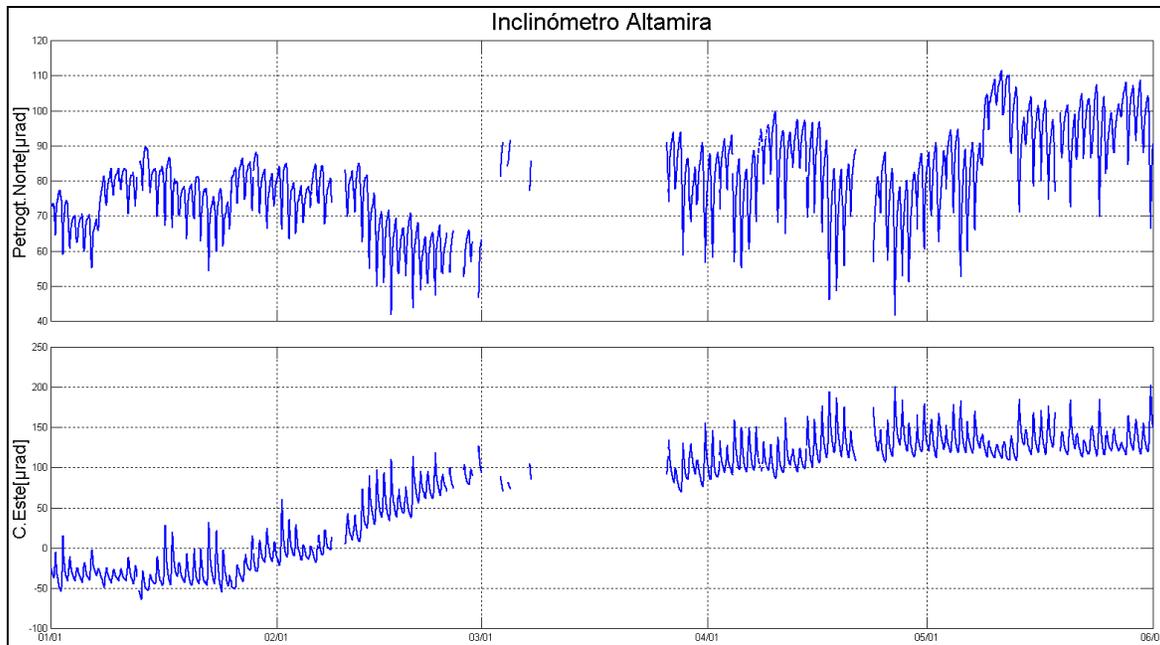


Figura 99. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 mayo de 2014.

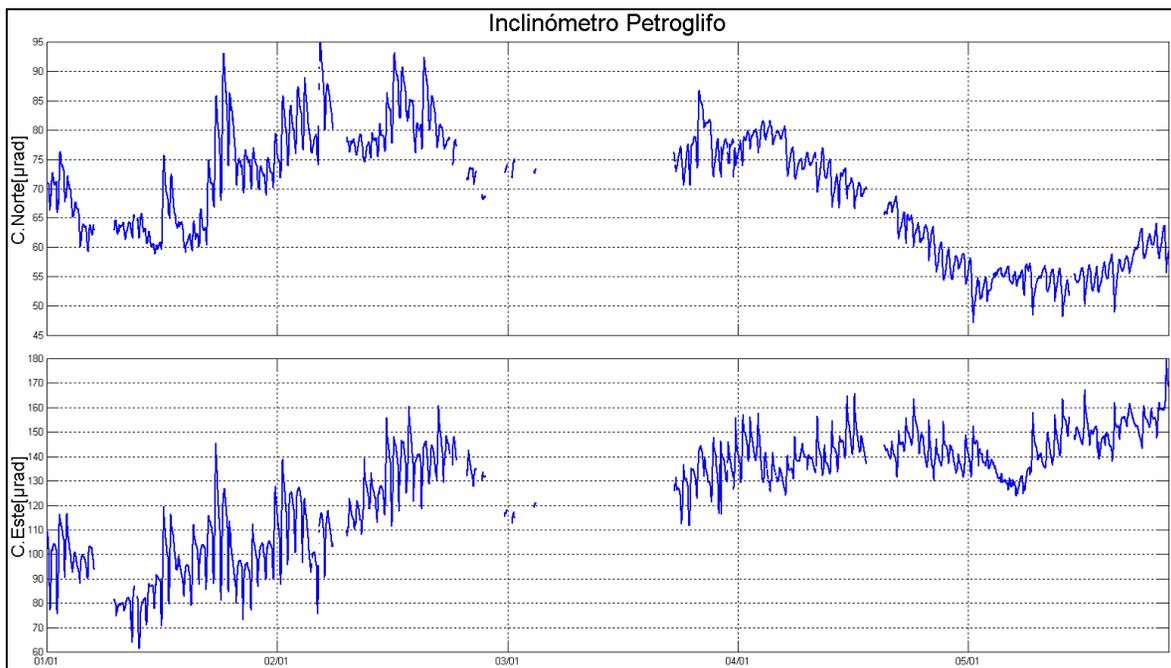


Figura 100. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de mayo de 2014 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 en 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 2014, 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 101, Tabla 28).
- La red de deformación del volcán Doña Juana cuenta con tres inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 101, Tabla 28).

Adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 101, Tabla 28).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvieron un funcionamiento promedio del 94% (Figura 102). La estación Lavas (sismológica) no tuvo señal en la componente vertical y presentó interferencias que afectaron la calidad de la señal en las componentes horizontales, bajando su porcentaje de funcionamiento al 67%.

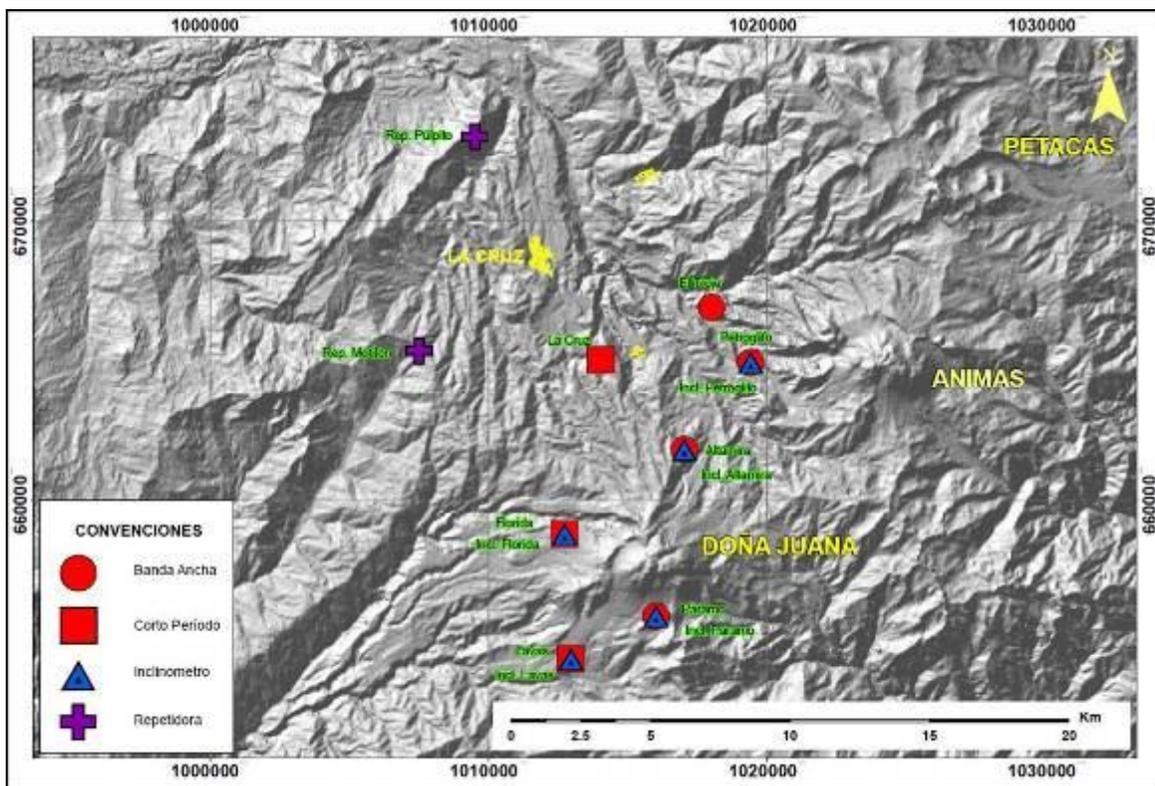


Figura 101. Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.

Tabla 28. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en mayo de 2014.

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

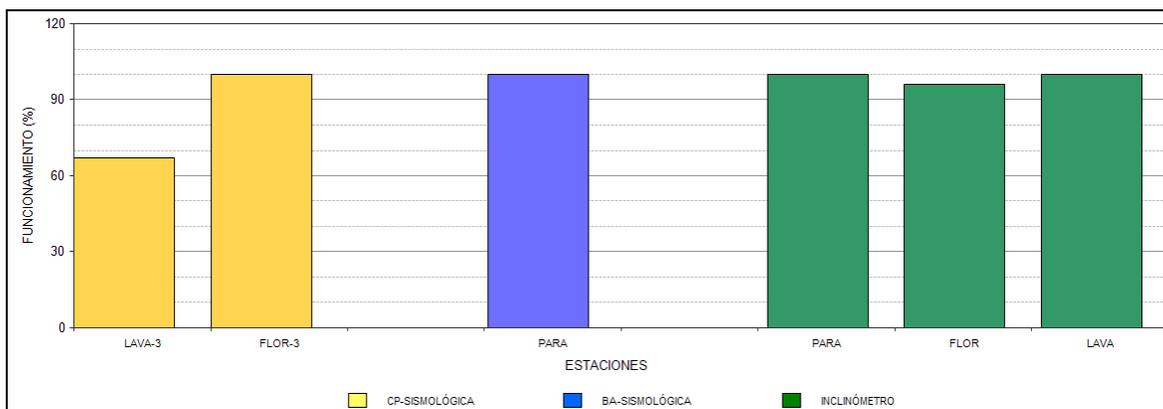


Figura 102. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de mayo de 2014.

4.2.2. Sismología

Dentro de niveles bajos de ocurrencia, el número de sismos VT asociados con fracturamiento que se registró en mayo permaneció estable en comparación al mes anterior, presentándose 1 evento (Tabla 29, Figura 103), registrado el 28 de mayo a las 12:11 a.m., localizado epicentralmente al sur, a 17 km de distancia respecto a los domos del volcán Doña Juana, con profundidad de 8 km respecto a la cima volcánica y magnitud local de 0,6 en la escala de Richter (Figura 104).

Tabla 29. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014, donde el último mes objeto de evaluación es resaltado en color verde para el volcán Doña Juana.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-feb-14 a 28-feb-14	4	0	0	0	4
01-mar-14 a 31-mar-14	5	0	0	0	5
01-abr-14 a 30-abr-14	1	0	0	0	1
01-may-14 a 31-may-14	1	0	0	0	1

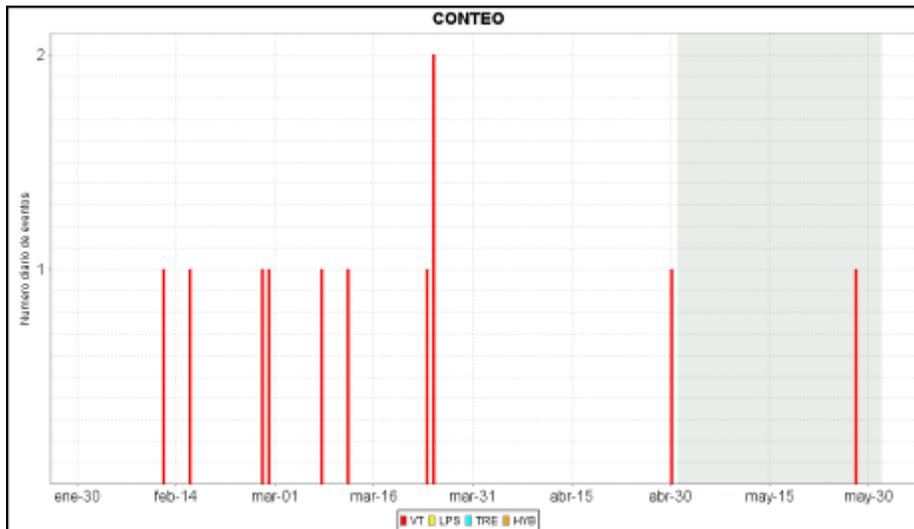


Figura 103. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Doña Juana entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.

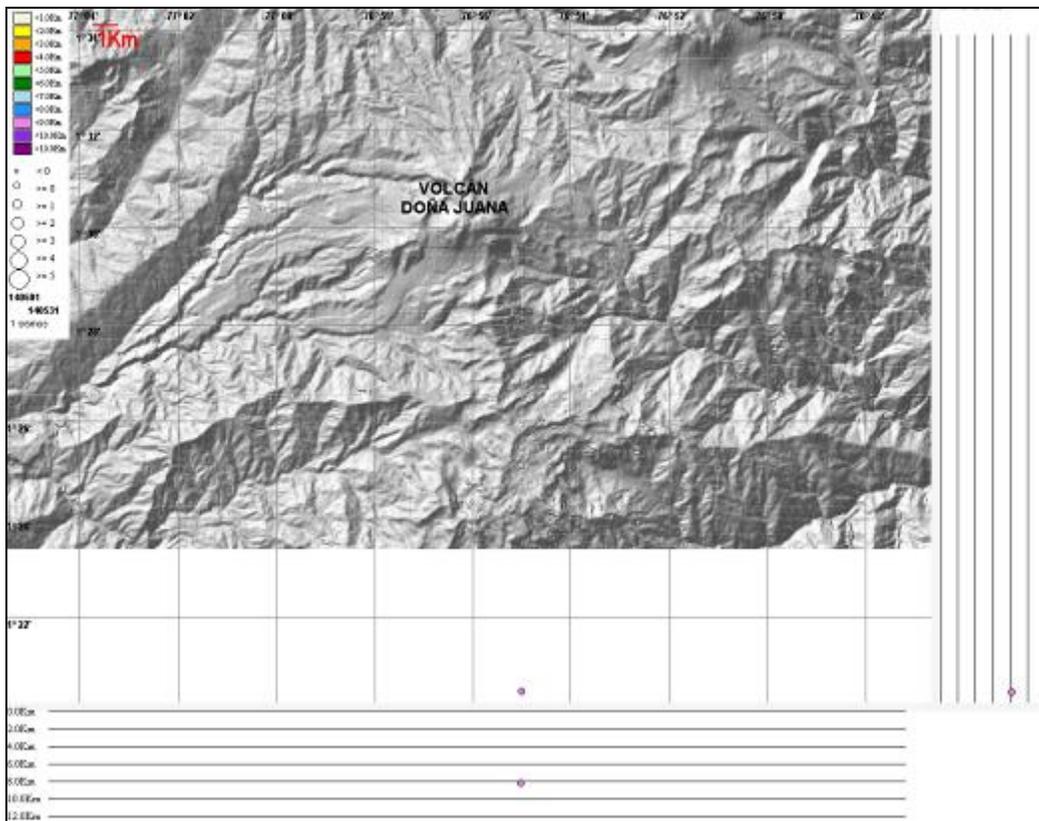


Figura 104. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas estaciones de la red de monitoreo de Doña Juana, en el mes de mayo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km. de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.2.3. Deformación

En los últimos dos meses el inclinómetro electrónico Florida (ubicado a 2.3 km., al Oeste de los domos del volcán Doña Juana, 3154 msnm) registró en sus componente Norte y Este, un comportamiento estable con variaciones por debajo de los 20 μrad (Figura 105).

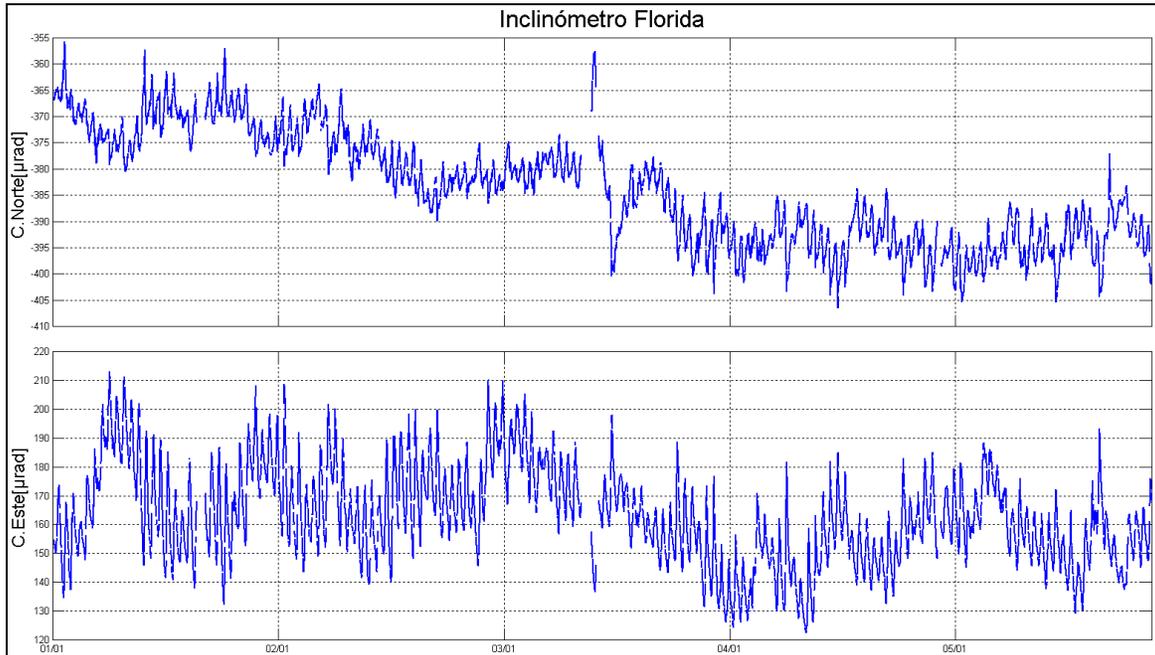


Figura 105. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

De igual manera, las componentes Norte y Este del inclinómetro Lavas (ubicado a 4 km., al sur-oeste de los domos, 3145 m.s.n.m.), muestran un comportamiento estable en sus dos componentes, con fluctuaciones por debajo de los 15 μrad (Figura 106).

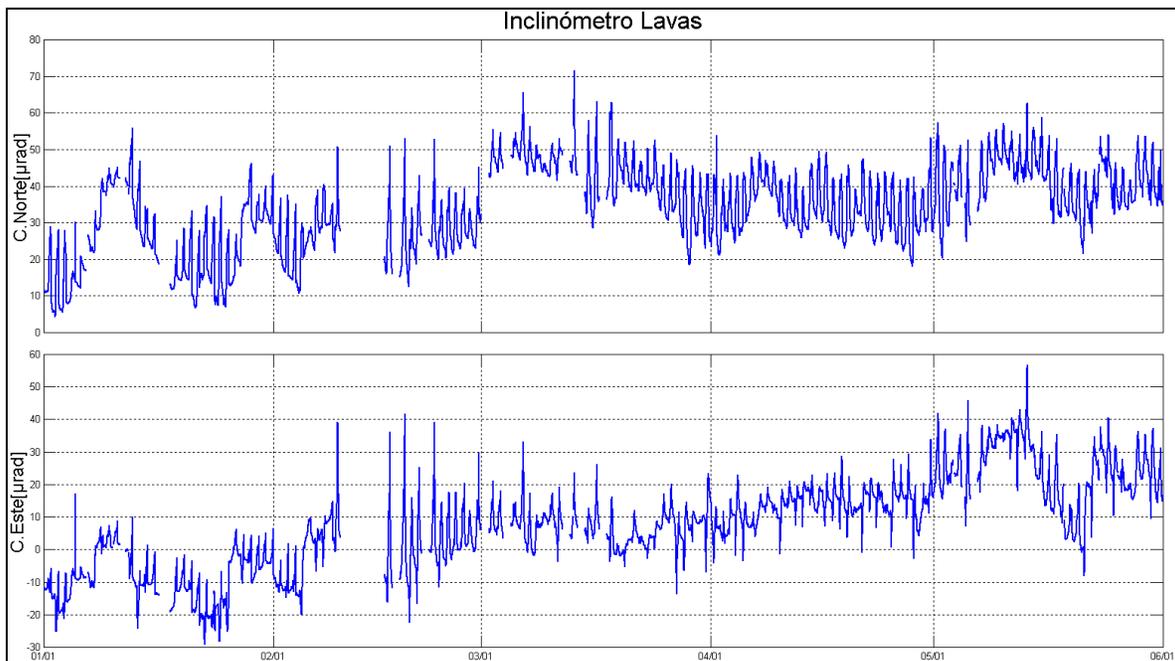


Figura 106. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

Las componentes Norte y Este del inclinómetro Páramo (ubicado a 2,1 km., al sur-este de los domos, 3533 m.s.n.m.), muestran un comportamiento anómalo desde mediados del mes de mayo de 2013, y se tienen dudas acerca del funcionamiento del sensor, por lo que no se hace referencia a su comportamiento.

4.2.4. Actividad Superficial

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

4.2.5. Conclusiones

- Los sismos registrados corresponden a eventos VT asociados con fracturamiento de material cortical al interior del sistema volcánico.

La evaluación de los parámetros monitoreados durante el mes de mayo de 2014, permiten mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

4.3.1. Red de vigilancia

En la Figura 107 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, sus estaciones La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 30 se consignan sus características. Adicionalmente, el 15 de mayo se instaló una estación climatológica cerca a la estación La Roca, la cual consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro un sensor de presión atmosférica y uno para medidas de radiación solar..

Adicionalmente, con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores (Figura 108).

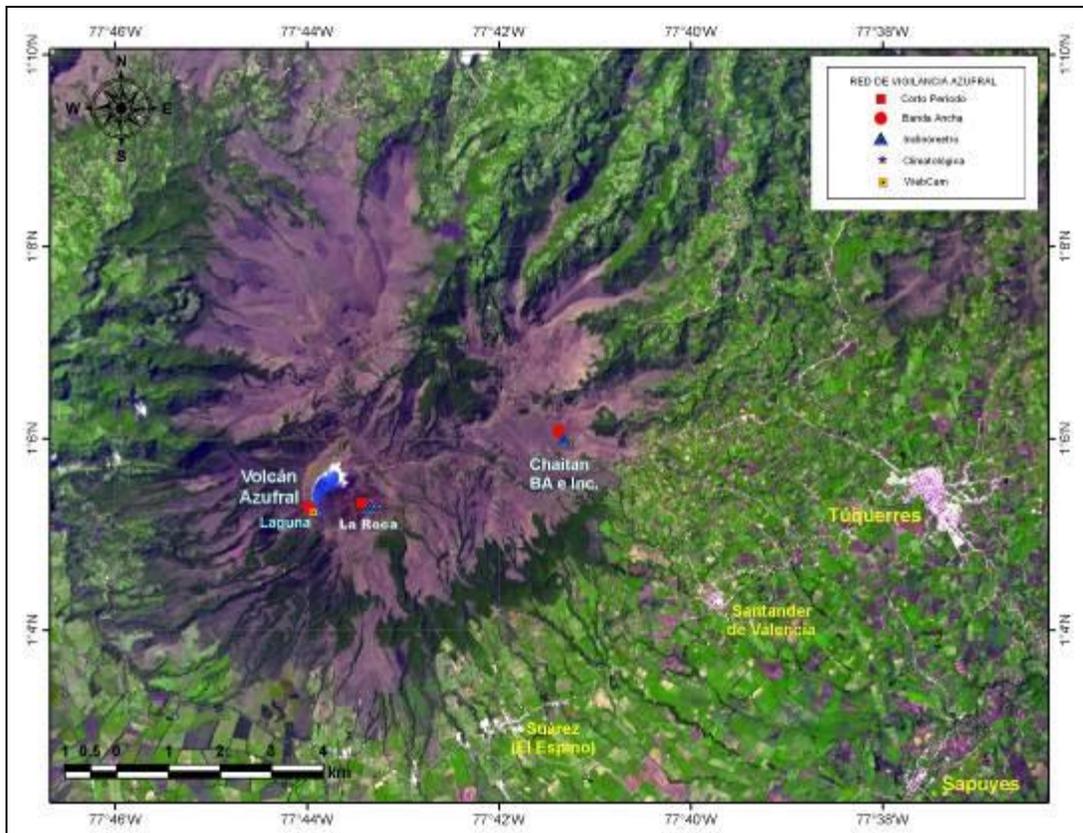


Figura 107. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2014.

Se resalta que a mediados de mayo de 2014 se instaló una estación para el monitoreo de la temperatura en uno de los domos del volcán Azufral, hacia el costado nororiental de la Laguna Verde.

Tabla 30. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante mayo de 2014.

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

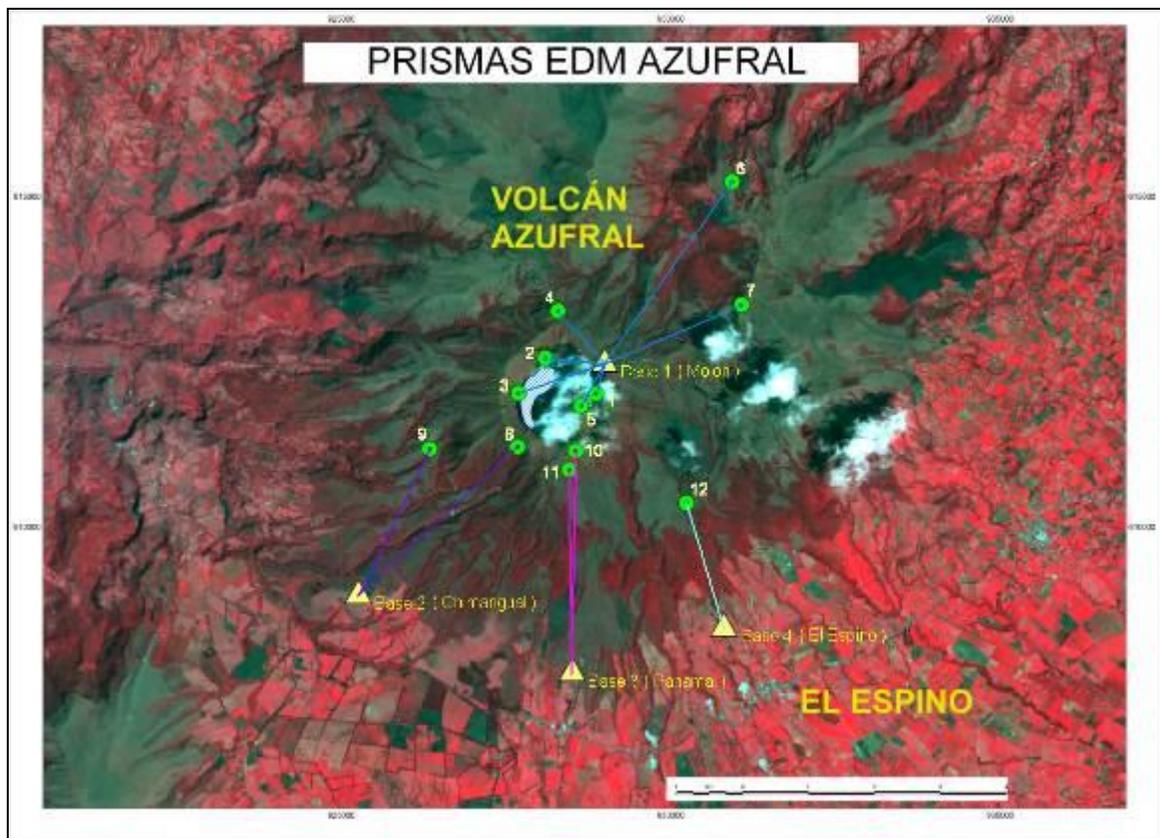


Figura 108. Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Azufral. Los triángulos de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2, 3 y 4, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 97% para este mes. La estación Lobo que fue retirada para revisión en laboratorio el 16 de mayo y se reinstaló el día 23 de mayo, por tanto su funcionamiento fue del 67% (Figura 109).

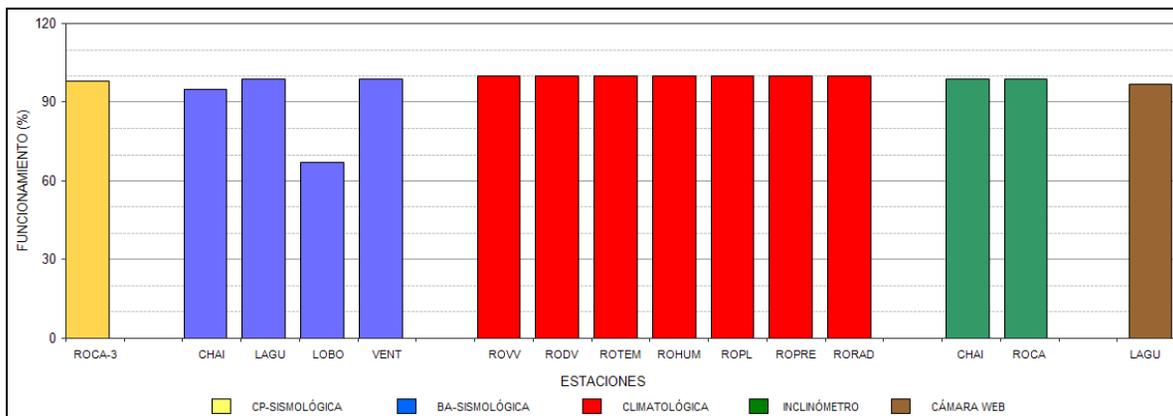


Figura 109. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de mayo de 2014.

4.3.2. Sismología

Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán en mayo de 2014 disminuyó en un 66,7 % en comparación a la registrada en abril, pasando de 12 a 4 eventos sísmicos tipo VT (Tabla 31, Figura 110), los cuales se localizaron de manera dispersa en la zona de influencia del volcán Azufral, con profundidades entre 1 y 10 km respecto a la cima volcánica y hasta 17 km de distancia respecto al centro de la laguna cratérica. Las magnitudes estuvieron por debajo de 1,5 en la escala de Richter (Figura 111).

Tabla 31. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014. Resaltado en verde se tiene el último mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-feb-14 a 28-feb-14	17	0	0	0	17
01-mar-14 a 31-mar-14	31	0	0	2	33
01-abr-14 a 30-abr-14	12	0	0	0	12
01-may-14 a 31-may-14	4	0	0	0	4

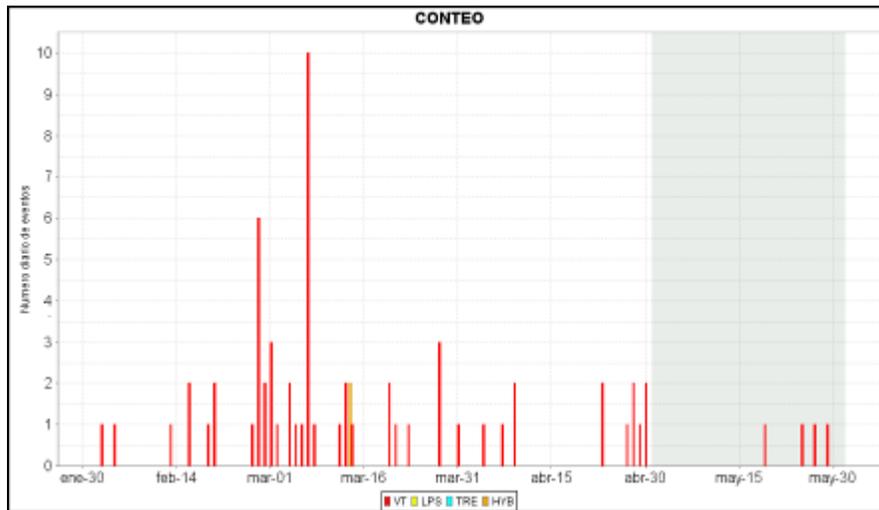


Figura 110. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de febrero y el 31 de mayo de 2014.

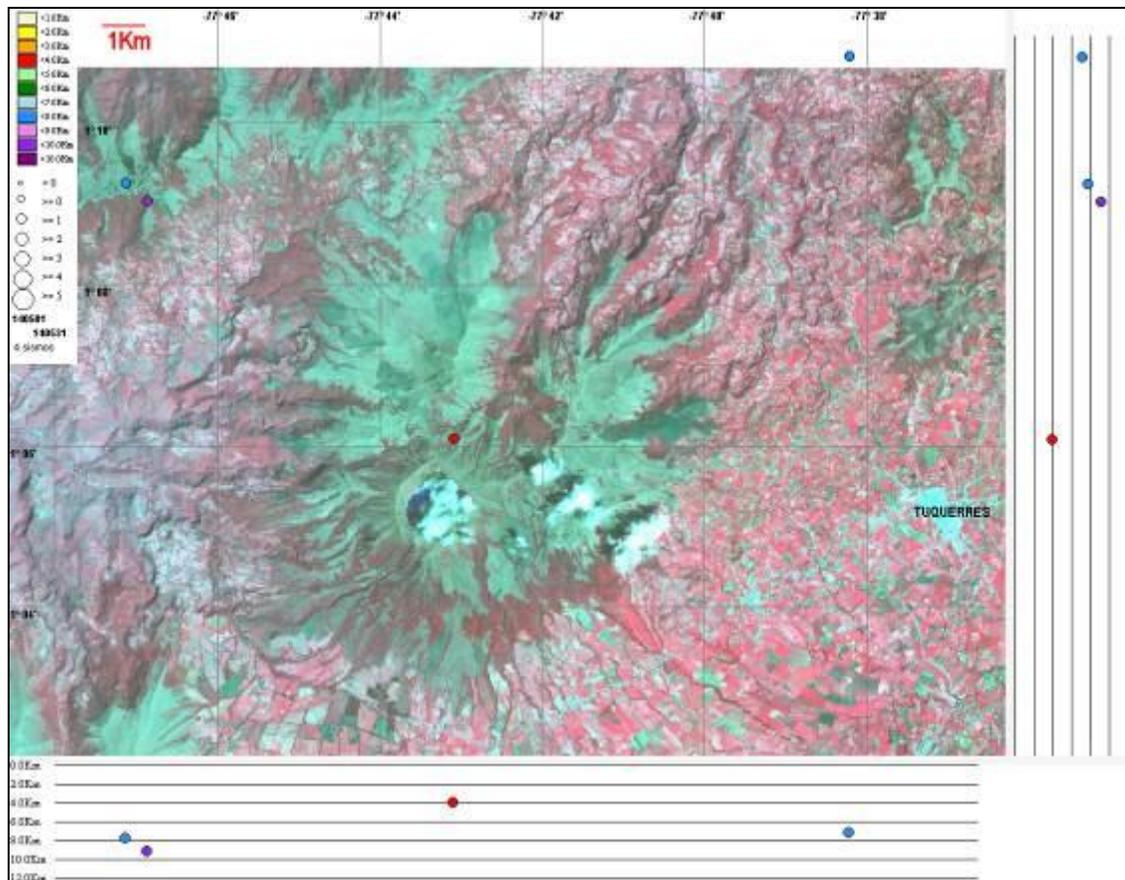


Figura 111. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por algunas de estaciones de la red de monitoreo de Azufral, en el mes de mayo de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.3.3. Deformación

4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

En cuanto a la deformación del edificio volcánico, se observó que las componentes Norte y Este del inclinómetro Chaitán (ubicado a 4,3 km al este-noreste de la laguna craterica, 3730 m.s.n.m.), mostraron un comportamiento estable con variaciones por debajo de los 30 μrad y que posiblemente están asociadas con condiciones ambientales (Figura 112). De igual manera, las componentes Norte y este del inclinómetro La Roca (ubicado a 1,2 km., al este de la laguna craterica, 4025 msnm) muestran estabilidad desde mediados del mes de abril de 2014 (Figura 113).

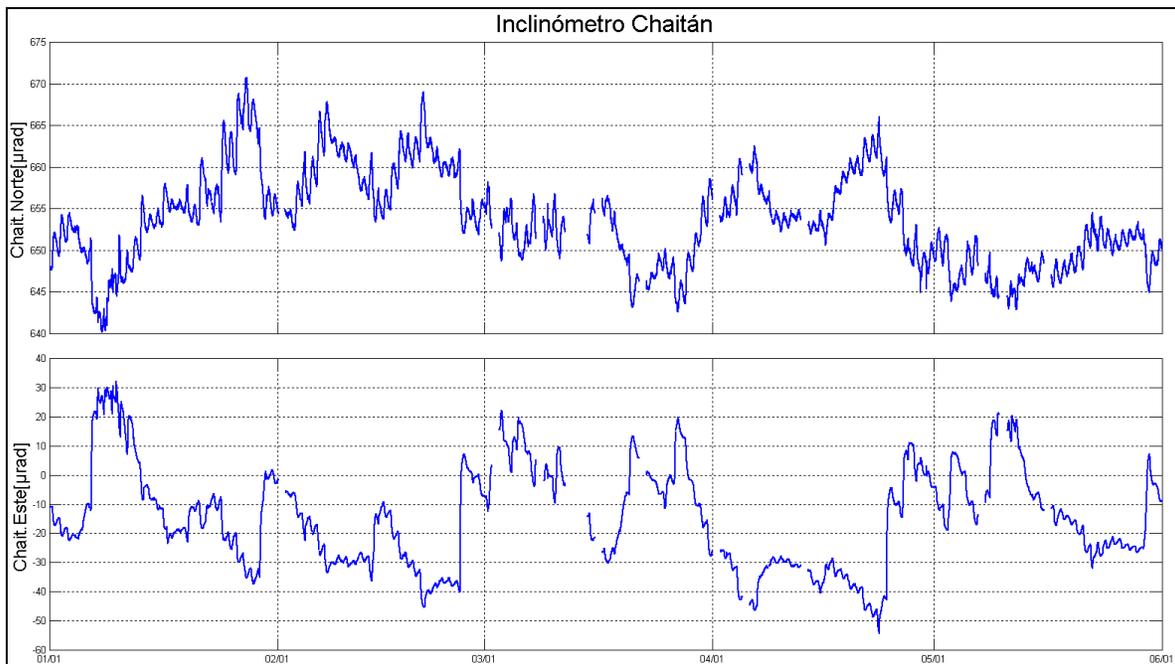


Figura 112. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

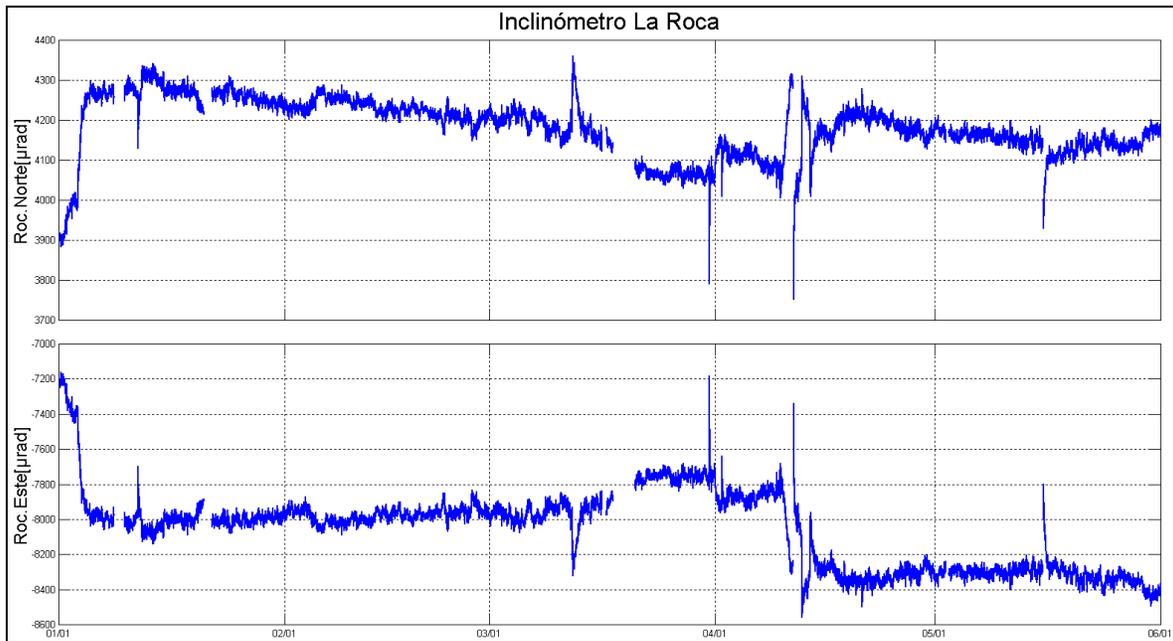


Figura 113. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca instalado en el volcán Azufra para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2014.

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

Desde la instalación de la red EDM en el volcán Azufra, se ha venido tomando datos y hasta el momento se está formando una línea base de información que no muestra un comportamiento o tendencia bien definida.

4.3.4 Geoquímica

4.3.4.1. Muestreo de aguas en Fuentes Termales

En el mes de mayo se realizaron diferentes medidas sobre gases de origen volcánico en el campo fumarólico Domo Mallama del volcán Azufra, entre las cuales se encuentran: CO₂ difuso en suelo mediante método de cámara de acumulación y datos de temperatura obtenidos de la estación telemétrica termocupla Mallama.

A continuación se presenta el mapa sobre la localización del campo fumarólico Domo Mallama en la cual se realizan las mediciones anteriormente mencionadas (Figura 114).

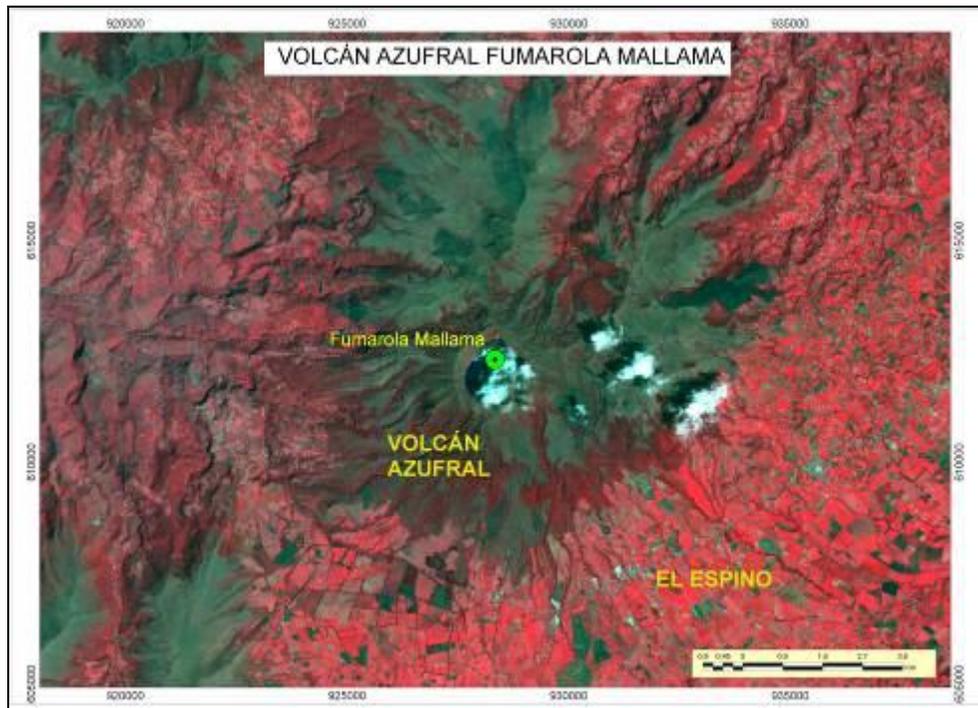


Figura 114. Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

En la Figura 115 se grafica la variación de temperatura a partir de los datos diarios obtenidos cada 10 minutos, de la estación telemétrica instalada en este mes. Se observa, que a mediados del mes se presentan los valores más bajos y altos de temperatura, $83,3^{\circ}\text{C}$ para el 21 de mayo y $103,7^{\circ}\text{C}$ para el 22 de mayo de 2014, mientras que para el resto del mes su comportamiento es similar. El promedio de temperatura para este mes es de $91,9^{\circ}\text{C}$.

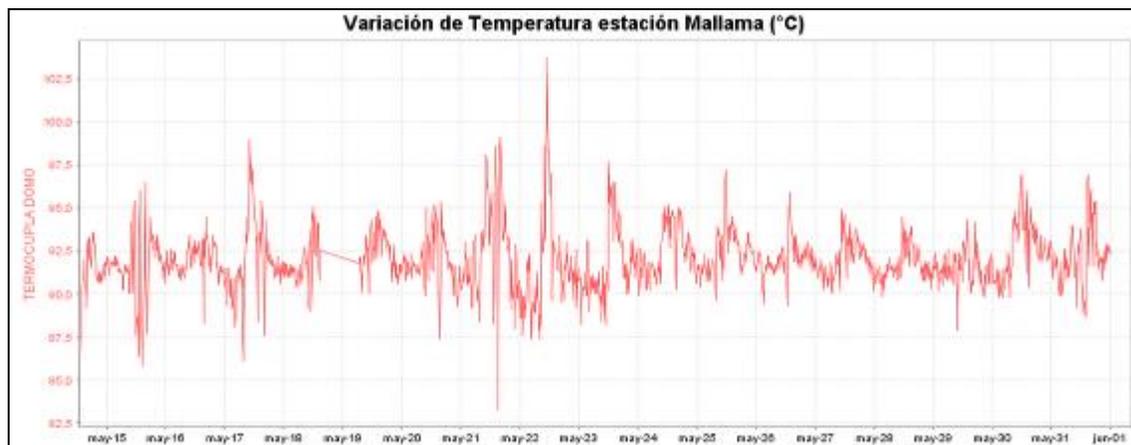


Figura 115. Variación de temperatura del campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Mayo 2014.

Durante el mes de mayo se realizaron medidas para CO₂ difuso en suelo con el método de la cámara de acumulación, realizando un recorrido por el Domo Mallama y obteniendo así datos para comprender el movimiento de este gas en este sistema magmático (Figuras 116 y 117).

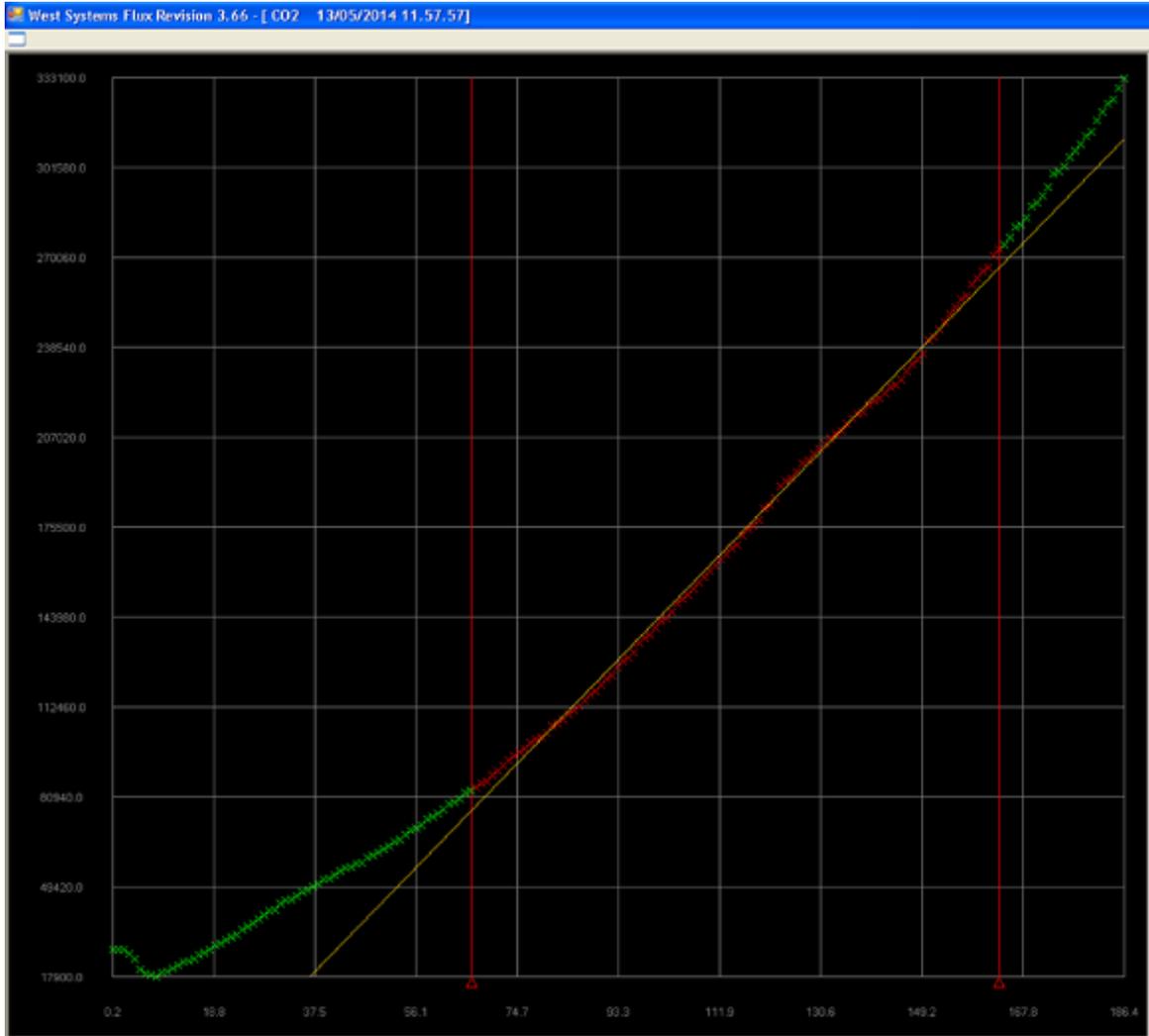


Figura 116. Registro de flujo de CO₂ difuso en suelo en el campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufra. Mayo 2014.

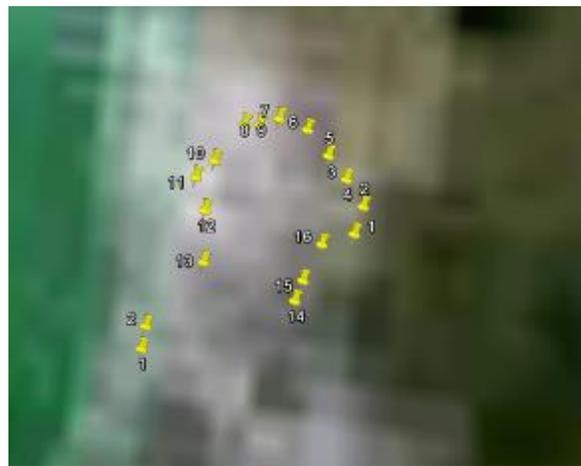
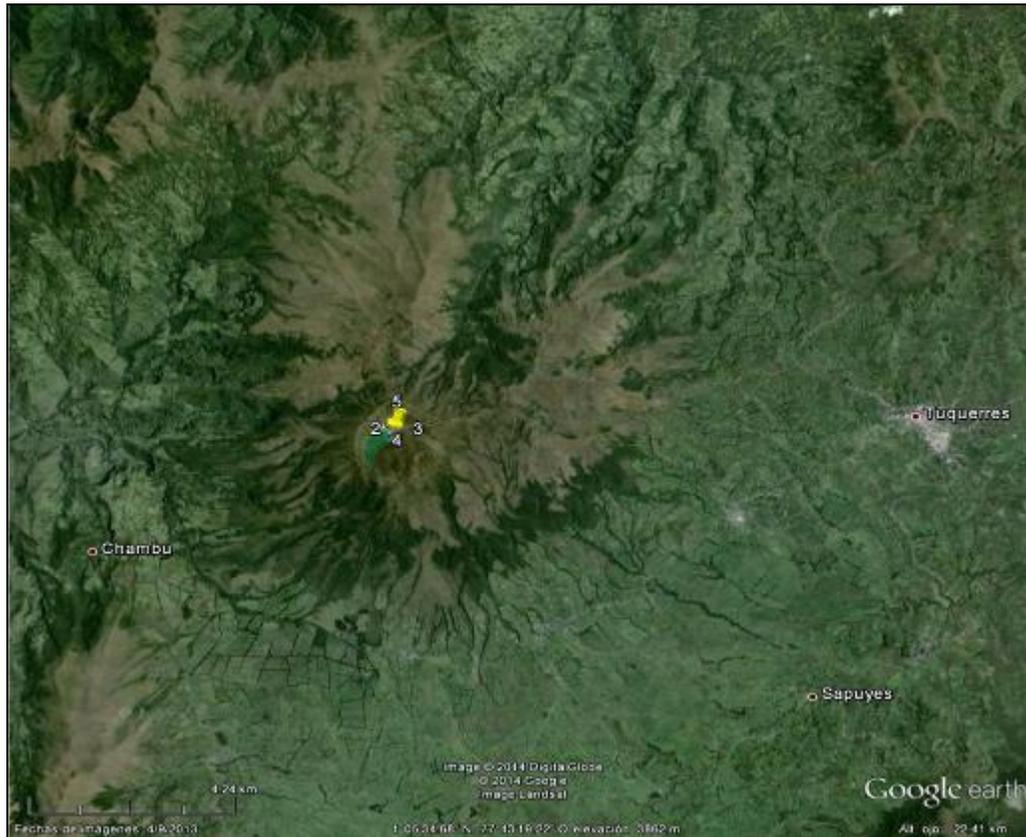


Figura 117. Mapa del recorrido para el muestreo de flujo de CO_2 difuso en suelo en el campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Mayo 2014.

Se encontró durante este muestreo, que el mayor flujo de CO_2 se encuentra en el punto 7 (Figura 117), que corresponde a la ubicación: longitud $-77,721676^\circ$, latitud $1,09053^\circ$, con una pendiente de 1962 ppm/s de CO_2 , para un flujo de CO_2 de 924 mol/mq/día .

El volcán Azufral cuenta con una red actual de monitoreo de 10 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Salado de Malaver, FT La Cabaña, FT Quebrada Blanca, FT San Ramón, FT Arrayán Salado, FT Tutachag, FT Laguna Verde N°1, FT Laguna Verde N°2, Laguna Verde N°3, Laguna Verde N°4, (Figura 118, Tabla 32).

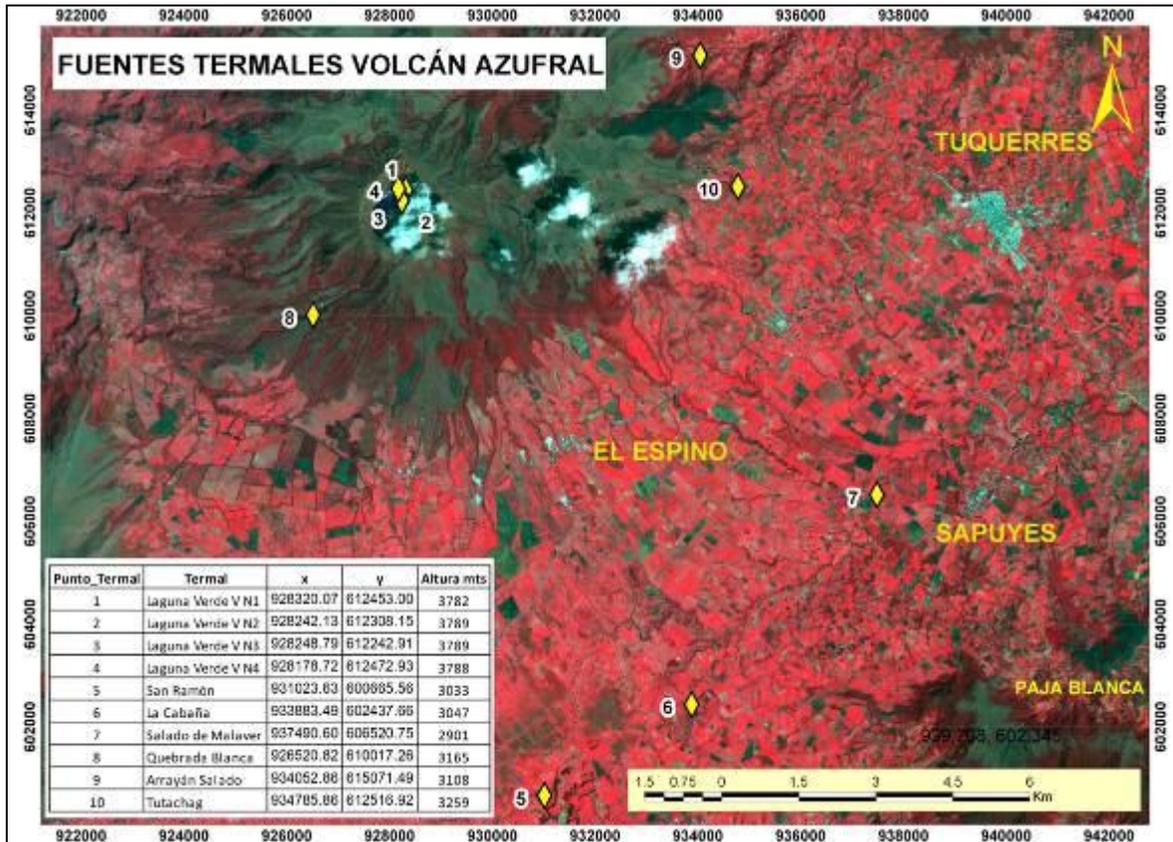


Figura 118. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

Tabla 32. Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Azufral.

	Nombre Estación	Tipo	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)
FUENTES TERMALES VOLCÁN AZUFRAL	SALADO DE MALAVER	No telemétrica	1° 2' 16"	77° 38' 21,1"	2908
	LA CABAÑA	No telemétrica	1°00' 1,7"	77° 40' 18,0"	3052
	ARRAYÁN SALADO	No telemétrica	1° 5' 31,1"	77° 39' 48,7"	3108
	TUTACHAG	No telemétrica	1°5' 31,1"	77° 39' 48,7"	3259
	QUEBRADA BLANCA	No telemétrica	1° 4' 9,6"	77° 44' 15,9"	3370
	SAN RAMÓN	No telemétrica	0° 59' 0,6"	77° 41' 48,0"	3037
	LAGUNA VERDE 1	No telemétrica	1° 5' 28,7"	77° 48' 17,6"	3750
	LAGUNA VERDE 2	No telemétrica	1° 5' 29,1"	77° 43' 23,3"	3675
	LAGUNA VERDE 3	No telemétrica	0928251	0612225	3806
	LAGUNA VERDE 4	No telemétrica	1° 5' 21,7"	77° 47' 21,1"	3814

En este periodo no fue posible realizar muestreo de parámetros fisicoquímicos en las FT LV N°2, LV N°4 y Arrayán Salado debido a la mezcla con otras aguas y los manantiales, por lo tanto los datos no serían mensurables, ni representativos.

En la Figura 119 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de mayo 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 119).

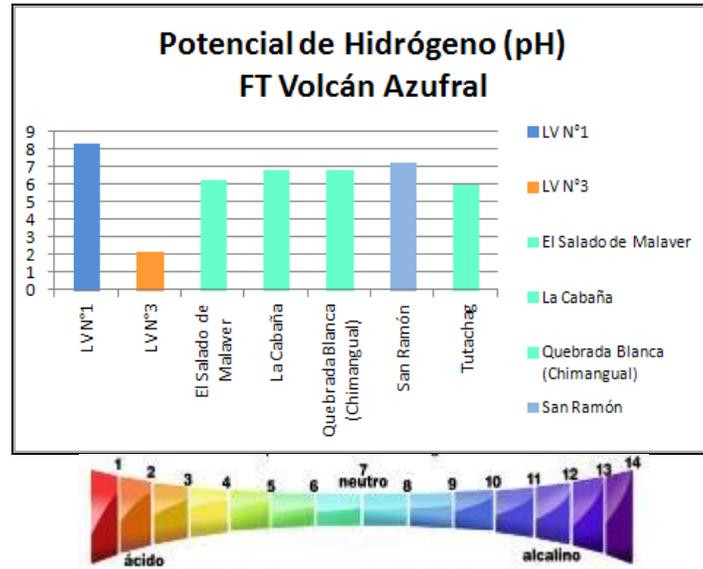


Figura 119. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Azufral - mayo 2014.

En la Figura 120 se puede observar la variación de pH con respecto a meses anteriores, registradas en trabajo de campo. Las fuentes termales del volcán Azufral presentan durante el mes de mayo potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2 (ácida) y 8 (ligeramente alcalina) (Figura 120).

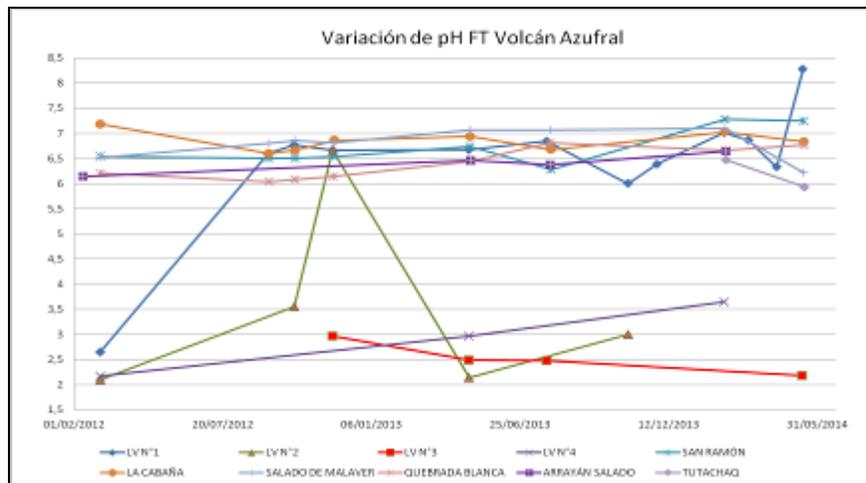


Figura 120. Variación del pH en las FT del Volcán Azufral – Mayo 2014.

En la Figura anterior se aprecia un importante ascenso del pH para la FT LV N°1, descenso LV N°2, y LV N°2, cambios muy bruscos.

En las Figuras 121, 122 y 123 se observa las variaciones de parámetros como la temperatura, presencia de bicarbonato y la conductividad eléctrica.

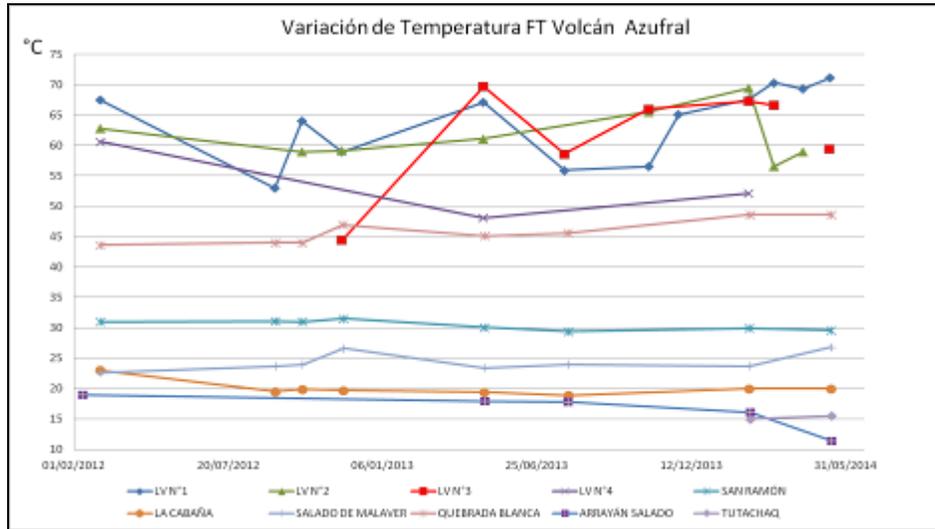


Figura 121. Variación de la temperatura en las FT del Volcán Azufral - Mayo 2014.

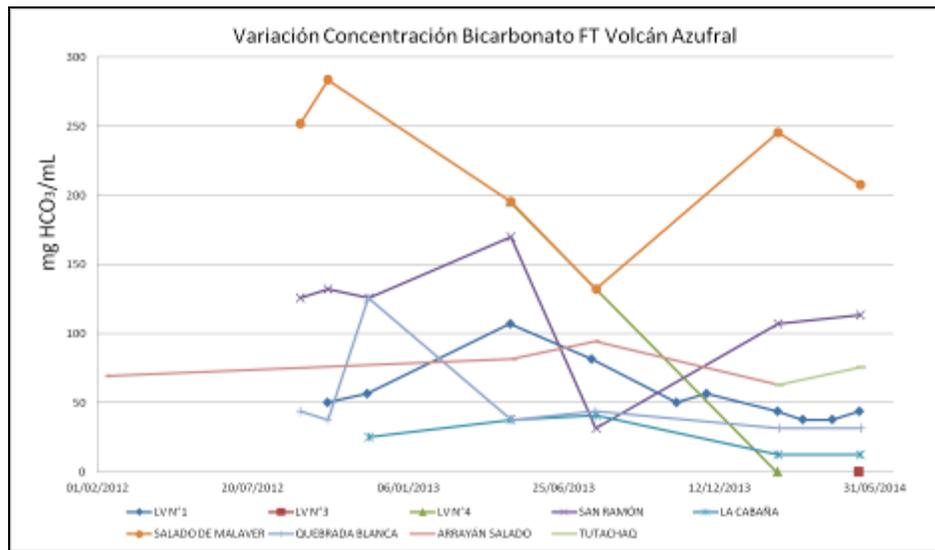


Figura 122. Variación en la concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Azufral - Mayo 2014.

Con respecto al comportamiento en parámetros como la temperatura se observa que para el mes de mayo, existen unas pequeñas variaciones respecto a meses anteriores, evidenciándose de una forma más clara un continuo incremento en la FT LVN°1. Pero se puede concluir un comportamiento estable de las fuentes termales a través del tiempo evaluado (Figura 121).

Se puede observar en la Figura 122 importantes variaciones en la FT San Ramón y Salado de Malaver en cuanto a la concentración del ion HCO_3^- .

Una de las probables causas del aumento o disminución en las anteriores variables son la formación del ion HCO_3^- en los manantiales, se debe a la rápida liberación del gas carbónico (CO_2), que no permite la formación del bicarbonato, influyendo entonces a que especies como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) equilibren el sistema o en caso contrario el pH se verá afectado en su disminución.

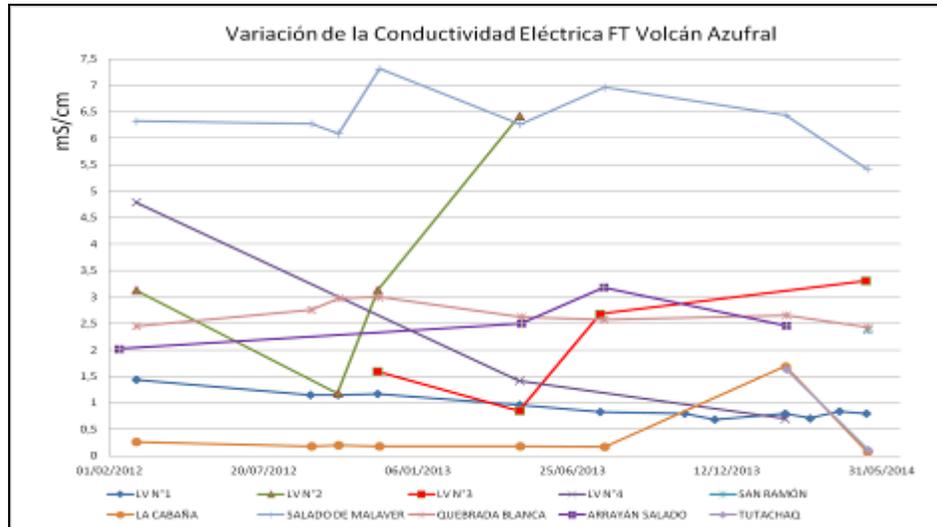


Figura 123. Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Azuftral - Mayo 2014.

Sobre la conductividad eléctrica (Figura 123), para el mes de mayo la FT LV N°3 presenta un leve incremento respecto al mes anterior, mientras que las FT La Cabaña y San Ramón desciende su valor de conductividad, lo anterior puede deberse para el caso de la FT LV N°3 que procesos de evaporación permiten una mayor concentración de los minerales en solución y para las FT La Cabaña y San Ramón se presenta mezcla con fuentes de agua cercana, lo que podría estar influyendo en su variación.

Los manantiales de Azuftral se consideran como fuentes termales de acuerdo a su temperatura (Tabla 16).

- **Fuente termal LV N°1**

Temperatura superficial: 71,1°C (Temperatura registrada en mayo 2014).

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 (Figura 124).

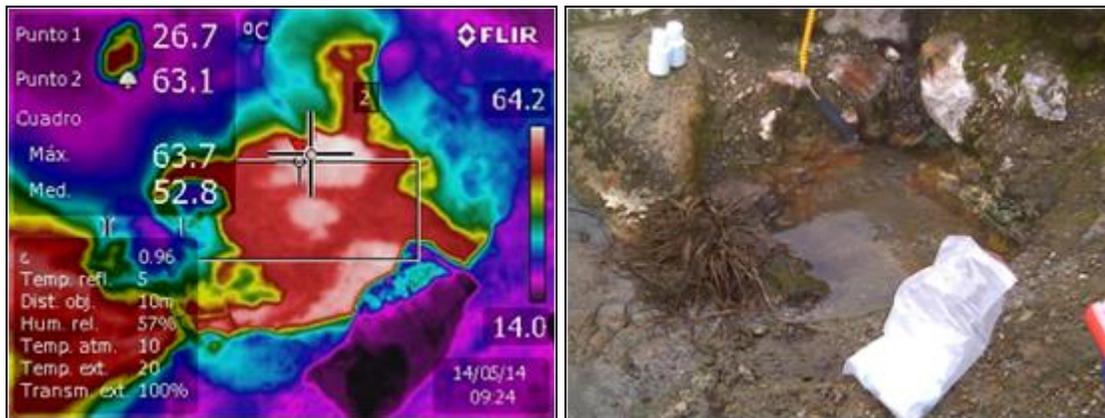


Figura 124. Imagen térmica de la fuente termal LV N° 1 del Volcán Azufral.

- **Fuente termal LV N°3**

Temperatura superficial: 59.4°C (Temperatura registrada en mayo 2014).

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 hipotermal (Figura 125).

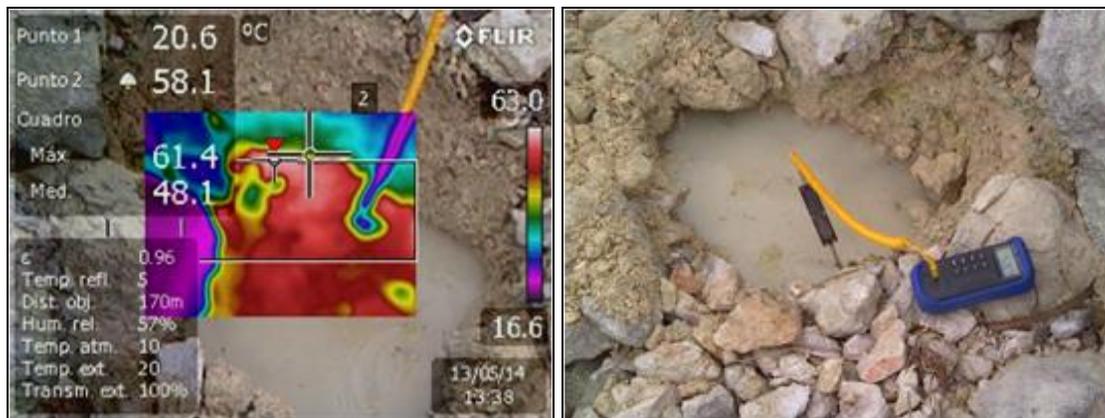


Figura 125. Imagen térmica de la fuente termal LV N° 3 del Volcán Azufral.

- **Fuente termal San Ramón**

Temperatura superficial: 29.6°C. (Temperatura registrada en mayo 2014)

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 (118).

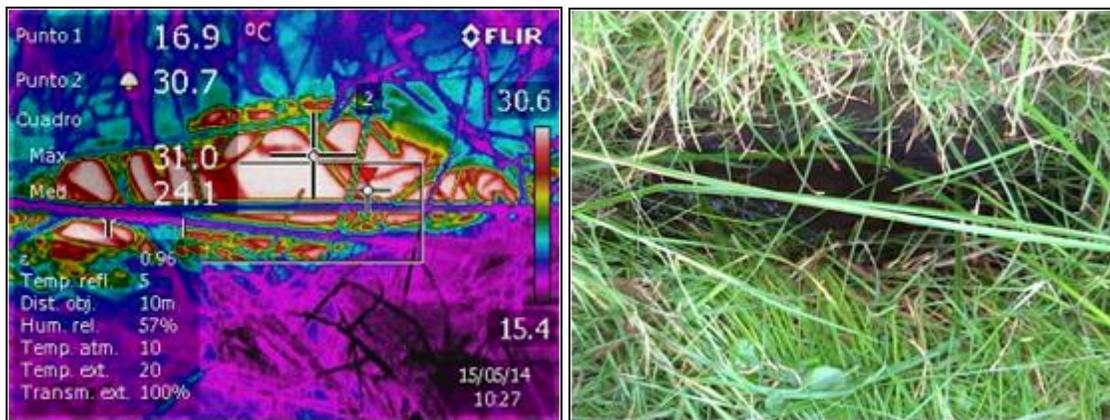


Figura 126. Imagen térmica de la fuente termal San ramón del Volcán Azufral.

- **Fuente termal La Cabaña**

Temperatura superficial: 20.0°C. (Temperatura registrada en mayo 2014)

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 (Figura 127).

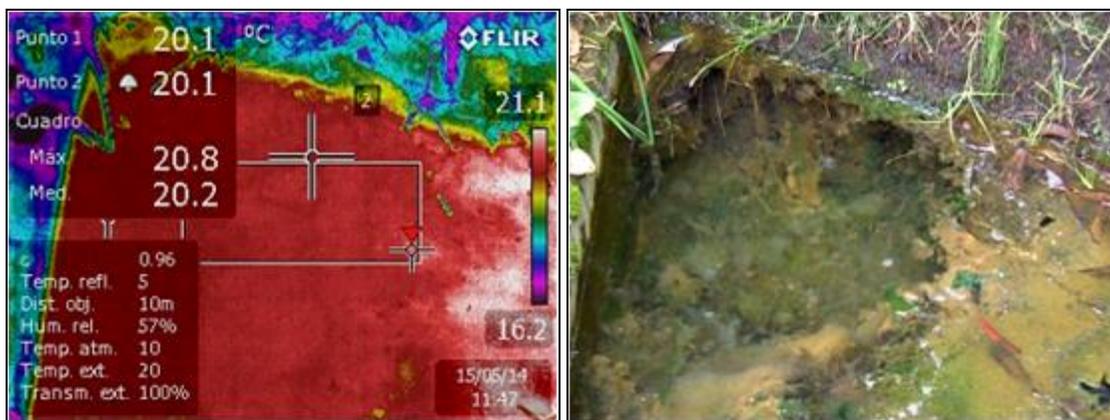


Figura 127. Imagen térmica de la fuente termal La Cabaña del Volcán Azufral.

- **Fuente Termal Salado de Malaver**

Temperatura superficial: 26.8°C. (Temperatura registrada en mayo 2014)

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 (Figura 128).

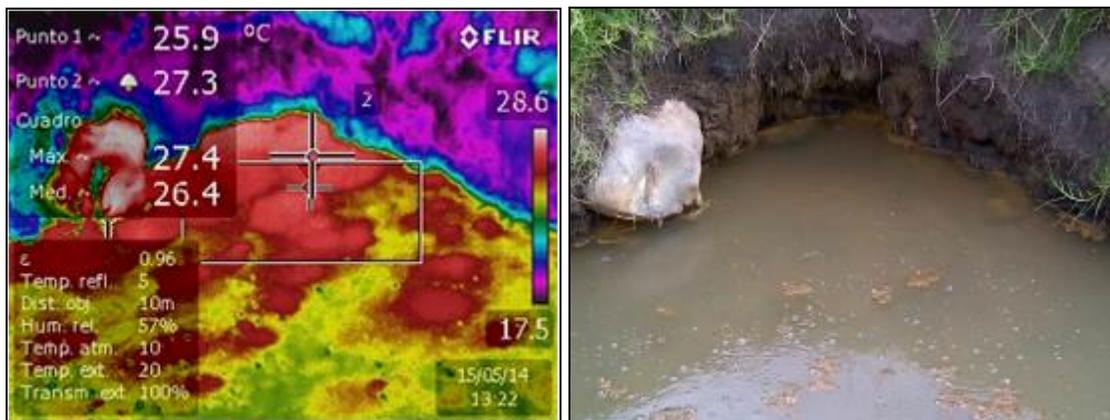


Figura 128. Imagen térmica de la fuente termal Salado de Malaver del Volcán Azufral.

- **Fuente Termal Quebrada Blanca**

Temperatura superficial: 12.5°C. (Temperatura registrada en mayo 2014)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra por encima de la temperatura media anual de la región, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal (Figura 129).

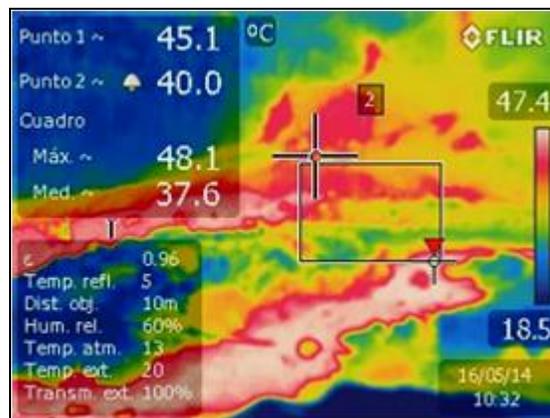


Figura 129. Imagen térmica de la fuente termal Quebrada Blanca del Volcán Azufral.

- **Fuente Termal Arrayan Salado**

Temperatura superficial: 11.4°C. (Temperatura registrada en mayo 2014)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra por encima de la temperatura media anual de la región, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal (Figura 130).

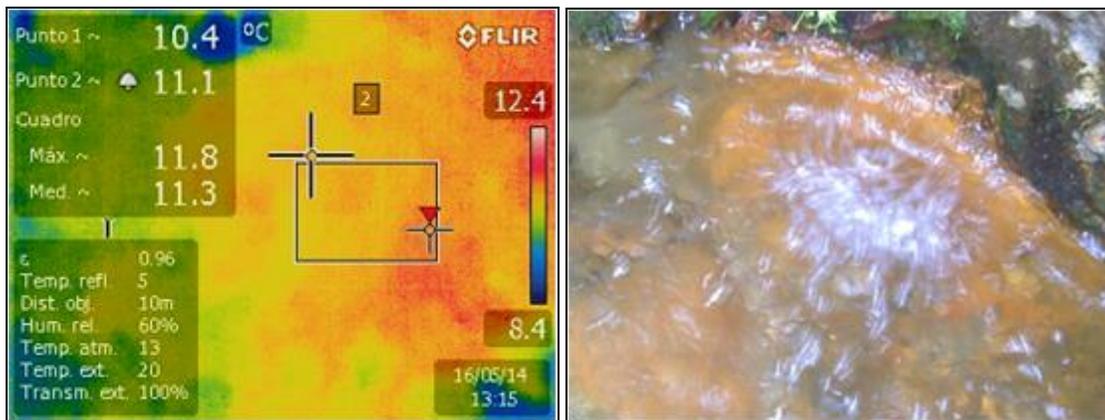


Figura 130. Imagen térmica de la fuente termal Arrayán Salado 1 del Volcán Azufral.

- **Fuente Termal Tutachag**

Temperatura superficial: 15.5°C (Temperatura registrada en mayo 2014)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra por encima de la temperatura media anual de la región, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal (Figura 131).



Figura 131. Imagen térmica de la fuente termal Tutachag del Volcán Azufral.

4.3.5. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante gran parte del mes, exceptuando los días 1, 15, 17, 18, 19, 20 y 26 de mayo de 2014 permitieron a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes principalmente del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde (Figuras 140 y 141).



Figura 132. Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 3 de mayo a las 3:32 p.m. (Izquierda) y el 5 de mayo a las 1:52 p.m. (Derecha).

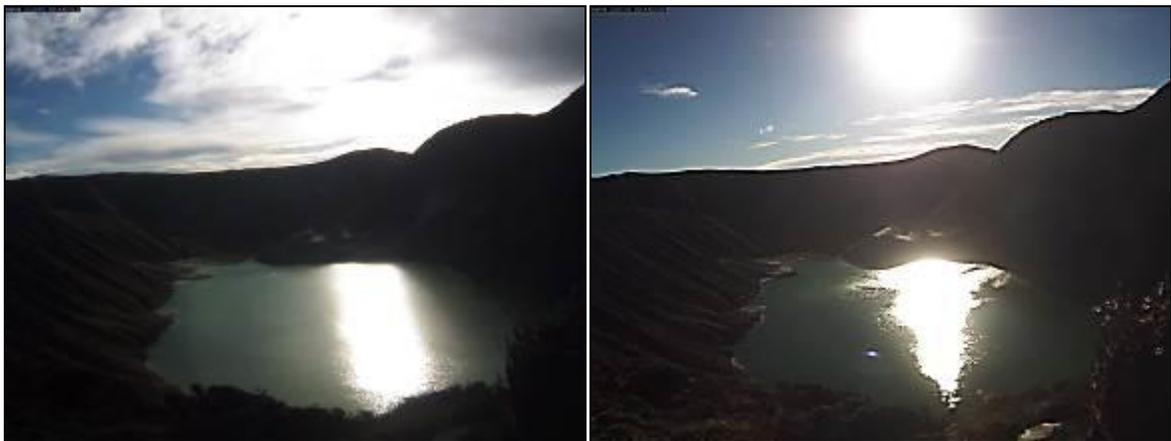


Figura 133. Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 13 de mayo a las 12:12 p.m. (Izquierda) y el 30 de mayo a las 12:07 p.m.

4.3.6. Conclusiones

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