

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	Ago/2014
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Julio de 2014.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
<b>Identificador</b>	<b>En proceso de definición</b>	
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	Julio 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 <sup>2</sup>	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



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	<a href="http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2014.aspx">http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2014.aspx</a>
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		<b><u>cliente@sgc.gov.co</u></b>



**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CHILES – CERRO NEGRO, CUMBAL,  
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL  
JULIO 2014**

Edición:

**GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO**

**San Juan de Pasto, agosto de 2014**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	10
	INTRODUCCION	12
1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – JULIO DE 2014	13
1.1.	RED DE VIGILANCIA	13
1.2.	SISMOLOGÍA	19
1.3.	DEFORMACIÓN	25
1.3.1.	Estaciones de Inclinometría Electrónica	25
1.3.2.	Estaciones GNSS permanentes	29
1.4.	ELECTROMAGNETISMO	34
1.5.	GEOQUÍMICA	38
1.5.1.	Mediciones de flujo de emisión de SO <sub>2</sub> con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS	38
1.5.2.	Mediciones del isótopo de gas Radón 222 – (Rn <sub>222</sub> )	40
1.5.3.	Trampa alcalina-volcán Galeras	43
1.5.4.	Muestreo de aguas en fuentes termales.	44
1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	50
1.7.	CONCLUSIONES	53
2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – JULIO DE 2014	54
2.1.	RED DE VIGILANCIA	54
2.2.	SISMOLOGÍA	55
2.3.	DEFORMACIÓN	60
2.4.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	63
2.5.	CONCLUSIONES	64
3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – JULIO DE 2014	65
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	65
3.2.	RED DE VIGILANCIA	65
3.3.	SISMOLOGÍA	67
3.4.	DEFORMACIÓN	69
3.5.	GEOQUÍMICA	71
3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	71
3.7.	CONCLUSIÓN	71
4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – JULIO DE 2014	72
4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	73
4.1.1.	Ubicación Geográfica	73
4.1.2.	Red de Vigilancia	73
4.1.3.	Sismología	75
4.1.4.	Deformación	75
4.1.5.	Actividad Superficial	77
4.1.6.	Conclusión	77
4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	78
4.2.1.	Red de vigilancia	78
4.2.2.	Sismología	79
4.2.3.	Deformación	80
4.2.4.	Actividad Superficial	81
4.2.5.	Conclusión	81

4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	82
4.3.1.	Red de vigilancia	82
4.3.2.	Sismología	84
4.3.3.	Deformación	85
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	85
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	86
4.3.4.	Geoquímica	86
4.3.4.1.	Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Azufral	86
4.3.4.2.	Muestreo de aguas en Fuentes Termales	92
4.3.5.	Actividad Superficial	96
4.3.6.	Conclusión	97

## FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante julio de 2014.	14
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 julio de 2014.	15
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.	16
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 julio de 2014.	17
Figura 5.	Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.	18
Figura 6.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en julio de 2014.	19
Figura 7.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de abril y julio de 2014.	20
Figura 8.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.	21
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).	21
Figura 10.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.	22
Figura 11.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para julio de 2014 (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).	23
Figura 12.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde abril a julio de 2014.	23
Figura 13.	Sismograma en la estación sísmica Anganoy del enjambre de eventos sísmicos registrado el 27 de julio de 2014.	24
Figura 14.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de julio de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).	25
Figura 15.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	26
Figura 16.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	26
Figura 17.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014. En la figura también se observa el canal correspondiente a la temperatura, notándose que los cambios observados en las componentes Tangencial y Radial podrían estar relacionados con cambios en la temperatura.	27
Figura 18.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	27
Figura 19.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	28

Figura 20.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	28
Figura 21.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Cóndor para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	29
Figura 22.	Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	29
Figura 23.	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	30
Figura 24.	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 julio de 2014.	31
Figura 25.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de julio de 2014.	31
Figura 26.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de julio de 2014.	32
Figura 27.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de julio de 2014.	32
Figura 28.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el mes de mayo y el 31 de julio de 2014.	33
Figura 29.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el mes de junio y el 31 de julio de 2014.	33
Figura 30.	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 julio de 2014.	34
Figura 31.	Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones La Y (líneas roja y azul) y Peladitos (líneas verde y amarilla), para el periodo entre junio y julio de 2014.	35
Figura 32.	Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones Urcunina (líneas roja y azul) y Lavas (líneas verde y amarilla), para el periodo entre junio y julio de 2014.	35
Figura 33.	Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, en el periodo entre junio y julio de 2014.	36
Figura 34.	Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, en el periodo entre junio y julio de 2014.	36
Figura 35.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, para el periodo entre junio y julio de 2014.	37
Figura 36.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Cráter, para el periodo entre junio y julio de 2014.	37
Figura 37.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el periodo entre junio y julio de 2014.	38
Figura 38.	Flujo de emisión de $\text{SO}_2$ registrado entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014 por los equipos ScanDOAS y MobileDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	39
Figura 39.	Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre marzo y julio de 2014.	40
Figura 40.	Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Barranco para el periodo comprendido entre los meses de mayo y julio de 2014.	41
Figura 41.	Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Galeras para el periodo comprendido entre los meses de mayo y julio de 2014.	41
Figura 42.	Flujo de gas radón enero - julio 2014.	42
Figura 43.	Mapa de localización estaciones trampa alcalina volcán Galeras.	43
Figura 44.	Toma de muestras, estaciones Trampa Alcalina – Cima volcán Galeras.	44
Figura 45.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.	44
Figura 46.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras en mayo de 2014.	46

Figura 47.	Variación del pH de las FT de Volcán Galeras - Julio 2014.	47
Figura 48.	Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras - Julio 2014.	47
Figura 49.	Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - Julio 2014.	48
Figura 50.	Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - Julio 2014.	50
Figura 51.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco el 1 de julio de 2014 a las 7:03 a.m. y a las 10:01 a.m. respectivamente.	51
Figura 52.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco (Izquierda) y desde la sede del OVSP (Derecha) el 2 de julio de 2014 a las 5:53 p.m. y a las 6:18 p.m. respectivamente.	51
Figura 53.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en Bruma el 3 de julio de 2014 a las 6:39 p.m.	51
Figura 54.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Izquierda) y Consacá (Derecha) el 8 de julio de 2014 a las 5:19 p.m. y a las 5:41 p.m.	52
Figura 55.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda) y Barranco (Derecha) el 10 de julio de 2014 a las 5:50 a.m. y a las 6:19 a.m. respectivamente.	52
Figura 56.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Izquierda) y Bruma (Derecha) el 25 de julio de 2014 a las 5:42 p.m. y 6:13 p.m. respectivamente.	52
Figura 57.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco el 31 de julio a las 12:15 p.m.	53
Figura 58.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de julio de 2014.	54
Figura 59.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en julio de 2014.	55
Figura 60.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre abril y julio de 2014. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	56
Figura 61.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.	56
Figura 62.	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 abril y el 31 de julio de 2014.	57
Figura 63.	Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 3 de julio de 2014 a las 3:28 a.m.	58
Figura 64.	Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de julio de 2014.	58
Figura 65.	Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de julio de 2014.	59
Figura 66.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de julio de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).	60
Figura 67.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	61
Figura 68.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	61
Figura 69.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	62
Figura 70.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.	62
Figura 71.	Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 1 y 10 de julio a las 6:42 a.m. y a las 6:01 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	63

Figura 72.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 26 de julio a las 6:32 a.m., desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	63
Figura 73.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	65
Figura 74.	Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.	66
Figura 75.	Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles.	67
Figura 76.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante julio de 2014.	67
Figura 77.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.	68
Figura 78.	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 julio de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	69
Figura 79.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre enero y julio de 2014.	70
Figura 80.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre enero y julio de 2014.	70
Figura 81.	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 julio de 2014.	71
Figura 82.	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	72
Figura 83.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	73
Figura 84.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de julio de 2014. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas.	74
Figura 85.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante julio de 2014.	75
Figura 86.	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 julio de 2014.	76
Figura 87.	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 julio de 2014.	76
Figura 88.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.	78
Figura 89.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de julio de 2014.	79
Figura 90.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Doña Juana entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.	80
Figura 91.	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 julio de 2014.	80
Figura 92.	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.	81
Figura 93.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de julio de 2014.	82
Figura 94.	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.	83

Figura 95.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de julio de 2014.	84
Figura 96.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.	84
Figura 97.	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 julio de 2014.	85
Figura 98.	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 julio de 2014.	86
Figura 99.	Medición de parámetros en gases por los métodos (izquierda a derecha) trampa alcalina, estación telemétrica de temperatura, toma de datos de temperatura con cámara térmica, muestreo de gases condensables Giggenbach y CO2 difuso en suelo con cámara de acumulación. Domo Mallama Volcán Azufral- Julio 2014.	86
Figura 100.	Variación de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Julio 2014.	87
Figura 101.	Espectro temperatura- Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Julio 2014.	88
Figura 102.	Datos de temperatura filtrada en la dominante. Volcán Azufral. Julio 2014.	89
Figura 103.	Datos de temperatura en el domo Mallama del volcán Azufral teniendo en cuenta la media móvil diaria (arriba) y semanal (abajo) para el periodo comprendido entre mayo y julio de 2014.	89
Figura 104.	Registro de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Julio 2014.	90
Figura 105.	Mapa del recorrido para el muestreo de flujo de CO2 difuso en suelo en campo fumarólico perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Julio 2014.	91
Figura 106.	Detalle de los recorridos para el muestreo de flujo de CO2 difuso en suelo, realizados en Julio (izquierda) y Mayo (derecha) en el Volcán Azufral. Julio 2014.	91
Figura 107.	Zonas de Mayor flujo de CO2 difuso en suelo en los recorridos realizados en julio de 2014 en sectores del domo Mallama y La Playita del Volcán Azufral.	92
Figura 108.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	93
Figura 109.	Potencial de hidrógeno de la FT LV N°1 del Volcán Azufral en julio de 2014.	94
Figura 110.	Variación del pH en las FT del Volcán Azufral – Mayo 2014.	94
Figura 111.	Variación de la temperatura en la FT LV N°1 del Volcán Azufral en Julio 2014.	95
Figura 112.	Variación en la concentración de bicarbonato en FT LV N°1 del Volcán Azufral en Julio 2014.	95
Figura 113.	Variación de la conductividad eléctrica en FT LV N°1 del Volcán Azufral en Julio 2014.	96
Figura 114.	Imagen FT LV N° 1 del Volcán Azufral - Julio 2014.	96
Figura 115.	Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 1 de julio a las 12:37 p.m. (Izquierda) y el 3 de julio a las 10:12 p.m. (Derecha).	97
Figura 116.	Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 31 de julio a las 11:46 a.m.	97

## TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras durante julio de 2014.	15
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante julio de 2014.	16
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de julio de 2014.	16
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en julio de 2014.	17
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	17
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).	18
Tabla 7.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas en el sector denominado Barranco (Línea Barranco).	19
Tabla 8.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	20
Tabla 9.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014 resaltando en color verde el mes evaluado.	22
Tabla 10.	Emisiones de SO <sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de julio de 2014, por las estaciones ScanDOAS y MobileDOAS (Proyecto NOVAC).	39
Tabla 11.	Valores máximos de flujo del isótopo Rn <sub>222</sub> en suelo en las estaciones de la línea Barranco en julio de 2014.	42
Tabla 12.	Valores máximos de flujo del isótopo Rn <sub>222</sub> en suelo en las estaciones de la línea Galeras en julio de 2014.	42
Tabla 13.	Ubicación geográfica estaciones Trampa Alcalina en Volcán Galeras.	43
Tabla 14.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras – Mayo de 2014.	45
Tabla 15.	Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Galeras.	45
Tabla 16.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	48
Tabla 17.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante julio de 2014.	55
Tabla 18.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de abril y el 31 de julio (resaltado en color verde) de 2014.	55
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 abril de 2014 y el 31 de julio (resaltado en color verde) de 2014.	57
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante julio de 2014.	66
Tabla 21.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.	68
Tabla 22.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en julio de 2014.	74

Tabla 23.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en julio de 2014.	79
Tabla 24.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014, donde el último mes objeto de evaluación es resaltado en color verde para el volcán Doña Juana.	79
Tabla 25.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante julio de 2014.	83
Tabla 26.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014. Resaltado en verde se tiene el último mes objeto de evaluación.	84
Tabla 27.	Variación de temperaturas en Domo Mallama del volcán Azufral.	87
Tabla 28.	Rango de temperaturas con desviación estándar. Estación Mallama del volcán Azufral.	88
Tabla 29.	Mayor flujo de CO <sub>2</sub> difuso en suelo de la zona de influencia del volcán Azufral - Julio 2014.	91
Tabla 30.	Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Azufral.	93

## RESUMEN

Durante el mes de julio de 2014, la actividad sísmica en el volcán Galeras presentó un descenso, tanto en la ocurrencia como en la energía sísmica liberada respecto a los valores registrados en junio de 2014. Los sismos asociados con fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (HYB) fueron los que aportaron el mayor número y la mayor fracción de energía liberada fue aportada por los sismos relacionados con fracturamiento de roca, o Volcano-Tectónicos (VT). Algunos de los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (eventos tipo 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 (VT) e (HYB), se identificaron dos fuentes, la primera ubicada en inmediaciones del cráter principal hacia el sector noroccidental, a distancias menores a los 2 km, con profundidades superficiales (menores a 2,5 km respecto a la cima volcánica) y la segunda ubicada hacia el sector nororiental del edificio volcánico a 7 km de distancia y profundidades entre los 4 y 8 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 2,1 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, fue posible evidenciar emisiones de gases durante la mayor parte del mes, exceptuando los días 6, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 22 de julio, 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 los 200 m 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 descenso del 2,6%.

La energía sísmica liberada disminuyó en un 53,6% 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 20 sismos, la mayoría se localizaron en inmediaciones del complejo volcánico Cumbal a menos de 3 km de distancia y profundidades menores a 6 km. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 1,9 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, disminuyó en un 53,3% respecto a la registrada en junio, todos ellos asociados con fractura de material cortical. De esta sismicidad fue posible localizar 776 eventos, ubicados en su mayoría a menos de 4,2 km de distancia al suroccidente del volcán Chiles, con profundidades de hasta 6,5 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 3,2 en la escala de Richter.

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

Se resalta que en este mes, se dio inicio al muestreo telemétrico del parámetro temperatura de la fuente termal Baño Grande ubicada en cercanías del cabildo de Chiles.

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

En el volcán Las Ánimas no se tuvo registro de sismos asociados a la actividad propia del volcán.

En los volcanes Doña Juana y Azufral se tuvo registro de un evento tipo VT, los cuales no fueron localizados debido a su bajo nivel energético.

Condiciones de clima favorables durante los días 1, 3, 4, 5, 25 y 31 de julio de 2014, permitieron evidenciar a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán Azufral, 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 julio 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 – JULIO DE 2014

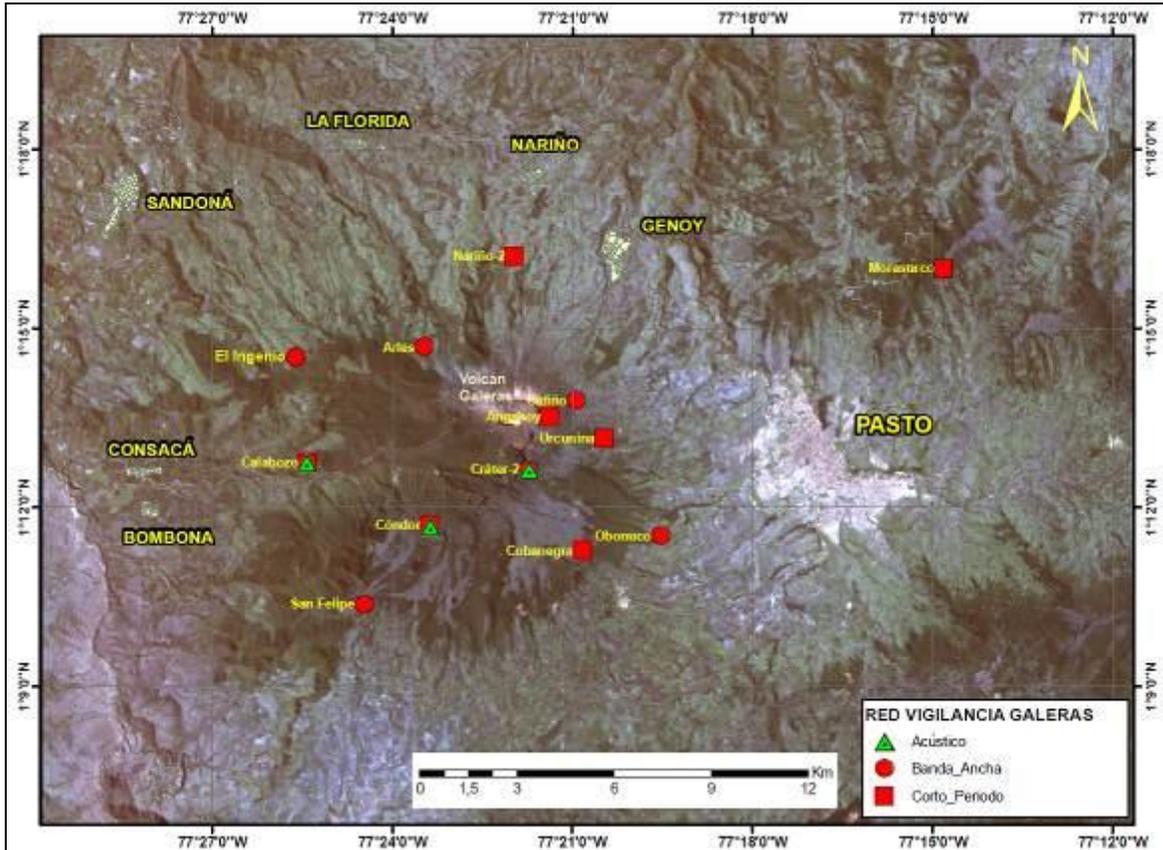
### 1.1. RED DE VIGILANCIA

En julio 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).
- 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 sismológica 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 (SO<sub>2</sub>) con transmisión telemétrica localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 4, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de variación del campo Magnético, Cráter, Frailejón y Barranco. Adicionalmente, las estaciones EM-Frailejón y EM-Barranco cuentan con sistemas de medición de variación de campo eléctrico 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 julio de 2014, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 94,5 %, 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 SO<sub>2</sub> Alto Tinajillas se encontraba fuera de funcionamiento debido a daño en el radio transmisor por una tormenta eléctrica, siendo recuperada la señal el día viernes 28 de Julio.



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

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

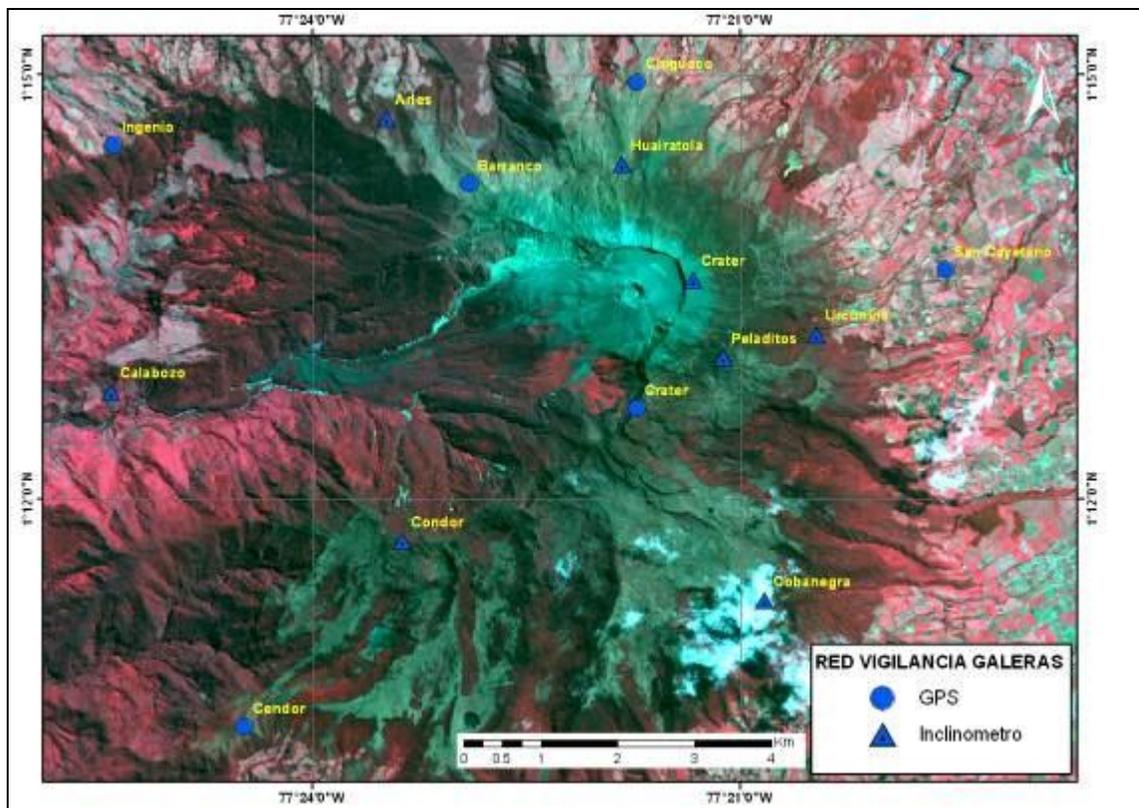
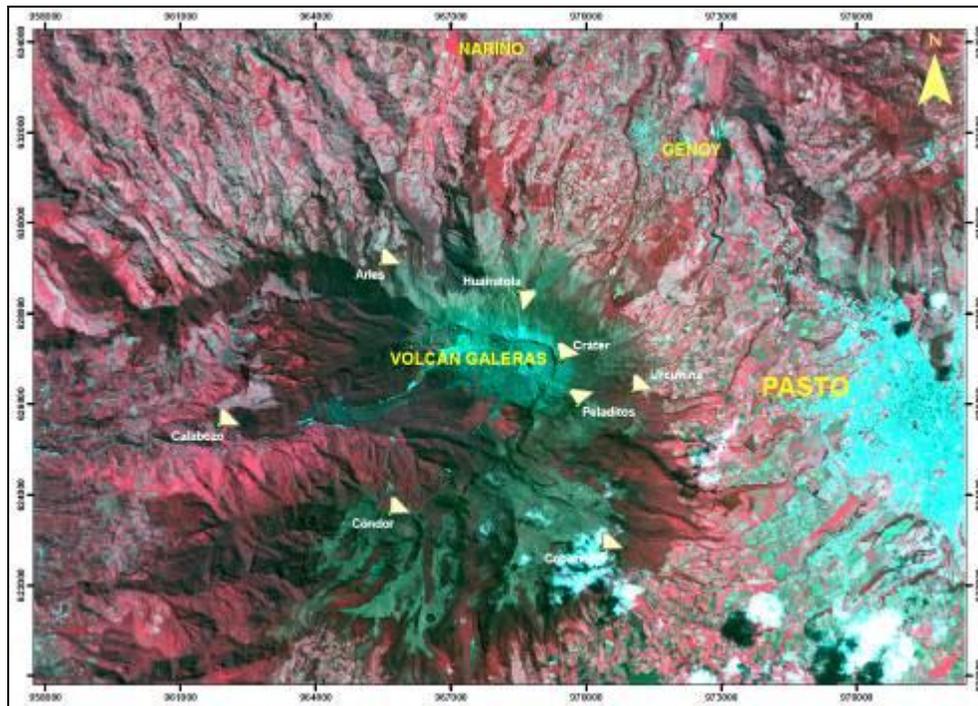


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de julio de 2014.



**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 julio 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 julio 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

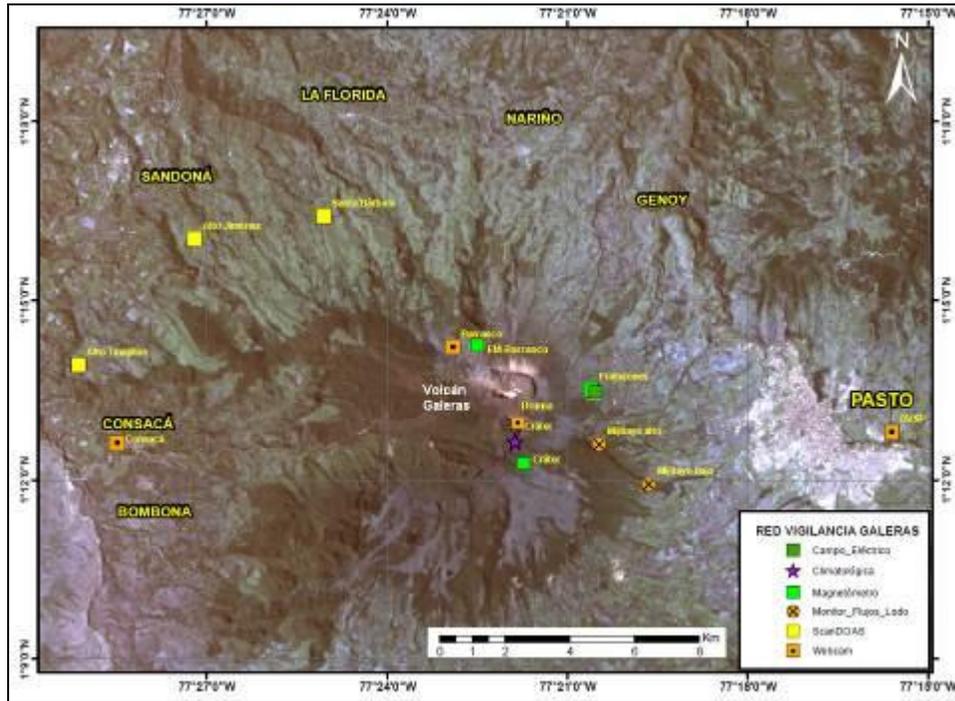


Figura 4. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, detectores de flujos de lodos, ScanDOAS, climática y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante julio de 2014.

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

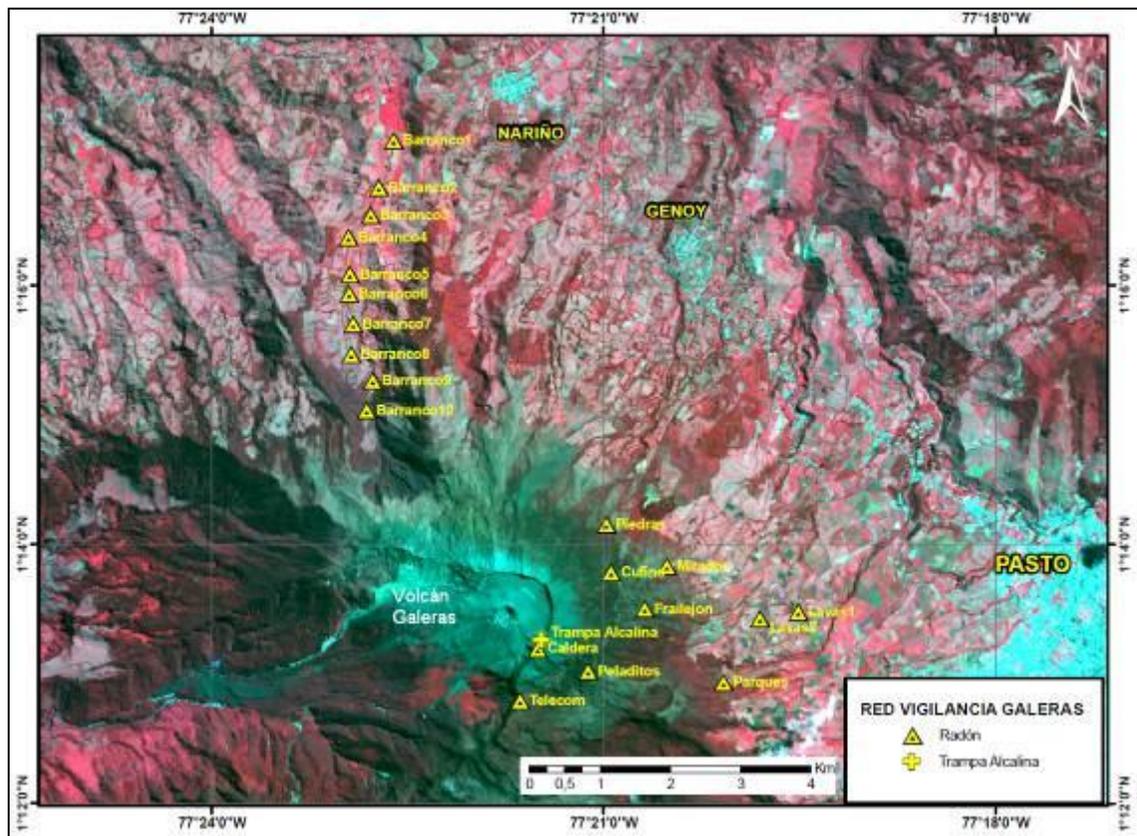


Figura 5. Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.

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

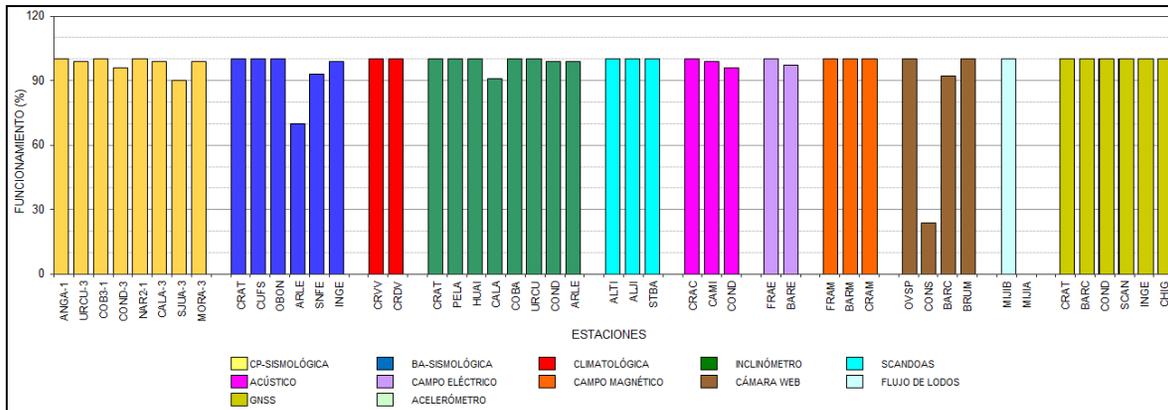


Figura 6. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en julio de 2014.

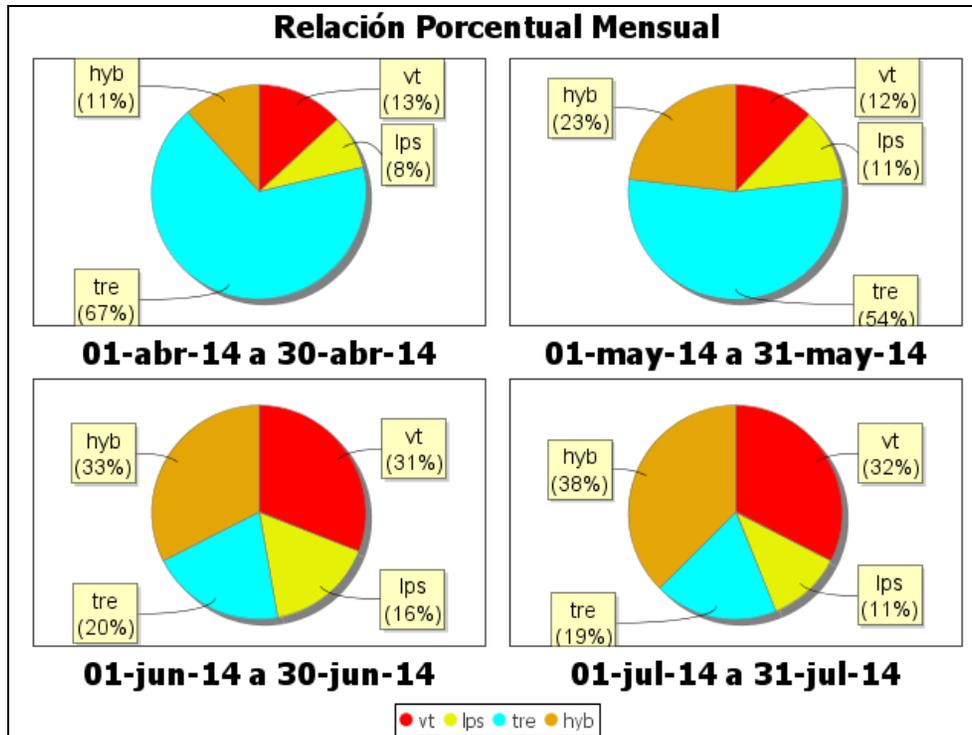
## 1.2. SISMOLOGIA

En el mes de julio, la actividad sísmica de Galeras presentó un descenso del 35% (pasando de 123 a 80 sismos) con relación al mes anterior. La sismicidad se caracterizó por el predominio de eventos asociados a fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (sismos tipo HYB) con un 37,5% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de ocurrencia por eventos asociados a fracturamiento de roca al interior de la estructura volcánica (sismos tipo VT) con un 32,5%. Los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (eventos tipo LP) y los asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE) aportaron con el 11,3 y 18,8% 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 LPS disminuyeron en un 55%, los sismos TRE disminuyeron en un 40, los VT disminuyeron en un 31,6% y los sismos tipo HYB en un 35%. De igual manera, en la evaluación de la actividad se observó que la

ocurrencia de sismos de muy bajo nivel energético fue menor en un 55,9% respecto al número registrado en junio de 2014 (Tabla 8, Figuras 8 y 9).

En este mes se registraron 15 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 31 minutos.



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

**Tabla 8.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de abril y el 31 de julio 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-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
01-jun-14 a 30-jun-14	38	20	25	40	123	1783	46
01-jul-14 a 31-jul-14	26	9	15	30	80	787	31

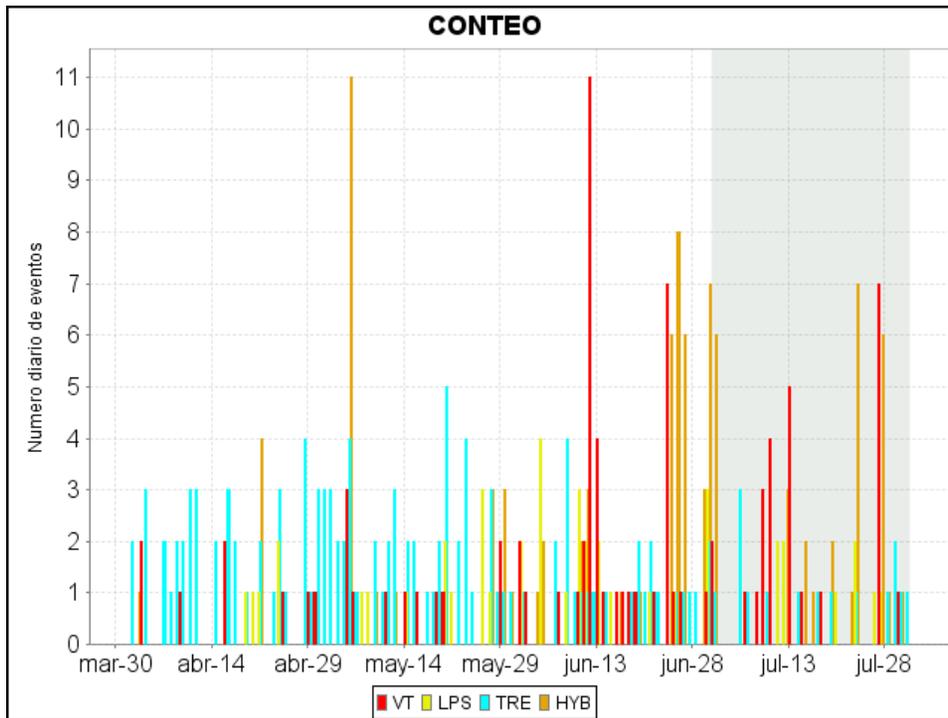


Figura 8. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.

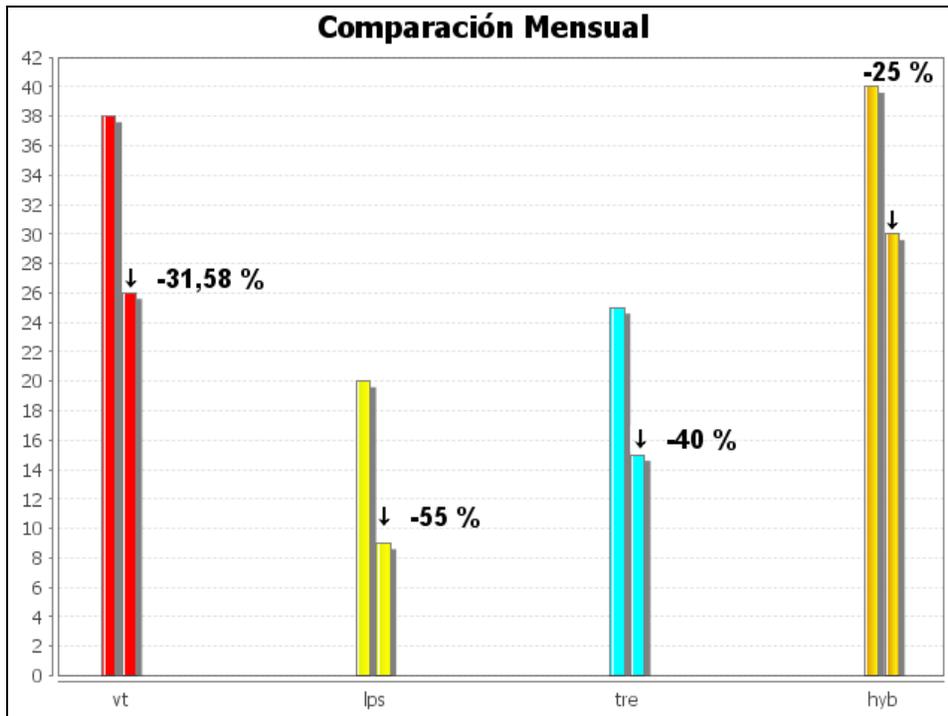
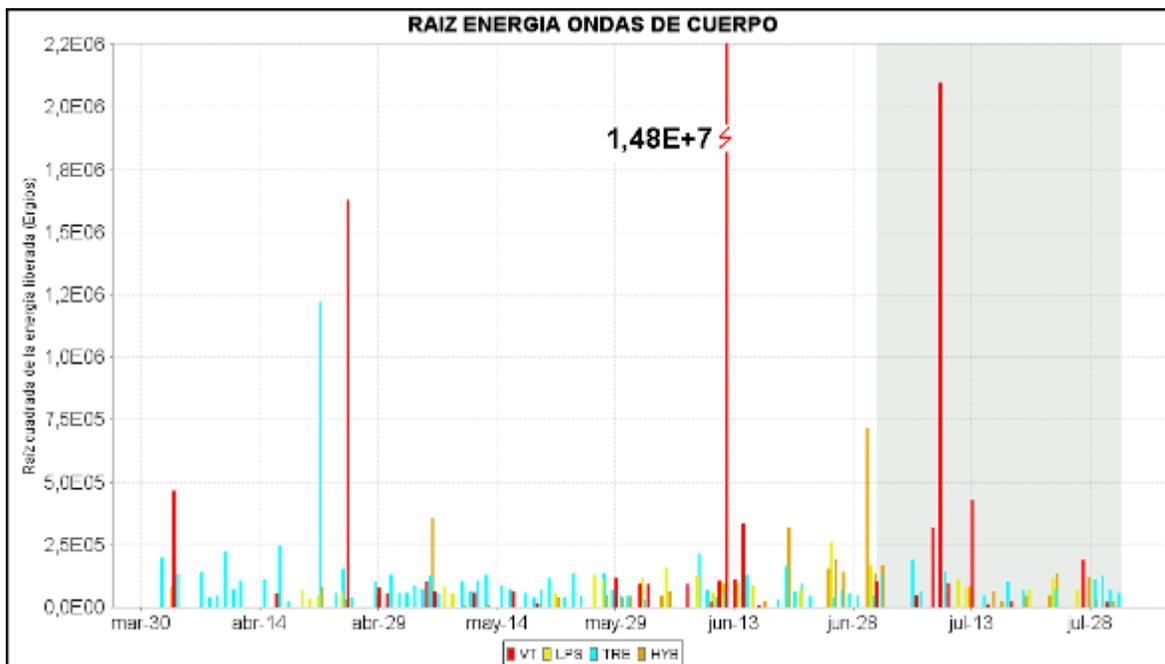


Figura 9. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada disminuyó en un 97,7% en comparación a lo registrado en junio de 2014, pasando de  $2,20 \times 10^{14}$  ergios a  $3,98 \times 10^{12}$  ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos VT con un 95%, seguidos por los eventos tipo TRE con un 2,6%, mientras que los eventos tipo HYB y LPS aportaron con el 1,5% y 0,9% (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 abril y el 31 de julio de 2014 resaltando en color verde el mes evaluado.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
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
01-jun-14 a 30-jun-14	2.19E+14	1.85E+11	1.26E+11	7.24E+11	2.20E+14
01-jul-14 a 31-jul-14	4.73E+12	4.08E+10	1.32E+11	7.67E+10	4.98E+12



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

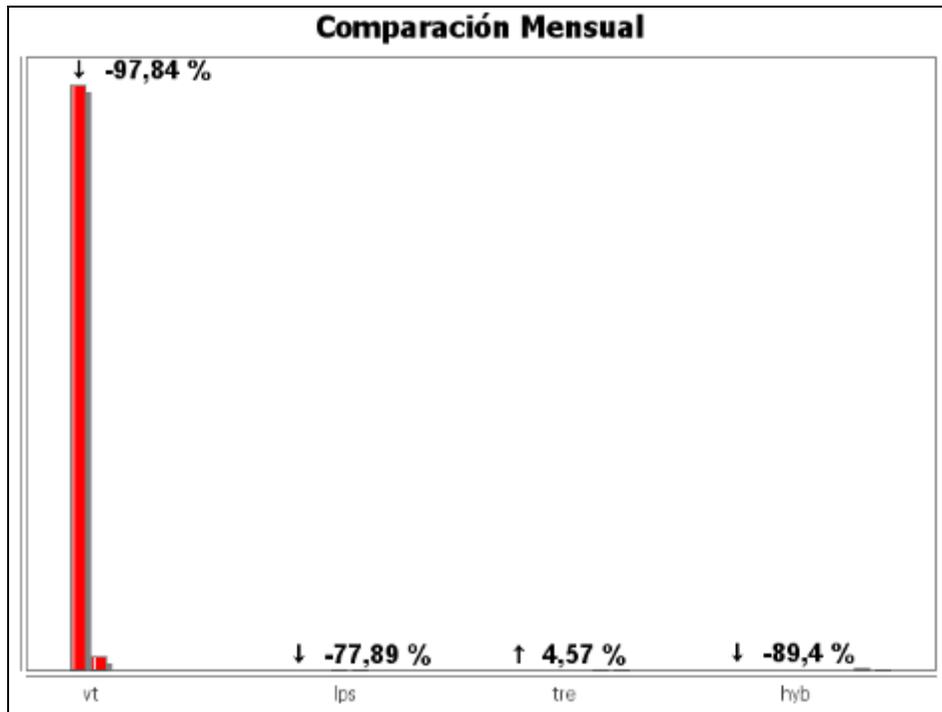


Figura 11. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para julio de 2014 (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

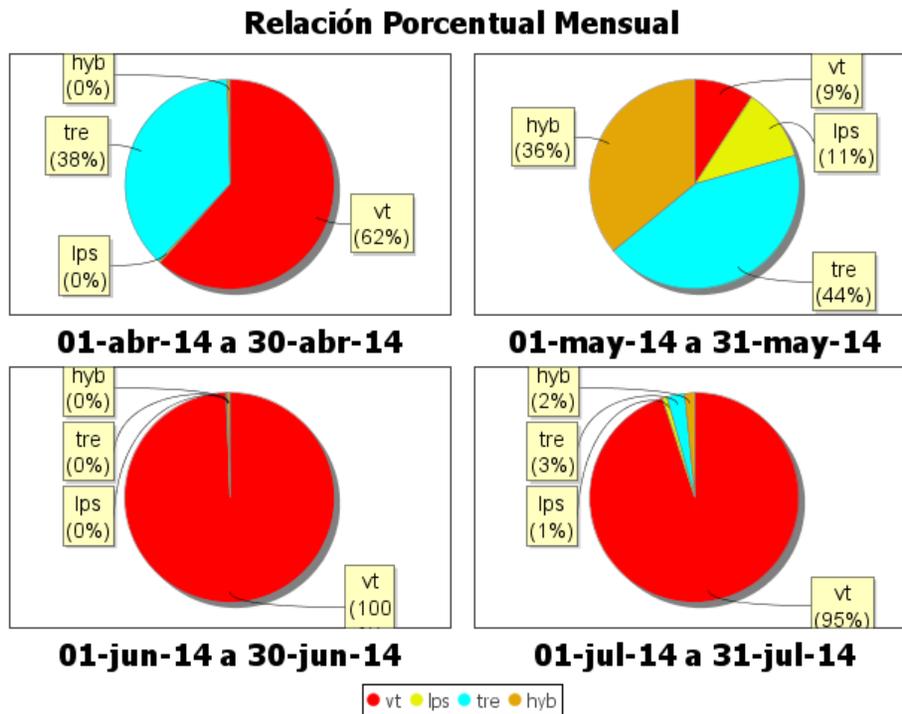
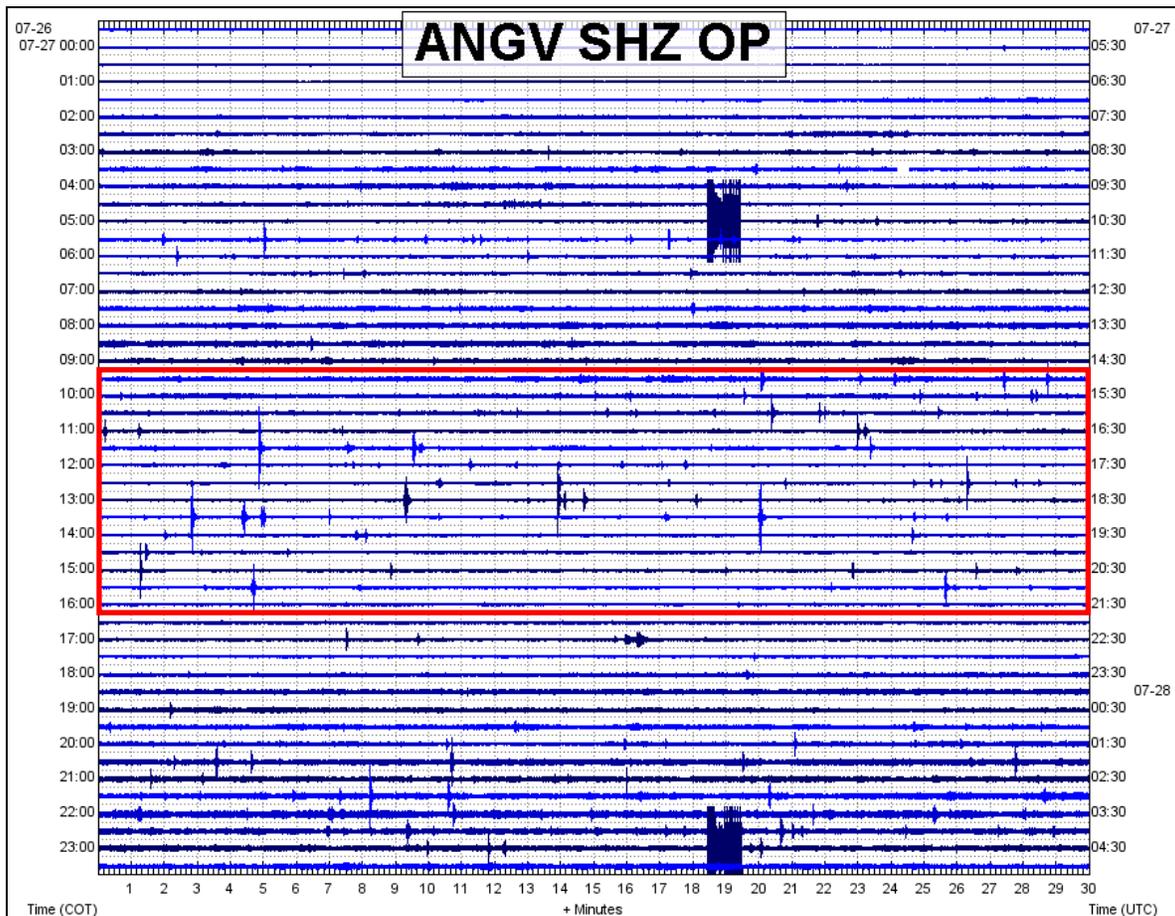


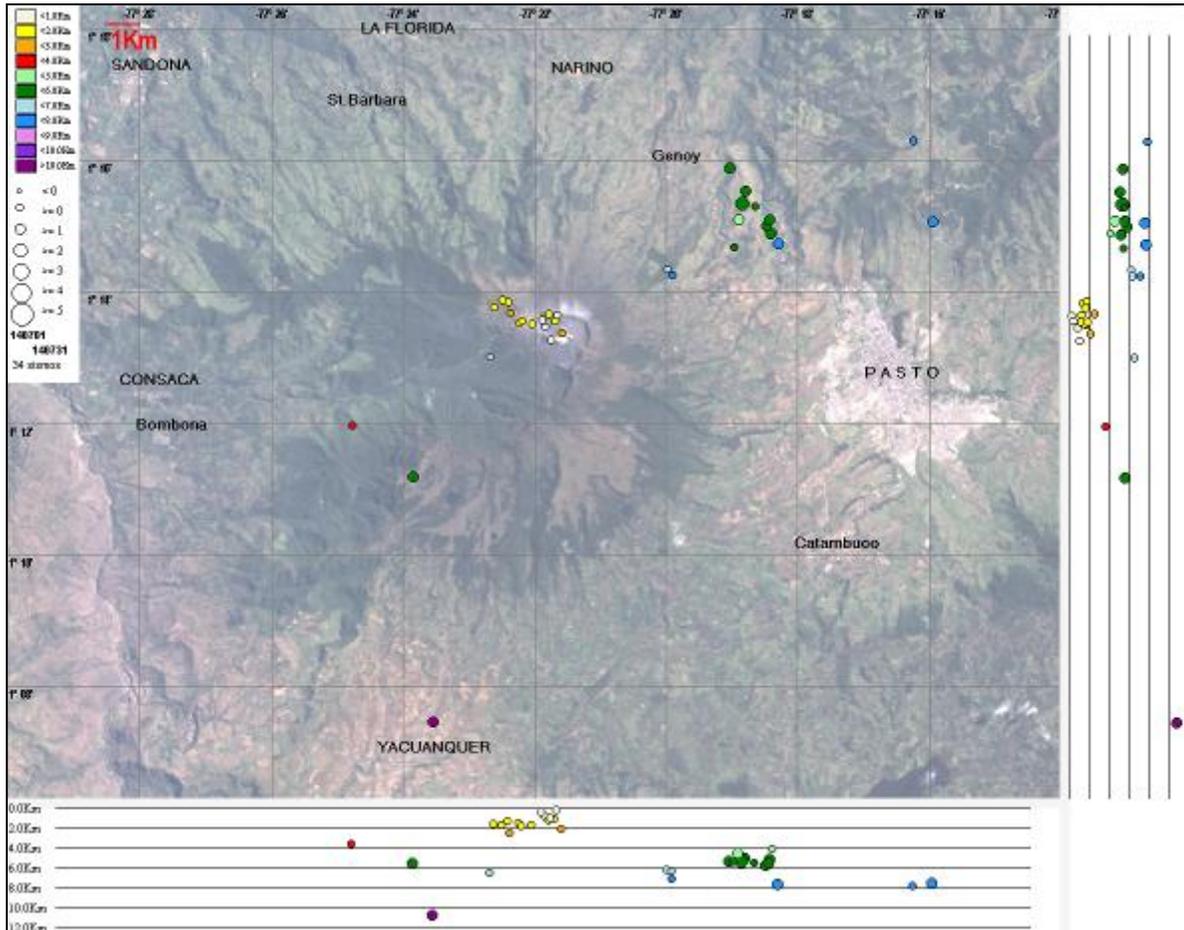
Figura 12. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde abril a julio de 2014.

De la actividad en el mes, se resalta la ocurrencia de un enjambre sísmico, registrado el 27 de julio de 2014, contabilizando 47 eventos de fuente transitoria entre eventos tipo HYB y LPS no clasificables y 7 eventos clasificables (3 VT, 3 HYB y 1 LP). En la Figura 13 se observa el enjambre sísmico de bajo nivel energético (recuadro rojo) ocurrido entre las 9:50 a.m. y las 4:00 p.m. del 27 de julio de 2014.



**Figura 13.** Sismograma en la estación sísmica Anganoy del enjambre de eventos sísmicos registrado el 27 de julio 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 34 sismos, 27 de ellos tipo VT y 7 HYB, notándose dos fuentes, la primera ubicada en inmediaciones del cráter principal hacia el sector noroccidental, a distancias menores a los 2 km, con profundidades superficiales (menores a 2,5 km respecto a la cima volcánica) y la segunda ubicada hacia el sector nororiental del edificio volcánico a 7 km de distancia y profundidades entre los 4 y 8 km respecto a la cima. Algunos de los eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a distancias menores a los 11 km y profundidades menores a los 10,5 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 2,1 en la escala de Richter (Figura 14).



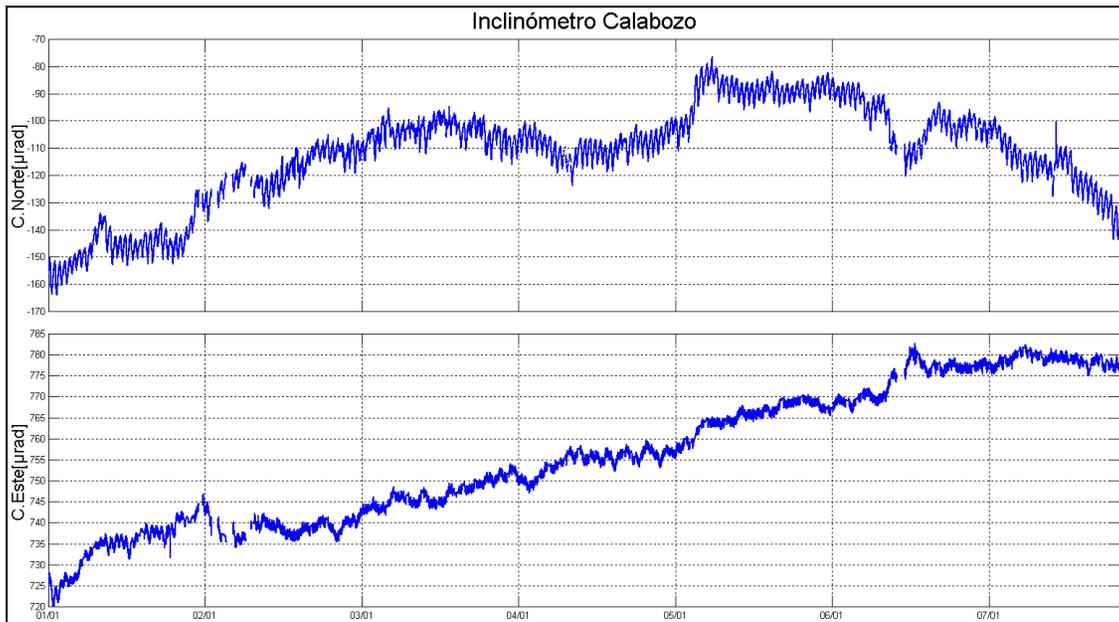
**Figura 14.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de julio de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).

### 1.3. DEFORMACIÓN

#### 1.3.1. Estaciones de Inclímetro Electrónica

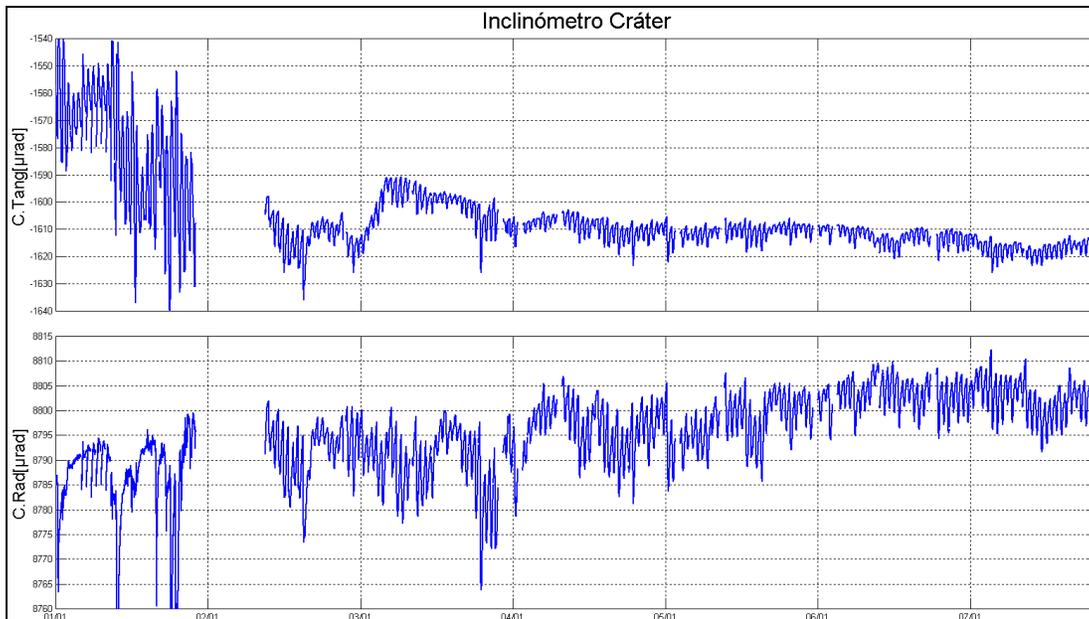
De los procesos de deformación del edificio volcánico, con base en la evaluación de la información obtenida por medio de la red de inclinómetros electrónicos de Galeras, en julio de 2014 se resalta:

La componente Norte del inclinómetro Calabozo (localizado a 6,8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 m.s.n.m.), registra desde el mes de junio de 2014 un comportamiento descendente, acumulando hasta el 31 de julio de 2014 una variación de 55  $\mu$ rad, mientras que la componente Este presenta estabilidad a partir del 13 de junio (Figura 15).

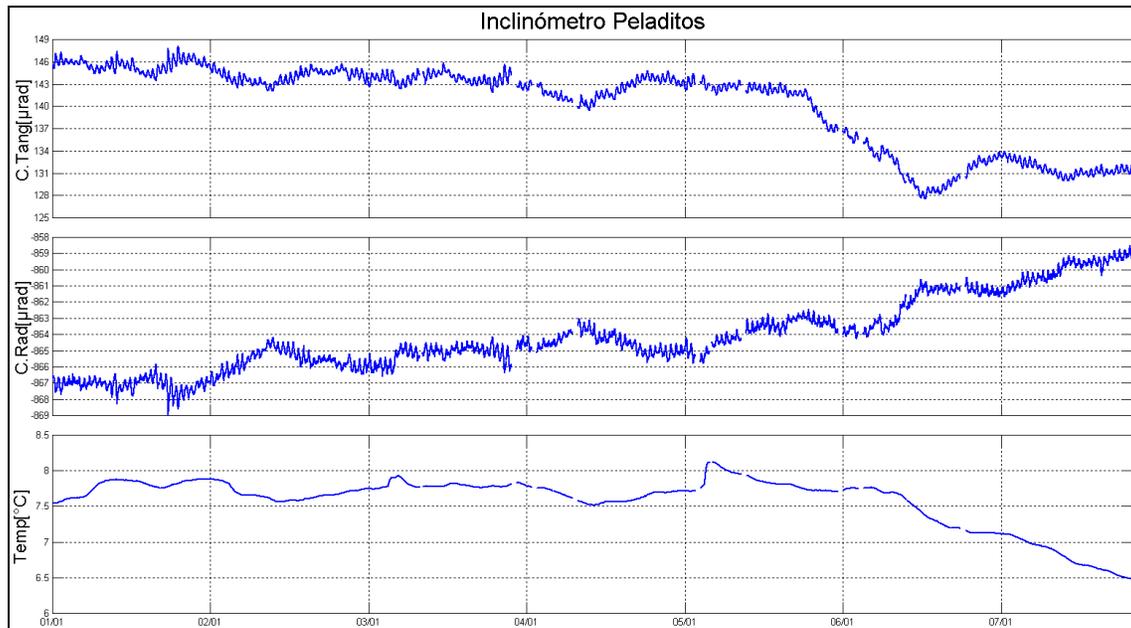


**Figura 15.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.

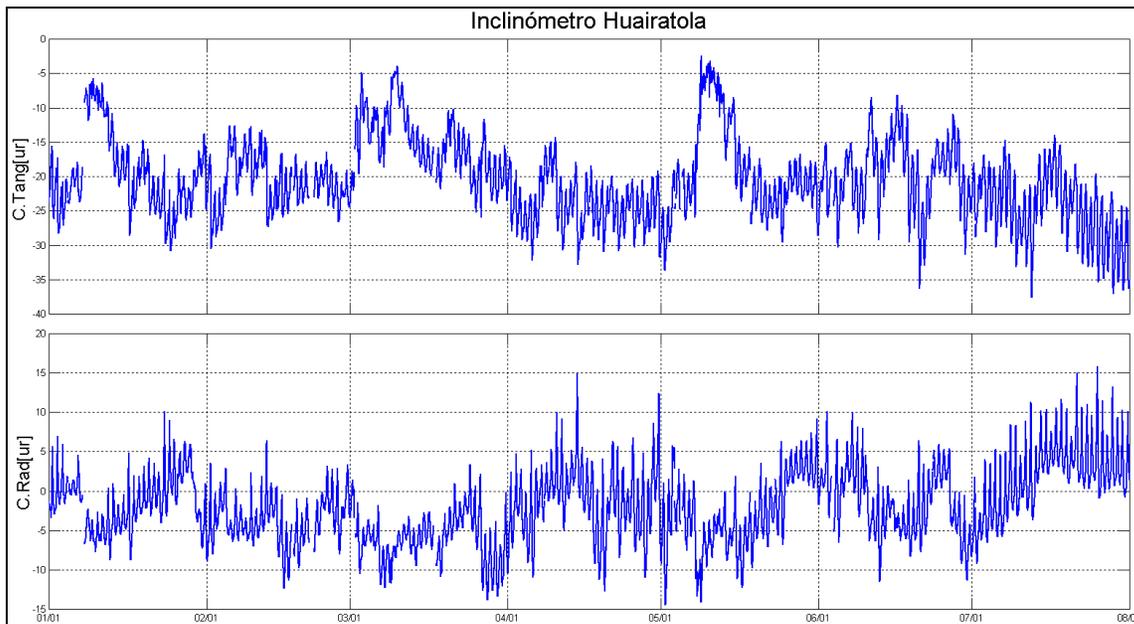
Los Inclinómetros Cráter (ubicado a 0,8 km al este del cráter principal y 4060 msnm), Peladitos (1,4 km al sureste del cráter principal, 3850 msnm), Huairatola (1,7 km al norte del cráter principal, 3745 msnm), Cobanegra (situado a 3,9 km al sur-sureste del cráter principal, a 3610 msnm), Urcunina (2,26 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).



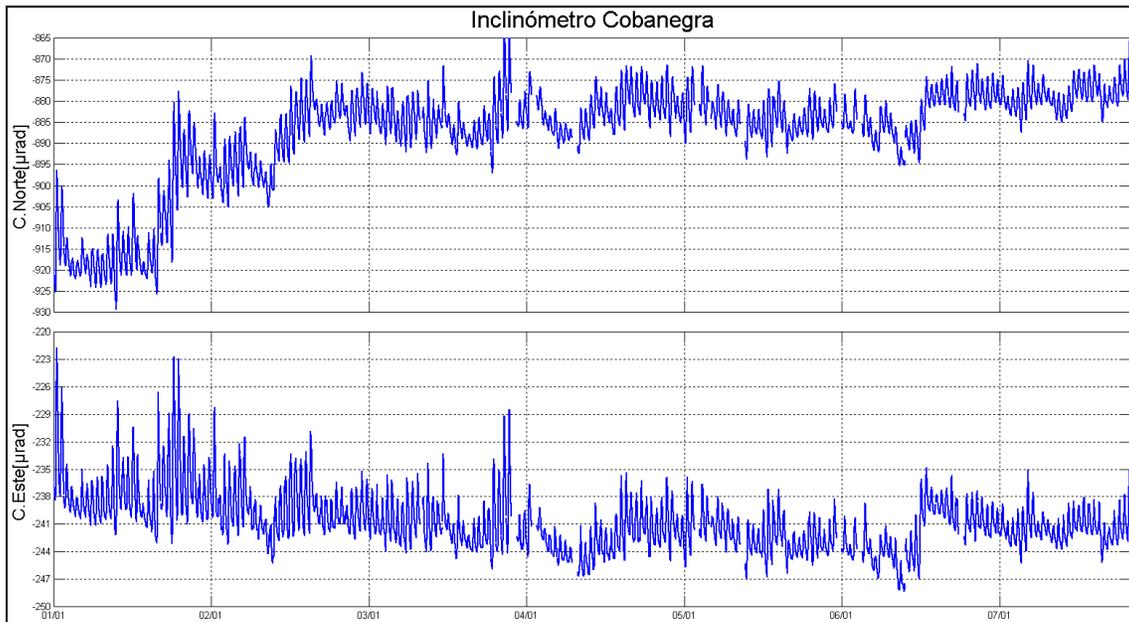
**Figura 16.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.



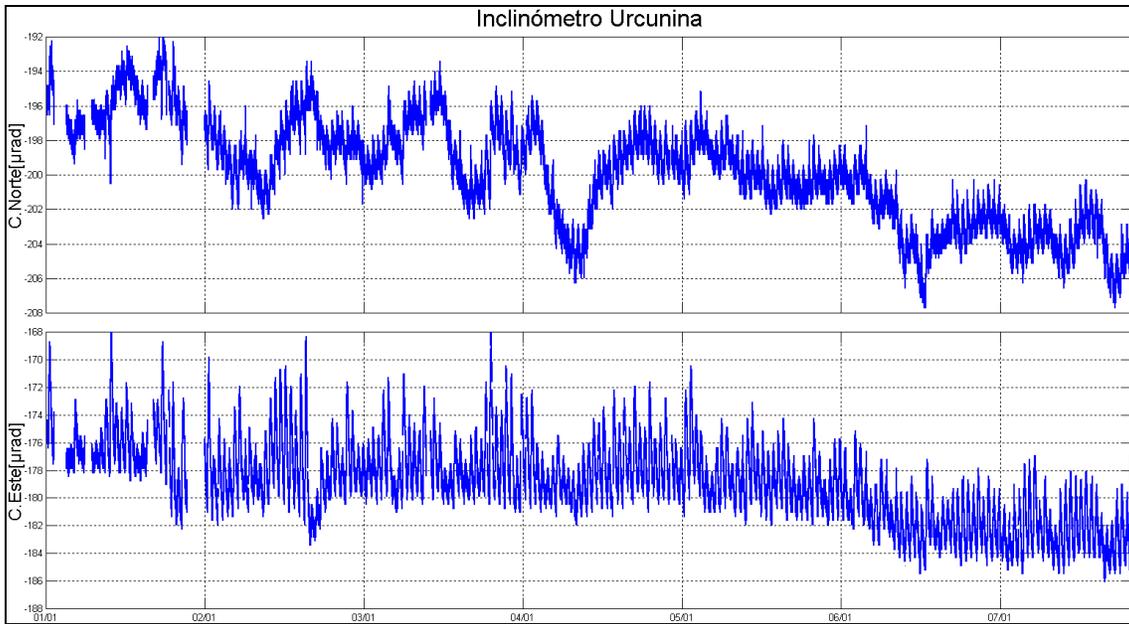
**Figura 17.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014. En la figura también se observa el canal correspondiente a la temperatura, notándose que los cambios observados en las componentes Tangencial y Radial podrían estar relacionados con cambios en la temperatura.



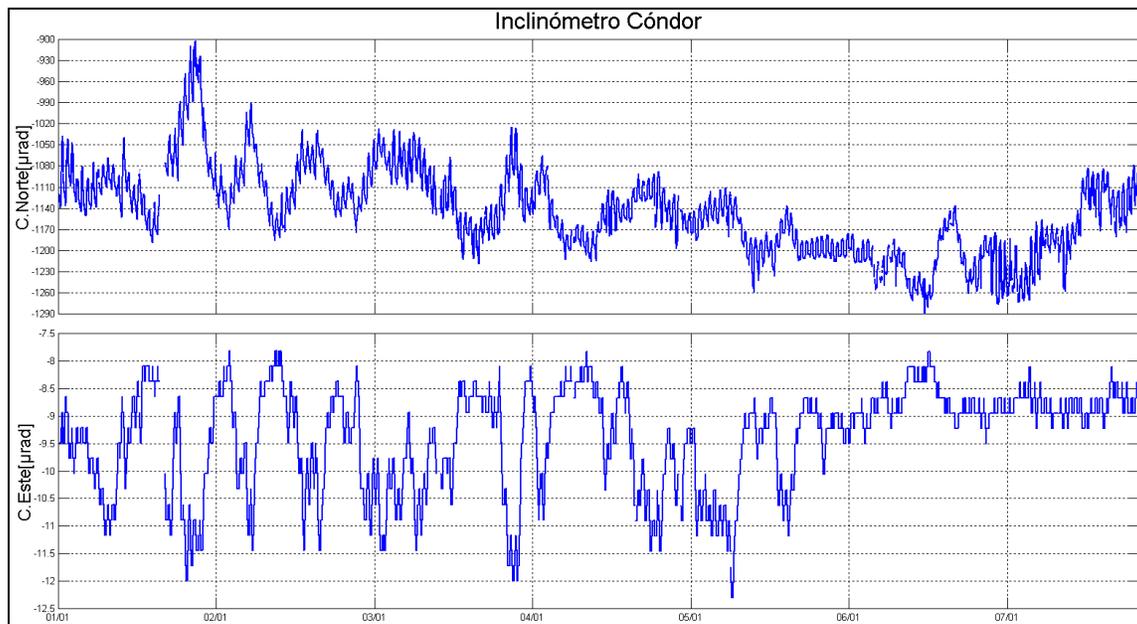
**Figura 18.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.



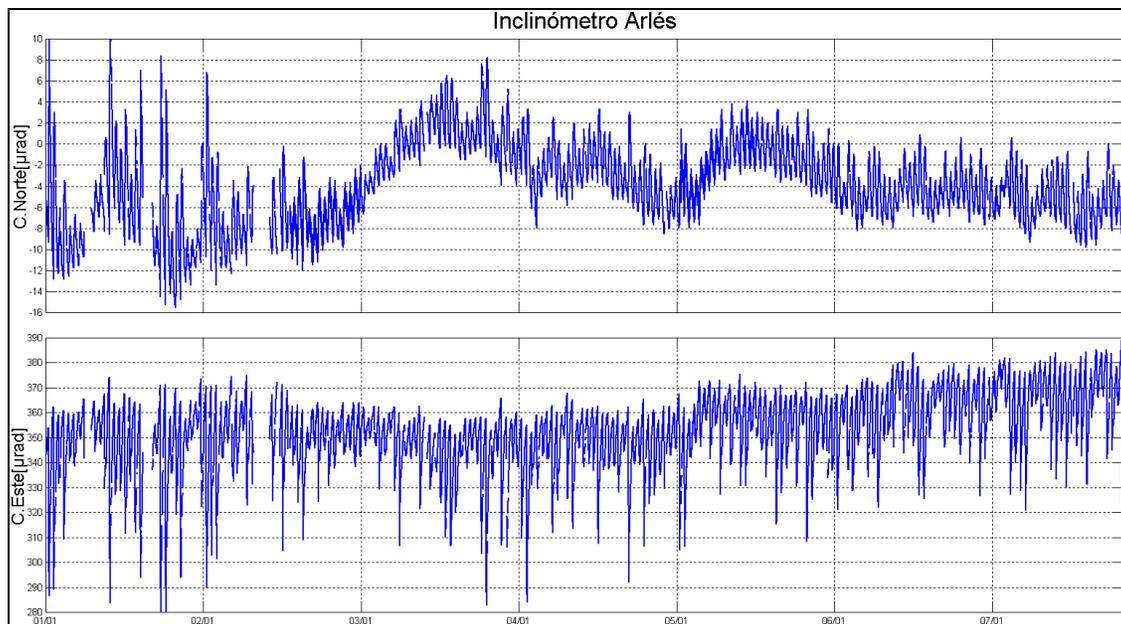
**Figura 19.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.



**Figura 20.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.



**Figura 21.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Córdor para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.

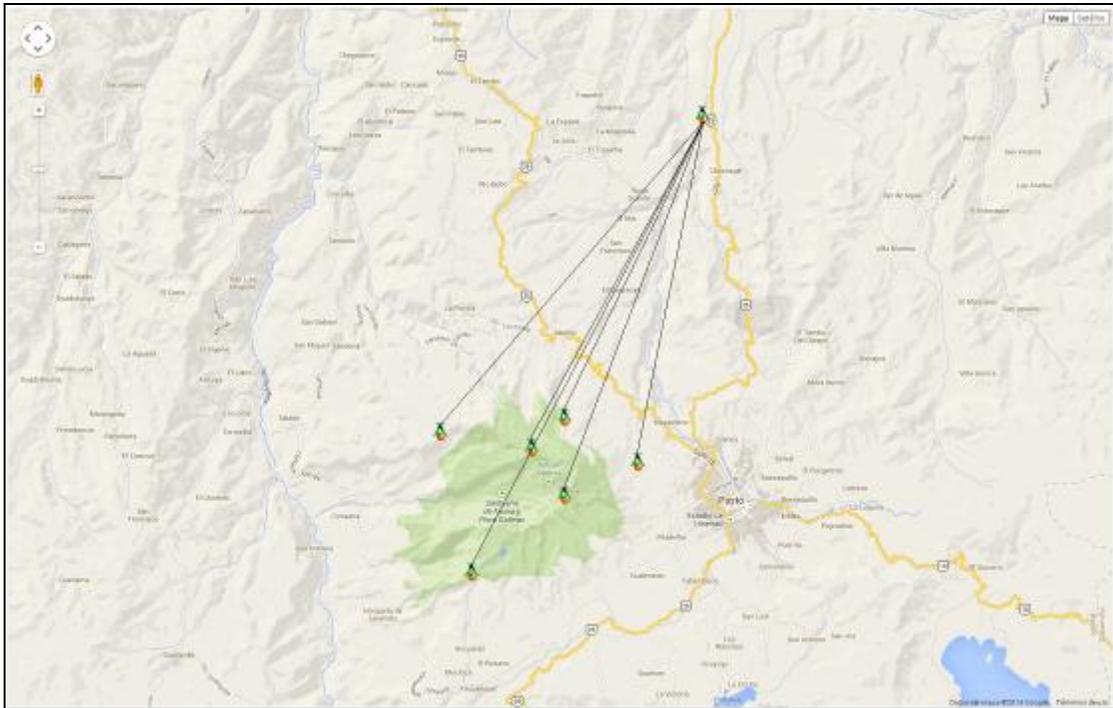


**Figura 22.** Inclinación del terreno medida en microradianes ( $\mu\text{rad}$ ) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.

### 1.3.2. Estaciones GNSS permanentes

En julio de 2014 se contó con 6 estaciones receptoras GNSS permanentes. Resaltando que las estaciones Chiguaco e Ingenio fueron instaladas a inicios de este año.

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 23.

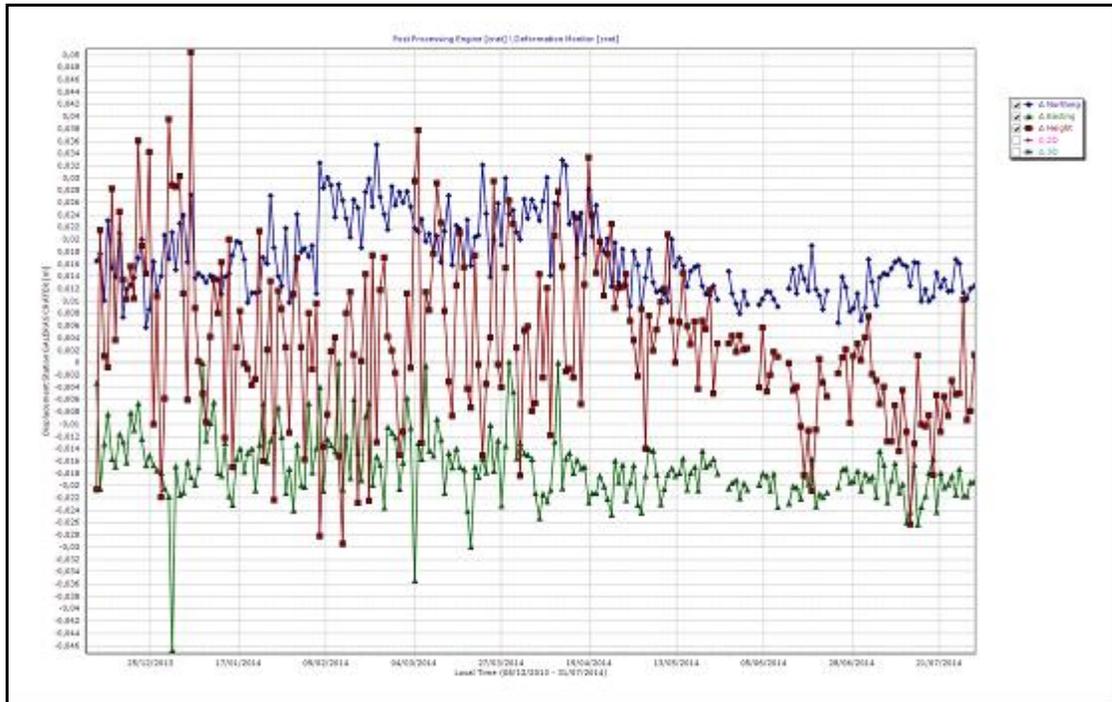


**Figura 23.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.

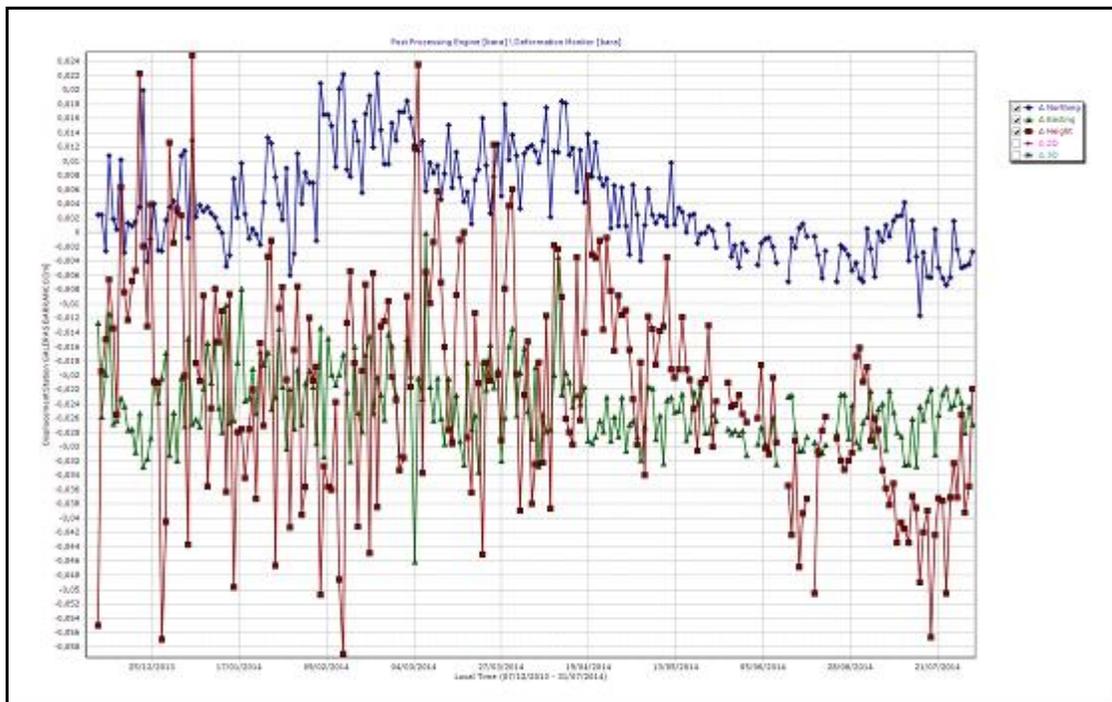
Algunas de las estaciones se encuentran en un proceso de estabilización con respecto al nivel base y se requiere de un tiempo cercano de 2,5 años a partir de su instalación para la estabilidad del equipo. Las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, San Cayetano, en octubre de 2012, Cráter y Barranco en agosto y octubre de 2011 respectivamente y Cóndor 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 para los últimos dos meses un comportamiento relativamente estable en los registros Norte y Este de Cráter, Barranco, Cóndor y San Cayetano (Figuras 24, 25, 26 y 27).

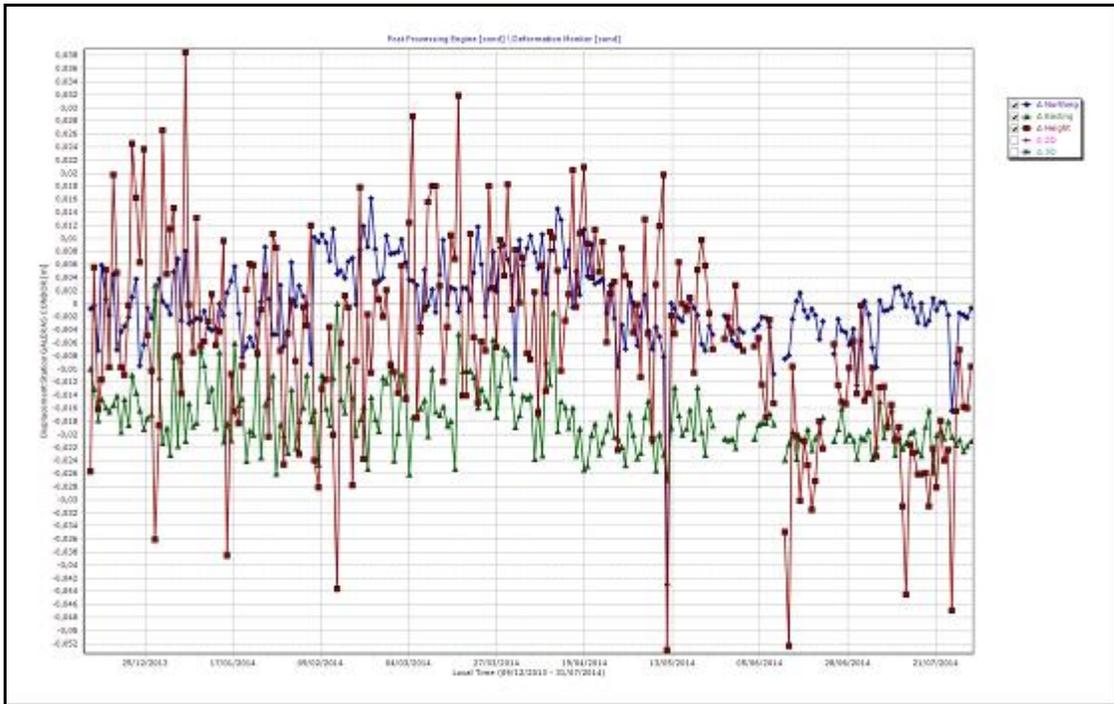
Los cambios observados en Chiguaco e Ingenio podrían estar asociados con el proceso de estabilización de la estación (Figuras 28 y 29).



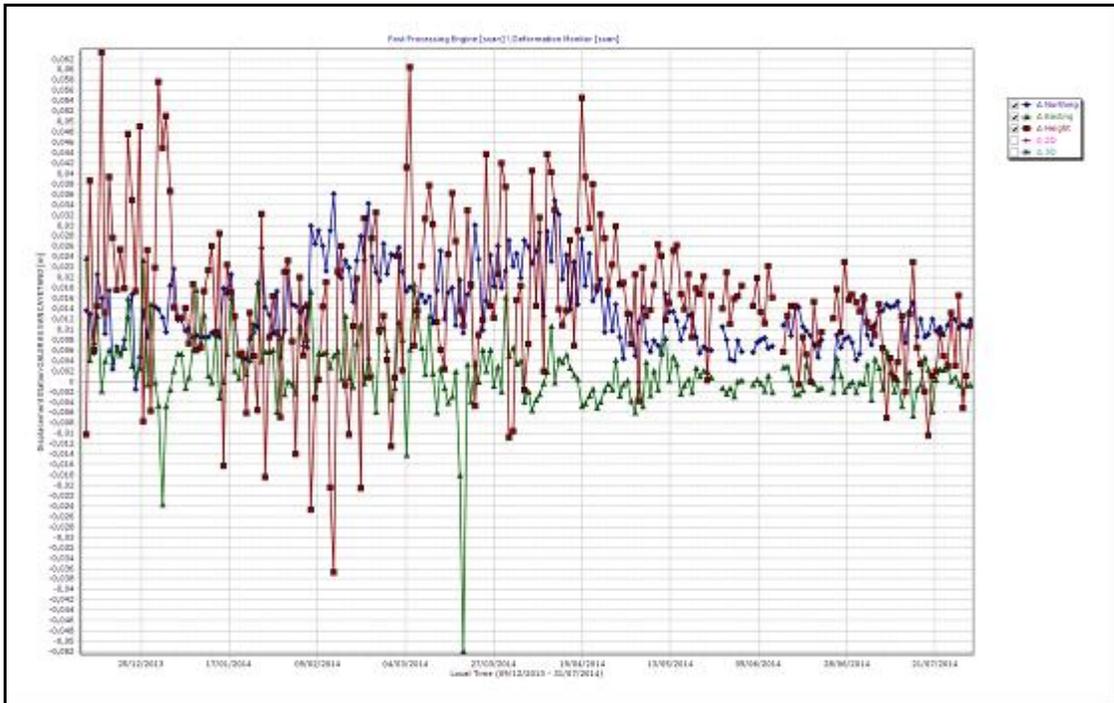
**Figura 24.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de julio de 2014.



**Figura 25.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de julio de 2014.



**Figura 26.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de julio de 2014.



**Figura 27.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 31 de julio de 2014.

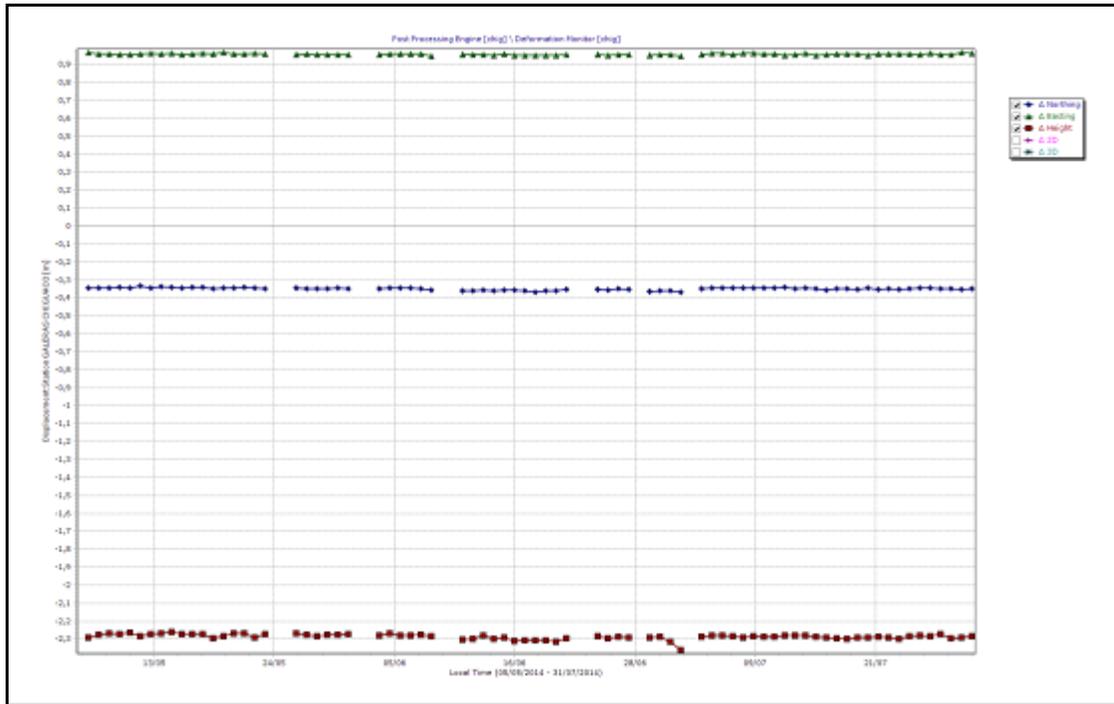


Figura 28. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el mes de mayo y el 31 de julio de 2014.

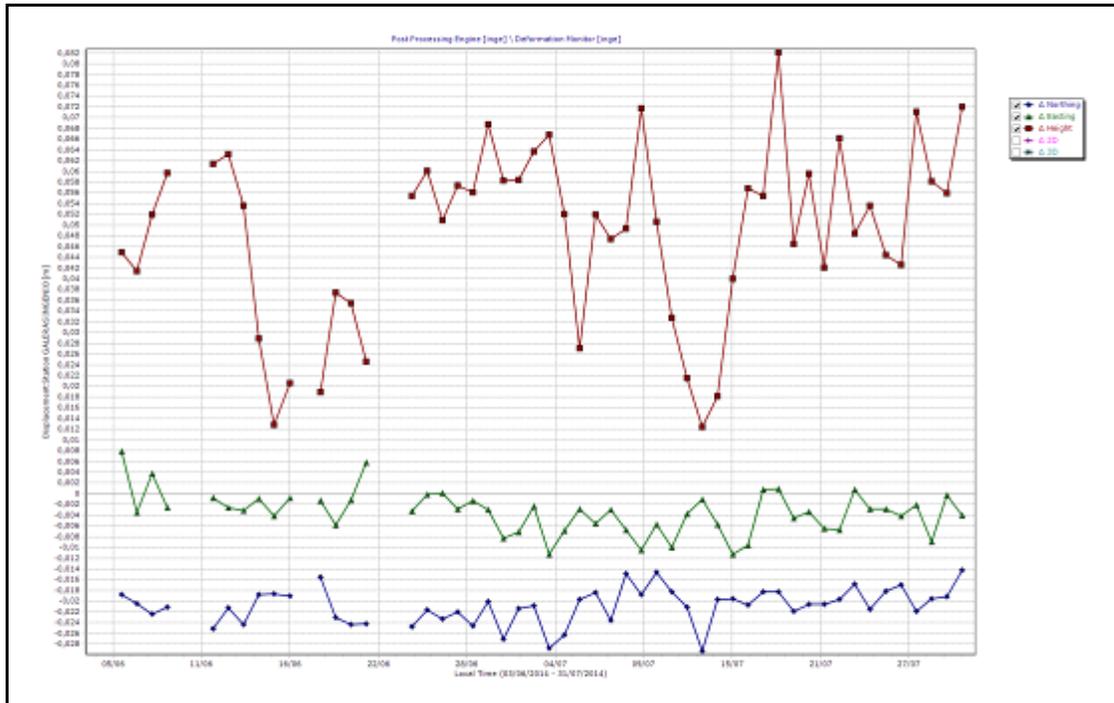
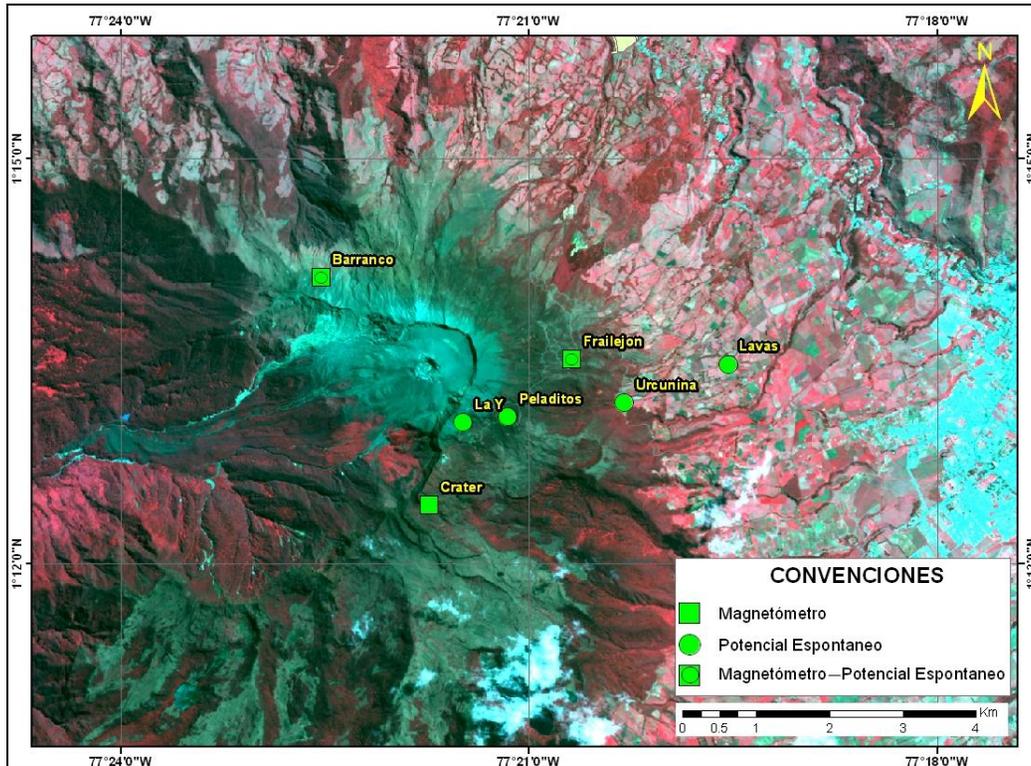


Figura 29. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el mes de junio y el 31 de julio de 2014.

#### 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 30).

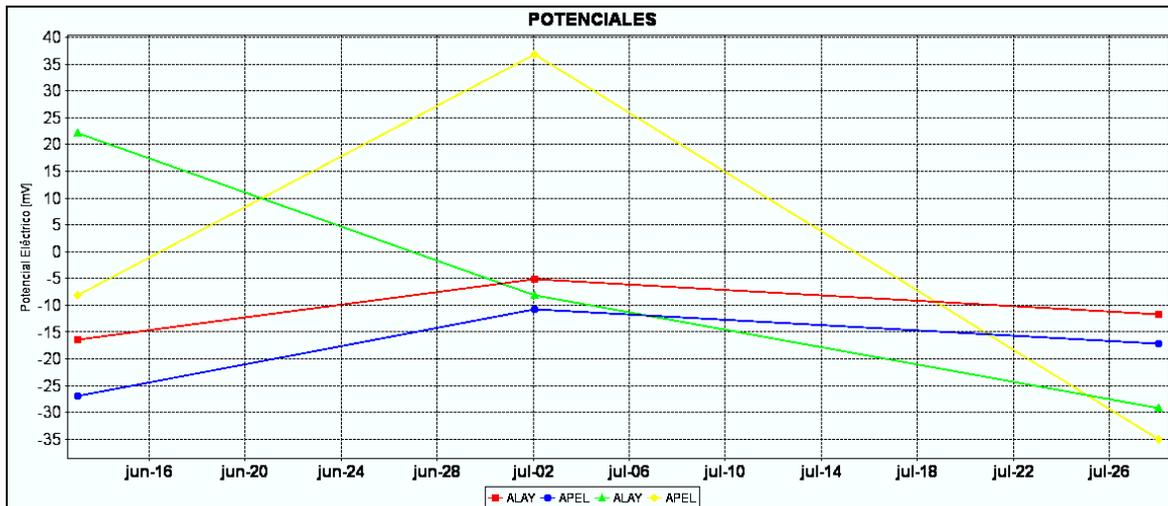


**Figura 30.** Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, y de los puntos de potencial espontáneo que conforman la red de vigilancia del volcán Galeras en julio de 2014.

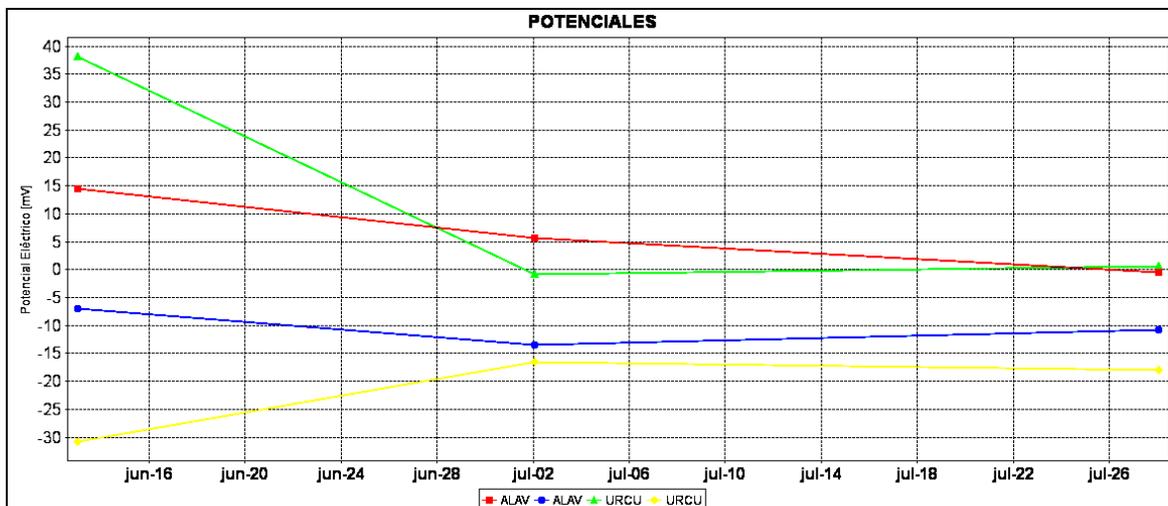
Los diferentes procesos que se dan al interior de un volcán activo, pueden generar manifestaciones geológicas, geofísicas, geoquímicas, etc. Entre este tipo de manifestaciones que se pueden presentar, los volcanes activos pueden generar perturbación del campo eléctrico y magnético de la corteza terrestre,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

Los muestreos quincenales, en las cuatro estaciones de monitoreo de autopotenciales: La Y, Peladitos, Urcunina y Lavas, ubicadas en la zona de influencia del volcán Galeras, muestran variaciones muy bajas, menores a - 35 mV, para el mes de julio de 2014, lo que indica estabilidad en este parámetro para el periodo evaluado (Figuras 31 y 32).



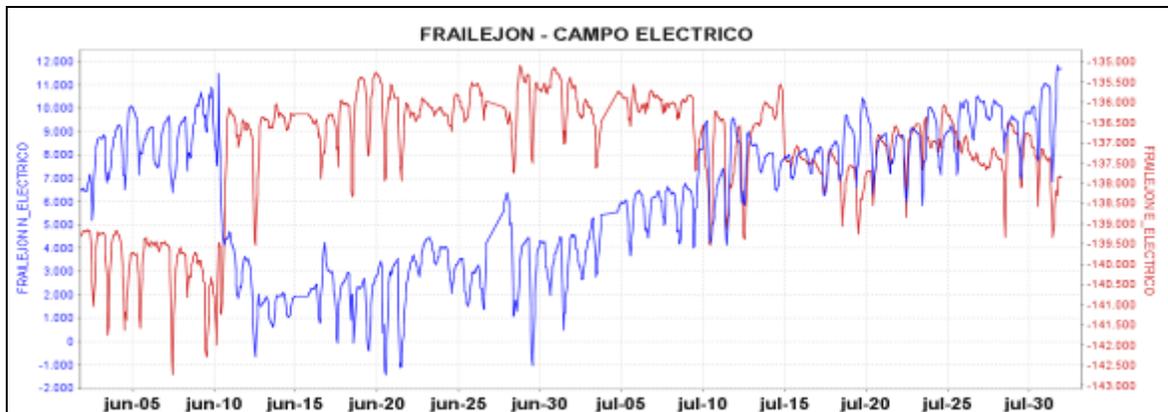
**Figura 31.** Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones La Y (líneas roja y azul) y Peladitos (líneas verde y amarilla), para el periodo entre junio y julio de 2014.



**Figura 32.** Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones Urcunina (líneas roja y azul) y Lavas (líneas verde y amarilla), para el periodo entre junio y julio de 2014.

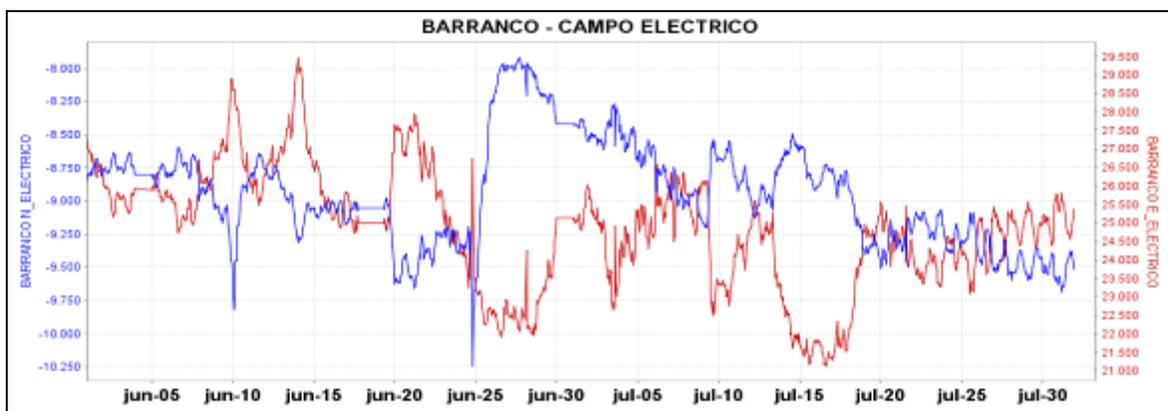
Los registros de las variaciones de Campo eléctrico, en la estación de muestreo permanente Frailejón, muestran un cambio brusco en sus dos componentes, para el 10 de junio, que hasta el momento no se ha asociado con algún tipo de actividad volcánica o solar. Posteriormente, durante

el mes de julio, la componente N muestra una tendencia a recuperar el nivel que venía registrando, en tanto que la componente E se mantiene estable en el nivel del salto (Figura 33).



**Figura 33.** Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, en el periodo entre junio y julio de 2014.

El seguimiento de las variaciones del campo eléctrico, en la estación de monitoreo permanente de Barranco, muestra para sus dos componentes, N y E, un comportamiento descendente, que desde mediados de julio comienza a estabilizarse (Figura 34). Este comportamiento a estabilizarse, tanto en la estación de Frailejón como de Barranco puede estar asociado con la intensificación de la temporada de verano, que ha generado una disminución en la cantidad de fluidos a niveles superficiales del edificio volcánico.



**Figura 34.** Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, en el periodo entre junio y julio de 2014.

El análisis de las variaciones del campo magnético en las estaciones de monitoreo permanente, muestra que tanto en la estación de Frailejón, como en Cráter, este parámetro se mantuvo estable en las tres componentes, durante el mes de julio (Figuras 35 y 36). Para la estación de Barranco, las tres componentes que mostraban una ligera tendencia descendente durante el mes de junio, para julio se observa una tendencia casi estable (Figura 37).

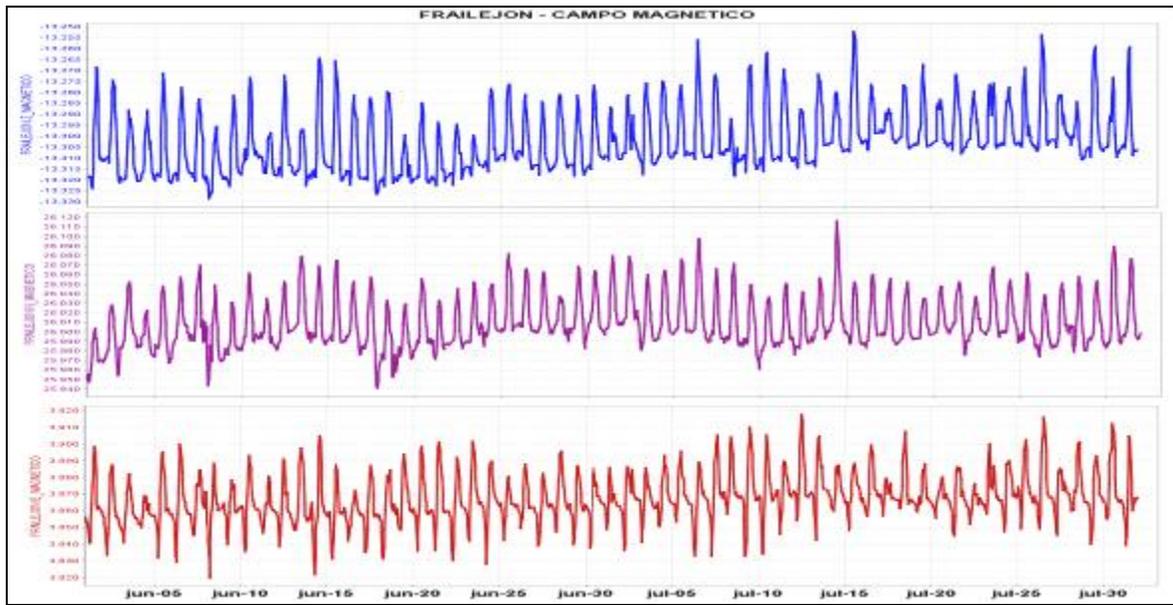


Figura 35. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, para el periodo entre junio y julio de 2014.

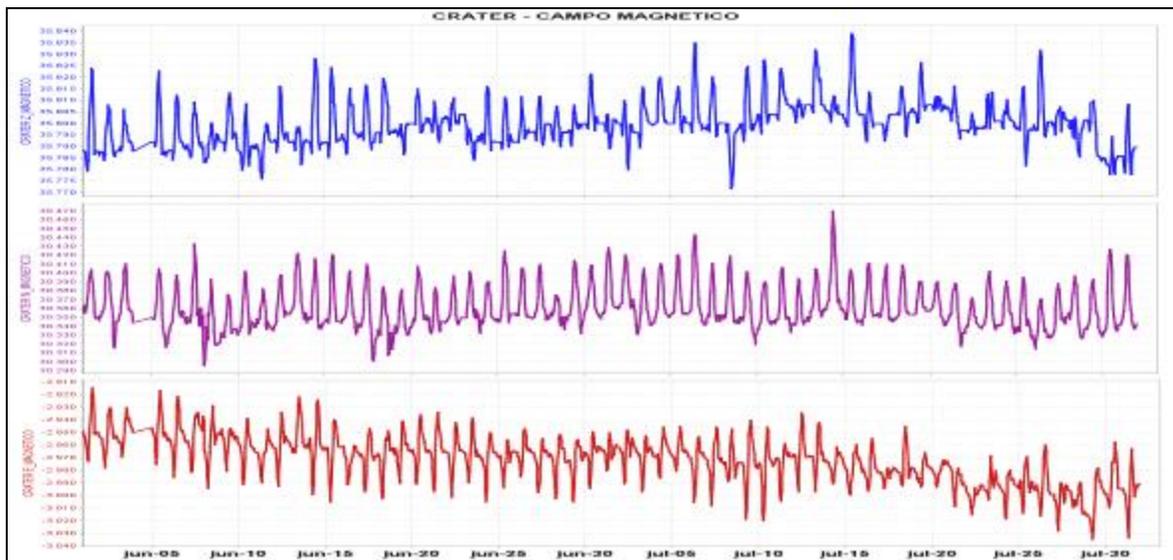
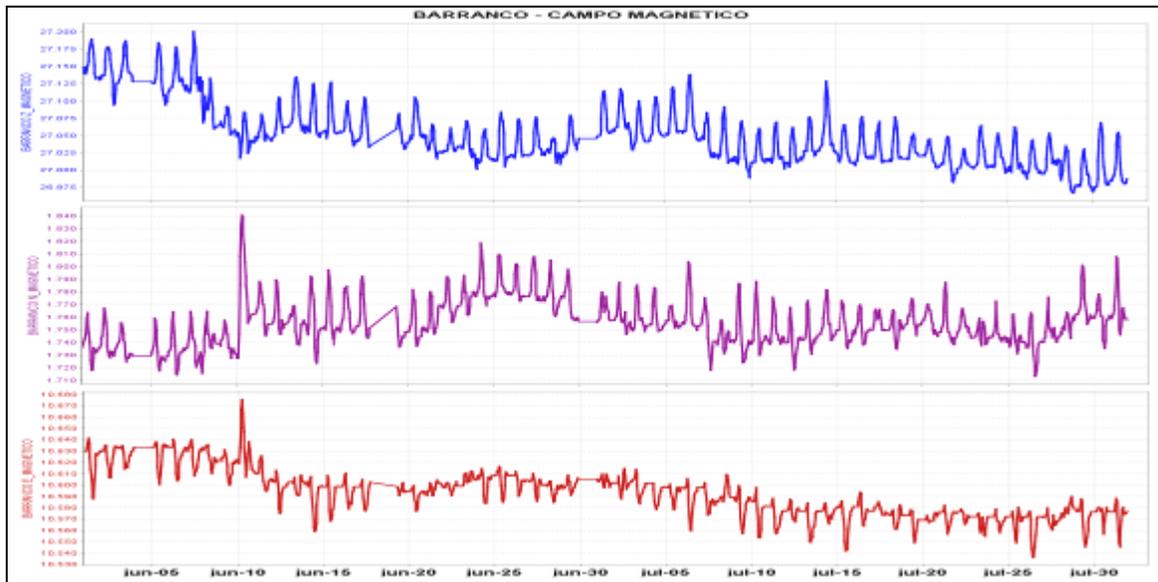


Figura 36. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Cráter, para el periodo entre junio y julio de 2014.



**Figura 37.** Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el periodo entre junio y julio de 2014.

## 1.5. GEOQUIMICA.

### 1.5.1. Mediciones de flujo de emisión de SO<sub>2</sub> con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS

La intrusión de nuevos cuerpos de magma o ascenso del mismo, afecta el flujo de SO<sub>2</sub> hacia la superficie. Los valores estimados de flujo de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de Galerías, corresponden a los escaneos de tres estaciones telemétricas permanentes ScanDOAS, (Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara) localizadas en el cuadrante noroccidental de Galerías). 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 SO<sub>2</sub> en tiempo real (Euripides et al., 2012). Para el cálculo de flujo de SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>, 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.

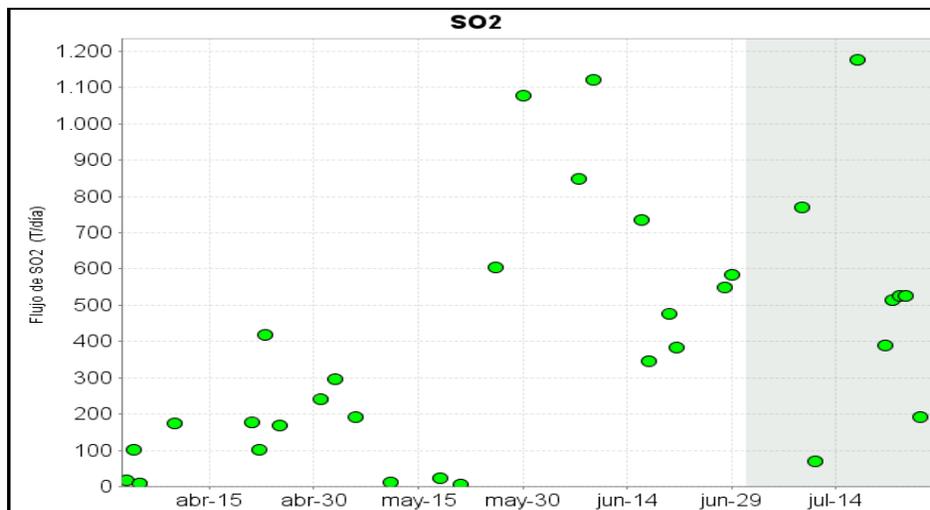
Durante julio de 2014 se registraron escaneos en todos los días del mes, para el día 17 de julio se obtiene el mayor flujo de SO<sub>2</sub> registrando un valor de 1175 Ton/d. Los valores de escaneos estimados para presencia de pluma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la atmósfera durante este mes (Figura 38) y obtenidos de la estaciones Alto Jimenez, Santa Bárbara y Alto Tinajillas, oscilaron entre las 71 Ton/d para el 11 de julio hasta las 1175 Ton/d para el 17 de julio, valores considerados como

bajos hasta altos para Galeras. Se resalta que en este mes se registró un valor de flujo de SO<sub>2</sub> mayor en comparación con meses anteriores (Tabla 10, Figuras 38 y 39).

**Tabla 10.** Emisiones de SO<sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de julio de 2014, por las estaciones ScanDOAS y MobileDOAS (Proyecto NOVAC).

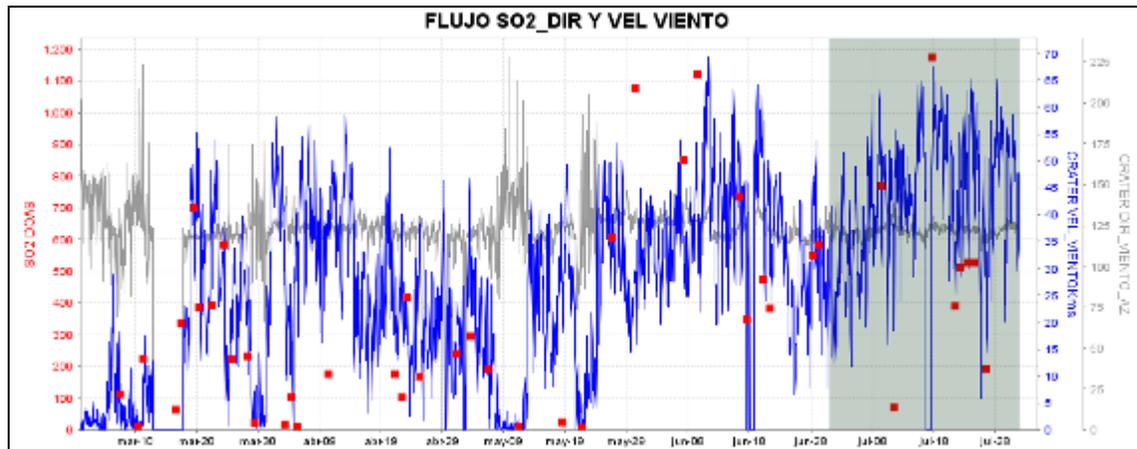
FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO <sub>2</sub> diario [Ton/día]	Estación de registro o recorrido	Equipo
09-jul-14	12:42 PM	247.1	12.7	769	Alto Jimenez	SCANDOAS
11-jul-14	01:20 PM	121.4	9	71		MÓVILDOAS
17-jul-14	03:07 PM	267.2	21	1175	Alto Jimenez	SCANDOAS
21-jul-14	11:38 AM	262.4	8.65	390	Alto Jimenez	SCANDOAS
22-jul-14	08:51 AM	227.7	15.3	513	Alto Jimenez	SCANDOAS
23-jul-14	12:58 PM	192.9	13.26	527	Alto Tinajillas	SCANDOAS
24-jul-14	02:27 PM	251.1	9.87	526	Alto Jimenez	SCANDOAS
26-jul-14	02:46 PM	294.1	4.97	193	Alto Tinajillas	SCANDOAS

\* Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> [Toneladas/día]. Bajo: ≤ 500; moderado: > 500 y ≤ 1000; alto: > 1000 y ≤ 3000; muy alto: > 3000.



**Figura 38.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> registrado entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014 por los equipos ScanDOAS y MobileDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

En la figura 39 se encuentran los valores de flujo de SO<sub>2</sub>, velocidad y dirección del viento, en el que se puede observar que existe una relación con estas dos últimas variables y la cantidad de partículas de SO<sub>2</sub> calculadas para el flujo total en el mes de julio, se observa que se mantiene una tendencia en la dirección del viento y se presenta variación en la velocidad registrada, lo que podría causar diferencias en el cálculo del flujo para SO<sub>2</sub>.



**Figura 39.** Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre marzo y julio de 2014.

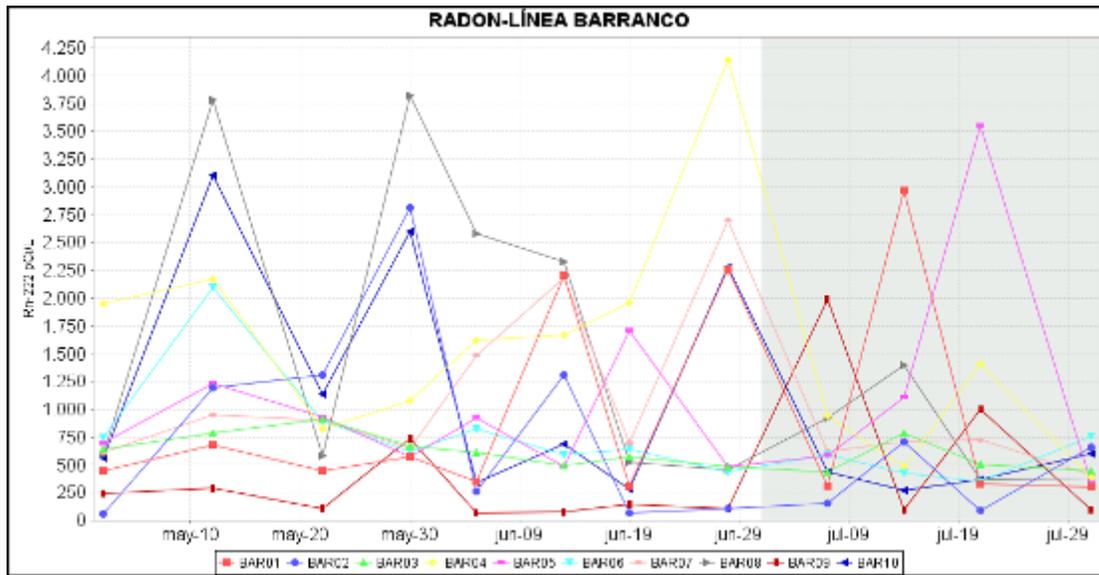
### 1.5.2. Mediciones del isótopo de gas Radón 222 – ( $Rn_{222}$ )

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 235, tiene una vida media de 3,8 días y no se encuentra más allá de los 50 a 60 m de profundidad, entonces su difusión es la única responsable de su dispersión (Dyck y Smith 1969).

Los datos de flujo de gas radón en suelo para el mes de julio 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).

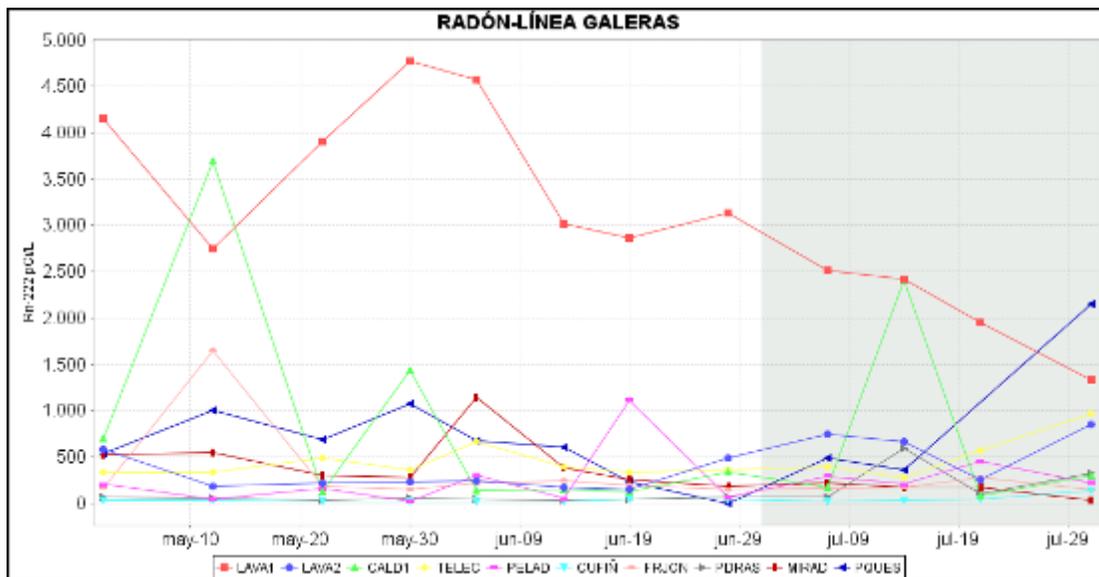
En las Figuras 40 y 41 y las Tablas 11 y 12 se observa las variaciones del flujo de  $Rn_{222}$  en las líneas Barranco y Galeras respecto a meses anteriores.

En las estaciones ubicadas en la línea Barranco (Figura 40), se observa un pico máximo de 3553 pCi/L (valor alto para Galeras) para el periodo comprendido entre el 14 y 21 de julio, correspondiente a la estación BAR 05, es el valor más alto en comparación con meses anteriores. Se observa también un importante incremento en la estación BAR 01, BAR 09, mientras que para las demás estaciones se conserva un comportamiento estable.



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

En cuanto a la línea Galeras (Figura 41), se aprecia el comportamiento más notable para el flujo de radón registrado para la estación LAVA 1, en el cual para el mes de julio sigue presentándose un descenso en la concentración de este gas, manteniéndose dentro de un rango alto para Galeras comparado con el radón de otras estaciones dentro de esta línea. El valor de 2423 pCi/L (registrado en LAVA 1), es el valor más alto para el periodo comprendido entre el 7 y 14 de julio. También puede observarse un ascenso en las estaciones PQUES, TELEC y LAVA 2, en la estación CALD1 se presenta un ascenso intermitente que vuelve a su origen a finales del mes de julio.



**Figura 41.** Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Galeras para el periodo comprendido entre los meses de mayo y julio de 2014.

En la figura 42 se presenta en general el flujo de radón máximo a partir del mes de enero hasta el mes de julio del presente año para el volcán Galeras, registrándose para el mes de julio un descenso en el flujo de radón en suelo, en comparación con meses anteriores, estos flujos (flujos >2000 pCi/L) siguen considerándose como anomalías de radón para Galeras. 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.

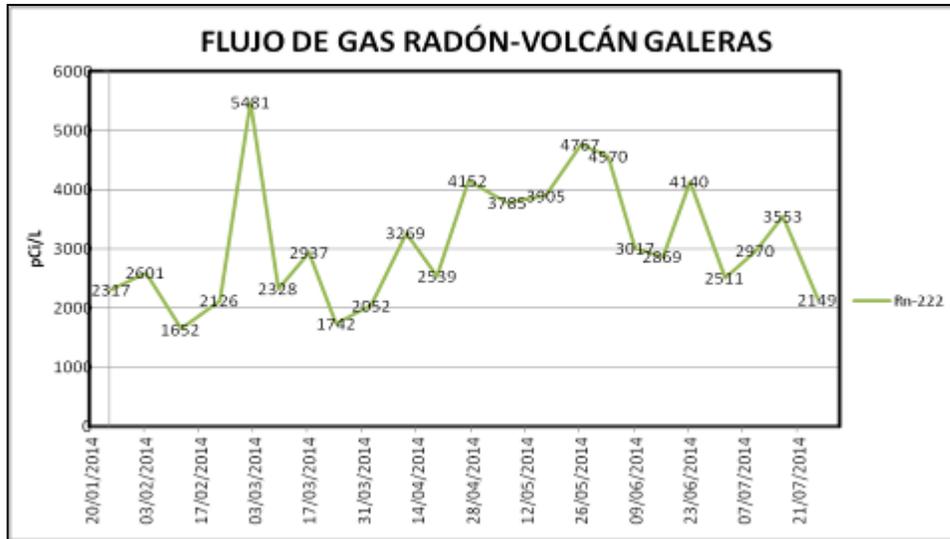


Figura 42. Flujo de gas radón enero - julio 2014.

Tabla 11. Valores máximos de flujo del isótopo Rn<sub>222</sub> en suelo en las estaciones de la línea Barranco en julio de 2014.

LÍNEA BARRANCO			
ESTACIÓN	PERIODO DE MUESTREO		CONCENTRACIÓN pCi/L
	INICIAL	FINAL	
BAR01	07-Jul-14	14-Jul-14	2698
BAR05	14-Jul-14	21-Jul-14	3553
BAR06	21-Jul-14	31-Jul-14	753

\*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. Valores máximos de flujo del isótopo Rn<sub>222</sub> en suelo en las estaciones de la línea Galeras en julio de 2014.

LÍNEA GALERAS			
ESTACIÓN	PERIODO DE MUESTREO		CONCENTRACIÓN pCi/L
	INICIAL	FINAL	
LAVA1	07-Jul-14	14-Jul-14	2423
LAVA1	14-Jul-14	21-Jul-14	1946
PQUES	21-Jul-14	31-Jul-14	2149

\*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).

### 1.5.3 Trampa alcalina-volcán Galeras

En el mes de julio se continuó con el muestreo de gases condensables del año 2014 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 (St), Cloruro de hidrógeno (HCl) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)).

En el volcán Galeras se encuentran ubicadas dos estaciones no telemétricas de Trampa Alcalina (Figura 43, Tabla 13): Trampa Alcalina-Base Militar y Trampa Alcalina-Mirador.

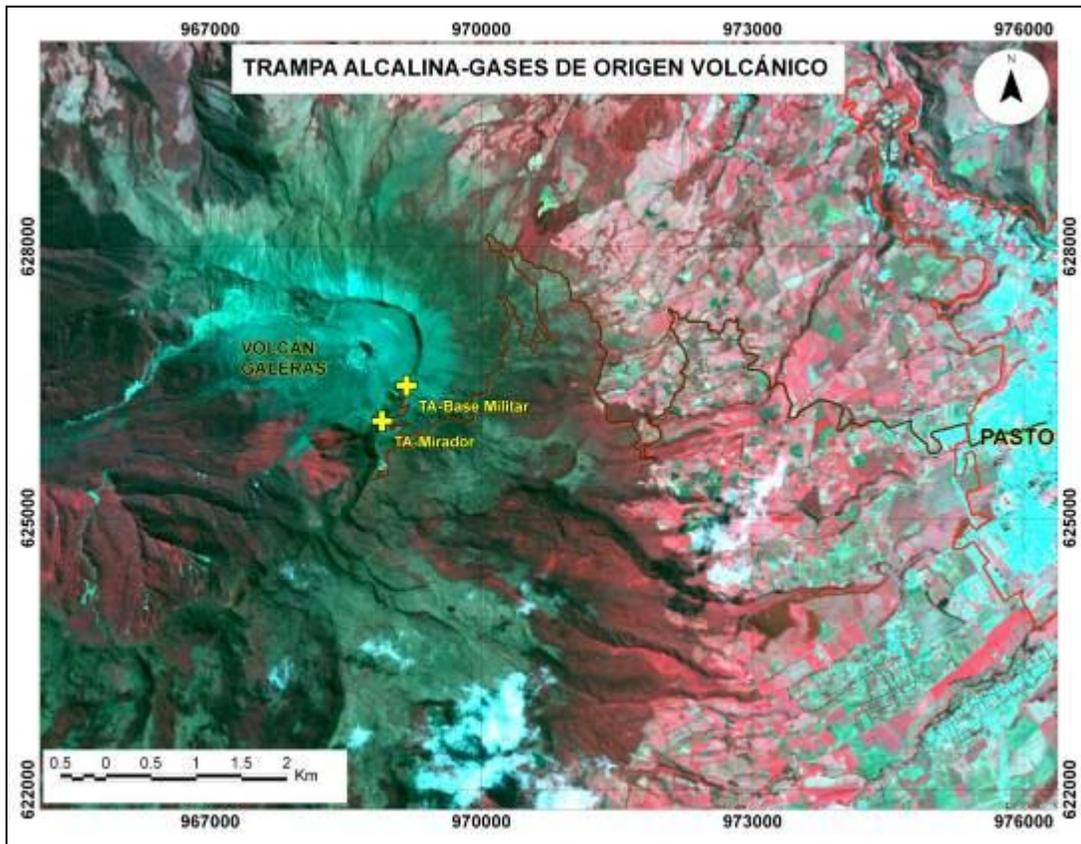


Figura 43. Mapa de localización estaciones trampa alcalina volcán Galeras.

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 44), 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 44 se observa la toma de muestras de las dos

estaciones de trampa alcalina instaladas en volcán Galeras. Los resultados de seguimiento se darán a conocer en el próximo mes.



Figura 44. Toma de muestras, estaciones Trampa Alcalina – 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 45, Tablas 14 y 15).

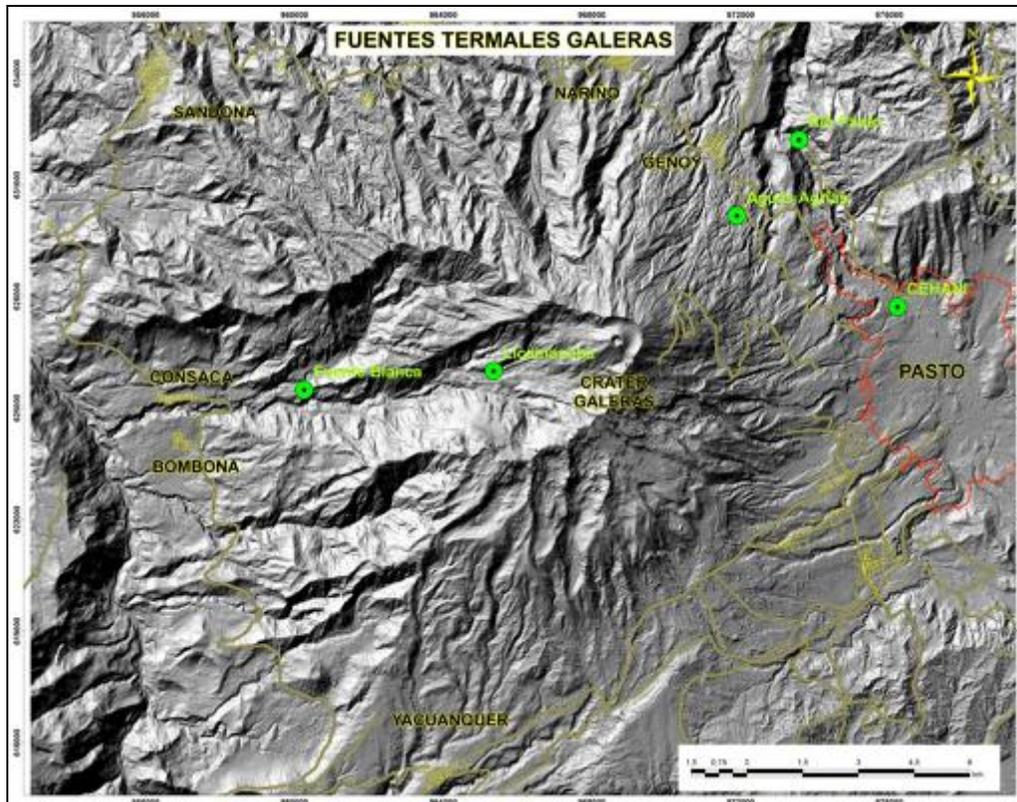


Figura 45. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

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

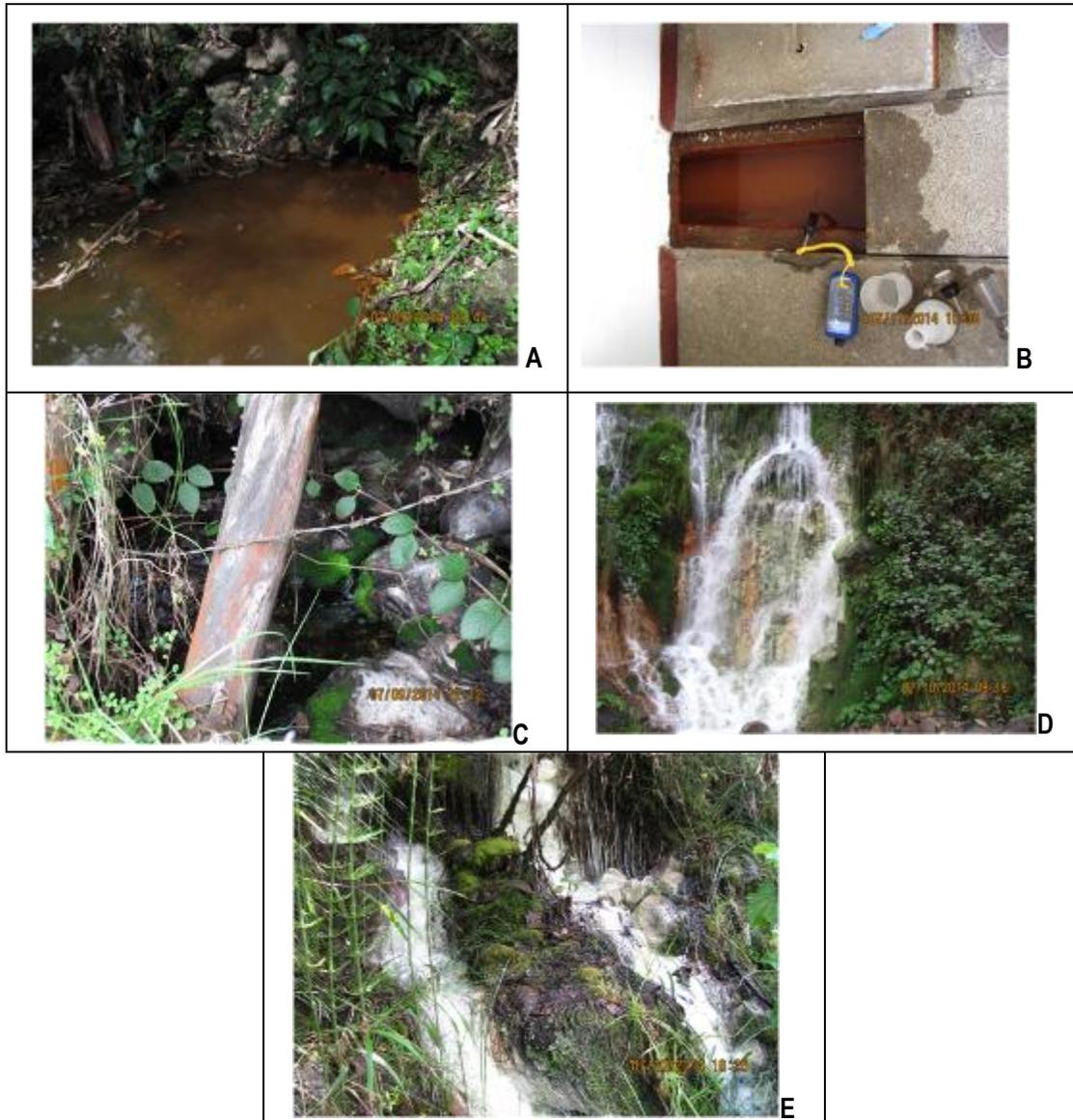


Tabla 15. Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Galeras.

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 las cinco fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del volcán Galeras se realiza con los siguientes equipos:

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

En la figura 46 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de Julio para las FT de la zona de influencia del volcán Galeras. 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.

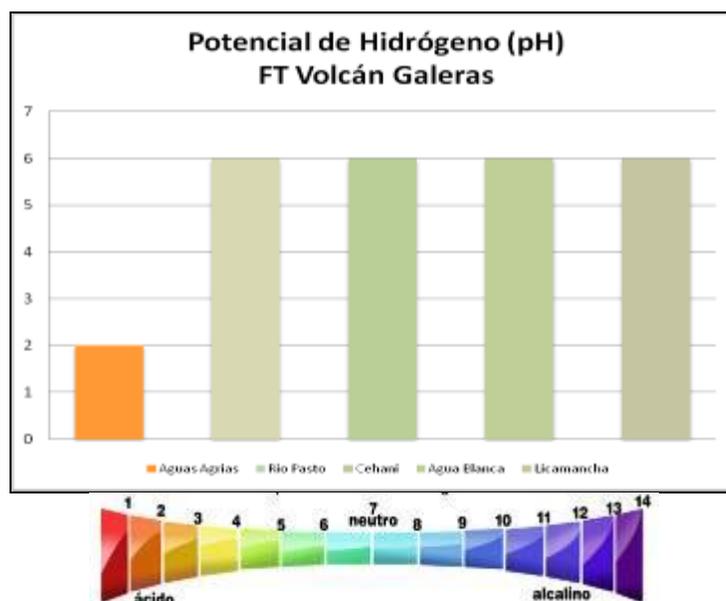


Figura 46. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras en mayo de 2014.

De acuerdo a la gráfica anterior, las fuentes termales de Galeras presentan durante el mes de julio potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2 (ácida) y 6,0 (ligeramente ácido).

En las figuras 47 y 48 se presenta la variación del pH y su relación con la variación de la concentración del ión bicarbonato en las fuentes termales del área de influencia del volcán Galeras para el mes de julio. Para el mes de julio se puede observar que la concentración del ion  $\text{HCO}_3^-$  sigue un comportamiento estable en las FT Río Pasto, Agua Blanca, Licamancha y Cehani. En cuanto a la FT Aguas Agrías hay ausencia permanente de este ión. El pH presenta un descenso en las FT Licamancha, Aguas Agrías y Agua Blanca, mientras que para las FT Río Pasto y Cehani permanece constante; se debe anotar que estas diferencias están relacionadas más al método de medición, ya que con la cinta de papel indicador no se tiene la resolución de unidades de pH que tiene el equipo de medición.

En la FT Aguas Agrías no hay presencia del ion  $\text{HCO}_3^-$ , por lo tanto esta variable no afecta en la variación del pH de este manantial, pero si la presencia de especies iónicas en la misma, como lo indica la conductividad eléctrica (Figura 50), además por ser altamente sulfatada, en la cual podrían estar ocurriendo procesos continuos de oxidación del sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), del azufre nativo ( $\text{SO}_4$ ) o del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

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

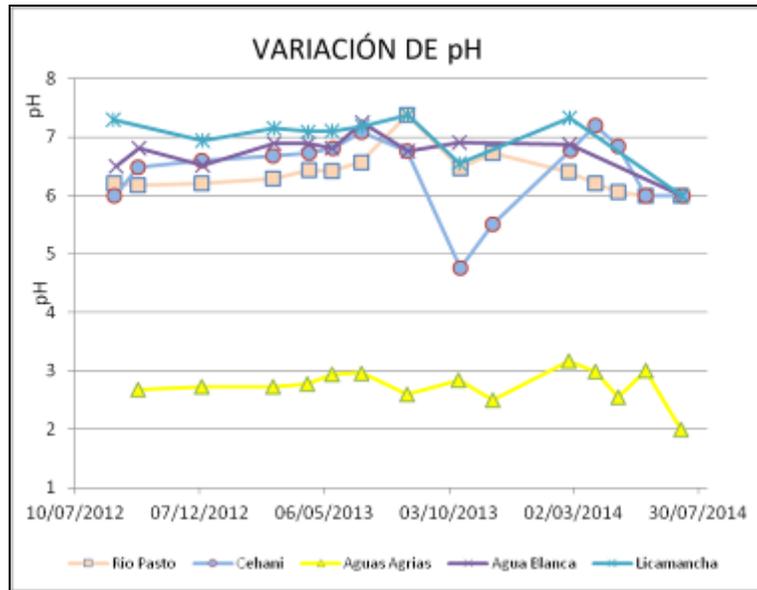


Figura 47. Variación del pH de las FT de Volcán Galeras - Julio 2014.

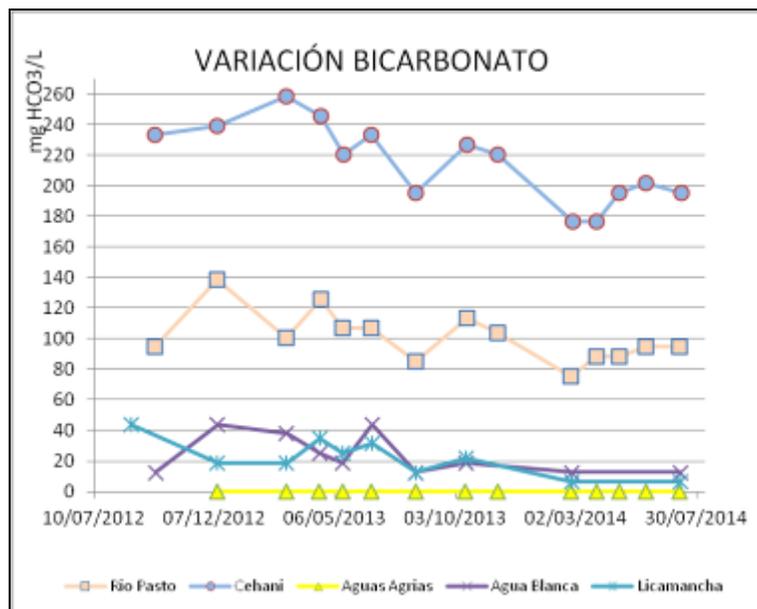


Figura 48. Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras - Julio 2014.

En las figuras 49 y 50 se observa 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 julio.

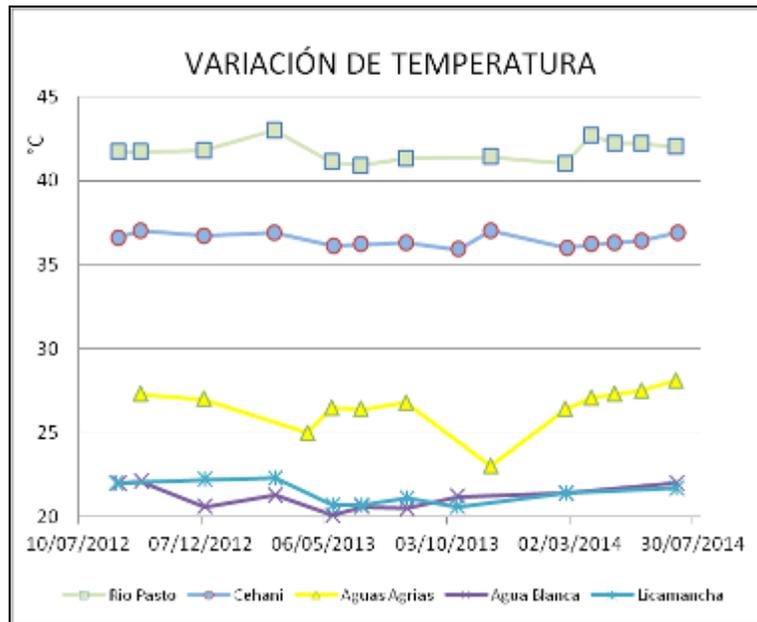


Figura 49. Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - Julio 2014.

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

- Fuente termal Río Pasto

Temperatura superficial: 42,0°C (Temperatura registrada en julio de 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 una conductividad eléctrica de 2,31mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 28,1°C. (Temperatura registrada en julio de 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 3,41mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 36,9°C. (Temperatura registrada en julio de 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 2,06mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal Agua Blanca**

Temperatura superficial: 22,0°C. (Temperatura registrada en julio de 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 1,66mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

- **Fuente termal Licamancha**

Temperatura superficial: 21,7°C. (Temperatura registrada en julio de 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 1,76mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

Con respecto al comportamiento del parámetro temperatura en las FT de Galeras se observa que para el mes de julio, las FT Rio Pasto y Cehani continúan con un comportamiento estable con respecto al tiempo, mientras que para la FT Aguas Agrías, Agua Blanca y Licamancha se observa una tendencia de aumento leve de la temperatura con el tiempo.

Sobre la conductividad eléctrica, para el mes de julio las FT siguen con un comportamiento estable, registrando un descenso marcado en la FT Rio Pasto.

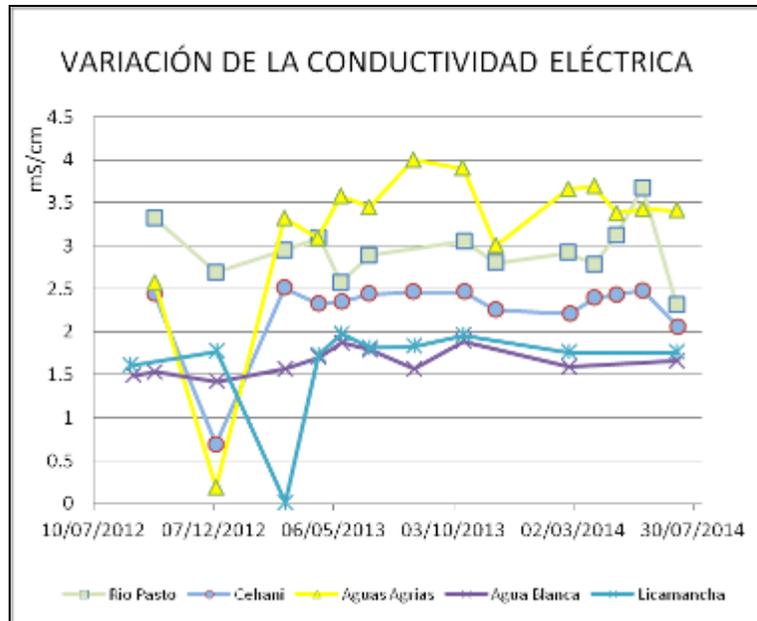


Figura 50. Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - Julio 2014.

## 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 6, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 22 de julio. La altura máxima alcanzada por las columnas de gas estuvo por debajo de los 200 m 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 51 a 57 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en julio de 2014.



**Figura 51.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco el 1 de julio de 2014 a las 7:03 a.m. y a las 10:01 a.m. respectivamente.



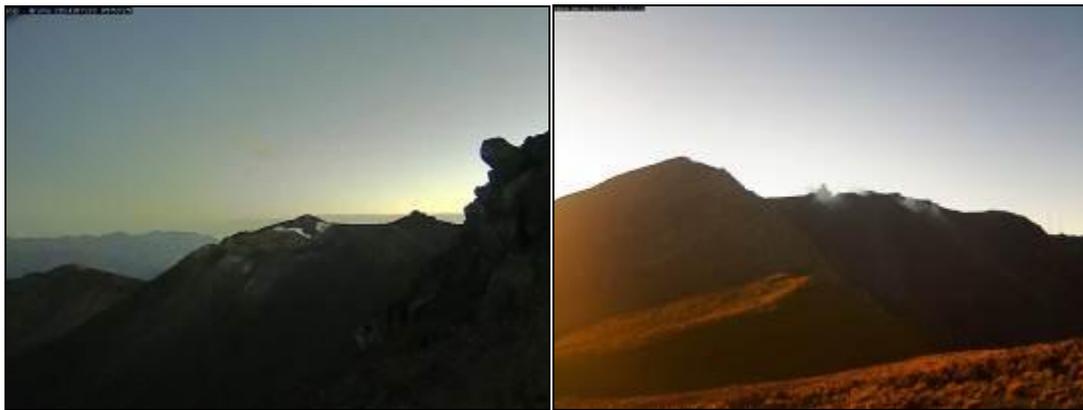
**Figura 52.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco (Izquierda) y desde la sede del OVSP (Derecha) el 2 de julio de 2014 a las 5:53 p.m. y a las 6:18 p.m. respectivamente.



**Figura 53.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en Bruma el 3 de julio de 2014 a las 6:39 p.m.



**Figura 54.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Izquierda) y Consacá (Derecha) el 8 de julio de 2014 a las 5:19 p.m. y a las 5:41 p.m.



**Figura 55.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda) y Barranco (Derecha) el 10 de julio de 2014 a las 5:50 a.m. y a las 6:19 a.m. respectivamente.



**Figura 56.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Izquierda) y Bruma (Derecha) el 25 de julio de 2014 a las 5:42 p.m. y 6:13 p.m. respectivamente.



**Figura 57.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco el 31 de julio a las 12:15 p.m.

## 1.7. CONCLUSIONES

- Continúa observándose cambios en el comportamiento de la actividad del volcán, reflejados en las fluctuaciones de la actividad sísmica, siendo la sismicidad dominante aquella asociada a fracturamiento de material cortical al interior de la estructura volcánica.
- Los registros de flujo de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) 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, en 2/3 del periodo evaluado se evidenció emisiones de gases con columnas de baja altura respecto a la cima de Galeras, las cuales se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos. Los principales focos de emisión continúan siendo el Cráter principal y los cráteres secundarios 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”**.

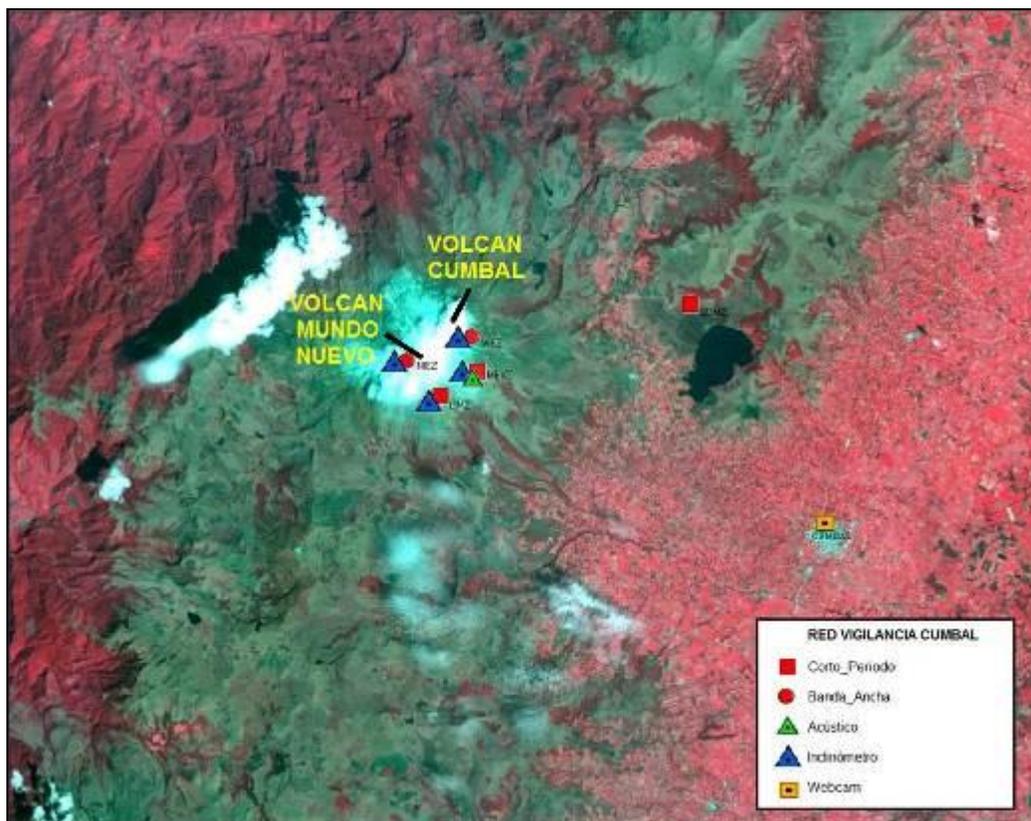
## 2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – JULIO DE 2014

### 2.1. RED DE VIGILANCIA

En julio 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 58, Tabla 17).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 58, Tabla 17).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 58).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 58).

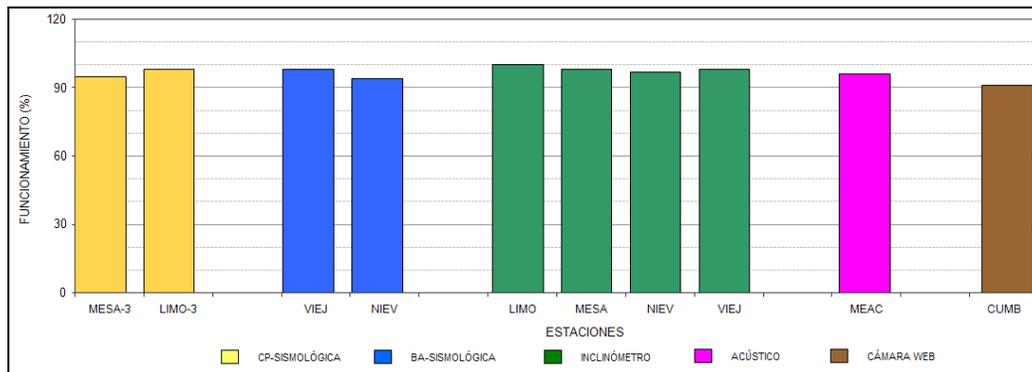
Para este periodo las estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica y la cámara web tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 96,5% (Figura 59).



**Figura 58.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de julio de 2014.

**Tabla 17.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante julio 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
Limonos	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1,5	SE	4232
Punta Vieja	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,0	NE	4519
La Mesa	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	2,5	ESE	4270
La Nieve	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	0,2	E	4696
Limonos	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1,5	SE	4232
Punta Vieja	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,0	NE	4519
La Mesa	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,5	ESE	4270
La Mesa Acústico	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	2,5	ESE	4270



**Figura 59.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en julio de 2014.

## 2.2. SISMOLOGÍA

En general, en el mes de julio de 2014, la ocurrencia sísmica disminuyó en un 2,6% en comparación con lo registrado en el mes de junio de 2014, pasando de 661 a 644 eventos sísmicos. La sismicidad dominante en ocurrencia correspondió a sismos LPS en un porcentaje del 60,6%, con el registro de 3 eventos tipo Tornillo – TOR, seguido por los eventos tipo HYB con un 18,3%. Por su parte, los eventos tipo TRE y VT aportaron con el 14,9% y 6,2% respectivamente (Tabla 18, Figuras 60 y 61).

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

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					TOTAL
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	
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
01-jun-14 a 30-jun-14	61	386	102	112	1	661
01-jul-14 a 31-jul-14	40	390	96	118	3	644

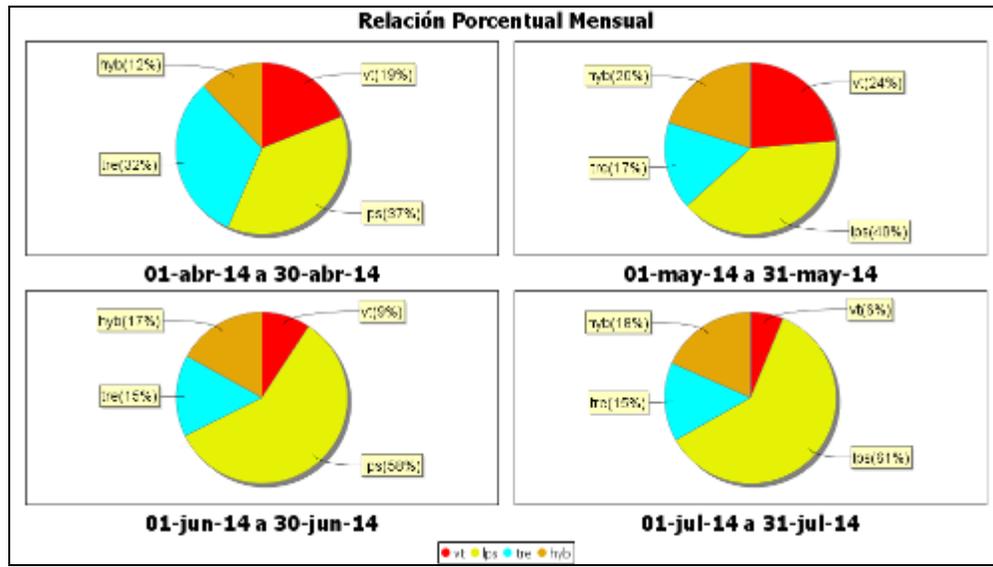


Figura 60. Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre abril y julio de 2014. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.

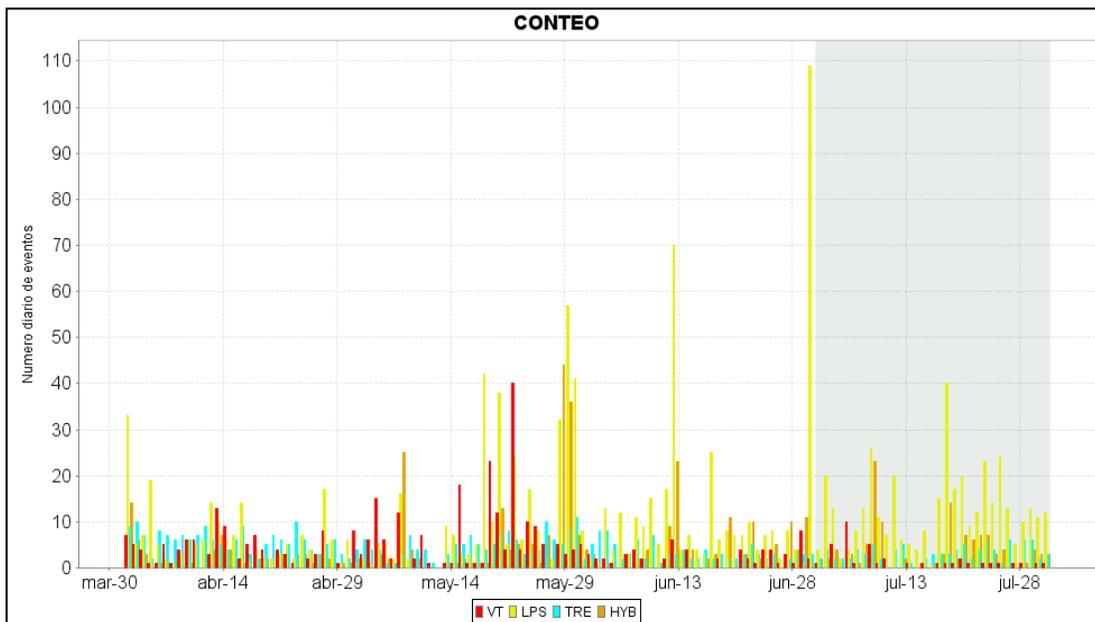
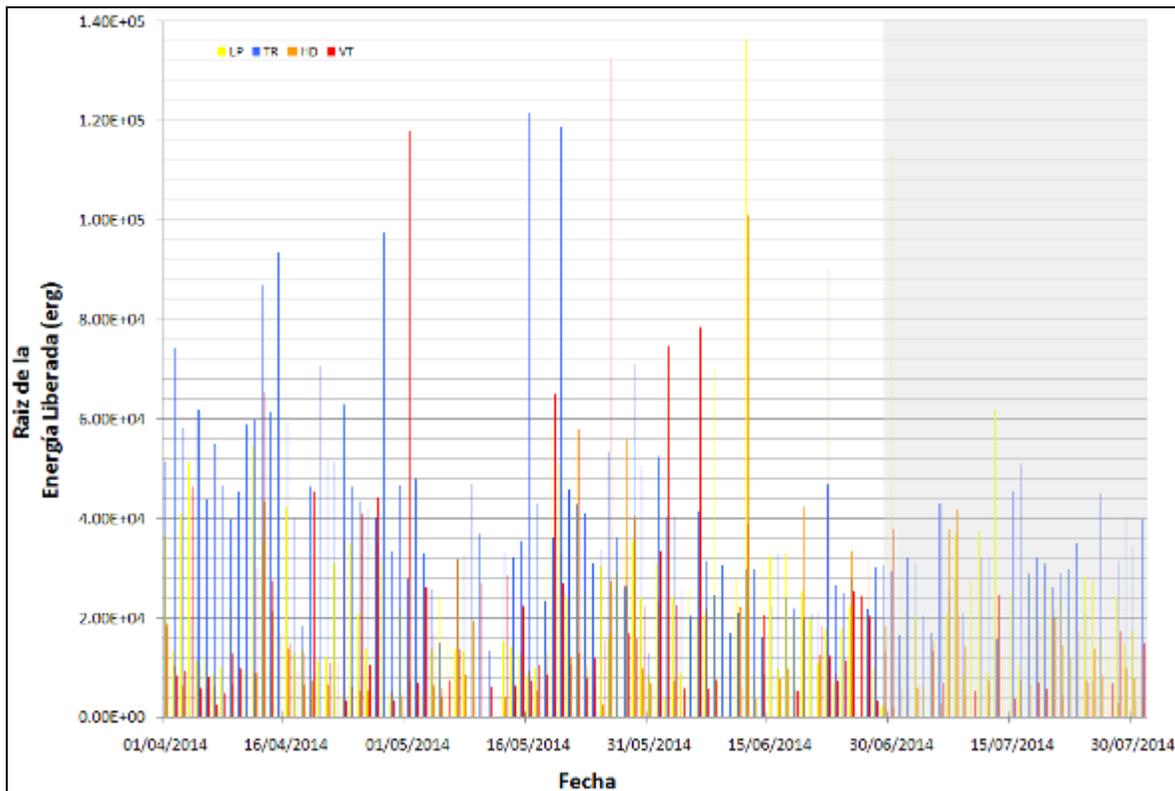


Figura 61. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.

En el transcurso del mes, se observó que la energía sísmica total liberada disminuyó en un 53,6% en comparación al valor registrado en el mes anterior, pasando de  $1,18 \times 10^{11}$  ergios a  $5,48 \times 10^{10}$  ergios, siendo los eventos tipo LPS los que aportaron la mayor energía con un 51,3%, seguidos por los eventos tipo VT con un 33,4%. Los eventos tipo TRE e HYB aportaron con el 10,6% y 4,7% respectivamente (Tabla 19, Figura 62).

**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 abril de 2014 y el 31 de julio (resaltado en color verde) de 2014.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
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
JUN 01 - JUN 30	4.79E+10	2.56E+10	2.51E+10	1.95E+10	1.18E+11
JUL 01 - JUL 31	1.83E+10	2.81E+10	5.82E+09	2.58E+09	5.48E+10



**Figura 62.** 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 abril y el 31 de julio de 2014.

A manera de ejemplo, la Figura 63 muestra el registro del evento asociado con movimiento de fluidos tipo TOR registrado el 3 de julio de 2014 a las 3:28 a.m. que tuvo una frecuencia dominante de 4,6 Hz.

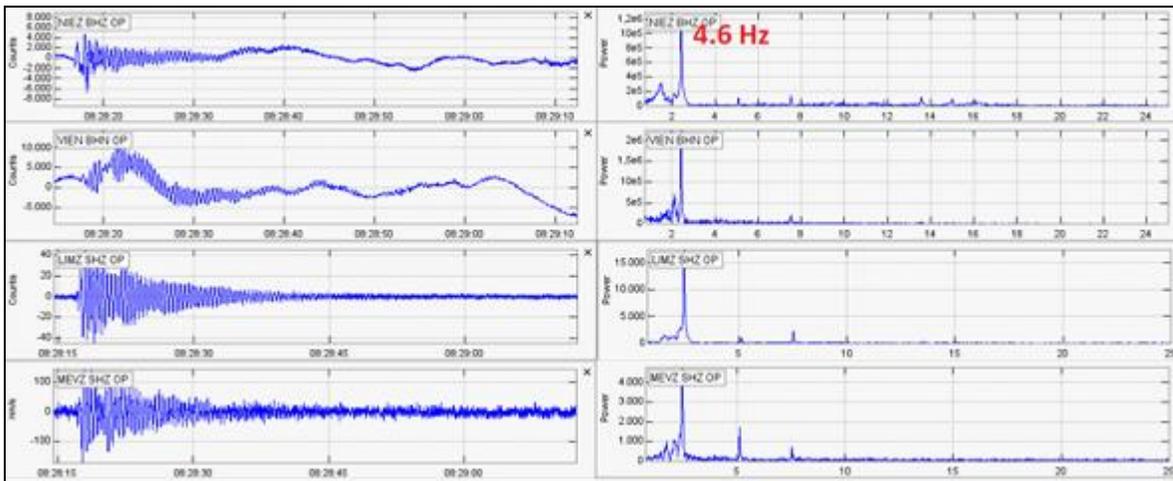


Figura 63. Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 3 de julio de 2014 a las 3:28 a.m.

Las Figuras 64 y 65 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 julio 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.

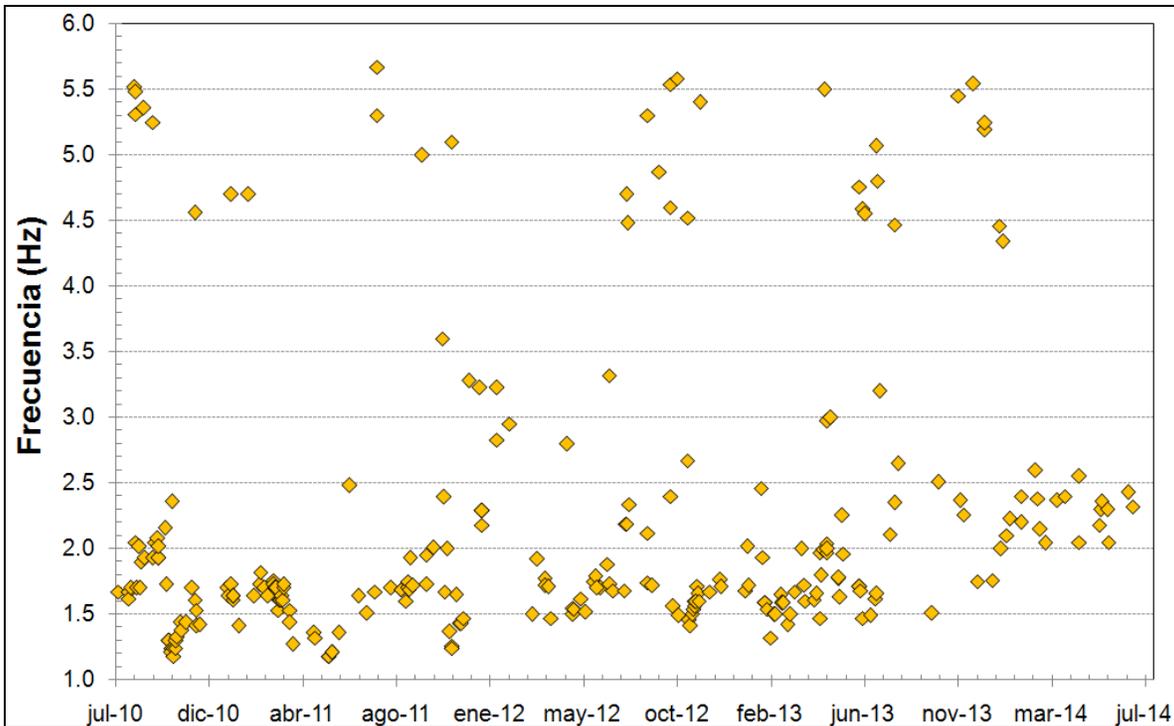
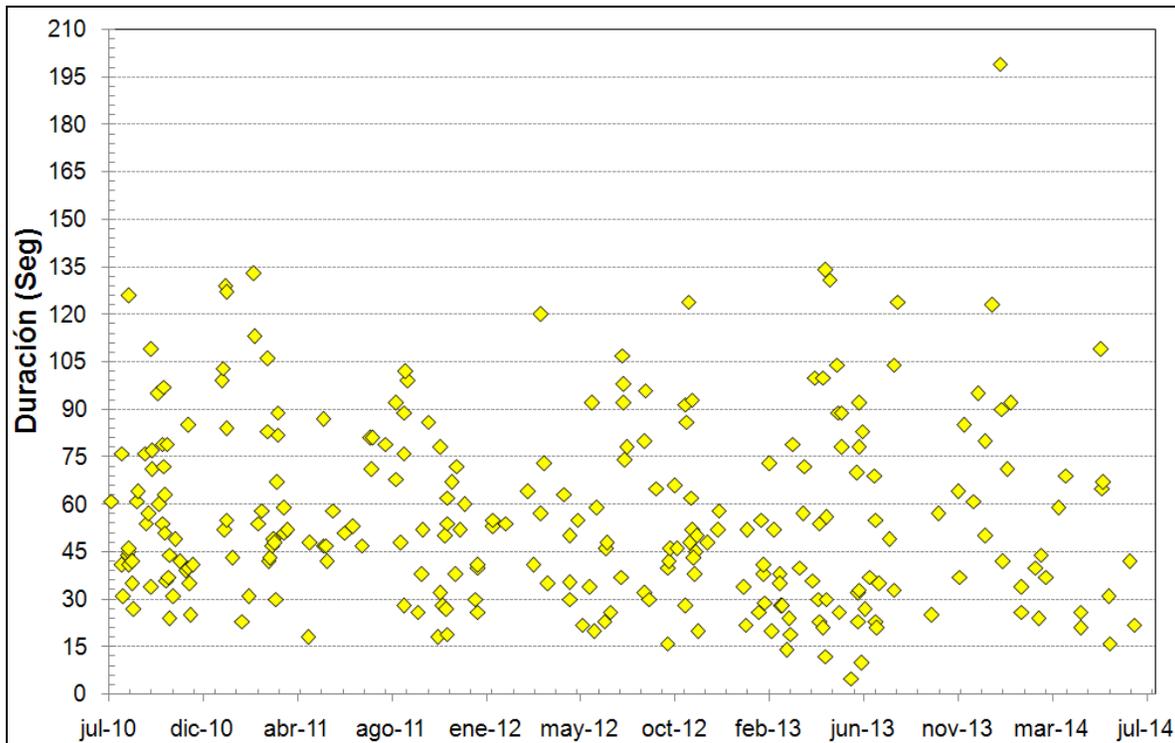
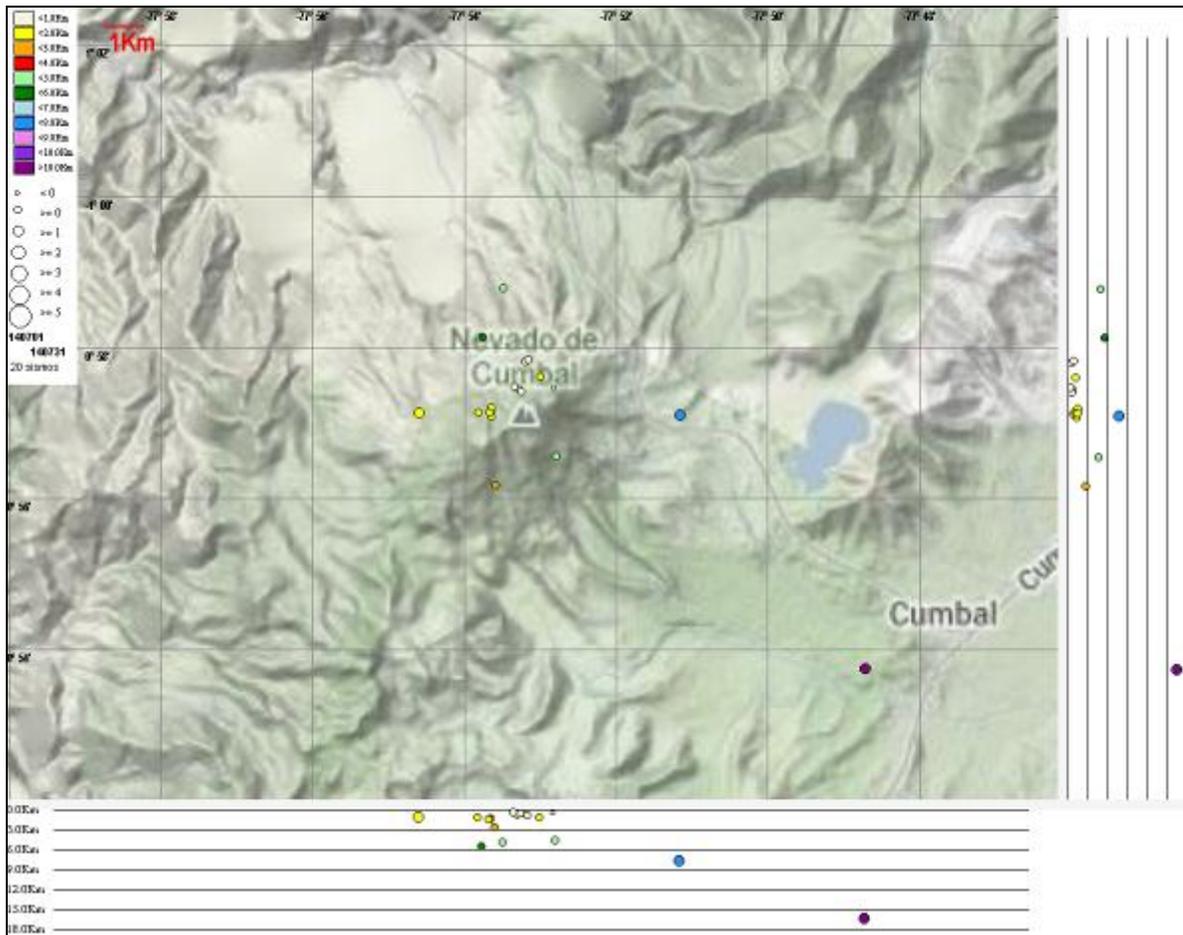


Figura 64. Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de julio de 2014.



**Figura 65.** Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de julio de 2014.

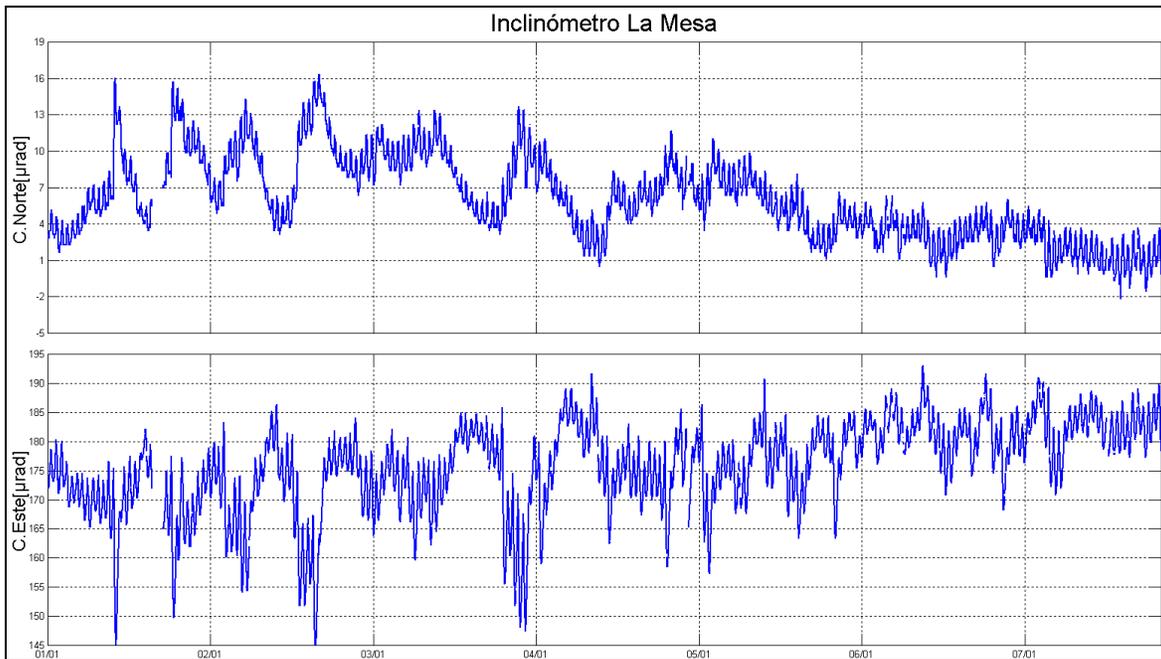
En relación con la sismicidad asociada con fracturamiento de material cortical al interior del Complejo Volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado fue posible localizar 20 sismos (10 VT y 10 HYB), la mayoría de eventos se localizaron en inmediaciones del complejo volcánico Cumbal a menos de 3 km de distancia y profundidades menores a 6 km respecto a la cima volcánica. Dos de los eventos se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a distancias menores de 11 km respecto al centro del complejo y a profundidades de hasta 16,5 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 1,9 en la escala de Richter (Figura 66).



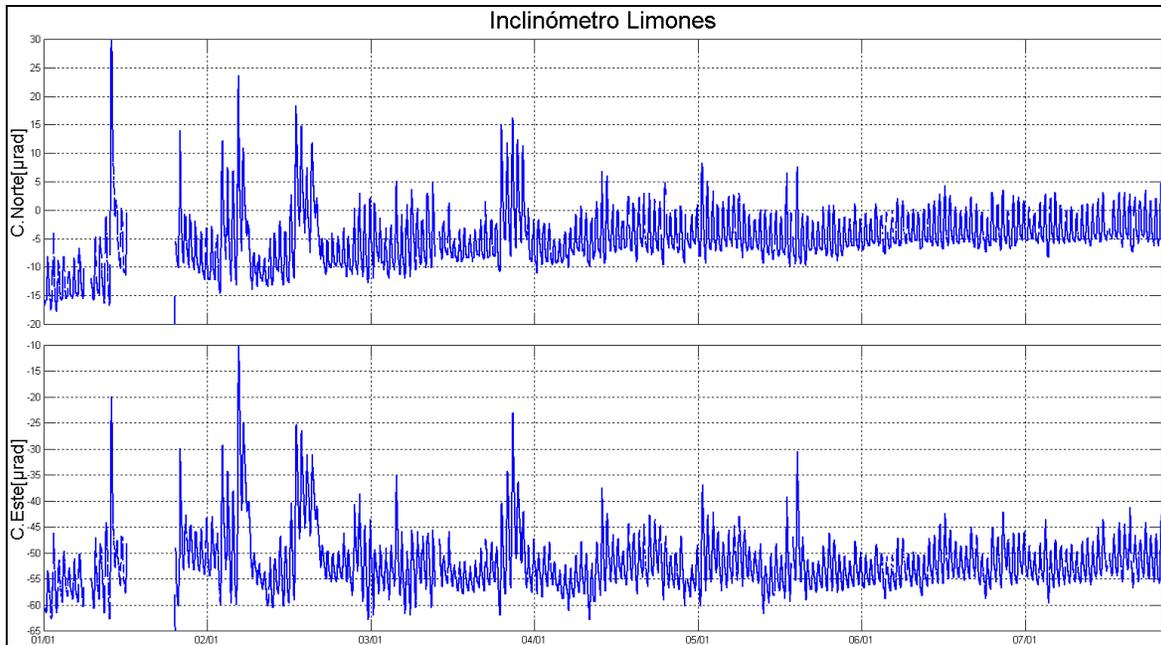
**Figura 66.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de julio de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

### 2.3. DEFORMACIÓN

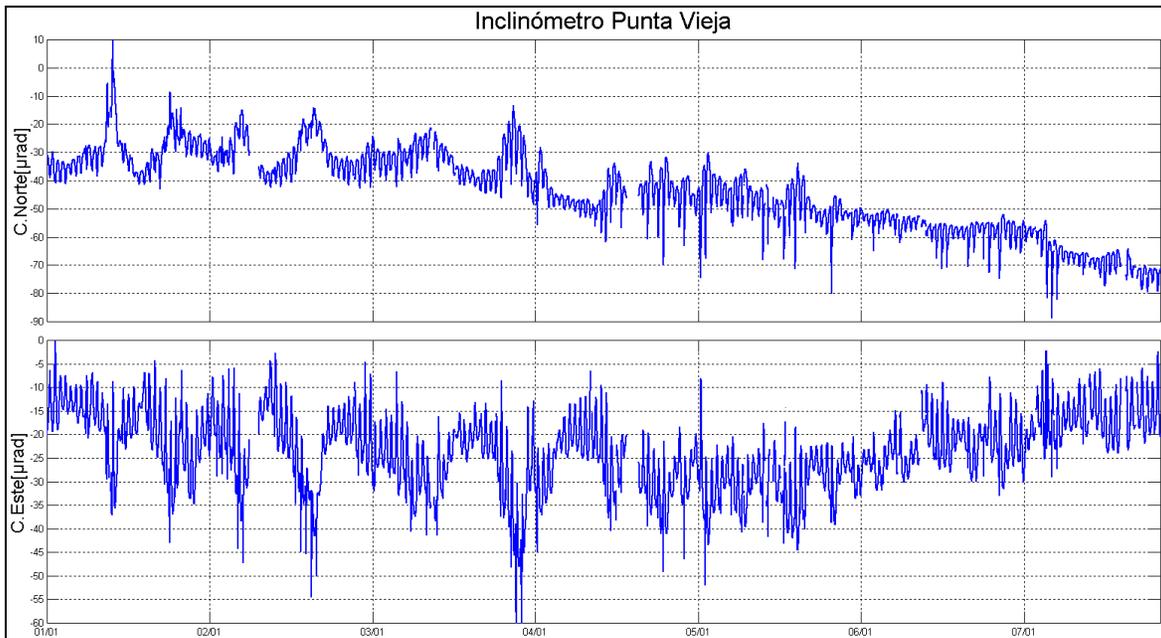
En relación a los procesos de deformación del edificio volcánico se observó las componentes Norte y Este de los inclinómetros La Mesa (localizado a 2,5 km al estsureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4270 m.s.n.m.), Limones (ubicado a 1,5 km al sureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 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.) mantienen un comportamiento estable (Figuras 67, 68, 69 y 70).



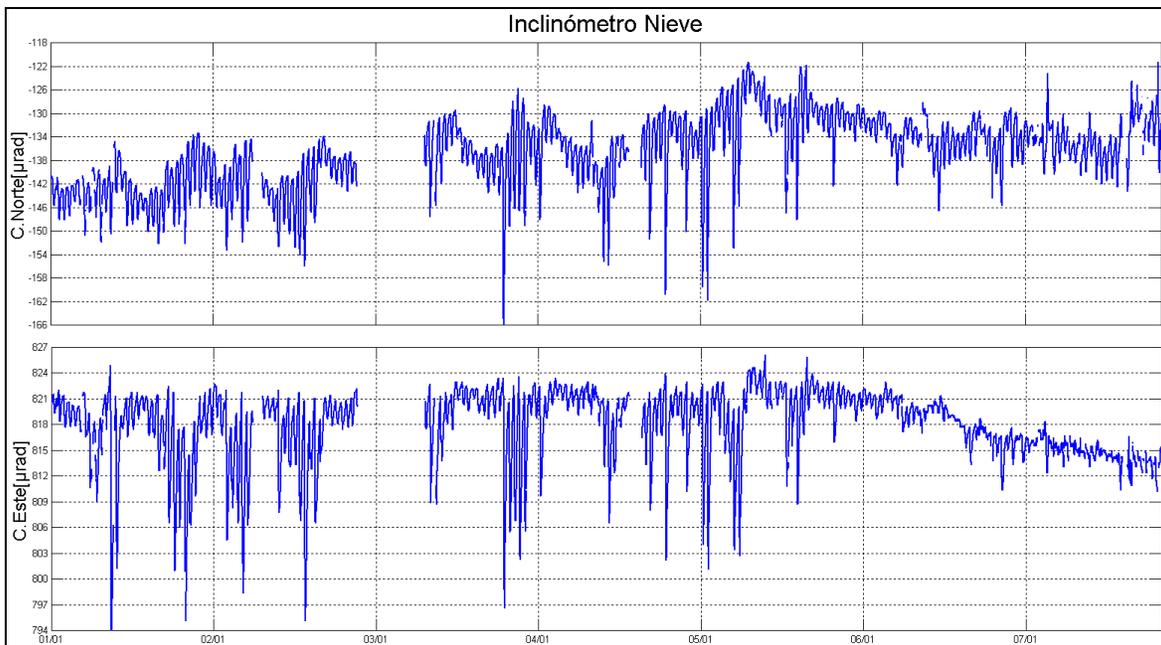
**Figura 67.** Componentes de inclinação Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.



**Figura 68.** Componentes de inclinação Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.



**Figura 69.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2014.



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

## 2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En julio 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 1, 10, 25 y 26 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 (Figuras 71 y 72).



**Figura 71.** Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 1 y 10 de julio a las 6:42 a.m. y a las 6:01 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.



**Figura 72.** Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 26 de julio a las 6:32 a.m., 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 sismicidad asociada con actividad hidrotermal.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de julio 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 73).

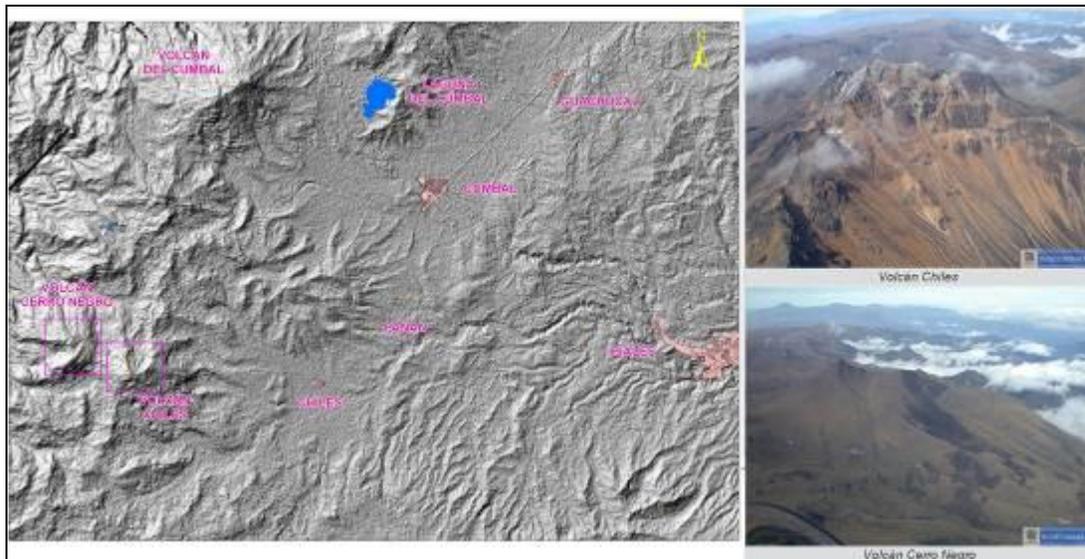


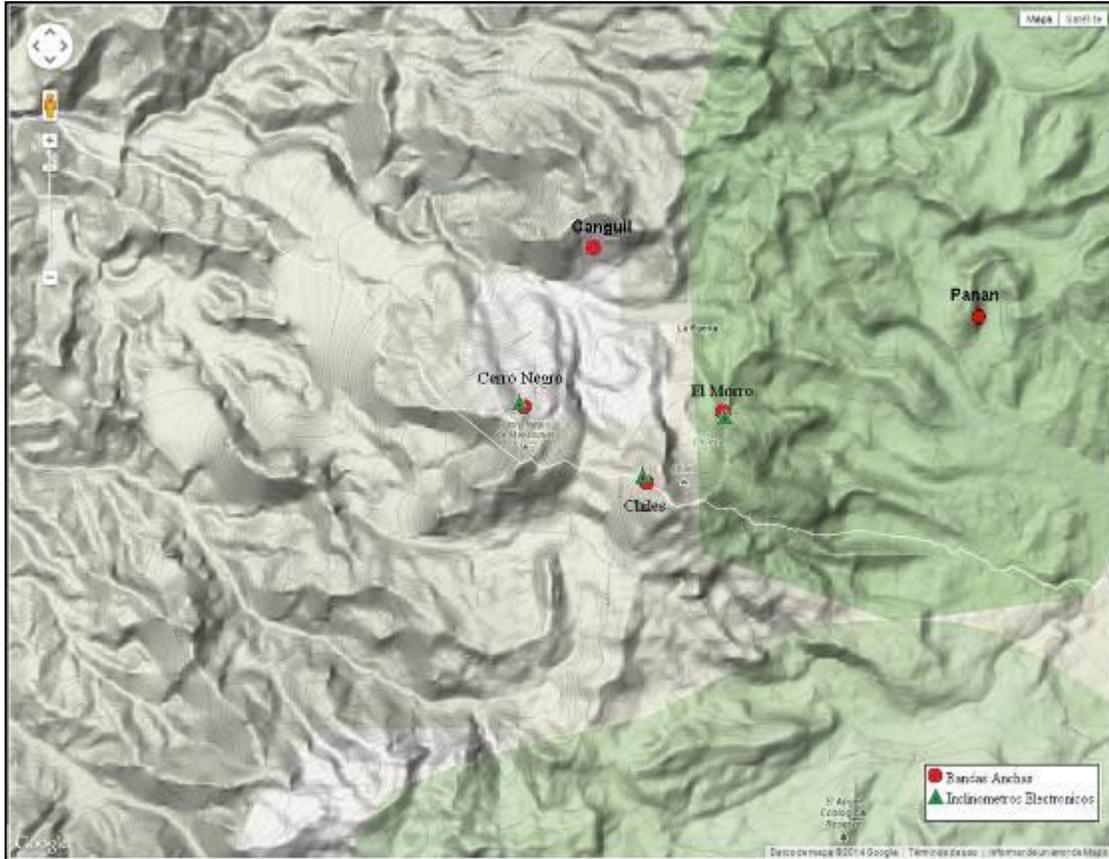
Figura 73. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

#### 3.2. RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por cinco estaciones sísmicas de banda ancha y tres inclinómetros electrónicos, una de las estaciones ubicada en la cima volcánica en el costado occidental de Chiles (sismómetro e inclinómetro), otra en el sector denominado El Morro (sismómetro e inclinómetro), ubicado al nororiente del volcán, otra en el sector denominado Canguil, instalada el 21 de mayo de 2014 ubicada a 5,5 km al nor-noroccidente del volcán Chiles, otra se encuentra en cercanías del volcán Cerro Negro y está conformada por una estación sísmica de banda ancha y un inclinómetro electrónico, ubicada al noroccidente de la parte alta del volcán y la última denominada Panán, instalada el 3 de julio de 2014 ubicada a 7,4 km al nororiente del volcán Chiles (Figura 74, Tabla 20).

Se resalta que desde la primer semana de julio se tiene una estación para el monitoreo de la temperatura en la fuente termal Baño Grande ubicada en cercanías del cabildo de Chiles (Figura 75).

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 91,1% (Figura 76). El porcentaje de funcionamiento de la estación sísmica Canguil fue del 33% debido a problemas en el enlace con las repetidoras.



**Figura 74.** 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 julio 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
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750

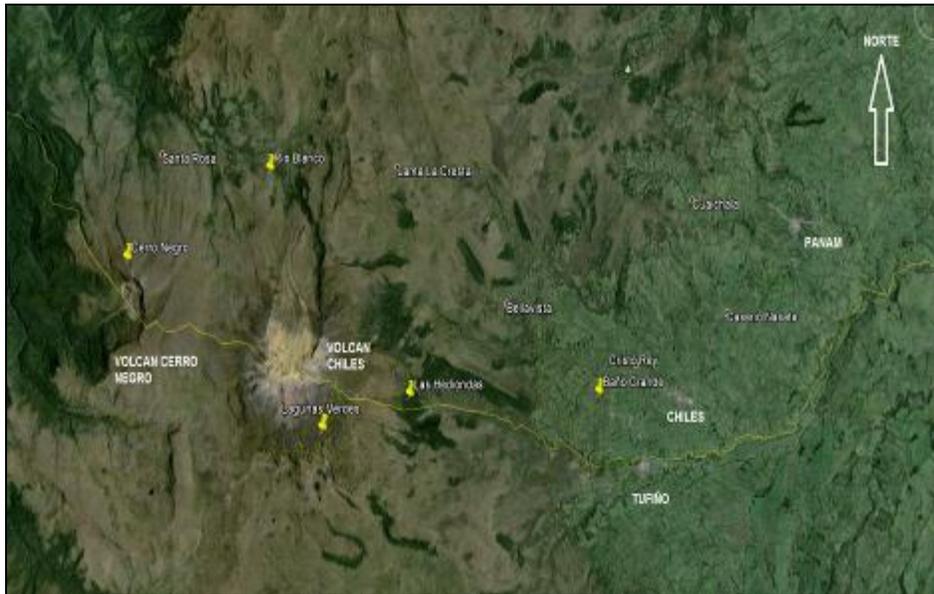


Figura 75. Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles.

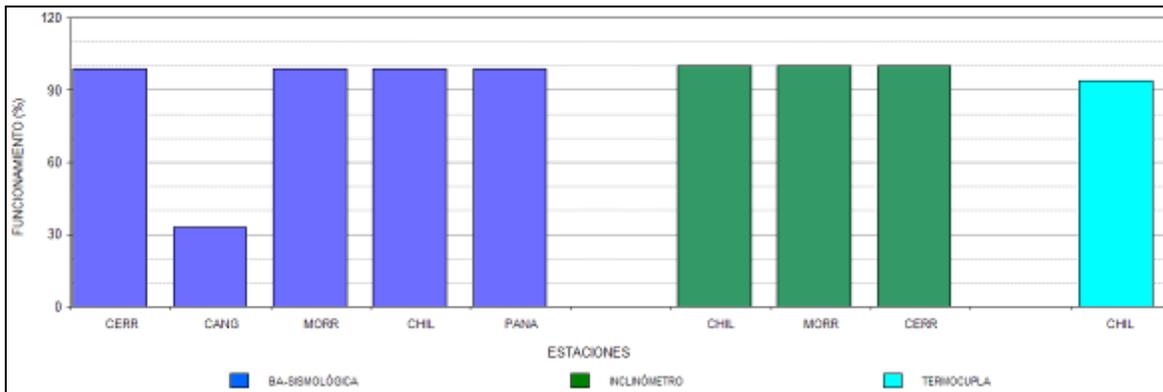


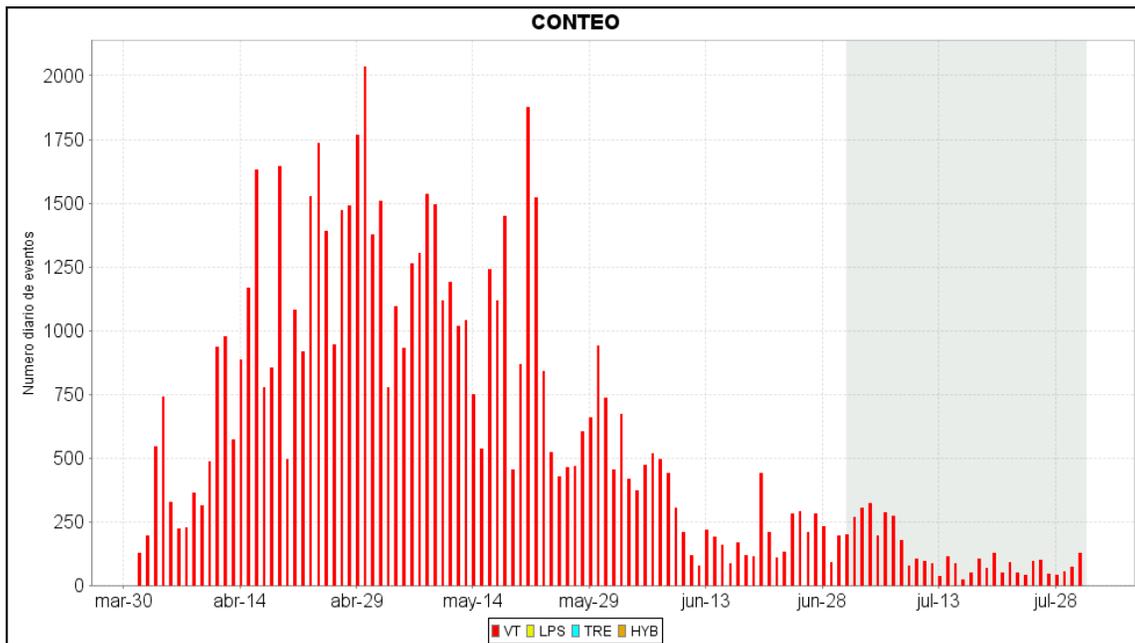
Figura 76. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante julio de 2014.

### 3.3. SISMOLOGÍA

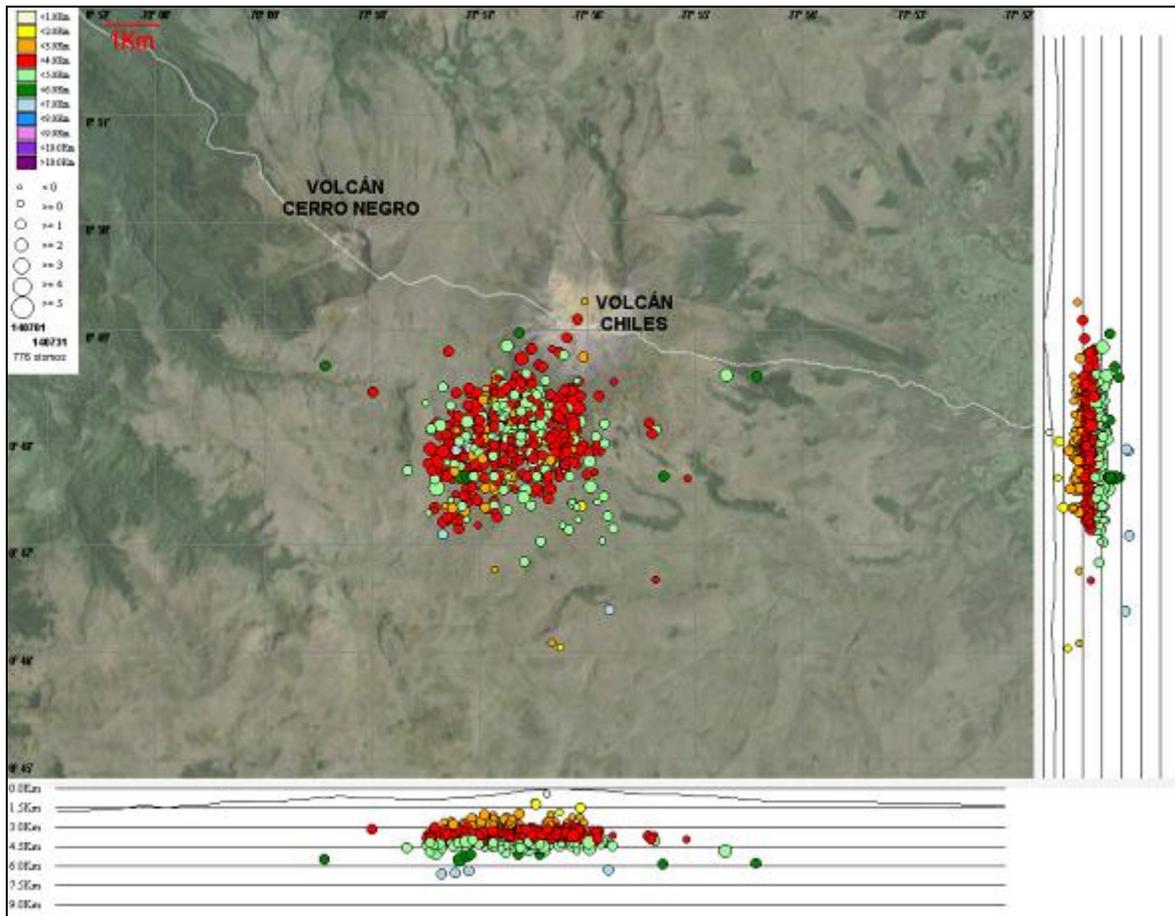
Respecto a la actividad de complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de julio de 2014 la ocurrencia sísmica disminuyó en un 53,3% respecto a la registrada en junio de 2014, pasando de un total de 8072 a 3768 sismos tipo VT (Figura 77, Tabla 21), de los cuales se localizaron 776 eventos, ubicados en su mayoría a menos de 4,2 km al suroccidente de Chiles (5,5 al suroriente de Cerro Negro), con profundidades de hasta 6,5 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 3,2 en la escala de Richter (Figura 78), 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 abril y el 31 de julio de 2014.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-abr-14 a 30-abr-14	27838	0	0	0	27838
01-may-14 a 31-may-14	31105	0	0	0	31105
01-jun-14 a 30-jun-14	8071	1	0	0	8072
01-jul-14 a 31-jul-14	3768	0	0	0	3768



**Figura 77.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.



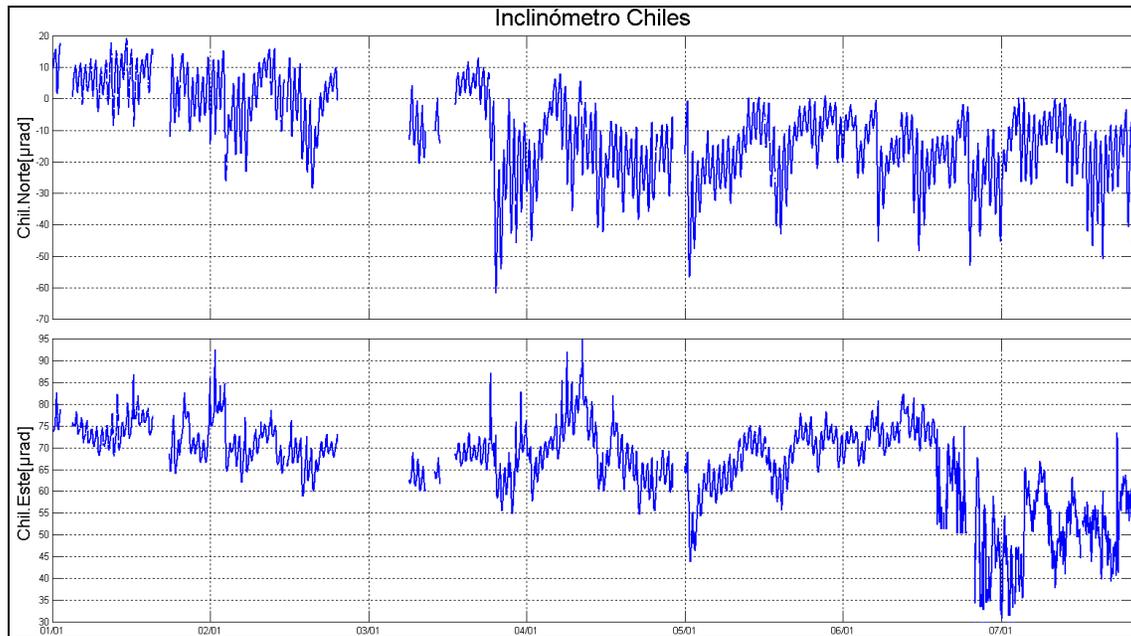
**Figura 78.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de julio de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

De la sismicidad registrada no se tuvo reporte de eventos sentidos.

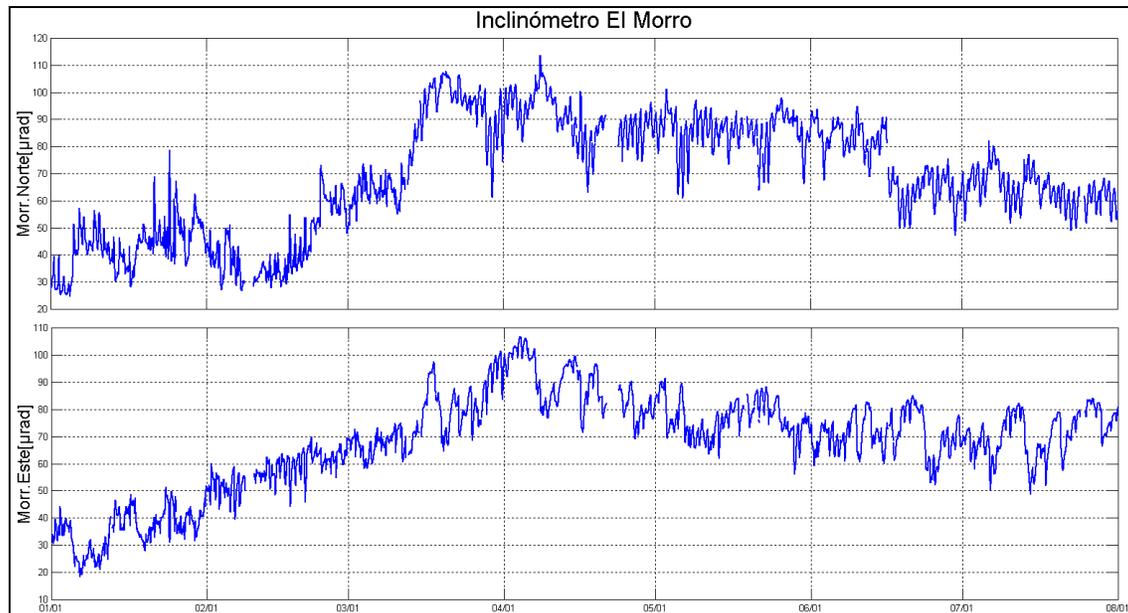
### 3.4. DEFORMACIÓN

Respecto a los cambios registrados por la componente Norte del inclinómetro Chiles, para el periodo evaluado se observa que mantiene un comportamiento relativamente estable, con fluctuaciones por debajo de los 20  $\mu$ rad, mientras que la componente Este, desde mediados del mes de junio muestra una irregularidad en el registro la cual es objeto de seguimiento del funcionamiento del sensor (Figura 79).

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 julio de 2014 variaciones cercanas a los 45  $\mu$ rad y 35  $\mu$ rad respectivamente (Figura 80).



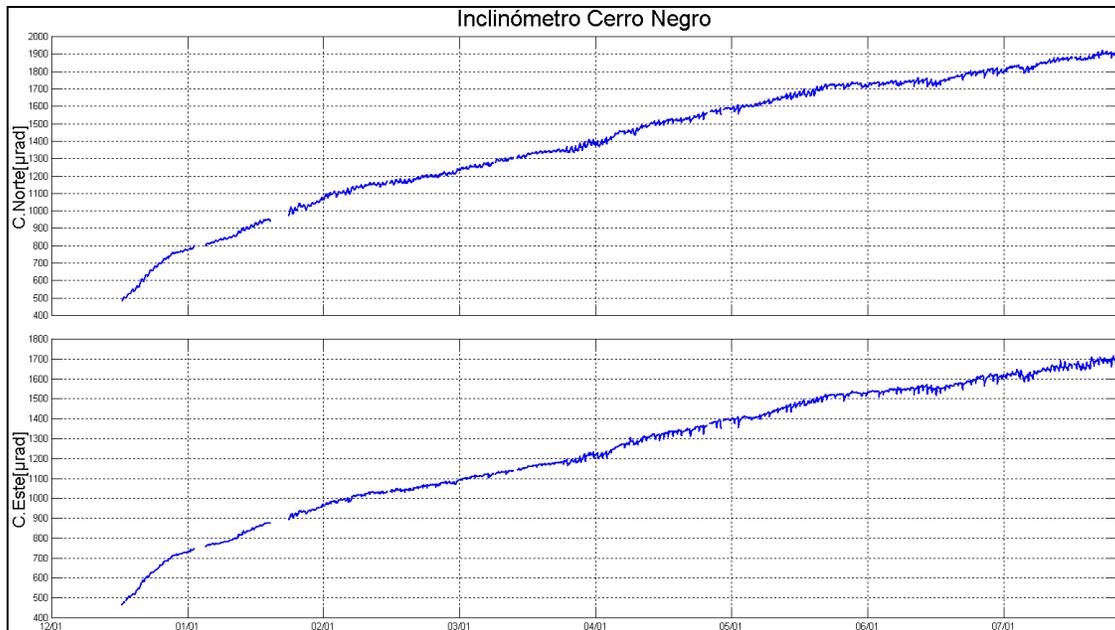
**Figura 79.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre enero y julio de 2014.



**Figura 80.** Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre enero y julio de 2014.

En la Figura 81 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 julio de 2014, cerca de 1450  $\mu\text{rad}$  y 1220  $\mu\text{rad}$ , tanto para la componente Norte y Este respectivamente. Dichos cambios son objeto de estudio y por tal motivo a

finales de junio se instaló un inclinómetro paralelo a este sensor para verificar los registros y tendencias mostradas.



**Figura 81.** 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 julio de 2014.

### 3.5. GEOQUÍMICA

En el mes de julio no se realizó muestreo en las fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro debido a que estos se realizarán con una periodicidad de dos meses.

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de julio 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 julio 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”.



## 4.1 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 83).

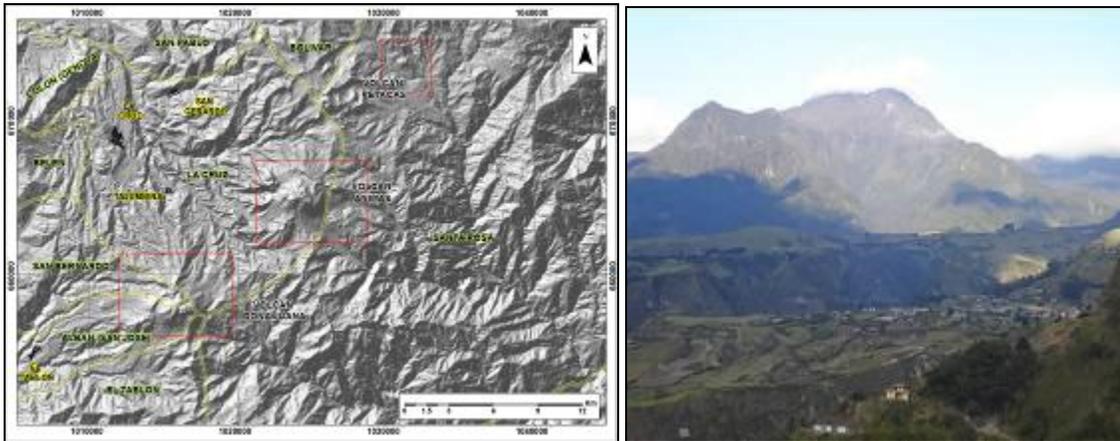
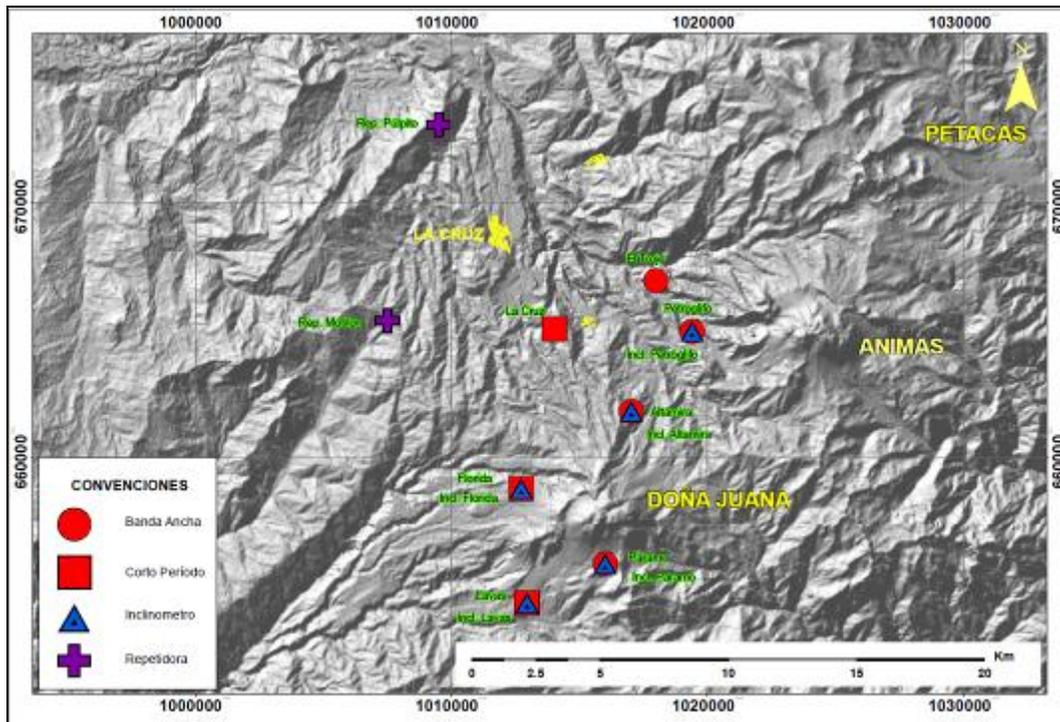


Figura 83. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

### 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 84 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 22 se consignan sus características.

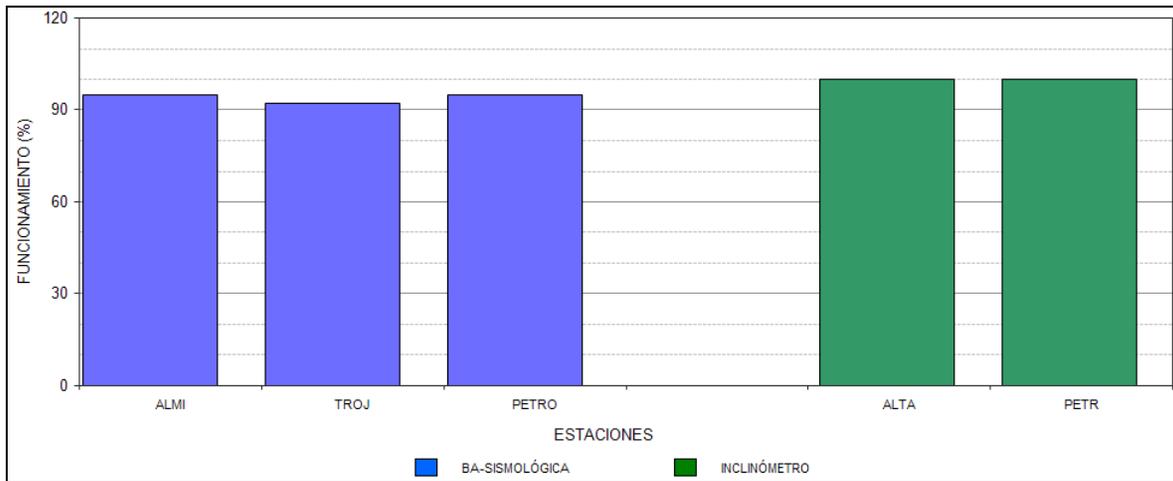


**Figura 84.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de julio de 2014. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas.

**Tabla 22.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en julio 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 96,4% (Figura 85).



**Figura 85.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante julio de 2014.

#### 4.1.3. Sismología

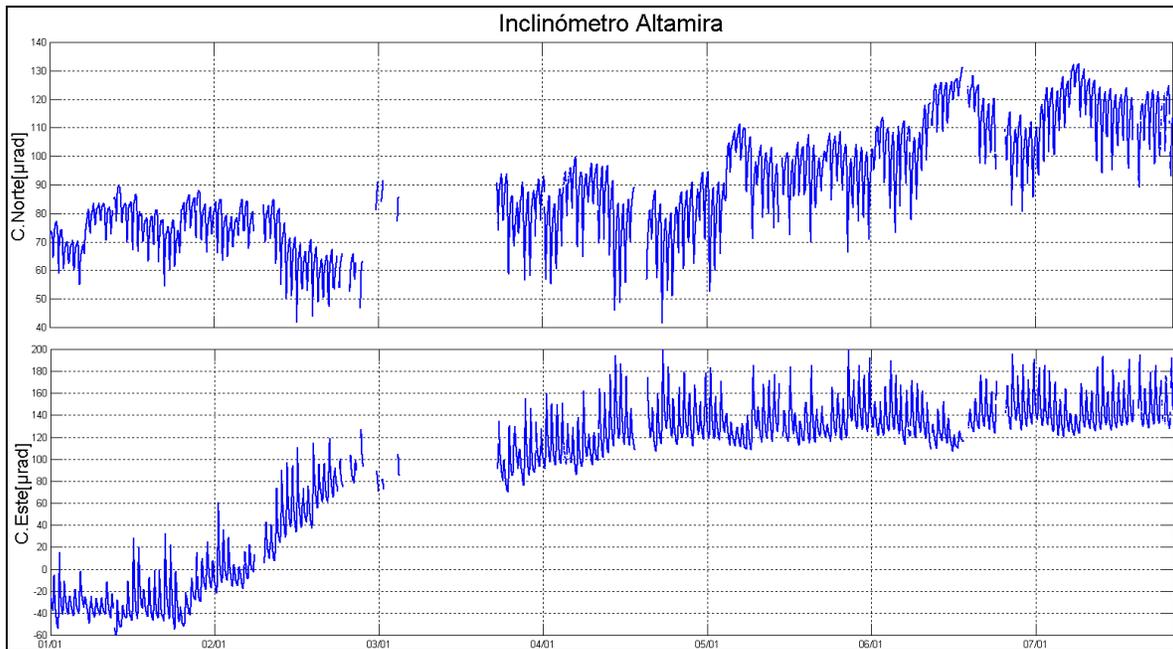
Respecto a la actividad de este volcán, en el mes de julio no se tuvo registro de sismos asociadas a la actividad propia del volcán.

#### 4.1.4. Deformación

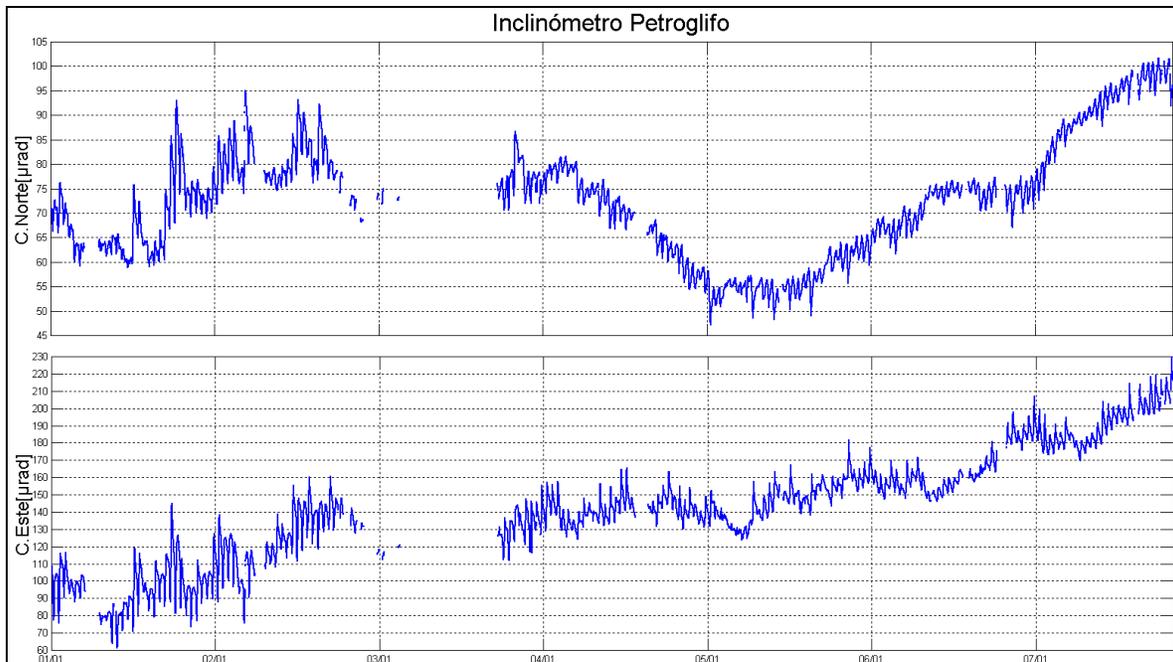
En este momento, para el monitoreo de los cambios en superficie del volcán Las Ánimas se cuenta con dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira y Petroglifo. La estación multiparámetro Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los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

En julio 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 86).

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 julio de 2014 variaciones de 45 y 220  $\mu$ rad respectivamente (Figura 87).



**Figura 86.** 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 julio de 2014.



**Figura 87.** 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 julio de 2014.

#### 4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de julio de 2014 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Las Ánimas.

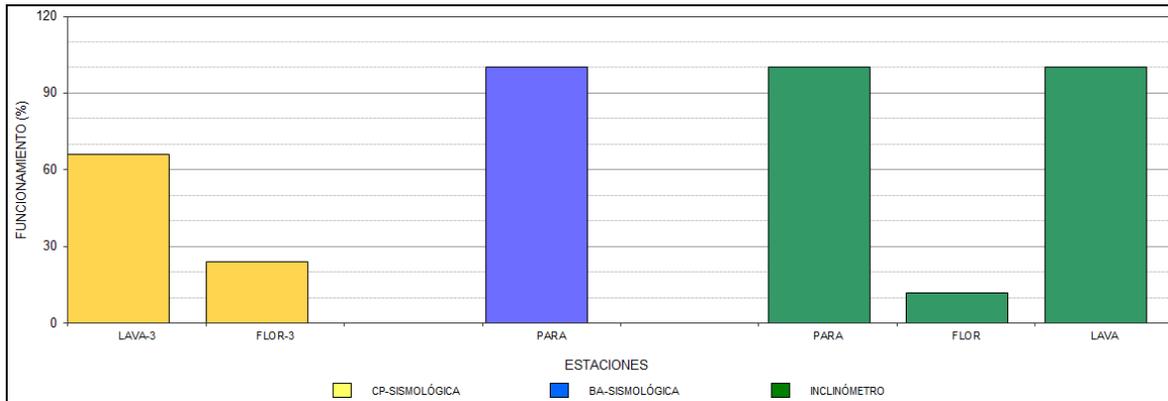
#### 4.1.6. Conclusión

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



**Tabla 23.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en julio 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



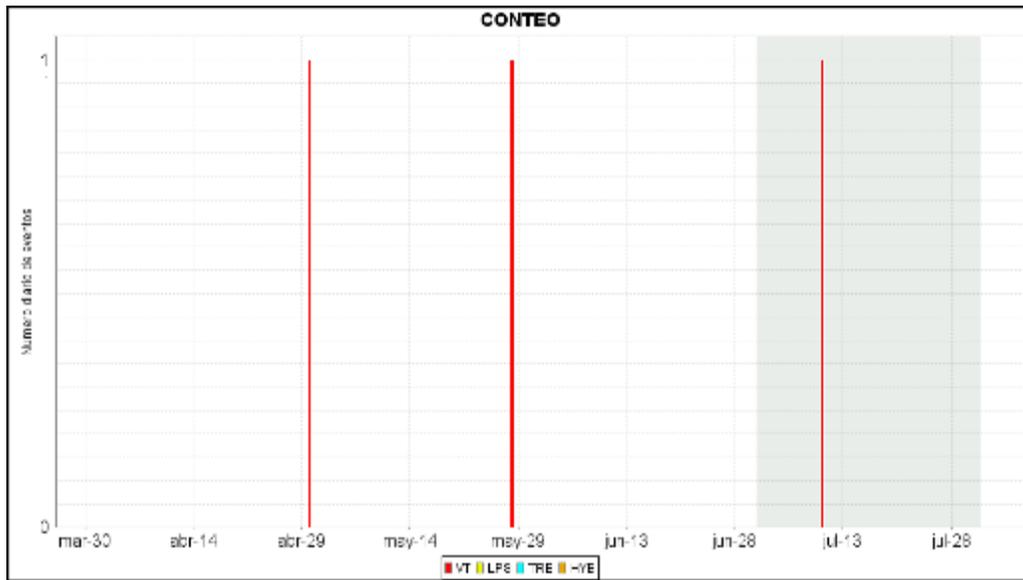
**Figura 89.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de julio de 2014.

#### 4.2.2. Sismología

En el mes de julio se tuvo registro de un sismo VT, el cual no fue posible localizar debido a su bajo nivel energético (Tabla 24, Figura 90).

**Tabla 24.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014, donde el último mes objeto de evaluación es resaltado en color verde para el volcán Doña Juana.

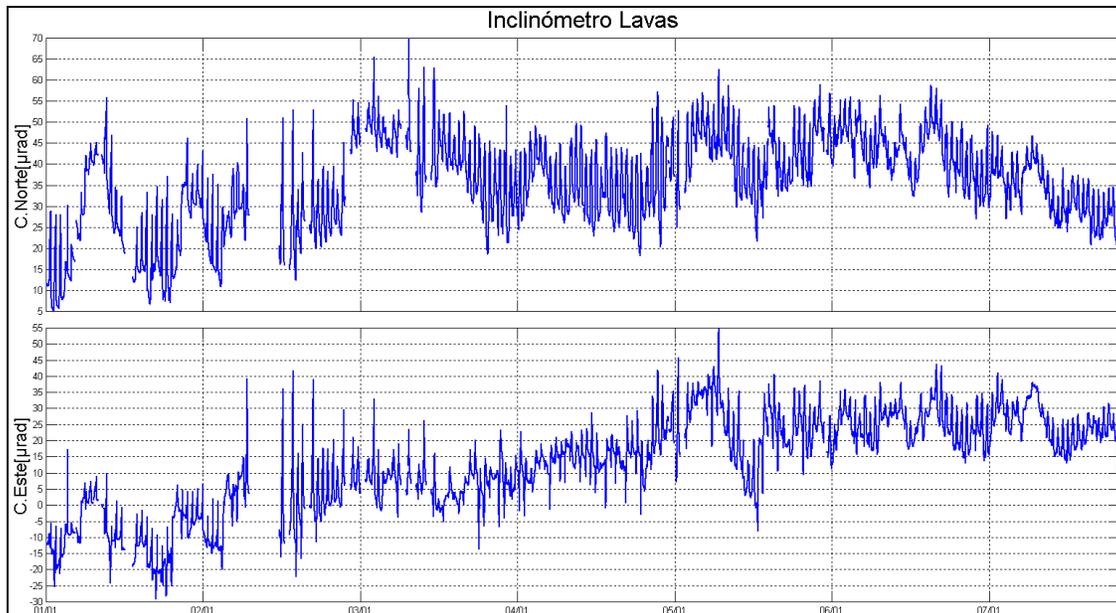
Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-abr-14 a 30-abr-14	1	0	0	0	1
01-may-14 a 31-may-14	1	0	0	0	1
01-jun-14 a 30-jun-14	0	0	0	0	0
01-jul-14 a 31-jul-14	1	0	0	0	1



**Figura 90.** Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Doña Juana entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.

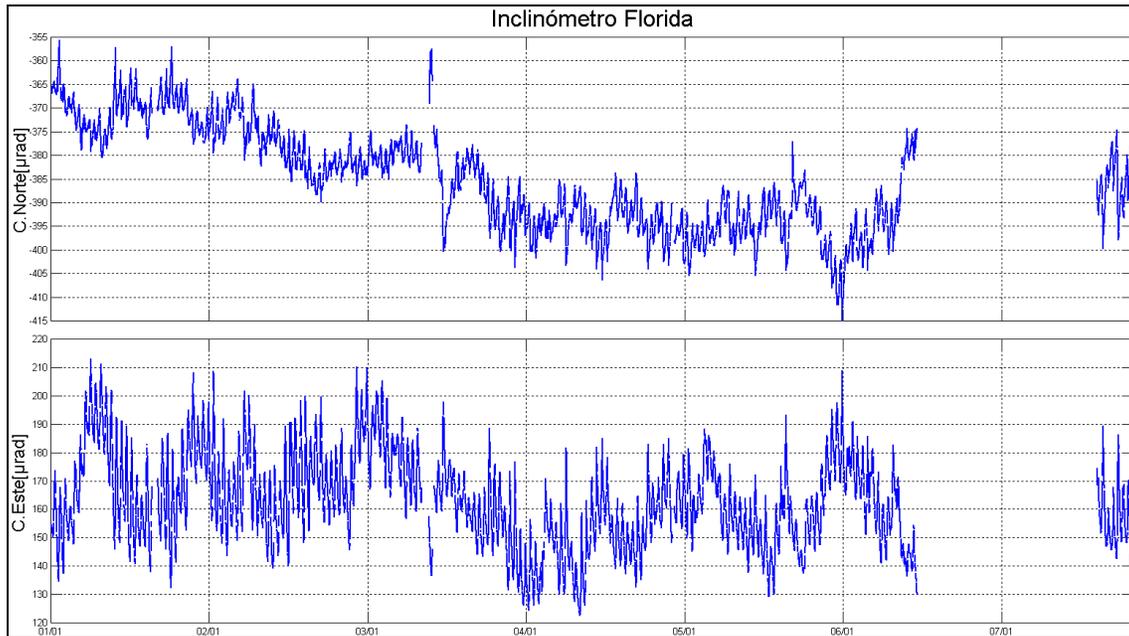
#### 4.2.3. Deformación

En los últimos dos meses, 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 20  $\mu\text{rad}$  (Figura 91).



**Figura 91.** 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 julio de 2014.

A pesar de que el inclinómetro electrónico Florida (ubicado a 2.3 km., al Oeste de los domos del volcán Doña Juana, 3154 msnm) estuvo fuera de funcionamiento por un mes, se observa que luego de recuperar la señal, las componentes Norte y Este continúan registrando un comportamiento estable con variaciones por debajo de los 20  $\mu\text{rad}$  (Figura 92).



**Figura 92.** 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.

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 julio de 2014 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

#### 4.2.5. Conclusión

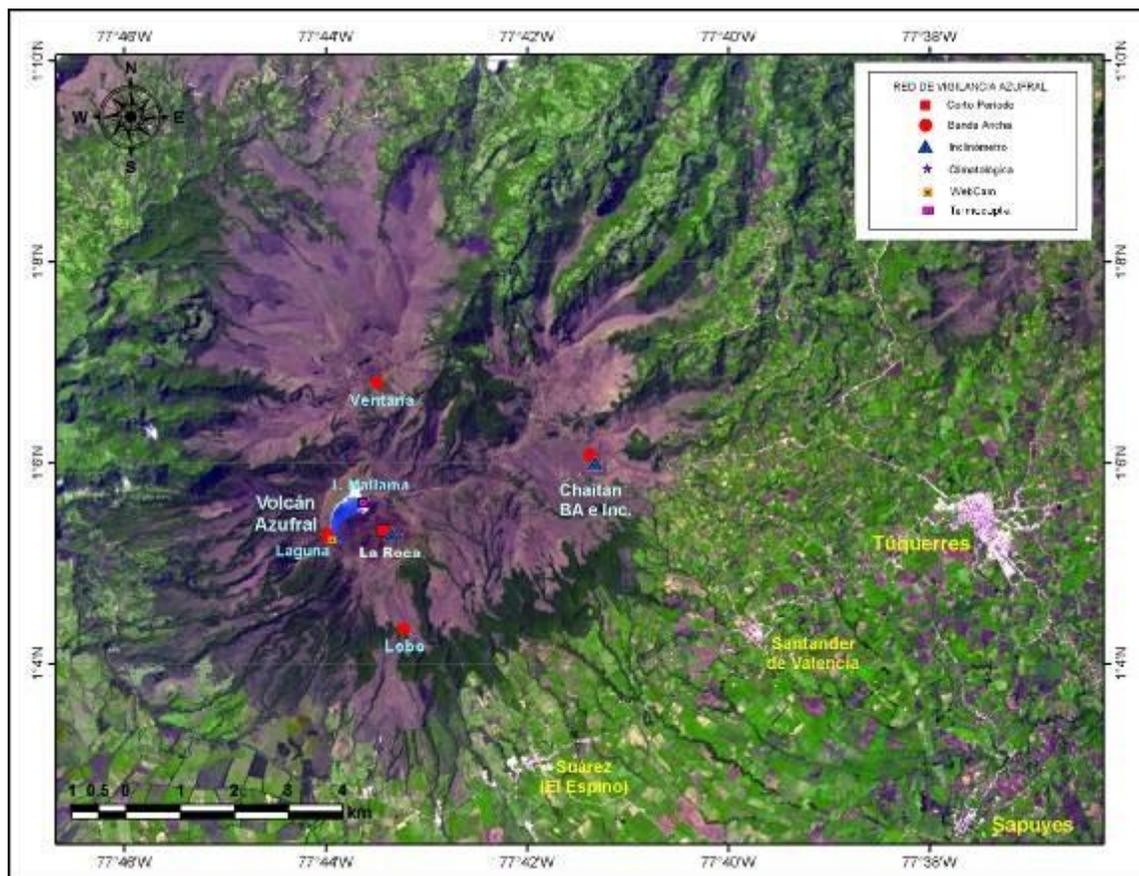
La evaluación de los parámetros monitoreados durante el mes de julio de 2014, permiten mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

### 4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

#### 4.3.1. Red de vigilancia

En la Figura 93 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 25 se consignan sus características. Adicionalmente se con 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. A partir del 14 de mayo se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas en el domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

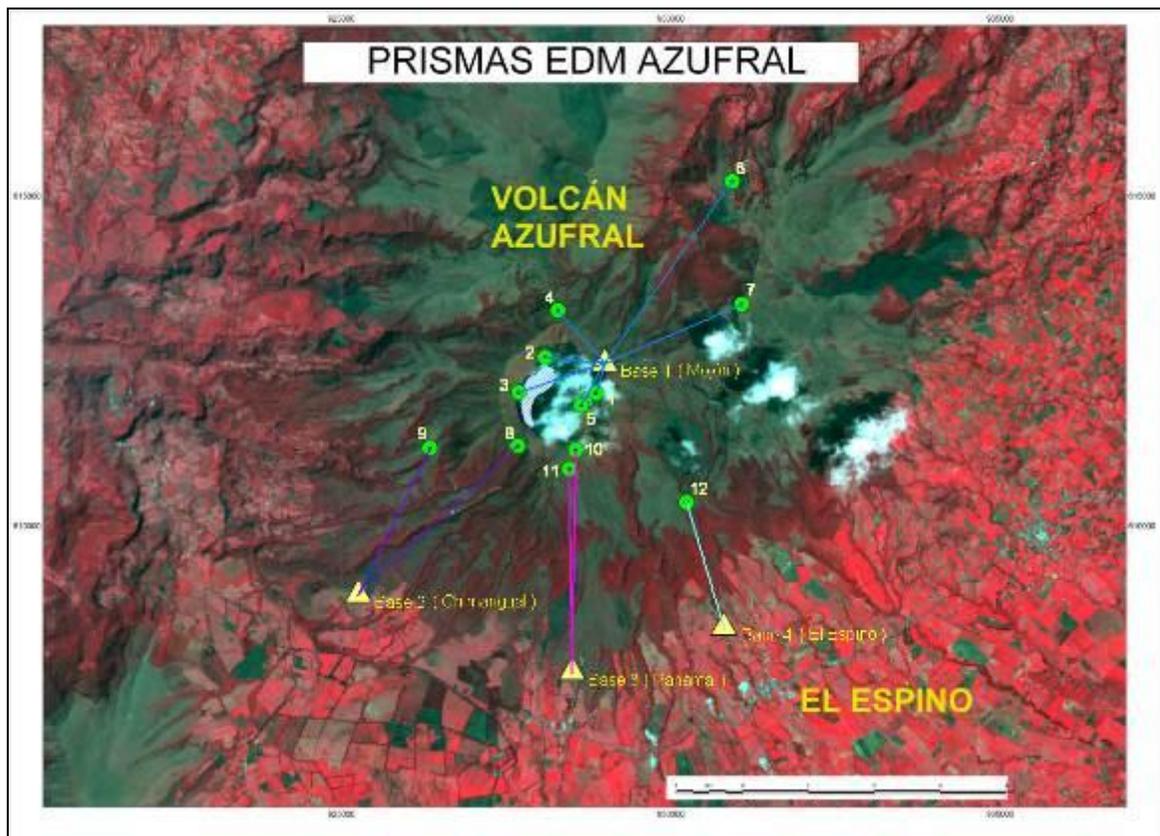
Adicionalmente, con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores (Figura 94).



**Figura 93.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de julio de 2014.

**Tabla 25.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante julio 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
Mallama	Digital	Termocupla		0.5	NE	3805



**Figura 94.** 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 94,5% para este mes (Figura 95).

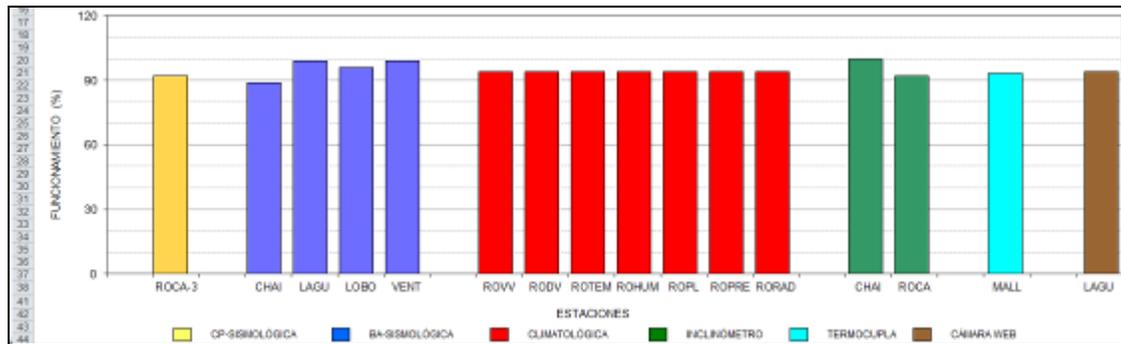


Figura 95. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de julio de 2014.

### 4.3.2. Sismología

Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán en julio de 2014 disminuyó en un 80 % en comparación a la registrada en junio, pasando de 5 a 1 evento sísmico tipo VT (Tabla 26, Figura 96), no localizable debido a su bajo nivel energético.

Tabla 26. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de abril y el 31 de julio 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-abr-14 a 30-abr-14	12	0	0	0	12
01-may-14 a 31-may-14	4	0	0	0	4
01-jun-14 a 30-jun-14	5	0	0	0	5
01-jul-14 a 31-jul-14	1	0	0	0	1

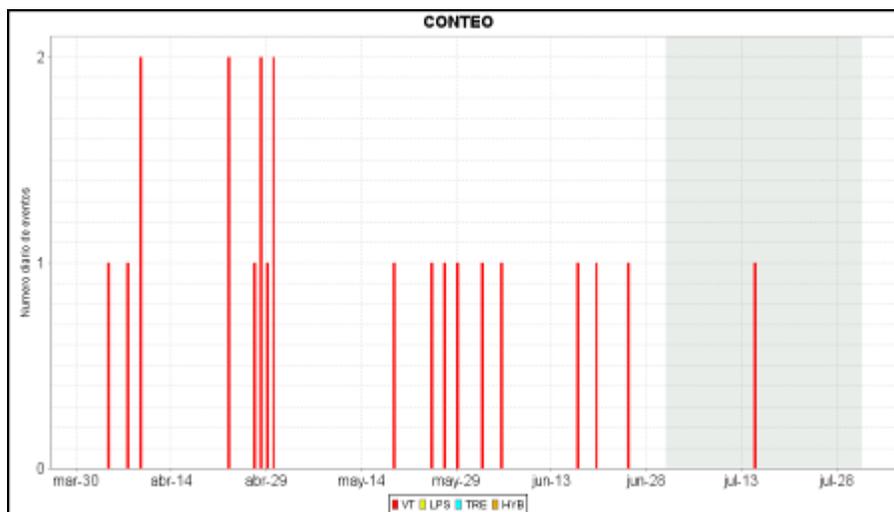
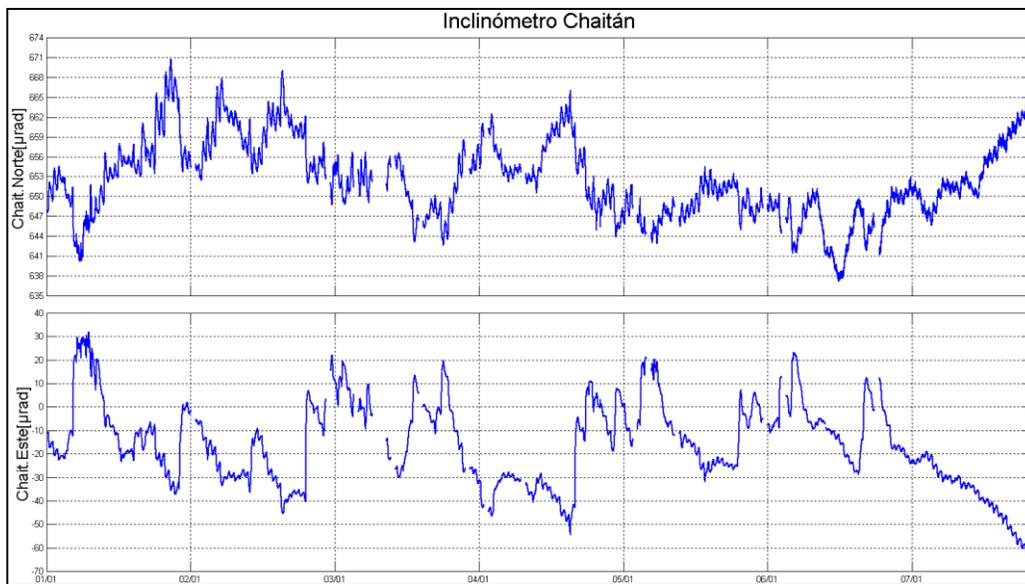


Figura 96. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de abril y el 31 de julio de 2014.

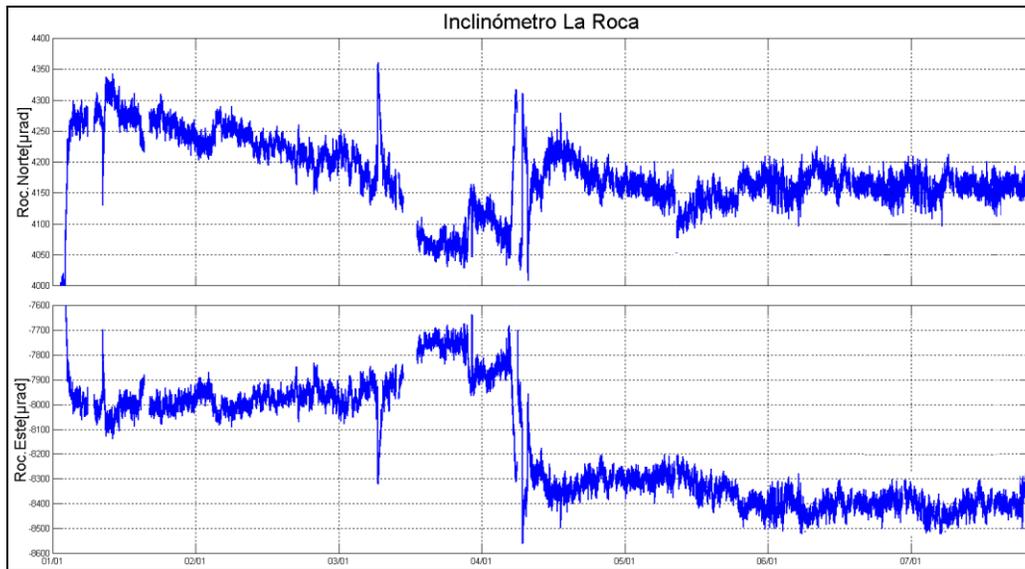
### 4.3.3. Deformación

#### 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 comportamientos ascendente y descendente respectivamente, los cuales son objeto de estudio ya que al parecer están relacionados con las bajas temperaturas registradas en la zona (Figura 97). Por su parte, 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 98).



**Figura 97.** 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 julio de 2014.



**Figura 98.** 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 julio de 2014.

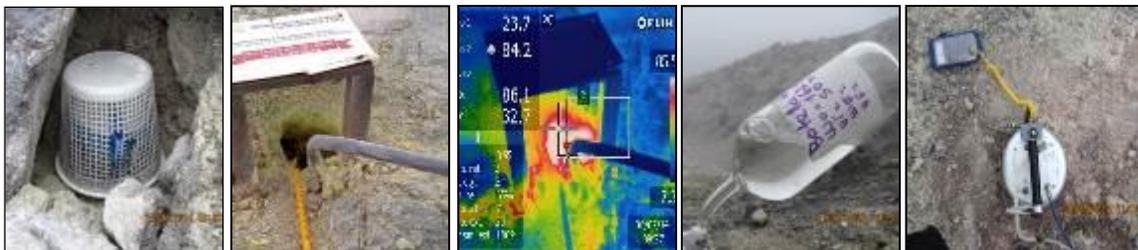
#### 4.3.3.2. Medición Electrónica de Distancias - E.D.M.

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 gases de origen volcánico en el Volcán Azufra

Durante el mes de Julio se realizaron diferentes medidas sobre gases de origen volcánico en el campo fumarólico “Domo Mallama” del volcán Azufra, entre las cuales se encuentran: muestreo en Trampa Alcalina, muestreo en Botella de Giggenbach y datos de temperatura obtenidos de la estación telemétrica termocupla Mallama y del termómetro digital con termocupla que se registra una vez al mes (figura 99).

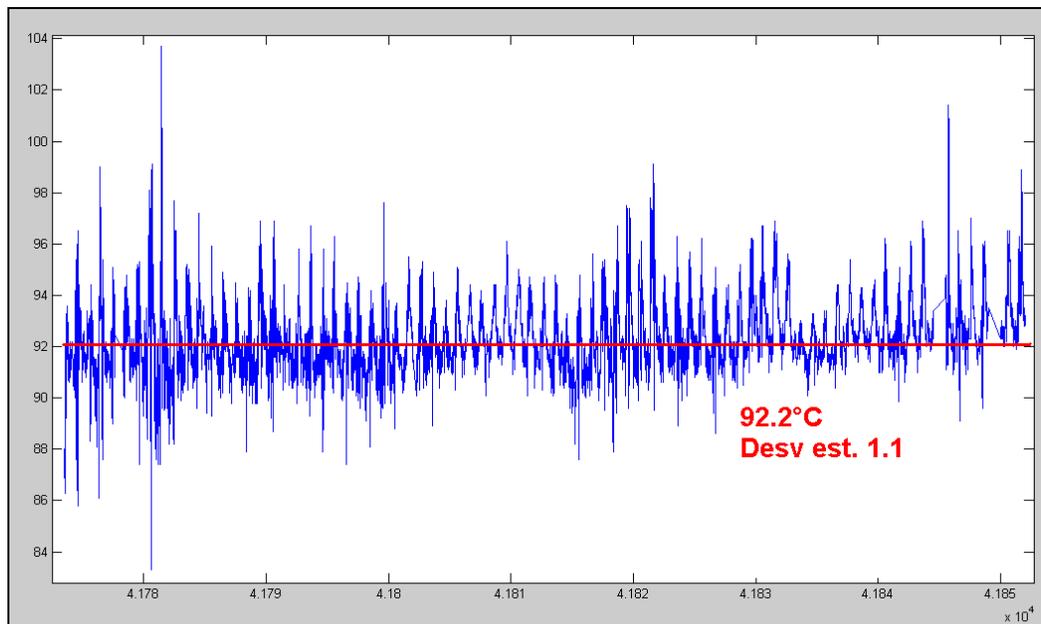


**Figura 99.** Medición de parámetros en gases por los métodos (izquierda a derecha) trampa alcalina, estación telemétrica de temperatura, toma de datos de temperatura con cámara térmica, muestreo de gases condensables Giggenbach y CO2 difuso en suelo con cámara de acumulación. Domo Mallama Volcán Azufra- Julio 2014.

En la figura 100 se grafica la variación de temperatura teniendo en cuenta los datos diarios obtenidos a partir de una tasa de muestreo de 10 minutos registrados entre mayo y julio de 2014. En la tabla 27 se encuentran los valores máximo, mínimo y promedio de los datos registrados por la termocupla ubicada en el campo fumarólico del domo Mallama en el volcán Azufral durante los tres meses que lleva en operación. Podemos apreciar que durante estos meses la temperatura promedio ha ido aumentando. Para verificar si existe esta tendencia se debe continuar con el monitoreo de esta variable por un período de tiempo mayor.

**Tabla 27.** Variación de temperaturas en Domo Mallama del volcán Azufral.

Valores	Mayo	Junio	Julio
<b>Máximo</b>	103.7	97.6	101.4
<b>Mínimo</b>	83.3	87.4	88.6
<b>Promedio</b>	91.9	92.1	93.7



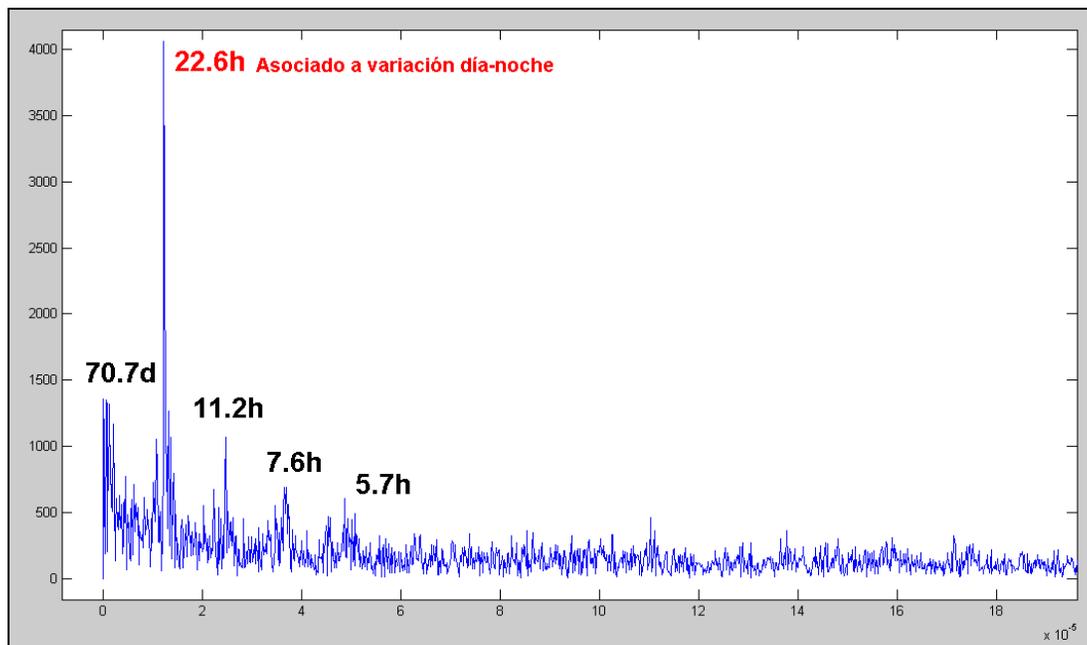
**Figura 100.** Variación de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Julio 2014.

La figura anterior, representa datos crudos obtenidos de la estación térmica telemétrica Mallama, presentando una media de 92,2°C con una desviación estándar de 1,1. Estos datos no son representativos de la serie de tiempo, sin embargo, en la tabla 28 se puede evidenciar los rangos de temperatura mínima y máxima después de aplicar una y dos desviaciones estándar, datos que son comparables con el rango en datos crudos.

**Tabla 28.** Rango de temperaturas con desviación estándar. Estación Mallama del volcán Azufral.

Rango datos crudos	Rango $\pm 2$ Desv est	Rango $\pm 1$ Desv est
mín. 83	89.5	90.9
máx. 103.7	95.1	93.7

En la figura 101, se encuentra el espectro que indica las frecuencias dominantes en una fracción de él, evidenciándose un periodo de 22,6h, frecuencia que domina la serie de tiempo y sugiere una variación asociada a los cambios día-noche, luego encontramos otra frecuencia con un periodo de tiempo mas largo y su desenso en tres frecuencias dominantes más. Se hace necesario el tratamiento de datos posteriores para evaluar la persistencia de este tipo de frecuencias.



**Figura 101.** Espectro temperatura- Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Julio 2014.

En la figura 102 se grafica los datos de temperatura eliminando las frecuencias más bajas, lo cual nos da una idea de dichas variaciones obviando los efectos asociados a los cambios día-noche.

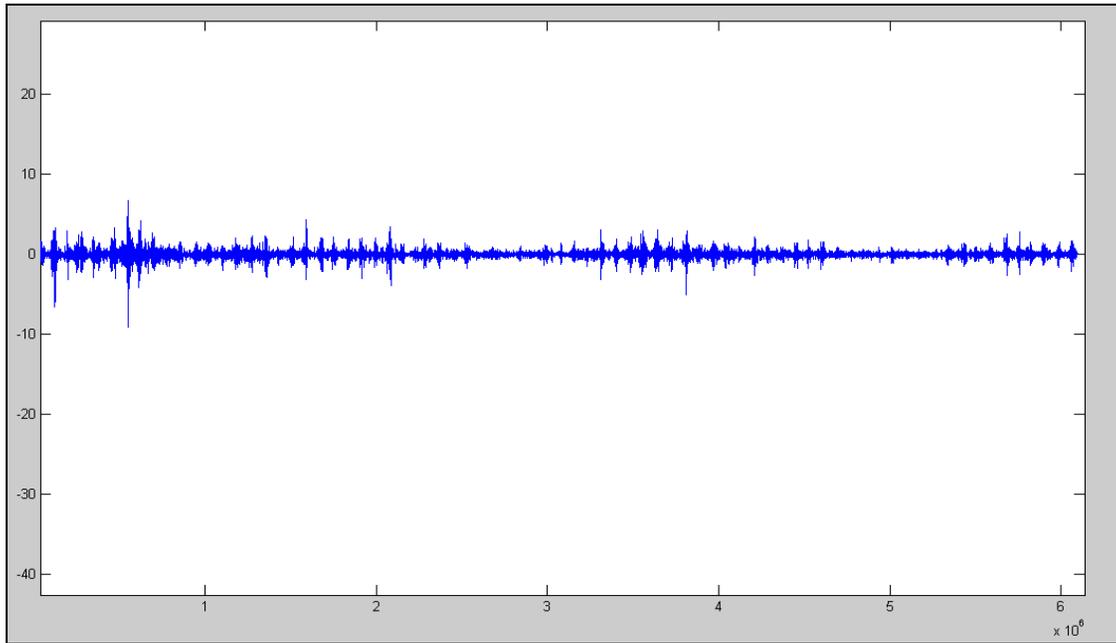


Figura 102. Datos de temperatura filtrada en la dominante. Volcán Azufral. Julio 2014.

Si realizamos un tratamiento a los datos, utilizando la media móvil diaria y semanal, se observa el comportamiento de la temperatura a mediano y largo plazo con una tendencia ascendente en los dos casos (Figura 103).

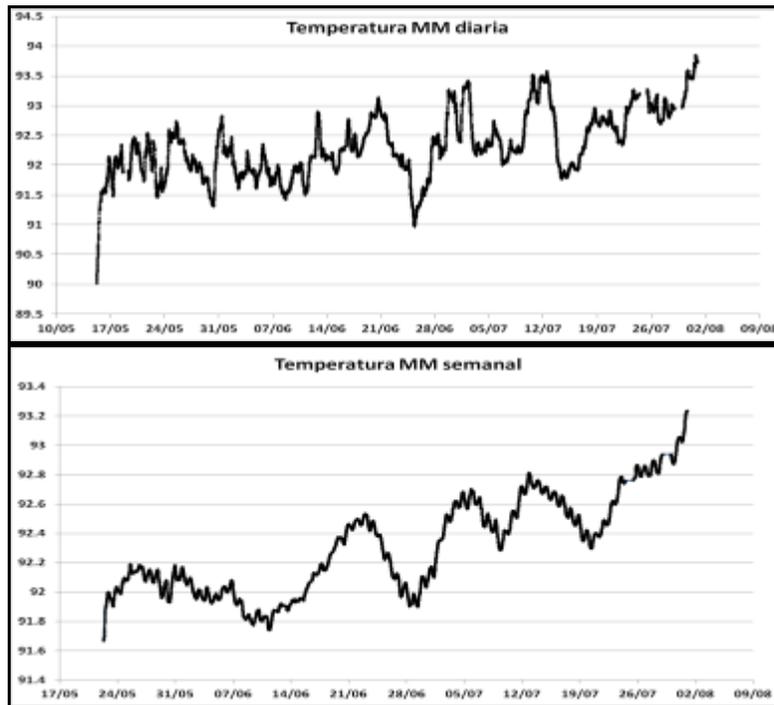


Figura 103. Datos de temperatura en el domo Mallama del volcán Azufral teniendo en cuenta la media móvil diaria (arriba) y semanal (abajo) para el periodo comprendido entre mayo y julio de 2014.

El día 30 de julio se realizó el muestreo de gases en la zona del Domo Mallama y se registró en la termocupla portátil la temperatura de la fumarola en la que se encuentra ubicada la estación telemétrica (figura 104), comparando las medidas de los dos equipos se encuentra una diferencia de  $6,7^{\circ}\text{C}$  que se debe en parte a la diferencia en la profundidad a la que ingresa cada sensor, pues el equipo de la estación ingresa aproximadamente 1,5 m mientras el portátil tiene unos 30 cm. La temperatura registrada por la estación telemétrica es de  $93,7^{\circ}\text{C}$  y la registrada en el portátil es de  $87,0^{\circ}\text{C}$  a la misma hora; se incluye una imagen tomada con la cámara térmica FLIR, que registra una temperatura superficial similar al termómetro portátil. Se realizan mediciones en diferentes puntos del domo Mallama y se encuentra una temperatura promedio de  $86,1^{\circ}\text{C}$ , en este día se tuvo una temperatura ambiente de  $5,2^{\circ}\text{C}$  con una Humedad relativa de 63,6%.



**Figura 104.** Registro de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Julio 2014.

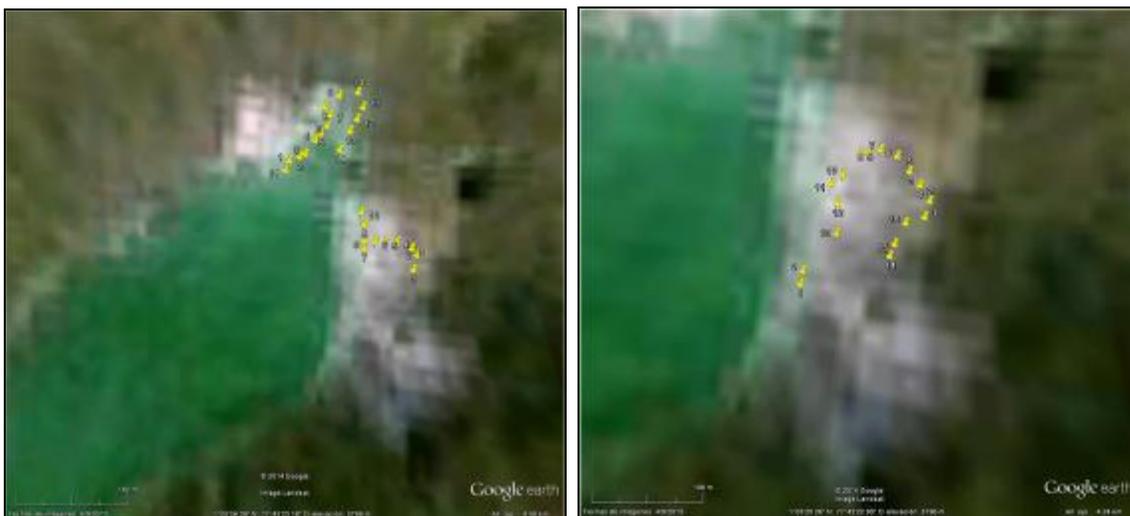
Las muestras de gases de origen volcánico recolectadas en trampa alcalina y botella de Giggenbach se envían para análisis a los laboratorios del Servicio Geológico Colombiano en Manizales y se esperan los resultados para el siguiente mes. De la trampa alcalina se recogen 50ml de la solución; para la botella de Giggenbach se toma muestra durante 20 minutos y se encuentra una temperatura de  $87,0^{\circ}\text{C}$  con un pH del condensado de 4,0.

En el mes de julio, se realizó también un muestreo sobre dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) difuso en suelo, en la zona de influencia del volcán Azufral. Se realizaron 25 medidas (Figuras 105 y 106) que se complementan con las realizadas durante el mes de marzo. Los mayores valores registrados de flujo en la zona de influencia del volcán Azufral se registran en la Tabla 29, evidenciándose que en el sector del Domo Mallama se registra el flujo más alto para el mes de mayo, presentando una gran diferencia frente al valor registrado en el mes de julio. El punto de mayor flujo está ubicado en la zona de las fumarolas cerca de la estación de temperatura.

En el sector de la playa frente al domo se efectúa un recorrido de 15 puntos, y se encuentra el mayor valor en una zona cerca a la laguna donde se observa burbujeo, el valor es menor al registrado en el domo. En la figura 107 se resaltan los puntos en los que se obtuvieron los valores máximos de flujo de  $\text{CO}_2$ .



**Figura 105.** Mapa del recorrido para el muestreo de flujo de CO<sub>2</sub> difuso en suelo en campo fumarólico perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufra. Julio 2014.



**Figura 106.** Detalle de los recorridos para el muestreo de flujo de CO<sub>2</sub> difuso en suelo, realizados en Julio (izquierda) y Mayo (derecha) en el Volcán Azufra. Julio 2014.

**Tabla 29.** Mayor flujo de CO<sub>2</sub> difuso en suelo de la zona de influencia del volcán Azufra - Julio 2014.

FECHA	HORA	SITIO	LONGITUD W [°]	LATITUD N [°]	ELEVACION [msnm]	CO <sub>2</sub> _FLUX [mol/mq/day]
13/05/2014	11:57:57	Domo Mallama	-77,721676	1,090530	3834	924,4
30/07/2014	11:20:49	Domo Mallama	-77,721449	1,090053	3814	282,6
30/07/2014	13:13:31	La Playita	-77,722639	1,091996	3797	158,1



**Figura 107.** Zonas de Mayor flujo de CO2 difuso en suelo en los recorridos realizados en julio de 2014 en sectores del domo Mallama y La Playita del Volcán Azufral.

#### 4.3.4.2. Muestreo de aguas en Fuentes Termales

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 108, Tabla 30).

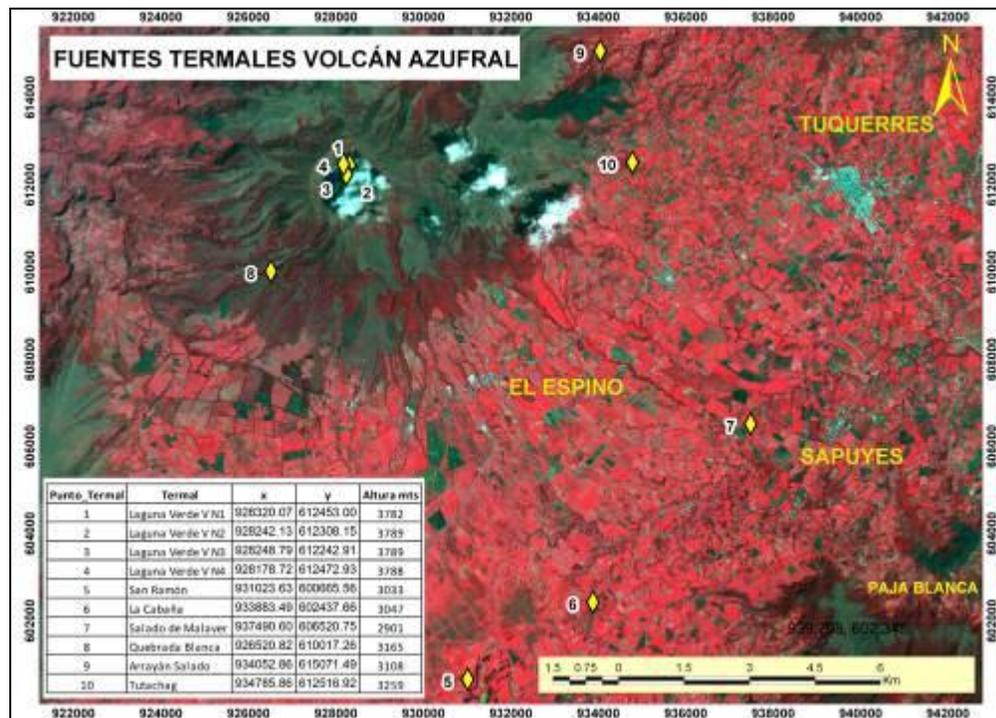


Figura 108. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

Tabla 30. Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Azufral.

	Nombre Estación	Tipo	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)
<b>FUENTES TERMALES VOLCÁN AZUFRAL</b>	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

Para el mes de julio se realizó muestreo de parámetros fisicoquímicos en la FT LV N°1, y no fue posible realizarlo en las FT LV N°2, LV N°3 y LV N°4 debido al nivel de la laguna verde y la mezcla con otras aguas, por lo tanto los datos no serían mensurables, ni representativos.

En la figura 108 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de julio para la FT LV N°1 de la zona de influencia del volcán Azufral. Los colores en las gráficas 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.

La fuente termal muestreada en el volcán Azufral presenta durante el mes de julio un pH de 6,81 que es un valor cercano al neutro (Figura 109).

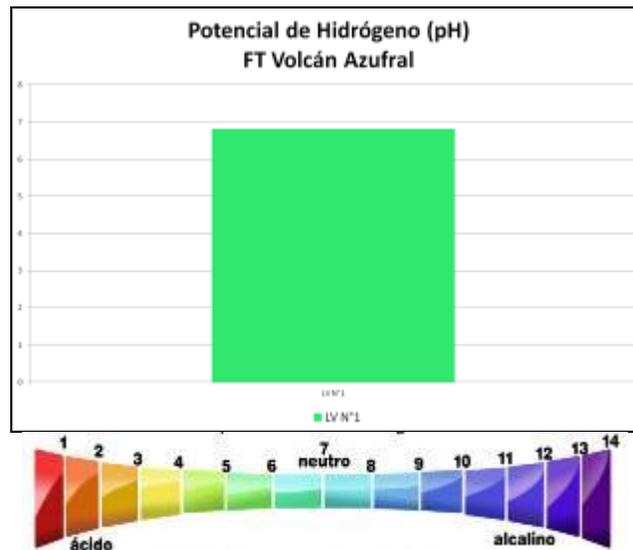


Figura 109. Potencial de hidrógeno de la FT LV N°1 del Volcán Azufral en julio de 2014.

En la Figura 110 se puede observar la variación de pH con respecto a meses anteriores, registradas en trabajo de campo. Se puede apreciar un incremento del pH para la FT LV N°1 regresando a valores registrados anteriormente, manteniendo una tendencia estable.

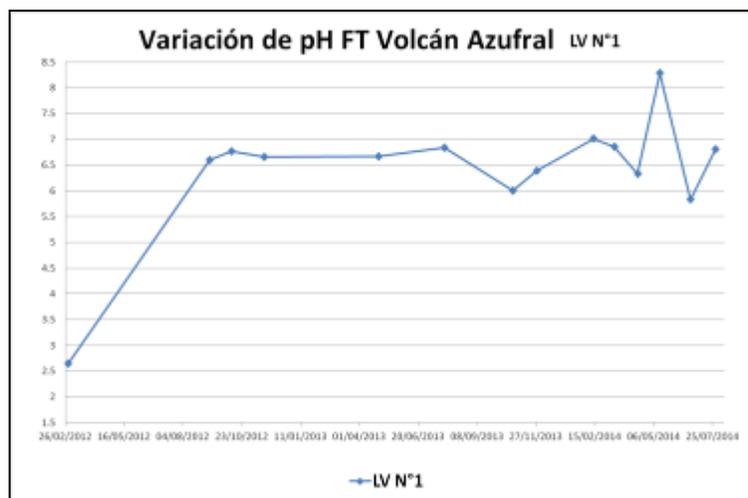


Figura 110. Variación del pH en las FT del Volcán Azufral – Mayo 2014.

Con respecto al comportamiento del parámetro temperatura se observa que para el mes de julio, existe una variación importante con respecto a meses anteriores, regresando a valores registrados en 2013, pero se puede concluir un comportamiento estable de la fuente termal a través del tiempo evaluado (Figura 111).

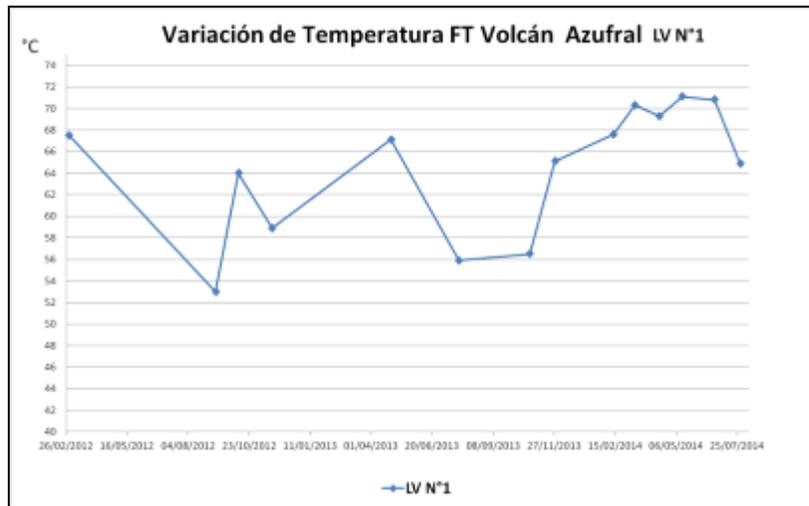


Figura 111. Variación de la temperatura en la FT LV N°1 del Volcán AzufraI en Julio 2014.

En cuanto a la concentración del ion  $\text{HCO}_3^-$ , se observan ligeras variaciones en la FT indicando un comportamiento estable (Figura 112).

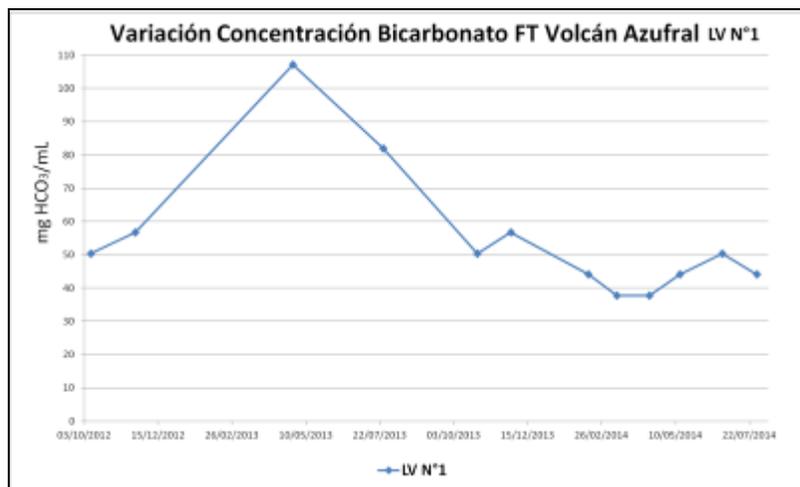


Figura 112. Variación en la concentración de bicarbonato en FT LV N°1 del Volcán AzufraI en Julio 2014.

Sobre la conductividad eléctrica (Figura 113), para el mes de julio la FT LV N°1 presenta un leve incremento respecto al mes anterior, probablemente debido a procesos de evaporación que permiten una mayor concentración de los minerales en solución.

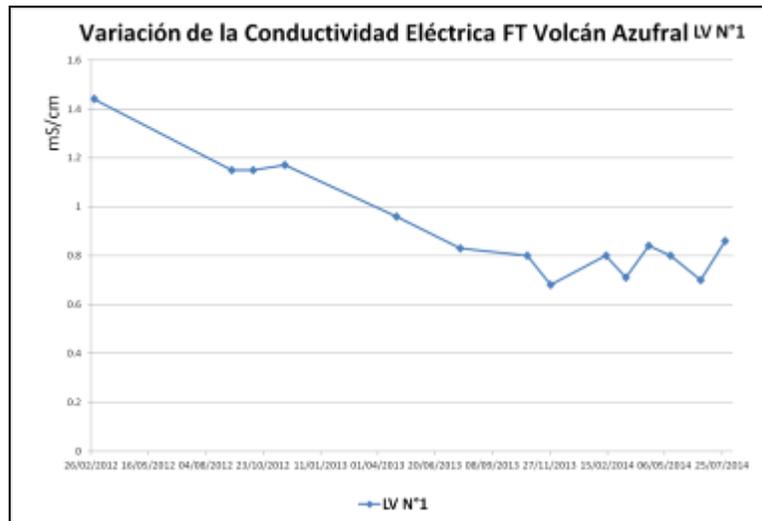


Figura 113. Variación de la conductividad eléctrica en FT LV N°1 del Volcán Azufraal en Julio 2014.

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

- **Fuente termal LV N°1**
- Temperatura superficial: 64,9°C (Temperatura registrada en julio 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 114).



Figura 114. Imagen FT LV N° 1 del Volcán Azufraal - Julio 2014.

#### 4.3.5. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante los días 1, 3, 4, 5, 25 y 31 de julio 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 115 y 116).



**Figura 115.** Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 1 de julio a las 12:37 p.m. (Izquierda) y el 3 de julio a las 10:12 p.m. (Derecha).



**Figura 116.** Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 31 de julio a las 11:46 a.m.

#### 4.3.6. Conclusión

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