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	Oct/2014
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Septiembre de 2014.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
Identificador	**En proceso de definición**	
Descripción	Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados	Presentación de resultados y análisis de los datos obtenidos del monitoreo continuo a la actividad de los volcanes Galeras, Doña Juana, Las Ánimas, Cumbal, Azufral, Chiles y Cerro Negro en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Se utiliza gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones especificas 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	Septiembre de 2014
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km^2	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral. Zona de influencia del Volcán Las

		Ánimas. Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro.
Coordenadas /limites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptores		
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptores primarios: -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación -Electromagnetismo -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios	- Zona de influencia del Volcán Galeras, cono activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Cumbal - Zona de influencia del Volcán Doña Juana - Zona de influencia del Volcán Azufral - Zona de influencia del Volcán Las Ánimas -Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro
Código temático		Capas de información
Restricción de acceso	Limitaciones para acceso al conjunto de datos incluye restricciones que aseguren protección de privacidad o propiedad intelectual o limitaciones en obtención del conjunto de datos.	Derechos de propiedad intelectual. Prohibida su reproducción total o parcial con fines comerciales. Incluye información básica para documentos e investigación.
Muestra gráfica	Ilustración gráfica del conjunto de datos. Se especifica la dirección del computador, trayectoria, nombre y extensión del archivo.	Los datos se encuentran en el Servidor de Archivos Principal en el directorio: V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2014\sep
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido, normatividad	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y sísmica en la zona de influencia de los Volcanes Galeras, Cumbal, Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Chilles y Cerro Negro para acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos.
Distribución		
Distribuidor		
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa, imagen satelital, informe técnico	Informe Técnico
Proceso estándar de pedido		
Productos impresos	Identificación que tipo de producto impreso. Ej. mapa impreso a color	No aplica.
Forma digital		
Formato	Nombre, versión del formato. Ejm: PDF.- Si no se encuentra en forma digital se escribe “No disponible”	El informe se encuentra en formato DOC y PDF

Opción de transferencia digital		
Dirección en línea	Dirección electrónica donde se puede obtener el conjunto de datos	http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2014.aspx
Medio digital/Ubicación	Opciones del medio digital en el cual puede ser entregado el conjunto de datos y su ubicación física. Disquete de 3-1/2; CD-ROM	CDROM
Contacto		
Organización	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano.
Cargo/persona	Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos	John Makario Londoño, Jefe de Proyecto Ame09-42
Sede		Bogotá
Dirección		Diag. 53 No. 34-53
Ciudad		Bogotá, D.C.
Departamento		Cundinamarca
País		Colombia
Teléfono		(57+1)2 20 02 00 - 2 20 01 00 - 2 22 18 11 (57+1) 01-8000-110842
Fax		(57+1) 222 07 97
Correo electrónico		**cliente@sgc.gov.co**

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

Edición:

GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO

San Juan de Pasto, octubre de 2014

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

			Pág.
	RESUMEN		11
	INTRODUCCION		13
	1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – SEPTIEMBRE DE 2014	14
	1.1.	RED DE VIGILANCIA	14
	1.2.	SISMOLOGÍA	21
	1.3.	DEFORMACIÓN	27
	1.3.1.	Estaciones de Inclinometría Electrónica	27
	1.3.2.	Estaciones GNSS permanentes	31
	1.3.3.	Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras	36
	1.4.	ELECTROMAGNETISMO	37
	1.5.	GEOQUÍMICA	42
	1.5.1.	Mediciones de flujo de emisión de SO_2 con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS	42
	1.5.2.	Mediciones del isótopo de gas Radón 222 – (Rn_{222})	43
	1.5.3.	Trampa alcalina-volcán Galeras	46
	1.5.4.	Muestreo de aguas en fuentes termales.	48
	1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	54
	1.7.	CONCLUSIONES	56
	2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – SEPTIEMBRE DE 2014	58
	2.1.	RED DE VIGILANCIA	58
	2.2.	SISMOLOGÍA	59
	2.3.	DEFORMACIÓN	64
	2.4.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	65
	2.5.	CONCLUSIONES	68
	3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – SEPTIEMBRE DE 2014	69
	3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	69
	3.2	RED DE VIGILANCIA	69
	3.3.	SISMOLOGÍA	71
	3.4.	DEFORMACIÓN	73
	3.5.	GEOQUÍMICA	76
	3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	76
	3.7	CONCLUSIÓN	76
	4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – SEPTIEMBRE DE 2014	77
	4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	78
	4.1.1	Ubicación Geográfica	78
	4.1.2	Red de Vigilancia	78
	4.1.3	Sismología	80
	4.1.4.	Deformación	81
	4.1.5.	Actividad Superficial	83
	4.1.6.	Conclusión	83
	4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	84
	4.2.1.	Red de vigilancia	84
	4.2.2.	Sismología	85
	4.2.3.	Deformación	87
	4.2.4.	Actividad Superficial	88
	4.2.5.	Conclusión	88

	4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	89
	4.3.1.	Red de vigilancia	89
	4.3.2.	Sismología	91
	4.3.3.	Deformación	93
	4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	93
	4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	94
	4.3.4.	Geoquímica	95
	4.3.4.1.	Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Azufral	95
	4.3.4.2.	Registro de temperatura –campo fumarólico Domo Mallama en Volcán Azufral	96
	4.3.4.3.	Muestreo de aguas en Fuentes Termales	98
	4.3.5.	Actividad Superficial	102
	4.3.6.	Conclusión	104

FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante septiembre de 2014.	15
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 septiembre de 2014.	16
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.	17
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 septiembre de 2014.	18
Figura 5.	Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.	19
Figura 6.	Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Galeras. Los triángulos de color naranja indican la ubicación de las Bases de medición 1, 2, 3, 4 y 5, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.	20
Figura 7.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en septiembre de 2014.	21
Figura 8.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de junio y septiembre de 2014.	22
Figura 9.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014. La región sombreada corresponde al mes de septiembre	23
Figura 10.	Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).	23
Figura 11.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.	24
Figura 12.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para septiembre de 2014 (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).	25
Figura 13.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde junio a septiembre de 2014.	25
Figura 14.	Sismograma en la estación sísmica Anganoy del enjambre de eventos sísmicos registrado entre el 26 y 27 de septiembre de 2014.	26
Figura 15.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 30 de septiembre 1 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).	27
Figura 16.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	28
Figura 17.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	28
Figura 18.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	29
Figura 19.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Cóndor para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	29
Figura 20.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014. En la figura también se observa el canal correspondiente	30

	a la temperatura, notándose que los cambios observados en las componentes Tangencial y Radial podrían estar relacionados con cambios en la temperatura.	
Figura 21.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	30
Figura 22.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	31
Figura 23.	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	32
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 30 de septiembre de 2014.	33
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 30 de septiembre de 2014.	33
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 30 de septiembre de 2014.	34
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 30 de septiembre de 2014.	34
Figura 28.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de mayo y el 30 de septiembre de 2014.	35
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 30 de septiembre de 2014.	35
Figura 30.	Medidas EDM sobre una superficie volcánica.	36
Figura 31.	Comportamiento de las mediciones electrónicas de distancia EDM sobre la superficie de Galeras entre marzo de 2013 y septiembre de 2014.	36
Figura 32.	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 septiembre de 2014.	37
Figura 33.	Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones La Y (líneas roja y verde) y Peladitos (líneas azul y amarilla), para el periodo entre mayo y septiembre de 2014.	38
Figura 34.	Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones Urcunina (líneas roja y verde) y Lavas (líneas azul y amarilla), para el periodo mayo y septiembre de 2014.	39
Figura 35.	Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, en el periodo entre mayo y septiembre de 2014.	39
Figura 36.	Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, en el periodo entre mayo y septiembre de 2014.	40
Figura 37.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, para el periodo entre mayo y septiembre de 2014.	40
Figura 38.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Cráter, para el periodo entre mayo y septiembre de 2014.	41
Figura 39.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el periodo entre mayo y septiembre de 2014.	41
Figura 40.	Flujo de emisión de SO_2 registrado entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014 por los equipos ScanDOAS y MobileDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	43
Figura 41.	Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2014.	43
Figura 42.	Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Barranco para el periodo comprendido entre los meses de junio y septiembre de 2014.	44
Figura 43.	Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Galeras para el periodo comprendido entre los meses de junio y septiembre de 2014.	45

Figura 44.	Flujo de gas radón enero – septiembre de 2014.	46
Figura 45.	Mapa de localización estaciones trampa alcalina volcán Galeras.	47
Figura 46.	Toma de muestras, estaciones Trampa Alcalina – Cima volcán Galeras.	48
Figura 47.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.	48
Figura 48.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras en septiembre de 2014.	50
Figura 49.	Variación del pH de las FT de Volcán Galeras – Septiembre 2014.	51
Figura 50.	Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras - Septiembre 2014.	51
Figura 51.	Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - Septiembre 2014.	52
Figura 52.	Imagen térmica FT Aguas Agrias - Volcán Galeras - Septiembre 2014.	53
Figura 53.	Imagen térmica FT Cehani - Volcán Galeras - Septiembre 2014.	53
Figura 54.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma (Izquierda) y desde la sede del OVSP (Derecha) el 3 de septiembre de 2014 a las 5:49 a.m. y 6:54 a.m. respectivamente.	54
Figura 55.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco el 6 de septiembre a las 6:10 a.m. y 6:40 a.m. respectivamente.	54
Figura 56.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá 13 de septiembre de 2014 a las 5:25 p.m.	55
Figura 57.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Izquierda) y Bruma (Derecha) el 17 de septiembre de 2014 a las 6:18 a.m. y 6:24 a.m. respectivamente.	55
Figura 58.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda) y Barranco (Derecha) el 21 de septiembre de 2014 a las 5:45 a.m. y 6:13 a.m. respectivamente.	55
Figura 59.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada por personal del SGC el 26 de septiembre de 2014 en horas de la mañana.	56
Figura 60.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 29 de septiembre de 2014 a la 1:18 p.m.	56
Figura 61.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de septiembre de 2014.	58
Figura 62.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en septiembre de 2014.	59
Figura 63.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre junio y septiembre de 2014. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	60
Figura 64.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.	60
Figura 65.	Energía sísmica diaria liberada en términos de su raíz cuadrada para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal según su tipo, entre el 1 de junio y el 31 de septiembre de 2014.	61
Figura 66.	Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 18 de septiembre de 2014 a las 9:00 p.m.	62
Figura 67.	Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 30 de septiembre de 2014.	63
Figura 68.	Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 30 de septiembre de 2014.	63
Figura 69.	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).	64
Figura 70.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	65
Figura 71.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo	65

	comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	
Figura 72.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	66
Figura 73.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	66
Figura 74.	Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 5 y 17 de septiembre a las 6:03 p.m. y a las 8:17 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	67
Figura 75.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 26 de septiembre a las 6:23 a.m., desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	67
Figura 76.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	69
Figura 77.	Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.	70
Figura 78.	Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles.	71
Figura 79.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante septiembre de 2014.	71
Figura 80.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.	72
Figura 81.	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 septiembre 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.	73
Figura 82.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre enero y septiembre de 2014.	74
Figura 83.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y julio de 2014	74
Figura 84.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Cerro Negro – 2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2014.	75
Figura 85.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre enero y septiembre de 2014.	75
Figura 86.	Vectores resultantes de los inclinómetros Cerro Negro y Cerro Negro - 2, para los periodos comprendidos entre el 19 de junio y el 18 de agosto y el 18 de agosto hasta el 30 de septiembre de 2014.	76
Figura 87.	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.	78
Figura 88.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	79
Figura 89.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de septiembre de 2014. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas.	80
Figura 90.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante septiembre de 2014.	81
Figura 91.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas en el mes de septiembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	82
Figura 92.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	83
Figura 93.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre	83

	los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	
Figura 94.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.	85
Figura 95.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de septiembre de 2014.	86
Figura 96.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Doña Juana entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.	87
Figura 97.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en el mes de septiembre 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.	87
Figura 98.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	88
Figura 99.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	89
Figura 100.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2014.	90
Figura 101.	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.	91
Figura 102.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2014.	92
Figura 103.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.	93
Figura 104.	Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de agosto de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km., de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	93
Figura 105.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	94
Figura 106.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.	95
Figura 107.	Comportamiento de las mediciones electrónicas de distancia EDM sobre la superficie de Azufral entre enero de 2010 y septiembre de 2014.	96
Figura 108.	Mapa del recorrido para el muestreo de flujo de CO2 difuso en suelo en campo fumarólico Domo Mallama, perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Septiembre 2014. En la gráfica los círculos naranja representan los puntos de mayor emisión.	97
Figura 109.	Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	98
Figura 110.	Muestreo de gases de origen volcánico-Método Giggenbach y trampa alcalina en el Volcán Azufral.	98
Figura 111.	Variación de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral para el periodo comprendido entre mayo y septiembre de 2014.	99
Figura 112.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	100
Figura 113.	Potencial de hidrógeno de la FT LV N°1 del Volcán Azufral en julio de 2014.	101
Figura 114.	Variación del pH en la FT LV N°1 del Volcán Azufral en septiembre de 2014.	101
Figura 115.	Variación de la temperatura en la FT LV N°1 del Volcán Azufral en septiembre de 2014.	102
Figura 116.	Variación en la concentración de bicarbonato en FT LV N°1 del Volcán Azufral en septiembre de 2014.	102
Figura 117.	Variación de la conductividad eléctrica en FT LV N°1 del Volcán Azufral en septiembre de	103

	2014.	
Figura 118.	Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 20 de septiembre a las 6:58 a.m.	104
Figura 119.	Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 26 de septiembre a las 7:43 a.m.	104

TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras durante septiembre de 2014.	16
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante septiembre de 2014.	17
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de septiembre de 2014.	17
Tabla 4.	Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en septiembre de 2014.	18
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	18
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).	19
Tabla 7.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas en el sector denominado Barranco (Línea Barranco).	20
Tabla 8.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	22
Tabla 9.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014 resaltando en color verde el mes evaluado.	24
Tabla 10.	Emisiones de SO2 del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de septiembre de 2014, por las estaciones ScanDOAS y MobileDOAS (Proyecto NOVAC).	42
Tabla 11.	Valores máximos de flujo del isótopo Rn_{222} en suelo en las estaciones de la línea Barranco en septiembre de 2014.	45
Tabla 12.	Valores máximos de flujo del isótopo Rn_{222} en suelo en las estaciones de la línea Galeras en septiembre de 2014.	45
Tabla 13.	Ubicación geográfica estaciones Trampa Alcalina en Volcán Galeras.	47
Tabla 14.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras muestreadas en Septiembre de 2014.	49
Tabla 15.	Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Galeras.	49
Tabla 16.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	52
Tabla 17.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante septiembre de 2014.	59
Tabla 18.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014 (resaltado en color verde).	59
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 junio de 2014 y el 31 de septiembre de 2014 (resaltado en color verde).	61
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante septiembre de 2014.	70

Tabla 21.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.	72
Tabla 22.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en septiembre de 2014.	80
Tabla 23.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.	81
Tabla 24.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en septiembre de 2014.	86
Tabla 25.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014, donde el último mes objeto de evaluación es resaltado en color verde para el volcán Doña Juana.	86
Tabla 26.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante septiembre de 2014.	91
Tabla 27.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014. Resaltado en verde se tiene el último mes objeto de evaluación.	92
Tabla 28.	Variación de la temperatura en el Domo Mallama del volcán Azufral.	99
Tabla 29.	Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Azufral.	100

RESUMEN

Durante el mes de septiembre de 2014, la actividad sísmica en el volcán Galeras presentó un incremento, tanto en la ocurrencia como en la energía sísmica liberada respecto a los valores registrados en agosto 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 tres fuentes, la primera ubicada a 4,5 km al suroriente del volcán, a una profundidad menor de 4 km; otra localizada a 3,5 km al occidente, con una profundidad cercana a los 3 km y una fuente ubicada en inmediaciones del cono activo más superficial, a una profundidad menor a 2 km. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 1,8 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, el inclinómetro Calabozo, Cráter y Cobanegra muestra variaciones que pueden estar asociadas con la actividad de Galeras, sin embargo los demás inclinómetros muestran estabilidad en sus componentes.

Los registros de las variaciones de Campo eléctrico muestran variaciones desde inicios de agosto, probablemente asociados con el registro de una tormenta solar.

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 4, 7, 8, 9, 15 y 28 de septiembre, 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 observa estabilidad en los niveles de ocurrencia.

La energía sísmica liberada fue 27,5 veces mayor en comparación al mes anterior, siendo los eventos tipo VT 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 72 sismos, la mayoría se localizaron en inmediaciones del complejo volcánico Cumbal a menos de 2,5 km de distancia y profundidades menores a 3 km. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 2,6 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, aumentó en un 30,9% respecto a la registrada en agosto. Se resalta que a partir del 29 de septiembre se presentó un incremento considerable registrándose 577 sismos este día y 1074 eventos el día 30, todos ellos asociados con fractura de material cortical. De esta sismicidad fue posible localizar 221 eventos, ubicados en su mayoría a menos de 4 km de distancia al suroccidente del volcán Chiles, con profundidades de hasta 6 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 2 en la escala de Richter.

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

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

En el volcán Las Ánimas se tuvo registro de 13 sismos asociados a la actividad propia del volcán, de los cuales se lograron localizar 8 eventos ubicados de manera dispersa sobre el edificio volcánico a menos de 5 km de distancia y profundidades menores a los 16 km respecto a la cima, con magnitudes por debajo de 1,9 en la escala de Richter.

En los volcanes Doña Juana y Azufral se tuvo registro de 4 y 16 eventos tipo VT respectivamente, los cuales fueron de bajo nivel energético.

Condiciones de clima favorables durante la mitad del mes de septiembre 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 septiembre 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 – SEPTIEMBRE DE 2014

1.1. RED DE VIGILANCIA

En septiembre 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_2) 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 rio Mijitayo (Figura 4).

- Una estación meteorológica, conformada con sensores para medición de velocidad y dirección del viento, pluviometría, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente. Esta estación se encuentra emplazada en el sitio de la estación sísmica Cráter-2 (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). Las estaciones Lavas 1 y Parques de la línea Galeras, desde septiembre 24 y 25 respectivamente,

cuenta con equipo de transmisión digital por lo que su registro a partir de estas fechas es continuo.

- Con el fin de monitorear los cambios en la superficie del edificio volcánico de Galeras se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 5 bases y 8 prismas reflectores (Figura 6).

Durante septiembre de 2014, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 96,2 %, garantizando la obtención de información confiable para la evaluación de la actividad volcánica. La Figura 7, muestra el histograma con el porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo volcánico. Las estaciones para monitoreo de SO_2 Alto Jiménez y Santa Bárbara presentan porcentajes bajos de funcionamiento debido a problemas de comunicación con la repetidora Alto de la Palma, los cuales fueron resueltos con labores de mantenimiento correctivo en campo el día 18 de Septiembre de 2014, fecha desde la cual las estaciones funcionan correctamente. Por su parte, la cámara web de Consacá se encuentra con bajos porcentajes de funcionamiento debido a inconvenientes con el equipo, es necesario desinstalarlo para realizar una revisión en sede.

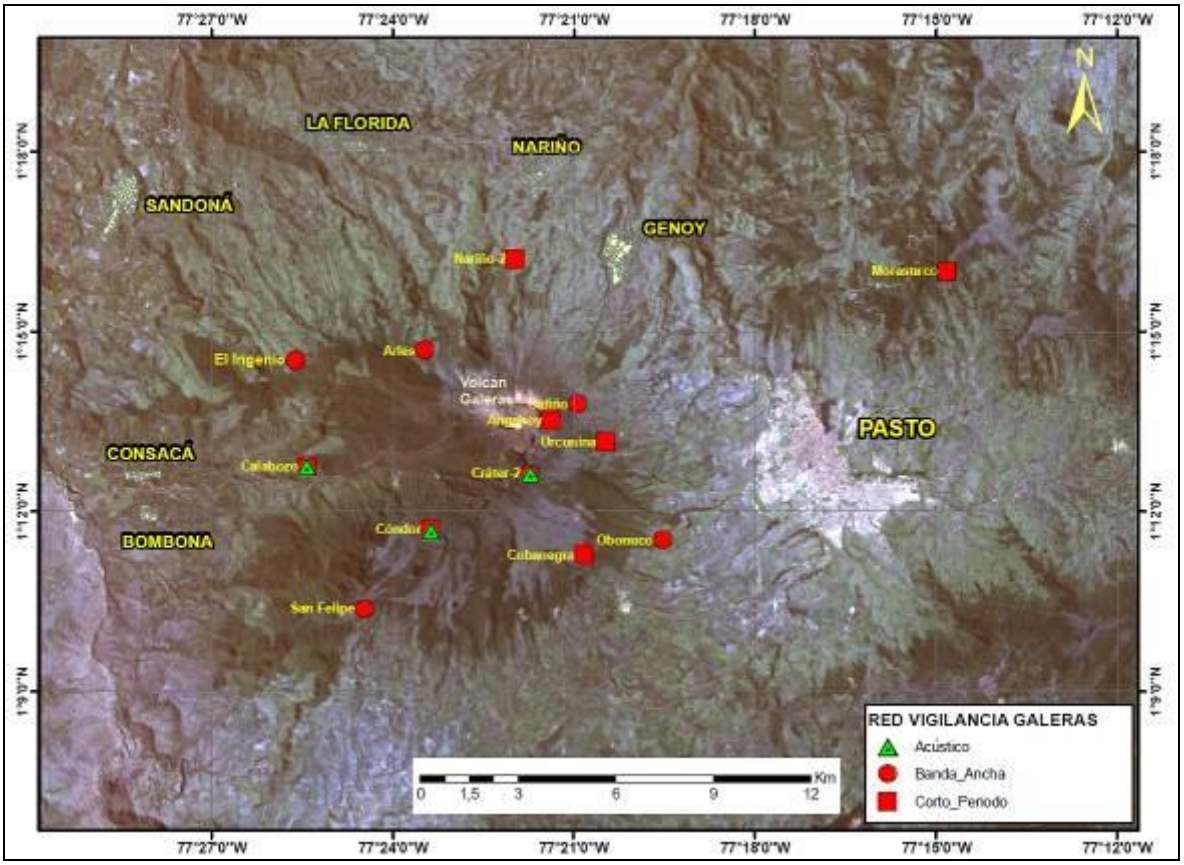

Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante septiembre de 2014.

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

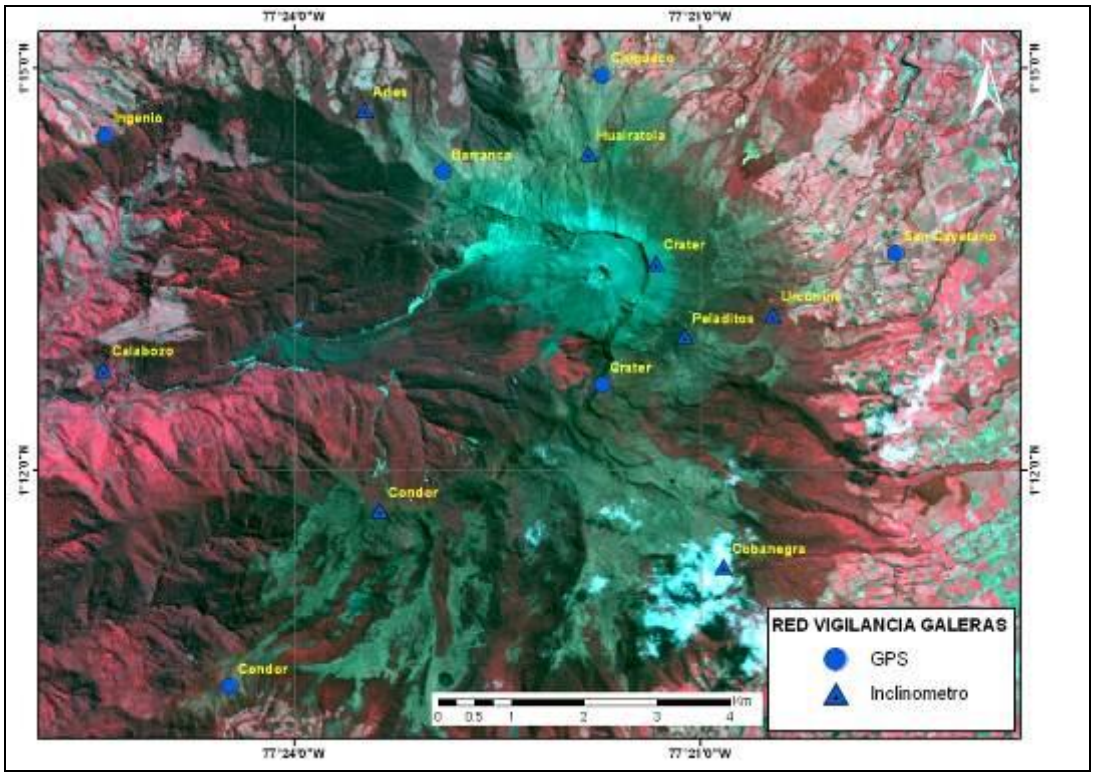

Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de septiembre de 2014.

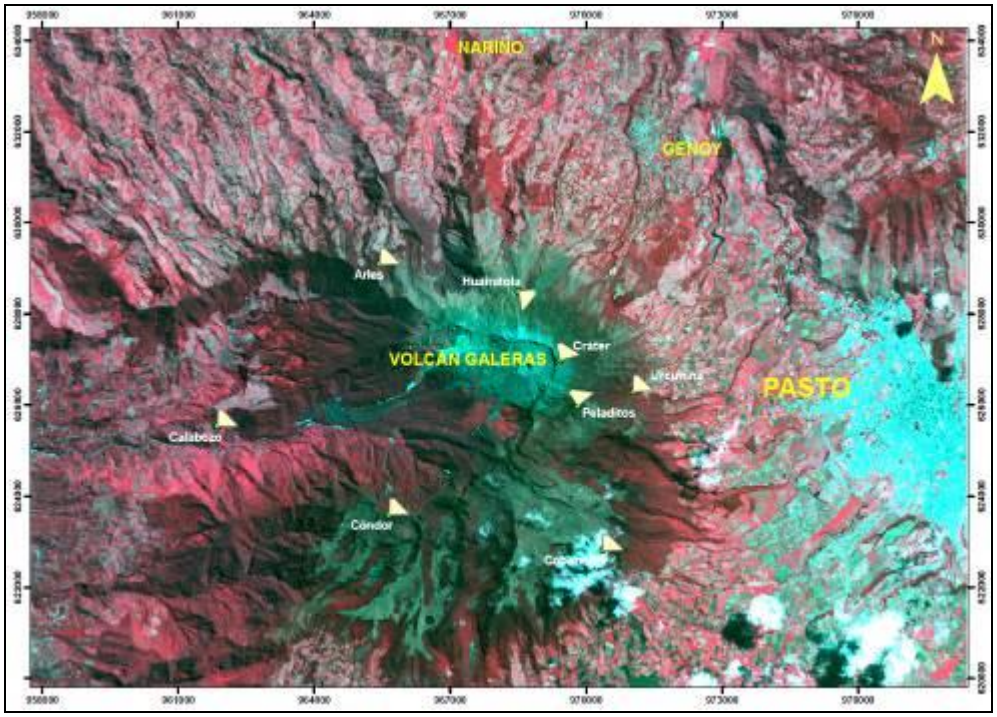

Figura 3. Localización y orientación de las estaciones de inclinometría electrónica instaladas en Galeras. Los catetos de los triángulos muestran las direcciones de las componentes de cada sensor.

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

Inclinómetros Electrónicos	Distancia al Cráter (Km)	Ubición 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 septiembre 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

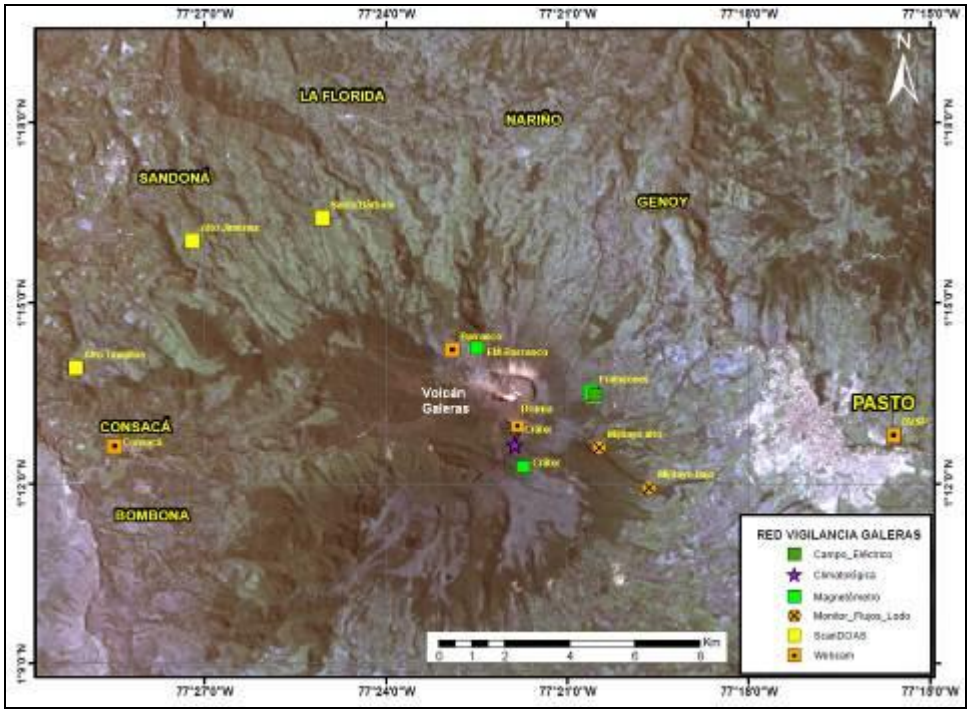

Figura 4. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, detectores de flujos de lodos, ScanDOAS, climática y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante septiembre de 2014.

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

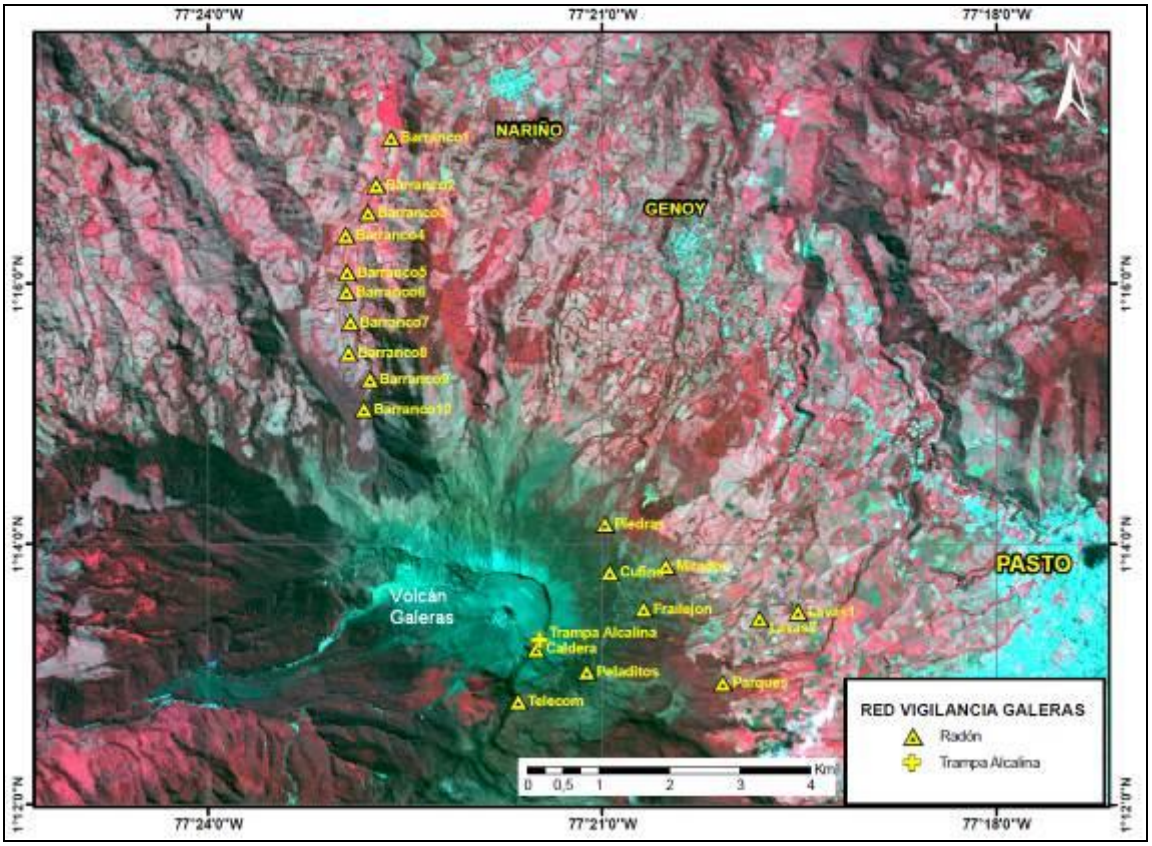

Figura 5. Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.

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

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Ubición 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)	Ubición 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

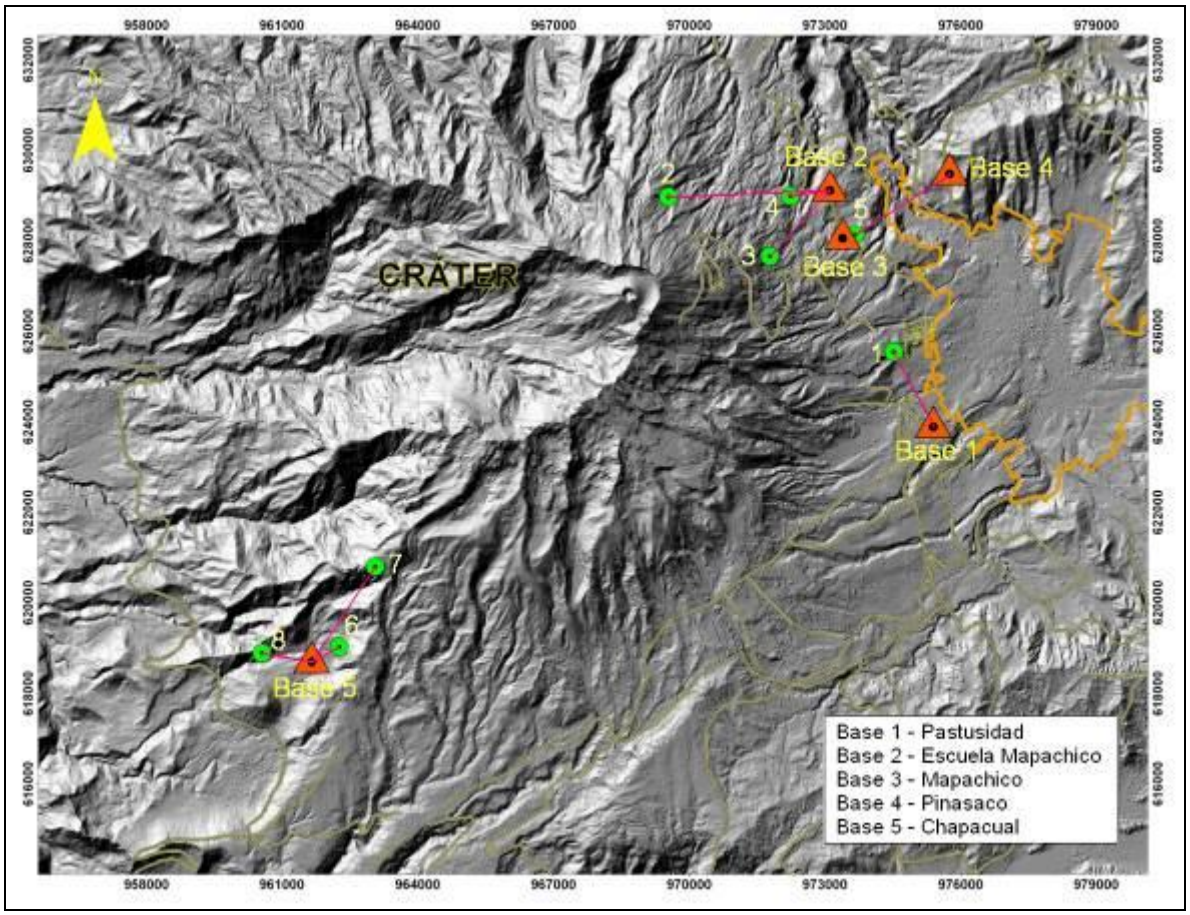

Figura 6. Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Galeras. Los triángulos de color naranja indican la ubicación de las Bases de medición 1, 2, 3, 4 y 5, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.

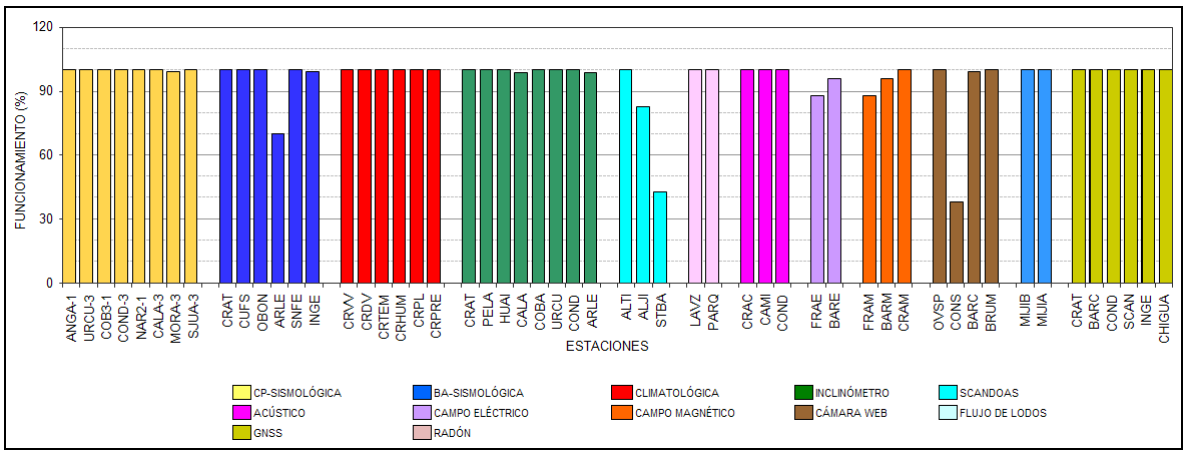

Figura 7. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en septiembre de 2014.

1.2. SISMOLOGIA

En el mes de septiembre, la actividad sísmica de Galeras presentó un incremento del 85,3% (pasando de 68 a 126 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 42,1% 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 37,3%. Los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE) y los asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (eventos tipo LP) aportaron con el 12,7 y 7,9% respectivamente. La Figura 8 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 aumentaron en un 11%, los sismos TRE en un 33,3%, los HYB aumentaron en un 60,6% y los sismos tipo VT aumentaron en un poco más del triple de eventos pasando de 14 a 47 eventos. De igual manera, en la evaluación de la actividad se observó que la ocurrencia de sismos de muy bajo nivel energético fue mayor en un 35,6% respecto al número registrado en agosto de 2014 (Tabla 8, Figuras 9 y 10).

En este mes se registraron 16 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 50 minutos.

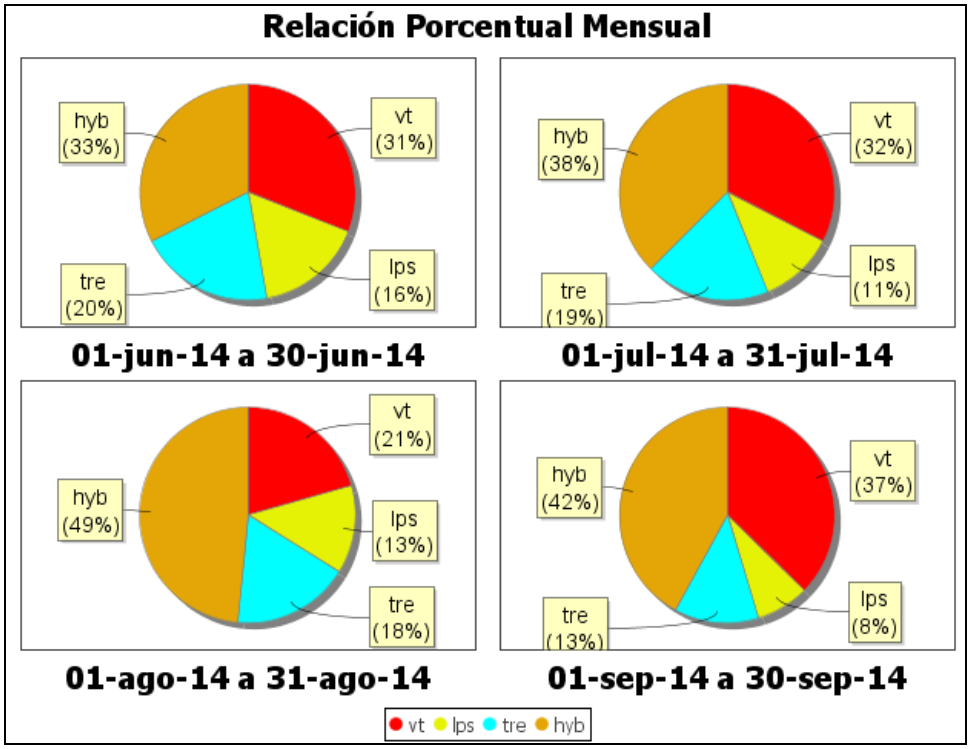

Figura 8. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de junio y septiembre de 2014.

Tabla 8. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo						Duración TREMOR (min)
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL	NO CLASIFICABLES	
01-jun-14 a 30-jun-14	38	20	25	40	123	1783	270
01-jul-14 a 31-jul-14	26	9	15	30	80	787	159
01-ago-14 a 31-ago-14	14	9	12	33	68	1205	33
01-sep-14 a 30-sep-14	47	10	16	53	126	1634	50

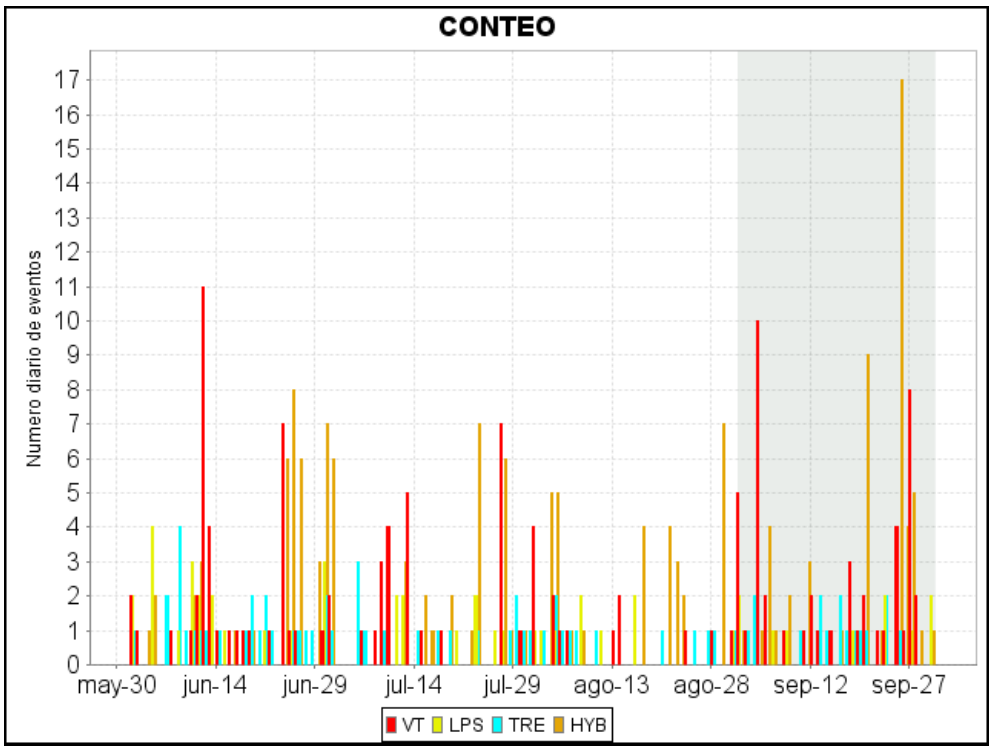

Figura 9. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014. La región sombreada corresponde al mes de septiembre.

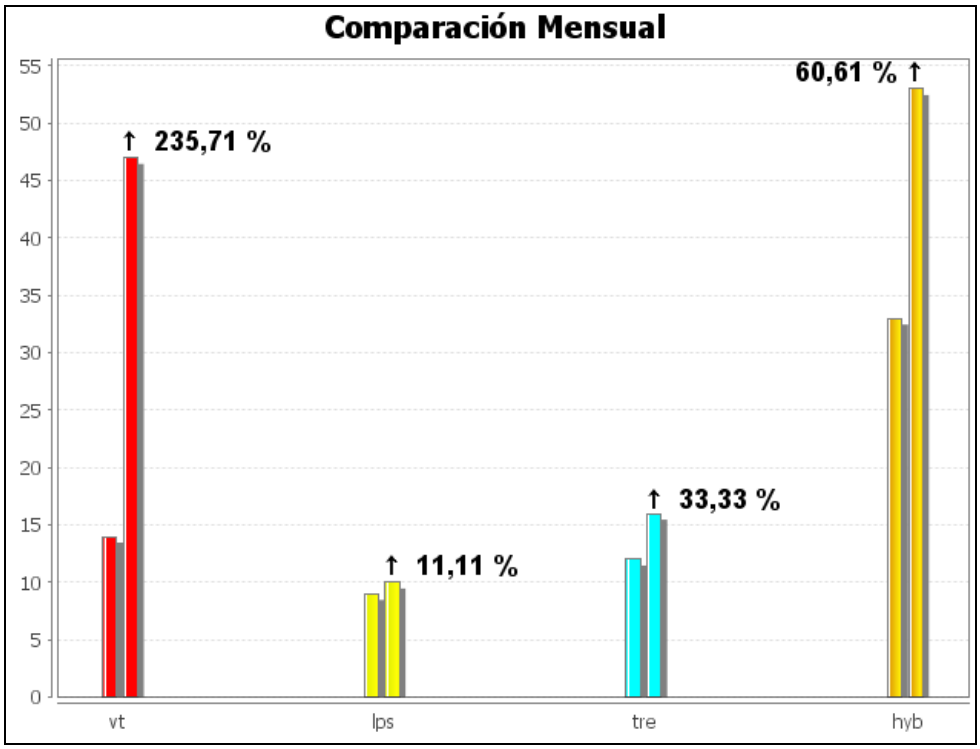

Figura 10. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada fue 3,9 veces mayor en comparación a lo registrado en agosto de 2014, pasando de $2,97x10^{11}$ ergios a $1,15x10^{12}$ ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos VT con un 69,7%, seguidos por los eventos tipo LP con un 14,3%, mientras que los eventos tipo HYB y TRE aportaron con el 10,5% y 5,5% (Tabla 9, Figuras 11, 12 y 13).

Tabla 9. Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014 resaltando en color verde el mes evaluado.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
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
01-ago-14 a 31-ago-14	8.71E+10	4.07E+10	4.16E+10	1.27E+11	2.97E+11
01-sep-14 a 30-sep-14	8.05E+11	1.65E+11	6.33E+10	1.21E+11	1.15E+12

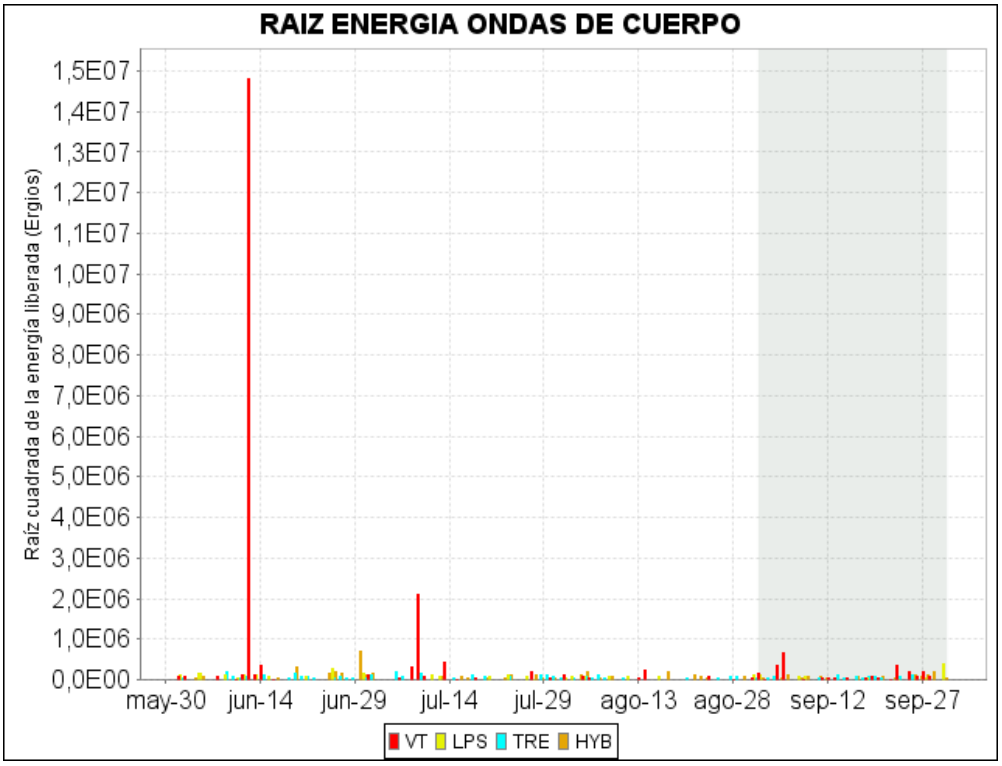

Figura 11. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.

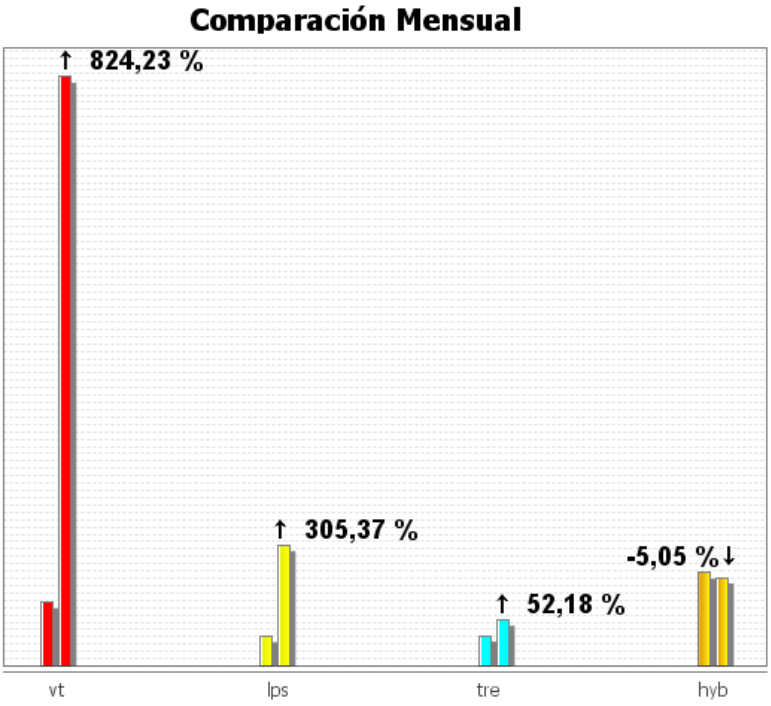

Figura 12. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para septiembre de 2014 (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

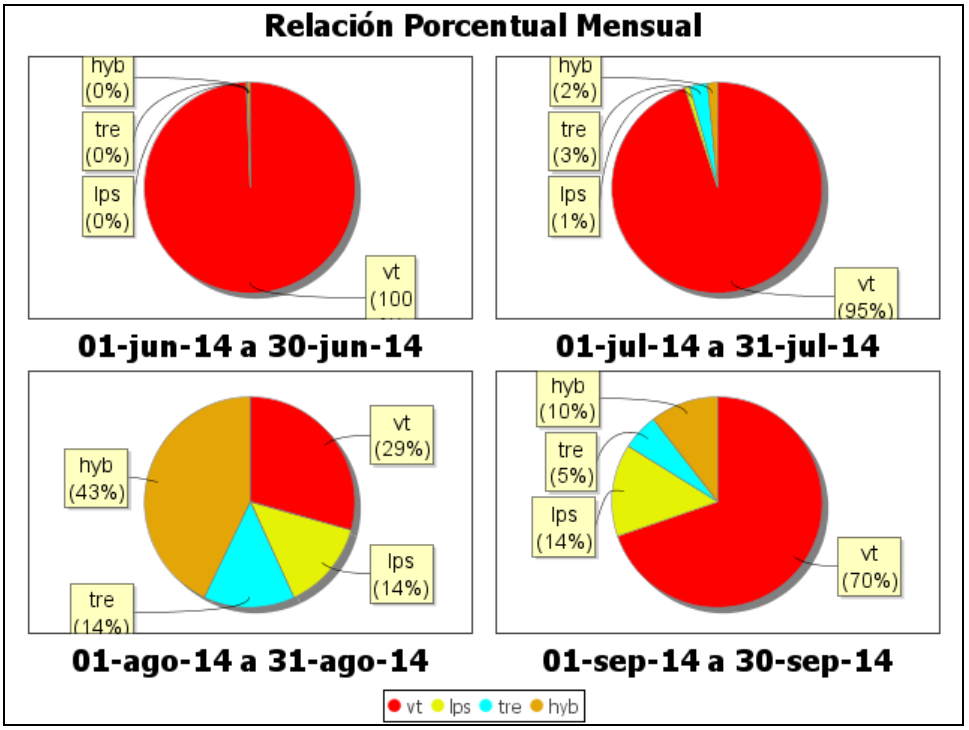

Figura 13. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde junio a septiembre de 2014.

De la actividad en el mes, se resalta la ocurrencia de enjambres sísmico, registrados el 4, 18, 19, 25, 26 y 27 de septiembre de 2014, contabilizando 49, 103, 92, 34 y 283 eventos respectivamente, en su mayoría de fuente transitoria entre eventos tipo HYB, VT y LPS clasificables y no clasificables. En la Figura 14 se observa el enjambre sísmico de bajo nivel energético (recuadro rojo) ocurrido entre las 5:15 p.m. del 26 de septiembre y las 7:30 a.m. del 27 de septiembre de 2014.

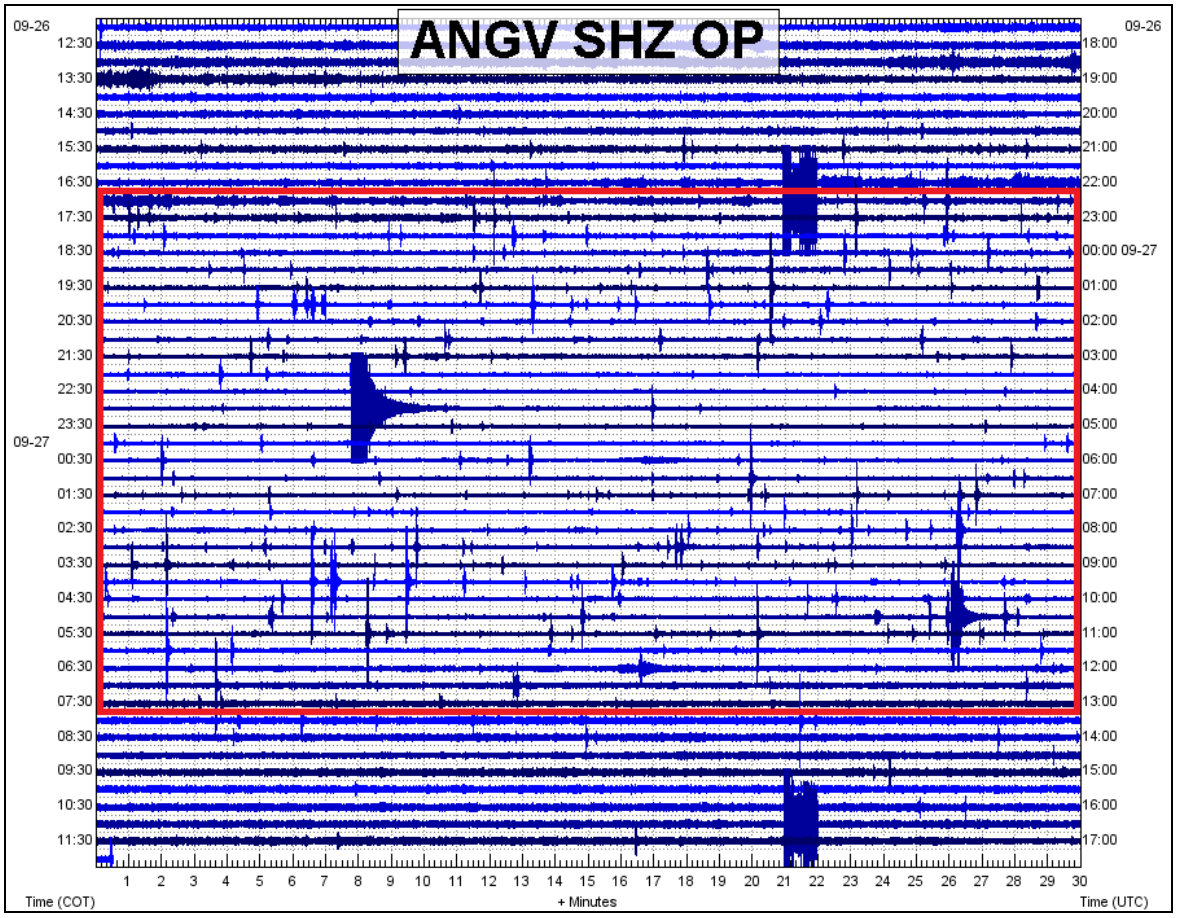

Figura 14. Sismograma en la estación sísmica Anganoy del enjambre de eventos sísmicos registrado entre el 26 y 27 de septiembre de 2014.

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 55 sismos, 51 de ellos tipo VT y 4 HYB, notándose tres fuentes, la primera ubicada a 4,5 km al suroriente del volcán, a una profundidad menor de 4 km; otra localizada a 3,5 km al occidente, con una profundidad cercana a los 3 km y una fuente ubicada en inmediaciones del cono activo más superficial, a una profundidad menor a 2 km. Algunos de los eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a distancias menores a los 20 km y profundidades menores a los 12 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 1,8 en la escala de Richter (Figura 15).

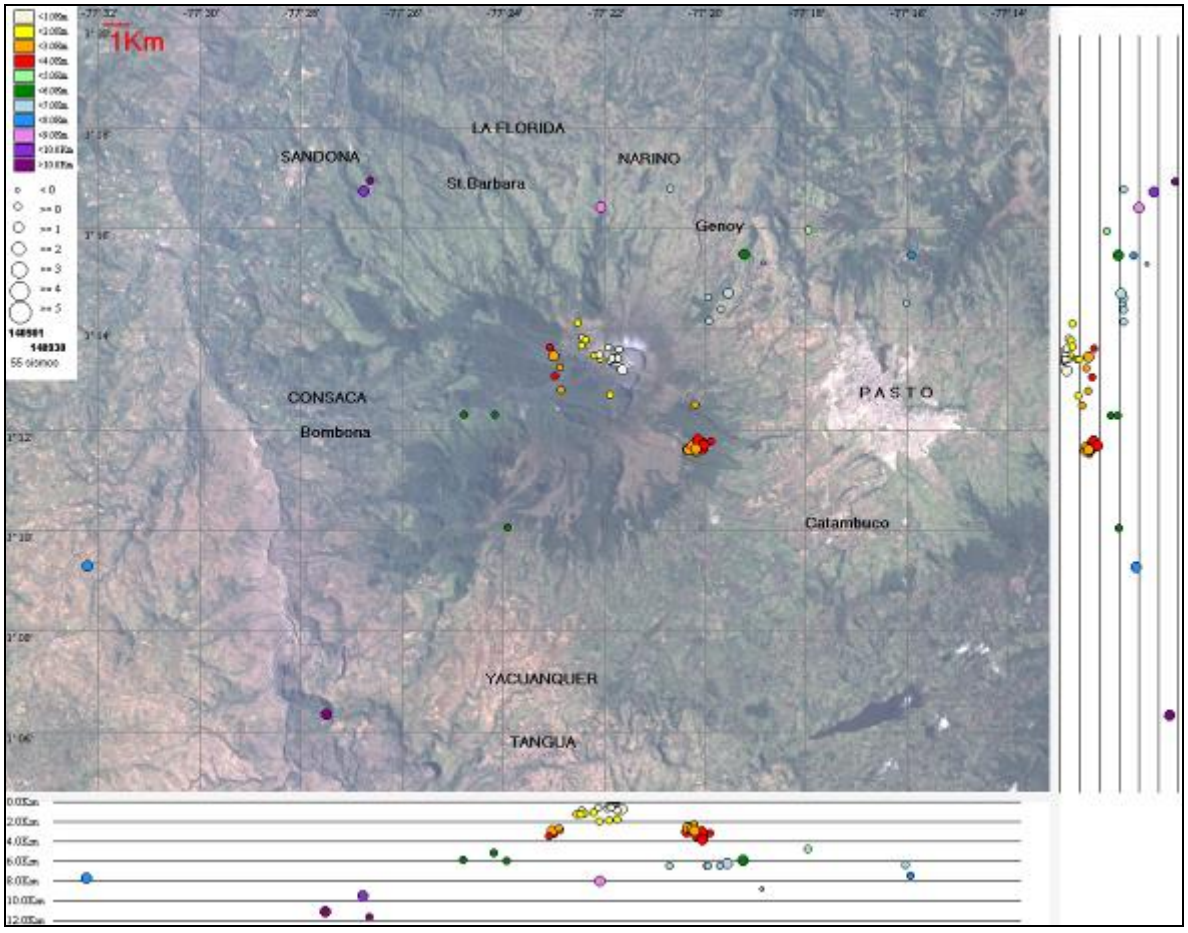

Figura 15. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 30 de septiembre de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).

1.3. DEFORMACIÓN

1.3.1. Estaciones de Inclinometría 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 septiembre 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 17 de septiembre de 2014 una variación de 110 µrad, a partir de esta fecha y hasta el día 30 de septiembre el comportamiento fue ascendente, acumulando una variación de 30 µrad, por su parte la componente Este acumuló durante el último periodo una variación de 12 µrad (Figura 16).

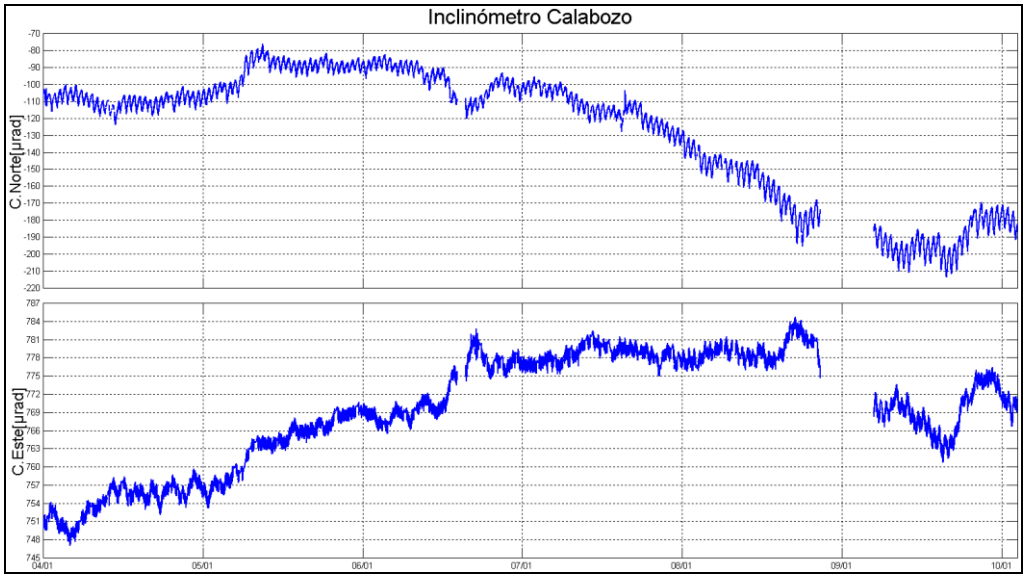

Figura 16. Inclinación del terreno medida en microradianes (µrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

Las componentes Tangencial y Radial del inclinómetro Cráter (ubicado a 0,8 km al este del cráter principal, 4060 msnm), registra desde el pasado 17 de julio de 2014 un comportamiento ascendente, acumulando hasta el 30 de septiembre de 2014 variaciones de 16 µrad y 20 µrad respectivamente (Figura 17).

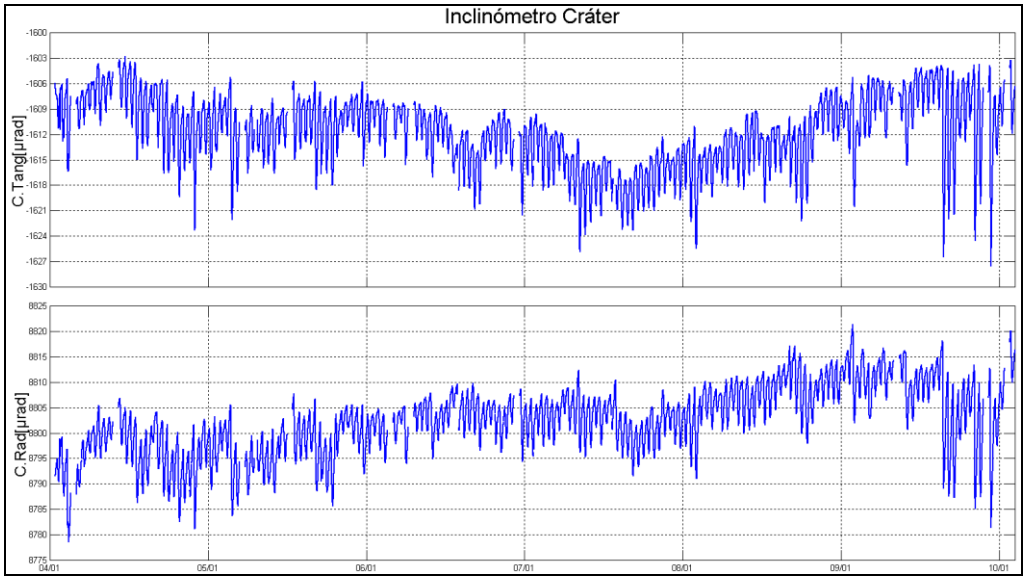

Figura 17. Inclinación del terreno medida en microradianes (µrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

Las componentes Norte y Este del inclinómetro Cobanegra (situado a 3,9 km al sur-sureste del cráter principal, a 3610 msnm), registra desde el 17 de junio de 2014 un comportamiento ascendente,

acumulando hasta el 30 de septiembre de 2014 variaciones de 35 µrad y 10 µrad respectivamente (Figura 18).

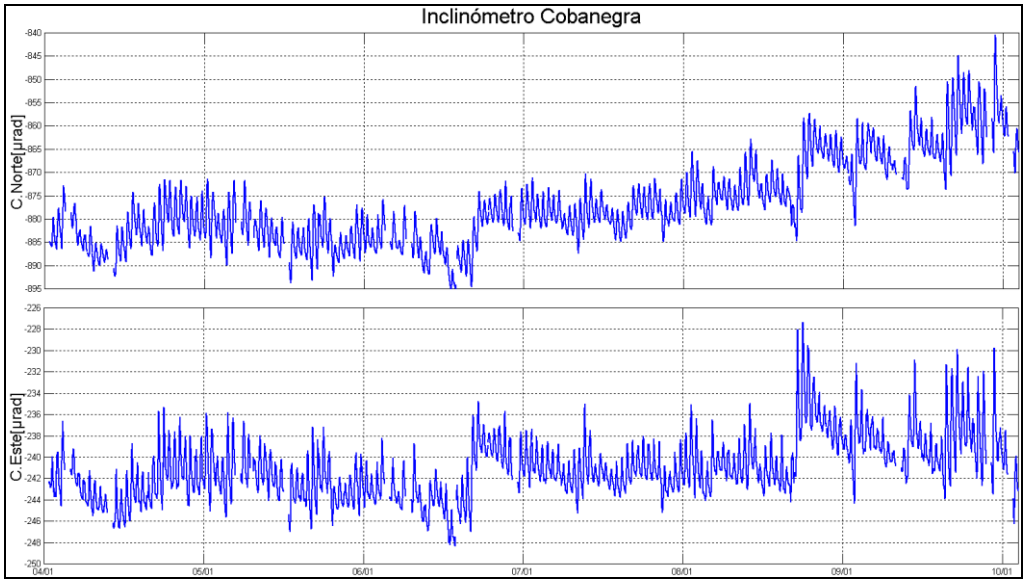

Figura 18. Inclinación del terreno medida en microradianes (µrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

El inclinómetro Cóndor (4,9 Km al suroeste del cráter principal, 3985 msnm), muestra en su componente Norte un comportamiento ascendente, acumulando entre el 17 de junio y el 30 de septiembre de 2014 una variación cercana a los 215 µrad. Por su parte, la componente Este presenta estabilidad en su comportamiento, con variaciones menores a 2 µrad (Figura 19).

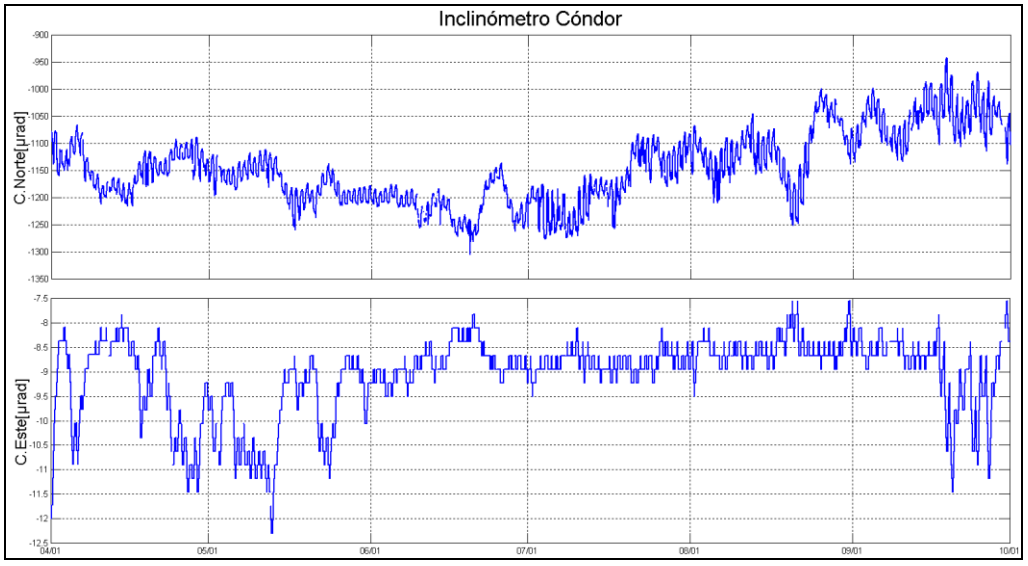

Figura 19. Inclinación del terreno medida en microradianes (µrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Cóndor para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

Los Inclinómetros Peladitos (1,4 km al sureste del cráter principal, 3850 msnm), Huairatola (1,7 km al norte del cráter principal, 3745 msnm), Urcunina (2,26 Km al este-sureste del cráter principal, 3494 msnm) y Arlés (4,0 km al noroeste del cráter principal, 3450 msnm) muestran comportamientos relativamente estable (Figuras 20 a 22).

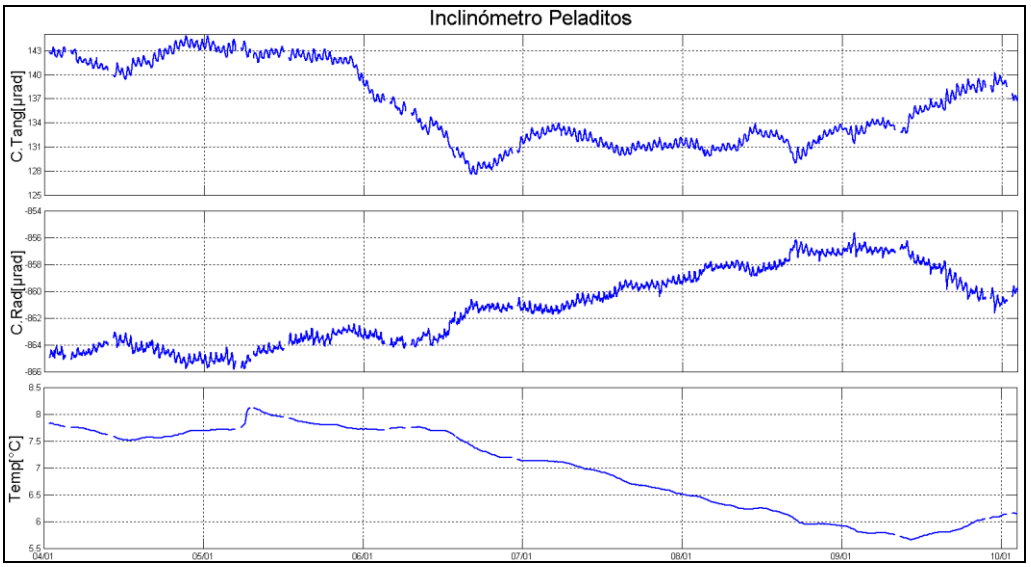

Figura 20. Inclinación del terreno medida en microradianes (µrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014. En la figura también se observa el canal correspondiente a la temperatura, notándose que los cambios observados en las componentes Tangencial y Radial podrían estar relacionados con cambios en la temperatura.

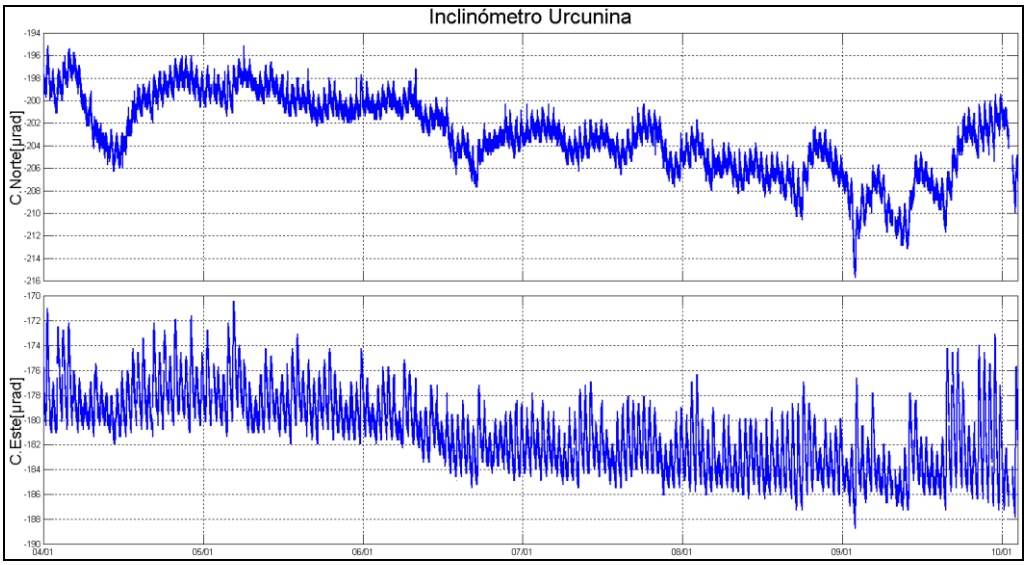

Figura 21. Inclinación del terreno medida en microradianes (µrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

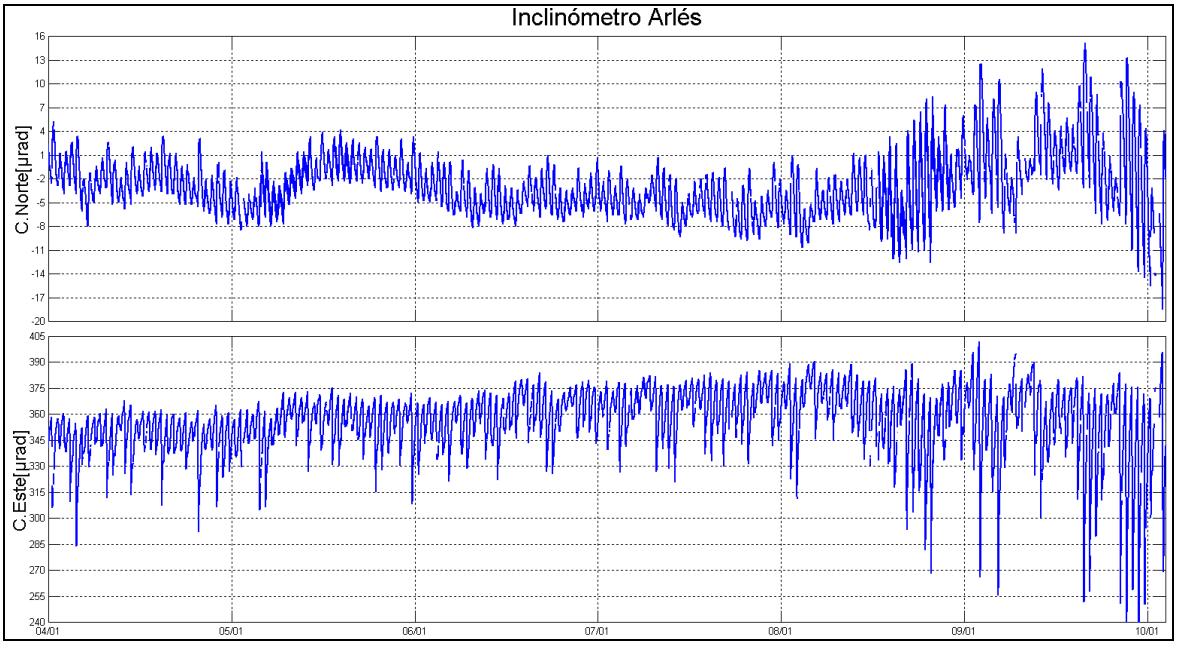

Figura 22. Inclinación del terreno medida en microradianes (µrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

1.3.2. Estaciones GNSS permanentes

En septiembre de 2014 se contó con 6 estaciones receptoras GNSS permanentes, Cráter, Barranco, Cóndor y San Cayetano, Chiguaco e Ingenio, las dos últimas 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, 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.

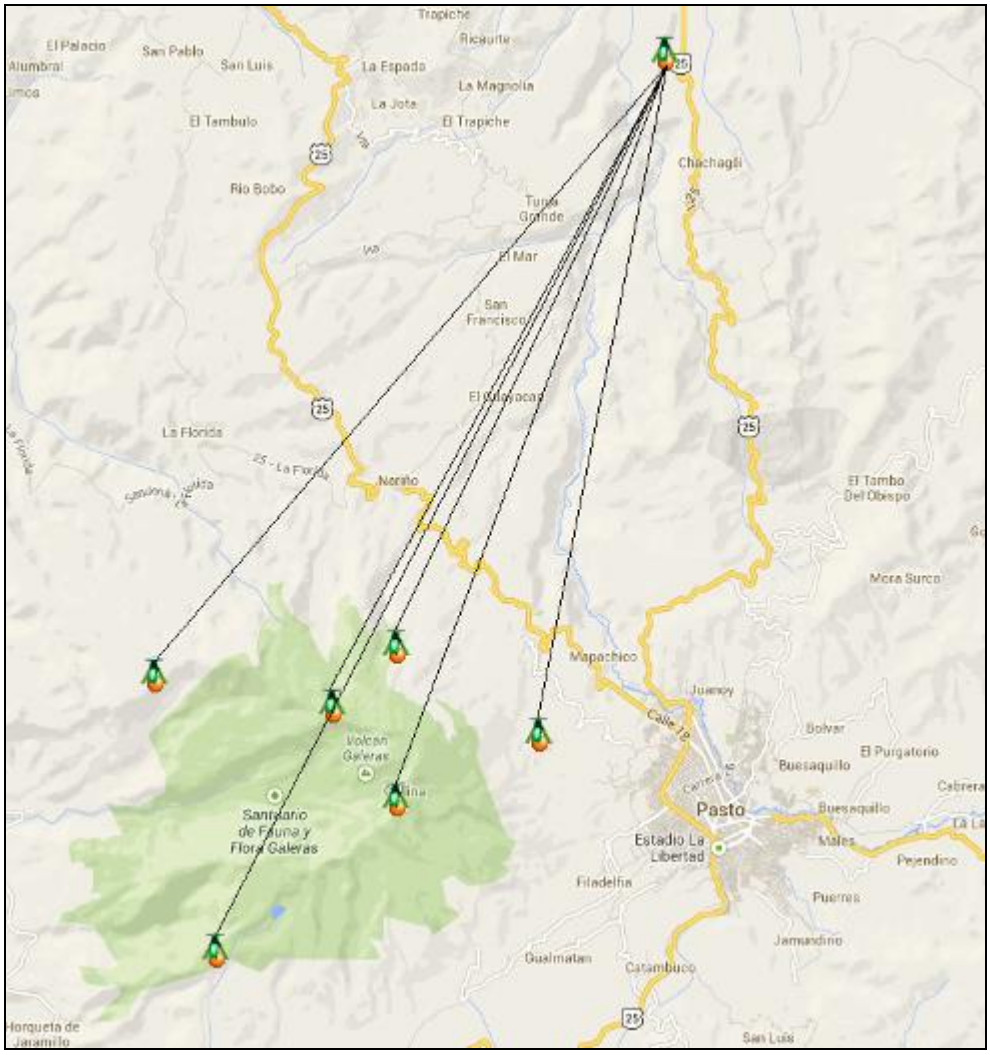

Figura 23. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.

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 que continúa con el comportamiento ascendente registrado desde el 14 de julio en las componentes Norte, Este y Altura 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).

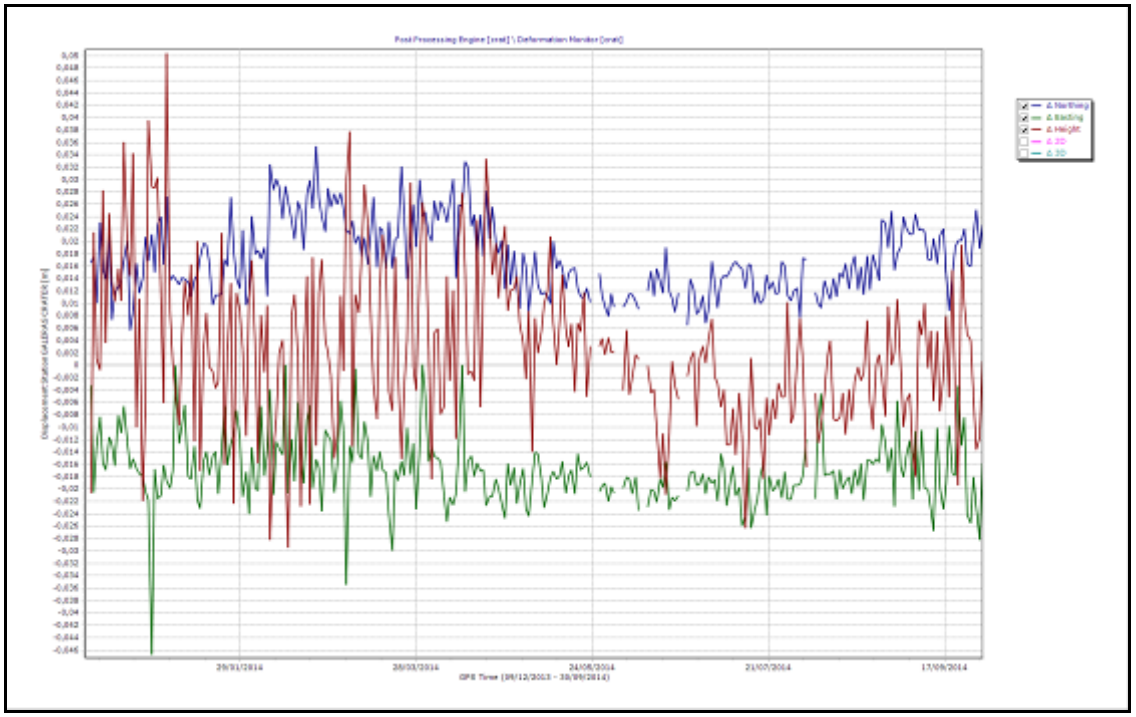

Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 30 de septiembre de 2014.

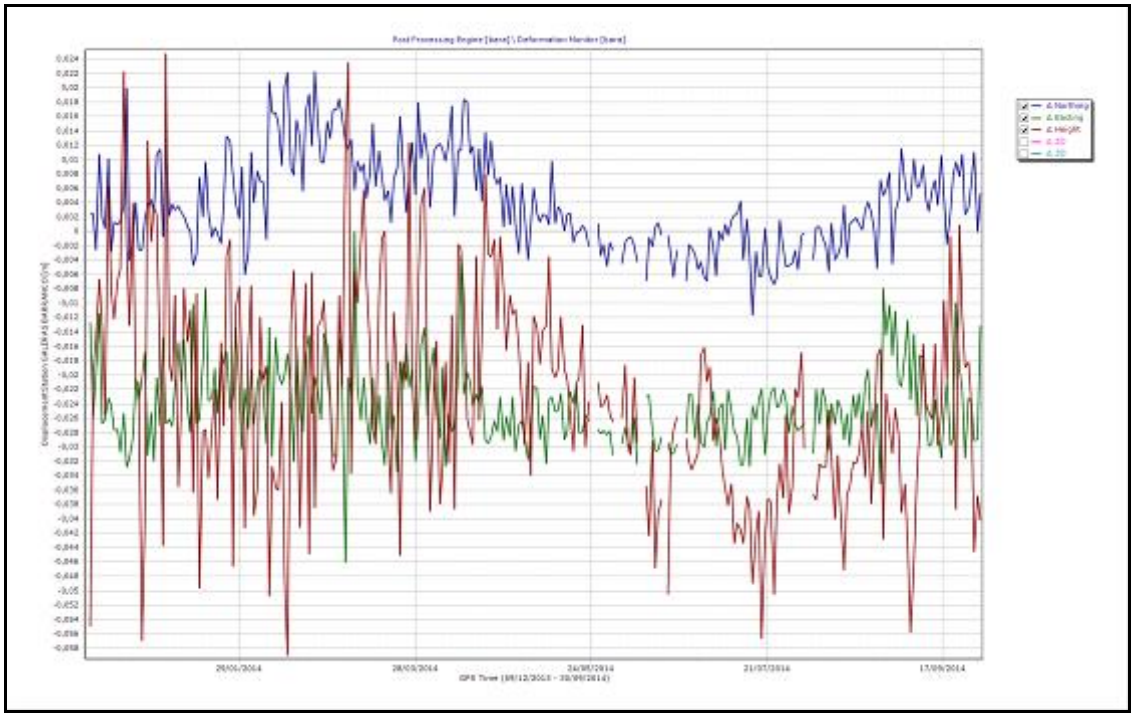

Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 30 de septiembre de 2014.

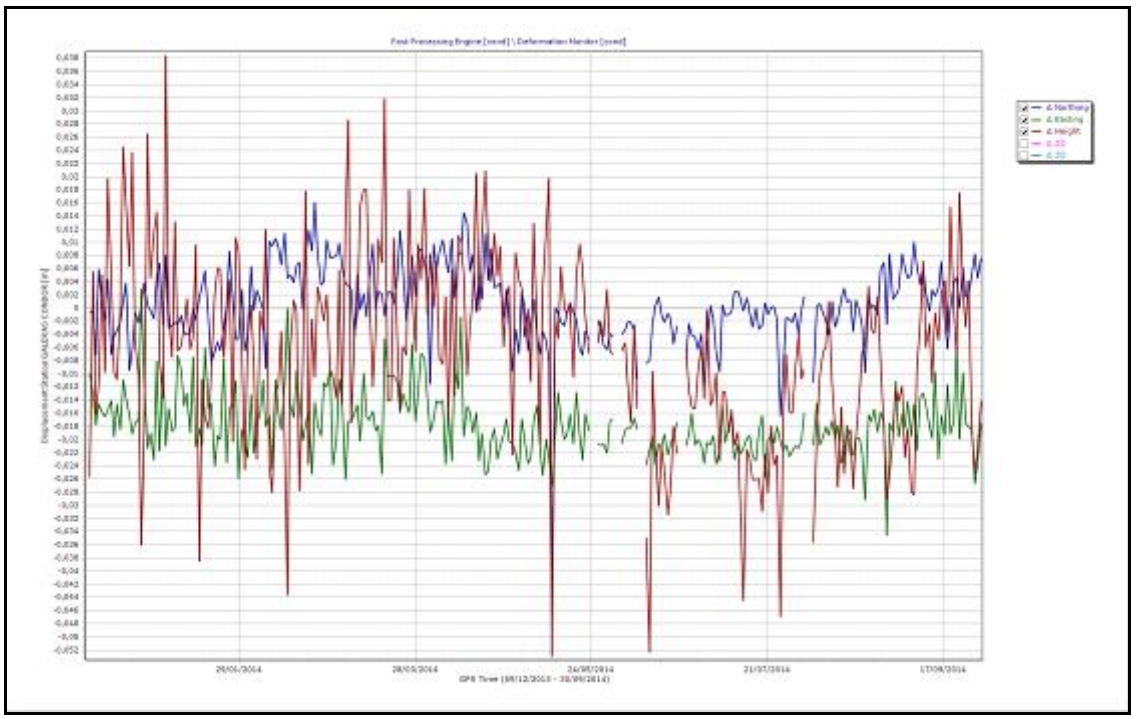

Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 30 de septiembre de 2014.

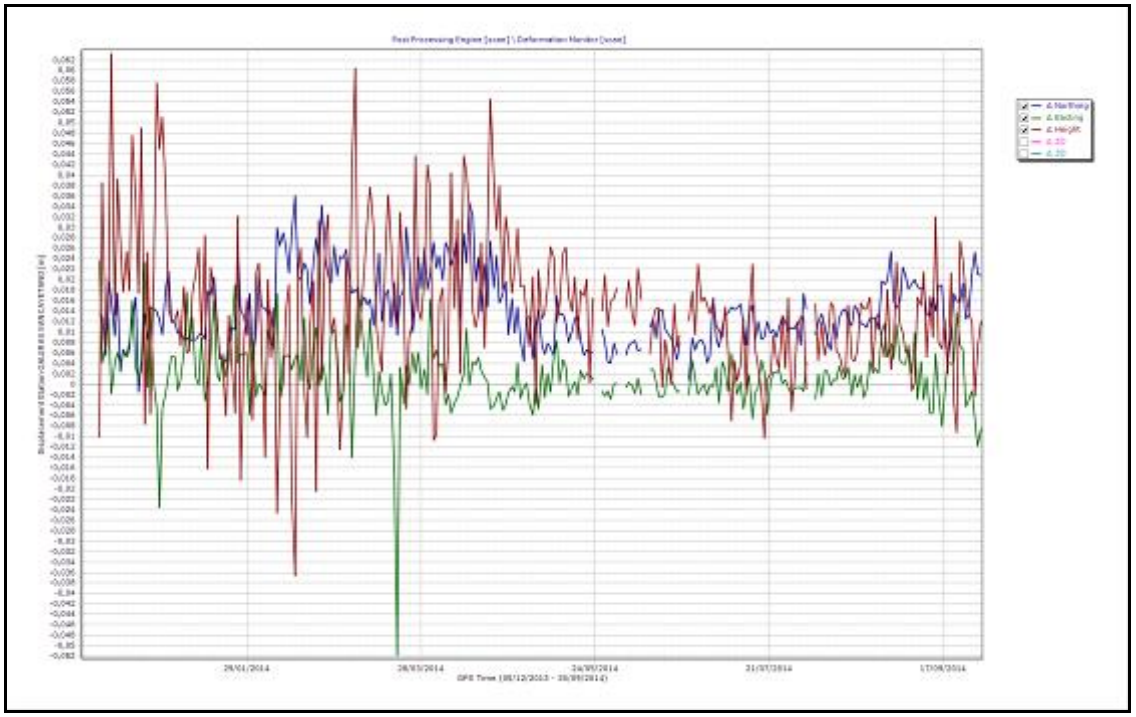

Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y el 30 de septiembre de 2014.

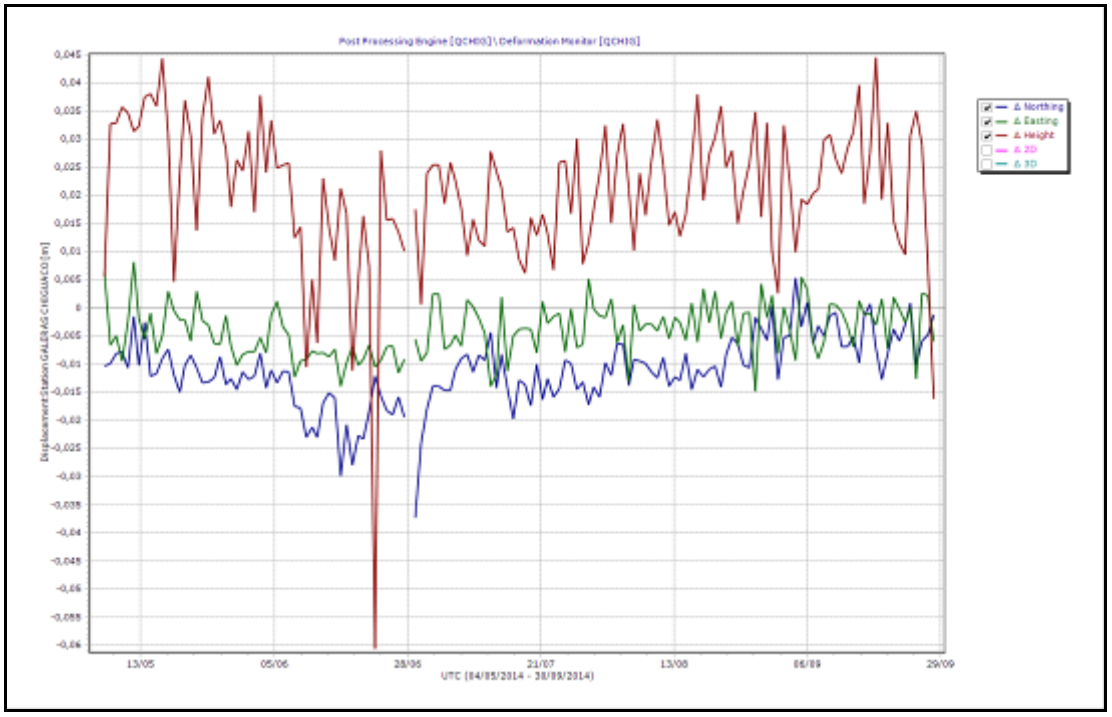

Figura 28. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de mayo y el 30 de septiembre de 2014.

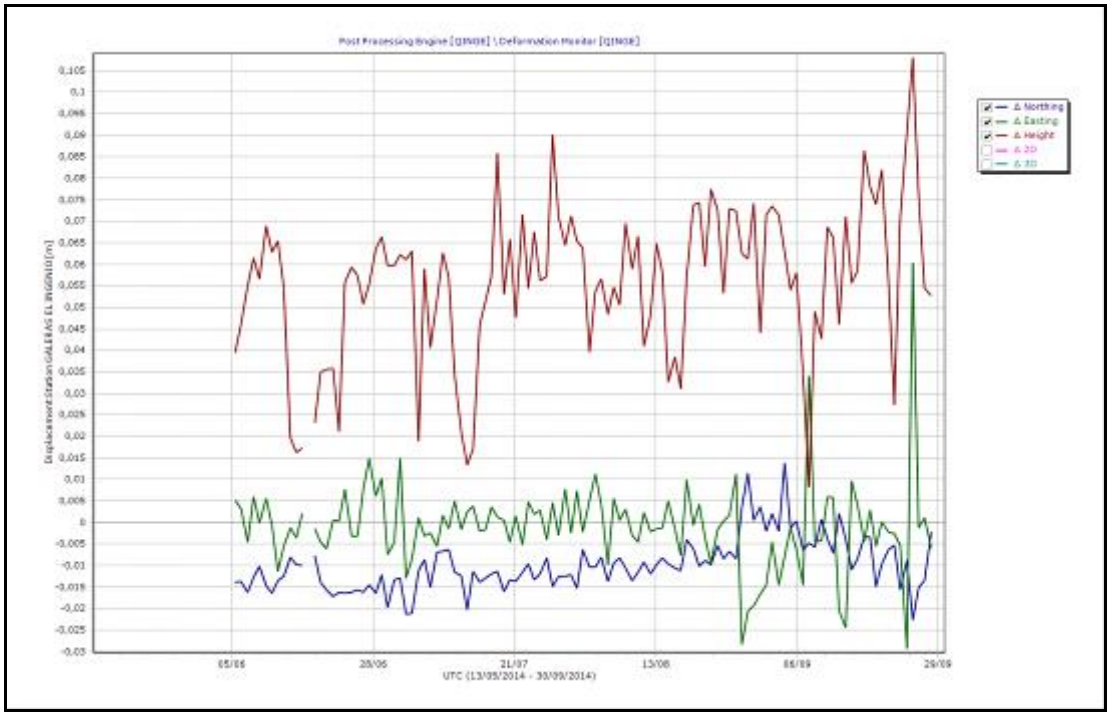

Figura 29. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el mes de junio y el 30 de septiembre de 2014.

1.3.3. Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras

Permite determinar las variaciones horizontales que ocurran en la superficie del edificio volcánico, por medio de la lectura directa y electrónica de distancias inclinadas a partir de puntos alejados del volcán denominado bases EDM, hacia prismas o reflectores EDM instalados en los flancos del volcán (Figura 30). Esta metodología pretende determinar una distancia (distancia geométrica), basándose en la medición indirecta del tiempo transcurrido entre la emisión de un rayo luminoso incidente y su recepción en dirección paralela en el mismo punto de partida tras sufrir reflexiones en un prisma reflector situado en la distancia a medir.

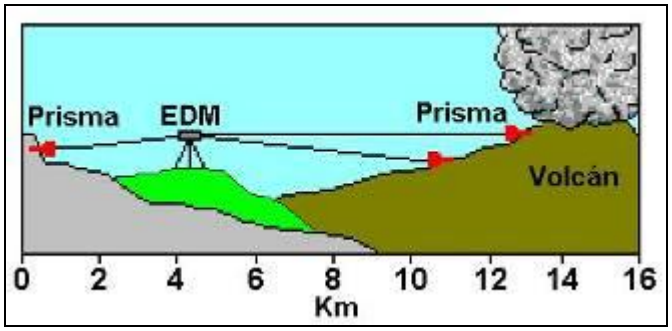

Figura 30. Medidas EDM sobre una superficie volcánica.

En la Figura 31 se observa el comportamiento de las mediciones realizadas desde las bases hacia los prismas sobre la superficie de Galeras. Debido a condiciones de vegetación en este momento se ocupan 3 bases y 7 prismas. Las variaciones registradas en los prismas muestran tendencias ascendentes con un máximo de 27 mm para el 24 de septiembre de 2014.

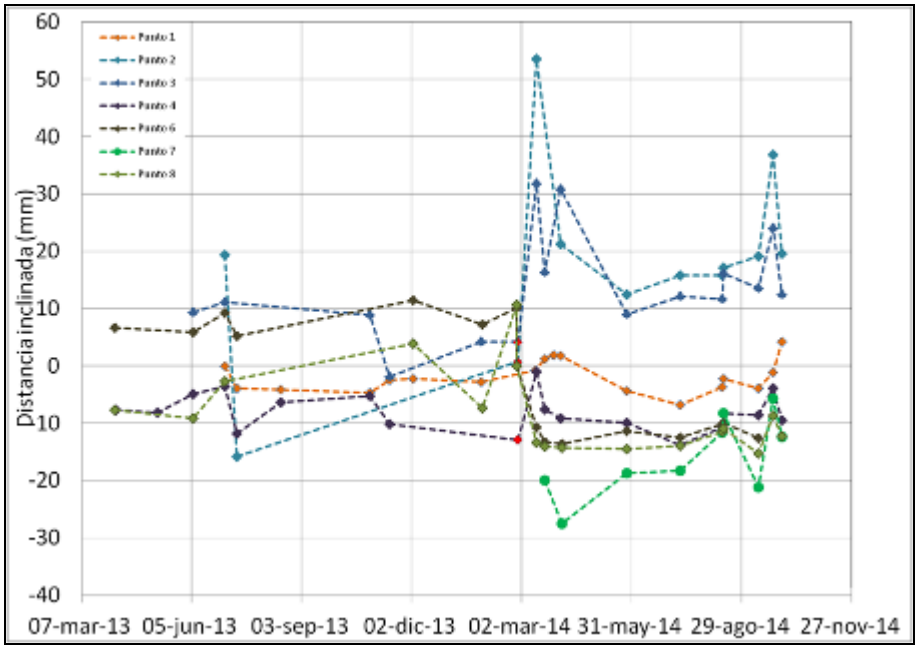

Figura 31. Comportamiento de las mediciones electrónicas de distancia EDM sobre la superficie de Galeras entre marzo de 2013 y septiembre de 2014.

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 espontáneo (Figura 32).

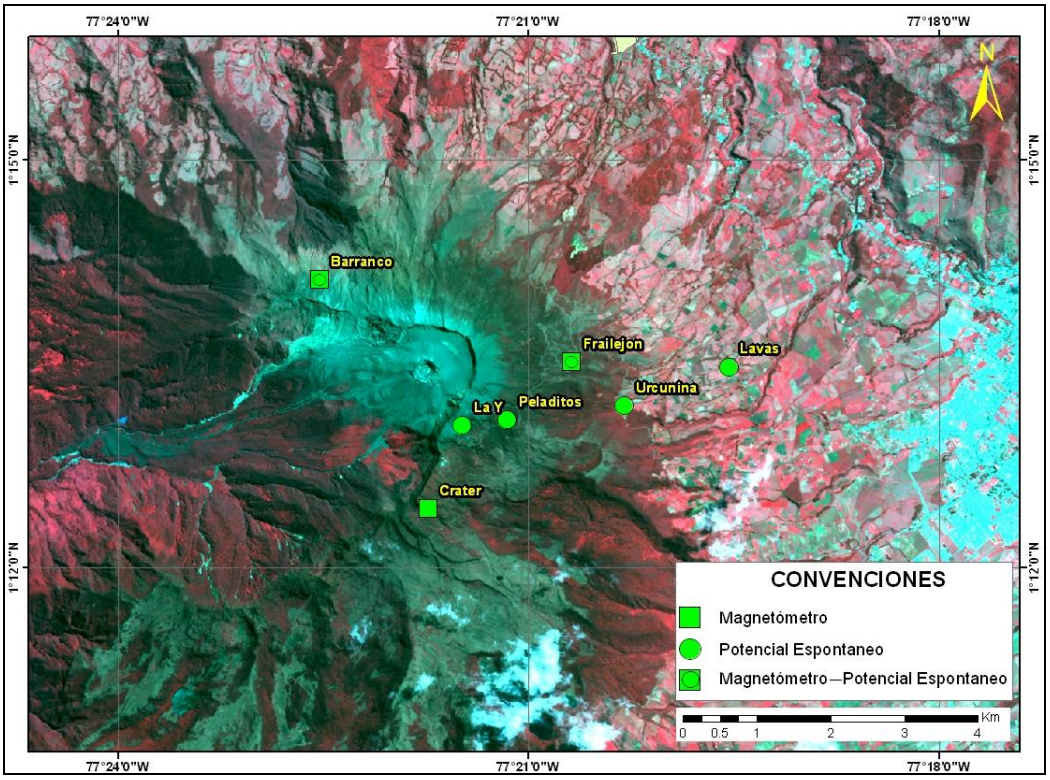

Figura 32. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, y de los puntos de potencial espontáneo que conforman la red de vigilancia del volcán Galeras en septiembre de 2014.

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 - 30 mV, para el mes de septiembre de 2014, lo que indica estabilidad en este parámetro para el periodo evaluado (Figuras 33 y 34).

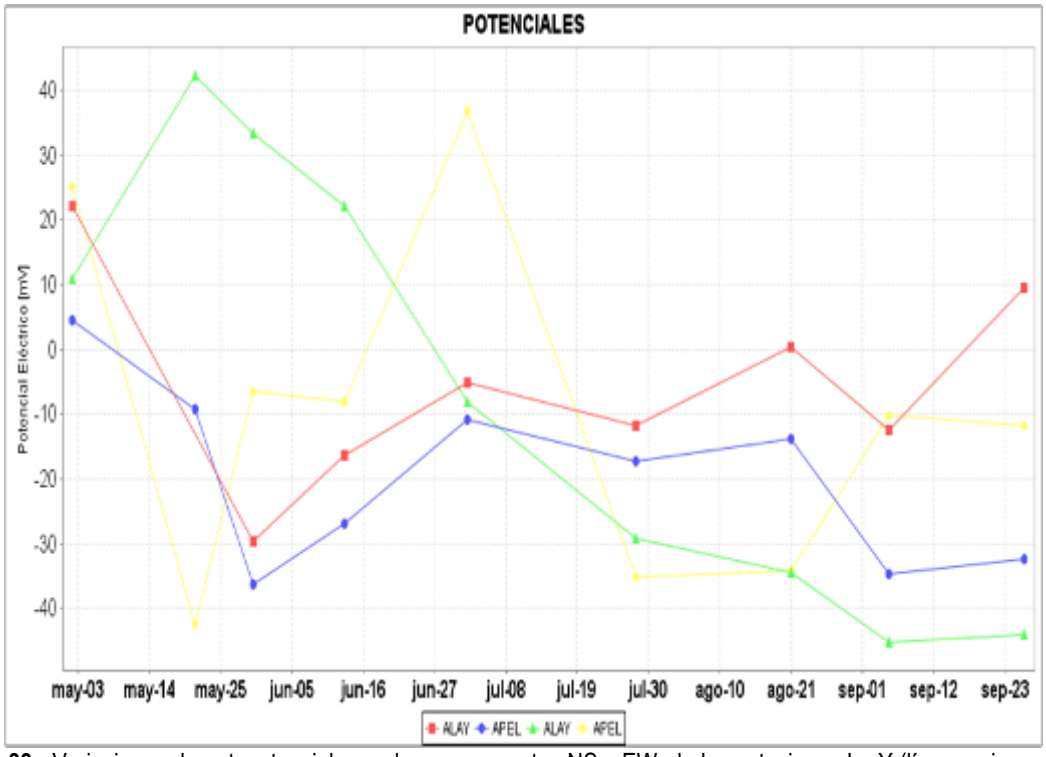

Figura 33. Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones La Y (líneas roja y verde) y Peladitos (líneas azul y amarilla), para el periodo entre mayo y septiembre de 2014.

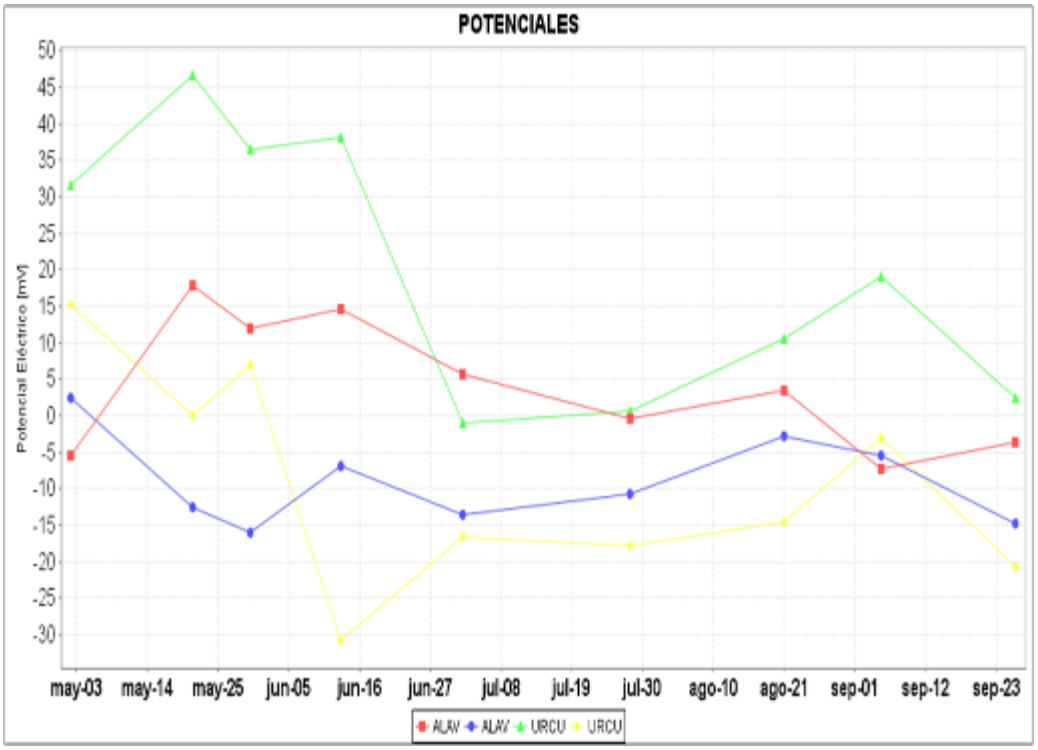

Figura 34. Variaciones de autopotenciales en las componentes NS y EW, de las estaciones Urcunina (líneas roja y verde) y Lavas (líneas azul y amarilla), para el periodo mayo y septiembre de 2014.

Los registros de las variaciones de Campo eléctrico, en la estación de muestreo permanente Frailejón, desde inicios de agosto se observan cambios en sus dos componentes, probablemente asociados con el registro de una tormenta 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. A partir del 17 de septiembre nuevamente se ve un cambio en el registro de las dos componentes, nuevamente asociado con el registro de otra tormenta solar de intensidad considerable (Figura 35).

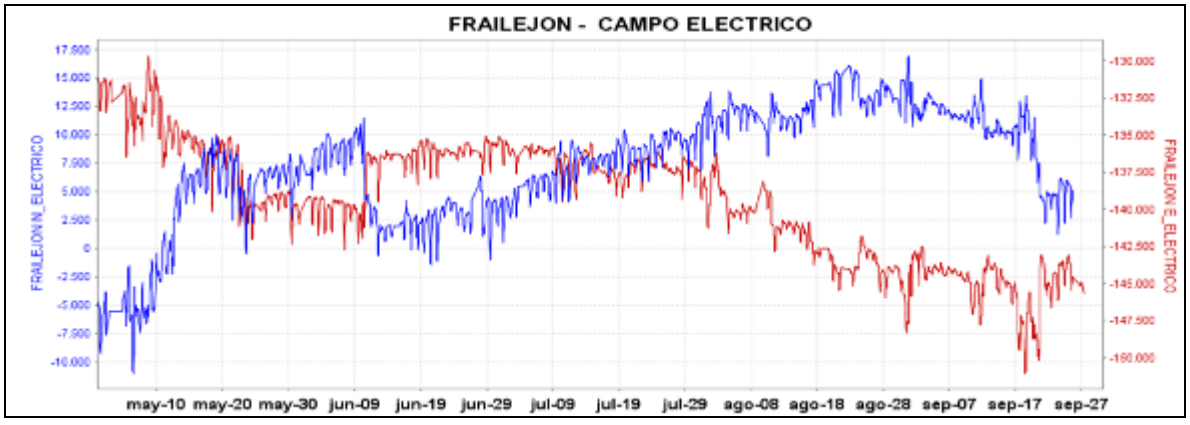

Figura 35. Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, en el periodo entre mayo y septiembre de 2014.

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 ascendente desde inicios de agosto, y a partir del 14 de agosto comienza a estabilizarse (Figura 36).

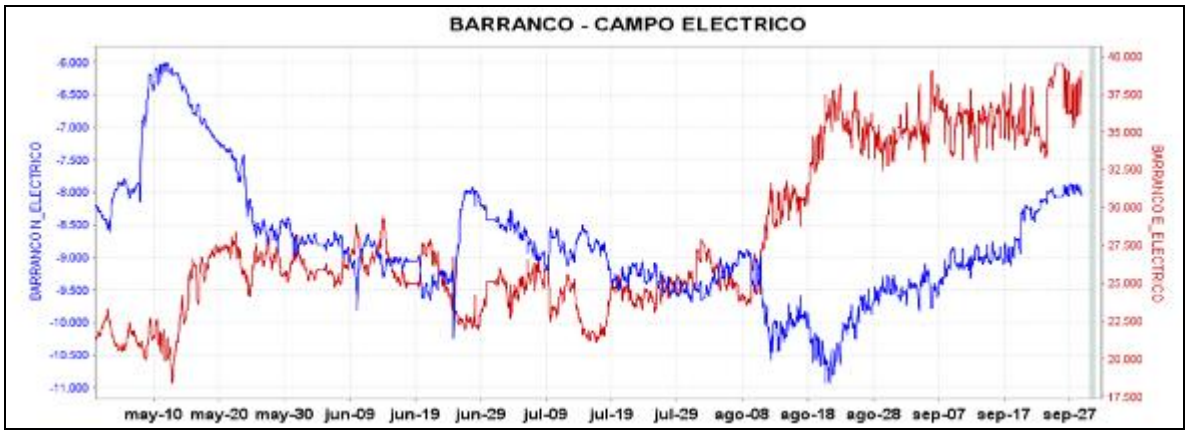

Figura 36. Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, en el periodo entre mayo y septiembre de 2014.

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 y Barranco, este parámetro se mantuvo estable en las tres componentes, durante el mes de septiembre (Figuras 37, 38 y 39).

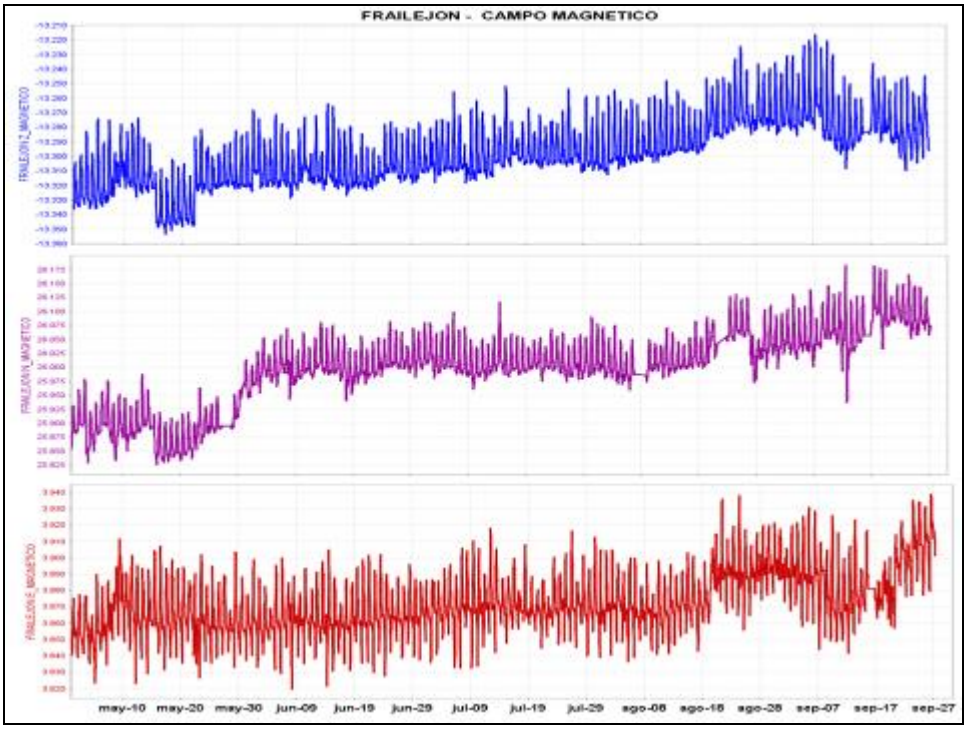

Figura 37. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, para el periodo entre mayo y septiembre de 2014.

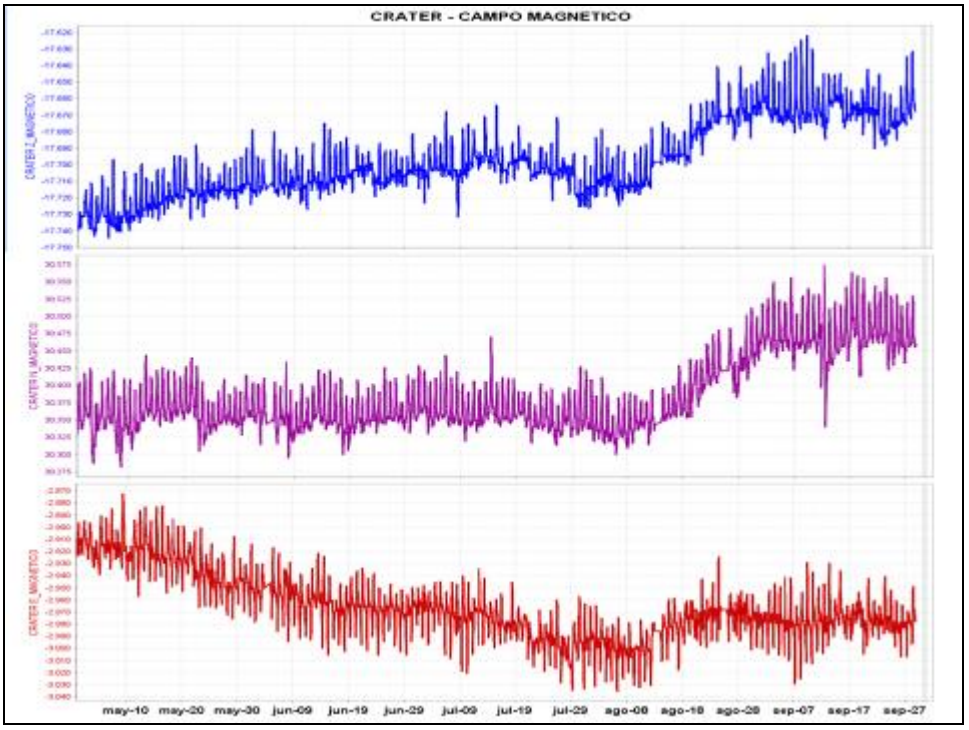

Figura 38. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Cráter, para el periodo entre mayo y septiembre de 2014.

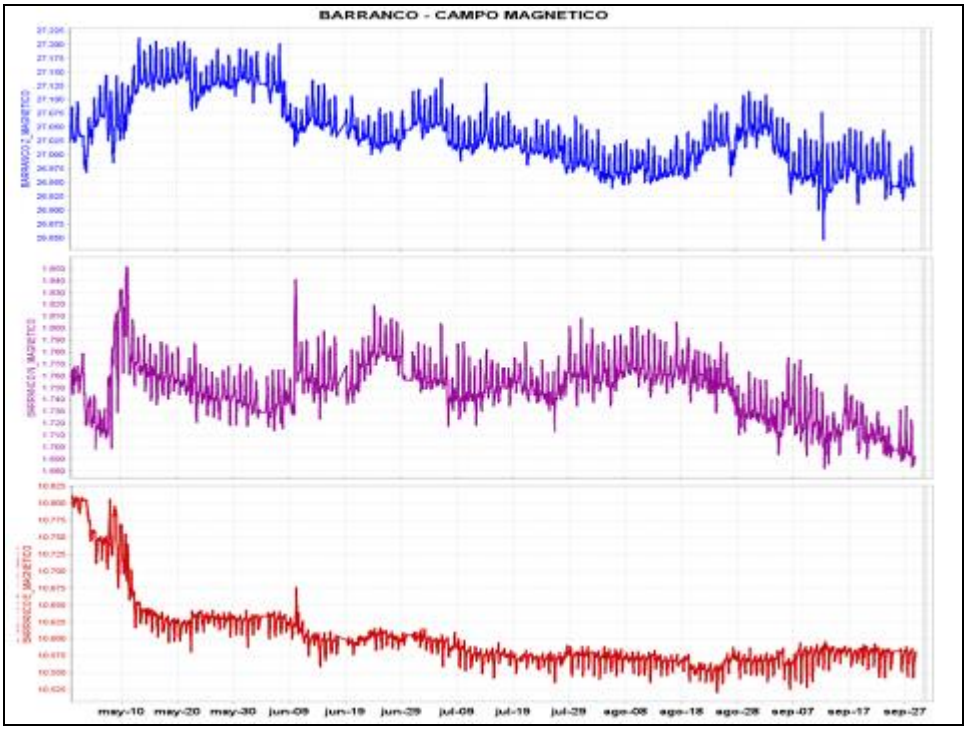

Figura 39. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el periodo entre mayo y septiembre de 2014.

1.5. GEOQUIMICA.

1.5.1. Mediciones de flujo de emisión de SO_2 con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS

La intrusión de nuevos cuerpos de magma o ascenso del mismo, afecta el flujo de SO_2 hacia la superficie. Los valores estimados de flujo de Dióxido de azufre (SO_2) de Galeras, corresponden a los escaneos de tres estaciones telemétricas permanentes ScanDOAS, (Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara) localizadas en el cuadrante noroccidental de Galeras). Su funcionamiento parte de detectar la luz Ultravioleta (UV) dispersa, a través de un telescopio acoplado a una fibra óptica de cuarzo que transfiere la luz a un espectrómetro (OceanOptics S2000) y lo compara con un espectro de referencia dentro de una longitud de onda específica entre 280 a 420 nm con una resolución de 0,6 nm, un filtro en el telescopio bloquea la luz visible con longitudes de onda mayores a 360 nm, reduciendo efectivamente la luz difusa (Galle et al., 2002). Cada uno de los espectros obtenidos se traducen en escaneos que permiten conocer la absorbencia de la pluma de SO_2 en tiempo real (Euripides et al., 2012). Para el cálculo de flujo de SO_2 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_2, 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 septiembre de 2014 se registraron escaneos en todos los días del mes, para el día 28 se obtiene el mayor flujo de SO_2 registrando un valor de 273 Ton/d. Los valores de escaneos estimados para presencia de pluma de dióxido de azufre (SO_2) en la atmósfera durante este mes (Figura 40) y obtenidos de la estaciones Alto Jiménez y el sistema portátil MóvilDOAS, oscilaron entre las 33 Ton/d y 273 Ton/d, valores considerados como bajos para Galeras (Tabla 10, Figuras 40 y 41).

Tabla 10. Emisiones de SO_2 del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de septiembre de 2014, por las estaciones ScanDOAS y MobileDOAS (Proyecto NOVAC).

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO2 diario [Ton/día]	Estación de registro o recorrido	Equipo
16-sep-14	11:41 AM	263.6	3.5	147	Alto Jimenez	SCANDOAS
20-sep-14	12:22 PM	239.1	3.56	230	Alto Jimenez	SCANDOAS
26-sep-14	02:44 PM	126.71	2.73	33		MÓVILDOAS
28-sep-14	08:53 AM	228.5	7.54	273	Alto Jimenez	SCANDOAS
30-sep-14	09:18 AM	231.9	7.82	205	Alto Jimenez	SCANDOAS

* Flujo de emisión de SO_2 [Toneladas/día]. Bajo: ≤ 500; moderado: > 500 y ≤ 1000; alto: > 1000 y ≤ 3000; muy alto: > 3000.

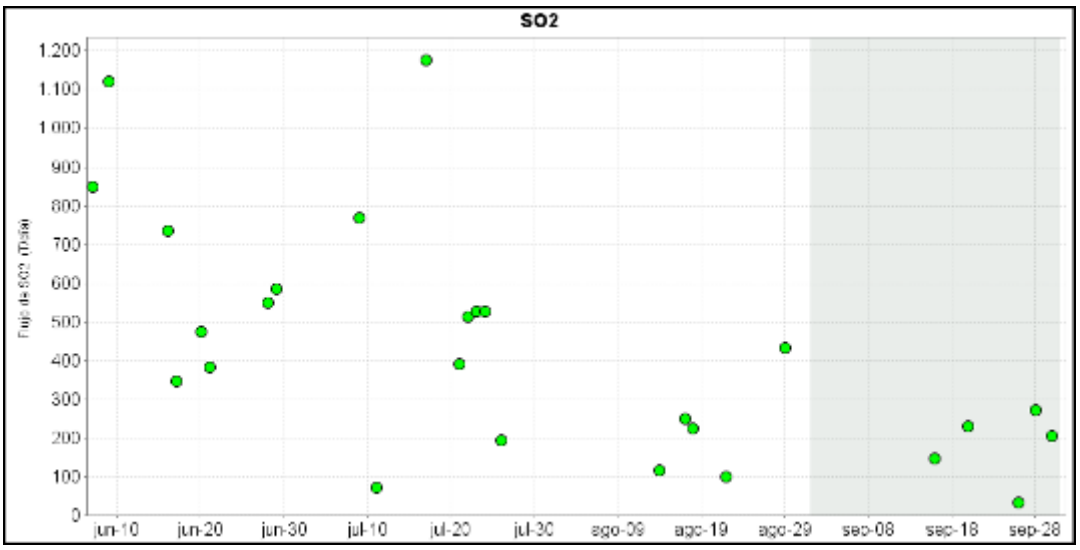

Figura 40. Flujo de emisión de SO_2 registrado entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014 por los equipos ScanDOAS y MobileDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

En la figura 41 se encuentran los valores de flujo de SO_2, 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_2 calculadas para el flujo total en el mes de septiembre, 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_2.

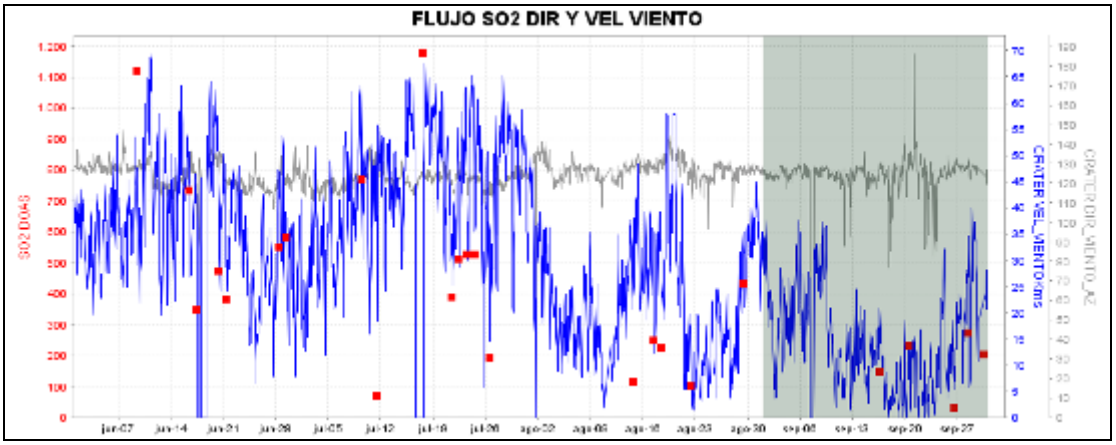

Figura 41. Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2014.

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

En las Figuras 42 y 43 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 42), se observa un pico máximo de 3004 pCi/L (valor alto para Galeras) para el periodo comprendido entre el 4 y 12 de septiembre, correspondiente a la estación BAR 05. Se observa también un importante incremento en la estación BAR 03, BAR 01, que posteriormente disminuyó a finales del mes.

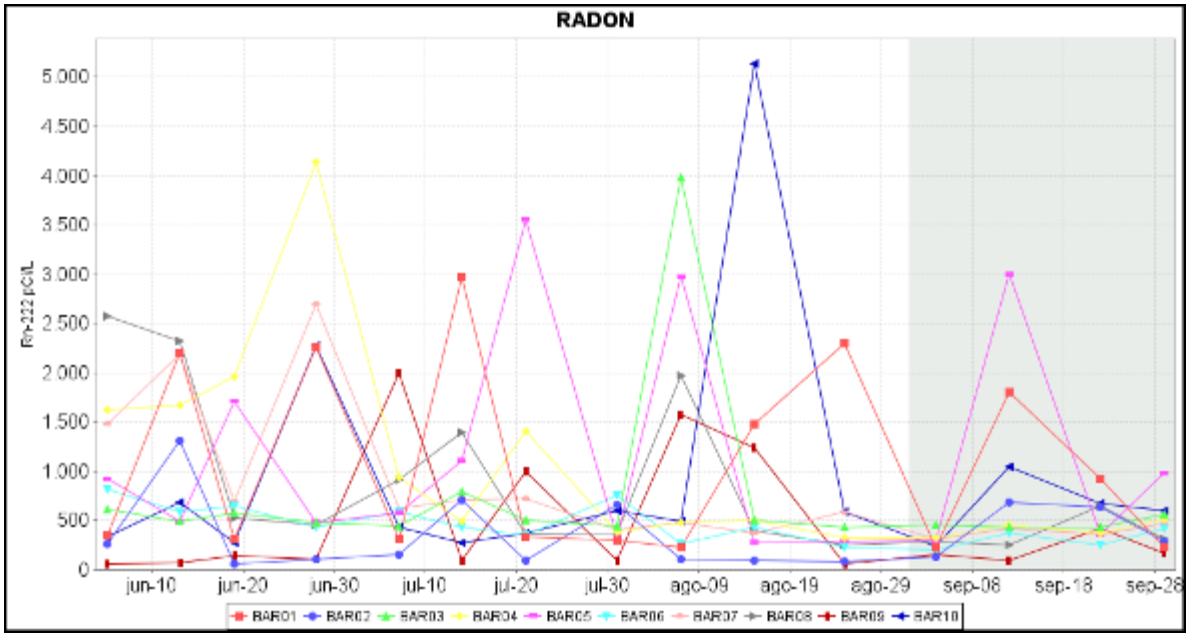

Figura 42. Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Barranco para el periodo comprendido entre los meses de junio y septiembre de 2014.

En cuanto a la línea Galeras (Figura 43), se aprecia el comportamiento más notable para el flujo de radón en la estación LAVA 1, presentando dos incrementos relevantes, sin embargo son menores a los presentados en el mes anterior, manteniéndose dentro de un rango alto para Galeras. El valor de 3461 pCi/L (registrado en LAVA 1), es el valor más alto para el periodo comprendido entre el 12 y 22 de septiembre. También puede observarse ascensos en la estaciones CALD Y TELEC, las demás estaciones presentan un comportamiento estable en comparación con meses anteriores.

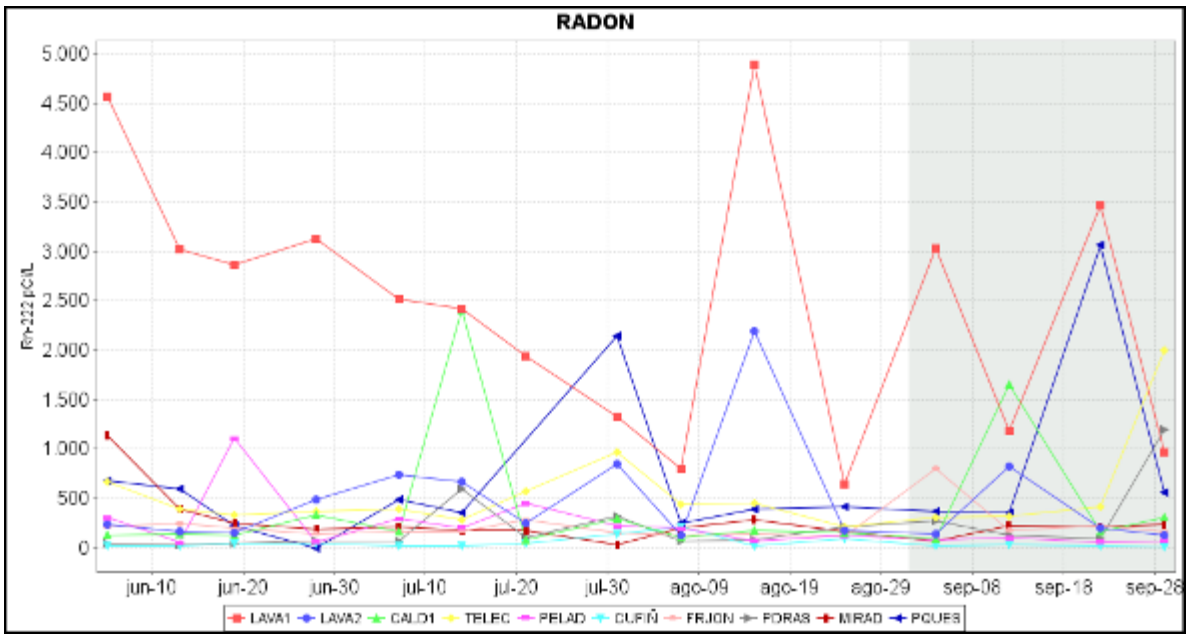

Figura 43. Flujo de gas radón en las estaciones de la línea Galeras para el periodo comprendido entre los meses de junio y septiembre de 2014.

Tabla 11. Valores máximos de flujo del isótopo Rn_{222} en suelo en las estaciones de la línea Barranco en septiembre de 2014.

LÍNEA BARRANCO			
ESTACIÓN	PERIODO DE MUESTREO		CONCENTRACIÓN
	INICIAL	FINAL	pCi/L
BAR 03	25-Ago-14	04-Sep-14	453
BAR 05	04-Sep-14	12-Sep-14	3004
BAR 01	12-Sep-14	22-Sep-14	924
BAR 05	22-Sep-14	29-Sep-14	982

*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_{222} en suelo en las estaciones de la línea Galeras en septiembre de 2014.

LÍNEA GALERAS			
ESTACIÓN	PERIODO DE MUESTREO		CONCENTRACIÓN
	INICIAL	FINAL	pCi/L
LAVA 1	25-Ago-14	04-Sep-14	3028
CALD	04-Sep-14	12-Sep-14	1652
LAVA 1	12-Sep-14	22-Sep-14	3461
TELEC	22-Sep-14	29-Sep-14	1995

*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).

En la figura 44 se presenta en general el flujo de radón máximo a partir del mes de enero hasta el mes de septiembre para el volcán Galeras.

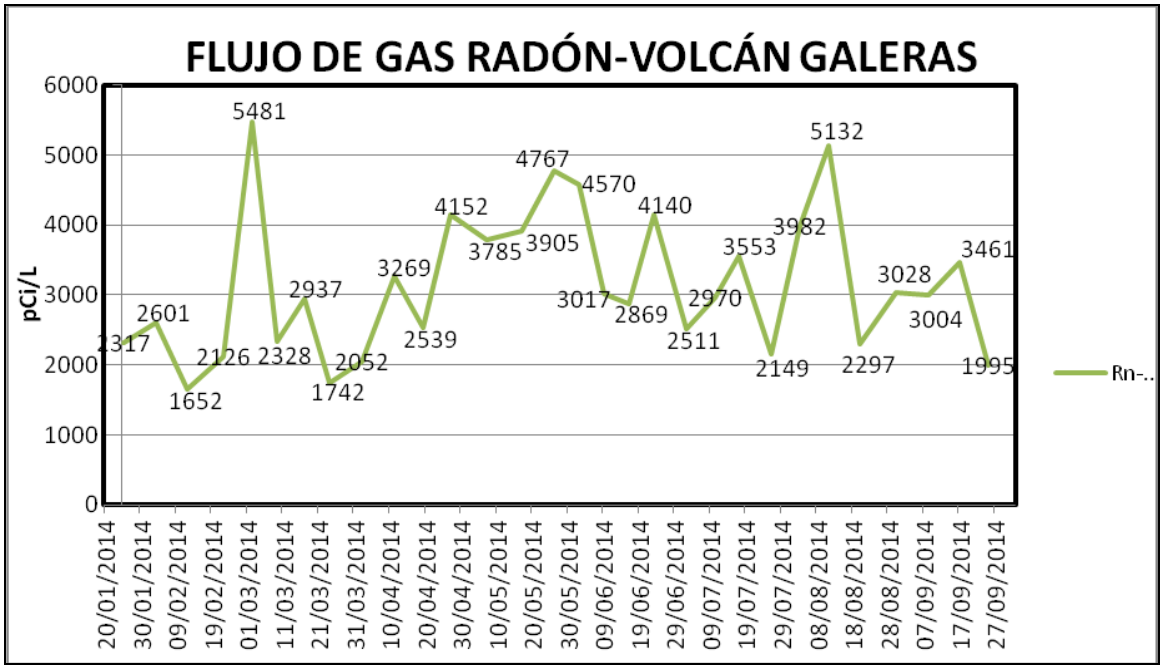

Figura 44. Flujo de gas radón enero – septiembre de 2014.

1.5.3 Trampa alcalina-volcán Galeras

En el mes de septiembre 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_2)).

En el volcán Galeras se encuentran ubicadas dos estaciones no telemétricas de Trampa Alcalina (Figura 45, Tabla 13): Trampa Alcalina-Base Militar y Trampa Alcalina-Mirador.

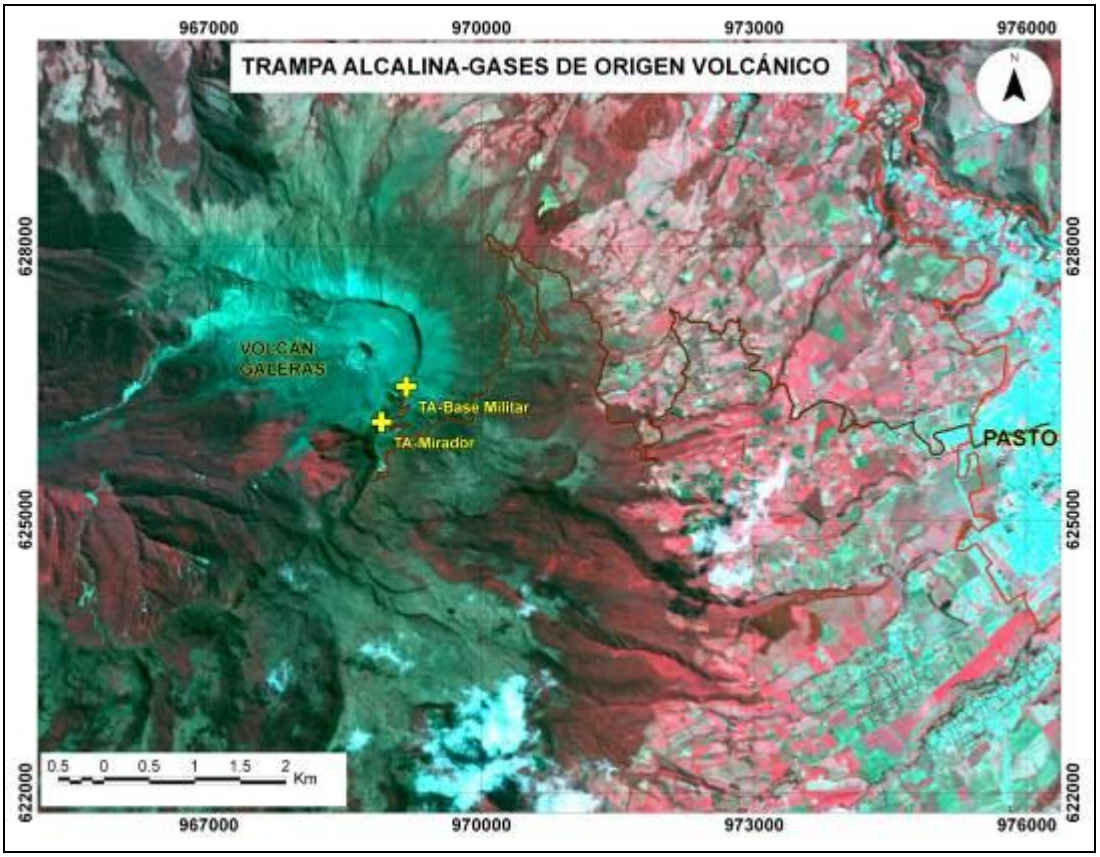

Figura 45. Mapa de localización estaciones trampa alcalina volcán Galeras.

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 46), en el cual se encuentra un recipiente con aproximadamente 100 ml de una solución alcalina (KOH), 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 46 se observa la toma de muestras de las dos estaciones de trampa alcalina instaladas en volcán Galeras. En el siguiente informe se darán a conocer los resultados correspondientes.

Figura 46. 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 47, Tablas 14 y 15).

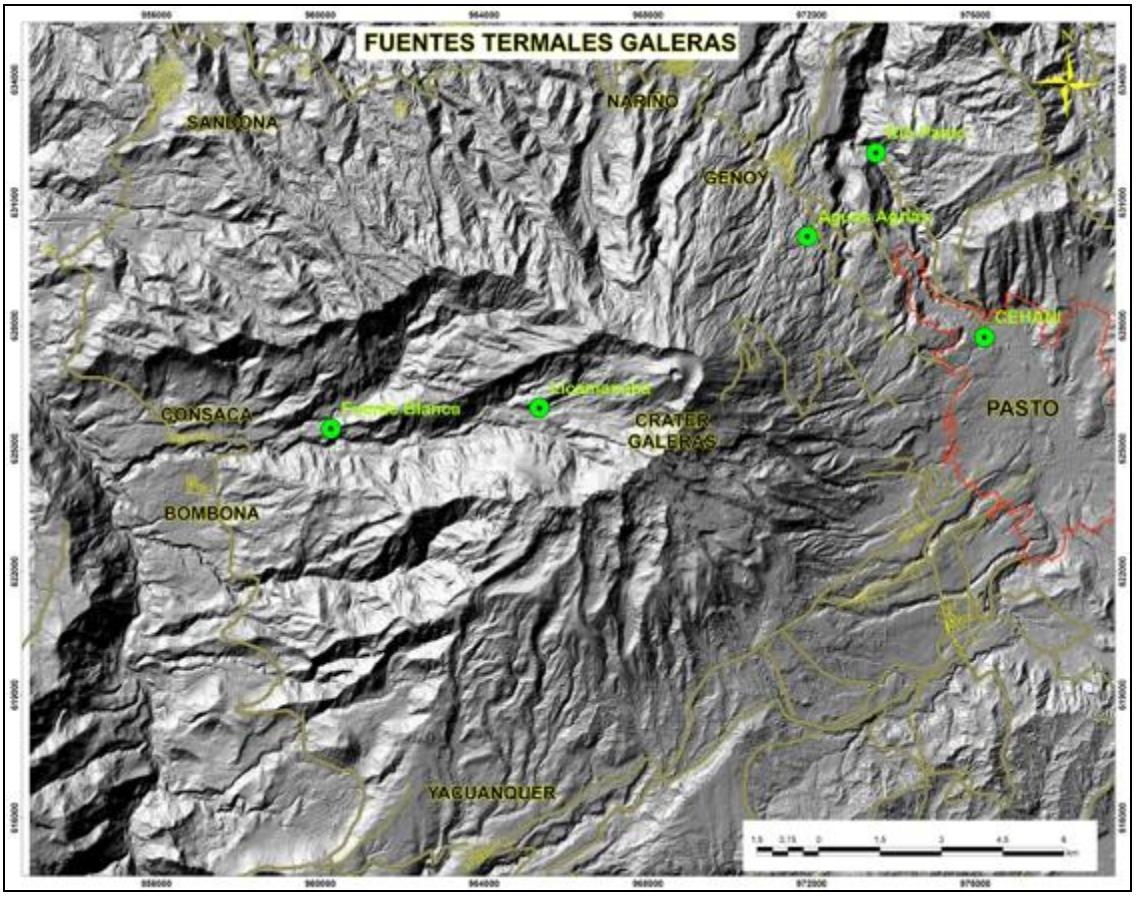

Figura 47. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

Tabla 14. Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras muestreadas en Septiembre de 2014.

Tabla 15. Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Galeras.

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

El trabajo de muestreo en campo para la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos en tres de las 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 48 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de Septiembre 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.

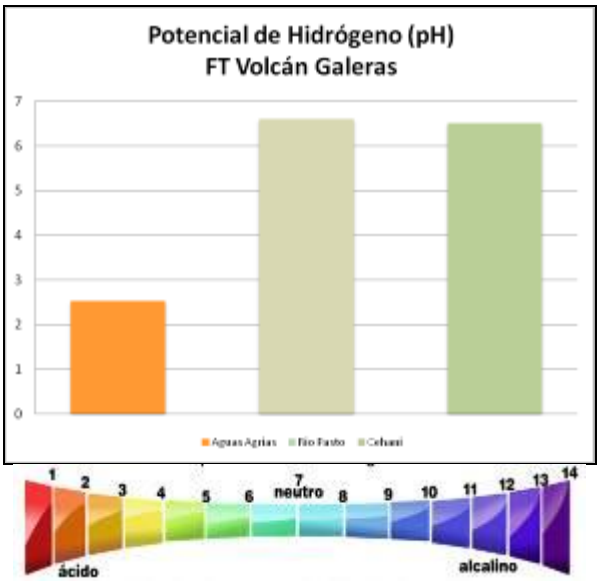

Figura 48. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras en septiembre de 2014.

De acuerdo a la gráfica anterior, las fuentes termales de Galeras presentan durante el mes de septiembre potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2,5 (ácida) y 6,6 (ligeramente ácido).

En las figuras 49 y 50 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 este periodo se observa que la concentración del ion bicarbonato ($HCO_3^=$) en la FT Río Pasto, mientras que en la FT Cehani parece seguir aumentando levemente el bicarbonato, en cuanto a la FT Aguas Agrías no hay presencia de este ión. El pH en las tres FT no presenta variación significativa.

En la FT Aguas Agrías no hay presencia del ion $HCO_3^=$, por lo tanto esta variable no afecta en la variación del pH de este manantial, pero si la presencia de especies iónicas en la misma, como lo indica la conductividad eléctrica (Figura 51), además por ser altamente sulfatada, en la cual podrían estar ocurriendo procesos continuos de oxidación del sulfuro de hidrógeno (H_2S), del azufre nativo (SO_4) o del dióxido de azufre (SO_2).

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

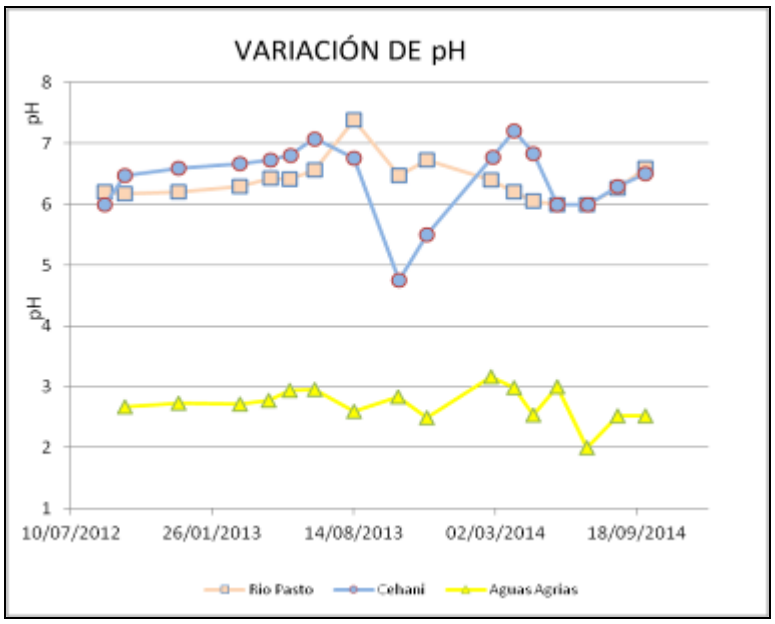

Figura 49. Variación del pH de las FT de Volcán Galeras – Septiembre 2014.

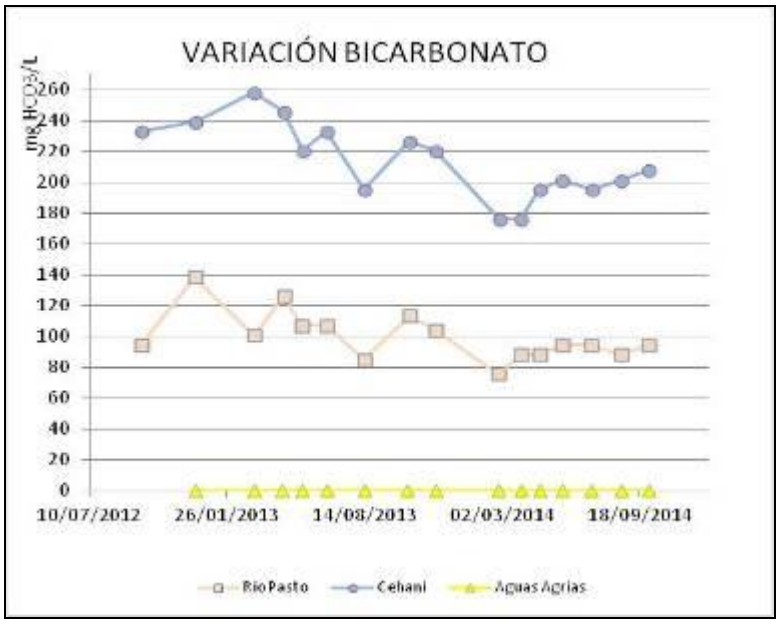

Figura 50. Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras - Septiembre 2014.

En las figura 51 se observa variaciones de la 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 durante el mes de septiembre.

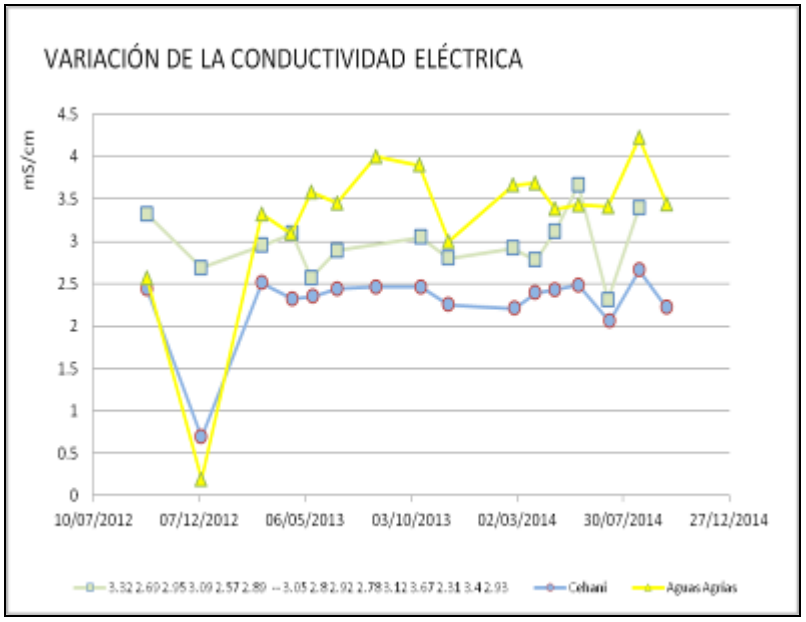

Figura 51. Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - Septiembre 2014.

No fue posible registrar variaciones de temperatura por inconvenientes técnicos con el equipo, sin embargo la cámara térmica registra valores sobre imágenes con registro térmico (Figuras 52 y 53).

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

- **Fuente termal Río Pasto**

No fue posible el registro de temperatura superficial.

- **Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 27,4ºC. (Temperatura registrada en septiembre 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 3,41 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

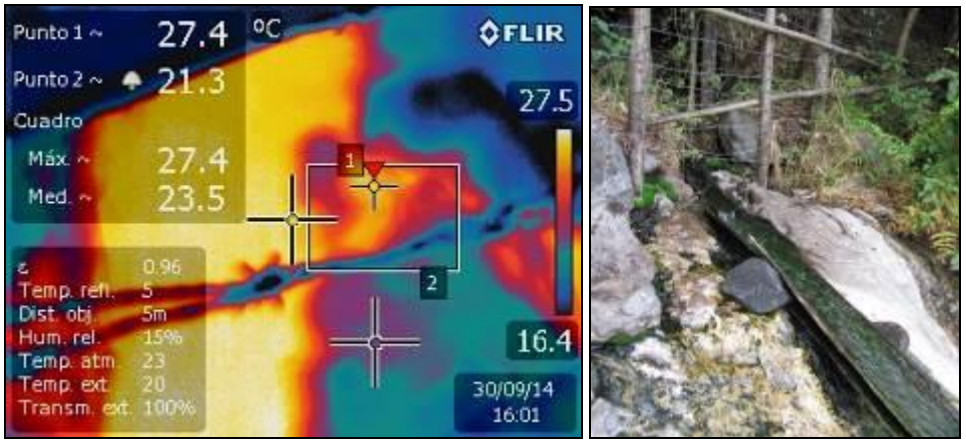

Figura 52. Imagen térmica FT Aguas Agrias - Volcán Galeras - Septiembre 2014.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 37,3ºC. (Temperatura registrada en septiembre de 2014 por imagen térmica)

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 2,22 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

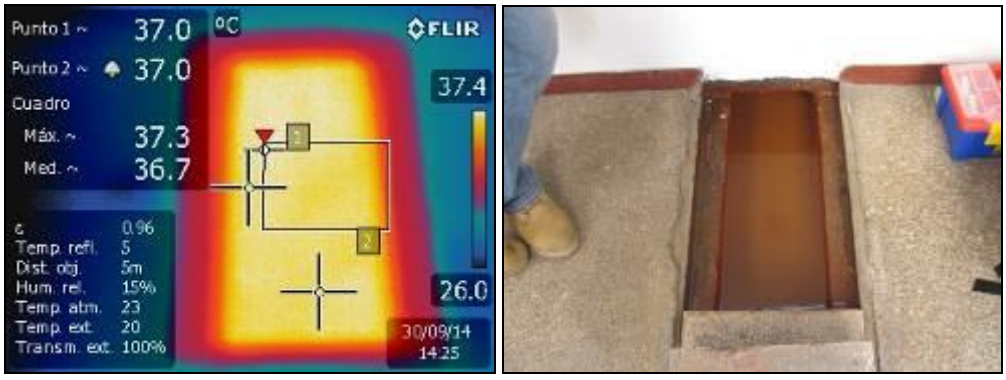

Figura 53. Imagen térmica FT Cehani - Volcán Galeras - Septiembre 2014.

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 4, 7, 8, 9, 15 y 28 de septiembre. 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, principalmente en los campos fumarólicos Chavas y El Paisita.

En las Figuras 54 a 60 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en septiembre de 2014.

Figura 54. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma (Izquierda) y desde la sede del OVSP (Derecha) el 3 de septiembre de 2014 a las 5:49 a.m. y 6:54 a.m. respectivamente.

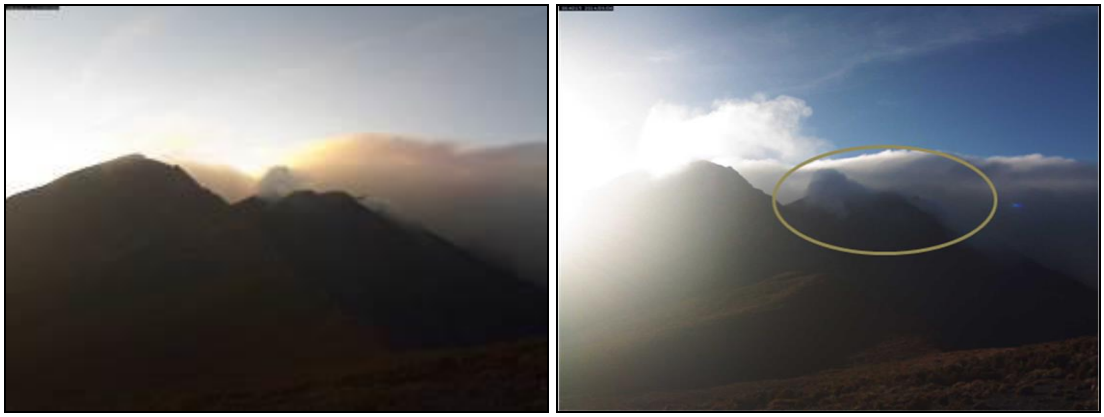

Figura 55. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco el 6 de septiembre a las 6:10 a.m. y 6:40 a.m. respectivamente.

Figura 56. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá 13 de septiembre de 2014 a las 5:25 p.m.

Figura 57. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Barranco (Izquierda) y Bruma (Derecha) el 17 de septiembre de 2014 a las 6:18 a.m. y 6:24 a.m. respectivamente.

Figura 58. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda) y Barranco (Derecha) el 21 de septiembre de 2014 a las 5:45 a.m. y 6:13 a.m. respectivamente.

Figura 59. Registro fotográfico de la emisión de gases observada por personal del SGC el 26 de septiembre de 2014 en horas de la mañana.

Figura 60. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en el municipio de Consacá el 29 de septiembre de 2014 a la 1:18 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 (SO_2) reflejan valores que se encuentran en rangos considerados como bajos para Galeras.

- Por medio de la red de cámaras de video del OVSP y gracias a las condiciones climáticas, en la mayor parte 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 El Paisita y Chavas ubicados en el sector norte y occidente de la cima del cono volcánico.

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

2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – SEPTIEMBRE DE 2014

2.1. RED DE VIGILANCIA

En septiembre 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 61, Tabla 17).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 61, Tabla 17).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 61).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 61).

Para este periodo las estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica y la cámara web tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 94,6% (Figura 62). La estación La Nieve tuvo un porcentaje de funcionamiento del 88% debido a problemas de interferencia y radioenlace.

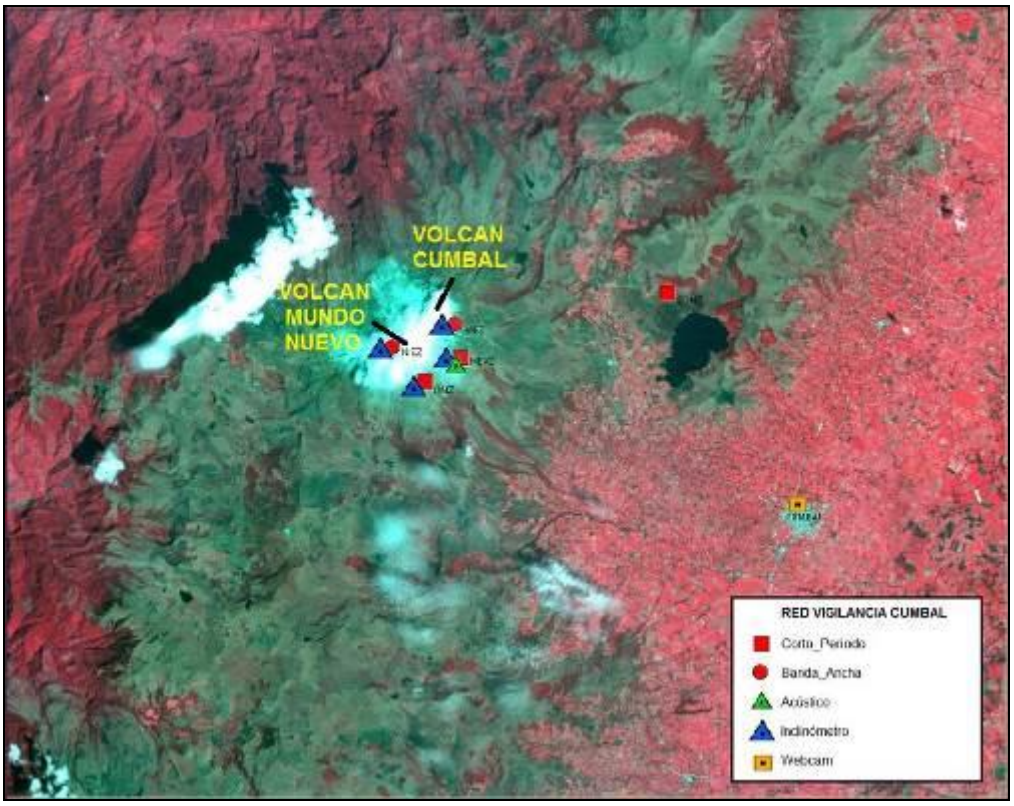

Figura 61. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de septiembre de 2014.

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

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

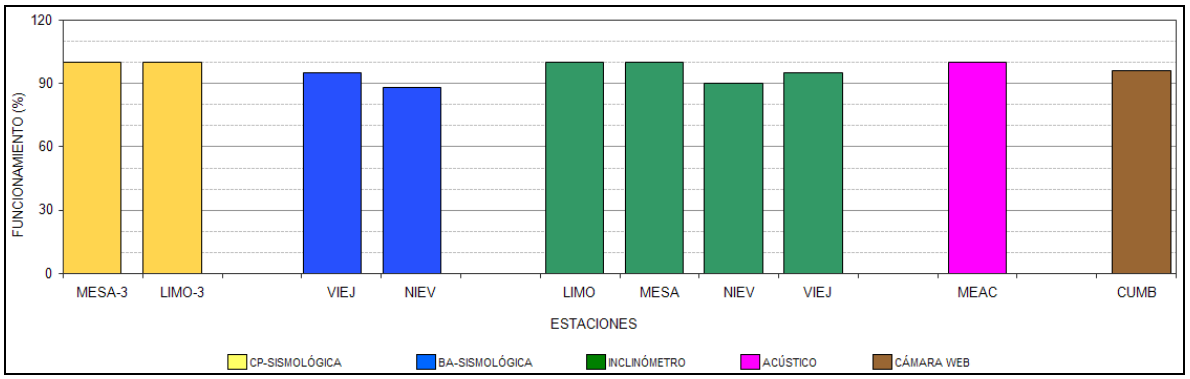

Figura 62. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en septiembre de 2014.

2.2. SISMOLOGÍA

En general, en el mes de septiembre de 2014, la ocurrencia sísmica permaneció casi constante en comparación con lo registrado en el mes de septiembre de 2014, pasando de 774 a 776 eventos sísmicos. La sismicidad dominante en ocurrencia correspondió a sismos LPS en un porcentaje del 47,4%, con el registro de 6 eventos tipo Tornillo – TOR, seguido por los eventos tipo HYB con un 20,4%. Por su parte, los eventos tipo VT y TRE aportaron con el 20,1% y 12,1% respectivamente (Tabla 18, Figuras 63 y 64).

Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre (resaltado en color verde) de 2014.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	TOTAL
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
01-ago-14 a 31-ago-14	83	471	80	140	3	774
01-sep-14 a 30-sep-14	156	368	94	158	6	776

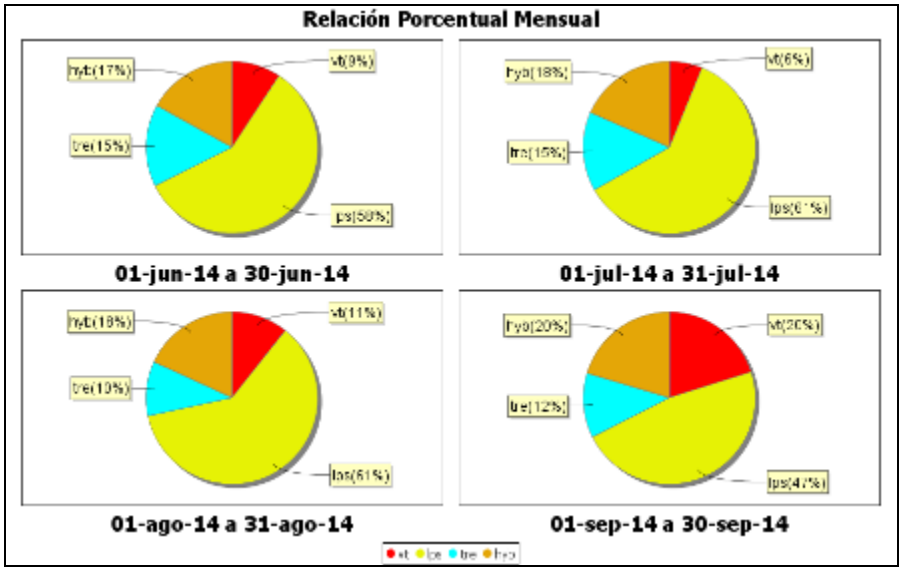

Figura 63. Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre junio y septiembre de 2014. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.

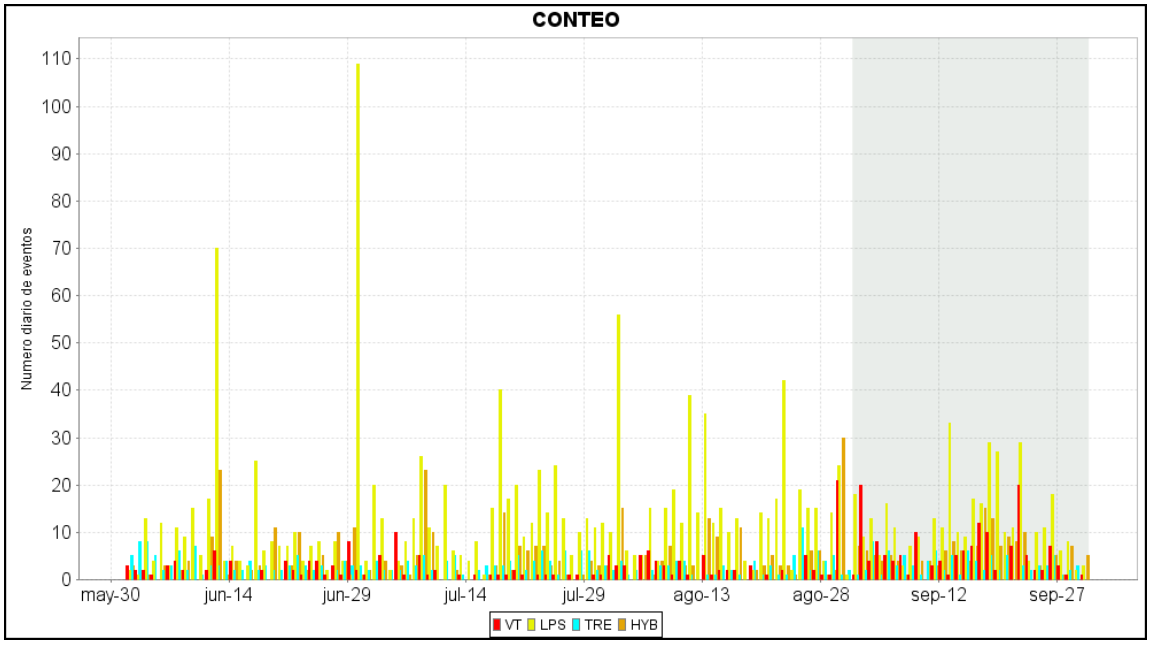

Figura 64. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.

En el transcurso del mes, se observó que la energía sísmica total liberada fue 27, 5 veces mayor que el valor registrado en el mes anterior, pasando de $6{,}28 \times 10^{10}$ ergios a $1{,}72 \times 10^{12}$ ergios, siendo los eventos tipo VT los que aportaron la mayor energía con un 97,2%, seguidos por los eventos tipo LPS con un 1,0%. Los eventos tipo TRE e HYB aportaron con el 1,1% y 0,7% respectivamente (Tabla 19, Figura 65).

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 junio de 2014 y el 31 de septiembre de 2014 (resaltado en color verde).

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

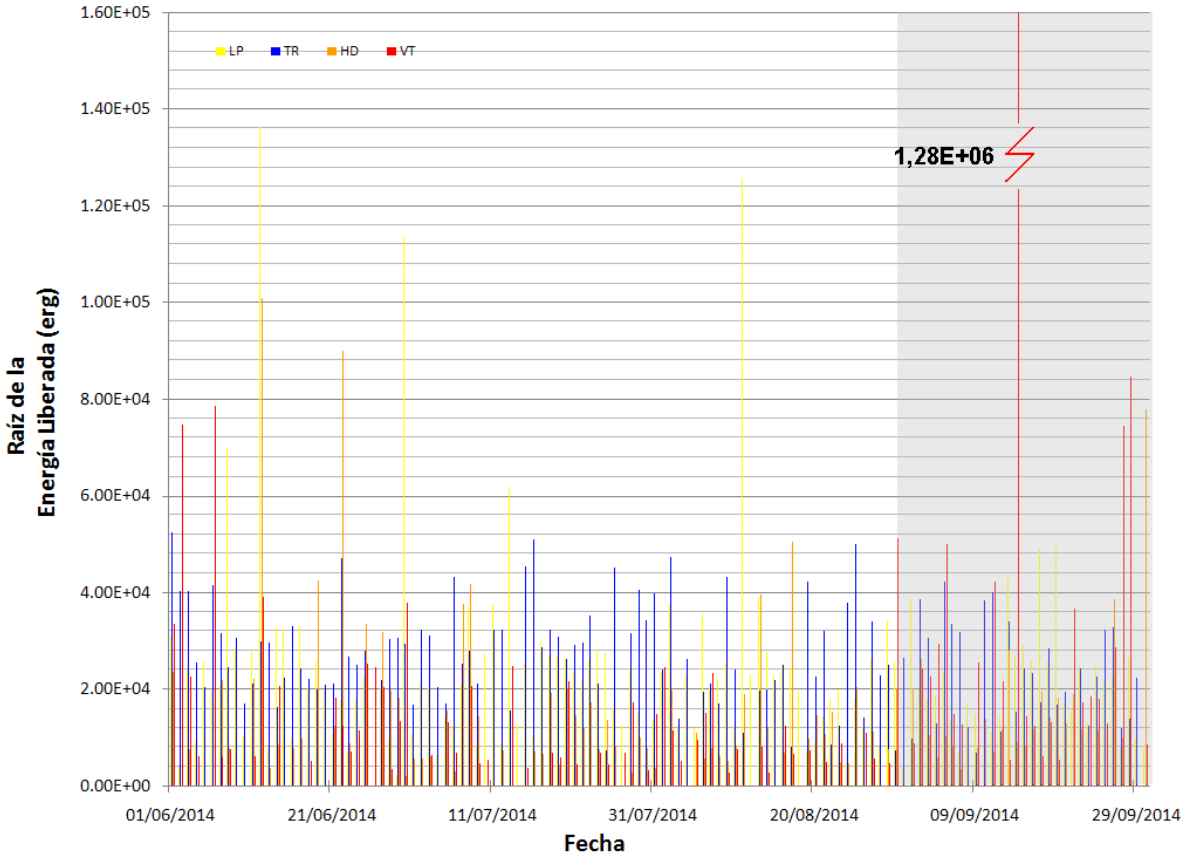

Figura 65. Energía sísmica diaria liberada en términos de su raíz cuadrada para los diferentes tipos de eventos registrados en el Complejo Volcánico de Cumbal según su tipo, entre el 1 de junio y el 31 de septiembre de 2014.

A manera de ejemplo, la Figura 66 muestra el registro del evento asociado con movimiento de fluidos tipo TOR registrado el 18 de septiembre de 2014 a las 9:00 p.m. que tuvo una frecuencia dominante de 7,28 Hz.

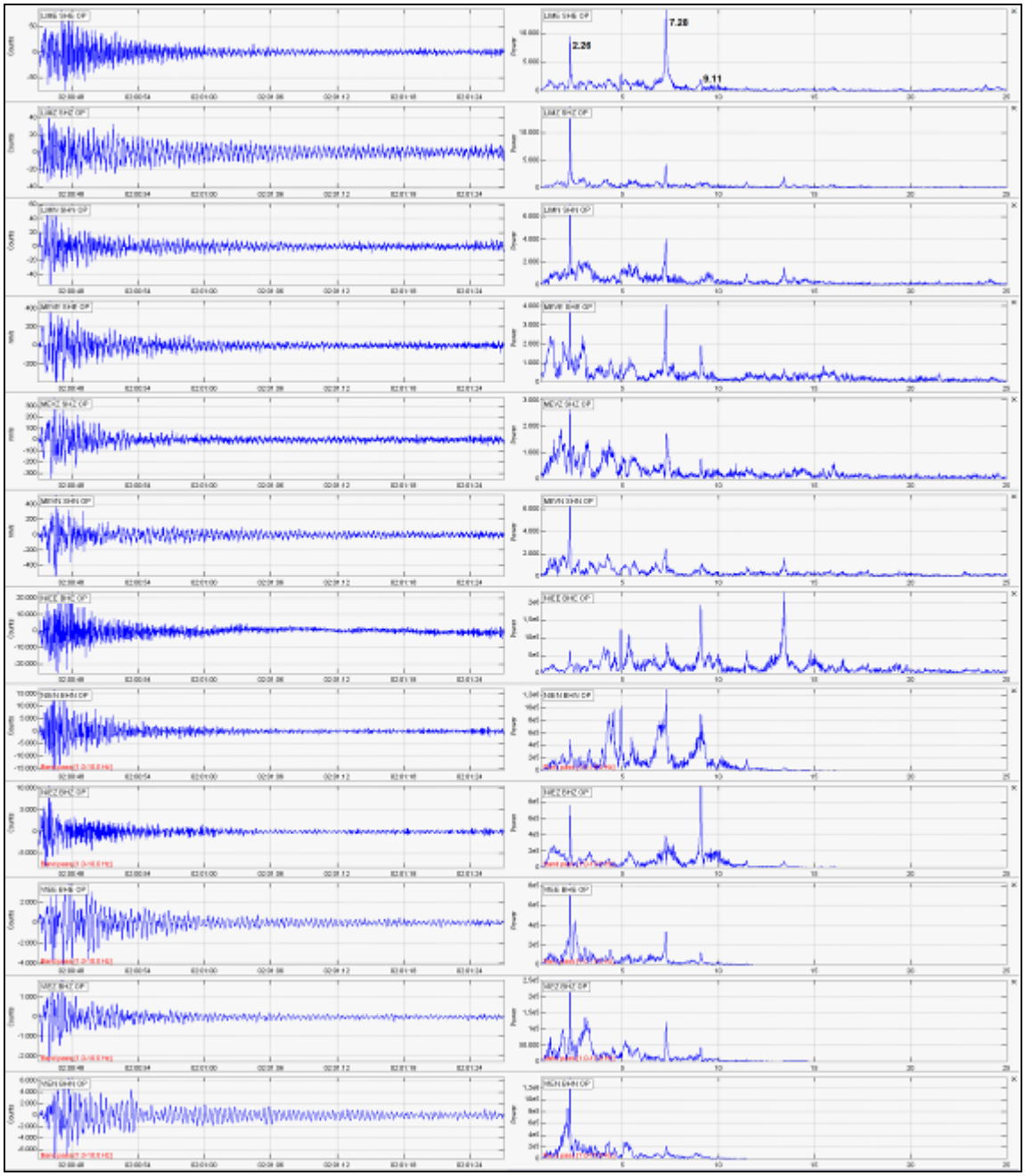

Figura 66. Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 18 de septiembre de 2014 a las 9:00 p.m.

Las Figuras 67 y 68 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 septiembre 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.

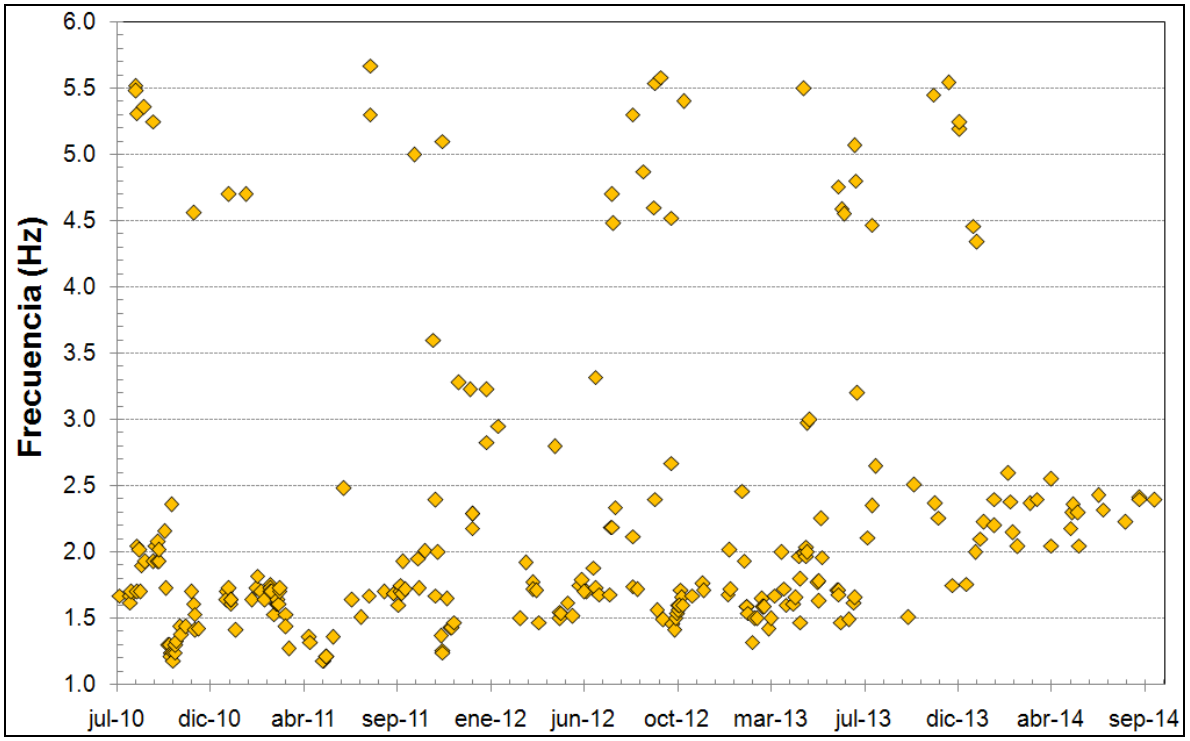

Figura 67. Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 30 de septiembre de 2014.

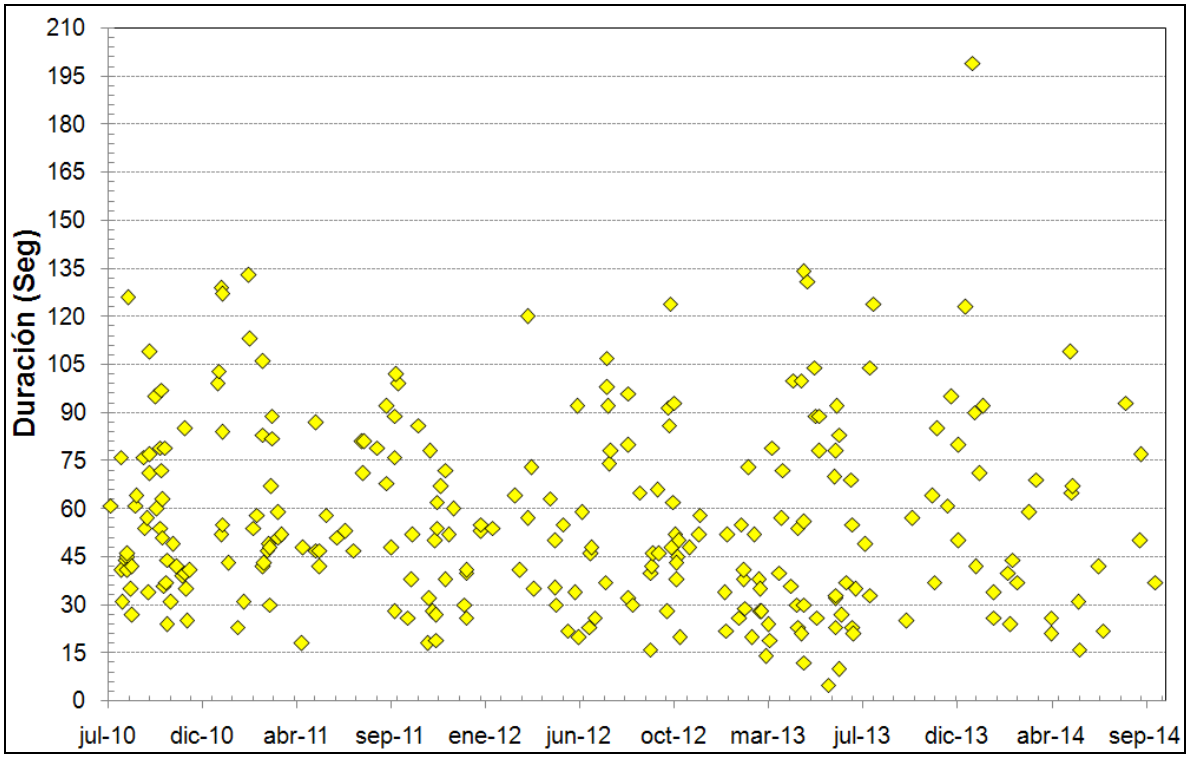

Figura 68. Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 30 de septiembre de 2014.

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 72 sismos (44 VT y 28 HYB), la mayoría de eventos se localizaron en inmediaciones del complejo volcánico Cumbal a menos de 2,5 km de distancia y profundidades menores a 3 km respecto a la cima volcánica. Algunos 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 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 2,6 en la escala de Richter (Figura 69).

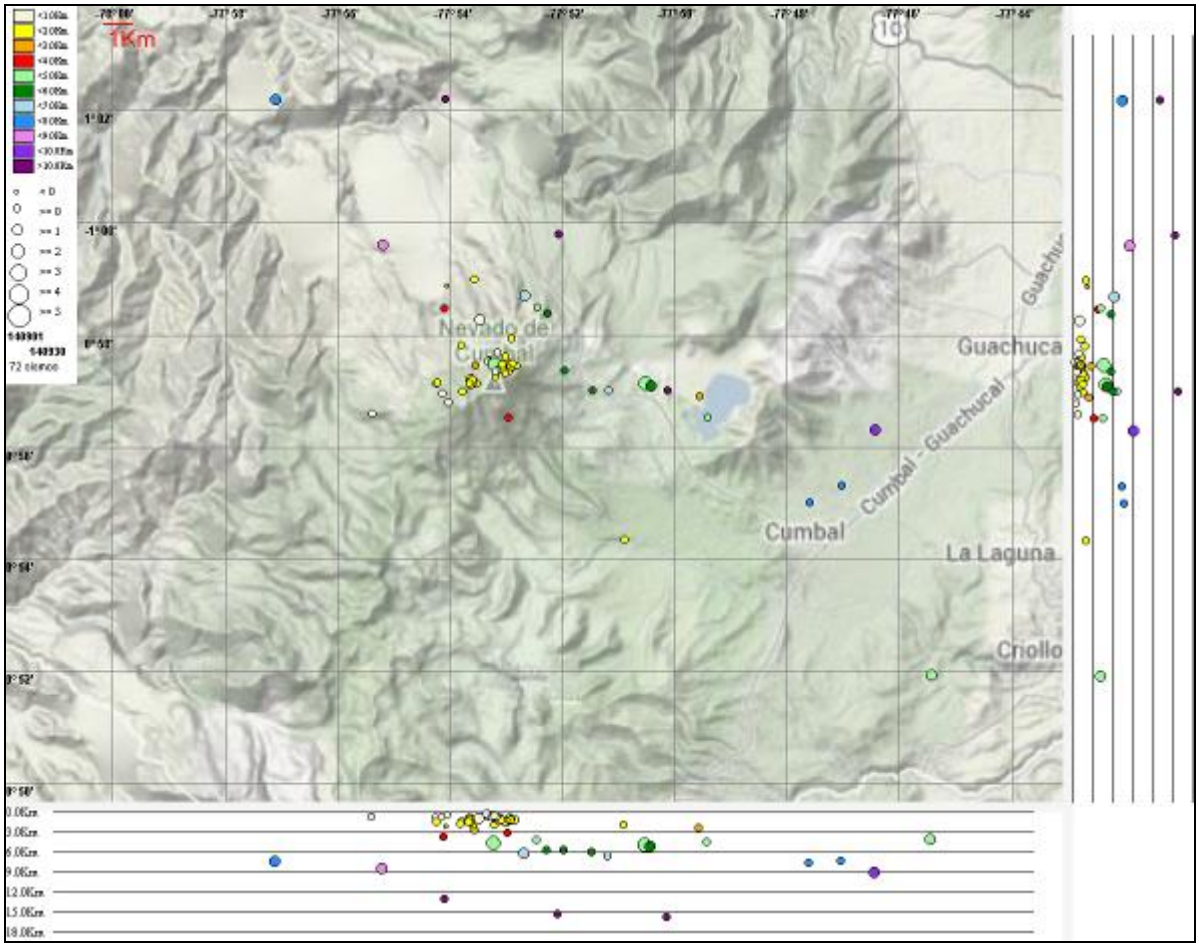

Figura 69. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de julio de 2014. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

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 estesureste 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 70, 71, 72 y 73).

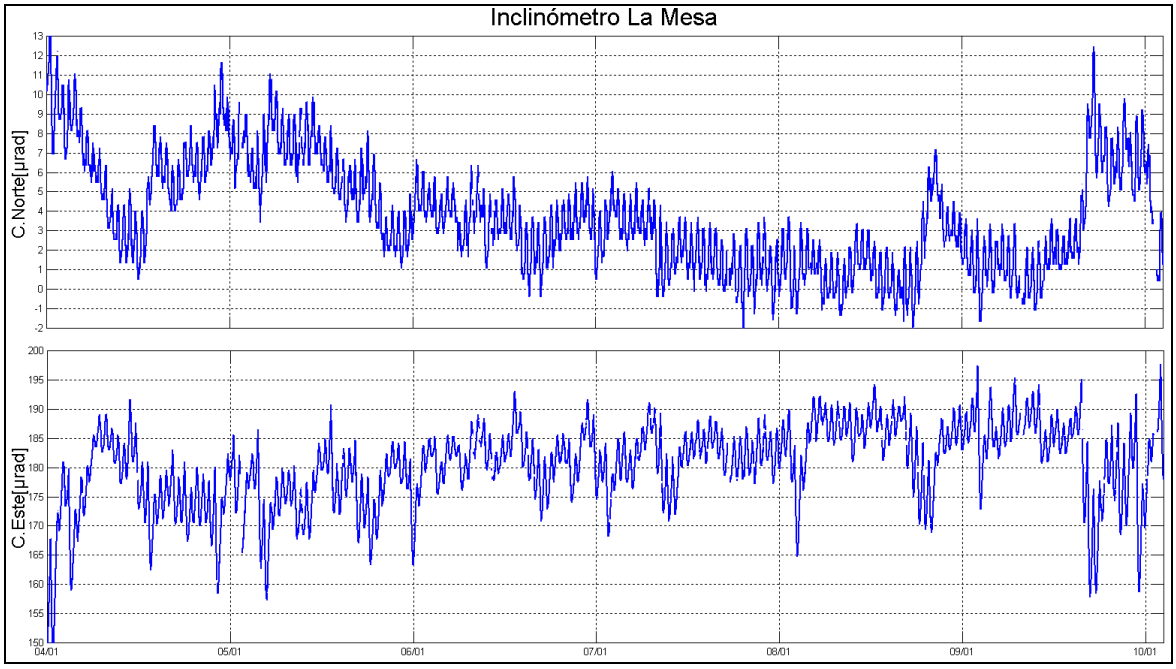

Figura 70. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

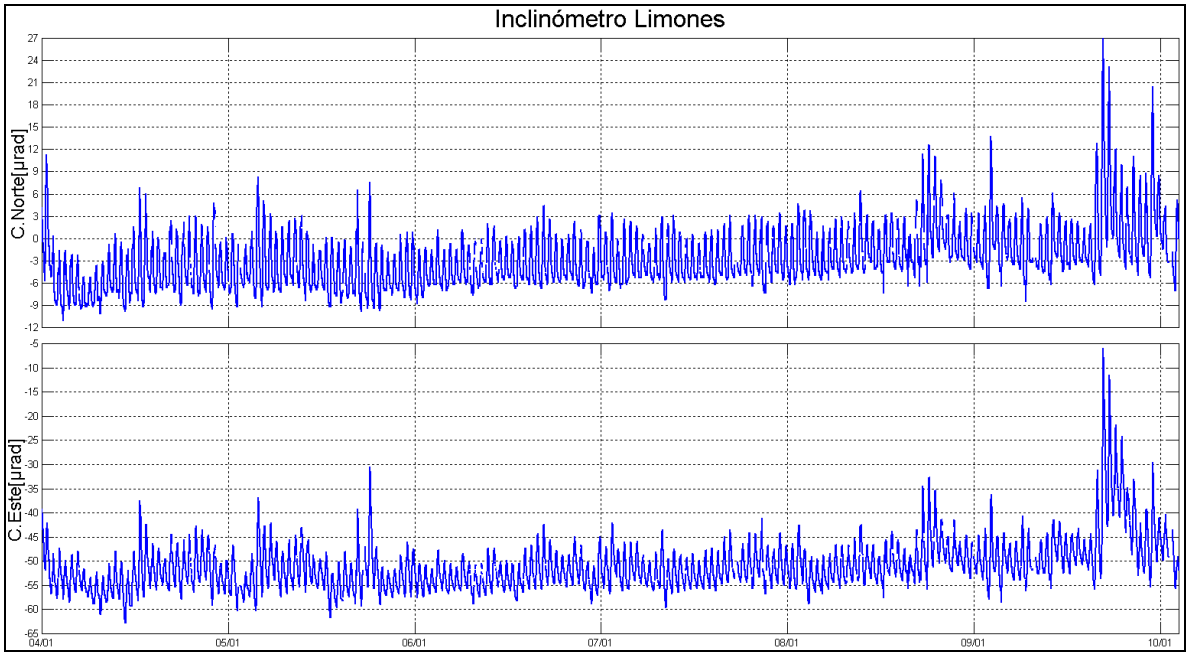

Figura 71. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

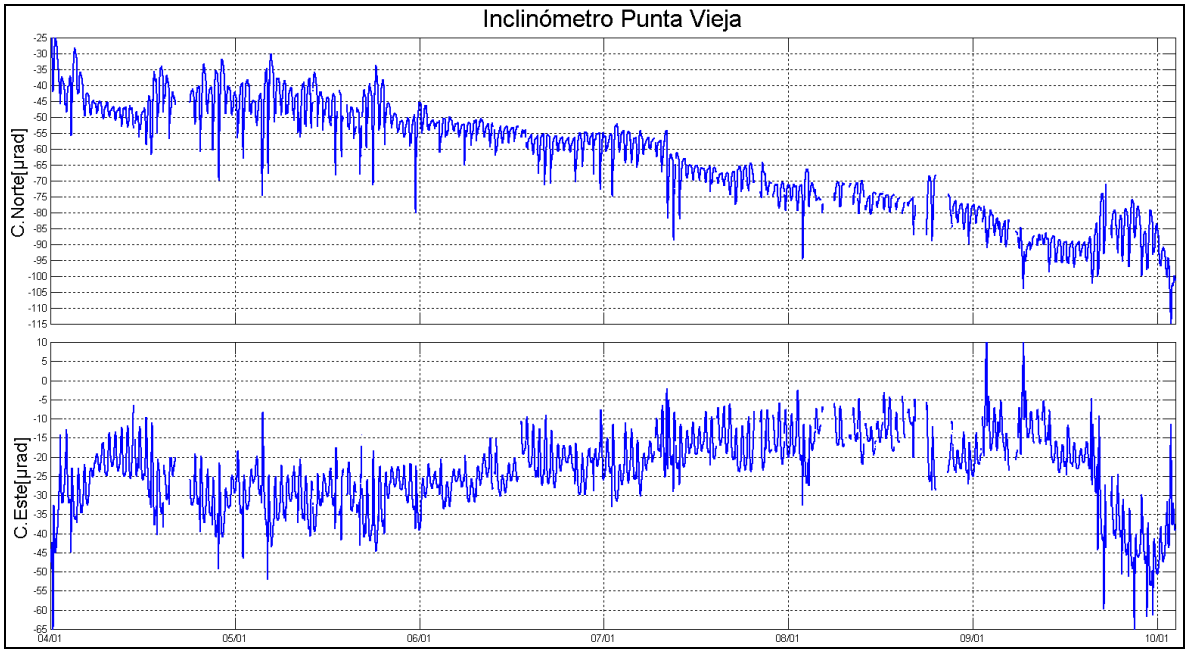

Figura 72. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

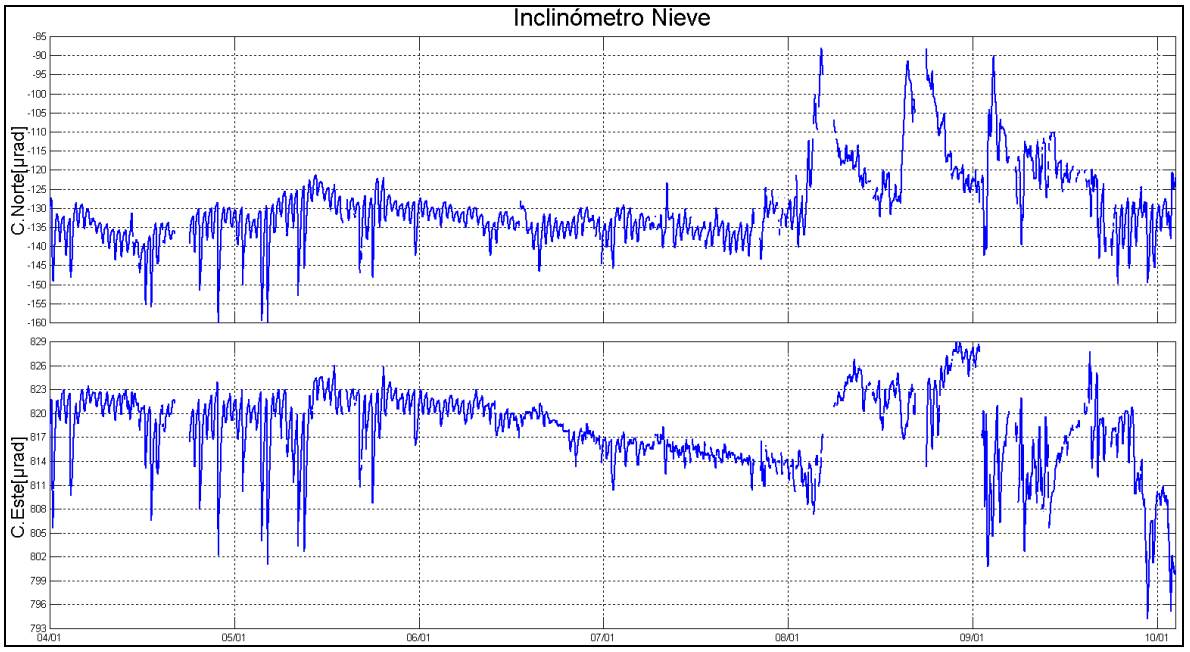

Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En septiembre de 2014 la actividad superficial se documentó a partir de las observaciones realizadas a los videos e imágenes de la cámara Web instalada en el municipio de Cumbal. Condiciones de clima favorables durante los días 5, 6, 12, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 29 y 30 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 74 y 75).

Figura 74. Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 5 y 17 de septiembre a las 6:03 p.m. y a las 8:17 a.m. desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.

Figura 75. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 26 de septiembre a las 6:23 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 septiembre 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 SEPTIEMBRE 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 ascenso hasta las partes más altas se efectúa por numerosos caminos utilizados por la gente de la región (Figura 76).

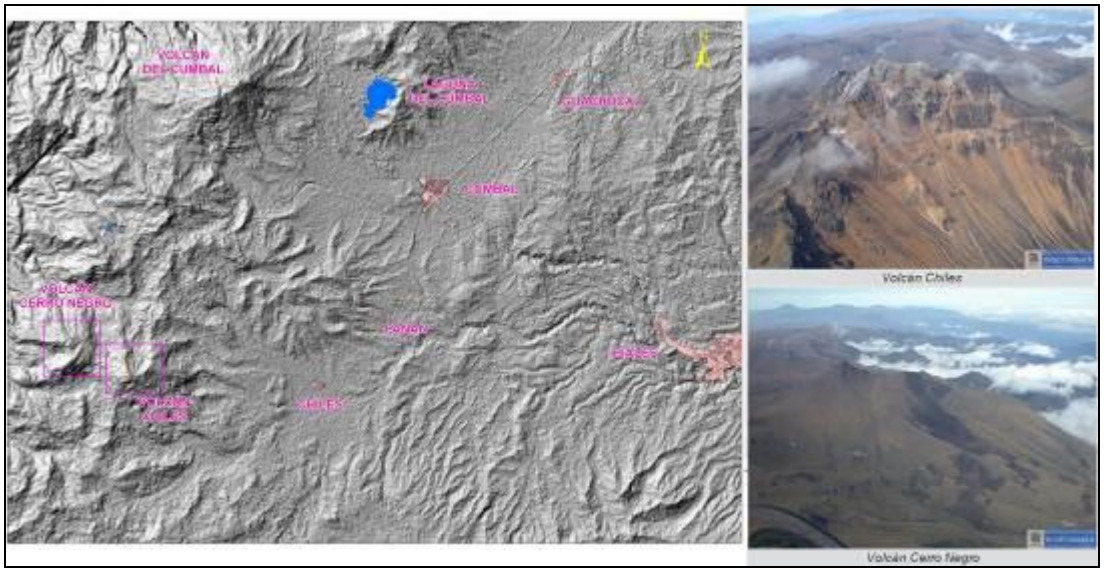

Figura 76. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

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 77, 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 78).

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 78,91% (Figura 79). El porcentaje de funcionamiento de la estación sísmica y de deformación Chiles fue del 25% debido a problemas de interferencia y radioenlace con las repetidoras.

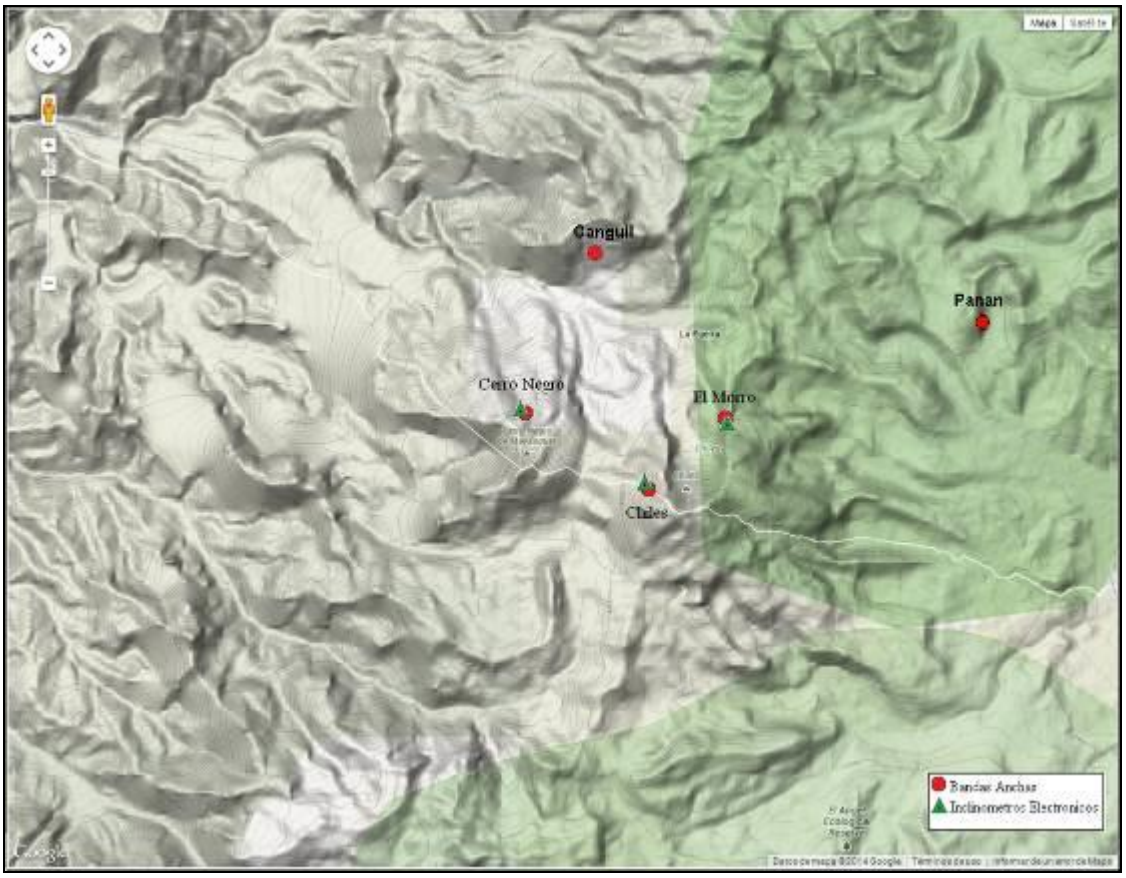

Figura 77. Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.

Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante septiembre 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 78. Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles.

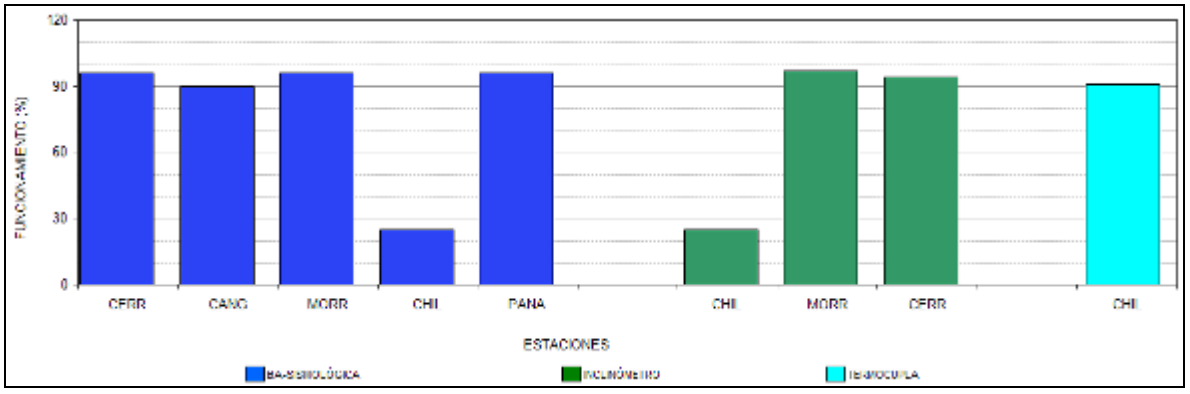

Figura 79. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante septiembre de 2014.

3.3. SISMOLOGÍA

Respecto a la actividad de complejo volcánico Chiles – Cerro Negro, en el mes de septiembre de 2014 la ocurrencia sísmica aumentó en un 30,9% respecto a la registrada en agosto de 2014, pasando de un total de 1849 a 2421 sismos tipo VT (Figura 80, Tabla 21).

Durante la mayor parte del mes, la ocurrencia de la sismicidad fue baja, registrándose en promedio 28 sismos/día; sin embargo, a partir del 29 de septiembre se presentó un incremento considerable registrándose 577 sismos este día y 1.074 eventos el 30 de septiembre (Figura 80). Todos los sismos registrados, están asociados a fracturamiento de material cortical (tipo Volcano Tectónico – VT).

De los 221 eventos localizados, la mayoría continúan ubicándose a distancias entre 1,5 y 4 km al suroccidente de Chiles (5,5 al suroriente de Cerro Negro), con profundidades de hasta 6 km respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4.700 msnm). Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 3,6 en la escala de Richter (Figura 81), 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 junio y el 30 de septiembre de 2014.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-jun-14 a 30-jun-14	8071	0	0	0	8071
01-jul-14 a 31-jul-14	3768	0	0	0	3768
01-ago-14 a 31-ago-14	1849	0	0	0	1849
01-sep-14 a 30-sep-14	2421	0	0	0	2421

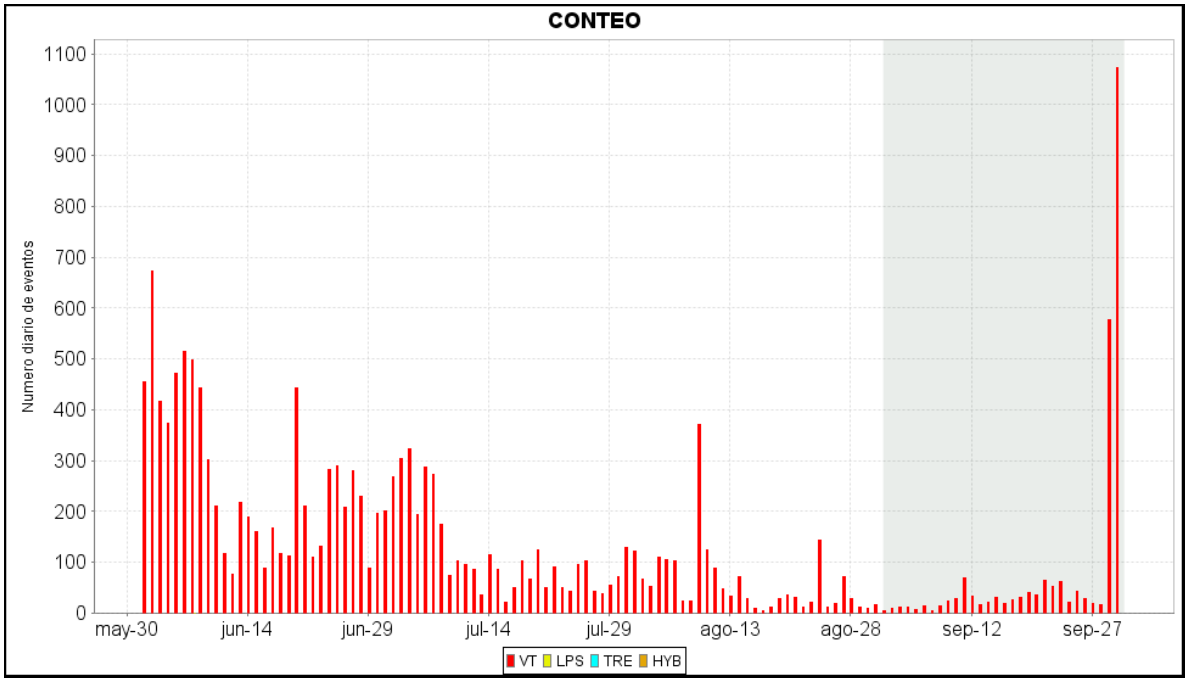

Figura 80. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.

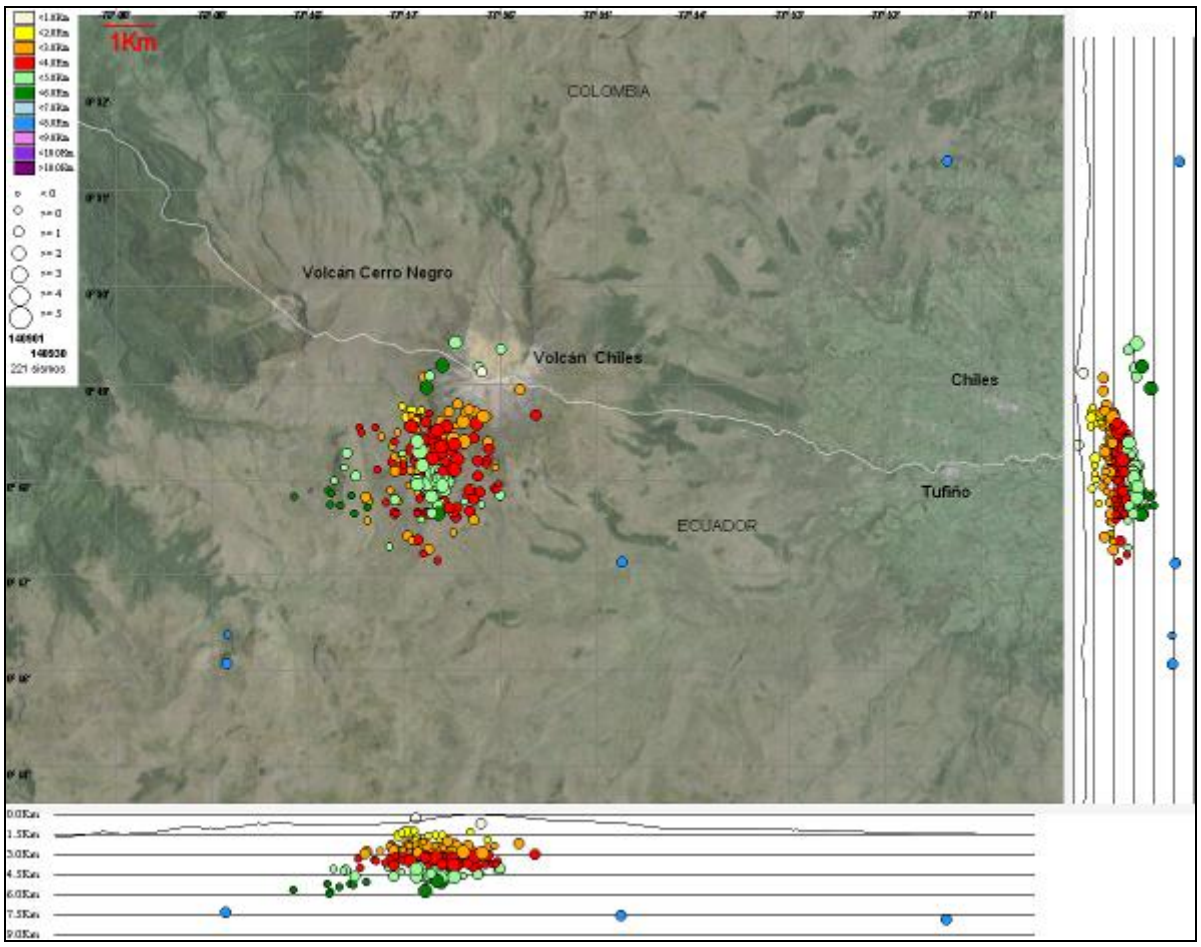

Figura 81. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de septiembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1,5 km de profundidad 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

Con respecto al comportamiento de los inclinómetros instalados en Chiles-Cerro Negro nos permitimos informarles lo siguiente:

Para el inclinómetro el Morro, se consideran dos periodos de deformación, el primero desde su instalación hasta principios de abril, con una variación aproximada de 90 y 80 µrad para la componentes Norte y Este respectivamente; el segundo periodo, con un cambio de tendencia, que inicia en abril y se mantiene hasta la fecha, con variaciones para la componente Norte y Este de 70 y 30 µrad (Figura 82).

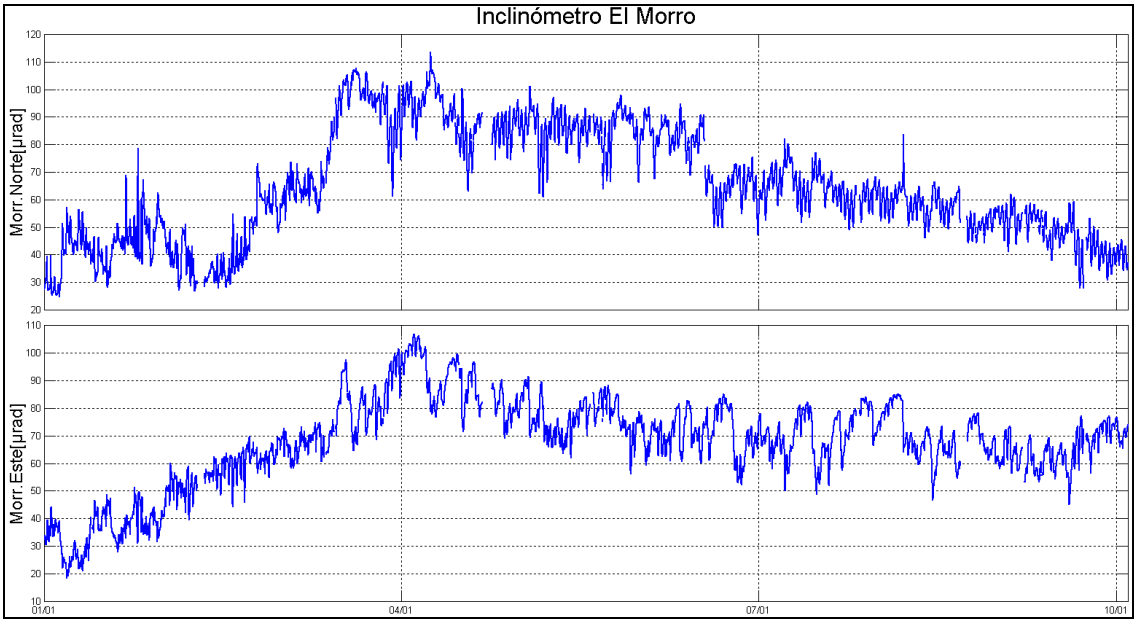

Figura 82. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre enero y septiembre de 2014.

En la Figura 83 se presenta el registro del Inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, el cual continúa con el comportamiento ascendente desde el 14 de diciembre de 2013, acumulando hasta el 30 de septiembre de 2014, cerca de 1550 µrad y 1340 µrad, 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 84).

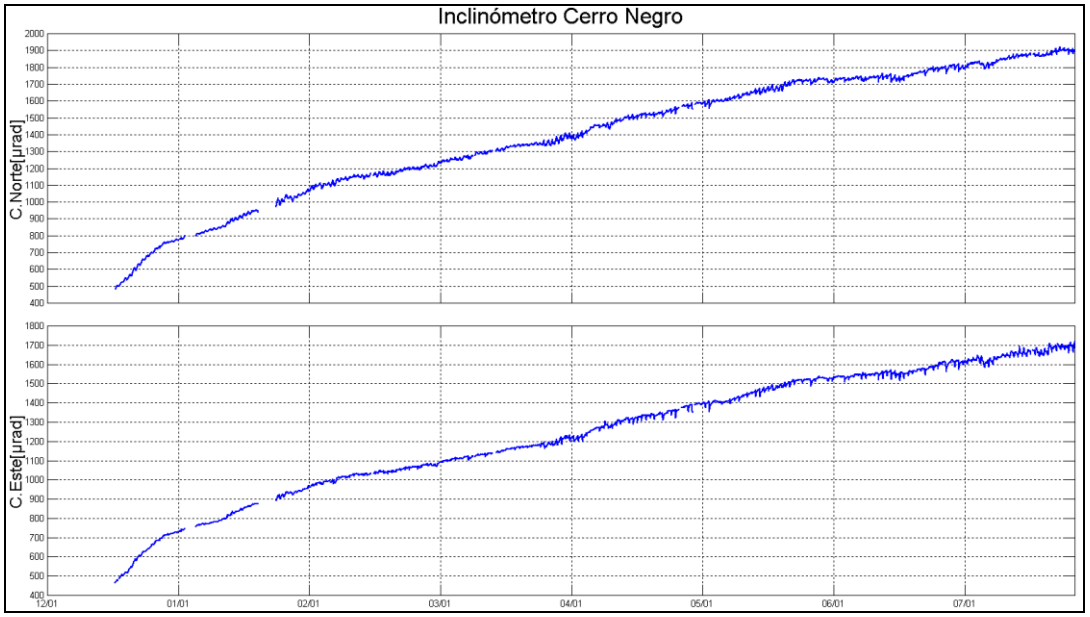

Figura 83. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre diciembre de 2013 y julio de 2014.

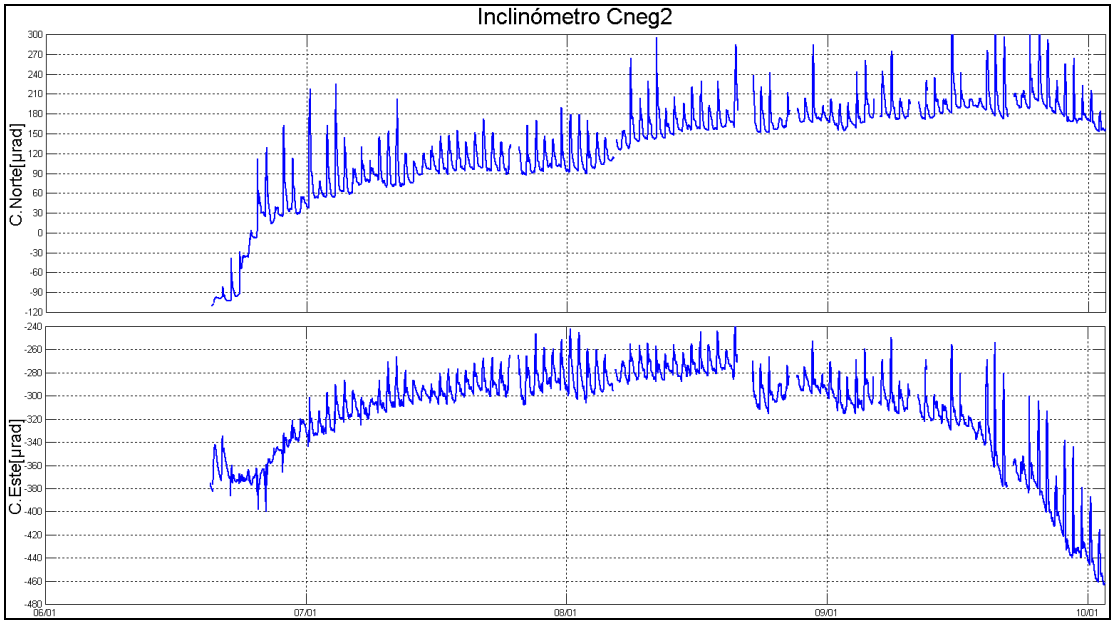

Figura 84. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Cerro Negro – 2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre junio y septiembre de 2014.

El inclinómetro Chiles salió de funcionamiento el 8 de septiembre debido a problemas de radio enlace en la estación (Figura 85).

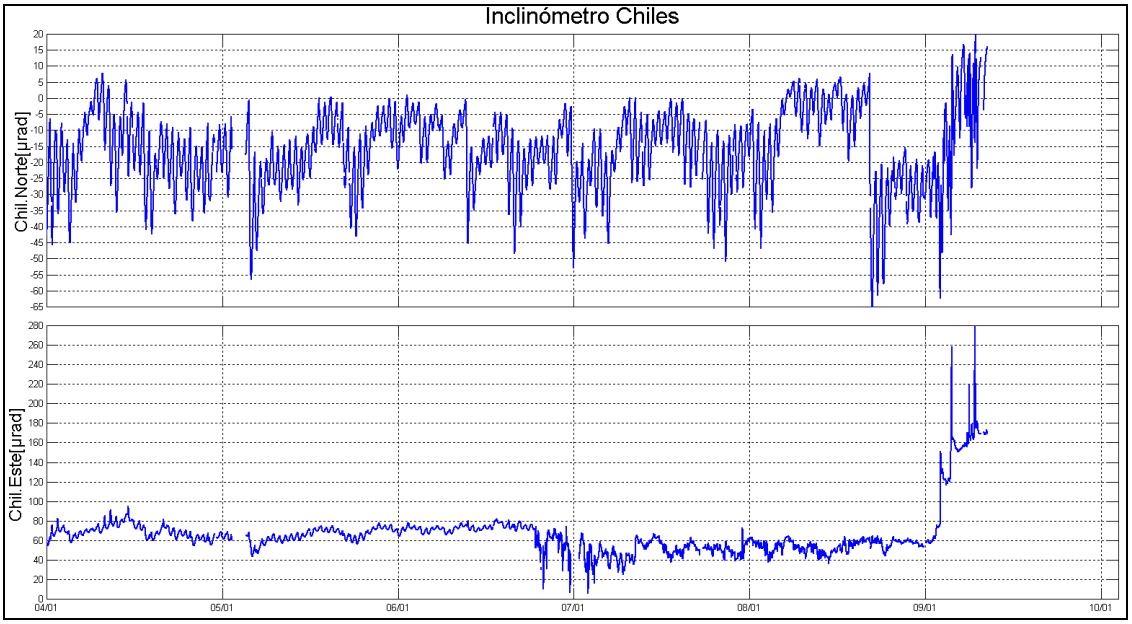

Figura 85. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre enero y septiembre de 2014.

Para el inclinómetro Cerro Negro 2, se observó que desde su instalación hasta el 20 de agosto, mantuvieron tendencias similares, con valores parecidos. A partir de esta fecha las dos componentes mostraron cambios, que modifican la dirección y magnitud del vector resultante, con respecto a Cerro Negro (Figura 86).

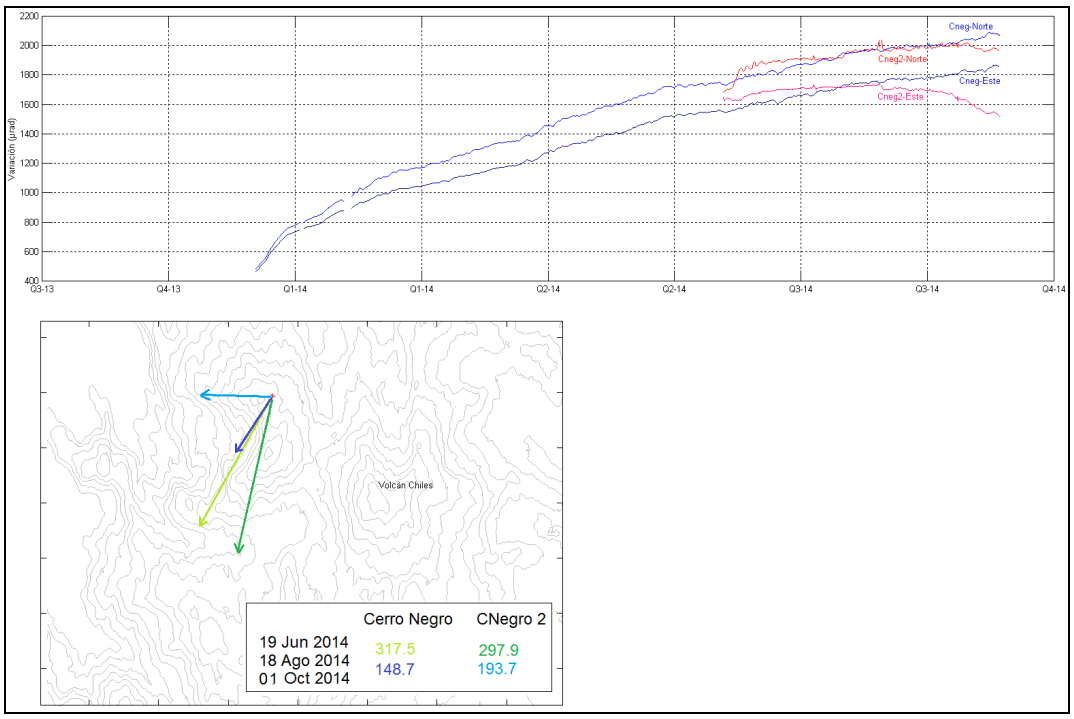

Figura 86. Vectores resultantes de los inclinómetros Cerro Negro y Cerro Negro - 2, para los periodos comprendidos entre el 19 de junio y el 18 de agosto y el 18 de agosto hasta el 30 de septiembre de 2014.

Es importante mencionar que estas últimas variaciones se presentaron un mes antes de los cambios en sismicidad, por lo que no se descarta que obedecen a cambios en el comportamiento volcánico.

El vector resultante del inclinómetro Cerro Negro está dirigido hacia el sur occidente del edificio volcánico indicando inflación, siendo más consecuente con el modelo de dique, inidcando una deflación hacia el sector noreste del edificio. El vector resultante de Cerro Negro 2, para el segundo periodo indica deflación hacia el oriente del volcán, que sigue siendo consistente con el modelo del dique.

3.5. GEOQUÍMICA

En el mes de septiembre 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 septiembre 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 septiembre de 2014 permitió mantener para la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en **NIVEL AMARILLO ☐ (III): "Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica".**

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

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 87).

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

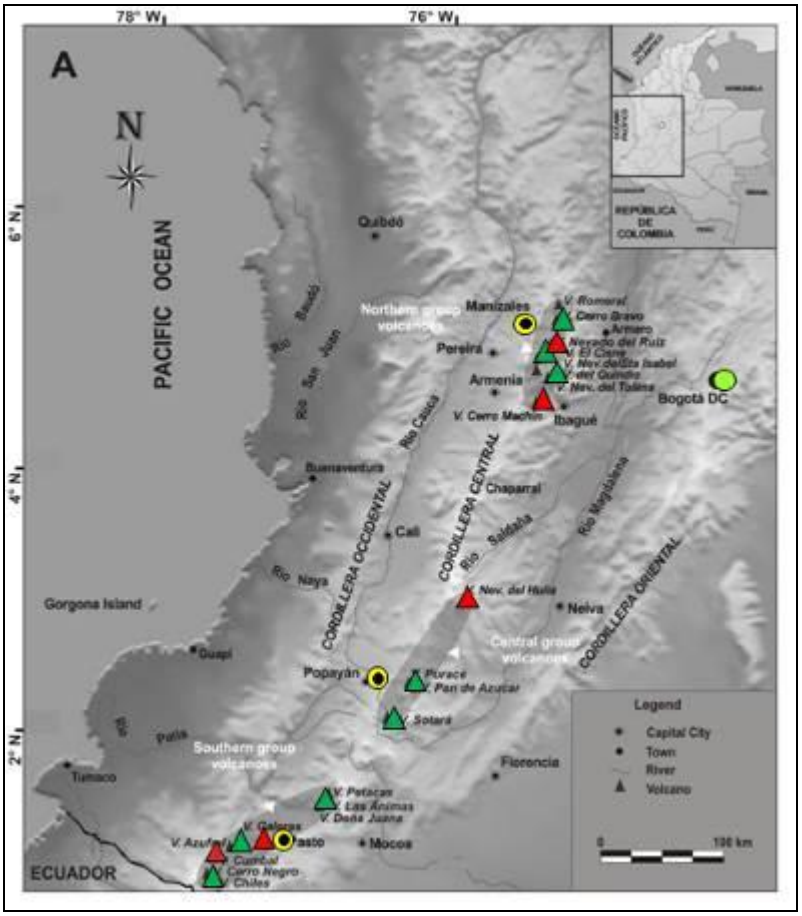

Figura 87. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.

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

4.1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS

4.1.1. Ubicación Geográfica

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente Colombia en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 Km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 Km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño y Florencia, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 88).

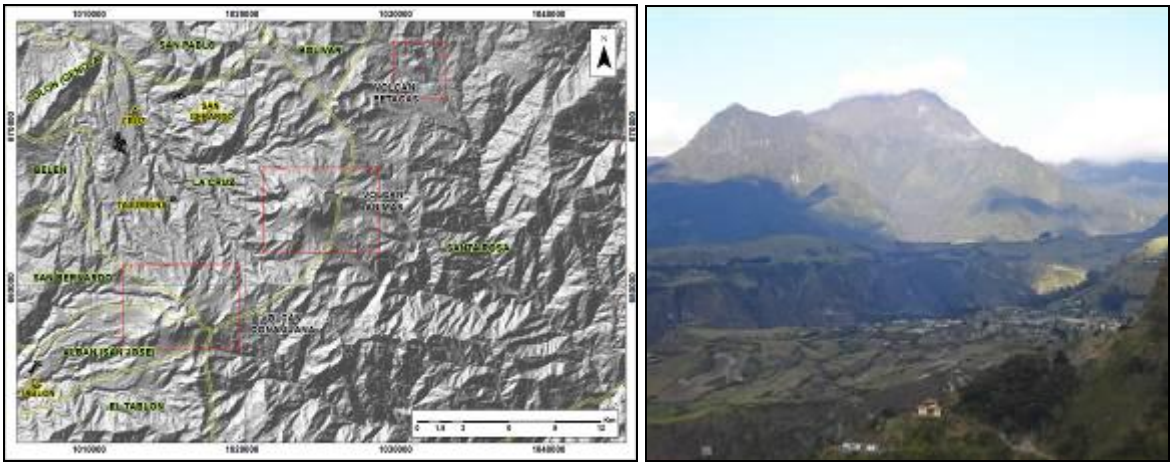

Figura 88. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

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 89 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.

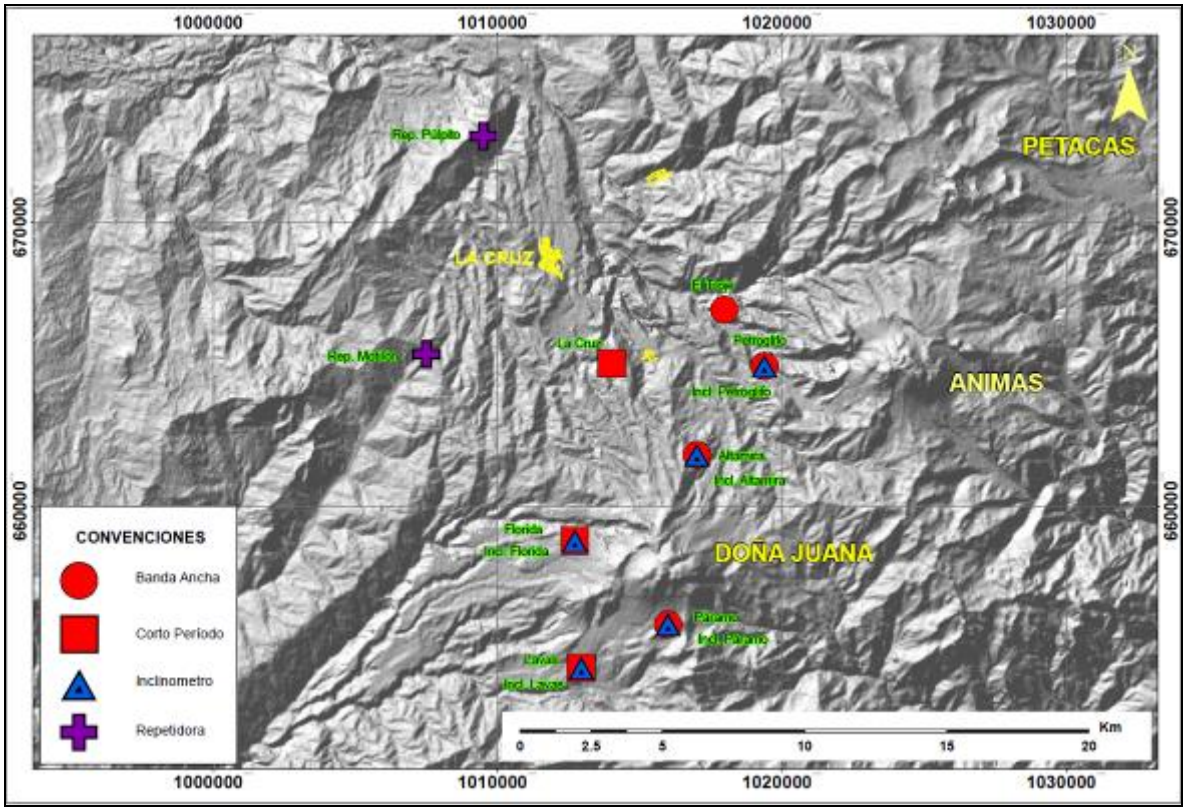

Figura 89. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de septiembre de 2014. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas.

Tabla 22. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en septiembre 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 95,8% (Figura 90).

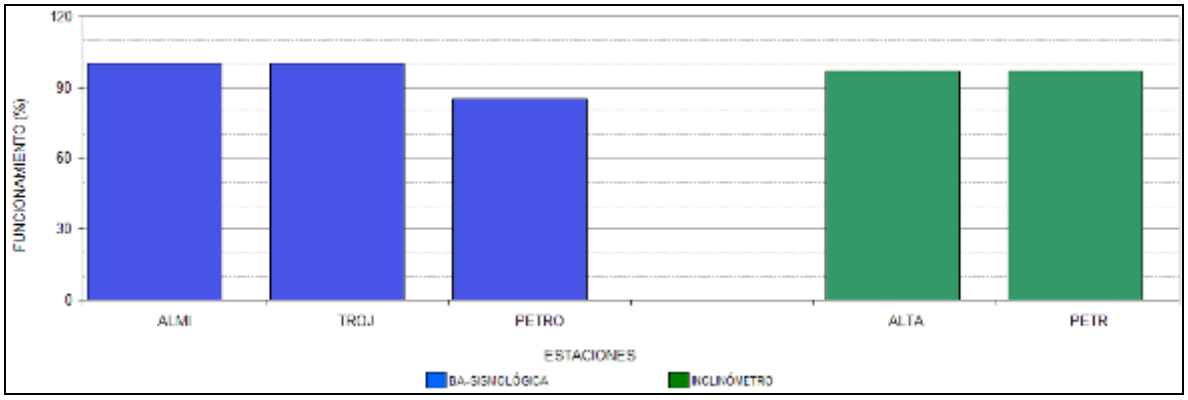

Figura 90. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante septiembre de 2014.

4.1.3. Sismología

Respecto a la actividad de este volcán, en el mes de septiembre se registraron 13 eventos tipo VT (Tabla 23), de los cuales se localizaron 8 sismos, 5 de ellos ubicados al nororiente del volcán a menos de 5 km de distancia y a profundidades alrededor de los 16 km respecto a la cima volcánica. Otros dos eventos se localizaron al suroccidente de Las Ánimas con profundidades entre los 4 y 6 km. El último evento se localizó al Norte del volcán a 13 km de distancia y a 16 km de profundidad. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 1,9 en la escala de Richter (Figura 91).

Tabla 23. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VOL	TOTAL
01-jun-14 a 30-jun-14	1	0	0	0	0	1
01-jul-14 a 31-jul-14	0	0	0	0	0	0
01-ago-14 a 31-ago-14	1	0	0	0	0	1
01-sep-14 a 30-sep-14	13	0	0	0	0	13

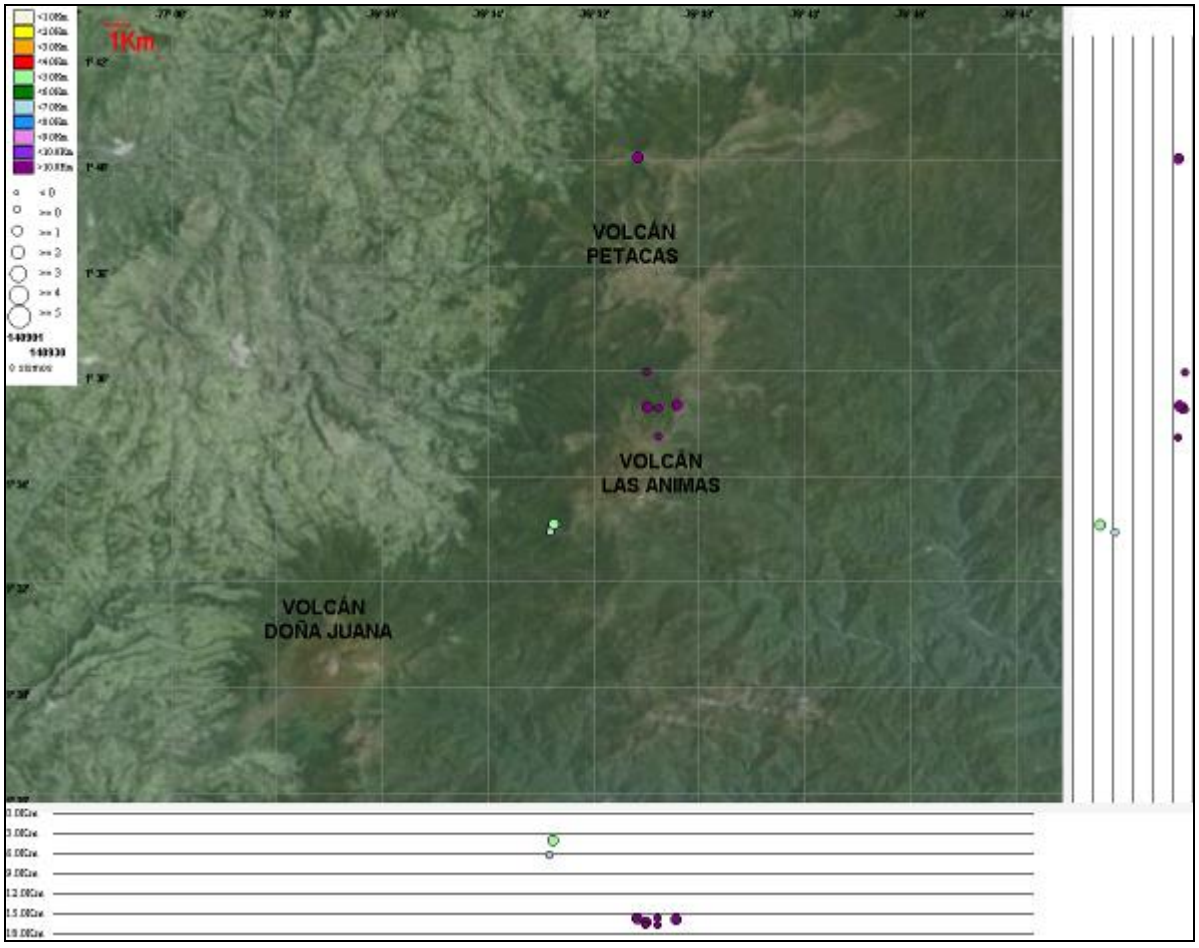

Figura 91. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas en el mes de septiembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,0 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.1.4. Deformación

Respecto al registro del inclinómetro Petroglifo (ubicado a 7,9 km al noroeste del volcán, 3137 m.s.n.m.), desde el 11 de mayo de 2014, las componentes norte y este indican un comportamiento ascendente, acumulando hasta el 30 de septiembre de 2014 variaciones de 90 y 150 µrad respectivamente (Figura 92).

En septiembre de 2014, las componentes Norte y 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 93).

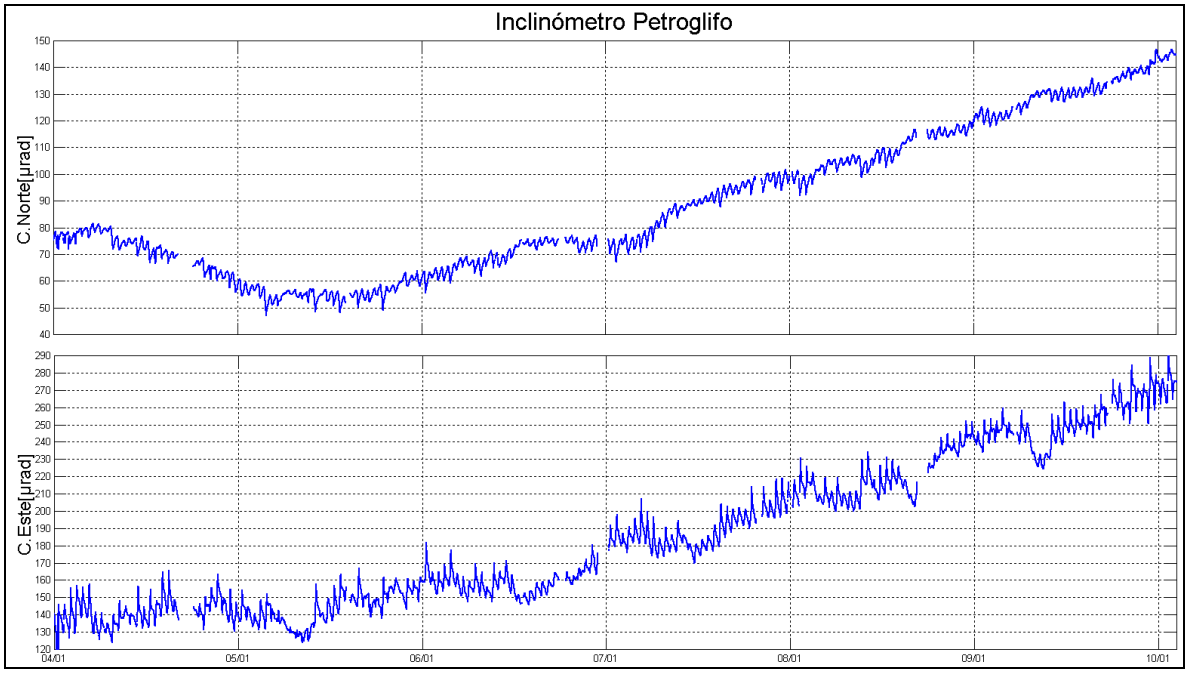

Figura 92. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

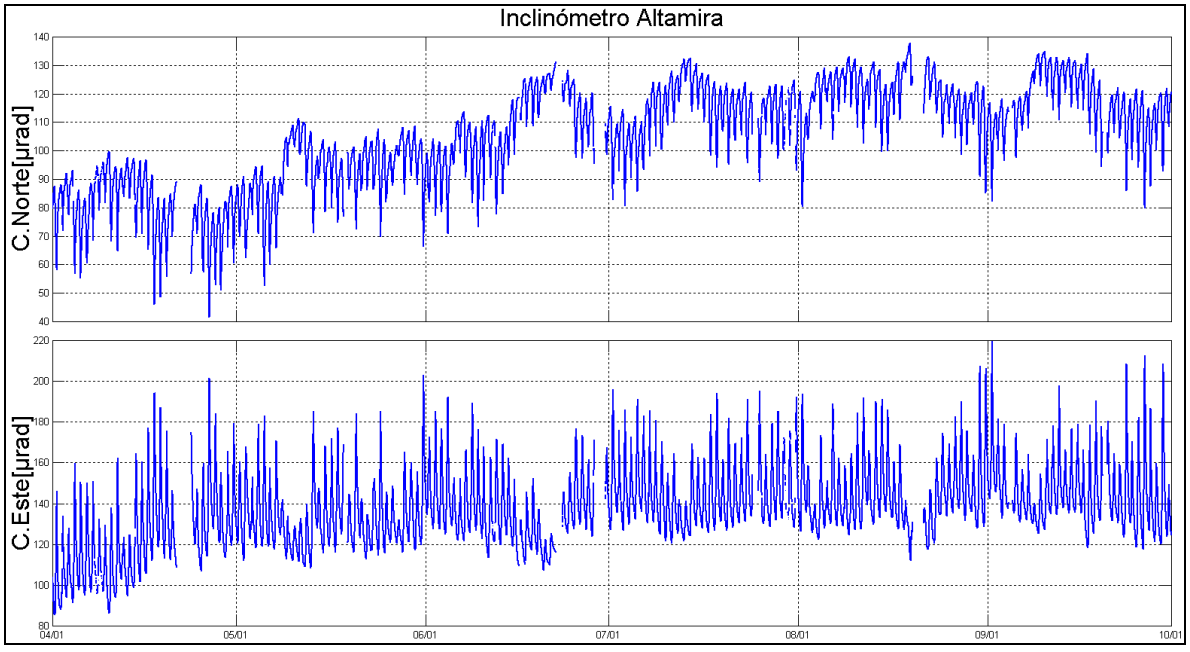

Figura 93. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de septiembre 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 septiembre el nivel del volcán permaneció en **NIVEL VERDE** 🟢 **(IV): "Volcán activo y comportamiento estable"**.

4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA

4.2.1. Red de Vigilancia

Para el mes de septiembre de 2014, la red de vigilancia del volcán Doña Juana estuvo conformada por:

- Tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de Corto Periodo y una de Banda Ancha (Figura 94, Tabla 24).

- La red de deformación del volcán Doña Juana cuenta con tres inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 94, Tabla 24).

Adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 94, Tabla 24).

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvo un funcionamiento promedio del 93,3% (Figura 95). La estación Lavas (sismológica) presentó problemas de interferencia de señal y conectividad en el sistema de adquisición que impiden la recepción de la componente vertical, bajando su porcentaje de funcionamiento al 66%.

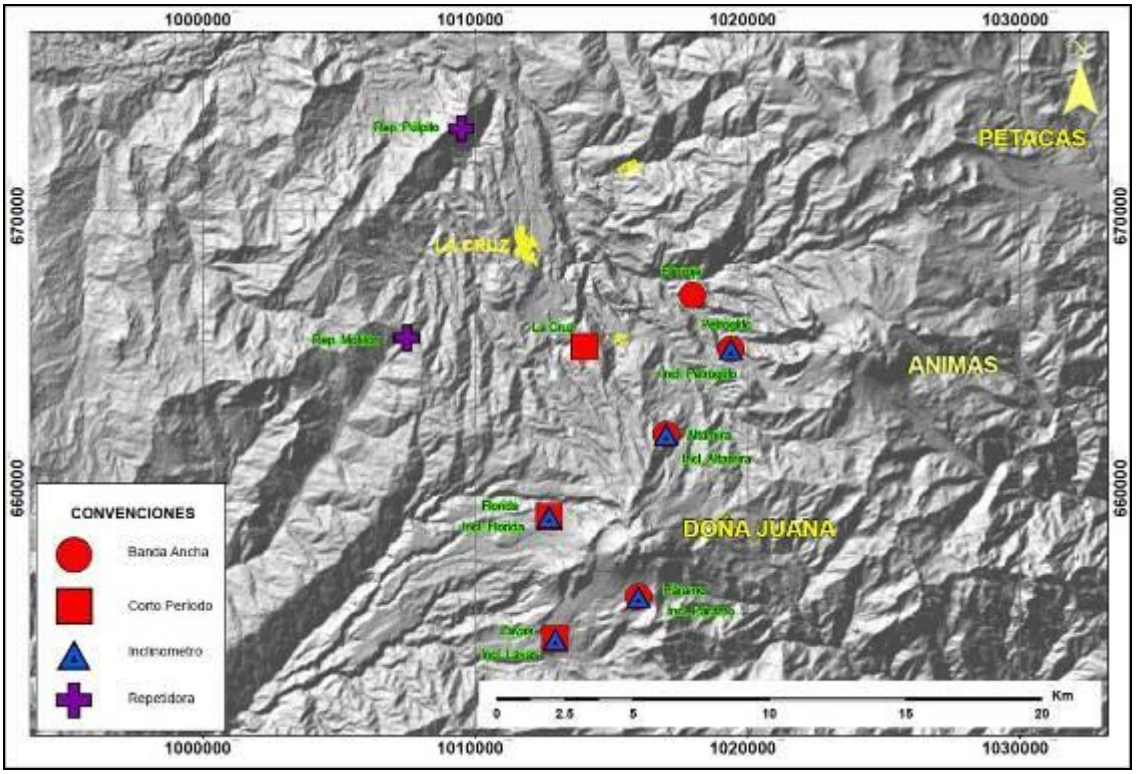

Figura 94. Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.

Tabla 24. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en septiembre 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

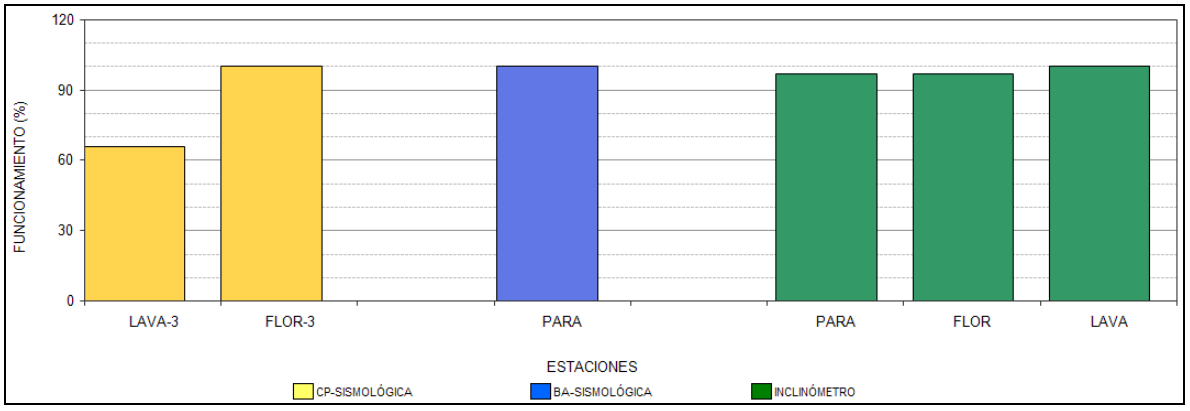

Figura 95. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de septiembre de 2014.

4.2.2. Sismología

En el mes de septiembre se tuvo registro de cuatro sismos VT de bajo nivel energético (Tabla 25, Figura 96), uno de ellos localizado al sur del volcán a 5 km de los domos de Doña Juana y a 7,5 km de profundidad respecto a la cima volcánica, con una magnitud de 1 en la escala de Richter (Figura 97).

Tabla 25. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre 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-jun-14 a 30-jun-14	0	0	0	0	0
01-jul-14 a 31-jul-14	1	0	0	0	1
01-ago-14 a 31-ago-14	1	0	0	0	1
01-sep-14 a 30-sep-14	4	0	0	0	4

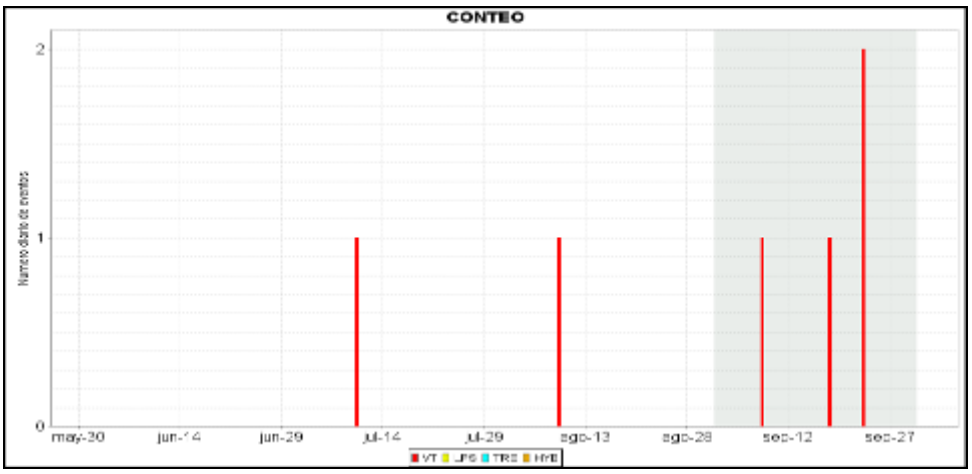

Figura 96. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Doña Juana entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.

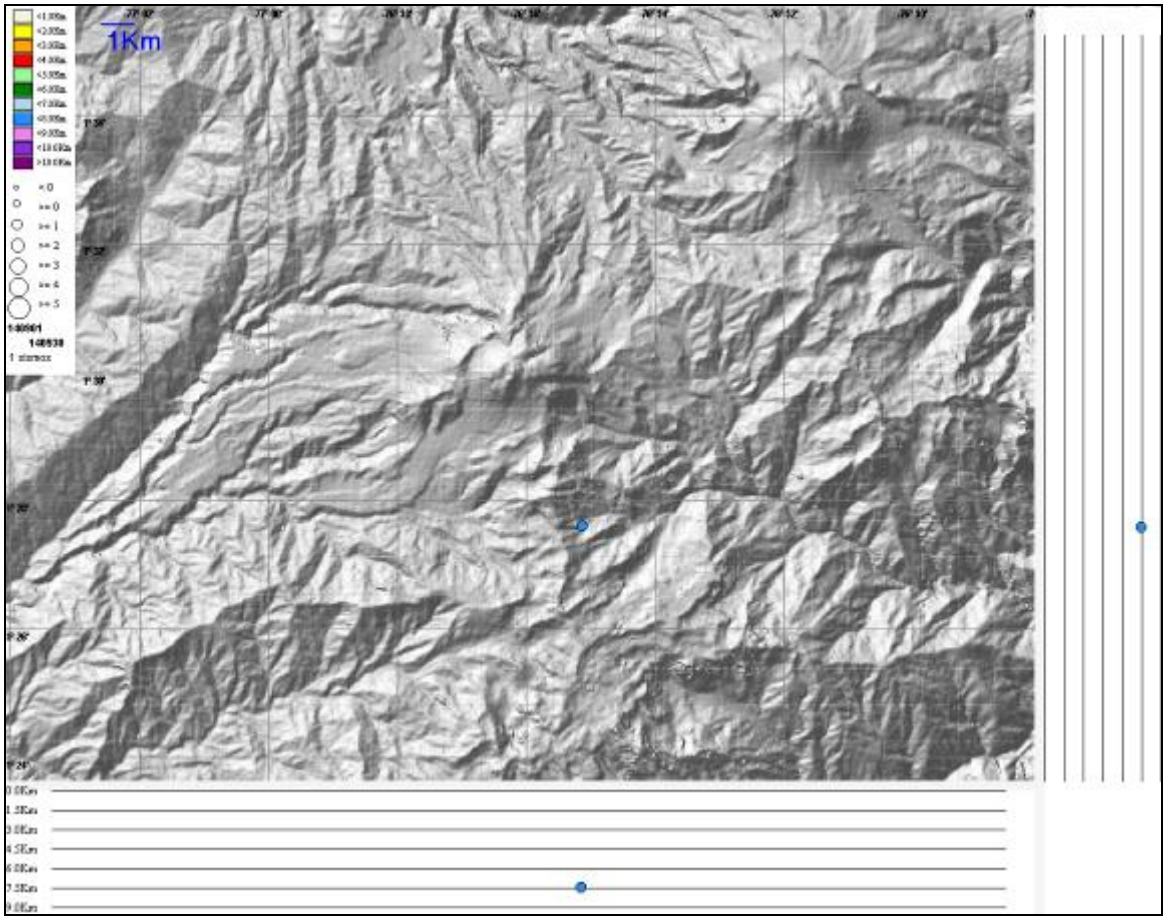

Figura 97. Localización epicentral e hipocentral del sismo de fractura registrado por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en el mes de septiembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color del círculos depende de su profundidad.

4.2.3. Deformación

El inclinómetro Lavas (ubicado a 4 km., al sur-oeste de los domos, 3145 m.s.n.m.), muestra en el último mes en su componente Este un comportamiento ascendente, acumulando entre el 1 y 30 de septiembre una variación cercana a los 50 µrad; por su parte, la componente Norte presenta estabilidad en su comportamiento (Figura 98).

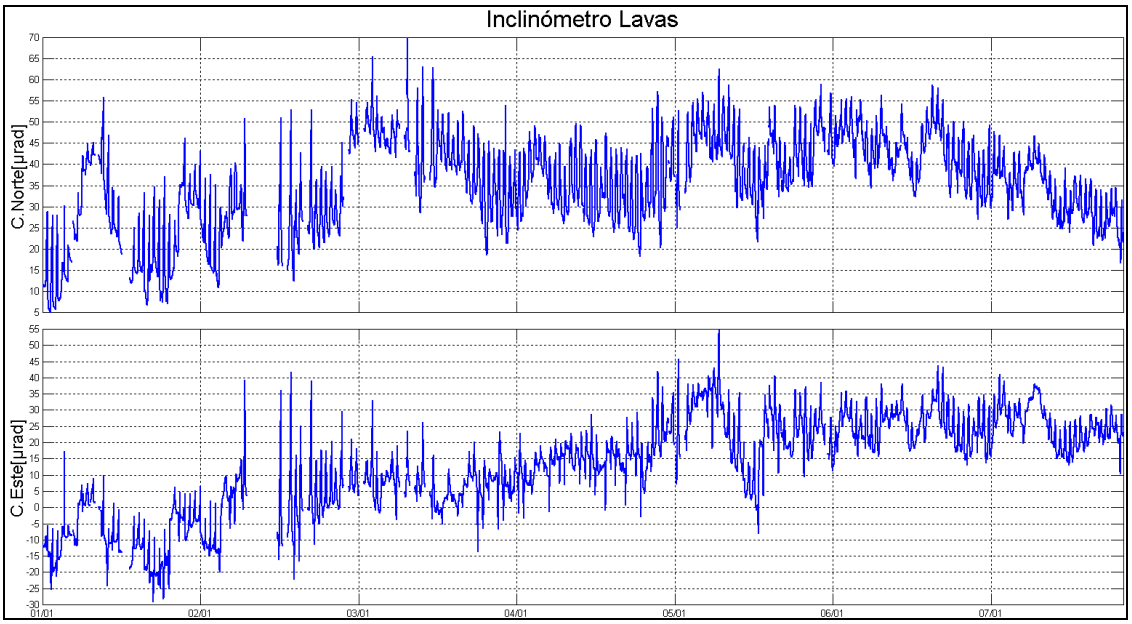

Figura 98. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

El inclinómetro electrónico Florida (ubicado a 2.3 km., al Oeste de los domos del volcán Doña Juana, 3154 msnm) muestra que las componentes Norte y Este continúan registrando un comportamiento estable con variaciones por debajo de los 30 µrad (Figura 99).

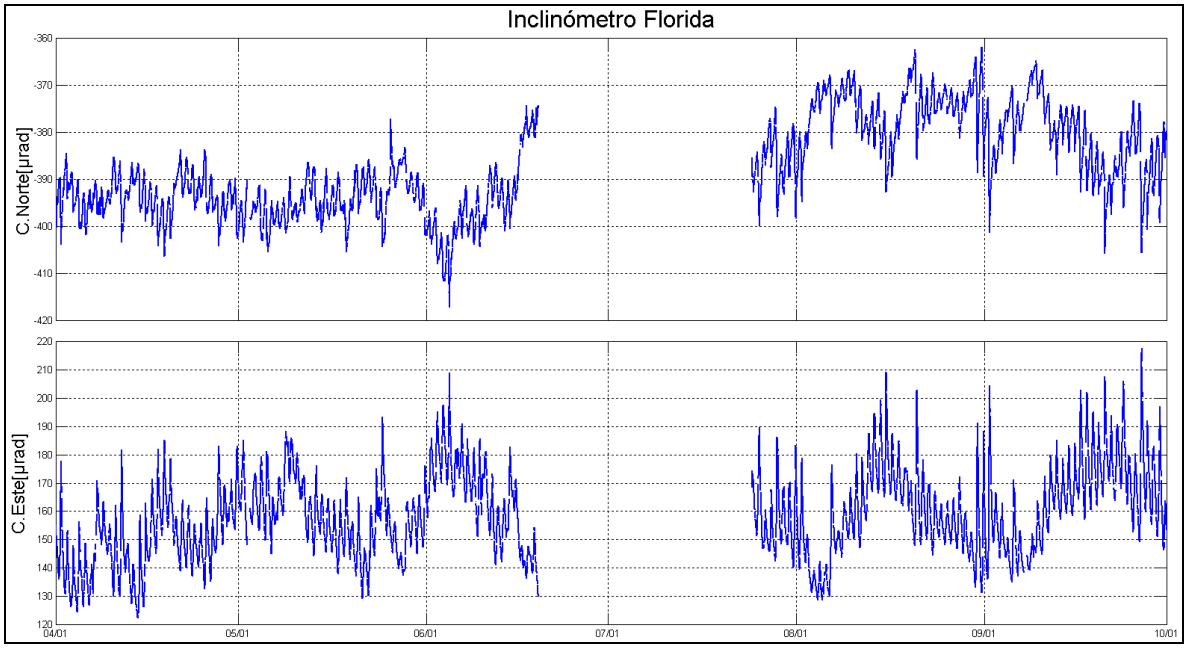

Figura 99. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

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 septiembre 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 septiembre 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 100 se muestra la distribución de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 26 están sus características. Adicionalmente se cuenta con una estación climatológica cerca a la estación La Roca, que consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medidas de radiación solar. A partir del 14 de mayo se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas del 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 101).

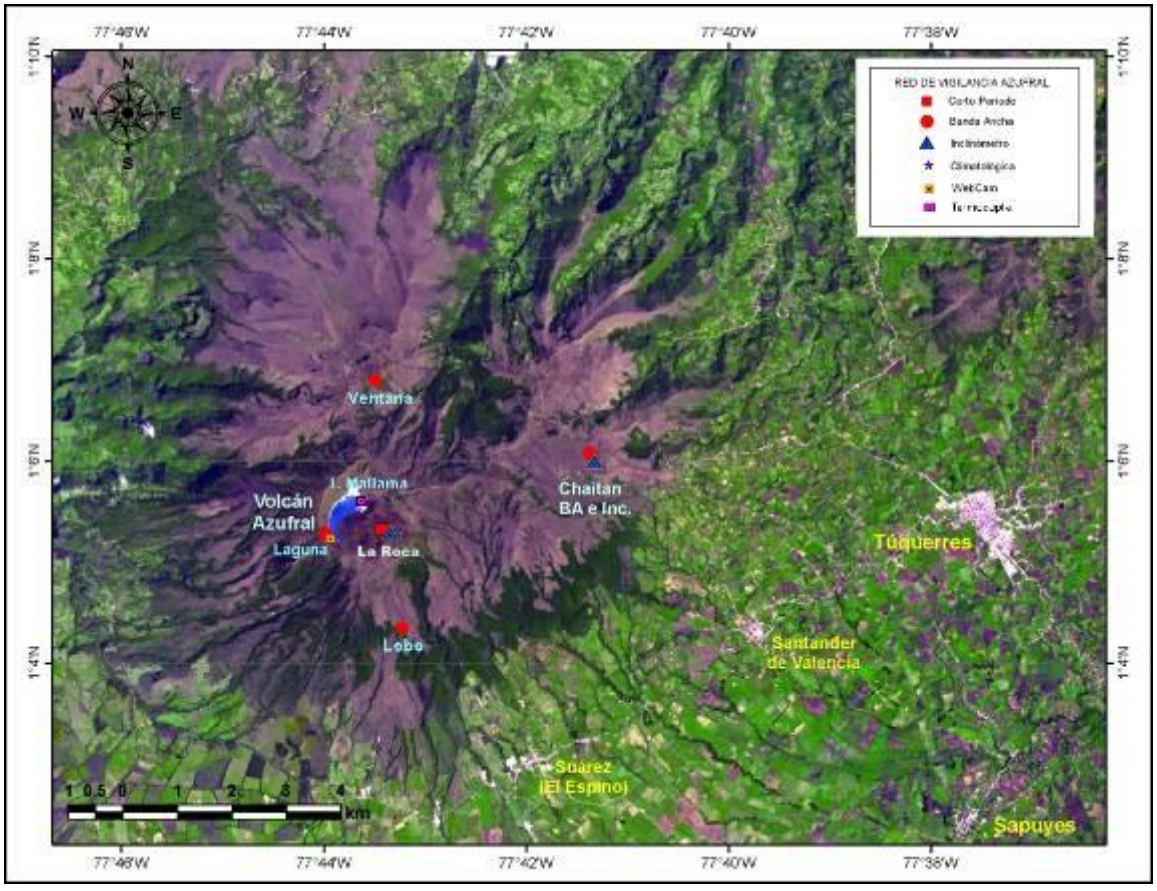

Figura 100. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2014.

Tabla 26. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante septiembre 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

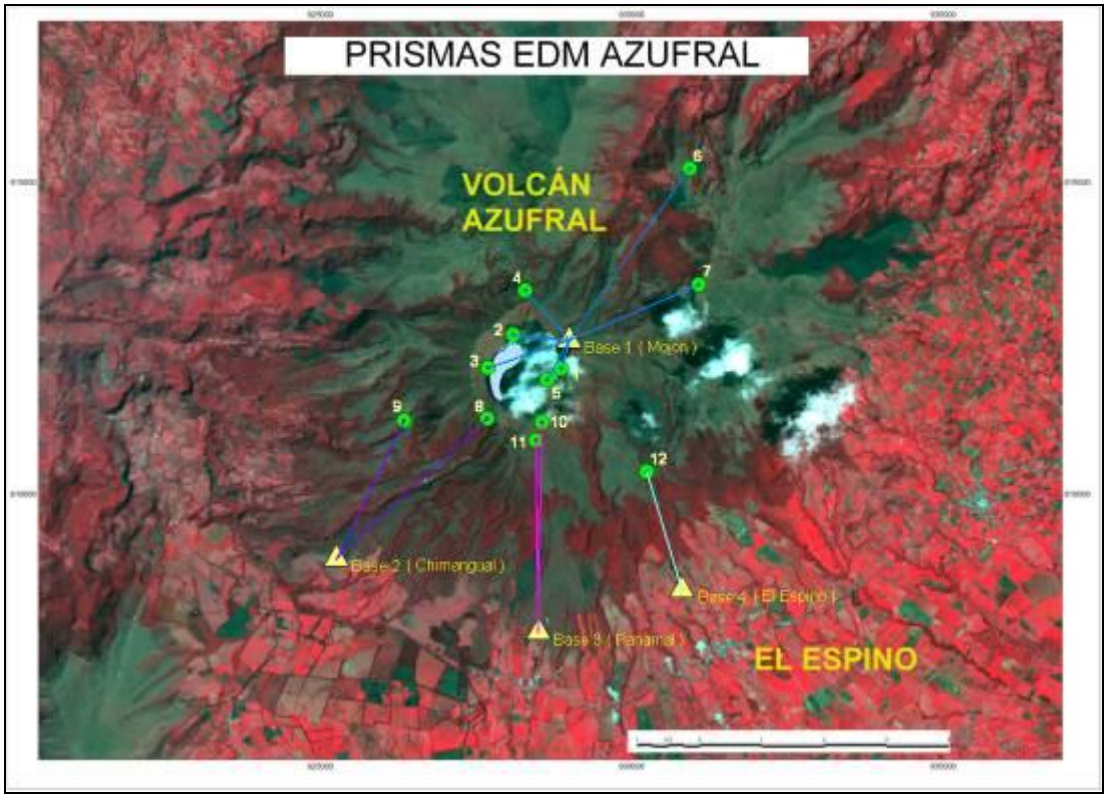

Figura 101. Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Azufral. Los triángulos de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2, 3 y 4, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 97,2% para este mes (Figura 102). La estación El Lobo presenta un porcentaje de funcionamiento del 63% debido a que el sistema sensor-digitalizador no responde adecuadamente, por lo que fue necesario realizar labores de mantenimiento correctivo en campo y ajustes de manera remota, teniendo así a partir del 11 de Septiembre registro adecuado de esta estación.

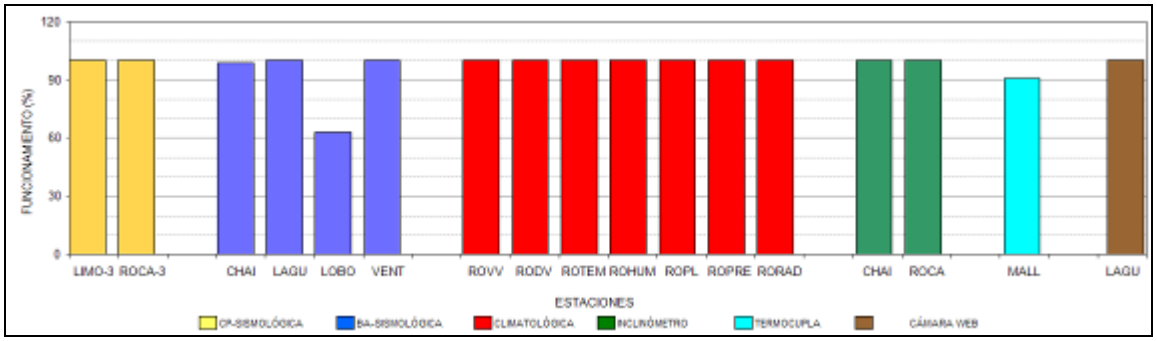

Figura 102. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de septiembre de 2014.

4.3.2. Sismología

Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán en septiembre 2014 fue 2,3 veces mayor en comparación a la registrada en agosto, pasando de 7 a 16 eventos sísmicos tipo VT (Tabla 27, Figura 103), de los cuales fueron localizados tres que se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, a distancias de hasta 5,5 km respecto a la Laguna cratérica, a profundidades entre 3 y 10 km respecto a la cima volcánica y magnitudes locales entre 0,8 y 2,3 en la escala de Richter (Figura 104).

Tabla 27. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-jun-14 a 30-jun-14	5	0	0	0	5
01-jul-14 a 31-jul-14	1	0	0	0	1
01-ago-14 a 31-ago-14	7	0	0	0	7
01-sep-14 a 30-sep-14	16	0	0	0	16

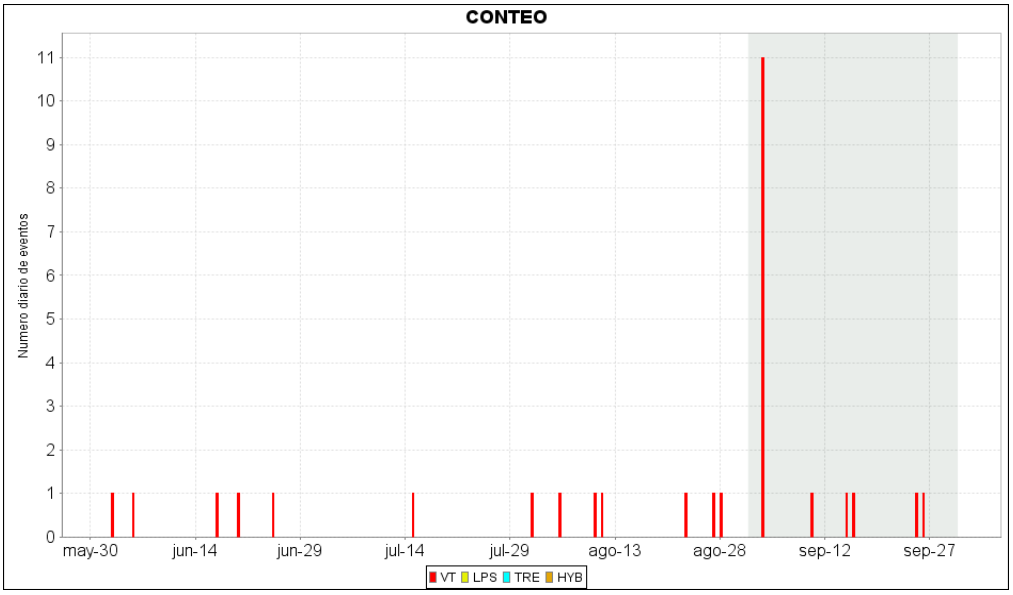

Figura 103. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de junio y el 30 de septiembre de 2014.

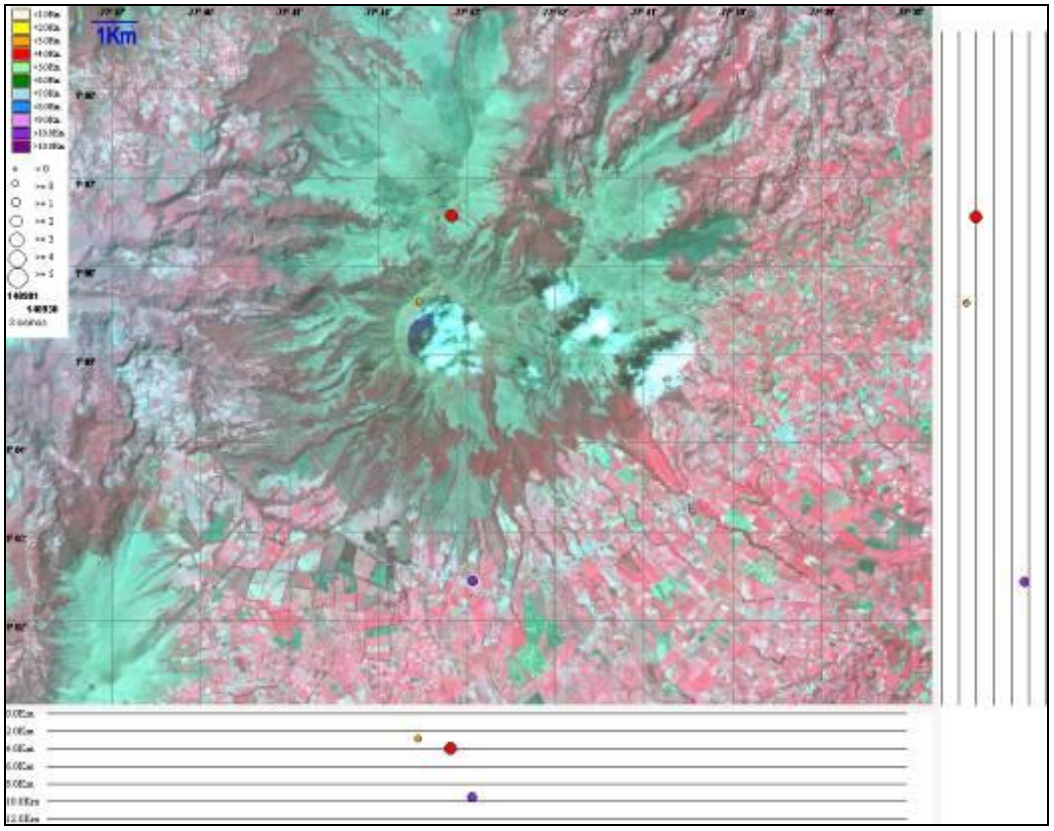

Figura 104. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de septiembre de 2014, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto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

4.3.3. Deformación

4.3.3.1. Inclinometría 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 cratérica, 3730 m.s.n.m.), mostraron comportamientos que obedecen al registro del sensor de la temperatura del equipo (Figura 105). Por su parte, las componentes Norte y este del inclinómetro La Roca (ubicado a 1,2 km., al este de la laguna cratérica, 4025 msnm) muestran estabilidad en los últimos dos meses (Figura 106).

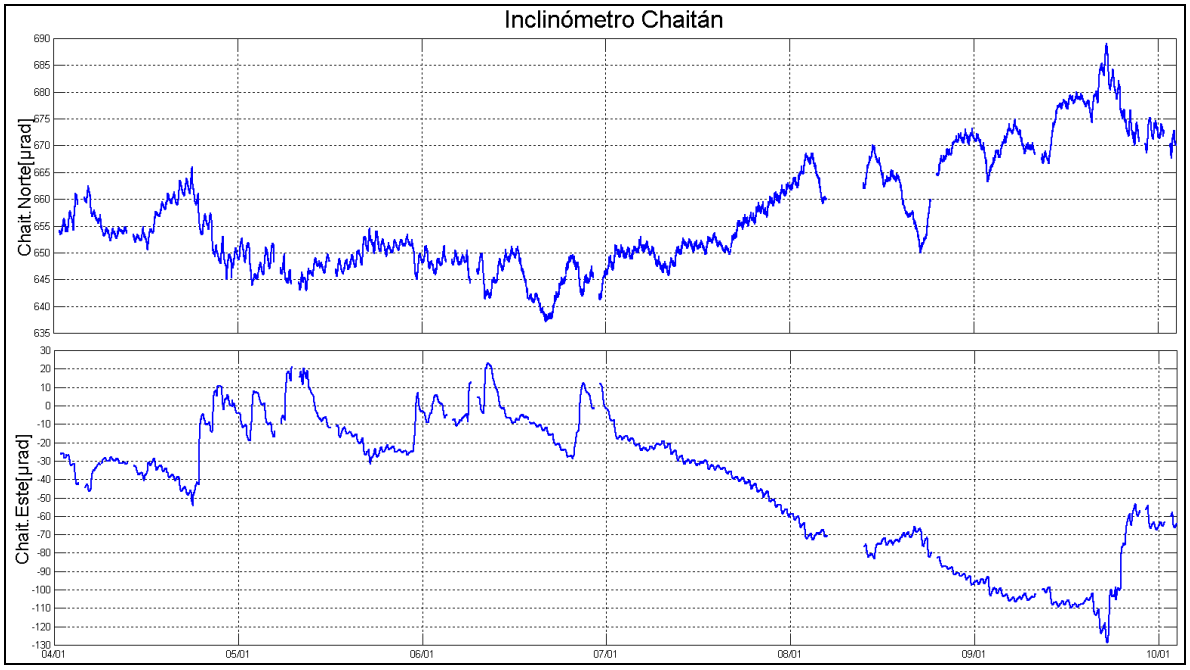

Figura 105. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chaitán instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

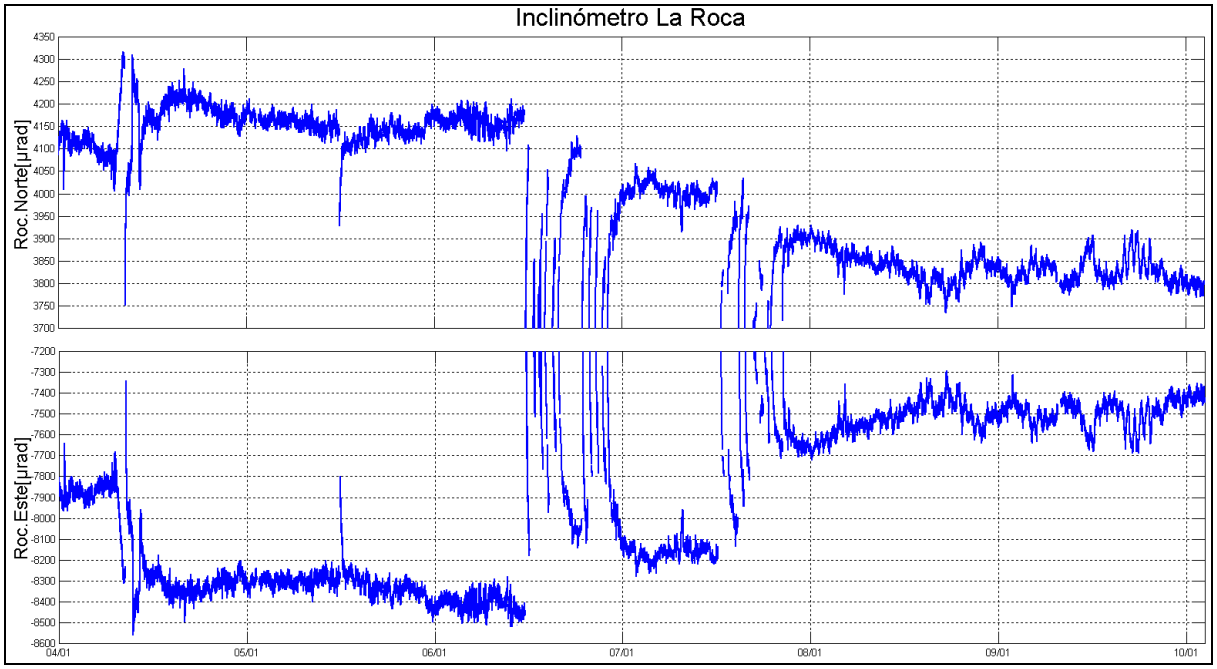

Figura 106. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre de 2014.

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

En la Figura 107 se observa el comportamiento de las mediciones realizadas desde las bases hacia los prismas sobre la superficie de Azufral. Las variaciones registradas en los prismas muestran máximos de 11 mm para el punto 9 registradas en septiembre de 2014.

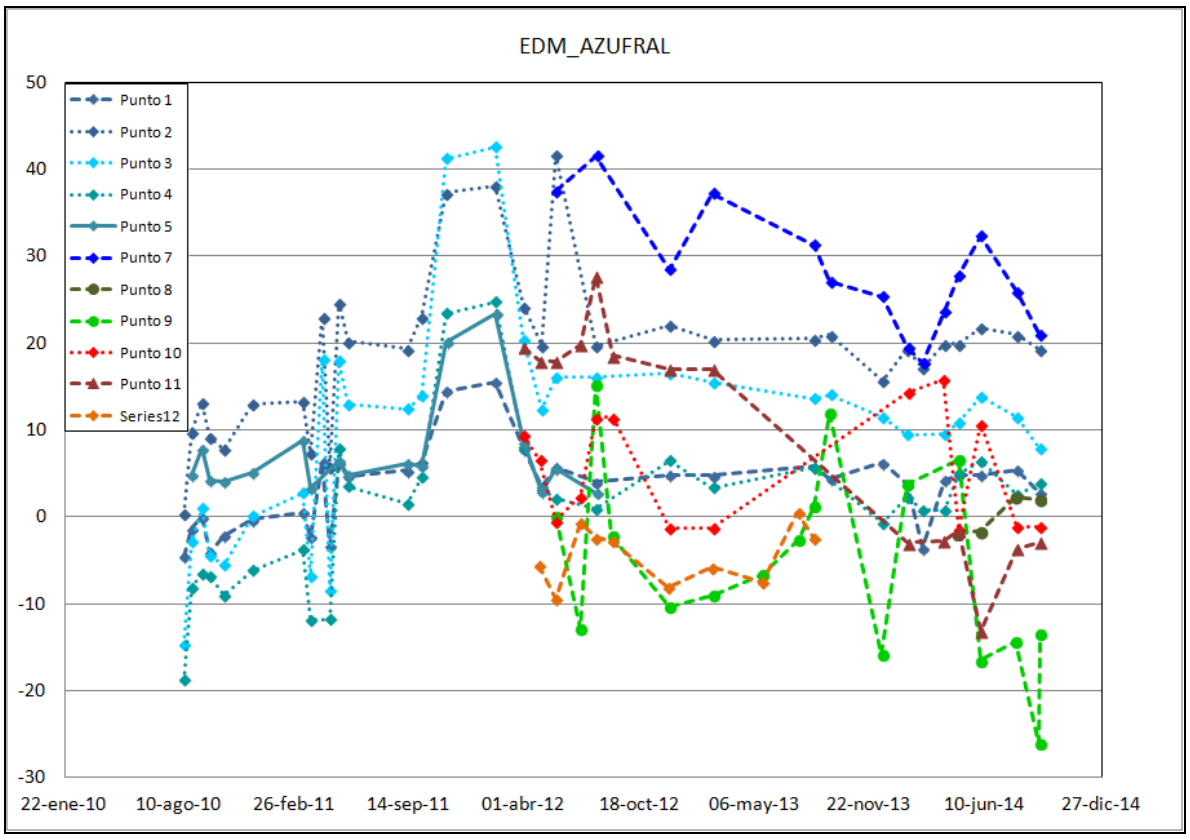

Figura 107. Comportamiento de las mediciones electrónicas de distancia EDM sobre la superficie de Azufral entre enero de 2010 y septiembre de 2014.

.

4.3.4. Geoquímica

4.3.4.1. Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Azufral

En el mes de septiembre se realizó un muestreo mediante la medición de dióxido de carbono (CO_2) difuso en suelo, en la zona de influencia del volcán Azufral (Figura 108). Se realizó un recorrido alrededor del domo Mallama, y cercanías al manantial termal Laguna Verde N°1, encontrando varios puntos de emisión de CO_2 difuso, en el que se registran valores entre 0,3 y 1660 mol/mq-d.

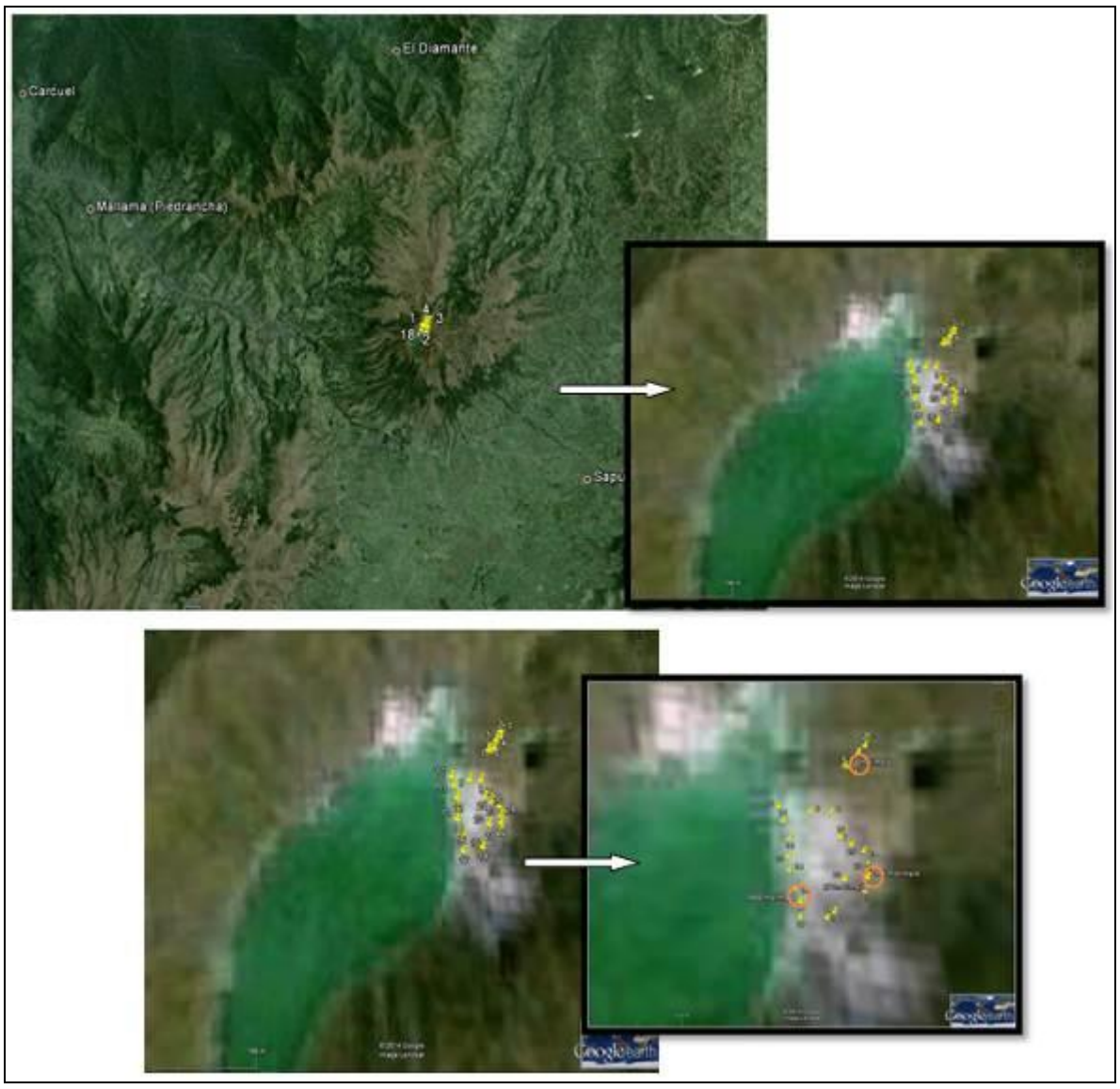

Figura 108. Mapa del recorrido para el muestreo de flujo de CO_2 difuso en suelo en campo fumarólico Domo Mallama, perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral. Septiembre 2014. En la gráfica los círculos naranja representan los puntos de mayor emisión.

4.3.4.2. Registro de temperatura –campo fumarólico Domo Mallama en Volcán Azufral

Durante el mes de Septiembre se realizaron medidas permanentes de temperatura en el campo fumarólico "Domo Mallama" del volcán Azufral (Figura 109) mediante una estación térmica telemétrica, también se realizaron muestreos de *g*ases mediante los métodos Giggenbach y de trampa alcalina (Figura 110).

A continuación se presenta el mapa de localización del campo fumarólico Domo Mallama en la cual se realizan las mediciones anteriormente mencionadas.

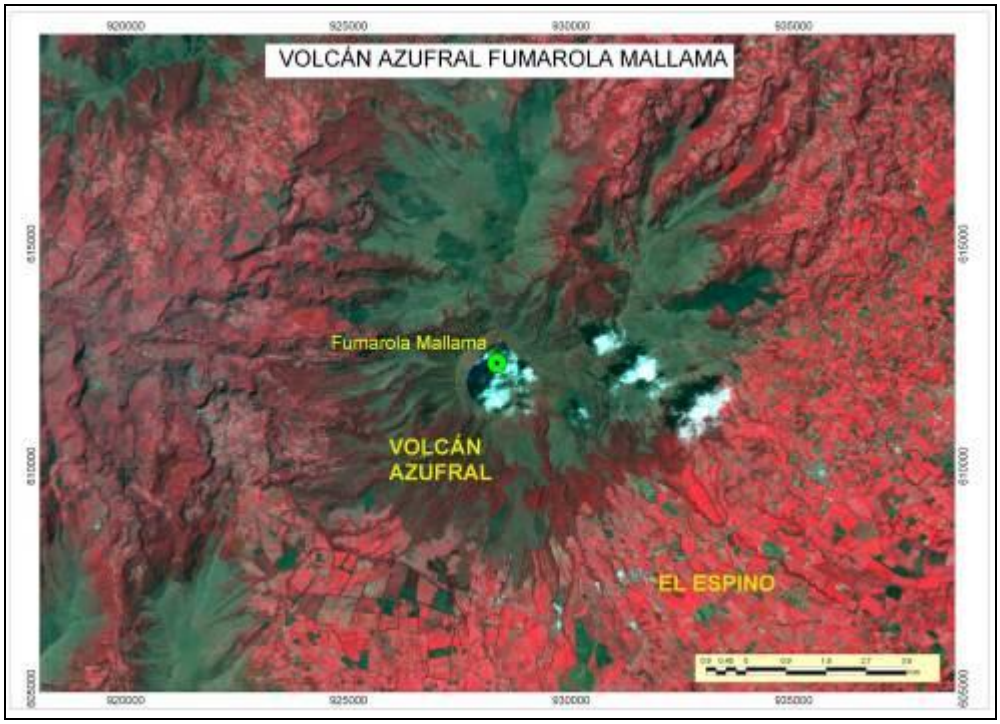

Figura 109. Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

Los resultados de las muestras tomadas se darán a conocer en los informes siguientes porque aún no se tienen los resultados. La muestra de la trampa alcalina no fue posible recolectarla por evaporación de la solución alcalina y sobresaturación de la misma.

Figura 110. Muestreo de gases de origen volcánico-Método Giggenbach y trampa alcalina en el Volcán Azufral

En la Figura 111 se encuentra graficada la variación de temperatura a partir de los datos diarios obtenidos de la estación telemétrica Mallama, con una tasa de muestreo de 10 minutos. A partir del mes de junio hasta septiembre del presente año. En la tabla 28 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 cuatro meses de operación. Se puede detectar una tendencia estable durante el periodo de funcionamiento, con un incremento a mediados del mes.

Tabla 28. Variación de la temperatura en el Domo Mallama del volcán Azufral.

Valores	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Máximo (°C)	103.7	97.6	101.4	100.4	103.2
Mínimo (°C)	83.3	87.4	88.6	89.5	85.1
Promedio (°C)	91.9	92.1	93.7	92.8	92.6

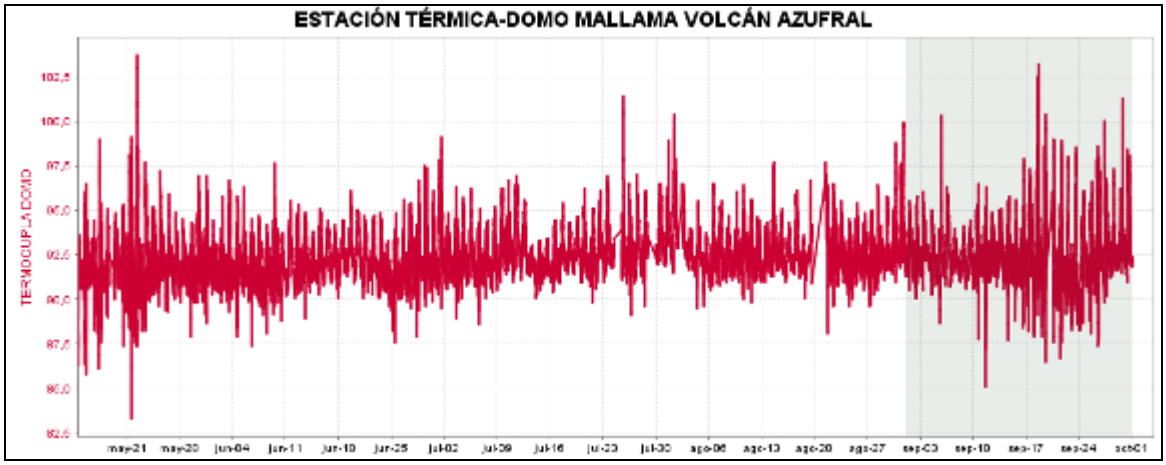

Figura 111. Variación de temperatura campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral para el periodo comprendido entre mayo y septiembre de 2014.

4.3.4.3. 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 112, Tabla 29).

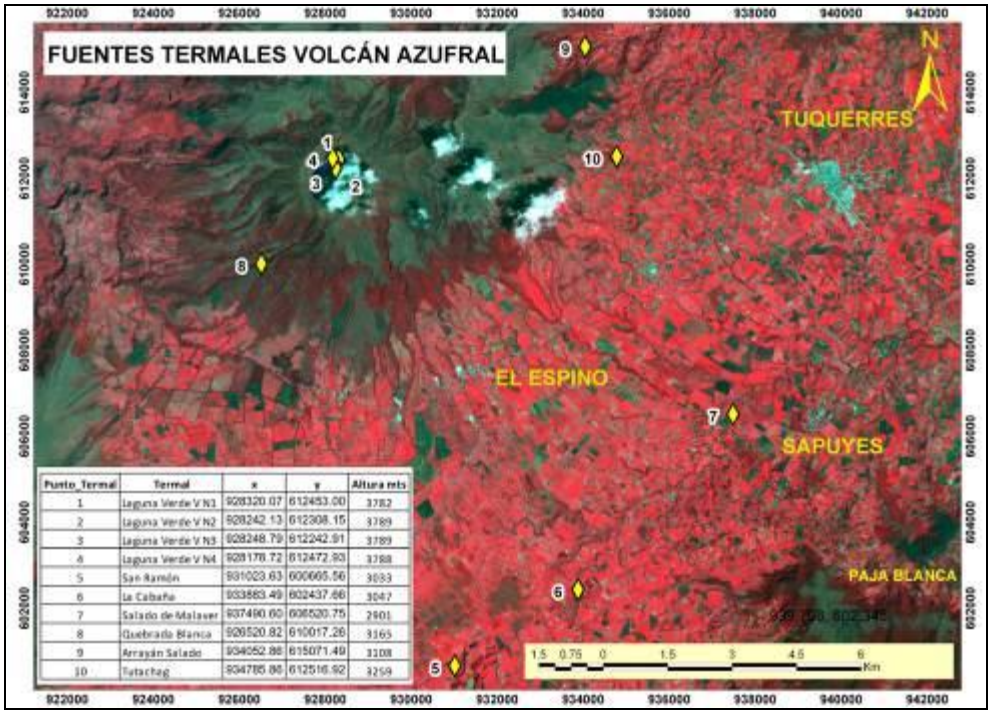

Figura 112. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

Tabla 29. Ubicación geográfica fuentes termales Volcán Azufral.

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

Para el mes de septiembre se realiza el muestreo de parámetros fisicoquímicos en la FT LV N°1, y no es 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 fueron mensurables, ni representativos.

En la figura 113 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de septiembre para las FT de la zona de influencia del volcán Azufral. Los colores en las gráfica indican el estado de acidez o basicidad del manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para pH.

La fuente termal muestreada en el volcán Azufral presenta durante el mes de septiembre un pH de 6,7 que es un valor cercano al neutro (Figura 114).

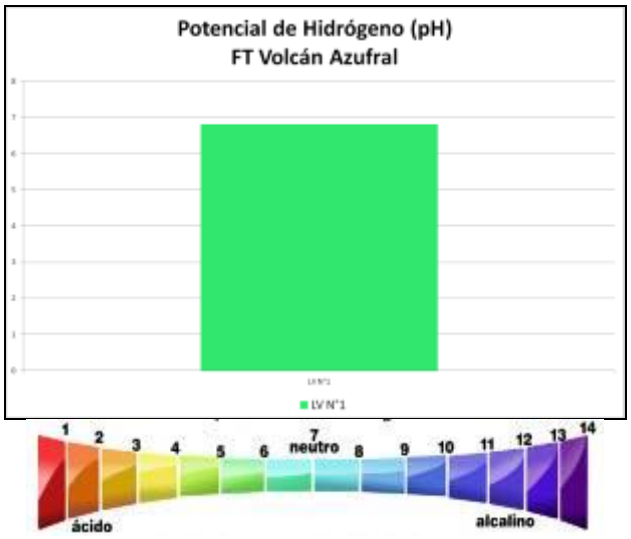

Figura 113. Potencial de hidrógeno de la FT LV N°1 del Volcán Azufral en julio de 2014.

En la Figura 114 se puede apreciar un valor constante de pH para la FT LV N°1, con respecto a meses anteriores.

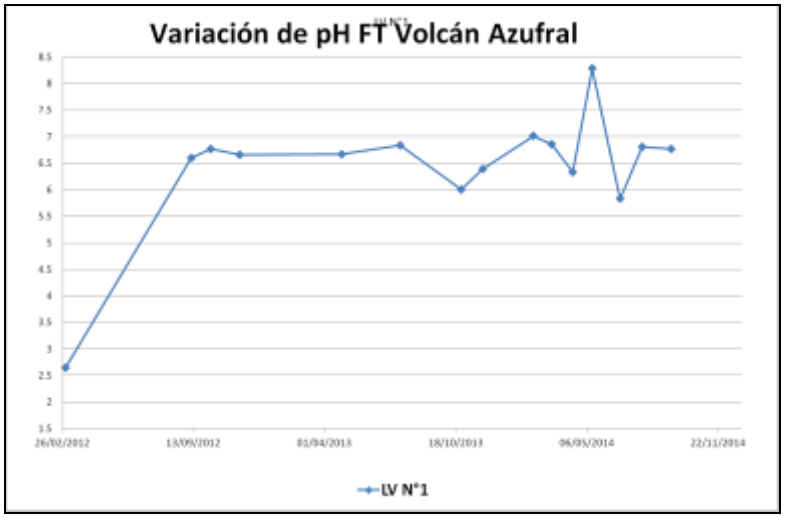

Figura 114. Variación del pH en la FT LV N°1 del Volcán Azufral en septiembre de 2014.

Respecto al comportamiento de parámetros como la temperatura se observa que para el mes de septiembre continúa descendiendo el valor de este parámetro, retornando al parecer a valores históricos presentados en el año 2013 (Figura 115).

Las variaciones del ión bicarbonato son mínimas por lo que se considera que mantiene un comportamiento estable (Figura 116).

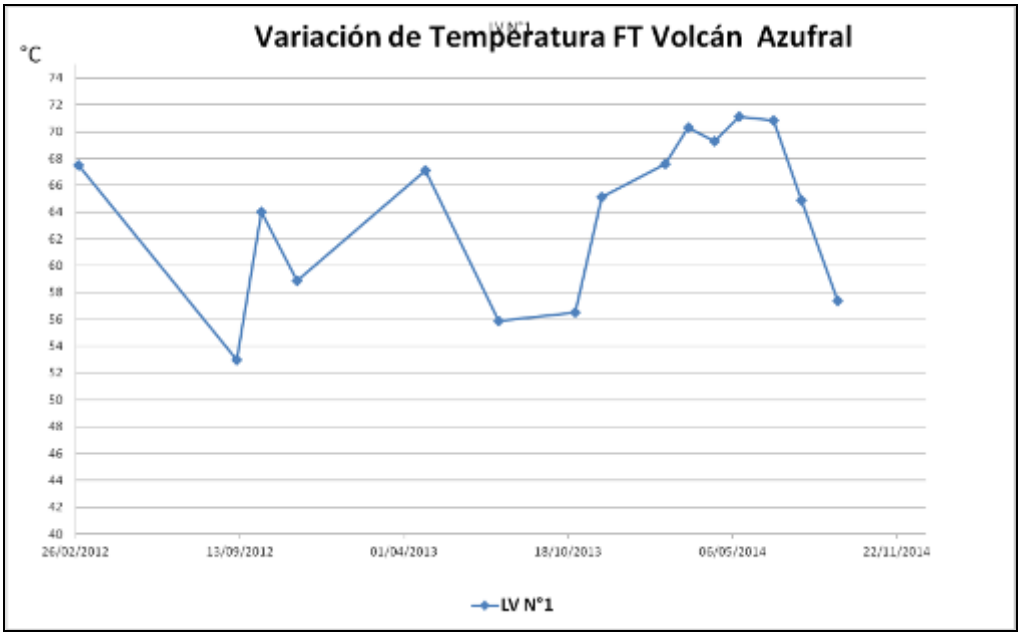

Figura 115. Variación de la temperatura en la FT LV N°1 del Volcán Azufral en septiembre de 2014.

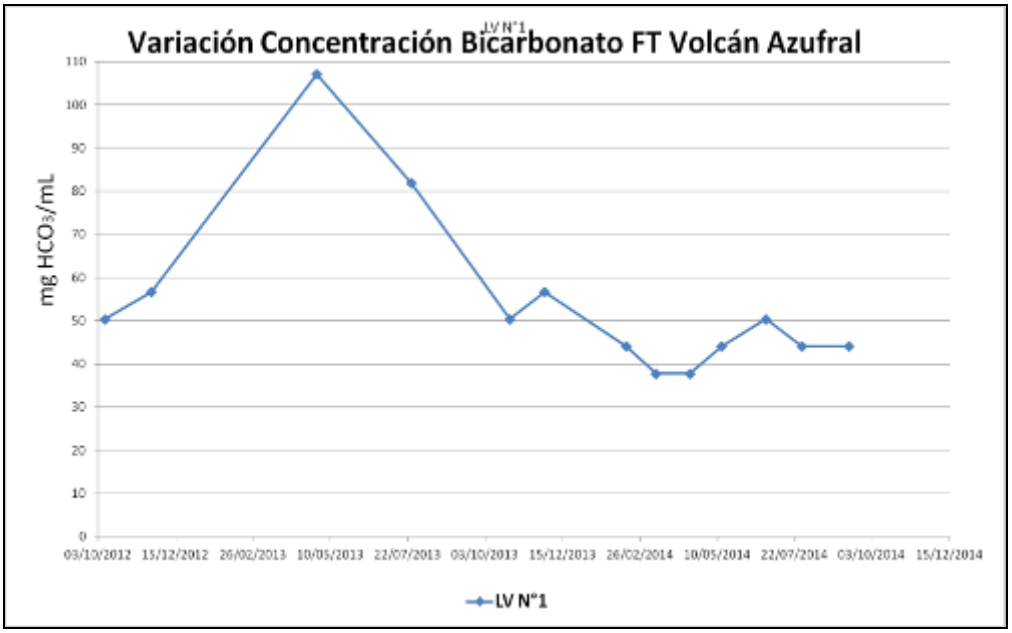

Figura 116. Variación en la concentración de bicarbonato en FT LV N°1 del Volcán Azufral en septiembre de 2014.

Sobre la conductividad eléctrica, para el mes de septiembre la FT LV N°1 1 se mantiene constante en el tiempo sin mostrar variaciones importantes (Figura 117).

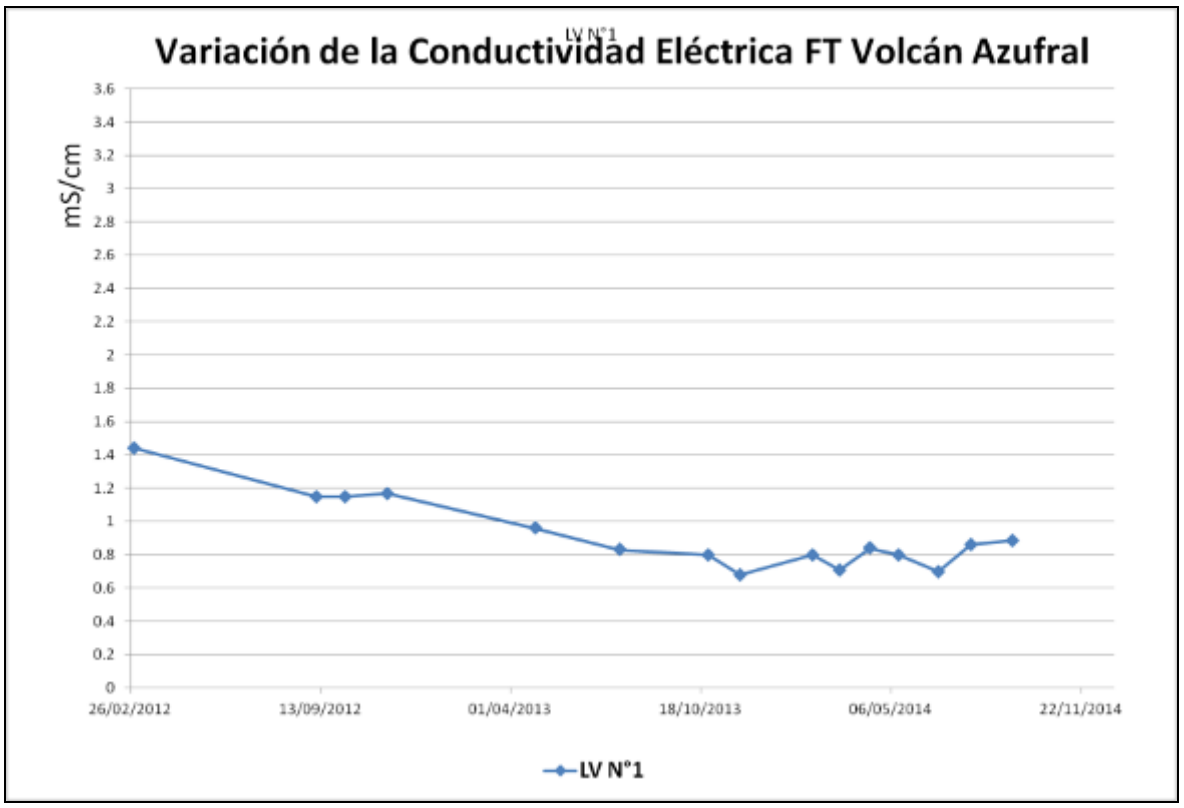

Figura 117. Variación de la conductividad eléctrica en FT LV N°1 del Volcán Azufral en septiembre de 2014.

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

- **Fuente termal LV N°1**
- Temperatura superficial: 57,4ºC (Temperatura registrada en septiembre de 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.

4.3.5. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante los días 3, 4, 6, 11, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27 y 30 de septiembre 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 118 y 119).

Figura 118. Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 20 de septiembre a las 6:58 a.m.

Figura 119. Emisiones de gases del volcán Azufral capturadas desde la cámara ubicada hacia el sector sur occidente de la Laguna Verde el 26 de septiembre a las 7:43 a.m.

4.3.6. Conclusión

- La evaluación de la actividad volcánica de Azufral durante septiembre de 2014 permitió establecer el **NIVEL VERDE** 🟢 **(IV): "Volcán activo y comportamiento estable"**.