

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	Abr/2015
Título		Informe Mensual de Actividad del volcán Galeras y los volcanes Cumbal, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Marzo de 2015.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
Identificador	En proceso de definición	
Descripción	Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados	Presentación de resultados y análisis de los datos obtenidos del monitoreo continuo a la actividad de los volcanes Galeras, Doña Juana, Las Ánimas, Cumbal, Azufral, Chiles y Cerro Negro en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Se utiliza gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones específicas donde el conjunto de datos ha sido o se está utilizando. Incluye opcionalmente lista de anexos, fuentes y documentos relacionados con el conjunto de datos.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales.(Investigación, plan, programa, proyecto)	Proyecto

Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	Investigación y Monitoreo de la Actividad Volcánica (AME13-06).
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos	Marzo de 2015.
Dominio Espacial		
Extensión geográfica	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km ²	Zona de influencia del Volcán Galeras. Zona de influencia del Volcán Cumbal. Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral. Zona de influencia del Volcán Las Ánimas. Zona de influencia de los volcanes

		Chiles y Cerro Negro.
Coordenadas /limites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	<p>Descriptor primarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación -Electromagnetismo -Geoquímica -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios	<ul style="list-style-type: none"> - Zona de influencia del Volcán Galeras, cono activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto. - Zona de influencia del Volcán Cumbal - Zona de influencia del Volcán Doña Juana - Zona de influencia del Volcán Azufral - Zona de influencia del Volcán Las Ánimas -Zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro
Código temático		Capas de información
Restricción de acceso	Limitaciones para acceso al conjunto de datos incluye restricciones que aseguren protección de privacidad o propiedad intelectual o limitaciones en obtención del conjunto de datos.	Derechos de propiedad intelectual. Prohibida su reproducción total o parcial con fines comerciales. Incluye información básica para documentos e investigación.
Muestra gráfica	Ilustración gráfica del conjunto de datos. Se especifica la dirección del computador, trayectoria, nombre y extensión del archivo.	Los datos se encuentran en el Servidor de Archivos Principal en el directorio: V:\informes\informes_finales\WIGLANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2015\mar
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, Chiles 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/2015.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
MARZO DE 2015**

Edición:

GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO

San Juan de Pasto, abril de 2015

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	9
	INTRODUCCION	11
1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – MARZO DE 2015	12
1.1.	RED DE VIGILANCIA	12
1.2.	SISMOLOGÍA	19
1.3.	DEFORMACIÓN	24
1.3.1.	Estaciones de Inclinometría Electrónica	24
1.3.2.	Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras	28
1.3.3.	Estaciones GNSS permanentes	28
1.4.	ELECTROMAGNETISMO	32
1.5.	GEOQUÍMICA	37
1.5.1.	Mediciones de flujo de emisión de SO ₂ con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS	37
1.5.2.	Flujo de gas Radón 222 – (Rn222) telemétrico	39
1.5.3.	Muestreo de aguas en fuentes termales.	41
1.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS	47
1.7.	CONCLUSIONES	50
2.	ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MARZO DE 2015	51
2.1.	RED DE VIGILANCIA	51
2.2.	SISMOLOGÍA	52
2.3.	DEFORMACIÓN	56
2.4.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	59
2.5.	CONCLUSIONES	61
3.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – MARZO DE 2015	62
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	62
3.2.	RED DE VIGILANCIA	62
3.3.	SISMOLOGÍA	64
3.4.	DEFORMACIÓN	67
3.5.	GEOQUÍMICA	68
3.5.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales del volcán Chiles	68
3.5.2.	Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande	68
3.6.	ACTIVIDAD SUPERFICIAL	70
3.7.	CONCLUSIÓN	70
4.	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL –MARZO DE 2015	71
4.1.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN LAS ANIMAS	72
4.1.1.	Ubicación Geográfica	72
4.1.2.	Red de Vigilancia	72
4.1.3.	Sismología	73
4.1.4.	Deformación	74
4.1.5.	Actividad Superficial	76
4.1.6.	Conclusión	76
4.2.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN DOÑA JUANA	77
4.2.1.	Red de vigilancia	77
4.2.2.	Sismología	78
4.2.3.	Deformación	78
4.2.4.	Actividad Superficial	80

4.2.5.	Conclusión	80
4.3.	ACTIVIDAD DEL VOLCAN AZUFRAL	81
4.3.1.	Red de vigilancia	81
4.3.2.	Sismología	83
4.3.3.	Deformación	85
4.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	85
4.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	86
4.3.4.	Geoquímica	86
4.3.4.1.	Muestreo de aguas en fuentes termales	86
4.3.4.2.	Registro de temperatura – Estación térmica Mollama Volcán Azufral	93
4.3.4.3.	Muestreo de gases de origen volcánico	95
4.3.5.	Actividad Superficial	96
4.3.6.	Conclusión	97

FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Localización de las estaciones sísmicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2015.	13
Figura 2.	Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2015.	14
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.	15
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 en marzo de 2015.	16
Figura 5.	Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.	17
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.	18
Figura 7.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2015.	18
Figura 8.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de febrero y marzo de 2015.	20
Figura 9.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 y 31 de marzo de 2015. La región sombreada corresponde al mes de marzo.	20
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).	21
Figura 11.	Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2015.	22
Figura 12.	Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para marzo de 2015 (barras de la derecha) respecto a febrero de 2015 (barras de la izquierda).	22
Figura 13.	Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde diciembre de 2014 a marzo de 2015.	23
Figura 14.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2015. 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).	24
Figura 15.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	25
Figura 16.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	25
Figura 17.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	26
Figura 18.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	26
Figura 19.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 6 de mayo de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	27
Figura 20.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	27
Figura 21.	Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y	28

	Tangencial del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	
Figura 22.	Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.	29
Figura 23.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 2 marzo de 2014 y el 21 de marzo de 2015.	29
Figura 24.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 3 de mayo de 2014 y el 22 de marzo de 2015.	30
Figura 25.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 28 de marzo de 2014 y el 21 de marzo de 2015.	30
Figura 26.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de mayo de 2014 y el 22 de marzo de 2015.	31
Figura 27.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 27 de marzo de 2014 y el 21 de marzo de 2015.	31
Figura 28.	Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de marzo de 2014 y el 22 de marzo de 2015.	32
Figura 29.	Localización de las estaciones de monitoreo de variaciones electromagnéticas, que conforman la red de vigilancia del volcán Galeras.	33
Figura 30.	Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el mes de marzo de 2015.	33
Figura 31.	Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, para el mes de marzo de 2015.	34
Figura 32.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (verde) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el mes de marzo de 2015.	35
Figura 33.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (verde) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, para el mes de marzo de 2015.	36
Figura 34.	Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (rojo) y EW (verde), de la estación de Cráter, para el periodo comprendido entre noviembre de 2014 y febrero de 2015.	37
Figura 35.	Flujo de emisión de SO ₂ registrado entre diciembre de 2014 y marzo de 2015 por los equipos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.	38
Figura 36.	Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre diciembre de 2014 y marzo de 2015.	39
Figura 37.	Concentración radón en suelo - Estación telemétrica Lavas – Diciembre de 2014 a marzo de 2015.	40
Figura 38.	Concentración radón en suelo - Estación telemétrica Parques – Diciembre de 2014 a marzo de 2015.	40
Figura 39.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.	41
Figura 40.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras mayo 2014.	43
Figura 41.	Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - marzo 2015.	44
Figura 42.	Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - marzo 2015.	44
Figura 43.	Variación del pH de las FT de Volcán Galeras - marzo 2015.	46
Figura 44.	Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras marzo 2015.	46
Figura 45.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma el 1 de marzo de 2015 a las 6:12 p.m.	47
Figura 46.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda) y Barranco (Derecha) el 3 de marzo de 2015 a las 6:01a.m. y a las 9:40a.m. respectivamente.	48
Figura 47.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco el 13 de marzo a las 6:23 a.m.	48

Figura 48.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en Bruma el 18 de marzo a las 7:58 a.m.	48
Figura 49.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Arriba Izquierda), Barranco (Arriba Derecha) y desde el municipio de Consacá (Abajo) el 23 de marzo de 2015 a las 5:55 a.m., 6:10 a.m. y a las 7:13 a.m. respectivamente.	49
Figura 50.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde Barranco el 30 de marzo a las 2:55 a.m.	49
Figura 51.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2015.	51
Figura 52.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2015.	52
Figura 53.	Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre diciembre de 2014 y marzo de 2015. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.	53
Figura 54.	Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	53
Figura 55.	Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 21 de marzo de 2015 a las 8:42 p.m., el evento tuvo una duración de 47 segundos en la estación sísmica Limones.	54
Figura 56.	Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 22 de marzo de 2015 a las 4:05 p.m., el evento tuvo una duración de 80 segundos en la estación sísmica Limones.	54
Figura 57.	Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de marzo de 2015.	55
Figura 58.	Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de marzo de 2015.	55
Figura 59.	Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2015. 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).	56
Figura 60.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	57
Figura 61.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	58
Figura 62.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	58
Figura 63.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	59
Figura 64.	Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 23 de marzo de 2015 a las 6:24 a.m. (Arriba) y a las 7:49 a.m. (Abajo) desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	60
Figura 65.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 24 de marzo a las 6:26 a.m., desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.	60
Figura 66.	Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).	62
Figura 67.	Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.	63
Figura 68.	Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del Volcán Chiles.	64
Figura 69.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante marzo de 2015.	64
Figura 70.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	65
Figura 71.	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 marzo de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1,5 km	66

	de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	
Figura 72.	Energía diaria liberada calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de marzo de 2015. La ordenada se muestra en términos de la raíz cuadrada del valor de la energía en ergios.	67
Figura 73.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 7 de noviembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	67
Figura 74.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Cerro Negro – 2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 11 de noviembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	68
Figura 75.	Mapa de localización de la estación térmica Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles.	69
Figura 76.	Gráfico filtrado por horas de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – Enero a Marzo de 2015.	70
Figura 77.	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.	71
Figura 78.	Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).	72
Figura 79.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de marzo de 2015. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas.	73
Figura 80.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante marzo de 2015.	73
Figura 81.	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 marzo de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	74
Figura 82.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Altamira, para el periodo comprendido entre el 18 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	75
Figura 83.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Altamira, para el periodo comprendido entre el 18 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	75
Figura 84.	Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.	77
Figura 85.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de marzo de 2015.	78
Figura 86.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	79
Figura 87.	Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.	79
Figura 88.	Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2015.	81
Figura 89.	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.	82
Figura 90.	Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2015.	83
Figura 91.	Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	84
Figura 92.	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 marzo de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad	84

	con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.	
Figura 93.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	85
Figura 94.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Chaitán instalado en el volcán Azufral para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	85
Figura 95.	Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	86
Figura 96.	Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Azufral marzo 2015.	89
Figura 97.	Variación de temperatura de las FT de Volcán Azufral - marzo 2015.	90
Figura 98.	Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Azufral – marzo 2015.	90
Figura 99.	Variación del pH en las FT de Volcán Azufral – Marzo 2015.	93
Figura 100.	Variación en la concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Azufral - Marzo 2015.	93
Figura 101.	Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.	94
Figura 102.	Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral-año 2015.	95
Figura 103.	Muestreo de gases de origen volcánico, Temperatura, pH, botella Giggenbach-Domo Mallama, volcán Azufral.	96
Figura 104.	Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, registrada el día 21 de marzo a las 8:16 a.m., mediante la cámara instalada en el costado sur. En la fotografía se observan las zonas de emisión de gas, desde el Domo Mallama.	96
Figura 105.	Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, registrada el día 31 de marzo a las 7:38 a.m., mediante la cámara instalada en el costado sur. En la fotografía se observan las zonas de emisión de gas, desde el Domo Mallama.	97

TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en marzo de 2015.	14
Tabla 2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2015.	15
Tabla 3.	Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2015.	15
Tabla 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 en marzo de 2015.	16
Tabla 5.	Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.	16
Tabla 6.	Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).	17
Tabla 7.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 y 31 de marzo de 2015, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.	19
Tabla 8.	Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 y 31 de marzo de 2015, resaltando en color verde el mes evaluado.	21
Tabla 9.	Emisiones de SO ₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de marzo de 2015, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).	38
Tabla 10.	Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – Marzo de 2015.	40
Tabla 11.	Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Parques – Volcán Galeras – Marzo 2015.	40
Tabla 12.	Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras - marzo 2015.	42
Tabla 13.	Ubicación geográfica fuentes termales volcán Galeras.	42
Tabla 14.	Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.	44
Tabla 15.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante marzo de 2015.	52
Tabla 16.	Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015 (resaltado en color verde).	52
Tabla 17.	Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.	63
Tabla 18.	Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	65
Tabla 19.	Ubicación geográfica fuente termal Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles.	69
Tabla 20.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en marzo de 2015.	72
Tabla 21.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas ocurridos entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.	74
Tabla 22.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en marzo de 2015.	78
Tabla 23.	Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante marzo de 2015.	82
Tabla 24.	Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.	83
Tabla 25.	Ubicación geográfica fuentes termales del área de influencia del volcán Azufral.	87
Tabla 26.	Ubicación geográfica Domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral.	95
Tabla 27.	Datos de temperatura y pH en fumarola-Domo Mallama marzo 2015.	95

RESUMEN

Durante el mes de marzo de 2015, la actividad sísmica en el volcán Galeras presentó un aumento en la ocurrencia sísmica, mientras que el valor de energía liberada permaneció relativamente constante en comparación a los valores registrados en febrero de 2015. Los sismos asociados con fracturamiento de material sólido con el consiguiente movimiento de fluidos (HYB) fueron los que aportaron el mayor número, y los asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria en los conductos o grietas del volcán (LP) aportaron la mayor fracción de energía liberada.

Respecto a la localización de sismos relacionados con fracturamiento de roca (VT) e (HYB), la mayoría se ubicaron en inmediaciones del Cráter, a menos de 1 km de distancia y con profundidades menores a 2 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 1,7 en la escala de Richter.

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, tres de ellos, ubicados hacia el costado occidental continúan mostrando cambios simultáneos desde el mes de septiembre de 2014, correspondientes a tendencias ascendentes en una de las componentes de inclinación.

En cuanto a la actividad superficial con base en la información que aportan las imágenes capturadas del cráter activo, fue posible evidenciar emisiones de gases durante la mayor parte del mes, en su mayoría de coloración blanca; los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental de la cima del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos y con alturas menores a los 500 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 LP) en el interior de la estructura volcánica. Comparando la actividad sísmica del periodo evaluado con la del mes anterior, se observa un leve descenso en los niveles de ocurrencia.

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 89 sismos, la mayoría se localizaron en inmediaciones del complejo volcánico Cumbal a menos de 2 km de distancia y profundidades menores a 3 km. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 1,4 en la escala de Richter.

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

La ocurrencia sísmica de los Volcanes Chiles y Cerro Negro, disminuyó en un 40% respecto a la registrada en febrero de 2015. De esta sismicidad fue posible localizar 368 eventos, ubicados en su mayoría a menos de 6 km de distancia al suroccidente del volcán Chiles, con profundidades de hasta 8 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 3,3 en la escala de Richter. Tres de los eventos fueron reportados como sentidos, principalmente por pobladores del resguardo indígena de Chiles, con magnitudes entre 2,9 y 3,3 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 para los volcanes Chiles – Cerro Negro durante marzo de 2015 permitió mantener el **NIVEL AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

En los volcanes Las Ánimas y Azufral se tuvo registro de 5 y 15 eventos tipo VT respectivamente, los cuales fueron de bajo nivel energético.

En el volcán Las Doña Juana no se tuvo registro de actividad sísmica.

Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del mes, 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 marzo de 2015, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles y Cerro Negro, Doña Juana, Azufral, Las Ánimas 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 – MARZO DE 2015

1.1. RED DE VIGILANCIA

En marzo de 2015 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 (SO₂) con transmisión telemétrica localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 4, Tabla 4).
- Tres sistemas de medición de variación del campo Magnético, Cráter, Frailejón y Barranco. Adicionalmente, las estaciones EM-Frailejón y EM-Barranco cuentan con sistemas de medición de variación de campo eléctrico Cráter (Figura 4, Tabla 5).
- Cuatro cámaras de video permanentes para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, otra en el municipio de Consacá, otra instalada en el flanco norte de la cima de Galeras, en el sitio denominado Barranco Alto y la última Bruma, hacia el sector suroccidental del cono (Figura 4).
- Dos estaciones para monitoreo constante de flujos de lodos, con transmisión telemétrica, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo (Figura 4).
- 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).
- Dos estaciones telemétricas para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón (Rn-222) proveniente del suelo denominadas Lavas y Parques, ubicadas hacia el sector oriental del volcán, por la vía de acceso a la cima del volcán (Figura 5, Tabla 6).

- 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 marzo de 2015, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 90,6%, 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. La estación sismológica Nariño se encuentra fuera de funcionamiento debido a adecuaciones de transmisión que se están haciendo en la sede del OVSP. La estación SCANDOAS Alto Tinajillas presentó un porcentaje de funcionamiento equivalente al 3% debido a problemas de radio enlace. Las estaciones de medición de concentración de Radón, Parques y Lavas, presentaron un funcionamiento del 77% debido a problemas de transmisión de la señal. Las estaciones Cráter campo Magnético, Barranco campo Magnético y Barranco campo salieron de funcionamiento el 23 de marzo debido a una tormenta eléctrica, por lo que su porcentaje de funcionamiento fue del 79, 69 y 77 % respectivamente. Las cámaras web para la observación de Actividad Superficial tuvieron un porcentaje de 81%, debido a problemas en el switch de adquisición.

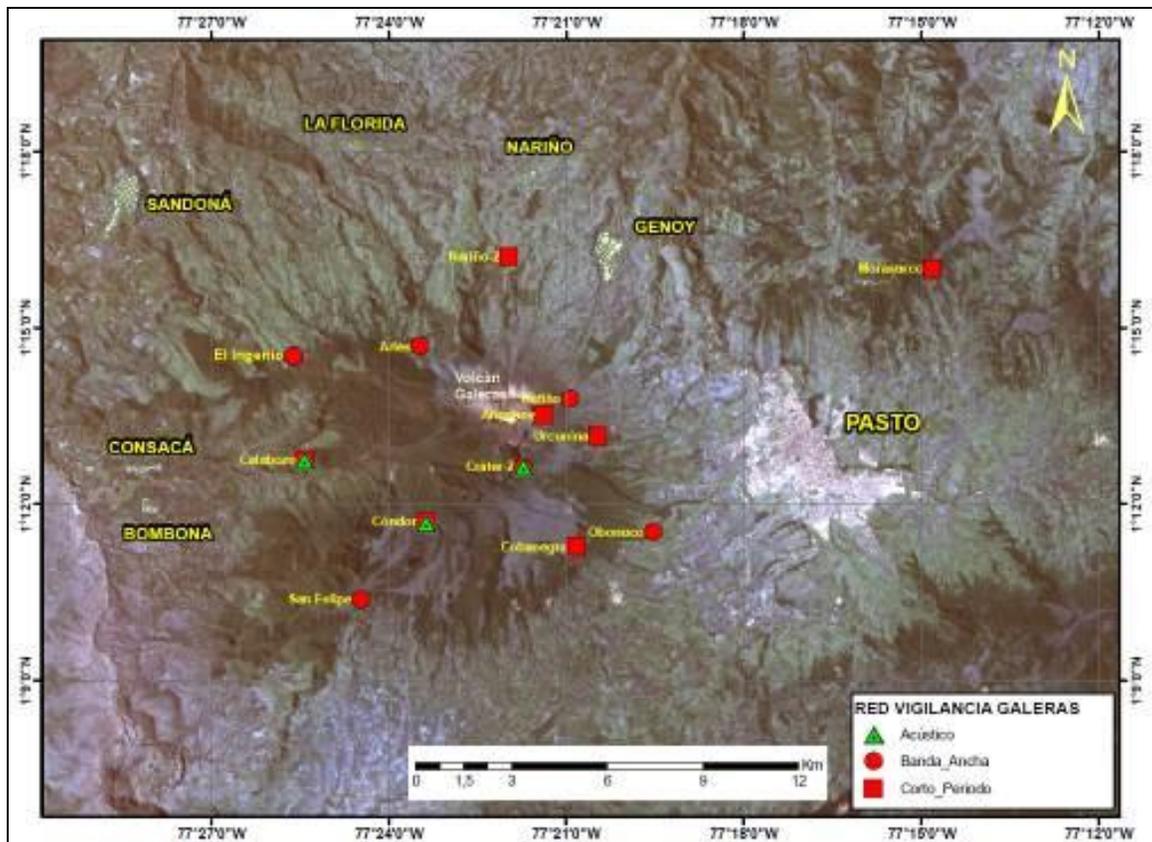


Figura 1. Localización de las estaciones sismicas y sensores de presión acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2015.

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en marzo de 2015.

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

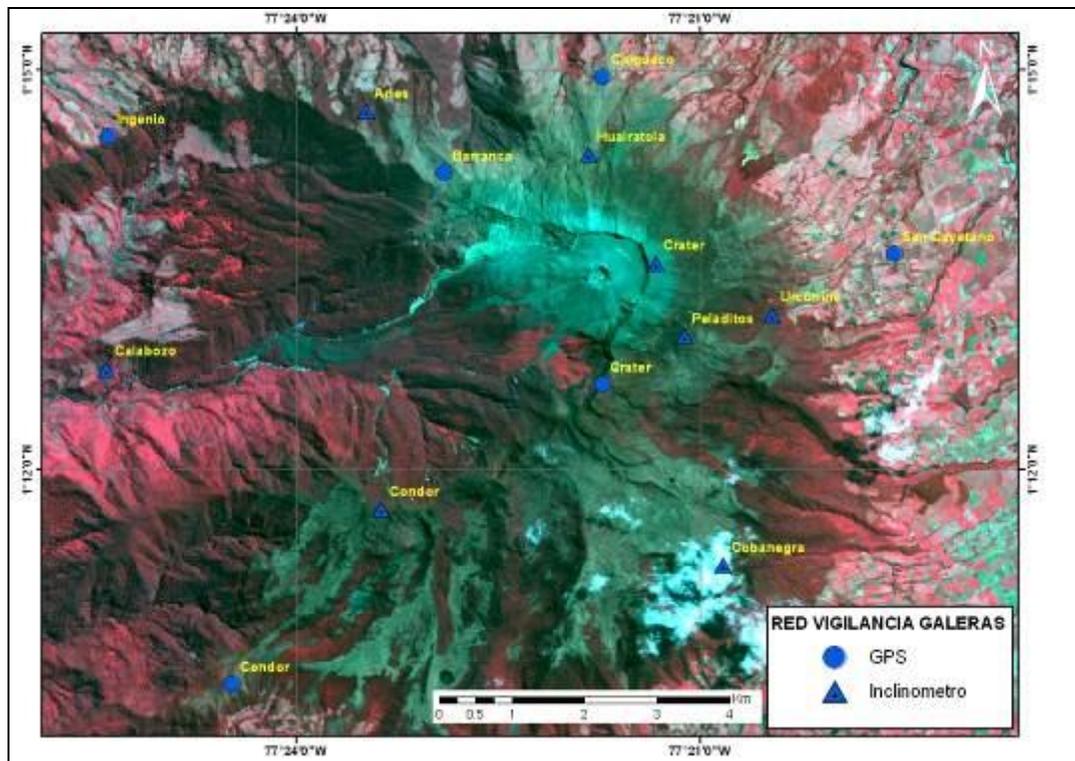


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2015.

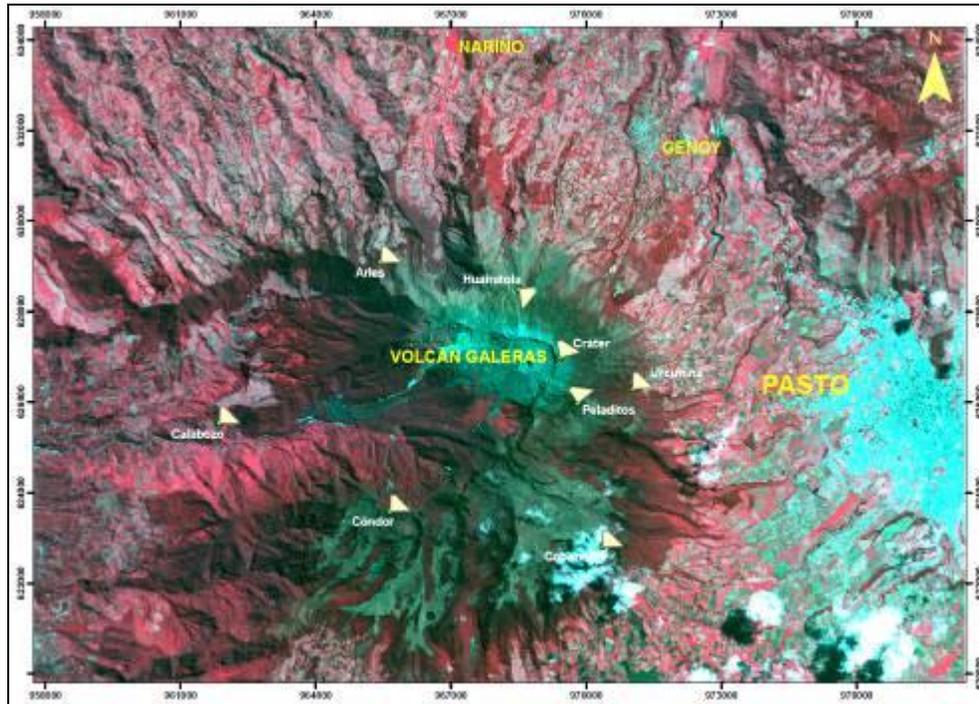


Figura 3. Localización y orientación de las estaciones de inclinometría electrónica instaladas en Galeras. Los catetos de los triángulos muestran las direcciones de las componentes de cada sensor.

Tabla 2. Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2015.

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

Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2015.

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

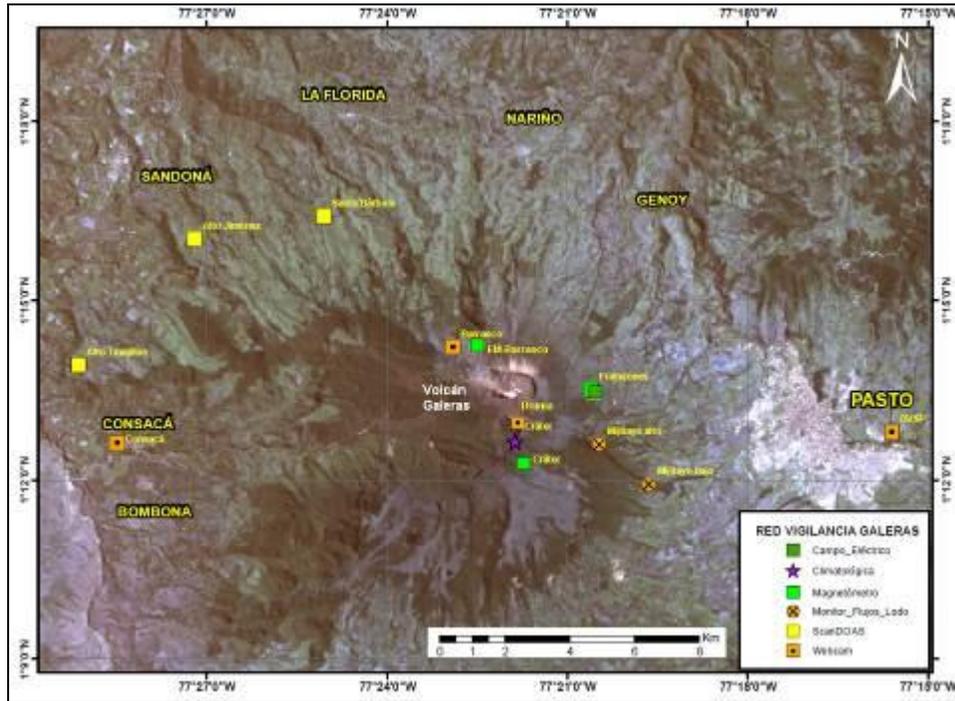


Figura 4. Localización de las estaciones campo magnético y eléctrico, detectores de flujos de lodos, ScanDOAS, climática y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2015.

Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en marzo de 2015.

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

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

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

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

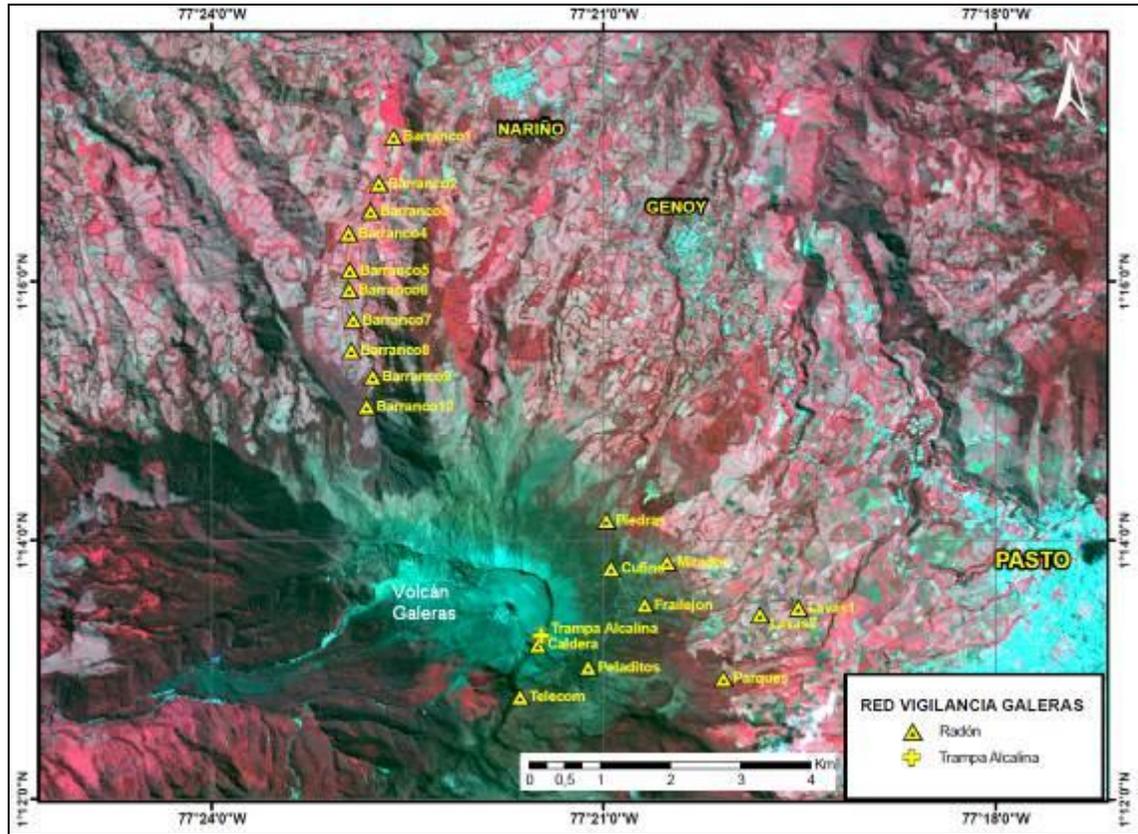


Figura 5. Localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.

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

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

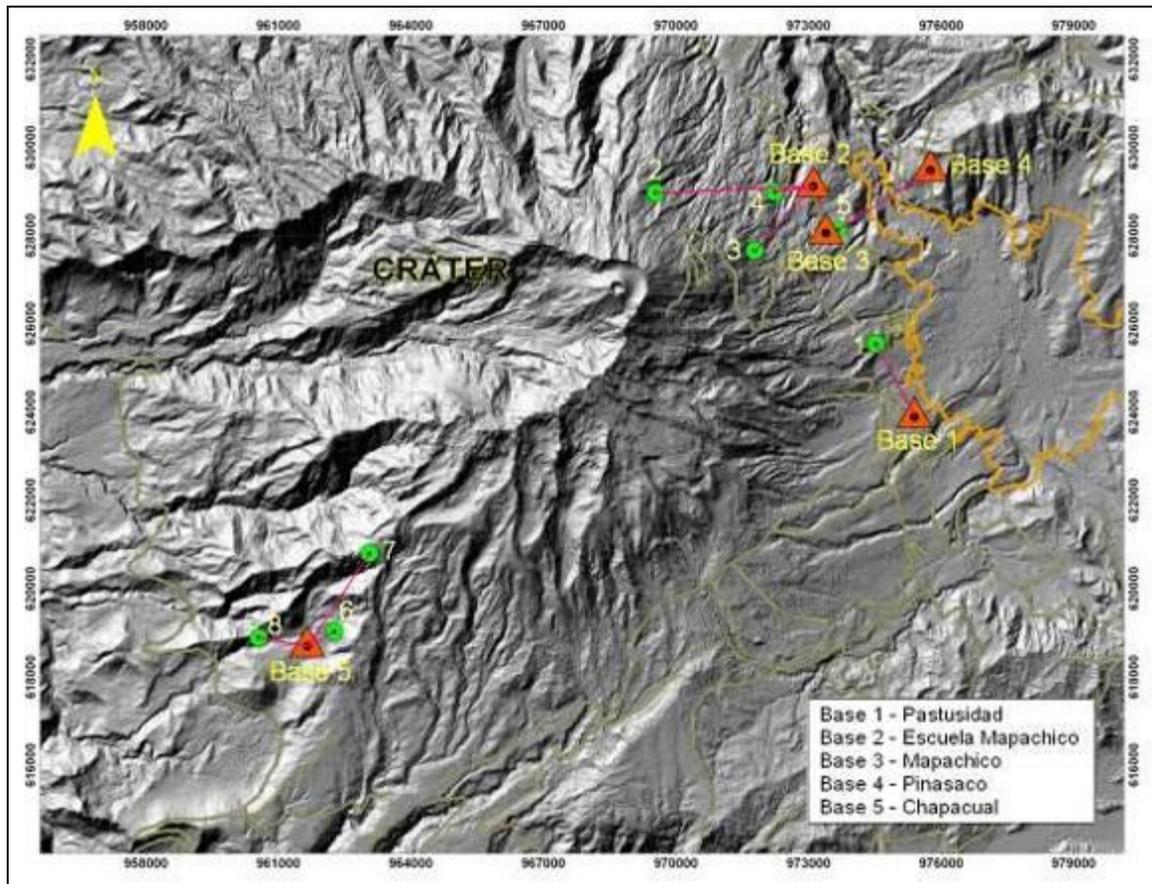


Figura 6. Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Galeras. Los triángulos de color naranja indican la ubicación de las Bases de medición 1, 2, 3, 4 y 5, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.

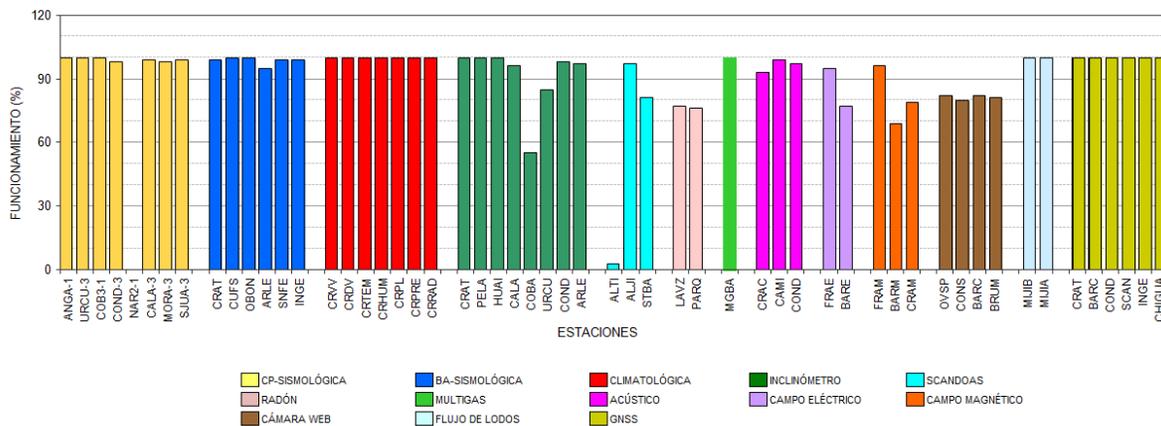


Figura 7. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2015.

1.2. SISMOLOGIA

En el mes de marzo de 2015, la actividad sísmica de Galeras aumentó en un 67,6% con relación al mes anterior, pasando de 74 a 124 eventos. 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 66,1% del número total de sismos registrados, seguidos en porcentaje de ocurrencia por eventos asociados con movimiento de fluidos de fuente transitoria (eventos tipo LP) con un 16,1%. Los sismos asociados a fracturamiento de roca al interior de la estructura volcánica (sismos tipo VT) y los sismos asociados con movimiento de fluidos de fuente persistente en los conductos o grietas del volcán (tremor volcánico, TRE) aportaron con el 14,5 y 3,2% 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 el número de eventos HYB fue mayor en un poco más de tres veces, los sismos LPS aumentaron en un 81,8%, los VT disminuyeron su número en un 41,9% y los eventos tipo TRE disminuyeron en un 33,3% (Tabla 7, Figuras 9 y 10).

En este mes se registraron 4 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 6 minutos.

Tabla 7. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 y 31 de marzo de 2015, resaltando en verde el mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					NO CLASIFICABLES	Duración TREMOR (min)
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL		
01-dic-14 a 31-dic-14	95	41	8	121	265	2072	5
01-ene-15 a 31-ene-15	73	81	62	51	267	1297	39
01-feb-15 a 28-feb-15	31	11	6	26	74	401	6
01-mar-15 a 31-mar-15	18	20	4	82	124	2955	6

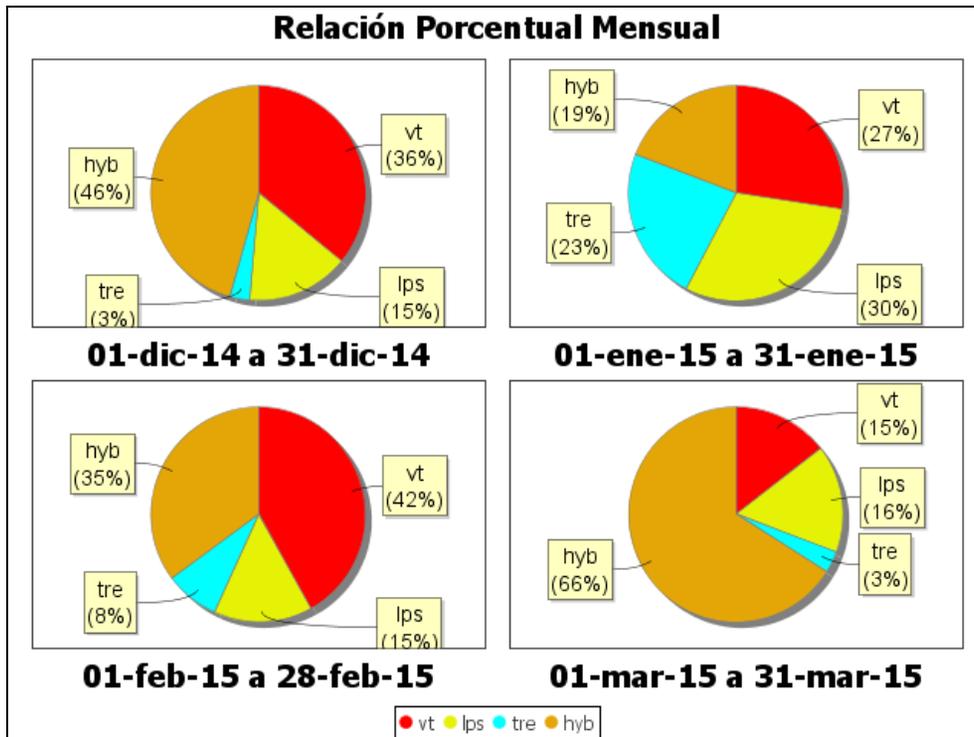


Figura 8. Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, entre los meses de febrero y marzo de 2015.

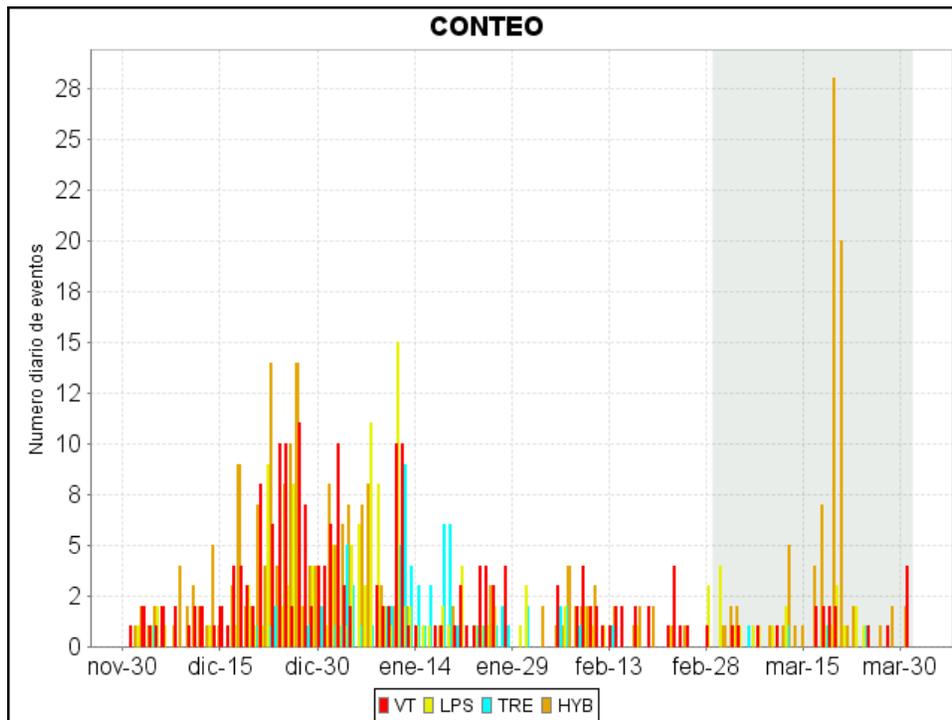


Figura 9. Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 y 31 de marzo de 2015. La región sombreada corresponde al mes de marzo.

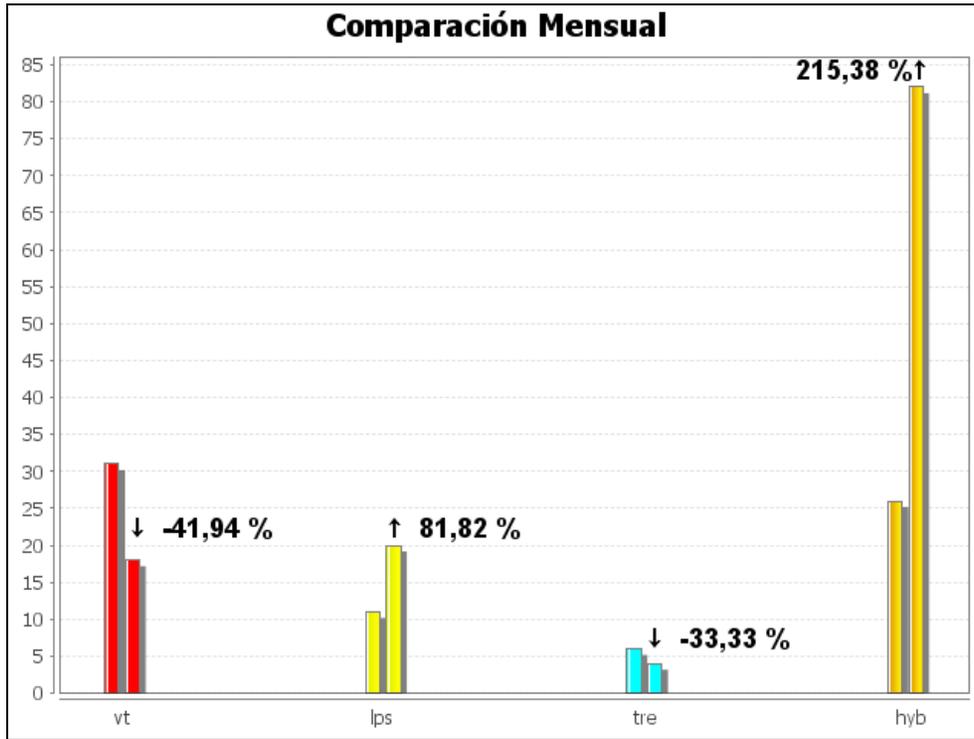


Figura 10. Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes en evaluación (barras de la derecha) respecto al mes anterior (barras de la izquierda).

Para el periodo evaluado, el valor total de la energía sísmica liberada disminuyó en un 6% en comparación a lo registrado en febrero de 2015, pasando de $3,38 \times 10^{12}$ ergios a $3,18 \times 10^{12}$ ergios. Los eventos que aportaron la mayor energía fueron los sismos LPS con un 74,4%, seguidos por los eventos tipo HYB con un 14,2%, mientras que los eventos tipo VT y TRE aportaron con el 11,1% y 0,3% (Tabla 8, Figuras 11, 12 y 13).

Tabla 8. Energía sísmica liberada evaluada a partir de ondas de cuerpo para los diferentes tipos de eventos volcánicos entre el 1 y 31 de marzo de 2015, resaltando en color verde el mes evaluado.

Periodo Evaluado	Energía liberada por tipo de Evento [ergios]				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-dic-14 a 31-dic-14	2.83E+16	3.53E+12	1.82E+11	1.80E+13	2.83E+16
01-ene-15 a 31-ene-15	3.95E+12	7.89E+12	1.32E+14	5.47E+11	1.45E+14
01-feb-15 a 28-feb-15	7.12E+11	9.46E+10	2.26E+12	3.17E+11	3.38E+12
01-mar-15 a 31-mar-15	3.53E+11	2.36E+12	6.47E+09	4.52E+11	3.18E+12

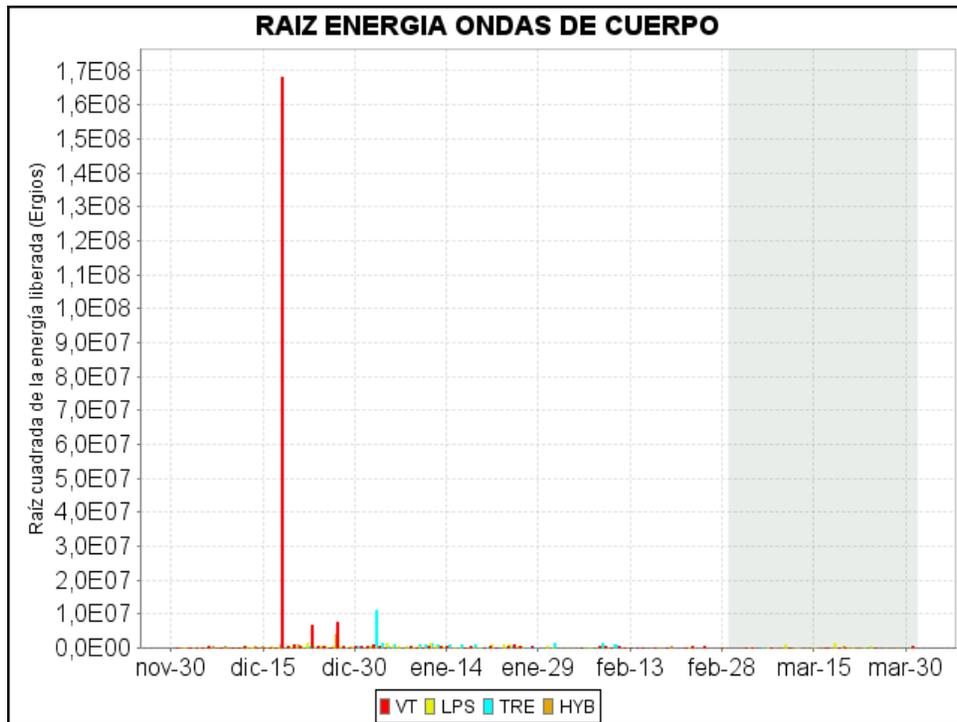


Figura 11. Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2015.

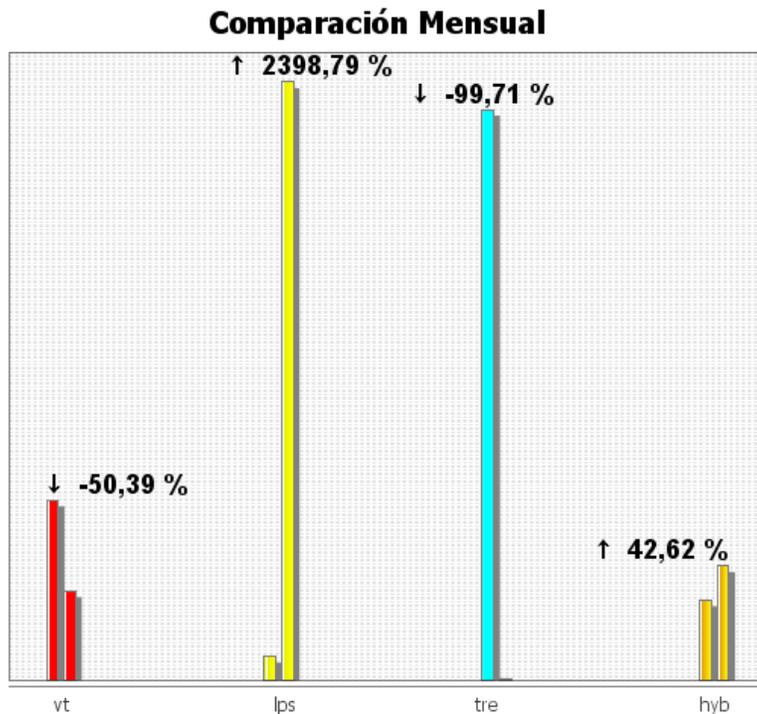


Figura 12. Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para marzo de 2015 (barras de la derecha) respecto a febrero de 2015 (barras de la izquierda).

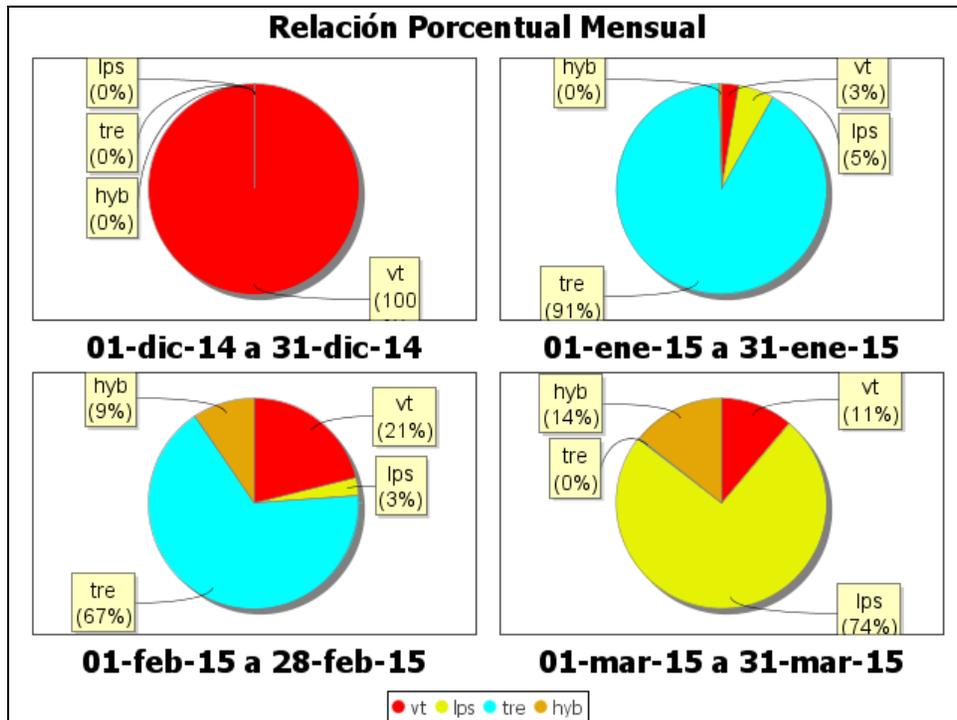


Figura 13. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada para cada tipo de sismos desde diciembre de 2014 a marzo de 2015.

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 49 sismos, 28 de ellos tipo VT y 21 HYB, la mayoría de eventos se ubicaron en inmediaciones del cráter de Galeras, a menos de 1 km de distancia y con profundidades menores a 2 km respecto a la cima volcánica. Algunos eventos se localizaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a menos de 10 km de distancia, con profundidades de hasta 11 km respecto a la cima. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron por debajo de 1,7 en la escala de Richter (Figura 14).

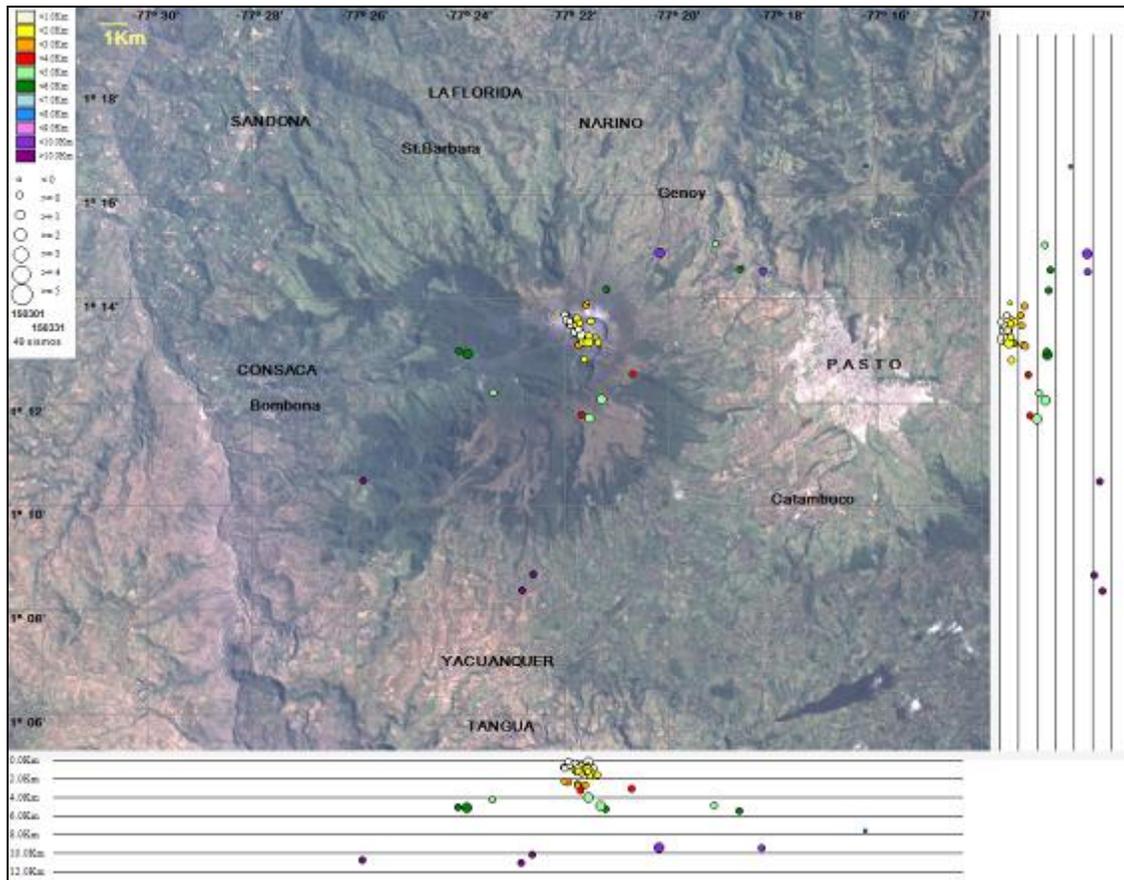


Figura 14. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 2 km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4270 msnm).

1.3. DEFORMACIÓN

1.3.1. Estaciones de Inclinometría Electrónica

La componente Norte del inclinómetro Calabozo (localizado a 6,8 km al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 m.s.n.m.), continúa con el comportamiento ascendente registrado desde el 17 de diciembre del 2012, acumulando hasta el hasta el 31 de marzo de 2015 una variación cercana a los 300 μ rad, por su parte la componente Este presenta un comportamiento relativamente estable (Figura 15).

El inclinómetro Peladitos, continúa en su componente radial con una tendencia ascendente desde finales del 2005, acumulando hasta el 21 de marzo de 2015, un valor aproximado del 100 μ radianes. Y la componente tangencial con una tendencia descendente desde abril del 2011, de menos de 15 μ radianes (Figura 16).

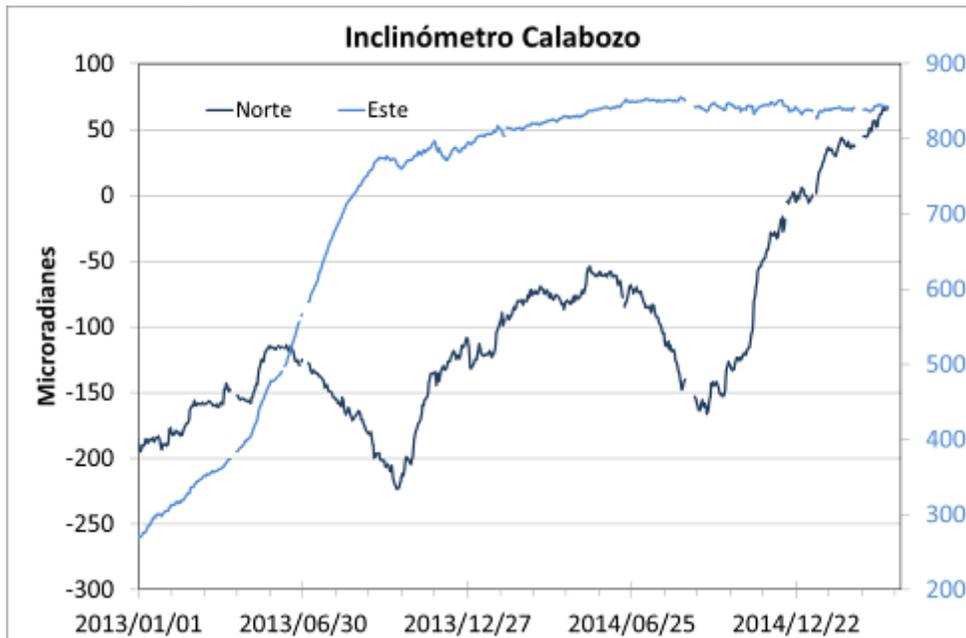


Figura 15. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Calabozo, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

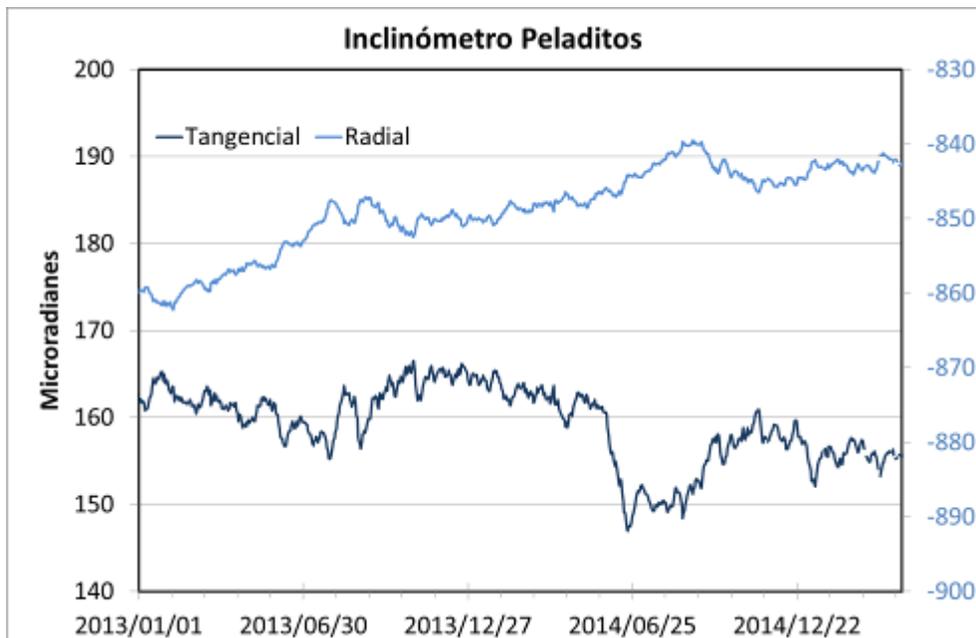


Figura 16. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Peladitos, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

La componente Norte del inclinómetro Cobanegra (situado a 3,9 km al sur-sureste del cráter principal, a 3610 msnm), registra desde febrero del 2014 un comportamiento ascendente, acumulando hasta el 31 de marzo de 2015 una variación cercana a los 60 μrad . Por su parte la componentes Este registra un comportamiento estable (Figura 17).

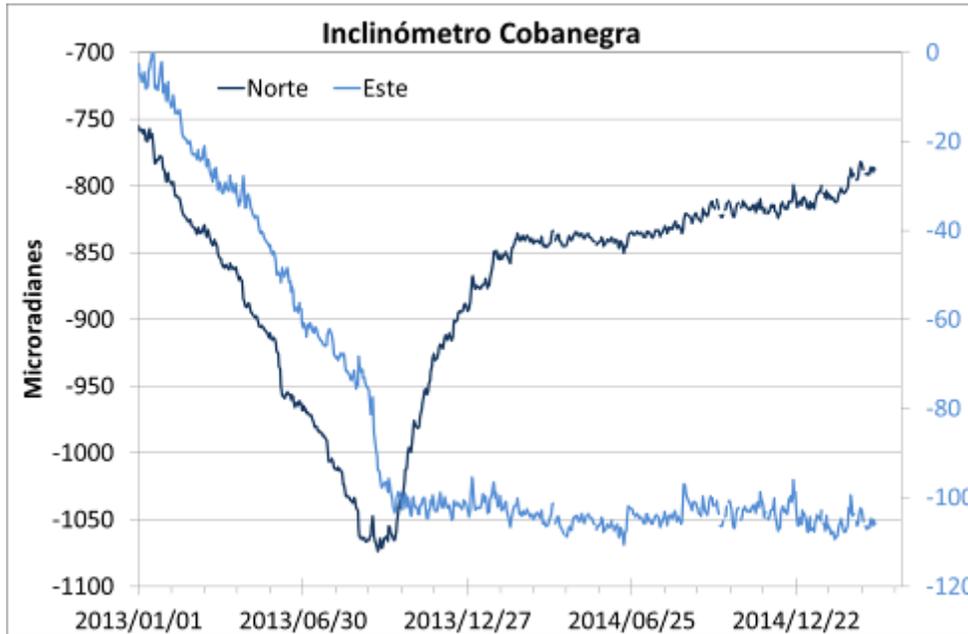


Figura 17. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Cobanegra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

Los inclinómetros electrónicos Arlés, Cráter y Huairatola, para el mes de marzo de 2015, mostraron estabilidad en sus componentes, con variaciones que están dentro de los niveles de ruido propios del equipo (Figuras 18 a 21).

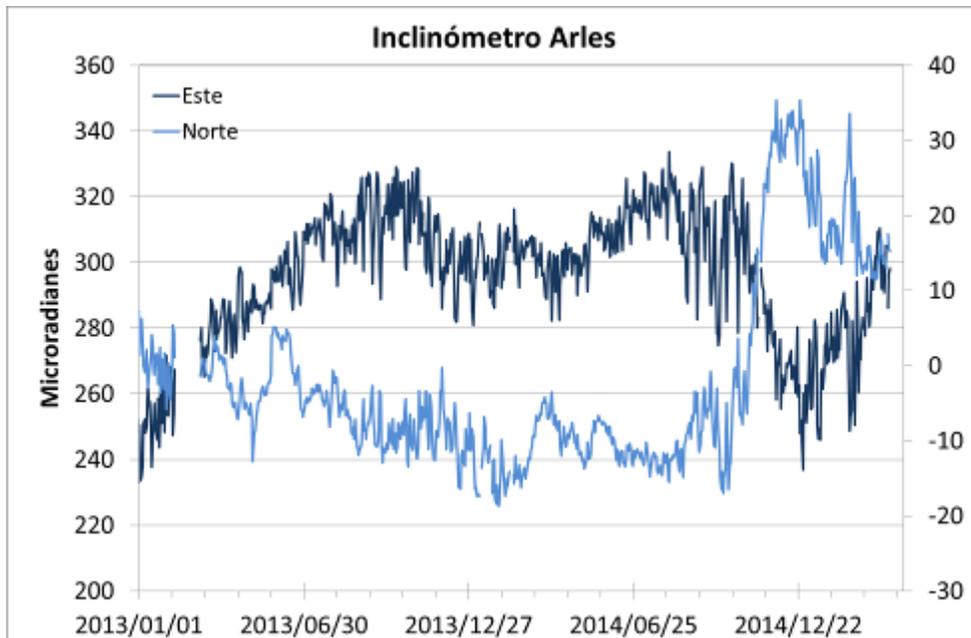


Figura 18. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Norte y Este del inclinómetro Arlés para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

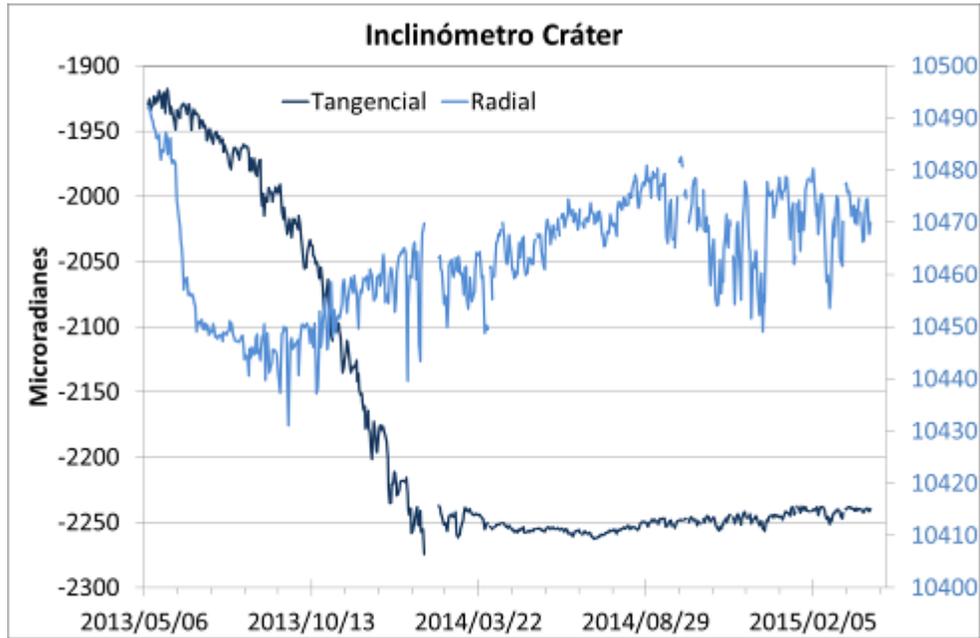


Figura 19. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Cráter, para el periodo comprendido entre el 6 de mayo de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

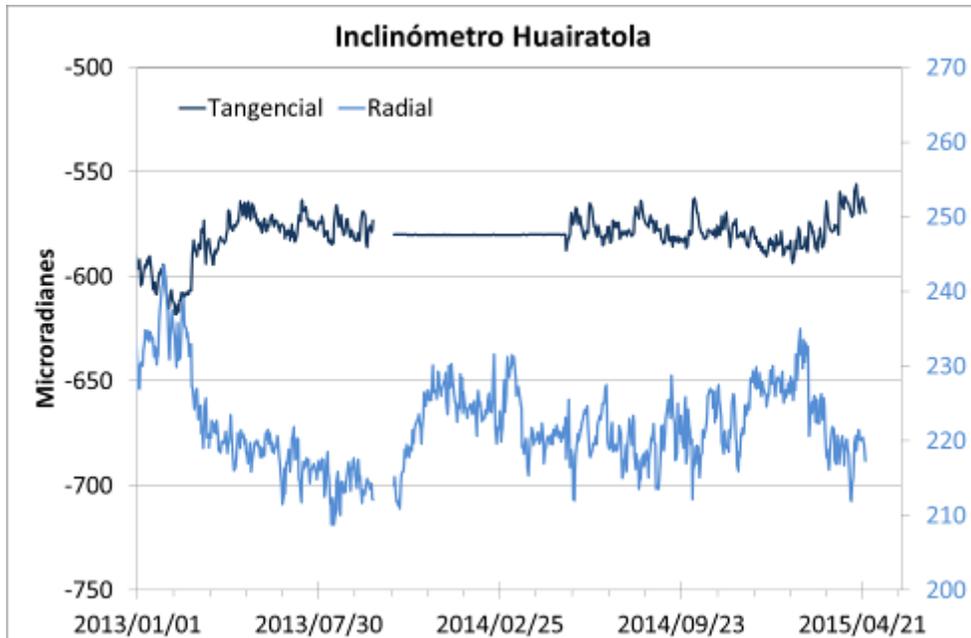


Figura 20. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Huairatola, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

El inclinómetro Urcunina (figura 21), está en proceso de estabilización, teniendo en cuenta que se mejoró el sistema de protección y se hizo cambio de sensor

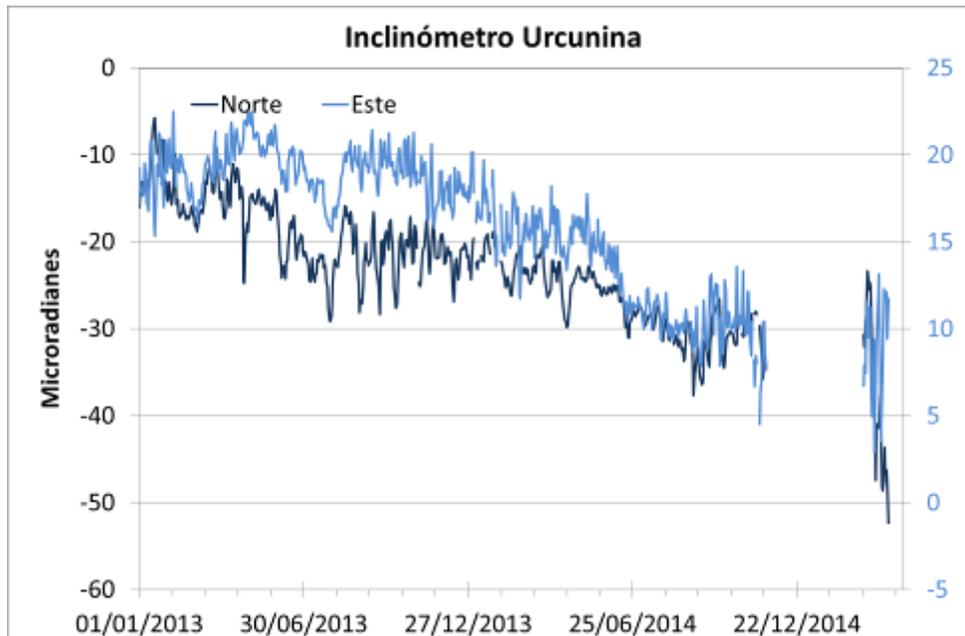


Figura 21. Inclinación del terreno medida en microradianes (μrad) de las componentes Radial y Tangencial del inclinómetro electrónico Urcunina, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

1.3.2. Medición Electrónica de Distancias - EDM en Galeras

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

1.3.3. Estaciones GNSS permanentes

En marzo de 2015 se contó con 6 estaciones receptoras GNSS permanentes. Para el análisis se contempló inicialmente un procesamiento diferencial de la información suministrada por estas estaciones considerando una estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20,6 km de distancia respecto al cráter, esto en cooperación con el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano. En la Figura 22 se muestra la ubicación de las estaciones respecto al GNSS QUIL.

Algunas de las estaciones se encuentran en un proceso de estabilización con respecto al nivel base y que se requiere de un tiempo cercano de 2,5 años a partir de su instalación para la estabilidad del equipo. Las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, San Cayetano, en octubre de 2012, Cráter y Barranco en agosto y octubre de 2011 respectivamente, y Cóndor se reinstaló el 21 de febrero de 2015, luego de que una tormenta eléctrica sacó de funcionamiento el equipo, fue necesario realizar cambio tanto de antena, como de receptor.

Con relación al procesamiento diferencial, se muestra hasta el 22 de marzo de 2015, debido a que cerca de 15 días le toma al sistema actualizar las efemérides, correcciones que se deben realizar a las coordenadas. Con respecto a las variaciones en la posición de las estaciones GNSS, se observa

estabilidad en el registro Norte y Este de Barranco, Chiguaco, Cráter, El Ingenio y San Cayetano (Figuras 23, 24, 25, 26, 27 y 28).

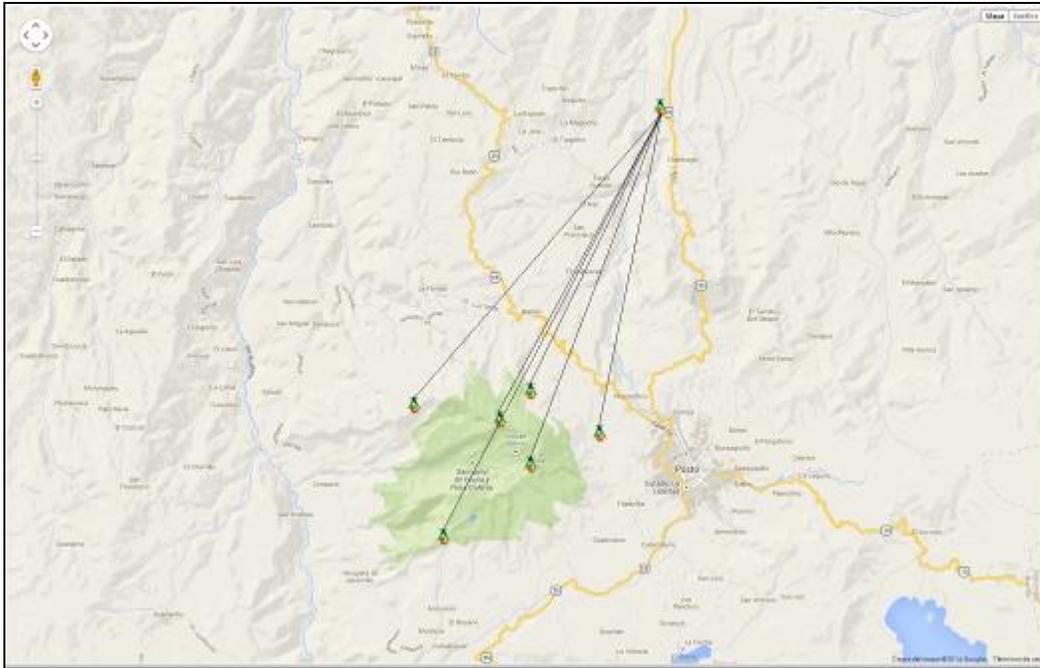


Figura 22. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.

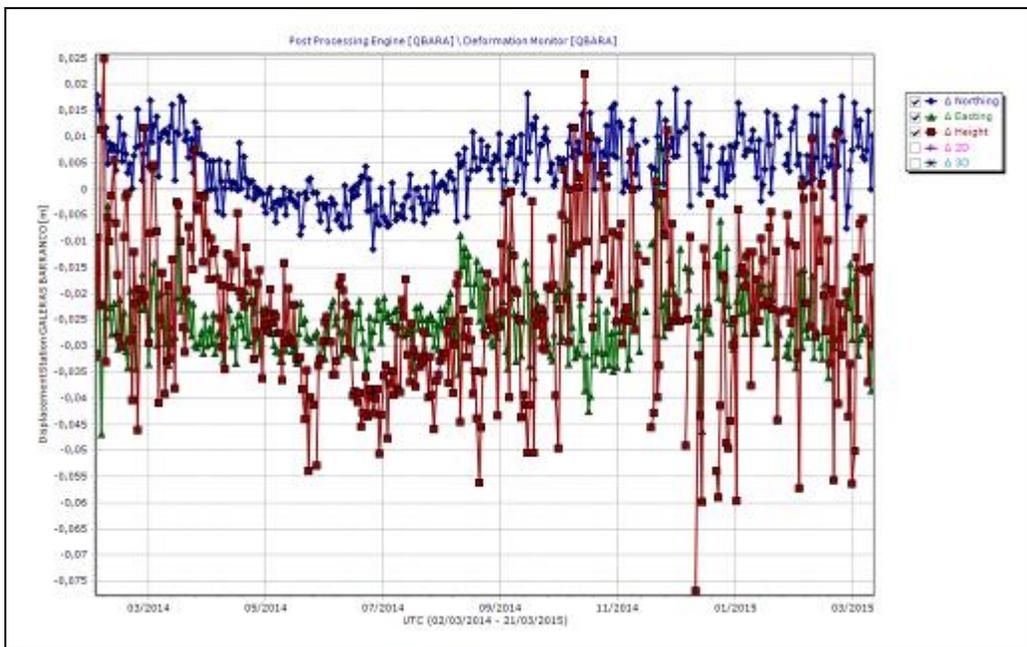


Figura 23. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 2 marzo de 2014 y el 21 de marzo de 2015.

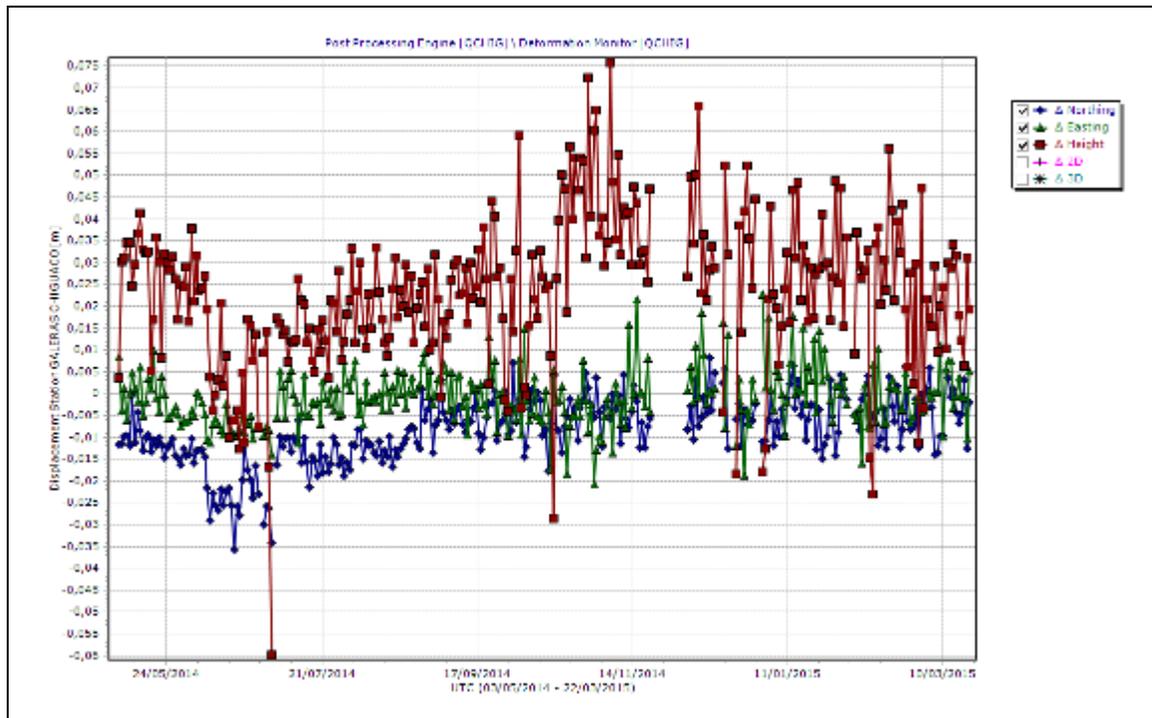


Figura 24. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 3 de mayo de 2014 y el 22 de marzo de 2015.

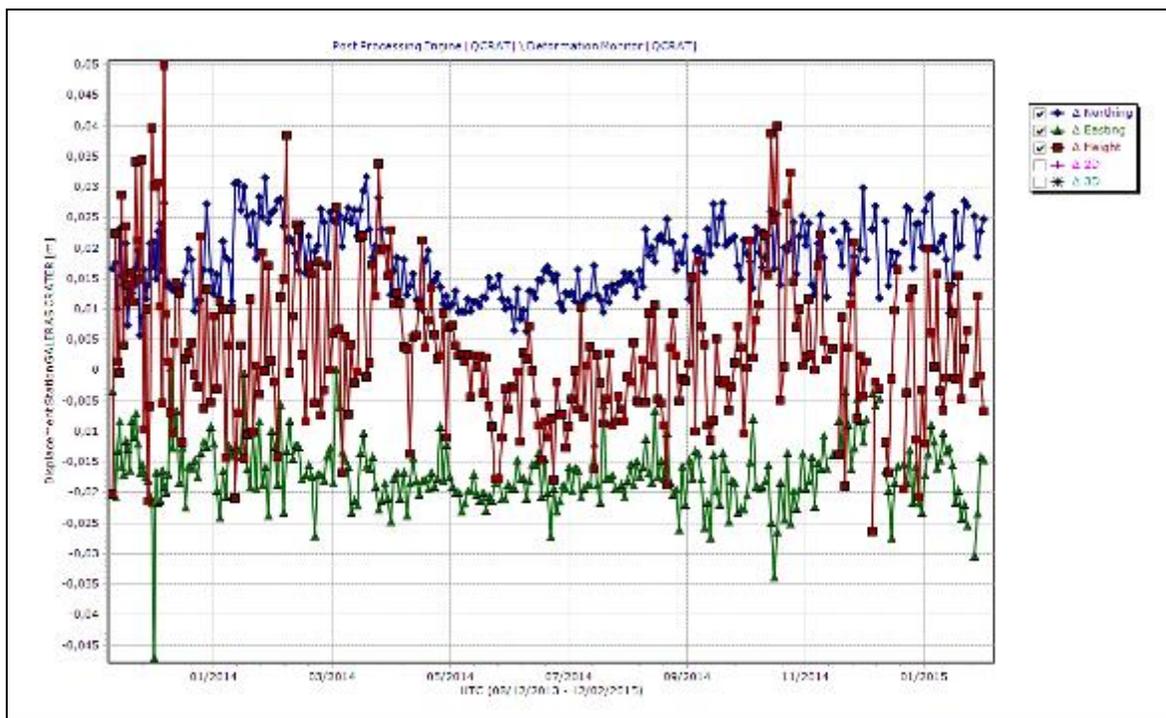


Figura 25. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 28 de marzo de 2014 y el 21 de marzo de 2015.

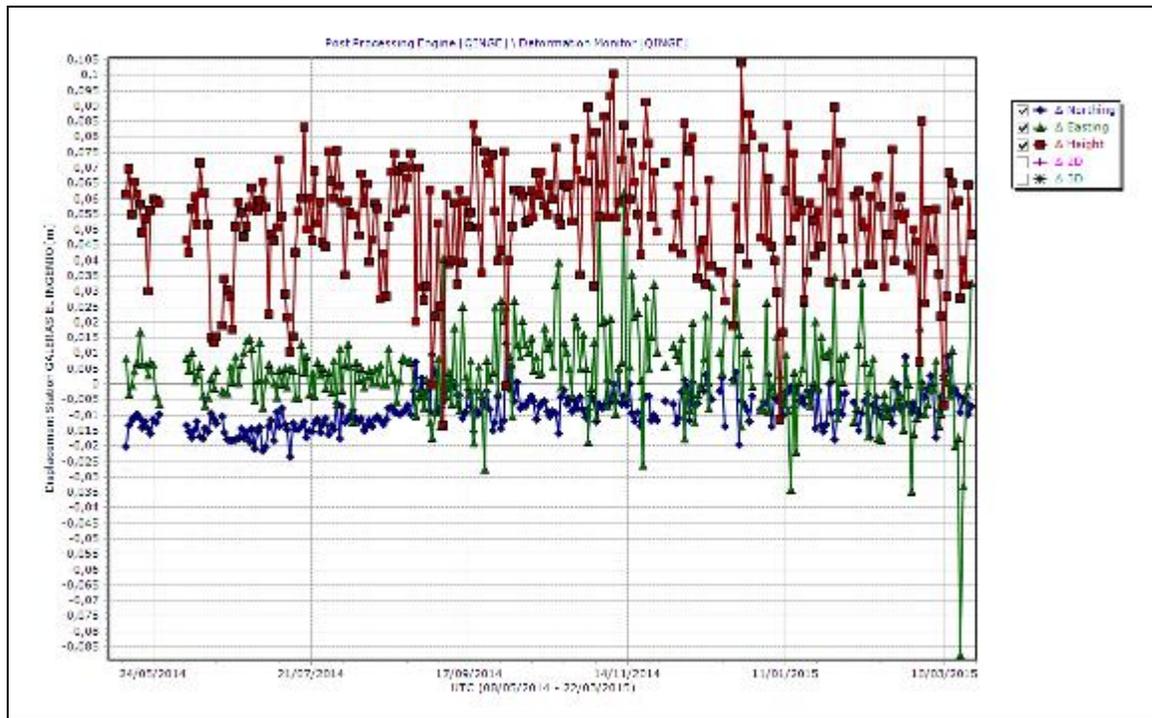


Figura 26. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Ingenio instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de mayo de 2014 y el 22 de marzo de 2015.

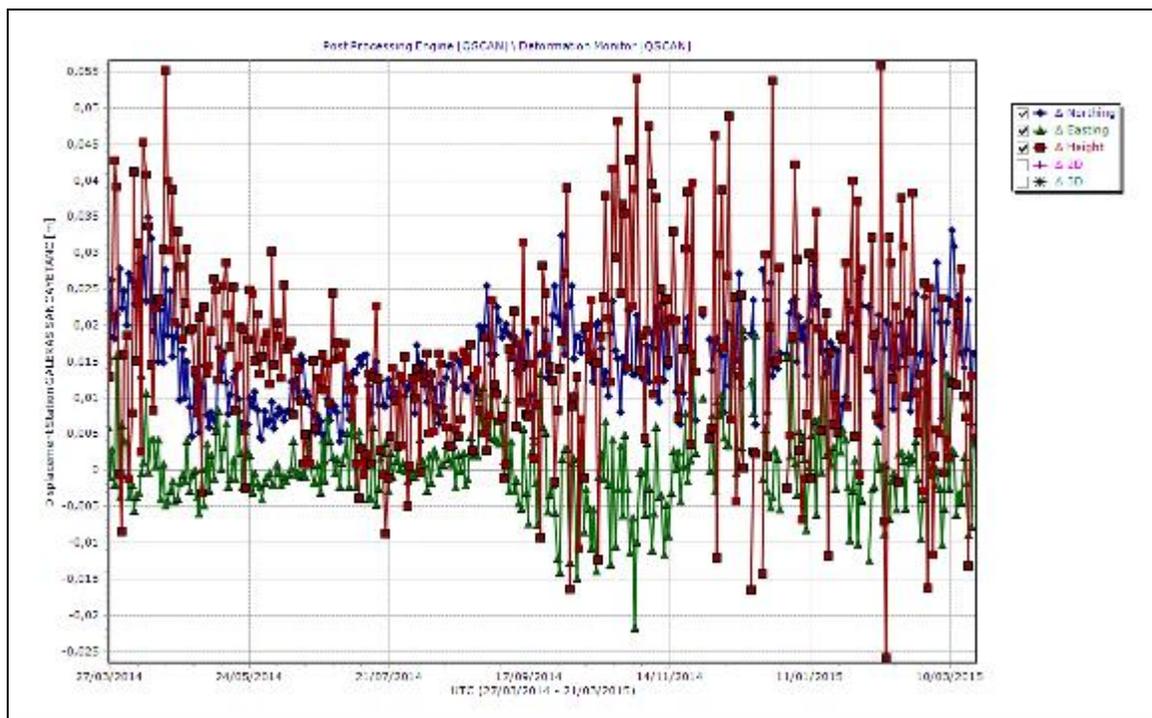


Figura 27. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 27 de marzo de 2014 y el 21 de marzo de 2015.

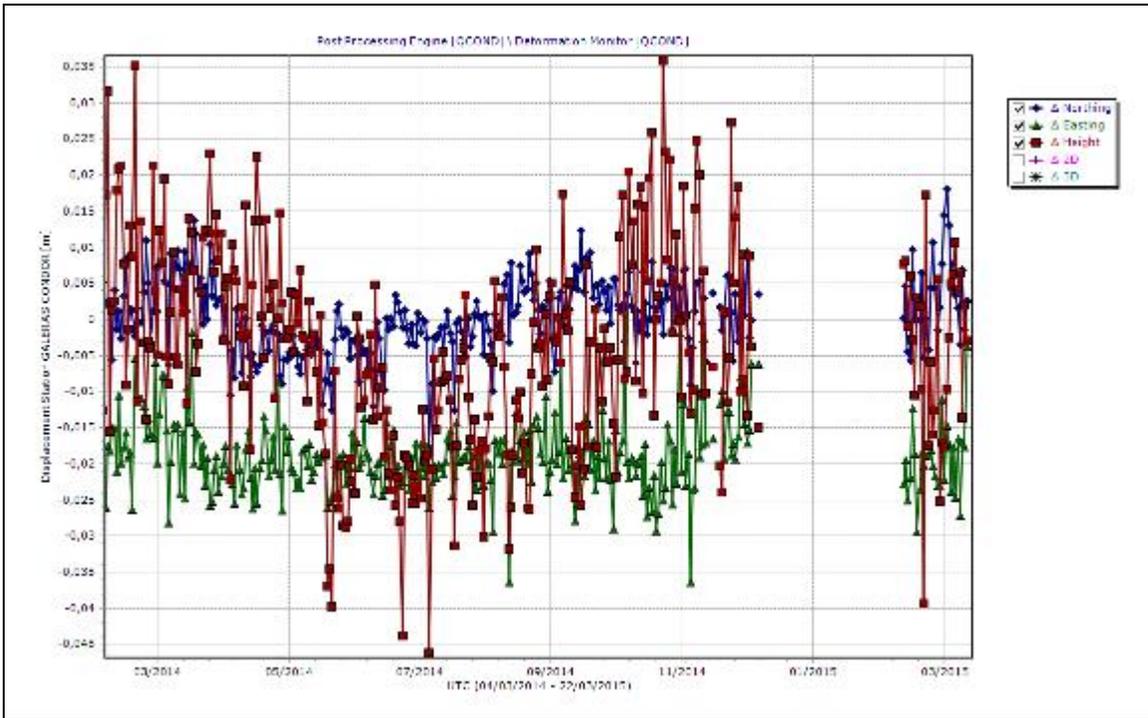


Figura 28. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 4 de marzo de 2014 y el 22 de marzo de 2015.

1.4. ELECTROMAGNETISMO.

Para el mes La red de vigilancia volcánica de las variaciones de los campos electromagnéticos está constituida por cinco estaciones, tres estaciones para medición de las variaciones de los campos magnéticos, Frailejón, Barranco y Cráter y dos estaciones para medición de las variaciones de los campos eléctricos, en los sectores de Frailejón y Barranco (Figura 29). A finales del mes de febrero e inicio de marzo de 2015 se realizó incremento en la tasa de muestreo, para la adquisición de datos desde estas estaciones.

En cuanto a los Campos eléctricos, para la estación de Barranco, las variaciones en las componente norte-sur (NS) estuvieron alrededor de los -130 mV/m, en tanto que en la componente este-oeste (EW), los cambios estuvieron alrededor de los 0 mV/m (Figura 30). En la estación de Frailejón, la componente NS muestra variaciones entre -72 y -78 mV/m, en tanto que la componente EW tuvo un valor promedio de -172 mV/m (Figura 31). Estos valores se asocian probablemente con manifestaciones del sistema hidrotermal a niveles superficiales y que se ajusta con las manifestaciones de actividad superficial del volcán observadas durante este mes.

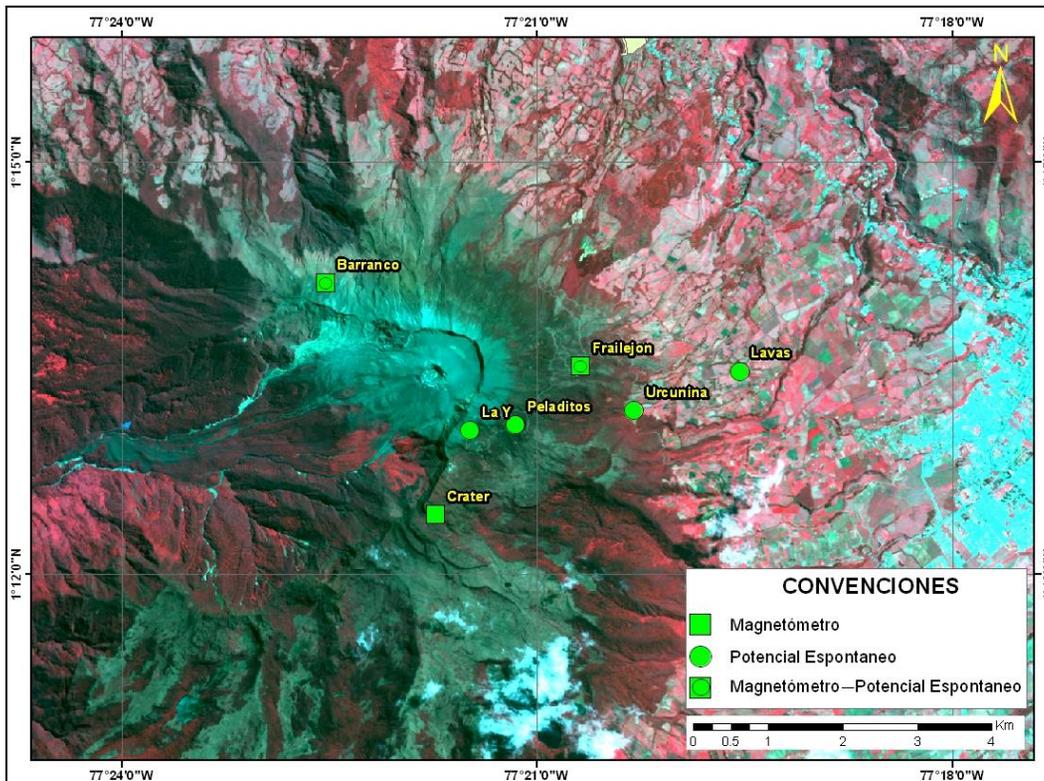


Figura 29. Localización de las estaciones de monitoreo de variaciones electromagnéticas, que conforman la red de vigilancia del volcán Galeras.

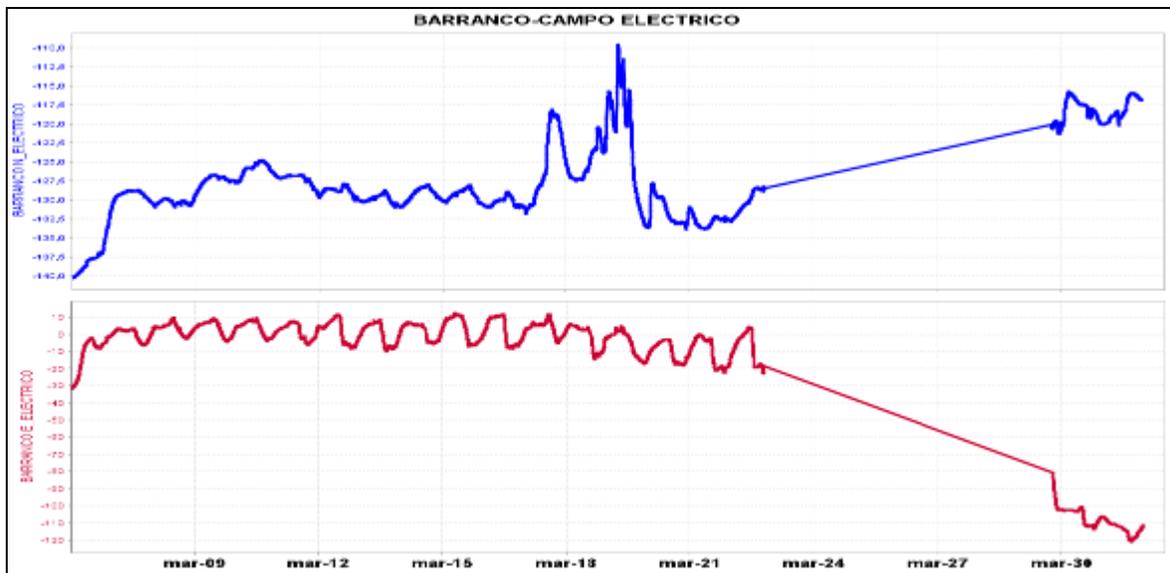


Figura 30. Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el mes de marzo de 2015.

Para la estación de Barranco, el análisis de las variaciones del campo magnético, durante el mes de marzo de 2015, en la zona de influencia del volcán Galeras, mostraron, además de las variaciones asociadas con los cambios electromagnéticos día/noche, pulsos asociados con tormentas eléctricas en la zona. En general, la tendencia de las componentes muestra un comportamiento estable. La componente NS tuvo un valor de alrededor de los 25.450 nT, la componente EW tuvo un valor promedio de 430 nT, en tanto que la componente vertical (Z) estuvo alrededor de los 10.330 nT. El campo horizontal (H) fue de alrededor de 25.500 nT y el campo total (F) de 27.500 nT (Figura 32).

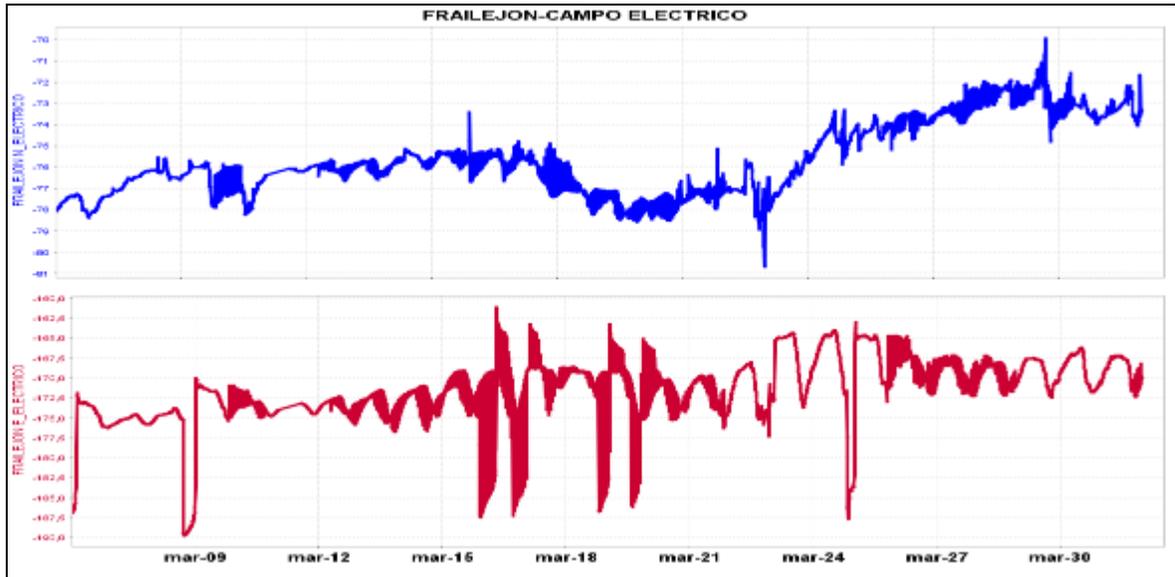


Figura 31. Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, para el mes de marzo de 2015.

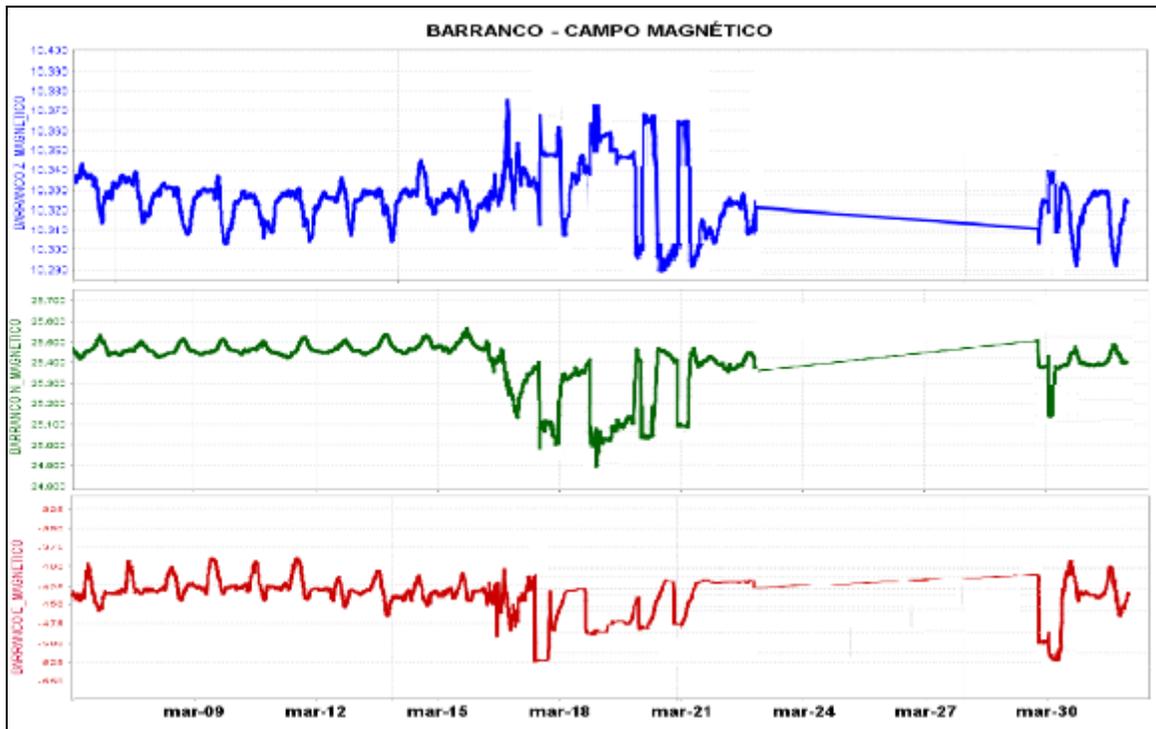


Figura 32. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (verde) y EW (rojo), de la estación de Barranco, para el mes de marzo de 2015.

En la estación de Frailejón, las tres componentes del campo magnético mostraron tendencia estable para el mes de marzo, con las oscilaciones día/noche y una variación mayor el día 17 de marzo, debido a tormenta eléctrica. La componente N tuvo un valor promedio de 23.800 nT, la componente EW de 6750 nT y la Z de -14.265 nT; con un campo total de alrededor de 28.600 nT (Figura 33).

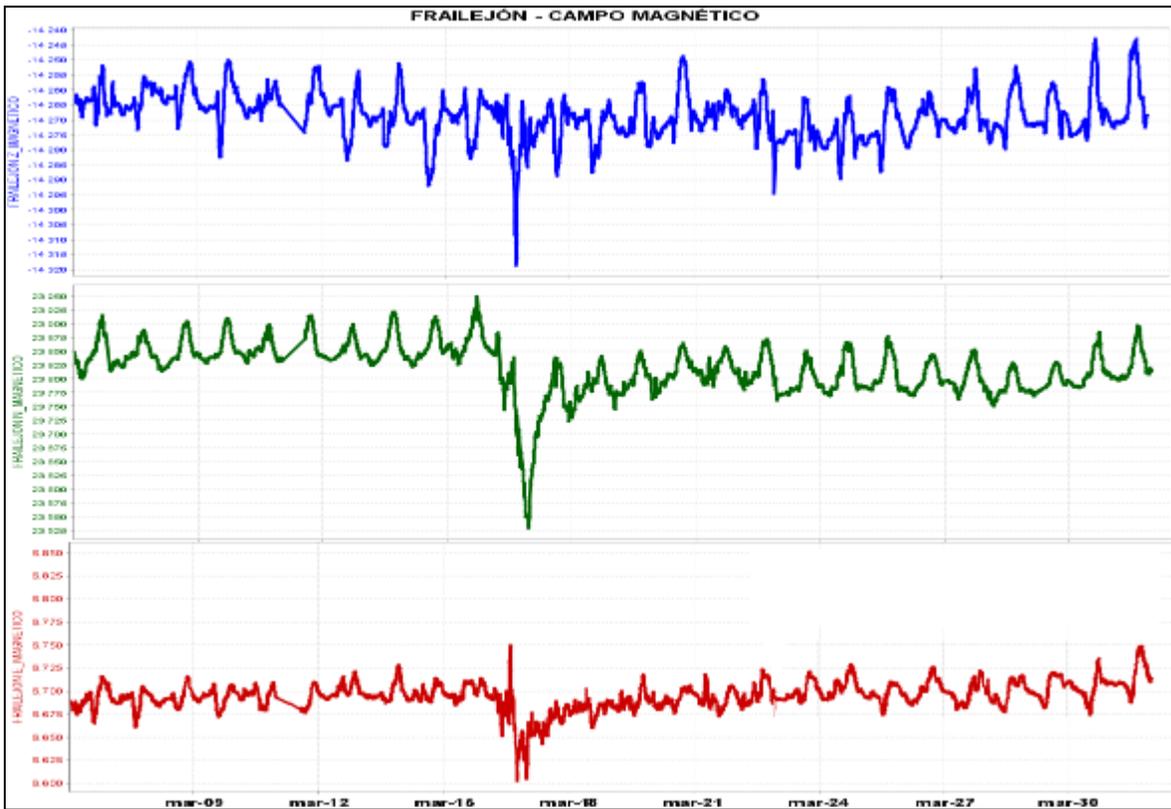


Figura 33. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (verde) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, para el mes de marzo de 2015.

En la estación Cráter, de monitoreo magnético, para el volcán Galeras, la componente Z mostro una tendencia descendente, con una variación de 110 nT; sin embargo, hacia el final del mes se observa un comportamiento estable en esta componente, en promedio tuvo un valor de 15910 nT. La componente N mostró una ligera tendencia ascendente, con una variación de alrededor de 50 nT, y un valor promedio de 29.250 nT. La componente EW mostró una ligera tendencia descendente, de alrededor de 40 nT y un valor promedio de 3.330 nT. El campo H estuvo alrededor de 29.400 nT y el campo total fue de 33.400 nT. Adicionalmente a las variaciones día/noche observadas en cada una de las componentes, se identifica un pulso debido a una tormenta eléctrica del día 17 de marzo (Figura 34).

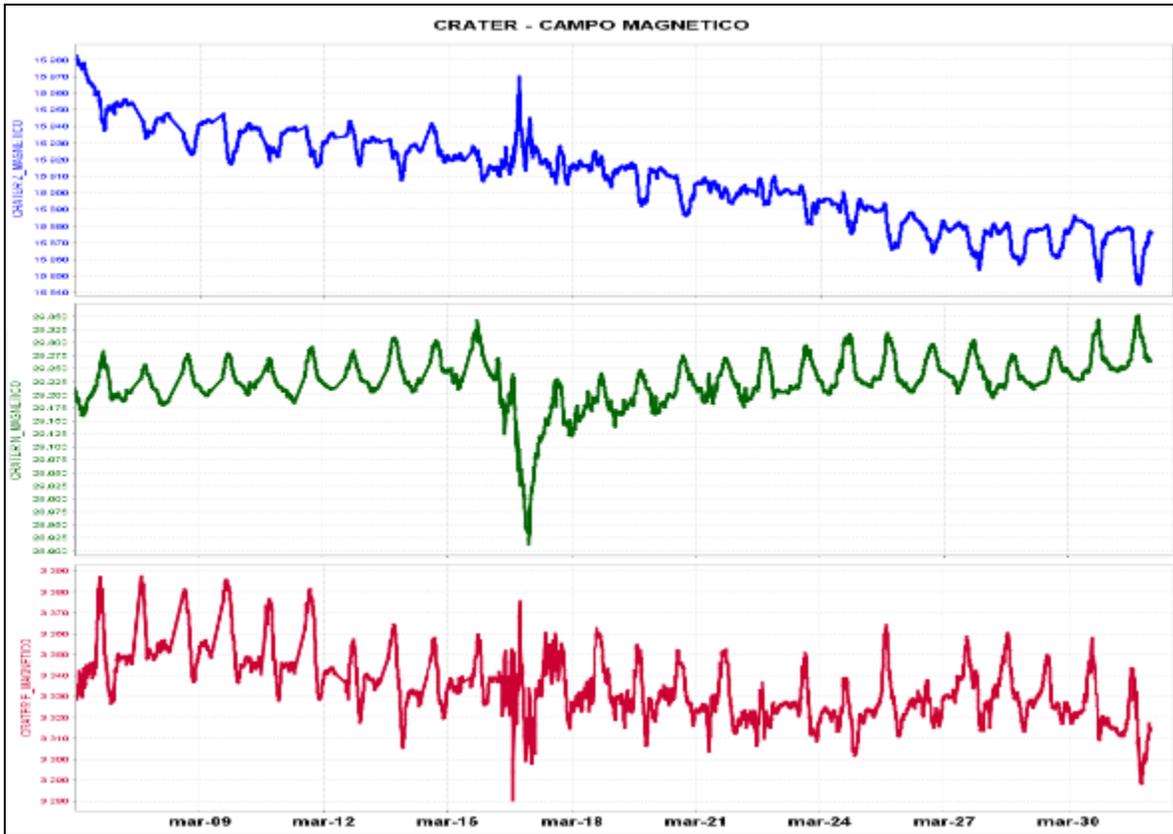


Figura 34. Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (rojo) y EW (verde), de la estación de Cráter, para el periodo comprendido entre noviembre de 2014 y febrero de 2015.

1.5. GEOQUIMICA.

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

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

Se registran escaneos durante todos los días del mes de marzo, para el día 9 se obtiene el mayor flujo de SO₂ registrando 422 Ton/d. Los valores de escaneos estimados para presencia de pluma de dióxido de azufre (SO₂) en la atmósfera durante este mes y obtenidos de la estación Alto Jiménez, y Santa Bárbara oscilaron entre las 30 Ton/d para el 19 de marzo hasta las 4220 Ton/d para el 9 de marzo, valores considerados como bajos Galeras (Tabla 9, Figura 35).

Tabla 9. Emisiones de SO₂ del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de marzo de 2015, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO ₂ diario [Ton/día]	Estación de registro o recorrido	Equipo
05-mar-15	02:23 PM	342.5	1.65	319	Alto Jimenez	SCANDOAS
09-mar-15	08:00 AM	324.7	7.28	422	Alto Jimenez	SCANDOAS
10-mar-15	12:54 PM	341.4	7.28	361	Alto Jimenez	SCANDOAS
13-mar-15	01:36 PM	355.8	3.37	247	Alto Jimenez	SCANDOAS
16-mar-15	08:17 AM	349.3	3.29	192	Alto Jimenez	SCANDOAS
18-mar-15	03:41 PM	300.8	1	31	Alto Jimenez	SCANDOAS
19-mar-15	01:21 PM	301.3	1	30	Alto Jimenez	SCANDOAS

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

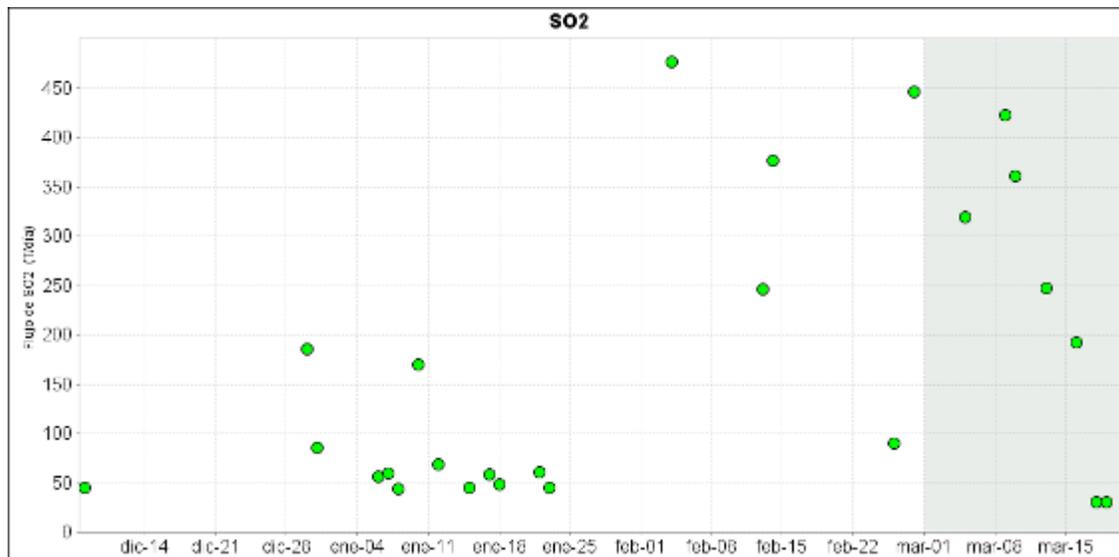


Figura 35. Flujo de emisión de SO₂ registrado entre diciembre de 2014 y marzo de 2015 por los equipos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

En la figura 36 se encuentran los valores de flujo de SO₂, velocidad y dirección del viento, en el que se puede observar que existe una relación con estas dos últimas variables y la cantidad de partículas de SO₂ calculadas para el flujo total en el mes de marzo, 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 SO₂.

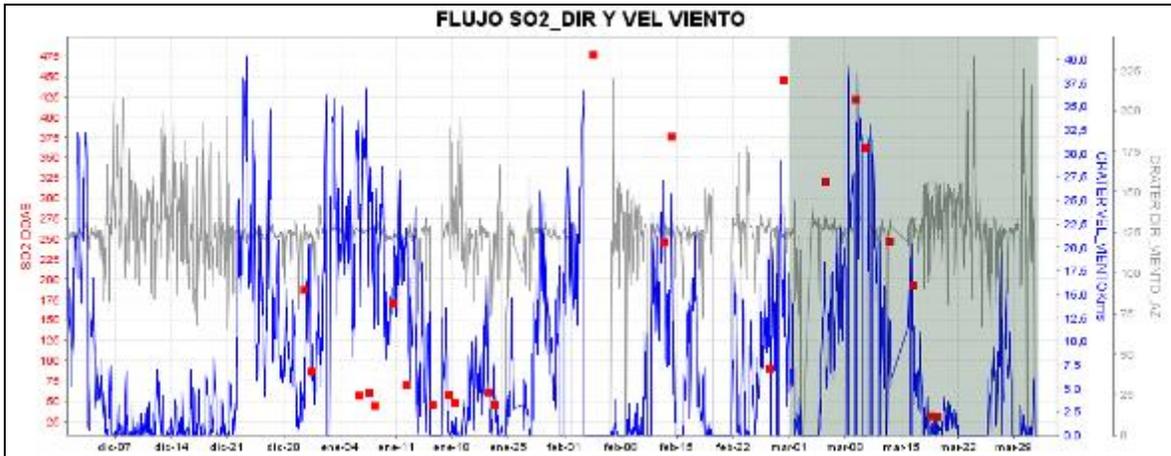


Figura 36. Flujo de dióxido de azufre (cuadros rojos), velocidad (líneas azules) y dirección acimutal del viento (líneas grises) para el periodo comprendido entre diciembre de 2014 y marzo de 2015.

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

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).

En las figuras 37 y 38 se grafica el comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, observándose en la estación Lavas una concentración máxima de 127949 Bq/m³ para el 31 de marzo, se continúa evidenciando oscilaciones en el comportamiento de la concentración de radón durante el periodo evaluado (Figura 37, tabla 10), sin embargo cabe aclarar que los grupos técnicos realizarán adecuación de señal en el sistema para descartar posibles interferencias y factores similares a los registros de temperatura que afecten el correcto registro de datos. La estación Parques presenta el 20 de marzo un máximo de 88565 Bq/m³ (Figura 38, tabla 11).

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

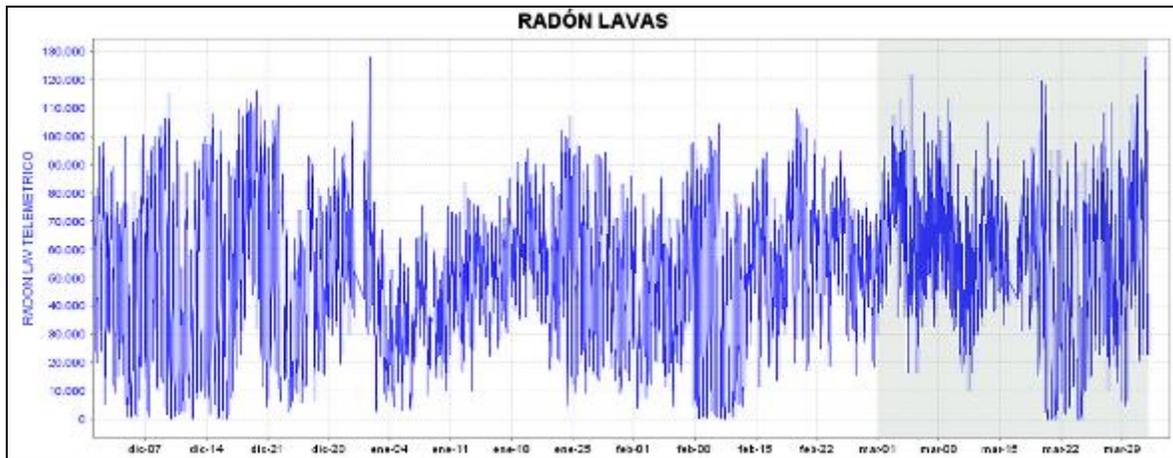


Figura 37. Concentración radón en suelo - Estación telemétrica Lavas – Diciembre de 2014 a marzo de 2015.

Tabla 10. Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Lavas – Volcán Galeras – Marzo de 2015.

Concentración radón (Bq/m3)	
Valor promedio	54156
Valor máx.	127949
Valor mín.	498

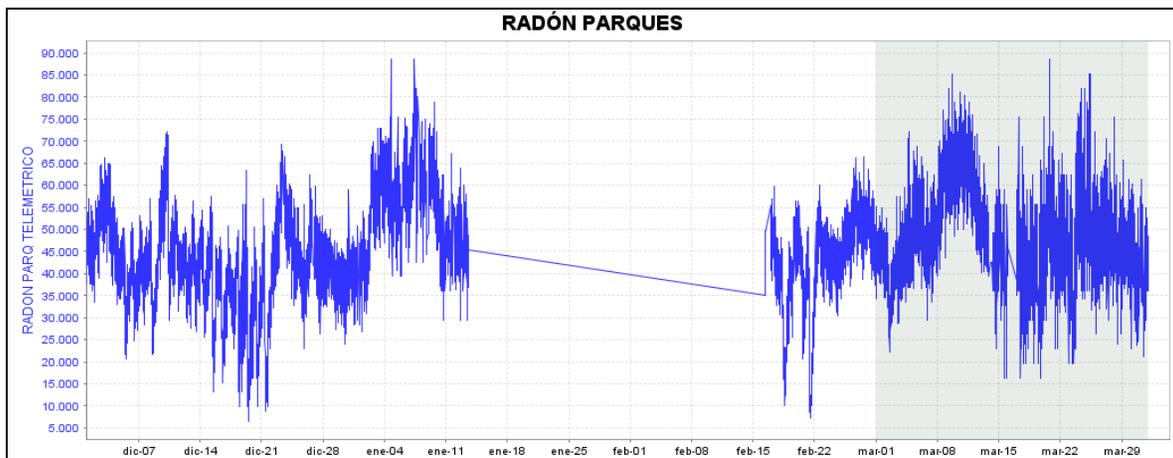


Figura 38. Concentración radón en suelo - Estación telemétrica Parques – Diciembre de 2014 a marzo de 2015.

Tabla 11. Registro de mayores valores de concentración de radón en estación Parques – Volcán Galeras – Marzo 2015.

Concentración radón (Bq/m3)	
Valor promedio	44586
Valor máx.	111539
Valor mín.	6515

1.5.3 Muestreo de aguas en fuentes termales

El volcán Galeras cuenta con una red actual de monitoreo de 5 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Río Pasto (A), FT Cehani (B), FT Aguas Agrías (C), FT Agua Blanca (D) y FT Licamancha (E). (Figura 39, tabla 12 y 13).

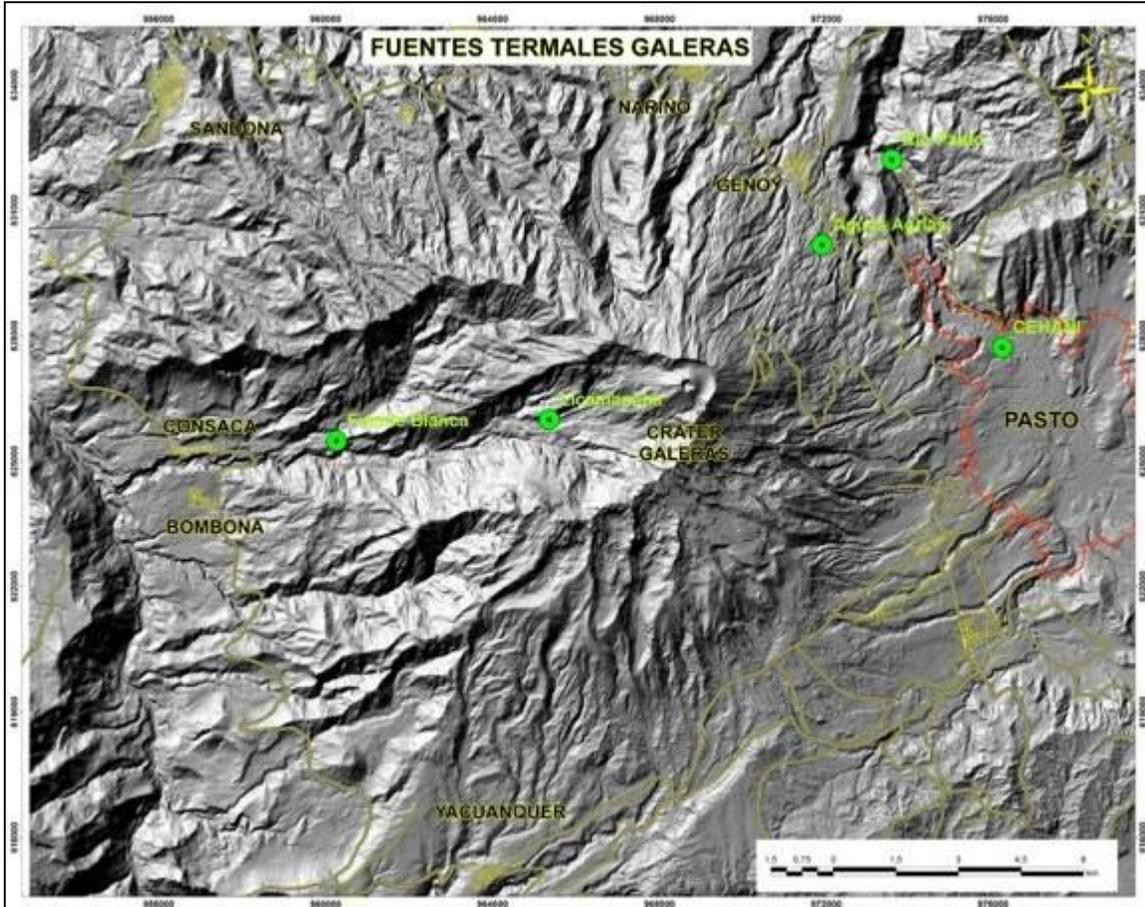


Figura 39. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

Tabla 12. Imágenes fotográficas de las fuentes termales de la zona de influencia del volcán Galeras - marzo 2015.



Tabla 13. Ubicación geográfica fuentes termales volcán Galeras.

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

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

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

-Conductímetro: permite hacer mediciones de conductividad eléctrica en aguas.

-Termómetro: permite hacer mediciones de temperatura.

En la figura 40 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de marzo para las FT de la zona de influencia del volcán Galeras. Los colores en la 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.

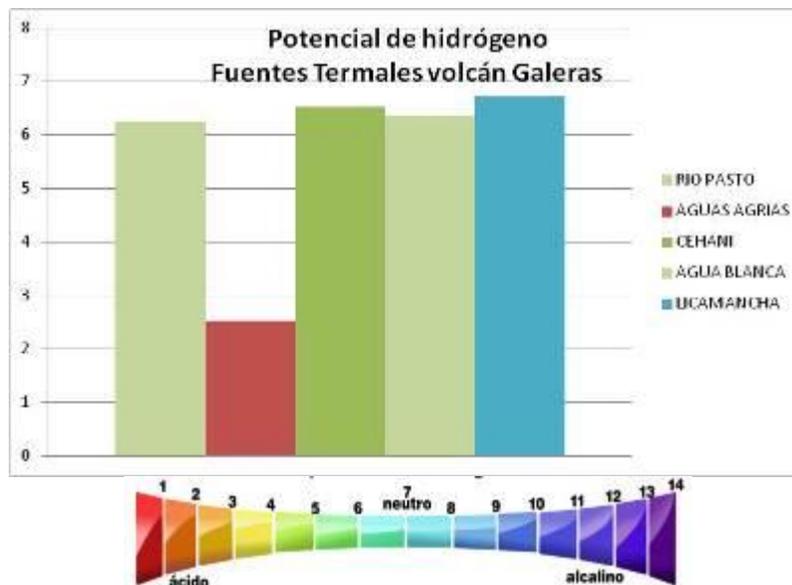


Figura 40. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Galeras mayo 2014.

De acuerdo a la figura anterior, las fuentes termales de Galeras presentan durante este mes potenciales de Hidrógeno (pH), entre 2,5 (ácida) y 6,7 (ligeramente ácido).

En las figuras 41 y 42 se observan las variaciones de temperatura, conductividad eléctrica, pH y concentración del ión bicarbonato 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 marzo.

Para el caso de la temperatura y la conductividad se observa estabilidad relativa en todos los manantiales termales, sin embargo la FT Aguas Agrias parecen mostrar un incremento en comparación con meses anteriores.

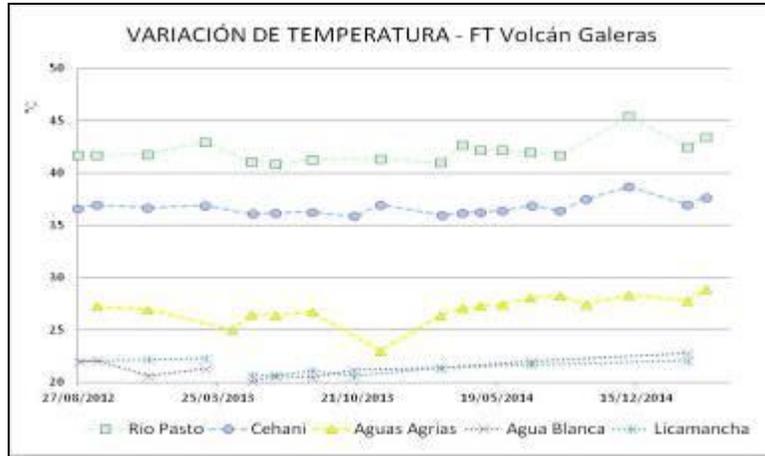


Figura 41. Variación de temperatura de las FT de Volcán Galeras - marzo 2015.

Los manantiales de Galeras aquí registrados se clasifican como termales (tabla 14), de acuerdo a su temperatura:

Tabla 14. Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.

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

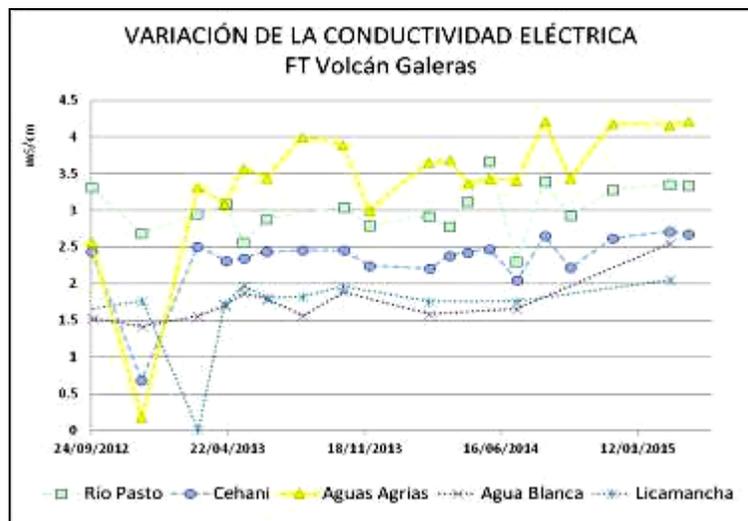


Figura 42. Variación de Conductividad Eléctrica de las FT de Volcán Galeras - marzo 2015.

- **Fuente termal Río Pasto**

Temperatura superficial: 43,5°C (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

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

- **Fuente termal Aguas Agrias**

Temperatura superficial: 28,9°C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 30°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 4,22mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

- **Fuente termal Cehani**

Temperatura superficial: 37,7°C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

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

- **Fuente termal Agua Blanca**

Temperatura superficial: 22.8° C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 35°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.55 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

- **Fuente termal Licamancha**

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

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 35°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2.0 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

En las figuras 43 y 44 se grafica la variación del pH y la variación de la concentración del ión bicarbonato para lo cual no se observan cambios importantes pero si estabilidad en el sistema. En la FT Aguas Agrías no hay presencia del ion HCO_3^- , por lo tanto esta variable no afecta en la variación del pH de este manantial, pero si la presencia de especies iónicas en la misma, como lo indica la conductividad eléctrica (Figura 44).

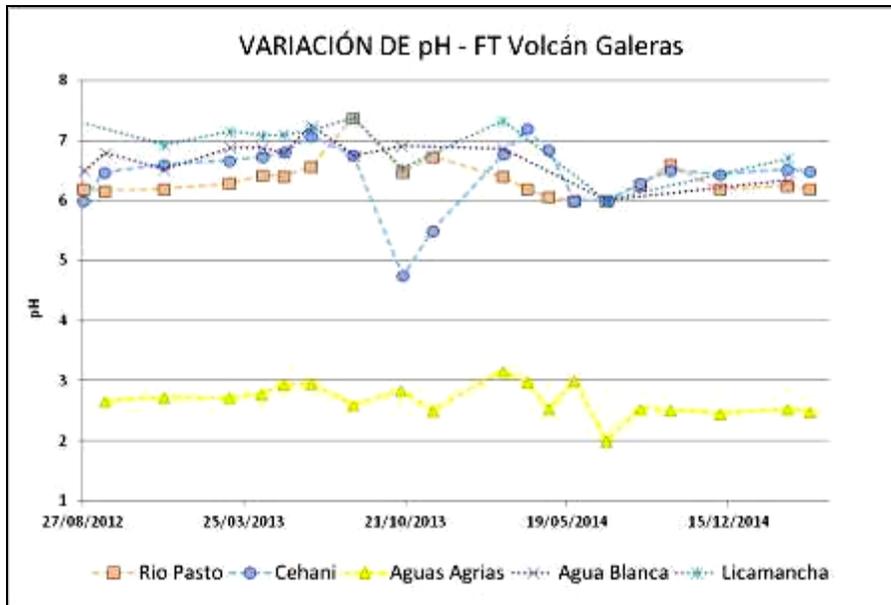


Figura 43. Variación del pH de las FT de Volcán Galeras - marzo 2015.

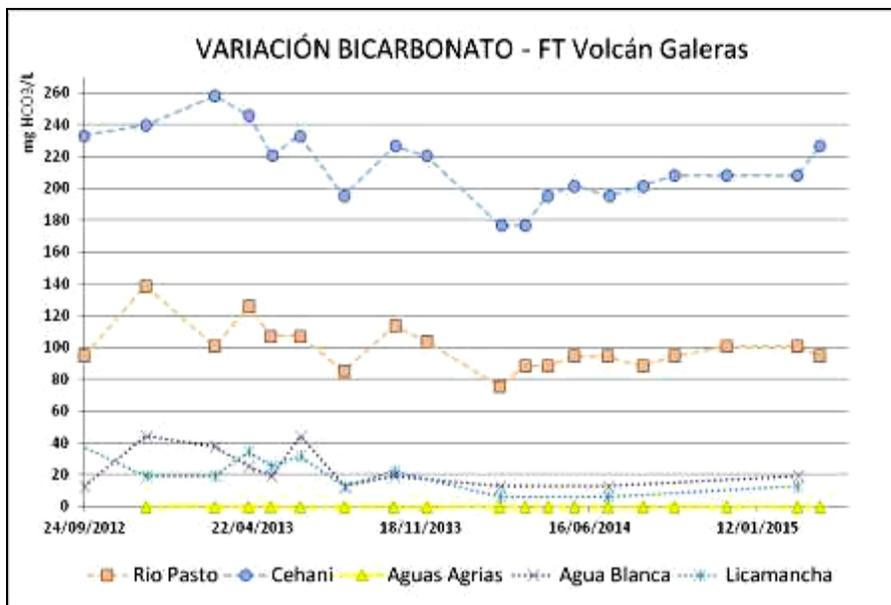


Figura 44. Variación de concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Galeras marzo 2015.

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

1.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas a la cima de Galeras desde la sede del OVSP y por videos e imágenes de las cámaras Web instaladas en la sede del OVSP en Pasto (SE del volcán), en Consacá (W del volcán) y en la cima de Galeras en el sector denominado Barranco Alto y Bruma (NW del cono activo y S respectivamente). Condiciones de clima favorables permitieron observar emisiones de gases durante la mayor parte del mes, exceptuando los días 6, 7, 8, 9, 10 y 11 de marzo. Para los días 25 a 30 de marzo no se tuvo registro fotográfico ni filmico de las cámaras WEB ubicadas en Galeras debido a problemas en el swith de adquisición ubicado en la sede del OVSP. La altura máxima alcanzada por las columnas de gas estuvo por debajo de los 500 m sobre la cima volcánica. La dispersión de las columnas de gases, en su mayoría de color blanco 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 45 a 50 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en marzo de 2015.



Figura 45. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Bruma el 1 de marzo de 2015 a las 6:12 p.m.



Figura 46. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Izquierda) y Barranco (Derecha) el 3 de marzo de 2015 a las 6:01a.m. y a las 9:40a.m. respectivamente.



Figura 47. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en Barranco el 13 de marzo a las 6:23 a.m.



Figura 48. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara web ubicada en Bruma el 18 de marzo a las 7:58 a.m.



Figura 49. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde las cámaras web ubicadas en Bruma (Arriba Izquierda), Barranco (Arriba Derecha) y desde el municipio de Consacá (Abajo) el 23 de marzo de 2015 a las 5:55 a.m., 6:10 a.m. y a las 7:13 a.m. respectivamente.



Figura 50. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde Barranco el 30 de marzo a las 2:55 a.m.

1.7. CONCLUSIONES

- Continúa observándose cambios en el comportamiento de la actividad del volcán, reflejados en las fluctuaciones de la actividad sísmica, siendo la sismicidad dominante aquella asociada a fracturamiento de material sólido con el consiguiente movimiento de fluidos.
- Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, la mayoría muestran un comportamiento relativamente estable.
- Los registros de flujo de Dióxido de Azufre (SO₂) 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 – MARZO DE 2015

2.1. RED DE VIGILANCIA

En marzo de 2015 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 51, Tabla 15).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 51, Tabla 15).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 51).
- Una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial instalada en el municipio de Cumbal (Figura 51).

Para este periodo las estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica y la cámara web tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 71,1% (Figura 52). La estación multiparámetro (Sismómetro, Inclinómetro y cámara WEB) tuvo un porcentaje equivalente al 8%, esta se encuentra fuera de funcionamiento debido a problemas en el modulo digitalizador del emplazamiento, los cuales se presentaron después de una tormenta eléctrica en la zona.

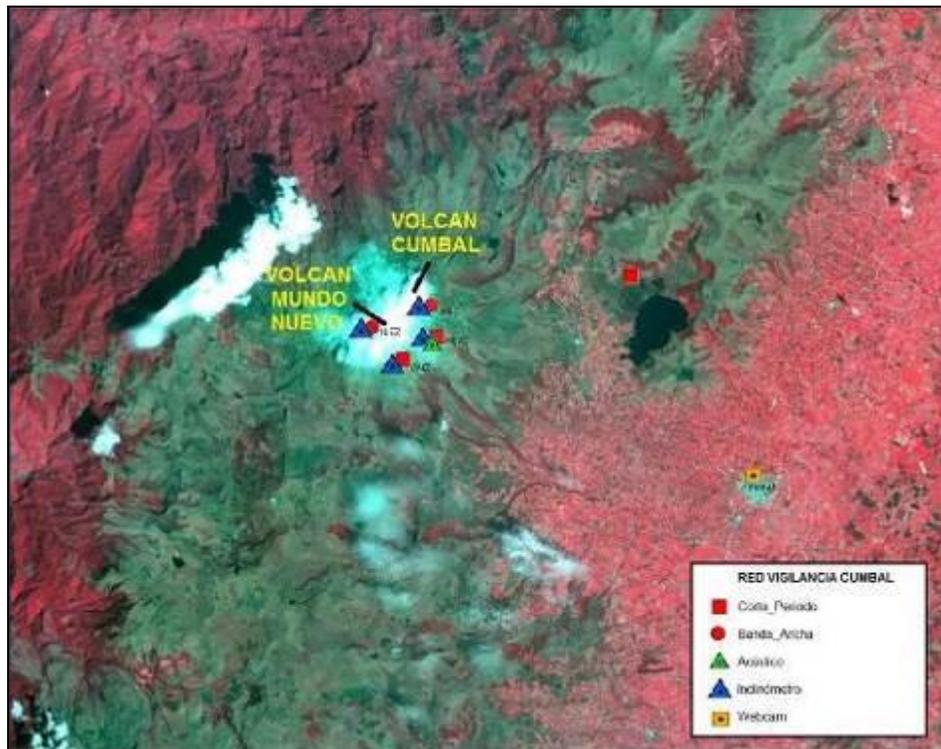


Figura 51. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2015.

Tabla 15. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal durante marzo de 2015.

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

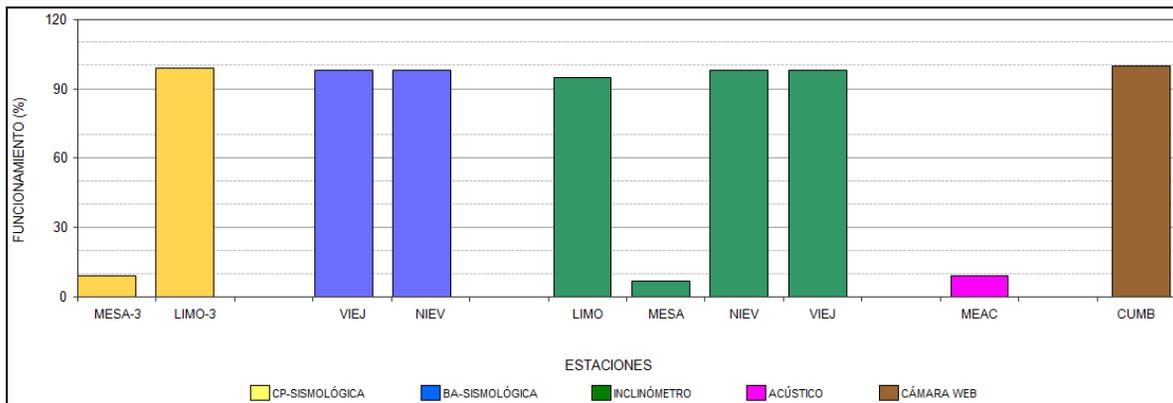


Figura 52. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2015.

2.2. SISMOLOGÍA

En el mes de marzo de 2015, la ocurrencia sísmica tuvo una disminución del 15,1% en comparación a febrero de 2015, pasando de 708 a 601 eventos. La sismicidad dominante fue de tipo LPS en un porcentaje del 49,9%, con el registro de 4 eventos tipo Tornillo – TOR, seguido por los eventos tipo HYB con un 39,1%. Por su parte, los eventos tipo VT y TRE aportaron con el 9,2% y 1,8% respectivamente (Tabla 16, Figuras 53 y 54).

Tabla 16. Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015 (resaltado en color verde).

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	TOR	TOTAL
01-dic-14 a 31-dic-14	104	383	27	183	3	697
01-ene-15 a 31-ene-15	111	360	22	246	7	739
01-feb-15 a 28-feb-15	95	380	23	210	6	708
01-mar-15 a 31-mar-15	55	300	11	235	4	601

Relación Porcentual Mensual

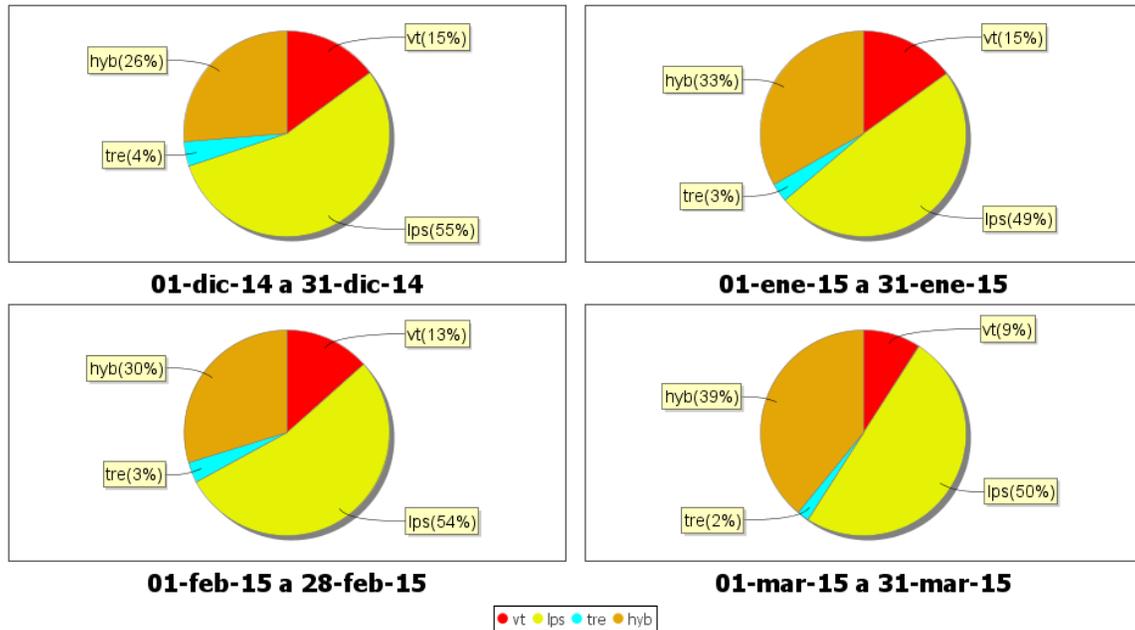


Figura 53. Relación porcentual de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal entre diciembre de 2014 y marzo de 2015. En la Figura el valor de los porcentajes se aproxima a valores enteros.

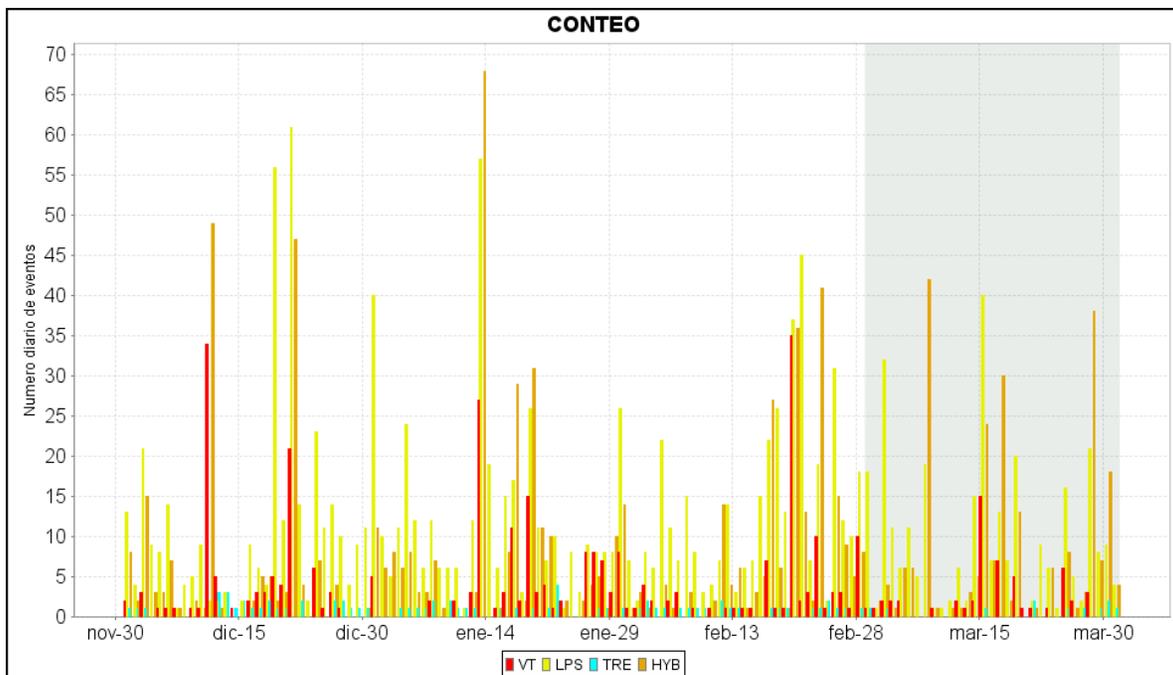


Figura 54. Conteo diario de los diferentes tipos de sísmica volcánica, para el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

A manera de ejemplo, las Figuras 55 y 56 muestran el registro de dos eventos asociados con movimiento de fluidos tipo TOR registrados el 21 y 22 de marzo de 2015 a las 8:42 p.m. y 4:05 p.m., con frecuencias dominantes de 1,76 Hz y 5,2 Hz respectivamente.

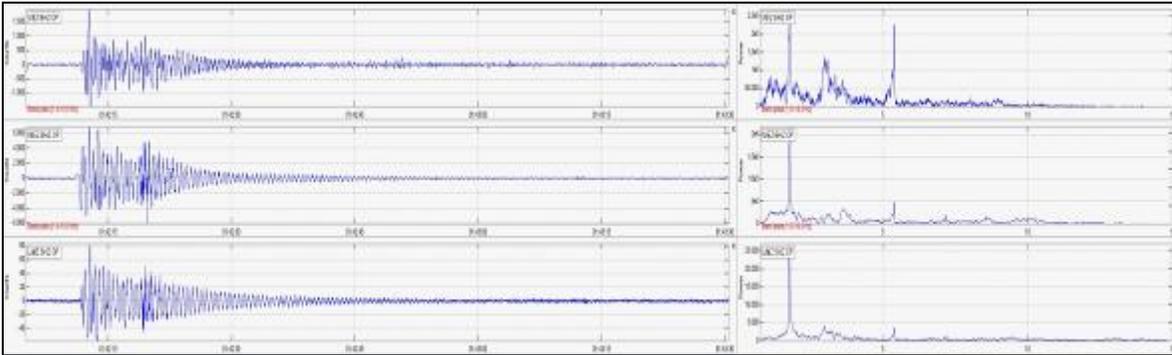


Figura 55. Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 21 de marzo de 2015 a las 8:42 p.m., el evento tuvo una duración de 47 segundos en la estación sísmica Limones.

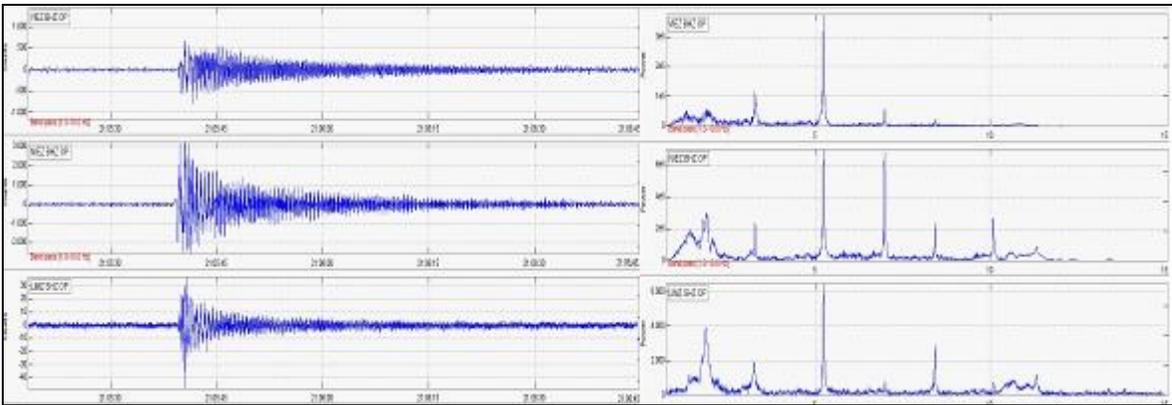


Figura 56. Sismograma y espectro en frecuencia del evento TOR, registrado el 22 de marzo de 2015 a las 4:05 p.m., el evento tuvo una duración de 80 segundos en la estación sísmica Limones.

Las Figuras 57 y 58 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 marzo de 2015. Se resalta que, hasta la fecha este tipo de eventos no muestran en sus parámetros evaluados una tendencia clara así como tampoco una correlación con procesos de presurización del sistema.

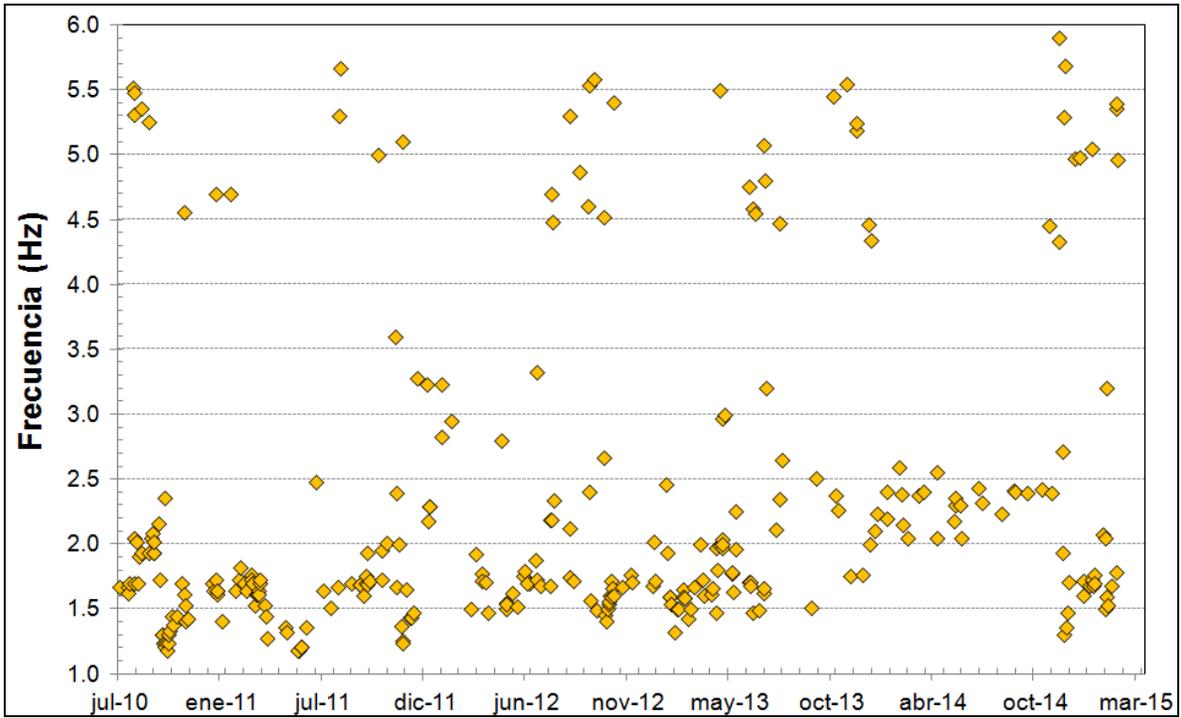


Figura 57. Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de marzo de 2015.

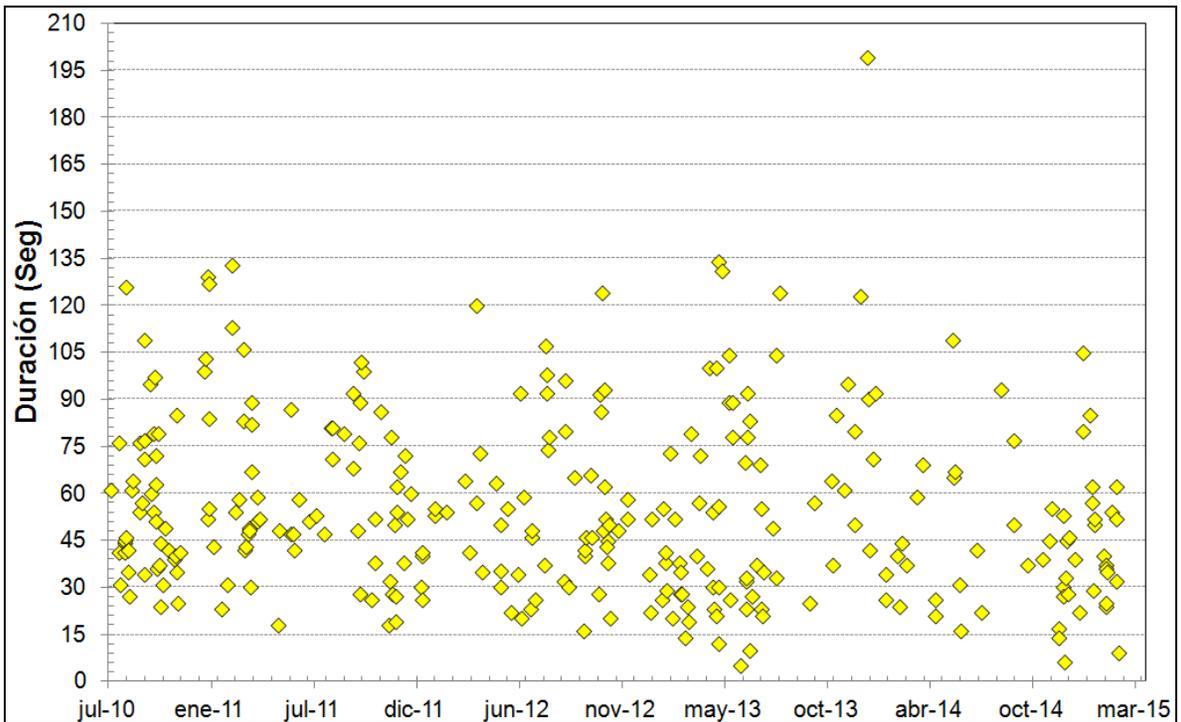


Figura 58. Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de marzo de 2015.

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 89 sismos (68 HYB y 21 VT), la mayoría de eventos se localizaron en inmediaciones del complejo volcánico Cumbal a menos de 2 km de distancia y profundidades menores a 3 km respecto a la cima volcánica. Algunos eventos se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, a distancias menores a los 10 km respecto al centro del complejo y a profundidades de hasta 19 km respecto a la cima volcánica. Las magnitudes locales estuvieron por debajo de 1,4 en la escala de Richter (Figura 59).

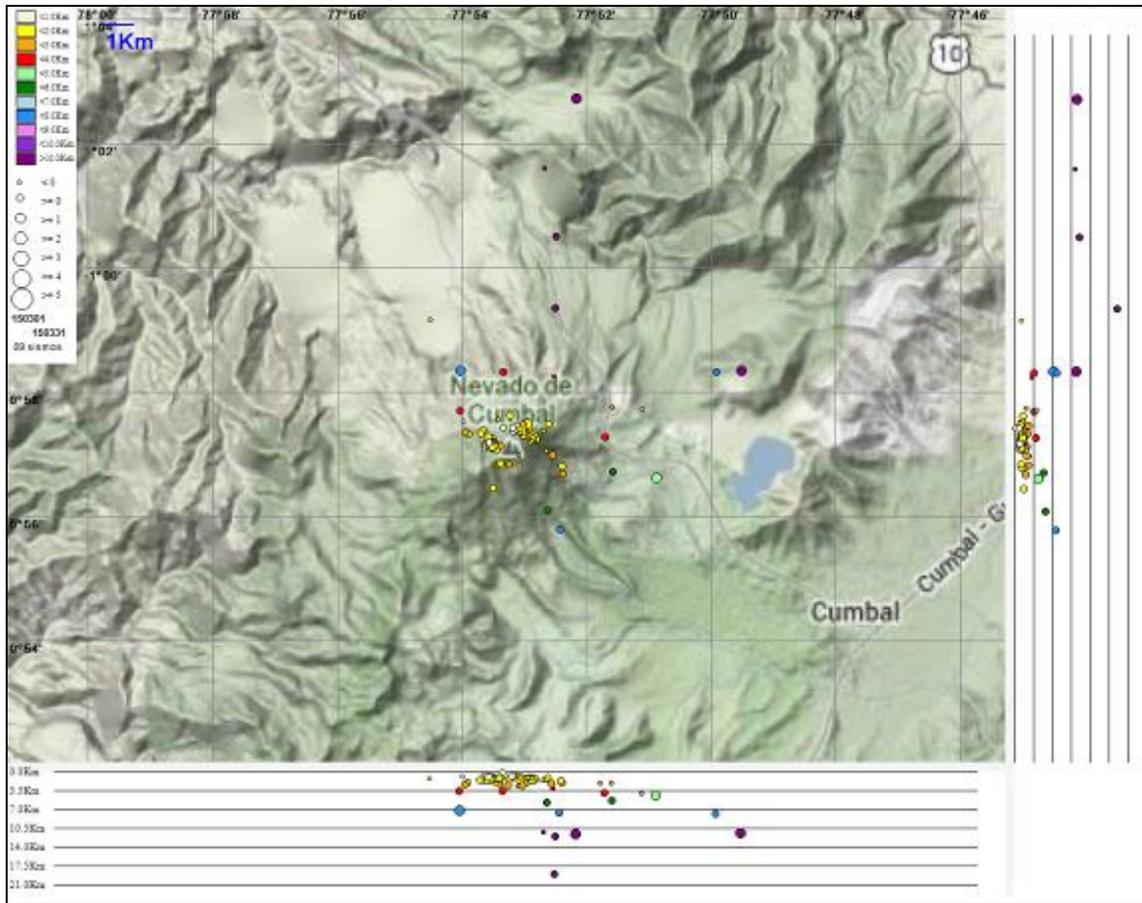


Figura 59. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y 31 de marzo de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 Km de profundidad respecto a la cima volcánica (aproximadamente 4760 msnm).

2.3. DEFORMACIÓN

En relación a los procesos de deformación del edificio volcánico se observó que las componentes Norte y Este del Inclinómetro La Mesa (localizado a 2,5 km al estesureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4270 m.s.n.m.), (Figura 60), muestra en su componente Norte una variación acumulada desde febrero de 2014 hasta marzo de 2015 de 25 μ radianes, y para el mismo periodo su componente este de 30 μ radianes.

Para el inclinómetro Limones (ubicado a 1,5 km al sureste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4232 m.s.n.m.), en su componente Norte, mantiene la tendencia que trae desde febrero de 2012, acumulando hasta marzo de 2015 cerca de 40 μ radianes, en tanto que la componente este muestra estabilidad (Figura 61)

Punta Vieja (ubicado a 2 km al noreste del cráter La Plazuela del volcán Cumbal, 4519 m.s.n.m.) desde finales del 2013 muestra una variación continua en su componente norte que acumula hasta marzo de 2015 cerca de 90 μ radianes y la componente Este de 40 μ radianes (Figura 62).

El inclinómetro Nieve (ubicado a 0,2 km al este del cráter Mundo Nuevo del volcán Cumbal, 4696 m.s.n.m.) desde finales de 2013 mantienen un comportamiento estable en su componente Este y la componente Norte muestra una leve tendencia desde septiembre de 2014, acumulando hasta marzo de 2015 unos 15 μ radianes (Figura 63).

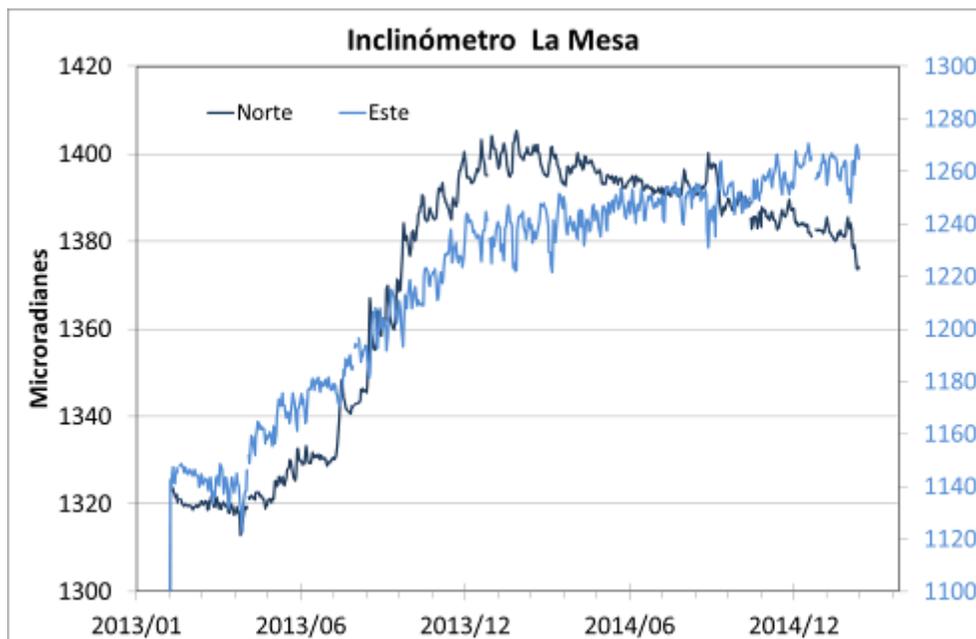


Figura 60. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro La Mesa, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

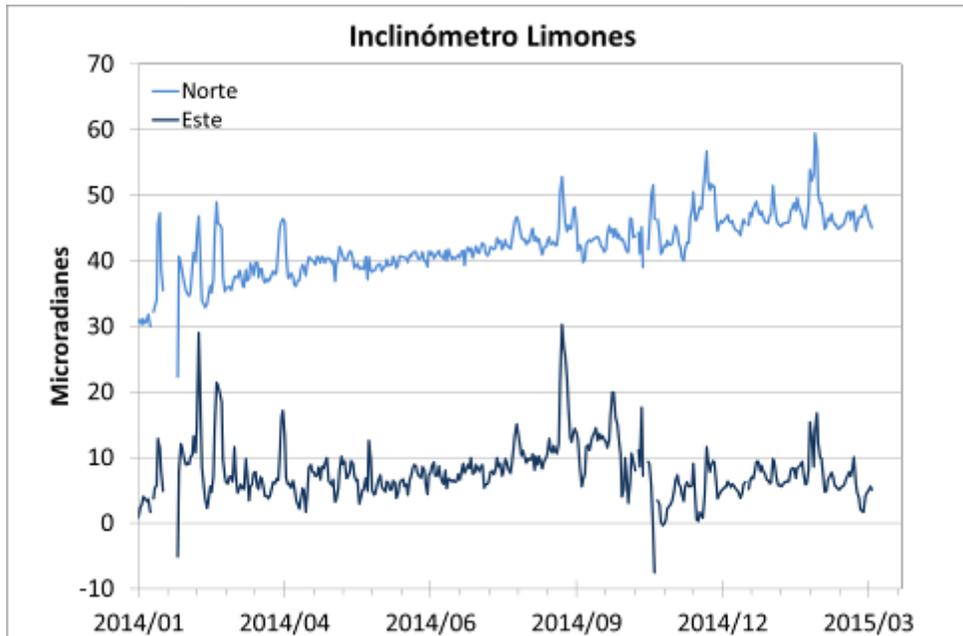


Figura 61. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Limones, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

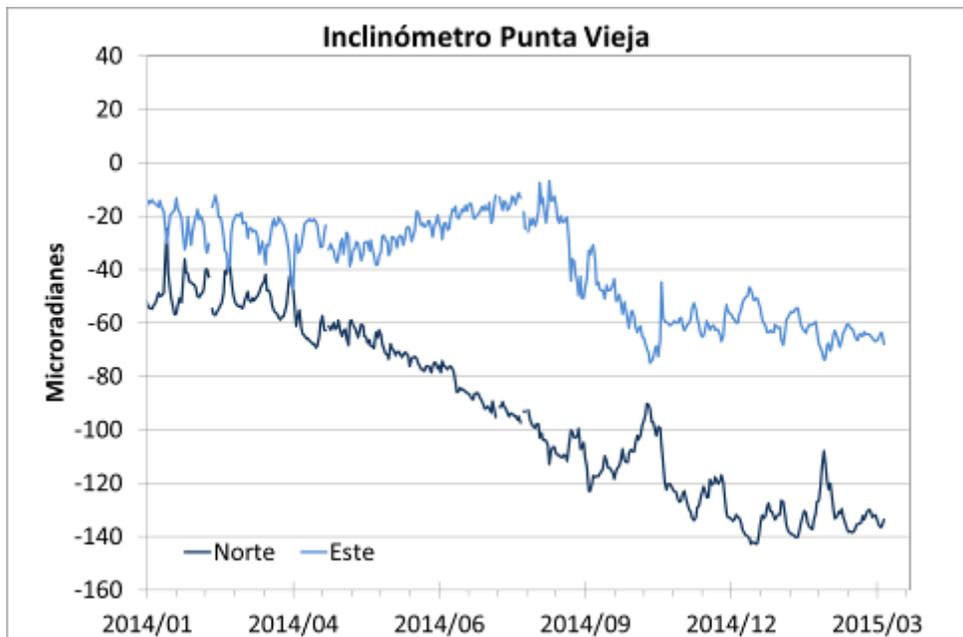


Figura 62. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Punta Vieja, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

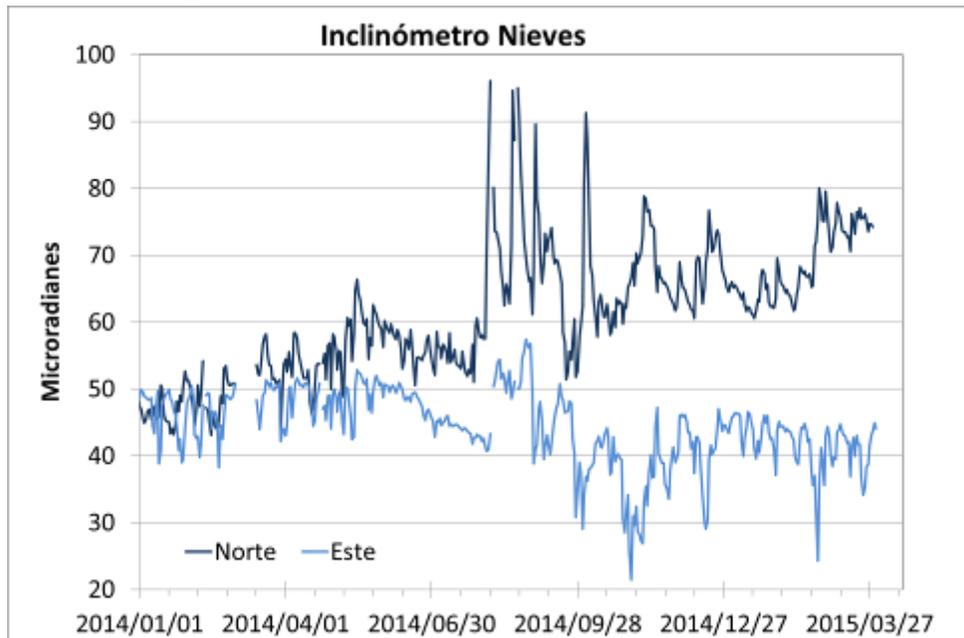


Figura 63. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Nieve, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

En marzo de 2015 la actividad superficial se documentó a partir de las observaciones realizadas a los videos e imágenes de la cámara Web instalada en el municipio de Cumbal. Condiciones de clima favorables durante los días 1, 2, 3, 5, 14, 16, 17, 21, 23, 24, 26, 28, 30 y 31 de marzo, permitieron observar emisiones de gases de color blanco, provenientes principalmente de los campos fumarólicos El Verde (en Cumbal), Rastrojo y Boca Vieja (en Mundo Nuevo), las cuales fueron de baja altura y se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos (Figuras 64 y 65).



Figura 64. Registro fotográfico de las emisiones de gases observadas el 23 de marzo de 2015 a las 6:24 a.m. (Arriba) y a las 7:49 a.m. (Abajo) desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.



Figura 65. Registro fotográfico de la emisión de gases observada el 24 de marzo a las 6:26 a.m., desde la cámara Web instalada en la cabecera municipal de Cumbal.

2.5. CONCLUSIONES

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

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de marzo de 2015 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 MARZO DE 2015

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se encuentran ubicados al suroeste del país, en el departamento de Nariño, más exactamente en la frontera entre Colombia y Ecuador. Con una altura de 4748 msnm, Chiles se localiza a unos 15,5 Km al suroeste del Complejo Volcánico Cumbal. Por su parte el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16,5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 66).

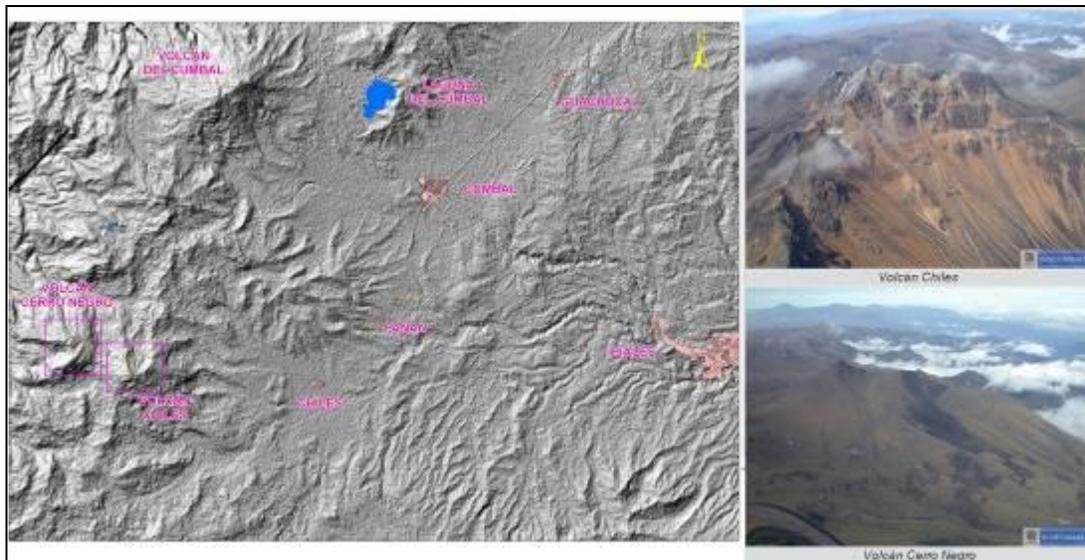


Figura 66. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

3.2. RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha y tres inclinómetros electrónicos, 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, la cual fue objeto de vandalismo el pasado 21 de diciembre de 2014), ubicado al nororiente del volcán, otra en el sector denominado Canguil (sismómetro y sensor de presión acústica) al nor-noroccidente del volcán Chiles, otra se encuentra en cercanías del volcán Cerro Negro y está conformada por una estación sísmica de banda ancha y un inclinómetro electrónico, ubicada al noroccidente de la parte alta del volcán, la estación Panán, a 7,4 km al nororiente del volcán Chiles y la estación Laguna ubicada al nor-nororiente del volcán Chiles (Figura 67, Tabla 17).

Además se cuenta con una estación para el monitoreo de la temperatura en la fuente termal Baño Grande ubicada en cercanías del cabildo de Chiles (Figura 68).

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 48,4% (Figura 69). Este bajo porcentaje se debe a que las estaciones Morro, Panán y Canguil se encuentran fuera de funcionamiento desde el 21 de diciembre de 2014.

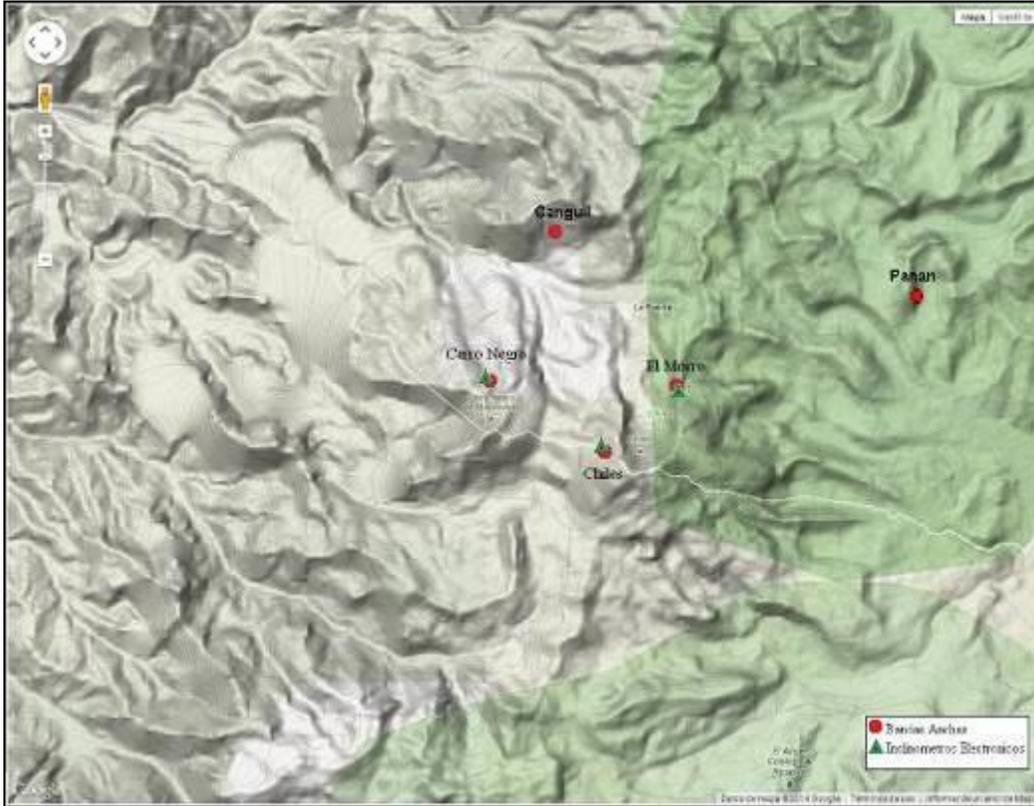


Figura 67. Estaciones sísmicas definidas (círculos rojos) y de deformación (Triángulos verdes) para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.

Tabla 17. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
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
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panan	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750

Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico Chiles – Cerro Negro ocurridos entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-dic-14 a 31-dic-14	82979	0	0	0	82979
01-ene-15 a 31-ene-15	48968	0	0	0	48968
01-feb-15 a 28-feb-15	19399	0	0	0	19399
01-mar-15 a 31-mar-15	11627	0	0	0	11627

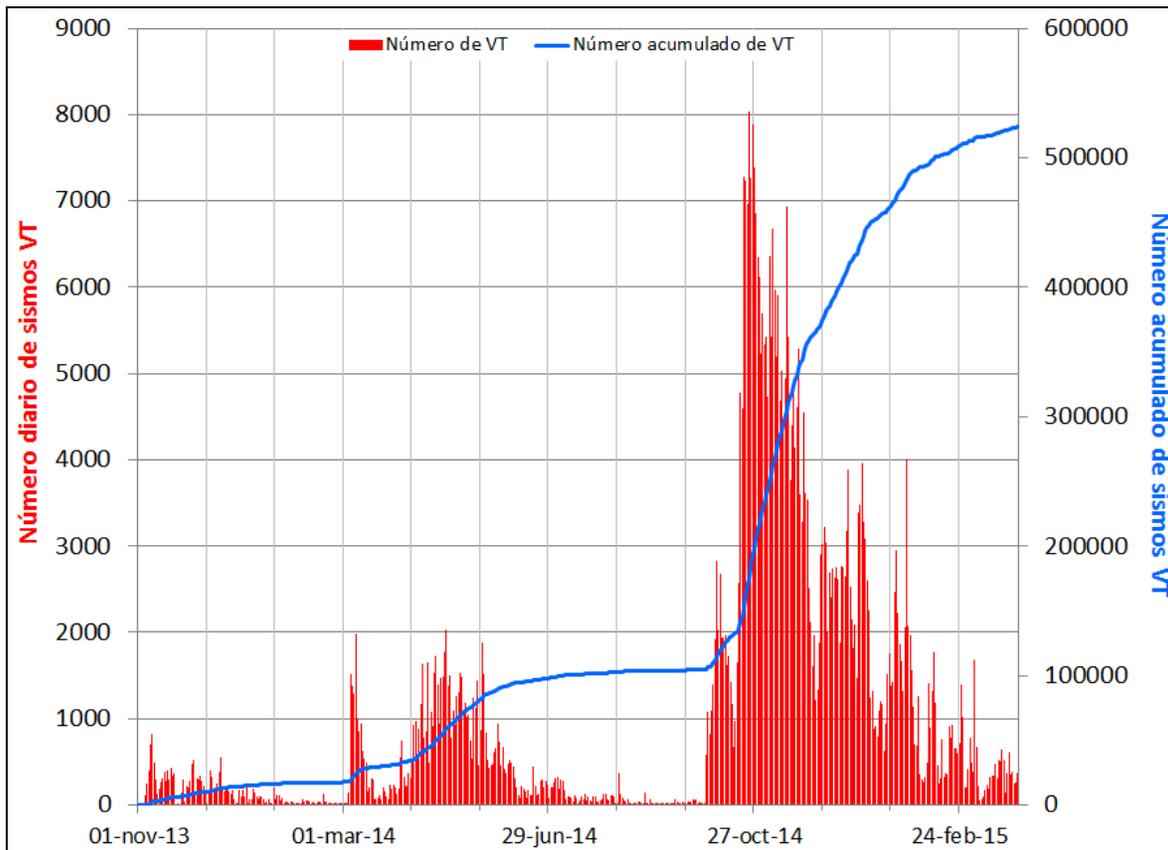


Figura 70. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Chiles y Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

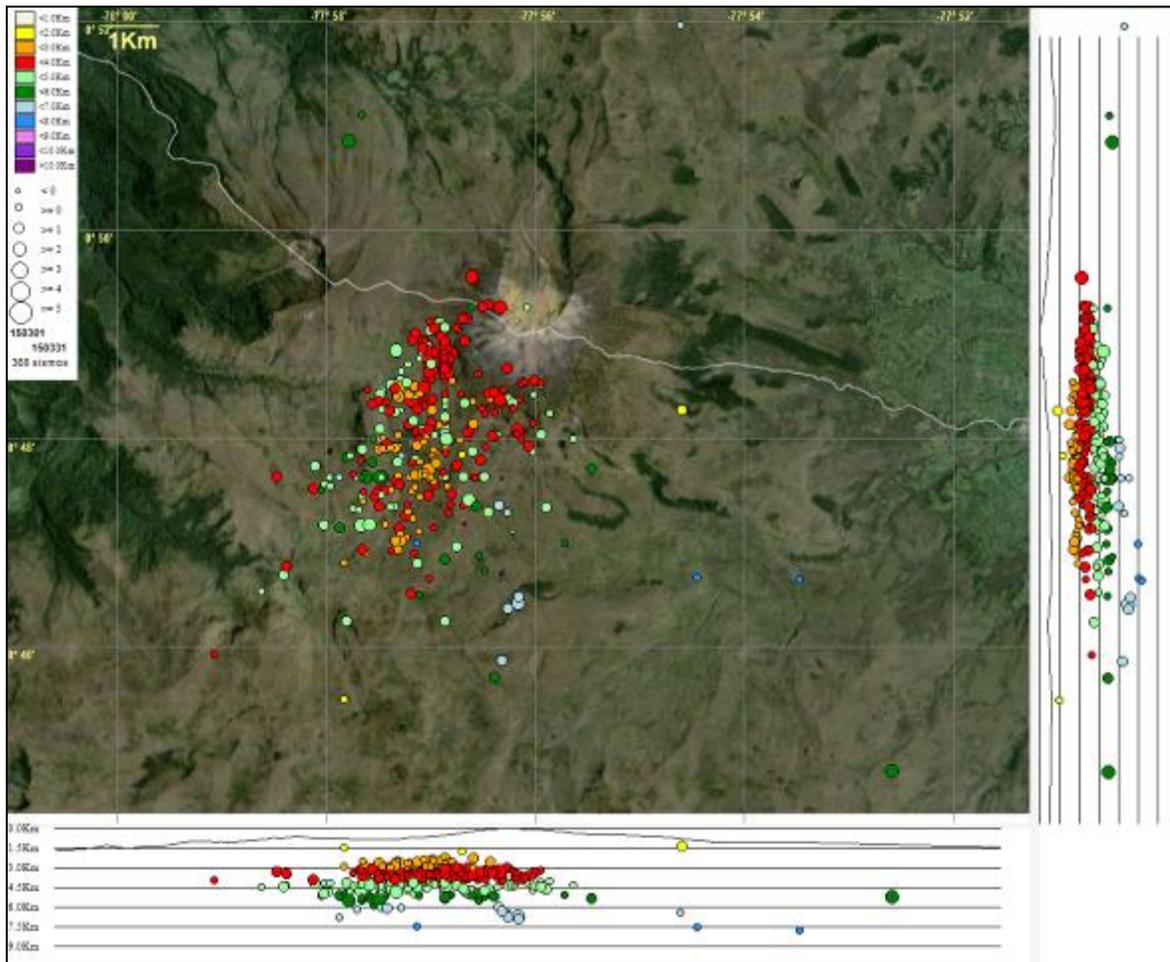


Figura 71. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo de Chiles y Cerro Negro, en el mes de marzo de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 1,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

De la sismicidad registrada en este mes se tuvo reporte de 3 eventos como sentidos, principalmente por pobladores del resguardo indígena de Chiles – Municipio de Cumbal con magnitudes entre 2,9 y 3,3 en la escala de Richter. El sismo más energético se registró el día 5 de marzo de 2015, a las 2:08 a.m. hora local.

Teniendo en cuenta la magnitud local presentada por los eventos localizados, se logró obtener un estimativo de la energía liberada, esta gráfica se representa en términos de la raíz cuadrada (Figura 72).

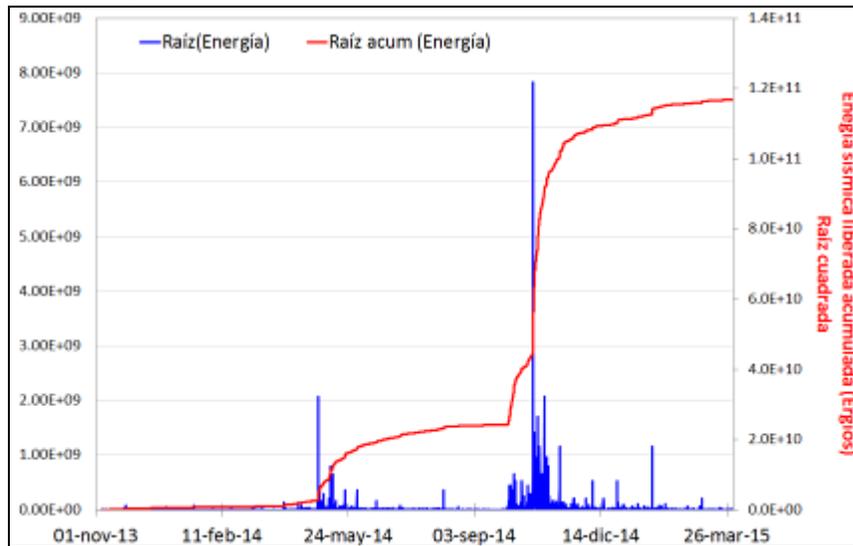


Figura 72. Energía diaria liberada calculada con la ML de los eventos volcánicos tipo VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 31 de marzo de 2015. La ordenada se muestra en términos de la raíz cuadrada del valor de la energía en ergios.

3.4. DEFORMACIÓN

Las componentes Norte y Este del inclinómetro Chiles, muestran para los últimos tres meses un comportamiento estable, con variaciones asociadas a la temperatura ambiente y muy probablemente a variaciones en el voltaje (Figura 73).

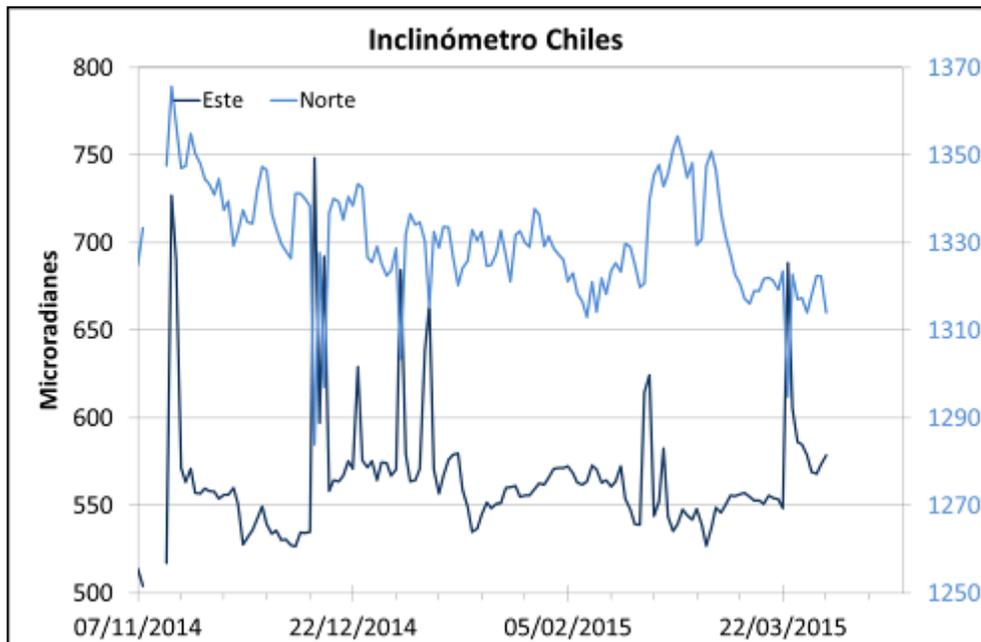


Figura 73. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Chiles, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 7 de noviembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

La componente Este del Inclinómetro Cerro Negro – 2, instalado a finales de junio de 2014, continúa con el comportamiento ascendente registrado desde el 21 de agosto de 2014, acumulando hasta el 31 de marzo de 2015 cerca de 490 μ rad. La componente Norte registra un comportamiento relativamente (Figura 74).

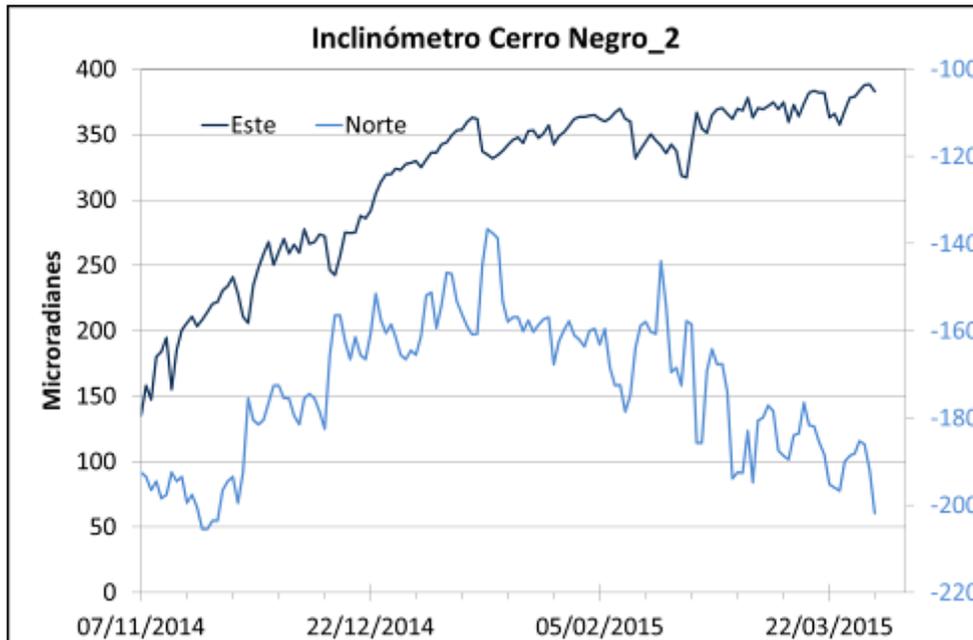


Figura 74. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Cerro Negro – 2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 11 de noviembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

3.5. GEOQUÍMICA

3.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales del Volcán Chiles.

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

3.5.2. Registro de temperatura – Estación Térmica Baño Grande

Los datos sobre la variación de temperatura en la FT Baño Grande del volcán Chiles, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada en el sitio (Figura 75, tabla 19), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de 10 minutos; a partir del mes de febrero de 2015 la estación térmica “Baño Grande” registra variaciones atípicas significativas en los valores de temperatura hasta el 19 de marzo del presente año, razón por la cual el grupo de geoquímica verificó y evaluó en campo tres diferentes equipos de medición de temperatura, las gráficas e informe se describieron en el informe mensual correspondiente a febrero de 2015. De acuerdo a lo anterior y a que el sistema continua sin responder de manera correcta, se decide retirar el sensor de temperatura el día 19 de marzo de 2015 para evaluar junto al grupo de electrónica las posibles interferencias y realizar la adecuación de señal en el sistema.

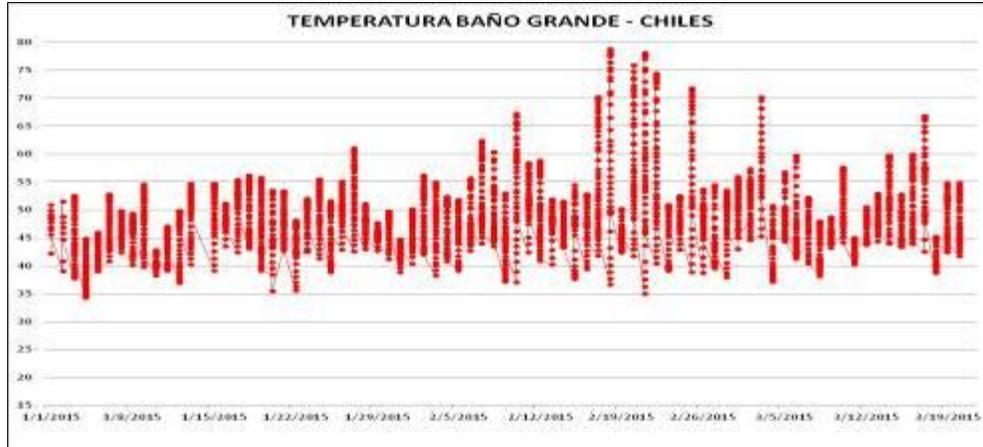


Figura 76. Gráfico filtrado por horas de la variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles – Enero a Marzo de 2015.

3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de marzo de 2015 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.7. CONCLUSIÓN

Aunque hasta el momento no se han observado cambios en las manifestaciones de actividad superficial, la actividad sísmica muestra una disminución gradual alcanzando hasta 1675 sismos por día, asociados con una posible intrusión de magma en profundidad, por lo cual el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio y es posible que vuelvan a suceder sismos de niveles energéticos importantes que sean sentidos por pobladores de la zona de influencia volcánica. Por tanto, se recomienda a las autoridades y comunidades mantener precaución, permanecer atentos a la información y a las recomendaciones dadas por las entidades oficiales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de marzo de 2015 permitió que la actividad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro permaneciera en **NIVEL AMARILLO** ■ **(III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MARZO DE 2015

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 77).

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.

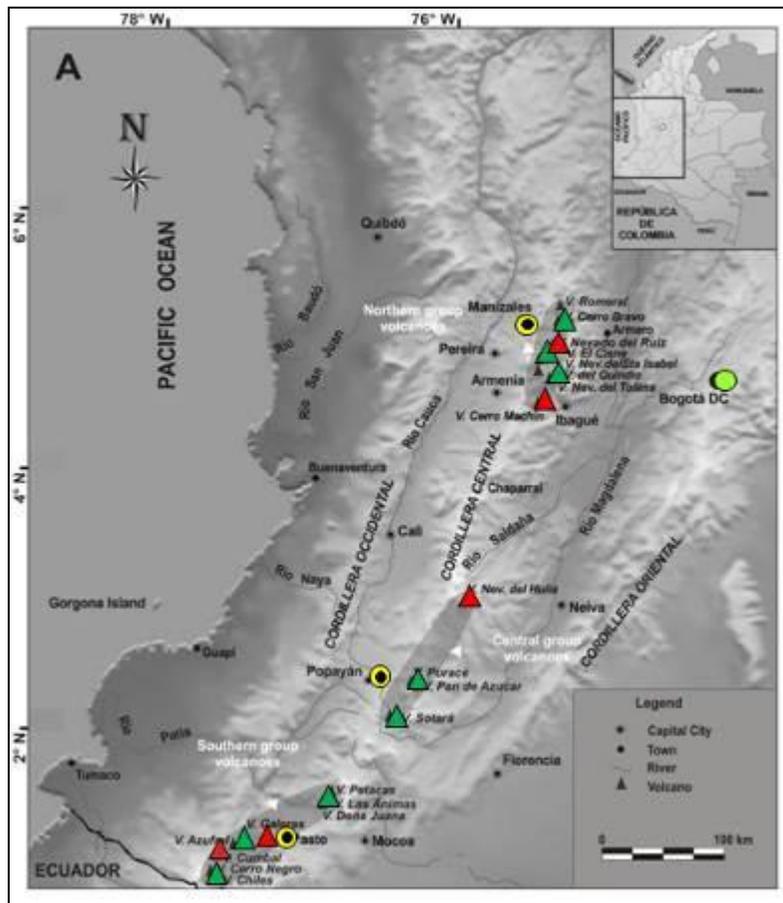


Figura 77. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.

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 de Colombia en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 Km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 Km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño y Florencia, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 78).

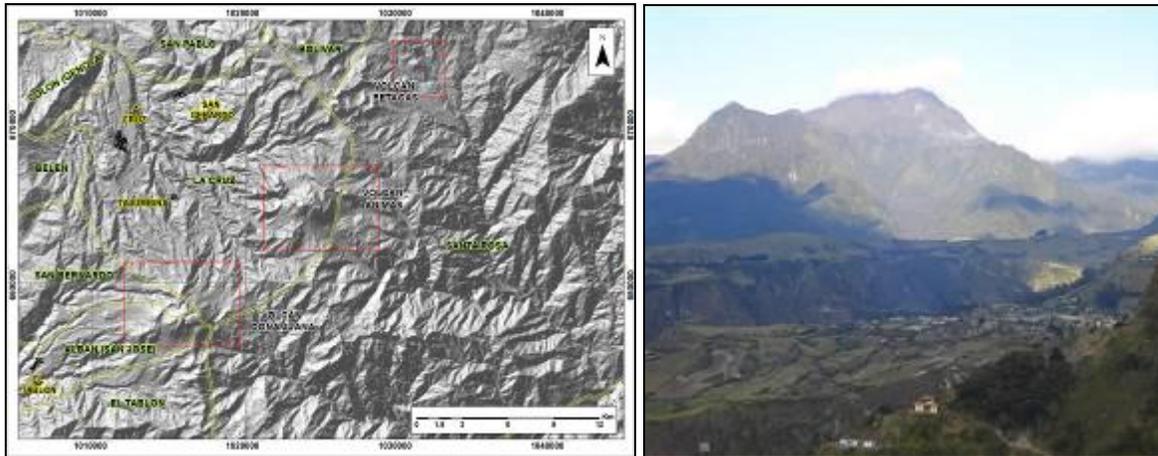


Figura 78. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

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

Tabla 20. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en marzo de 2015.

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

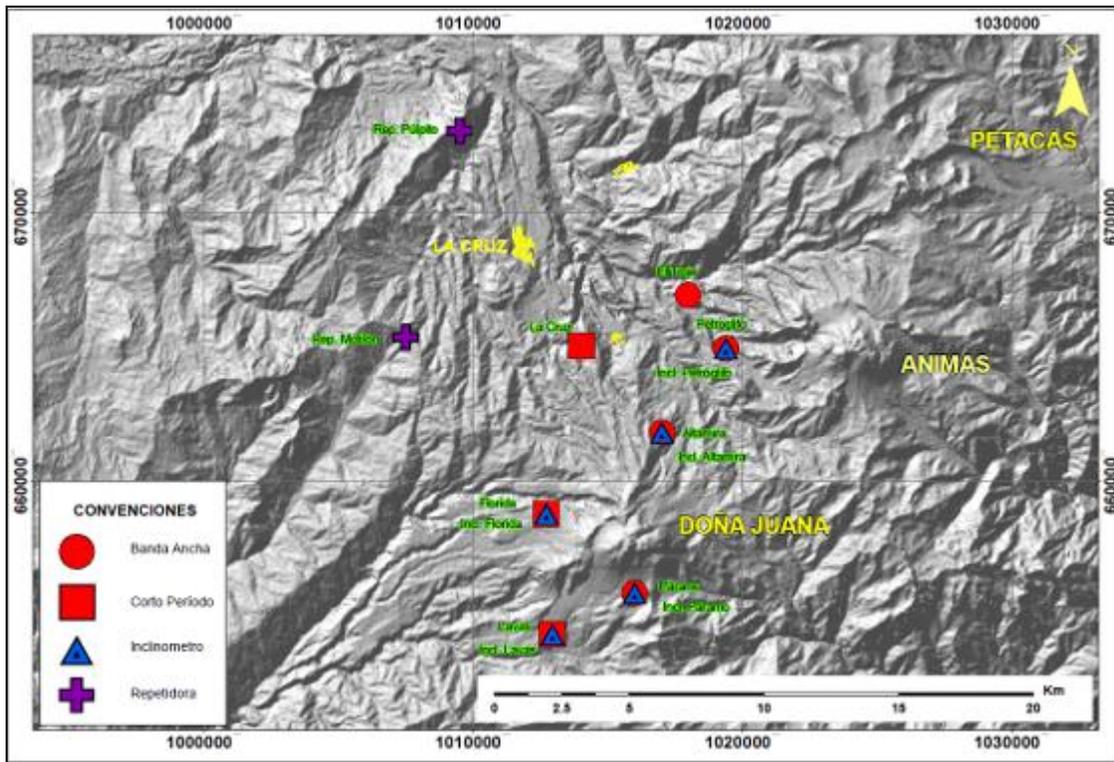


Figura 79. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de marzo de 2015. En el mapa se distinguen también los volcanes Doña Juana y Petacas.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Las Ánimas tuvo un funcionamiento del 98,2% (Figura 80).

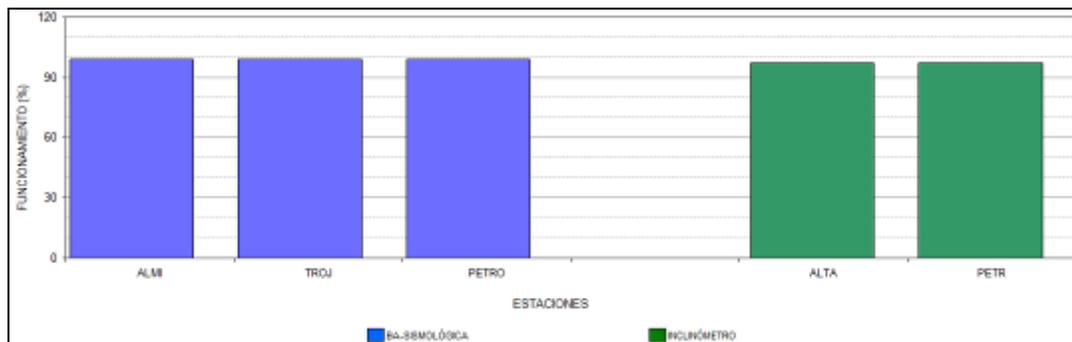


Figura 80. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante marzo de 2015.

4.1.3. Sismología

Para el periodo evaluado en el volcán Las Ánimas se registraron 5 eventos sísmicos tipo VT (Tabla 21), localizados a menos de 5 km respecto al centro del edificio volcánico, a profundidades menores a los 18 km respecto a la cima volcánica y con magnitudes por debajo de 2,2 en la escala de Richter (Figura 81).

Tabla 21. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas ocurridos entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HYB	VOL	TOTAL
01-dic-14 a 31-dic-14	2	0	0	0	0	2
01-ene-15 a 31-ene-15	2	0	0	0	0	2
01-feb-15 a 28-feb-15	1	0	0	0	0	1
01-mar-15 a 31-mar-15	5	0	0	0	0	5

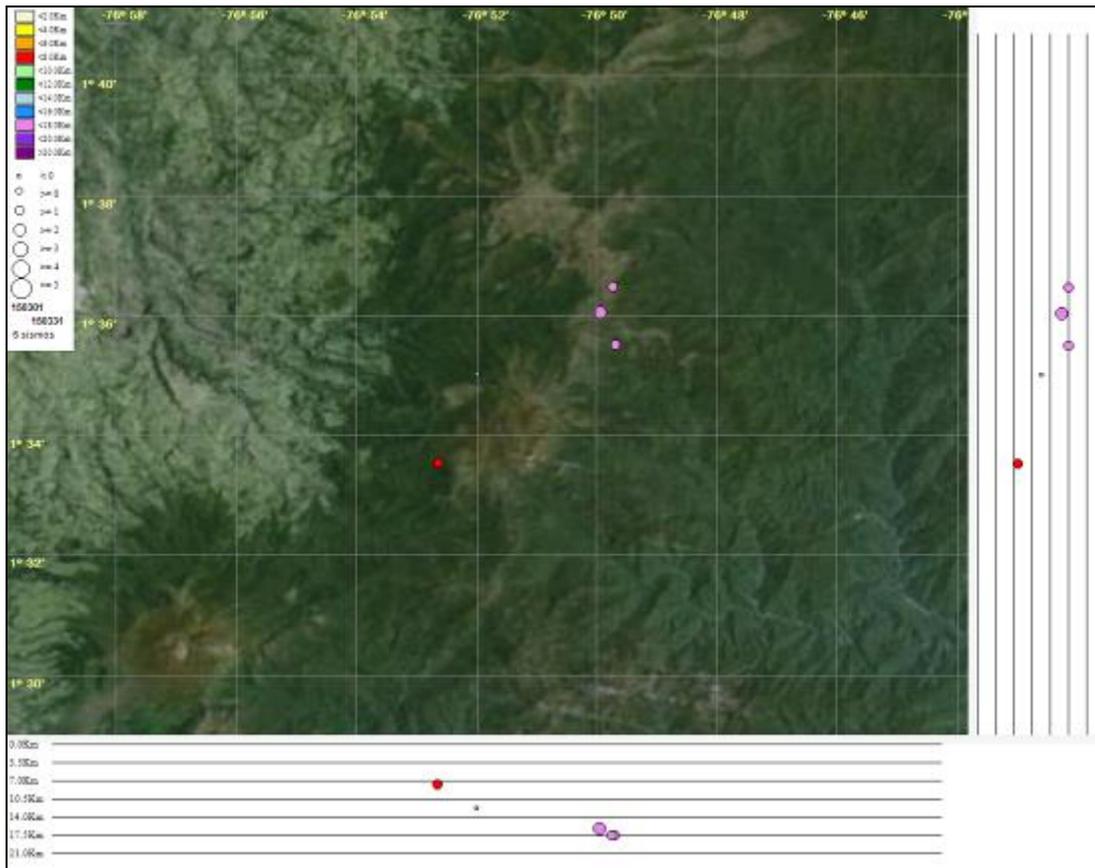


Figura 81. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas, en el mes de marzo de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 3,5 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.1.4. Deformación

La componente del inclinómetro Altamira (ubicado a 4,6 km al oeste de Las Ánimas, 2905 m.s.n.m.) muestra desde marzo de 2014 un comportamiento ascendente, acumulando hasta el 31 de marzo de 2015 una variación cercana a los 100 μ rad, mientras que la componente Este muestra desde inicios de septiembre de 2014 un comportamiento descendente, acumulando hasta el 31 de enero de 2015 una variación de 70 μ rad (Figura 82).

Para el inclinómetro Petroglifo (ubicado a 7,9 km al noroeste del volcán, 3137 m.s.n.m.) para el último mes muestra estabilidad en sus componentes (figura 83).

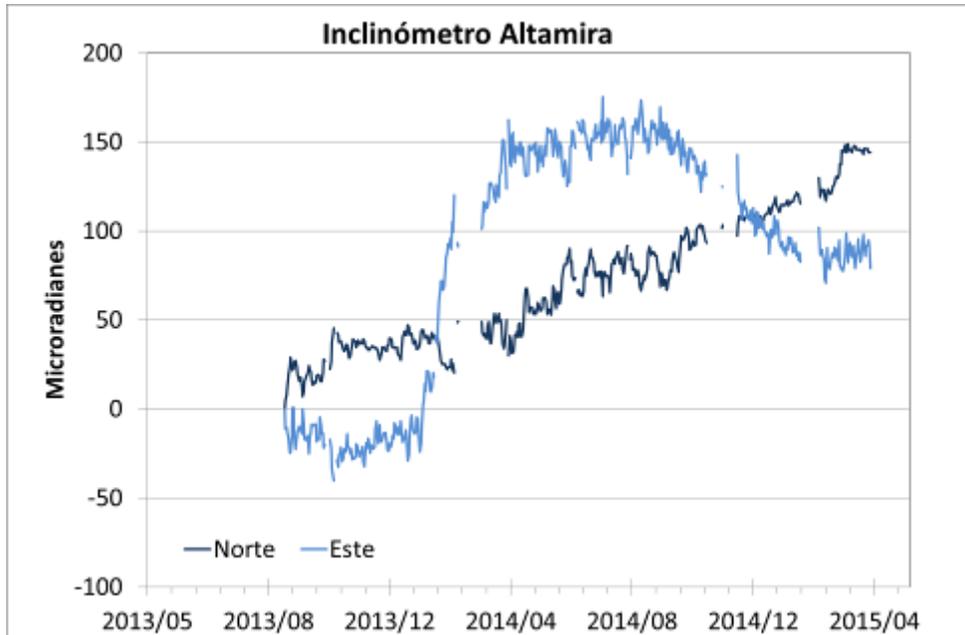


Figura 82. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Altamira, para el periodo comprendido entre el 18 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

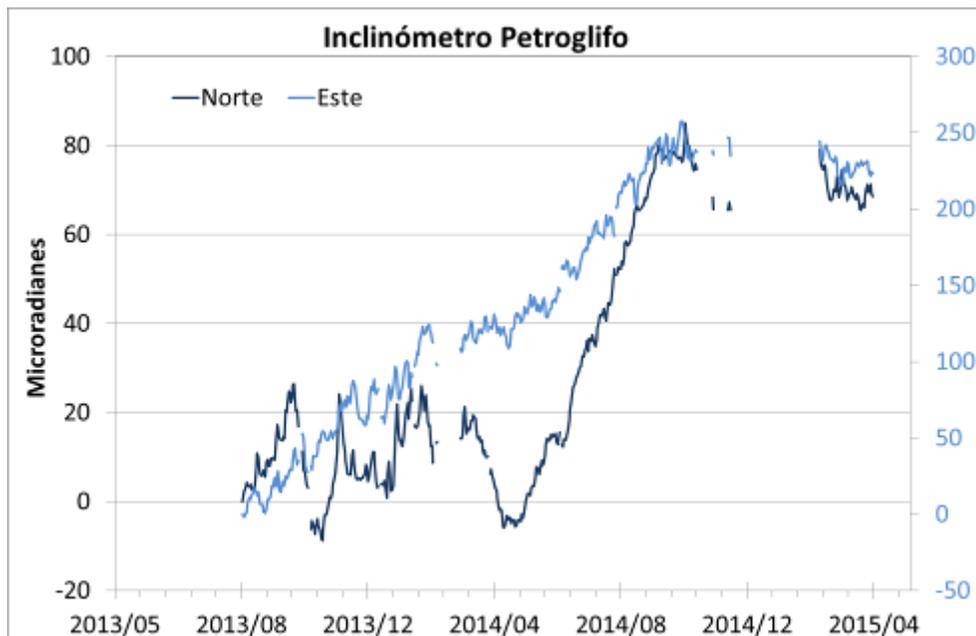


Figura 83. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Altamira, para el periodo comprendido entre el 18 de septiembre de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de marzo de 2015 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 marzo de 2015 el nivel del volcán permaneció en **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

Tabla 22. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en marzo de 2015.

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

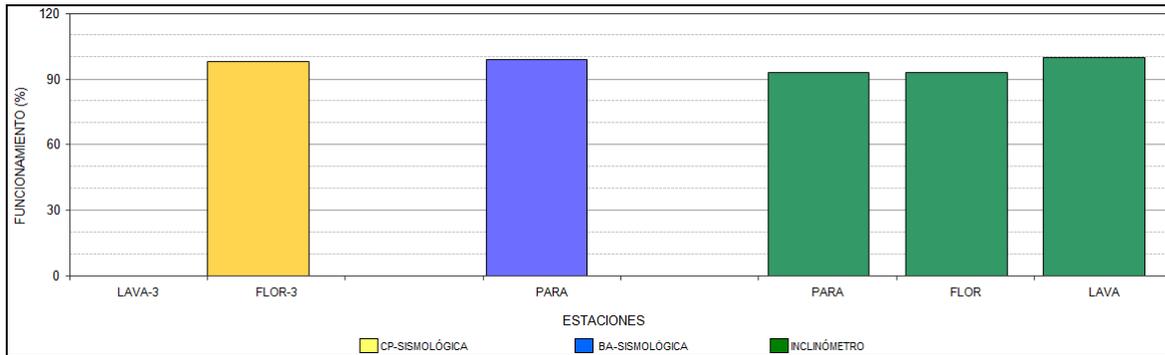


Figura 85. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el mes de marzo de 2015.

4.2.2. Sismología

Para el periodo evaluado, en el volcán Doña Juana no se tuvo registro de actividad sísmica.

4.2.3. Deformación

El inclinómetro Lavas (ubicado a 4 km., al sur-oeste de los domos, 3145 m.s.n.m.), continúa registrando un comportamiento ascendente en sus componentes Norte y Este, acumulando entre el 1 de septiembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015 una variación cercana a los 280 y 230 μ rad respectivamente (Figura 86).

Las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Florida (ubicado a 2.3 km., al Oeste de los domos del volcán Doña Juana, 3154 msnm) muestran un comportamiento ascendente, acumulando entre el 1 de octubre de 2014 y el 31 de marzo de 2015 una variación cercana a los 100 μ rad y 170 μ rad para la componente este y norte respectivamente (Figura 87).

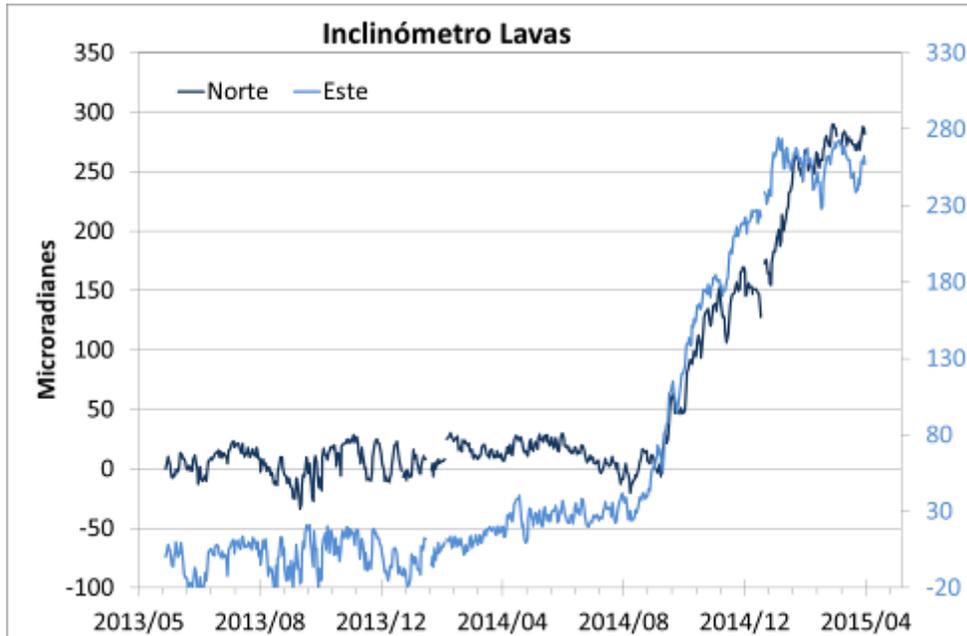


Figura 86. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Lavas instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

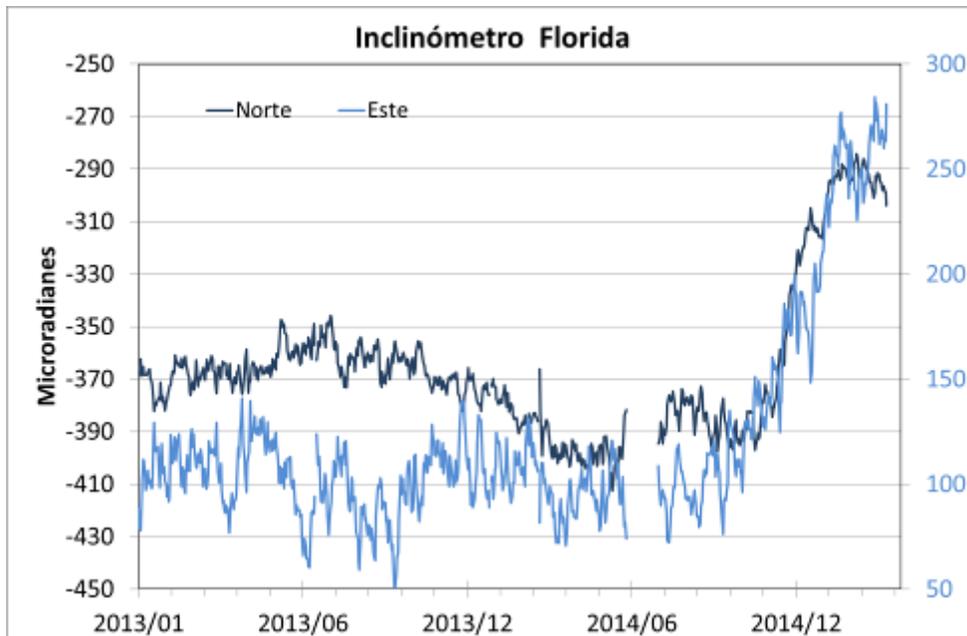


Figura 87. Componentes de inclinación Norte y Este del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2015.

4.2.4. Actividad Superficial

Durante el mes de marzo de 2015 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 marzo de 2015, 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 88 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 23 están sus características. Adicionalmente se cuenta con una estación climatológica cerca a la estación La Roca, que consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medidas de radiación solar. Adicionalmente se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores (Figura 89).

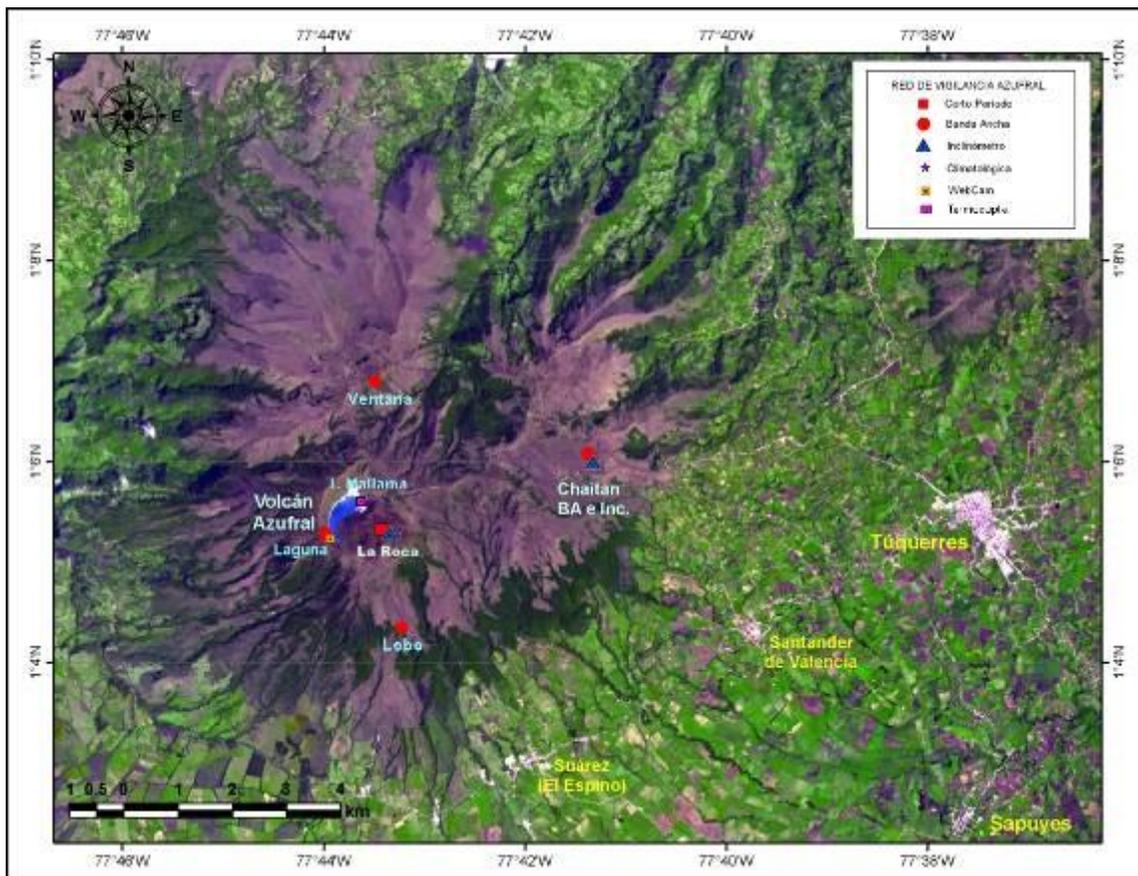


Figura 88. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2015.

Tabla 23. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante marzo de 2015.

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

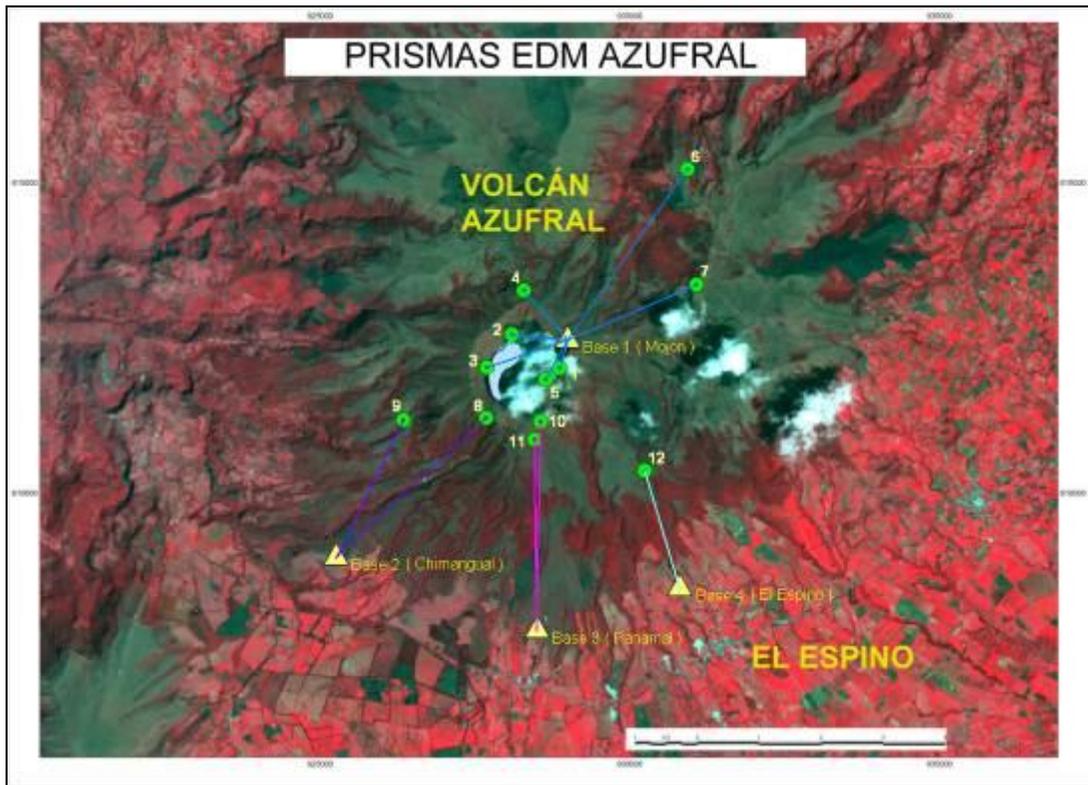


Figura 89. Localización de los puntos materializados para mediciones EDM en el volcán Azufral. Los triángulos de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2, 3 y 4, los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas reflectores.

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de operación del 93,4% para este mes (Figura 90).

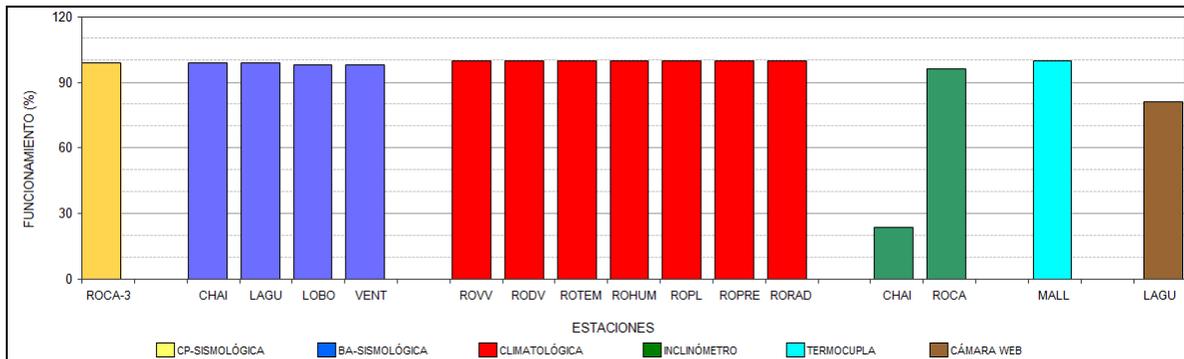


Figura 90. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2015.

4.3.2. Sismología

Dentro de niveles bajos, la ocurrencia sísmica del volcán en marzo de 2015 duplicó su número en comparación a la registrada en febrero de 2015, pasando de 7 a 15 eventos sísmicos tipo VT (Tabla 24, Figura 91), de los cuales fueron localizados siete, cinco de ellos se ubicaron a menos de 0,5 km hacia el costado oriental de la Laguna Verde (Laguna cratérica del volcán Azufral) y a menos de 3 km de profundidad respecto a la cima volcánica. Los otros dos eventos se ubicaron hacia el norte y oriente del volcán a distancias menores a los 7 km y profundidades de hasta 11 km. Los valores de magnitud local fluctuaron entre 0,1 y 1,6 en la escala de Richter (Figura 92).

Tabla 24. Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Azufral ocurridos entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015. Se resalta en verde el último mes objeto de evaluación.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HYB	TOTAL
01-dic-14 a 31-dic-14	8	0	0	0	8
01-ene-15 a 31-ene-15	9	0	0	0	9
01-feb-15 a 28-feb-15	7	0	0	0	7
01-mar-15 a 31-mar-15	15	0	0	0	15

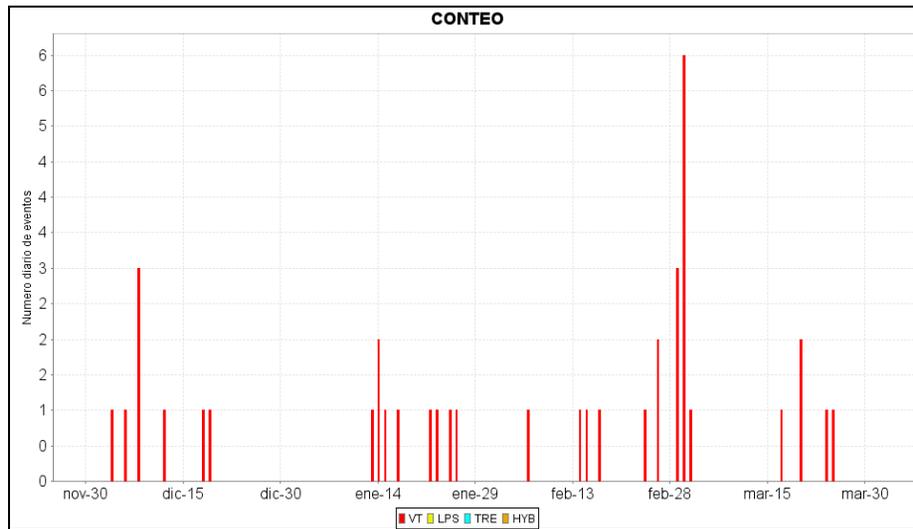


Figura 91. Histograma del número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el volcán Azufral entre el 1 de diciembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

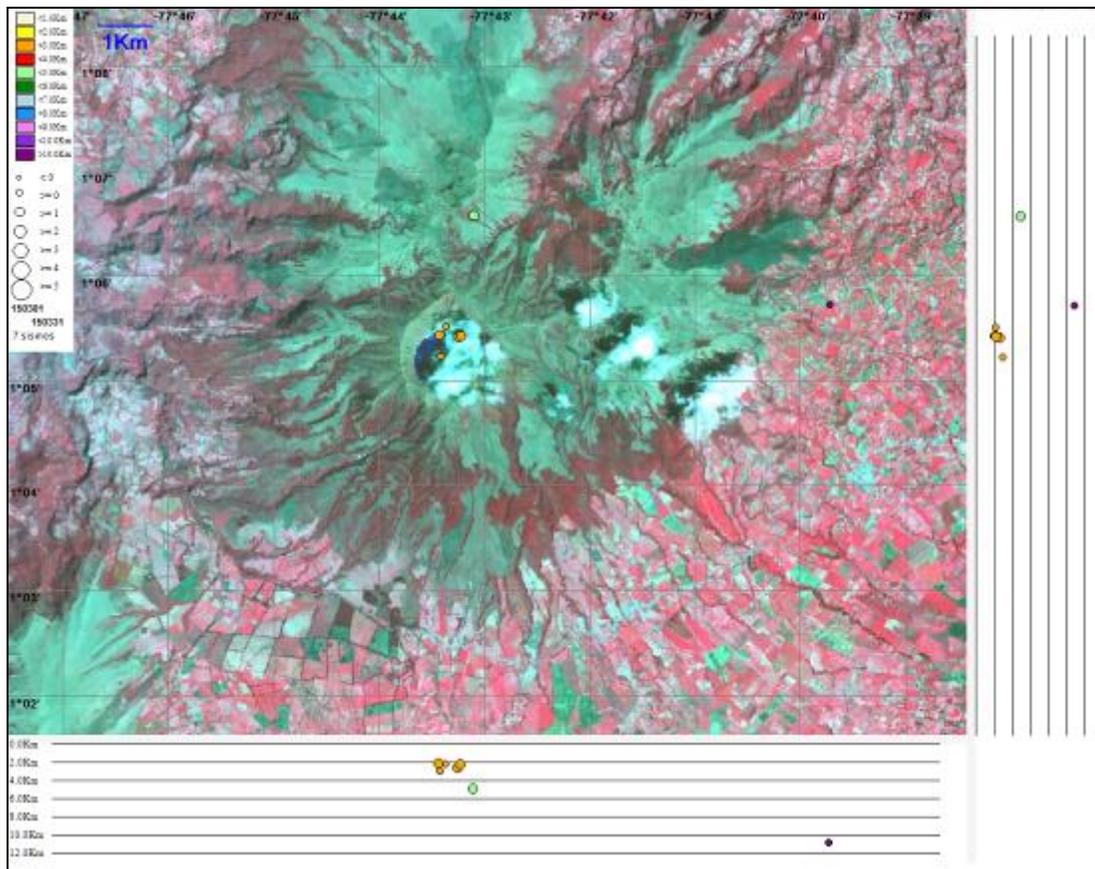


Figura 92. Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura registrados por las estaciones de la red de monitoreo del volcán Azufral, en el mes de marzo de 2015, con sus respectivos cortes N-S (derecha) y E-W (abajo). En los cortes cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica, el color de los círculos depende de su profundidad.

4.3.3. Deformación

4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

Las componentes norte y este de los inclinómetros La Roca (ubicado a 1,2 km., al este de la laguna cratérica, 4025 msnm) y Chaitán (ubicado a 4,3 km al este-noreste de la laguna cratérica, 3730 m.s.n.m.), muestran estabilidad (Figuras 93 y 94).

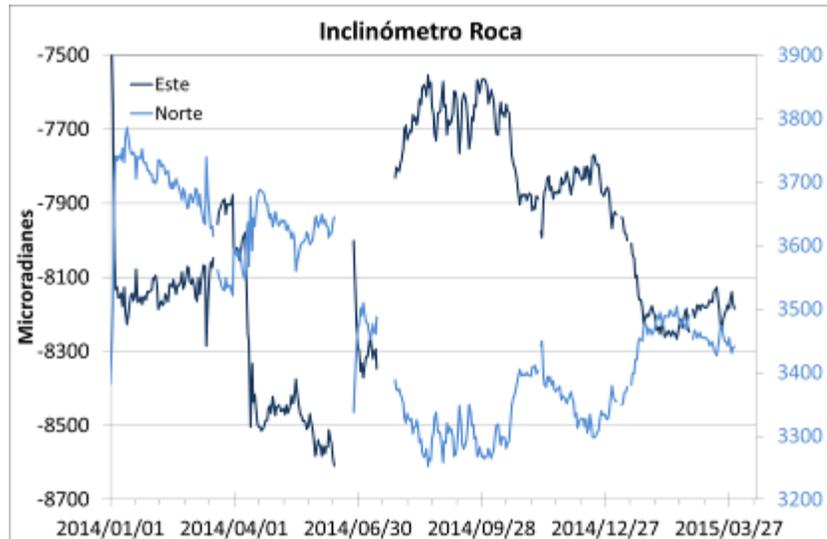


Figura 93. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca instalado en el volcán Azufra para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

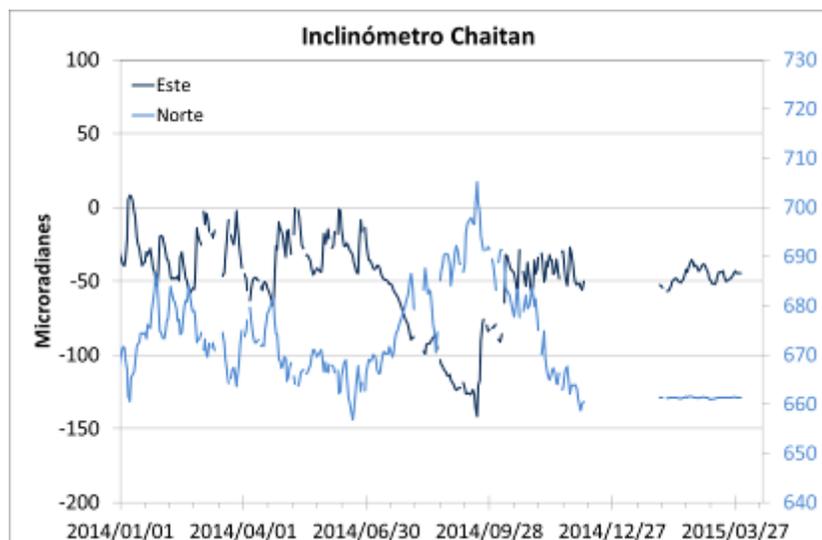


Figura 94. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Chaitán instalado en el volcán Azufra para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2015.

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

En marzo de 2015 no se realizaron medidas de EDM.

4.3.4. Geoquímica

4.3.4.1. 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 (A), FT La Cabaña (B), FT Quebrada Blanca (C), FT San Ramón (D), FT Arrayán Salado (E), FT Tutachag (F), FT Laguna Verde N°1 (G), FT Laguna Verde N°2 (H), Laguna Verde N°3 (I), Laguna Verde N°4 (J) (Figura 95, Tabla 25).

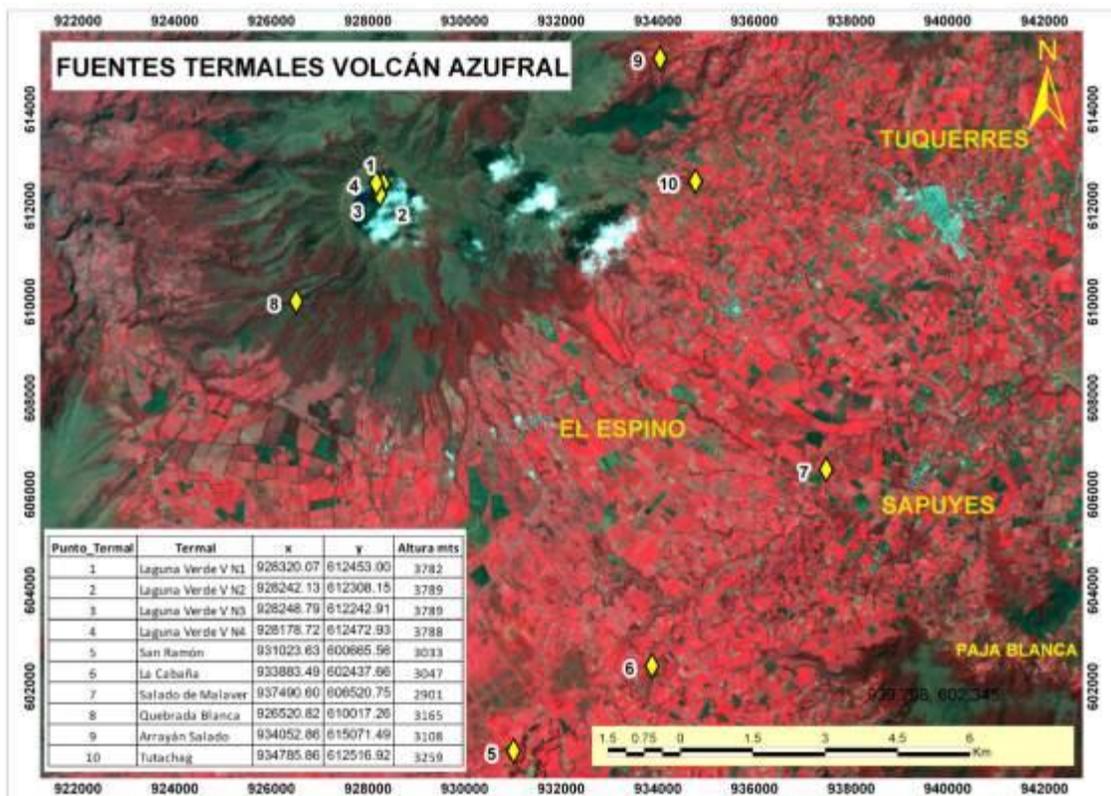
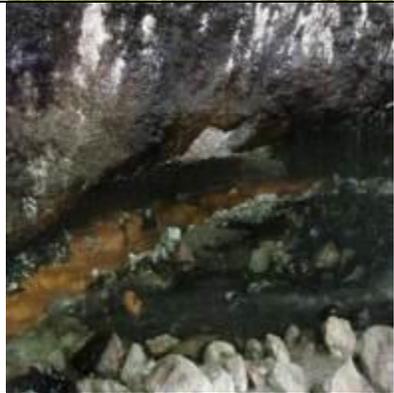


Figura 95. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

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

FUENTE TEMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
SALADO DE MALAVER		1.03776°	77.63923°	2901
LA CABAÑA		1.00083°	77.67163°	3047
QUEBRADA BLANCA		1.06936°	77.73779	3165
SAN RAMÓN		0.98480°	77.69732°	3033

ARRAYÁN SALADO		1.09198°	77.66354°	3108
TUTACHAG		1.09198°	77.66354°	3259
LAGUNA VERDE 1		1.09139°	77.72163°	3782
LAGUNA VERDE 2		1.09008°	77.72233°	3789
LAGUNA VERDE 3		1.08949°	77.72227°	3789
LAGUNA VERDE 4		1.09157°	77.72290°	3788

Para el mes de marzo no fue posible realizar muestreo de parámetros fisicoquímicos en las FT LV N°2, LV N°3 y LV N°4 y Arrayán Salado debido a la mezcla con otras aguas y los manantiales, por lo tanto los datos no serían mensurables, ni representativos.

En la figura 96 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de marzo para las FT de la zona de influencia del volcán Azufral. Los colores en la 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 el pH.

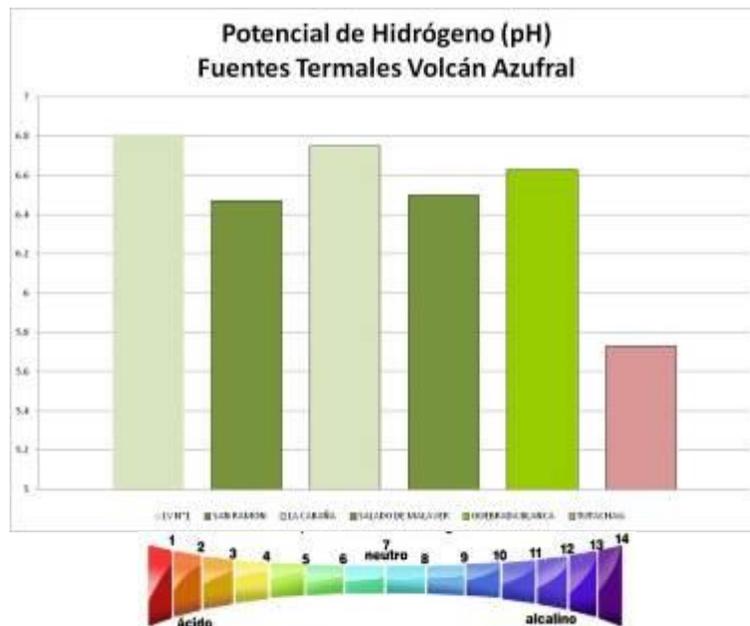


Figura 96. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Azufral marzo 2015.

De acuerdo a la figura anterior, las fuentes termales del volcán Azufral presentan durante el mes de marzo potenciales de Hidrógeno (pH), entre 5,7 (ligeramente ácida) y 7,0 (Neutra).

En las figuras 97 y 98 se observa las variaciones de temperatura, conductividad eléctrica, pH y concentración del ión bicarbonato respecto a meses anteriores, correspondientes a las FT de la zona de influencia del volcán azufral registradas en trabajo de campo durante el mes de marzo.

Para el caso de la temperatura (Figura 97) se observa estabilidad relativa en todos los manantiales termales, en cuanto a la conductividad (Figura 98) se observa un importante incremento en las FT Tutachag y Salado de Malaver, mientras que las demás mantienen su comportamiento estable, debido a que no tenemos muchos registros sobre los datos de la FT Tutachag no es posible realizar algún tipo de comparación, mientras que para la FT Salado de Malaver se observa que ha disminuido el volumen notablemente, lo cual puede deberse a la evaporación del agua y por lo tanto hace que se incremente la concentración de sales en solución y por ende se incremente el valor de la conductividad.

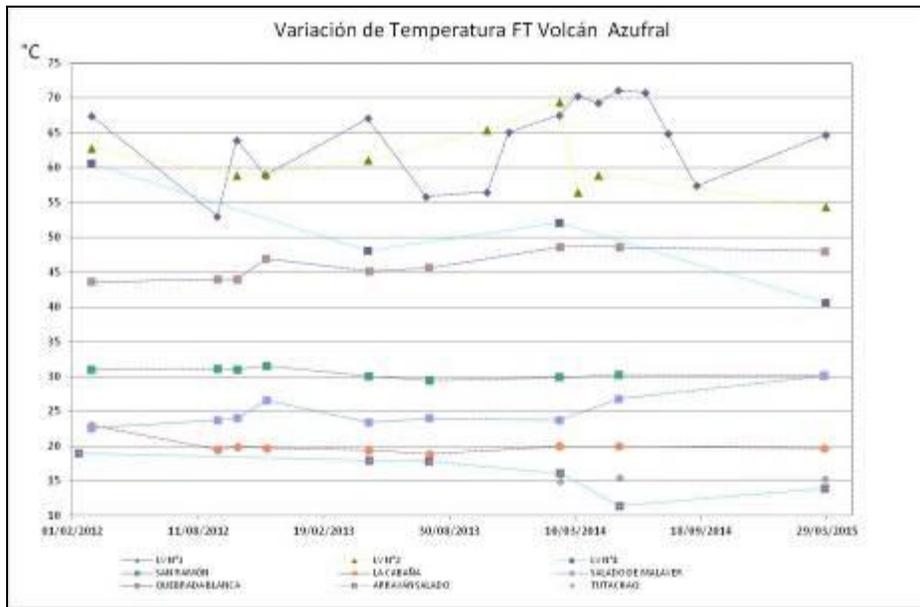


Figura 97. Variación de temperatura de las FT de Volcán Azufral - marzo 2015.

Los manantiales de Azufral aquí registrados se clasifican como termales de acuerdo a su temperatura:

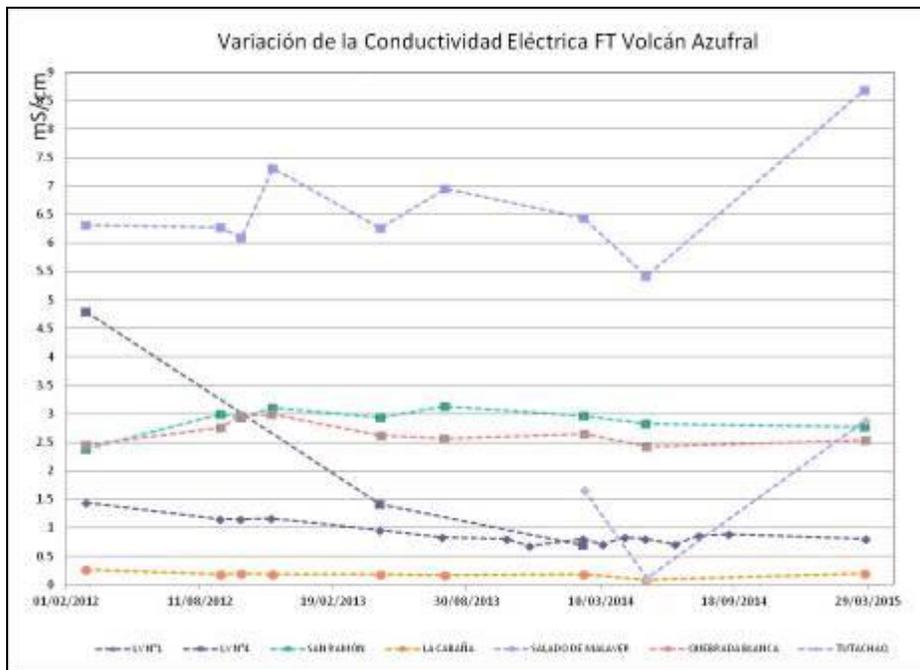


Figura 98. Variación de la conductividad eléctrica en las FT de Volcán Azufral – marzo 2015.

No fue posible realizar el muestreo de las FT LV N°2, N°3, N°4 y Arrayan Salado, debido a la mezcla con agua fría por su ubicación cercana a estos puntos.

- **Fuente termal LV N°1**

Temperatura superficial: 64,7°C (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 45°C y 100°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 0,8 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de pocas sales solubles en el medio.

- **Fuente termal LV N°2**

Temperatura superficial: 54.4°C (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 45°C y 100°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. No fue posible realizar medida de conductividad eléctrica por la mezcla con el agua fría de la Laguna Verde.

- **Fuente termal LV N°4**

Temperatura superficial: 40.6°C (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 35°C y 45°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. No fue posible realizar medida de conductividad eléctrica por la mezcla con el agua fría de la Laguna Verde.

- **Fuente termal San Ramón**

Temperatura superficial: 30.1°C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 30°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 2.77 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal La Cabaña**

Temperatura superficial: 19.7°C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra por debajo de los 20°C, puede ser clasificada termal porque su temperatura varía en 4°C con respecto a la temperatura media ambiental. Presenta también una conductividad eléctrica de 0.2 mS/cm (25°C), que refleja prácticamente la ausencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente Termal Salado de Malaver**

Temperatura superficial: 30.1°C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 20°C y 30°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una alta conductividad eléctrica de 8.68 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente Termal Quebrada Blanca**

Temperatura superficial: 48°C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra entre los 45°C y 100°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2,54 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente Termal Arrayán Salado**

Temperatura superficial: 13.9°C. (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra por debajo de los 20°C, puede ser clasificada como termal porque su temperatura varía en 4°C con respecto a la temperatura media ambiental. No fue posible realizar medida de conductividad eléctrica por la mezcla con el agua fría de la quebrada Arrayán.

- **Fuente Termal Tutachag**

Temperatura superficial: 15.3°C (Temperatura registrada en marzo de 2015 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra por debajo de los 20°C, puede ser clasificada como termal porque su temperatura varía en 4°C con respecto a la temperatura media ambiental. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 2,89 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

En las figuras 99 y 100 se presenta la variación del pH y la variación de la concentración del ión bicarbonato para la FT termales que fue posible su muestreo para lo cual no se observan cambios importantes pero si estabilidad en el sistema.

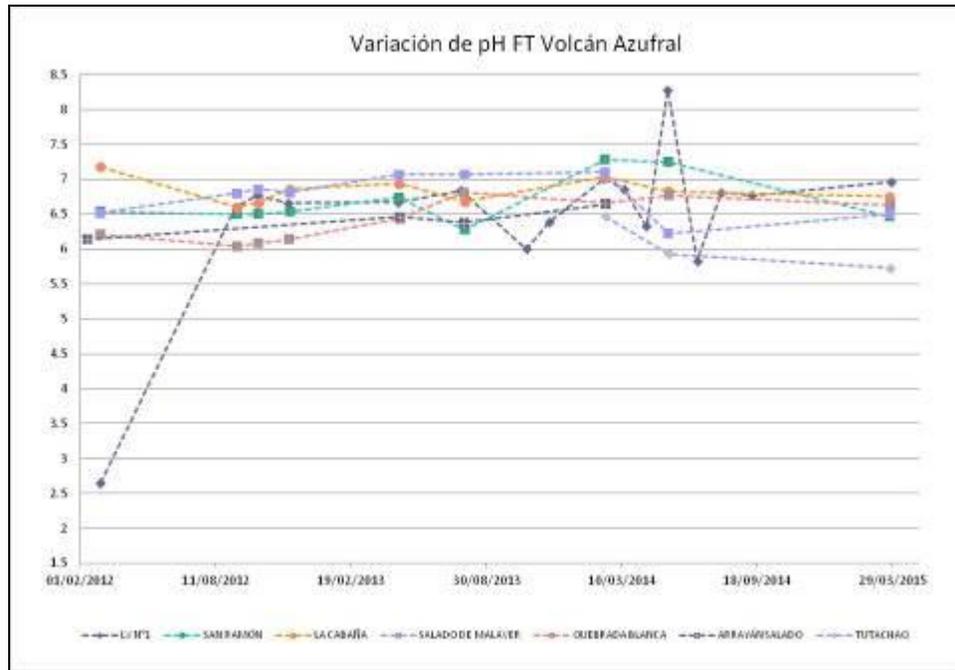


Figura 99. Variación del pH en las FT de Volcán Azuftral – Marzo 2015.

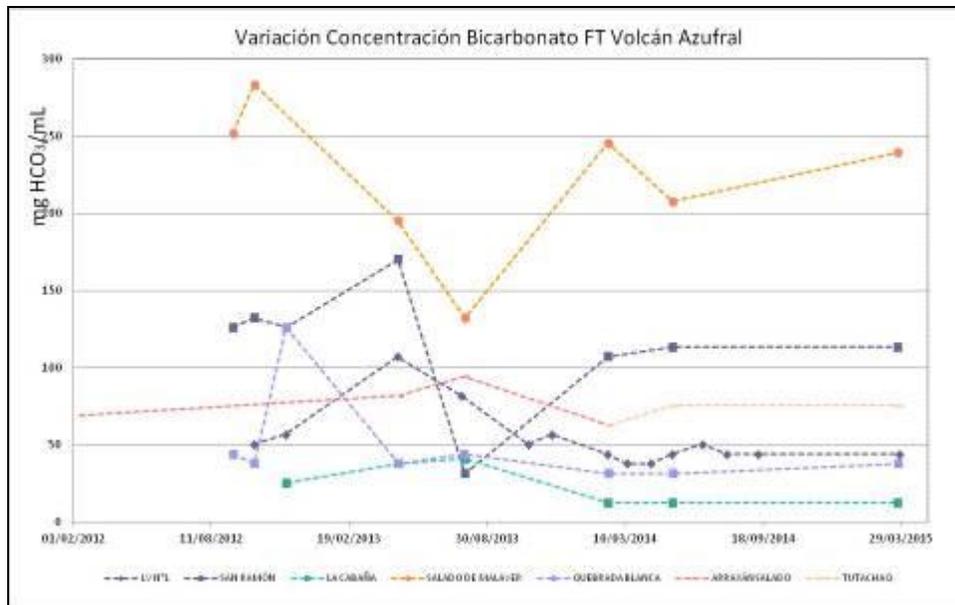


Figura 100. Variación en la concentración de bicarbonato en las FT de Volcán Azuftral - Marzo 2015.

4.3.4.2. Registro de temperatura – Estación térmica Mallama Volcán Azuftral

Los datos asociados con la variación de temperatura en el campo fumarólico “Domo Mallama” del volcán Azuftral, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada en el sitio (Figura 101, tabla 26), estos se registran diariamente con una tasa de muestreo de 10 minutos; debido al similar

comportamiento erróneo en el registro de datos de la termocupla de la estación térmica del volcán Chiles en el cual se observan interferencias, también se procederá a la respectiva adecuación de señal en el sistema para tener mejores resultados, debido a que pruebas realizadas en campo y en la fumarola en donde se encuentra el sensor, corroboran este hecho ya que se registran temperaturas en promedio de 85,5°C sin grandes variaciones y no como se evidencian en la figura 102, valores de temperatura entre 15°C y 125°C que no son propios del fenómeno.

En la figura 102 se encuentra la gráfica de la variación de temperatura con respecto al tiempo registrado por la estación térmica Mallama, desde el mes de febrero de 2015 hasta el 31 de marzo de 2015.

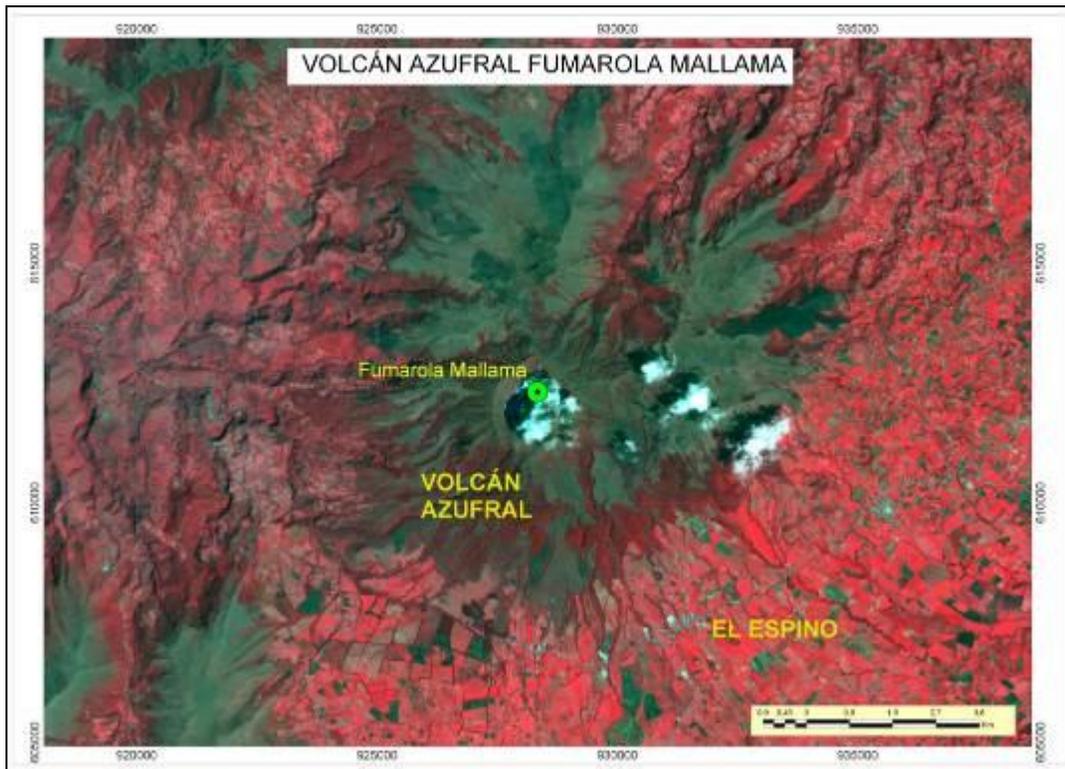


Figura 101. Mapa de localización campo fumarólico Domo Mallama perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral.

Tabla 26. Ubicación geográfica Domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral.

CAMPO FUMARÓLICO	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
DOMO MALLAMA		1,213555556	77,3575278	4155

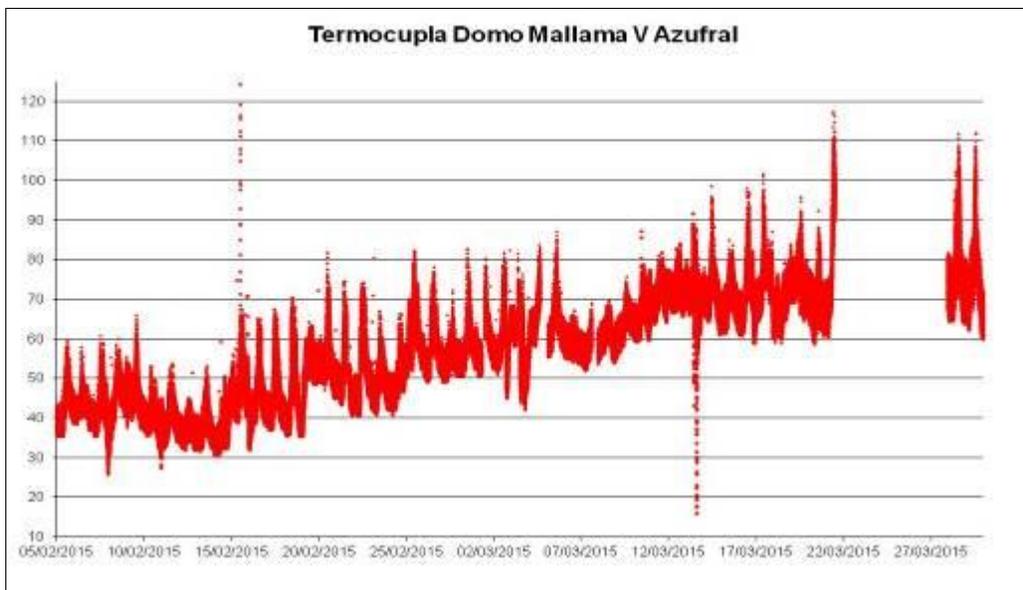


Figura 102. Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufral-año 2015.

4.3.4.3. Muestreo de gases de origen volcánico

Se realizó el muestreo de gases de origen volcánico en el sector del campo fumarólico “Domo Mallama”, el cual fue posible realizar medición de temperatura, pH (gas condensado) y tomar muestra de gases por el método Giggenbach (Figura 103, tabla 27).

Tabla 27. Datos de temperatura y pH en fumarola-Domo Mallama marzo 2015.

Parámetro	Datos
Temperatura	85,5°C
pH	4,0



Figura 103. Muestreo de gases de origen volcánico, Temperatura, pH, botella Giggenbach-Domo Mallama, volcán Azufral.

4.3.5. Actividad Superficial

Condiciones de clima favorables durante la mitad del mes, permitieron a través de la cámara instalada en el costado suroccidental del volcán, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes principalmente del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde durante la mayor parte del mes (Figuras 104 y 105).



Figura 104. Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufral, registrada el día 21 de marzo a las 8:16 a.m., mediante la cámara instalada en el costado sur. En la fotografía se observan las zonas de emisión de gas, desde el Domo Mallama.



Figura 105. Imagen de la Laguna Verde, laguna cratérica del volcán Azufra, registrada el día 31 de marzo a las 7:38 a.m., mediante la cámara instalada en el costado sur. En la fotografía se observan las zonas de emisión de gas, desde el Domo Mallama.

4.3.6. Conclusión

- La evaluación de la actividad volcánica de Azufra durante marzo de 2015 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.