

| <b>NOMBRE</b>                  | <b>DESCRIPCIÓN</b>  | <b>DOMINIO</b>  |
|--------------------------------|---|---|
| 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         |   | Darío Fernando Arcos Guerrero   |
| Fecha                          | De publicación/disposición<br>tres primeras letras del mes/año  | May/2015  |
| Título                         |   | INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES GALERAS, CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL, LAS ÁNIMAS, CHILES Y CERRO NEGRO. ABRIL DE 2015.   |
| Edición                        | Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9   | 0.1   |
| Serie                          |   | No aplica   |
| <b>Identificador</b>           | <b>En proceso de definición</b>   |   |
| Descripción                    | Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados   | Presentación de resultados y análisis de los datos obtenidos del monitoreo continuo a la actividad del volcán Galeras en diferentes aspectos como son el funcionamiento de estaciones, la actividad sísmica, la actividad superficial, las medidas geoquímicas y deformación. Presentación de datos obtenidos de monitoreo continuo de la actividad de los volcanes Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Se utilizan 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   | Inventario y Monitoreo de Geoamenazas y procesos en las capas superficiales de la tierra - 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.   | Abril de 2015.  |

| <b>NOMBRE</b>         | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>DOMINIO</b>  |
|-----------------------|--|---|
| Dominio Espacial      |  |   |
| Extensión geográfica  | Descripción del área geográfica.<br>Incluir el nombre del territorio que cubre el producto.<br>Incluir área geográfica dada en km <sup>2</sup>                                       | Zona de influencia del Volcán Galeras.<br>Zona de influencia del Volcán Doña Juana. Zona de influencia del Volcán Azufral. Zona de influencia del Volcán Cumbal.<br>Zona de influencia del Volcán Las Ánimas.<br>Zona de influencia del Volcán Chiles.<br>Zona de influencia del Volcán Cerro Negro.  |
| Coordenadas /limites  |  |   |
| Oeste                 |  | No aplica.  |
| Este                  |  | No aplica.  |
| Norte                 |  | No aplica.  |
| Sur                   |  | No aplica.  |
| Nivel de resolución   | Escala   | No aplica.  |
| Descriptor            |  |   |
| Descriptor de tema    | Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos  | Descriptor primarios:<br>-Actividad Sísmica<br>-Número diario<br>-Energía diaria<br>-Frecuencia<br>-Localizaciones<br>-Deformación<br>-Geoquímica<br>-Emisiones<br>-Actividad Superficial<br>-Temperaturas<br>-Estación climática<br>-Cenizas   |
| Descriptor de lugar   | Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios.   | - Zona de influencia del Volcán Galeras, como activo, municipios de la carretera Circunvalar a Galeras, Pasto.<br>- Zona de influencia del Volcán Doña Juana.<br>- Zona de influencia del Volcán Azufral.<br>- Zona de influencia del Volcán Cumbal.<br>-Zona de influencia del Volcán Las Ánimas.<br>-Zona de influencia del Volcán Chiles.<br>-Zona de influencia del Volcán 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.<br>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 la unidad VIGILANCIA en la siguiente ruta:<br>V:\informes\informes_finales\VIGILANCIA\informes_tecnicos_mensuales\2015\abr  |
| Calidad de los datos  |  |   |

| <b>NOMBRE</b>                   | <b>DESCRIPCIÓN</b>  | <b>DOMINIO</b>  |
|---------------------------------|---|---|
| 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 del Volcán Galeras, y volcanes del suroccidente colombiano, 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   | <a href="http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2015.aspx">http://www.sgc.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Mensual/2015.aspx</a>   |
| Medio digital/Ubicación         | Opciones del medio digital en el cual puede ser entregado el conjunto de datos y su ubicación física. Disquete de 3-1/2; CD-ROM | CD-ROM  |
| Contacto                        |   |   |
| Organización                    | Nombre de la organización   | Servicio Geológico Colombiano.  |
| Cargo/persona                   | Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos   | Asesores de Oficina de Servicio al Cliente  |
| 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<br>(57+1) 01-8000-110842   |
| Fax                             |   | (57+1) 2 22 07 97   |
| Correo electrónico              |   | <b><i>cliente@sgc.gov.co</i></b>  |



**INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CUMBAL, DOÑA JUANA, AZUFRAL, LAS ÁNIMAS, CHILES Y  
CERRO NEGRO  
ABRIL DE 2015**

Edición:

**DARÍO FERNANDO ARCOS GUERRERO**

**San Juan de Pasto, mayo de 2015**

República de Colombia  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA  
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

## CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN  | 1    |
| RESUMEN   | 2    |
| 1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ABRIL DE 2015                               | 4    |
| 1.1. RED DE VIGILANCIA  | 4    |
| 1.2. SISMOLOGÍA   | 12   |
| 1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA  | 18   |
| 1.3.1. Inclínometría Electrónica  | 18   |
| 1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes  | 22   |
| 1.4. GEOQUÍMICA   | 26   |
| 1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub>                        | 26   |
| 1.4.2. Mediciones del gas Radón – Rn <sub>222</sub>                           | 28   |
| 1.5. ELECTROMAGNETISMO  | 29   |
| 1.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS                          | 32   |
| 1.7. CONCLUSIONES   | 33   |
| 2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – ABRIL DE 2015                    | 34   |
| 2.1. RED DE VIGILANCIA  | 34   |
| 2.2. SISMOLOGÍA   | 35   |
| 2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA  | 40   |
| 2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL  | 42   |
| 2.5. CONCLUSIONES   | 43   |
| 3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – ABRIL DE 2015             | 44   |
| 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA   | 44   |
| 3.2. RED DE VIGILANCIA  | 44   |
| 3.3. SISMOLOGÍA   | 47   |
| 3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA  | 51   |
| 3.5. GEOQUÍMICA   | 53   |
| 3.5.1. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Chiles                  | 53   |
| 3.5.2. Registro de temperatura – Estación Térmica Chiles                      | 59   |
| 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL  | 60   |
| 3.7. CONCLUSIONES   | 61   |
| 4. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ABRIL DE 2015 | 62   |
| 4.1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS  | 63   |
| 4.1.1. Ubicación Geográfica   | 63   |
| 4.1.2. Red de vigilancia  | 63   |
| 4.1.3. Sismología   | 65   |
| 4.1.4. Deformación Volcánica  | 66   |
| 4.1.5. Actividad Superficial  | 67   |
| 4.1.6. Conclusiones   | 67   |
| 4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA  | 67   |
| 4.2.1. Red de vigilancia  | 67   |
| 4.2.2. Sismología   | 68   |
| 4.2.3. Deformación Volcánica  | 70   |
| 4.2.4. Actividad Superficial  | 72   |
| 4.2.5. Conclusiones   | 72   |
| 4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL   | 72   |
| 4.3.1. Red de vigilancia  | 72   |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 4.3.2.   | Sismología   | 75 |
| 4.3.3.   | Deformación Volcánica                                  | 76 |
| 4.3.3.1. | Inclinometría Electrónica                              | 76 |
| 4.3.3.2. | Medición Electrónica de Distancias - E.D.M.            | 76 |
| 4.3.4.   | Geoquímica   | 78 |
| 4.3.4.1. | Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Azufral | 78 |
| 4.3.5.   | Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos        | 81 |
| 4.3.6.   | Conclusiones   | 82 |

## TABLAS

|           | Pág.   |    |
|-----------|--|----|
| Tabla 1.  | Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de abril de 2015.  | 5  |
| Tabla 2.  | Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de abril de 2015.  | 6  |
| Tabla 3.  | Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de abril de 2015.                                       | 6  |
| Tabla 4.  | Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras.  | 8  |
| Tabla 5.  | Estaciones que monitorean las variaciones del campo eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.   | 8  |
| Tabla 6.  | Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras (Línea Galeras).   | 9  |
| Tabla 7.  | Estaciones instaladas por el sector de Barranco (Línea Barranco) para el monitoreo de gas Radón en el volcán Galeras.  | 9  |
| Tabla 8.  | Ubicación geográfica de las fuentes termales en el Volcán Galeras.   | 10 |
| Tabla 9.  | Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.   | 12 |
| Tabla 10. | Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses de enero y abril de 2015, resaltando en gris el mes objeto de evaluación.   | 14 |
| Tabla 11. | Emisiones de SO <sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de abril de 2015, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC). | 26 |
| Tabla 12. | Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Lavas – abril de 2015.   | 29 |
| Tabla 13. | Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – abril de 2015.   | 29 |
| Tabla 14. | Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de abril de 2015.   | 35 |
| Tabla 15. | Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.   | 36 |
| Tabla 16. | Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de abril de 2015.  | 45 |
| Tabla 17. | Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles.   | 46 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabla 18. | Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico de Chiles – Cerro Negro registrados en enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación. | 48 |
| Tabla 19. | Clasificación de aguas termales según la temperatura.  | 54 |
| Tabla 20. | Temperatura fuentes termales Volcán Chiles – mes de abril de 2015.   | 54 |
| Tabla 21. | Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de abril de 2015.   | 63 |
| Tabla 22. | Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas registrados entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.                       | 65 |
| Tabla 23. | Estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.   | 67 |
| Tabla 24. | Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Doña Juana registrados entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.                       | 69 |
| Tabla 25. | Estaciones instaladas en el volcán Azufral.  | 73 |
| Tabla 26. | Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.                             | 75 |
| Tabla 27. | Ubicación geográfica (WGS84) fuente termal Laguna Verde No.1 del área de influencia del volcán Azufral.  | 78 |

## FIGURAS

|           |  | Pág. |
|-----------|--|------|
| Figura 1  | Mapa de localización de las estaciones sísmicas y de sensores acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de abril de 2015.   | 6    |
| Figura 2  | Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros y GNSS que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de abril de 2015.   | 7    |
| Figura 3  | Mapa de localización y orientación de las componentes de las estaciones de inclinometría instaladas en Galeras.  | 7    |
| Figura 4  | Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, flujos de lodos, ScanDOAS, climatológica y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de abril de 2015.  | 8    |
| Figura 5  | Mapa de localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.   | 9    |
| 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. | 10   |
| Figura 7  | Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.   | 11   |
| Figura 8  | Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de abril de 2015, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.   | 11   |
| Figura 9  | Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre enero y abril de 2015. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.  | 12   |
| Figura 10 | Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de abril (barras de la derecha) respecto al mes de marzo (barras de la izquierda).   | 13   |
| Figura 11 | Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de marzo y abril de 2015.  | 13   |
| Figura 12 | Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2015.  | 14   |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 13 | Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para abril de 2015 (barras de la derecha) respecto a marzo de 2015 (barras de la izquierda).  | 14 |
| Figura 14 | Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para marzo y abril de 2015.  | 15 |
| Figura 15 | Localización epicentral e hipocentral de sismos VT registrados en el mes de abril de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3.0 km de profundidad.                       | 14 |
| Figura 16 | Localización epicentral (cruz) del sismo VT registrado el 8 de abril, a la 1:23 a.m., el cual fue reportado como sentido por habitantes del municipio de Pasto.  | 16 |
| Figura 17 | Sismograma de la estación Anganoy, estación base de clasificación, resaltando el enjambre de sismos no clasificables, ocurrido entre el 12 y 13 de abril de 2015.  | 17 |
| Figura 18 | Sismograma de la estación Anganoy, estación base de clasificación, resaltando el enjambre de sismos no clasificables, ocurrido el 14 de abril de 2015.   | 17 |
| Figura 19 | Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.          | 18 |
| Figura 20 | Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.          | 19 |
| Figura 21 | Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.     | 19 |
| Figura 22 | Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.  | 20 |
| Figura 23 | Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015. | 20 |
| Figura 24 | Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.             | 21 |
| Figura 25 | Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.            | 21 |
| Figura 26 | Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.  | 22 |
| Figura 27 | Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2013 y el 14 de abril de 2015.   | 23 |
| Figura 28 | Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2014 y el 14 de abril de 2015.   | 23 |
| Figura 29 | Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2013 y el 14 de abril de 2015.   | 24 |
| Figura 30 | 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 y el 14 de abril de 2015.  | 24 |
| Figura 31 | Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2013 y el 14 de abril de 2015.   | 25 |



|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 32 | Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2013 y el 14 de abril de 2015.  | 25 |
| Figura 33 | Flujo de emisión de SO <sub>2</sub> registrado desde el 1 de enero de 2015 hasta el 30 de abril de 2015, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.  | 27 |
| Figura 34 | Flujo de emisión de SO <sub>2</sub> , dirección y velocidad del viento para el mes de abril de 2015.  | 27 |
| Figura 35 | Concentración de gas radón en suelo - estación LAVAS, Abril de 2015.  | 28 |
| Figura 36 | Concentración de gas radón en suelo - estación Parques, Abril de 2015.  | 28 |
| Figura 37 | Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, en el periodo entre marzo y abril de 2015.   | 29 |
| Figura 38 | Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, en el periodo entre marzo y abril de 2015.  | 30 |
| Figura 39 | Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (rojo) y EW (verde), de la estación de Frailejón, para el periodo comprendido entre marzo y abril de 2015.   | 30 |
| Figura 40 | Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (rojo) y EW (verde), de la estación de Barranco, para el periodo comprendido entre el 1 y 16 de abril de 2015.   | 31 |
| Figura 41 | Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Cráter, para el periodo comprendido entre marzo y abril de 2015. A finales del mes de abril se observa variaciones en las componentes debido a que el día 28 se realizó mantenimiento correctivo a la estación. | 31 |
| Figura 42 | Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 2 de abril de 2015, en horas de la tarde 3:22 p.m., capturada desde las cámaras de Bruma (izquierda) y Barranco (derecha).   | 32 |
| Figura 43 | Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 5 de abril de 2015 desde las cámaras de Barranco (izquierda) y Bruma (derecha).  | 32 |
| Figura 44 | Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 9 de abril de 2015, en horas de la tarde 4:30 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.  | 33 |
| Figura 45 | Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 18 de abril de 2015, en horas de la mañana 7:47 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma.   | 33 |
| Figura 46 | Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de abril de 2015.   | 34 |
| Figura 47 | Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de abril de 2015.   | 35 |
| Figura 48 | Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre enero y abril de 2015.  | 36 |
| Figura 49 | Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de abril (barras de la derecha) respecto al mes de marzo (barras de la izquierda).  | 37 |
| Figura 50 | Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para marzo y abril de 2015.  | 37 |
| Figura 51 | Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 30 de abril de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).  | 38 |
| Figura 52 | Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de abril de 2015, resaltando los eventos registrados en el mes de abril de 2015 en el recuadro gris.  | 39 |
| Figura 53 | Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 4 de abril de 2015 a las 10:40 p.m., registrando 61 segundos de duración.  | 39 |
| Figura 54 | Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 5 de abril de 2015 a las 7:50 a.m., registrando 52 segundos de duración.   | 40 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 55 | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 30 de abril de 2015.   | 40 |
| Figura 56 | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 30 de abril de 2015.  | 41 |
| Figura 57 | Componentes de inclinación Norte, Este, temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 30 de abril de 2015.  | 41 |
| Figura 58 | Emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde, 4 de abril de 2015, 7:24 de la mañana.   | 42 |
| Figura 59 | Emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde, 13 de abril de 2015, 6:09 p.m.   | 42 |
| Figura 60 | Emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde, 14 de abril de 2015, 6:19 p.m.   | 43 |
| Figura 61 | Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).   | 44 |
| Figura 62 | Estaciones sísmicas y de deformación cortical para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.   | 45 |
| Figura 63 | Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia de los Volcanes Chiles y Cerro Negro.   | 46 |
| Figura 64 | Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de abril de 2015.   | 47 |
| Figura 65 | Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y abril 30 de 2015.   | 48 |
| Figura 66 | Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de enero y abril de 2015.   | 49 |
| Figura 67 | Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en abril de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.                              | 50 |
| Figura 68 | Localización epicentral (cruz de color rojo) del sismo de fractura (VT) ocurrido el 10 de abril en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro y fue reportado como sentido.   | 50 |
| Figura 69 | Energía diaria y energía acumulada, calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chiles – Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 30 de abril de 2015. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada, al igual que la energía acumulada. | 51 |
| Figura 70 | Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.  | 52 |
| Figura 71 | Componentes de inclinación Norte y Este, y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 21 de octubre de 2014 y el 30 de abril de 2015.   | 52 |
| Figura 72 | Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Chiles - mes de abril 2015.   | 53 |
| Figura 73 | Comportamiento del pH de las FT Volcán Chiles hasta abril de 2015.  | 54 |
| Figura 74 | Imagen térmica FT Baño Grande abril 2015.   | 55 |
| Figura 75 | Imagen térmica FT Balneario abril 2015.   | 55 |
| Figura 76 | Imagen térmica FT La Calera abril 2015.   | 56 |
| Figura 77 | Imagen térmica FT El Infiernillo abril 2015.  | 56 |
| Figura 78 | Imagen térmica FT Río Blanco abril 2015.  | 56 |
| Figura 79 | Imagen térmica FT Aguas Hediondas abril 2015.   | 57 |
| Figura 80 | Imagen térmica FT Lagunas Verdes abril 2015.  | 57 |
| Figura 81 | Comportamiento de la temperatura de las FT Volcán Chiles hasta abril de 2015.   | 58 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 82  | Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcán Chiles hasta abril de 2015.   | 58 |
| Figura 83  | Comportamiento del contenido de Bicarbonato de las FT Volcán Chiles hasta abril de 2015.  | 59 |
| Figura 84  | Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles - año 2015.   | 60 |
| Figura 85  | Imagen de Volcán Chiles, 14 de abril de 2015, 6:38 p.m.   | 60 |
| Figura 86  | Imagen de Volcán Chiles, 15 de abril de 2015, 1:11 p.m.   | 61 |
| Figura 87  | Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.   | 62 |
| Figura 88  | Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).  | 63 |
| Figura 89  | Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de abril de 2015.   | 64 |
| Figura 90  | Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante abril de 2015.  | 64 |
| Figura 91  | Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en Las Ánimas, en el mes de abril de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.   | 65 |
| Figura 92  | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de abril de 2015.                  | 66 |
| Figura 93  | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.  | 66 |
| Figura 94  | Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.   | 68 |
| Figura 95  | Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en abril de 2015.   | 68 |
| Figura 96  | Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre enero y abril de 2015 para el volcán Doña Juana.  | 69 |
| Figura 97  | Localización epicentral e hipocentral de sismos VT registrados entre el 1 y el 30 de abril de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 km de profundidad.                                     | 69 |
| Figura 98  | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2014 y el 30 de abril de 2015.  | 70 |
| Figura 99  | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.   | 71 |
| Figura 100 | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.   | 71 |
| Figura 101 | Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de abril de 2015.  | 73 |
| Figura 102 | Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Azufral. Las figuras 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. | 74 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 103 | Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán AzufraI durante el mes de abril de 2015.   | 74 |
| Figura 104 | Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán AzufraI entre enero y abril de 2015.   | 75 |
| Figura 105 | Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en abril de 2015. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica. | 76 |
| Figura 106 | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán AzufraI, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.           | 77 |
| Figura 107 | Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán AzufraI, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.           | 77 |
| Figura 108 | Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del volcán AzufraI.  | 78 |
| Figura 109 | Variación del pH en la FT LV No.1 del volcán AzufraI – mes de abril de 2015.   | 79 |
| Figura 110 | Variación de temperatura de la FT LV No.1 del volcán AzufraI – mes de abril de 2015.   | 79 |
| Figura 111 | Variación de la conductividad eléctrica en la FT LV No.1 del volcán AzufraI – mes de abril de 2015.  | 80 |
| Figura 112 | Variación en la concentración del ion bicarbonato en la FT LV No.1 del volcán AzufraI – mes de abril de 2015.  | 80 |
| Figura 113 | Imagen térmica FT LV No.1 del volcán AzufraI – mes de abril de 2015.   | 81 |
| Figura 114 | Emisión de gases desde el domo Mallama, 4 de abril de 2015, 7:03 a.m. y 7:43 a.m.  | 81 |
| Figura 115 | Emisión de gases del domo Mallama, 13 de abril de 2015 a las 5:48 p.m.   | 82 |
| Figura 116 | Emisión de gases del domo Mallama, 14 de abril de 2015 a las 6:23 p.m.   | 82 |

## INTRODUCCIÓN

En el mes de abril de 2015, el Servicio Geológico Colombiano - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto, continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes ubicados al suroccidente colombiano, entre ellos Galeras, Cumbal, Azufral, Doña Juana, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro. Se toman datos en forma continua durante las 24 horas del día de los diferentes parámetros de estudio que permiten la evaluación de la actividad volcánica, además, se realizaron muestreos periódicos de otros parámetros geofísicos y geoquímicos, de importancia para la evaluación de la actividad.

Las 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 del estado de actividad de un volcán, mediante la aplicación de una serie de disciplinas y técnicas. Los cambios observados son el reflejo de los procesos al interior del sistema volcánico, y pueden ser provocados, entre otras causas, por movimiento de magma, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza o, por variaciones de presión interna, que normalmente se producen como consecuencia de la intrusión de material desde niveles más profundos a reservorios más someros y/o a la variación del contenido de volátiles y/o gases en estos reservorios.

En este informe técnico se resaltan principalmente los resultados obtenidos en abril de 2015, en las diferentes áreas de monitoreo, mediante el procesamiento primario de los datos instrumentales y apreciables de la actividad volcánica y así acercarse al entendimiento de los diferentes fenómenos internos que las producen, y a un posible pronóstico de eventos eruptivos. El nivel de actividad de un volcán, es el resultado de la combinación de varios factores, tanto mesurables, como los apreciables de la actividad volcánica superficial, los cuales pueden variar en intensidad, duración y frecuencia.

## RESUMEN

En el mes de abril de 2015, la actividad sísmica de Galeras fue dominada por eventos relacionados con fracturamiento de roca (VT). En comparación con el mes anterior, para este periodo se observó descenso en la ocurrencia y en contraste un incremento en la energía liberada, reflejado principalmente en los sismos asociados con fracturamiento. Los eventos no clasificables (sismos que no alcanzan el umbral de amplitud y duración para su clasificación en una estación de referencia) mostraron descenso cercano al 44%. Se resalta el registro de dos episodios de enjambre, eventos de bajo nivel energético, totalizando cerca de 100 eventos.

Fue posible distinguir tres fuentes de sismos, cuyas profundidades estuvieron entre 0.5 y los 9.5 km respecto a la cima volcánica, las magnitudes locales entre 0 y 3.1 en la escala de Richter, los más próximos al cráter mostraron magnitudes menores a 1. De esta sismicidad se resalta el evento ocurrido el 8 de abril, en horas de la madrugada, el cual fue reportado como sentido por algunos habitantes del municipio de Pasto.

Teniendo en cuenta el registro de los sensores utilizados para el monitoreo de la deformación del edificio volcánico, uno de ellos muestra una tendencia ascendente en sus componentes de inclinación, el resto de inclinómetros presenta estabilidad en sus componentes.

En el transcurso del periodo evaluado se obtuvieron tres mediciones de emisiones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) a la atmósfera, con valores en el rango bajos para Galeras. El valor máximo de flujo de SO<sub>2</sub> del periodo evaluado, fue de 405 Tn/día, registrado el 27 de abril de 2015.

Teniendo en cuenta la información que aportan las imágenes capturadas del cono activo y reportes por personal del OVSP, fue posible evidenciar emisiones de gases, en su mayoría de color blanco. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos.

Teniendo como base lo anteriormente expuesto, el nivel de actividad de Galeras se mantuvo en: Nivel Amarillo ■ (III) **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

De acuerdo al monitoreo sísmico registrado por las estaciones instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo evaluado se observó que la mayor parte de eventos se asocian con procesos de movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico. En relación con el mes anterior, se observó un descenso en la ocurrencia diaria de sismicidad. En este mes se registraron 9 eventos de Largo Periodo tipo Tornillo, (TOR), asociados con movimiento de fluidos, cuyas frecuencias dominantes estuvieron entre 1.59 y 13.45 Hz. En su mayoría la sismicidad de fractura se localizó en inmediaciones de los dos conos activos del complejo volcánico de Cumbal y a profundidades superficiales, cuyas magnitudes estuvieron entre 0.1 y 1.1 en la escala de Richter.

Condiciones de clima favorables durante los días 4, 6, 9, 13 y 14 de abril de 2015, permitieron observar emisiones de gases de color blanco, cuyos focos principales continúan siendo los campos fumarólicos El Verde y Rastrojo.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de abril de 2015 permitió, que la actividad del Complejo Volcánico Cumbal permaneciera en **NIVEL AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

Haciendo referencia a los volcanes Chiles y Cerro Negro, se observó un descenso en la ocurrencia diaria de eventos, la mayoría de los eventos localizados se ubicaron principalmente hacia el sector suroccidente del edificio volcánico de Chiles, con magnitudes entre -0.5 y 3.6 en la escala de Richter. Se resalta el evento ocurrido el 10 de abril, a las 10:15 de la mañana, el cual presentó magnitud de 3.2 y fue reportado como sentido por habitantes del resguardo Indígena de Chiles.

En los últimos meses se nota una clara tendencia descendente con algunas fluctuaciones en la ocurrencia sísmica diaria.

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

Con respecto al volcán Las Ánimas, para el periodo evaluado se registró un sismo asociado a fracturamiento de la roca, de bajo nivel energético, con magnitud de -0.1 en la escala de Richter. Continúa el comportamiento ascendente en la componente Norte del inclinómetro Altamira el cual se viene registrando desde el pasado 26 de abril de 2014.

En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, para el periodo evaluado se tuvo registro de dos eventos asociados con fractura de roca, fue posible localizar uno, y se ubicó hacia el suroccidente del volcán. Continúa el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Norte del sensor Lavas e igual en la componente Este de Florida.

En relación al volcán Azufral, predominaron los sismos clasificados como VT, y en comparación con el mes anterior, la sismicidad del volcán presentó descenso en ocurrencia, totalizando 9 eventos. De esta sismicidad se localizaron 7 eventos con magnitudes entre -0.2 y 2.2 en la escala de Richter.

Para el periodo evaluado fue posible observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes principalmente de uno de los domos activos ubicados al nororiente de la Laguna Verde.

Con base en el análisis de la información de los volcanes Doña Juana, Azufral y Las Ánimas, estos se consideran en **Nivel Verde ● (IV), “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## 1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ABRIL DE 2015

### 1.1. RED DE VIGILANCIA

Para el periodo evaluado, la red de monitoreo 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 ubicado 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 alrededor del cono activo (Figura 2, Tabla 3).
- Tres estaciones con transmisión telemétrica para la detección de emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), 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 (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 climática, 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 ubicada en el sitio de la estación sísmica Cráter-2 (Figura 4).
- Veinte estaciones para la medición de emisiones del gas Radón (Rn-222) proveniente del suelo, distribuidas en dos líneas, una hacia el sector oriental del volcán, por la vía de acceso a la cima del volcán y la segunda hacia el sector norte del volcán (Tablas 6 y 7, Figura 5). Las estaciones Lavas 1 y Parques de la línea Galeras, cuentan con equipo de transmisión digital, por lo que su registro es continuo.



- Una estación Multigas, ubicada hacia el sector de Barranco.

Adicionalmente, 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).

Por otra parte como complemento al monitoreo, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales para Galeras (Tabla 8, Figura 7).

En el periodo evaluado, se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos a las estaciones que conforman las redes de monitoreo volcánico de Galeras; adicionalmente, se hicieron mantenimientos en las repetidoras y equipos de recepción en la sede del Observatorio. La operatividad de la red instrumental de Galeras fue cercana al 83%. En la Figura 8 se muestra el histograma de porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo telemétrico durante el mes de abril de 2015.

**Tabla 1.** Estaciones sísmicas y acústicas que conformaron las redes del volcán Galeras durante el mes de abril de 2015.

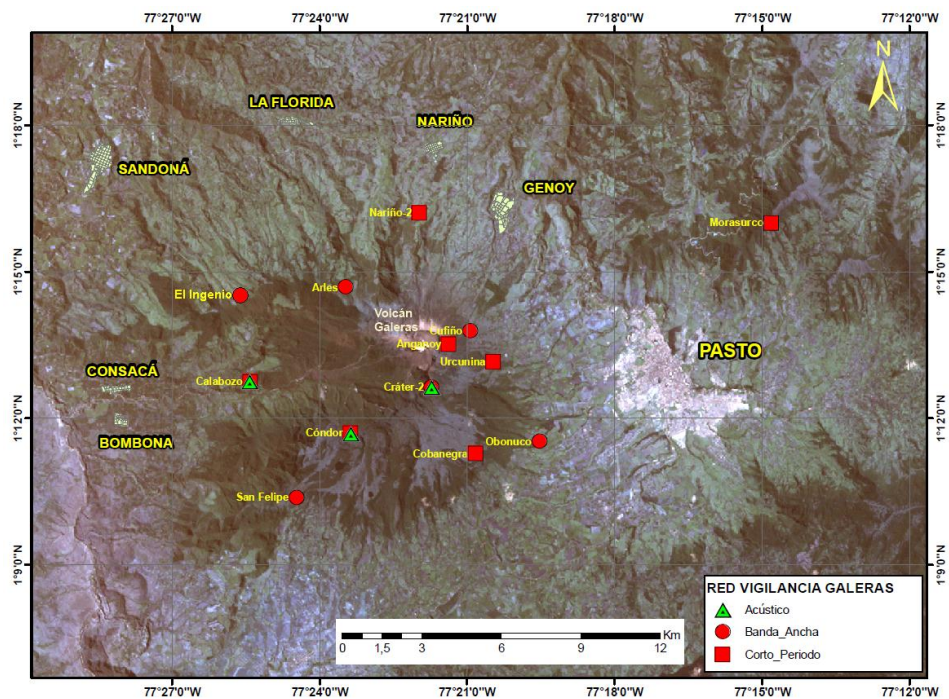
| Estación          | Código | Transmisión de Datos | Tipo de Sensor             | Componente     | Distancia al Cráter (Km) | Dirección Respecto al Cráter | Altitud (msnm) |
|-------------------|--------|----------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|------------------------------|----------------|
| 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           |
| Cóndor            | COND   | Digital              | Sismómetro Corto periodo   | Triaxial       | 4.9                      | SW                           | 3985           |
| Obonuco           | OBVR   | Digital              | Sismómetro banda Ancha     | Triaxial       | 4.9                      | SE                           | 3010           |
| Nariño-2          | NAR2   | Analógica            | Sismómetro Corto periodo   | Vertical       | 5.0                      | N                            | 2870           |
| Calabozo          | CAVZ   | Digital              | Sismómetro Corto periodo   | Triaxial       | 6.8                      | WSW                          | 2353           |
| Ingenio           | INGZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 7.0                      | WNW                          | 2907           |
| San Felipe        | SNFZ   | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 7.6                      | SW                           | 3491           |
| San Juan          | SJUZ   | Digital              | Sismómetro Corto periodo   | Triaxial       | 10.5                     | NE                           | 2899           |
| Morasurco         | MORA   | Digital              | Sismómetro Corto periodo   | Triaxial       | 13.7                     | NE                           | 3504           |
| Cráter Acústico   | CRAC   | Digital              | Sensor de Presión Acústica | Unidireccional | 1.5                      | S                            | 4048           |
| Cóndor Acústico   | CONA   | Digital              | Sensor de Presión Acústica | Unidireccional | 4.9                      | SW                           | 3985           |
| Calabozo Acústico | CAMI   | Digital              | Sensor de Presión Acústica | Unidireccional | 6.8                      | WSW                          | 2353           |

**Tabla 2.** Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de abril de 2015.

| Inclínómetros Electrónicos | Distancia al Cráter (Km) | Dirección 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           |
| Cóndor                     | 4,9                      | SW                                     | 3985           |
| Calabozo                   | 7,1                      | WSW                                    | 2350           |

**Tabla 3.** Estaciones GNSS permanentes telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el mes de abril 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 1.** Mapa de localización de las estaciones sísmicas y de sensores acústicos que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de abril de 2015.

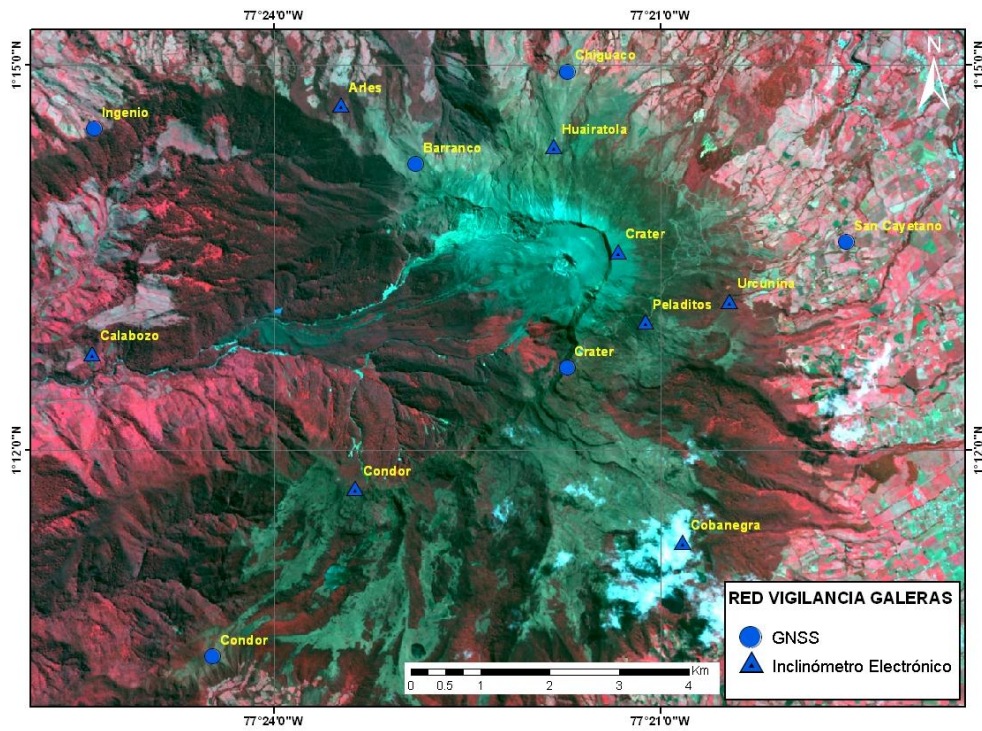


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros y GNSS que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de abril de 2015.

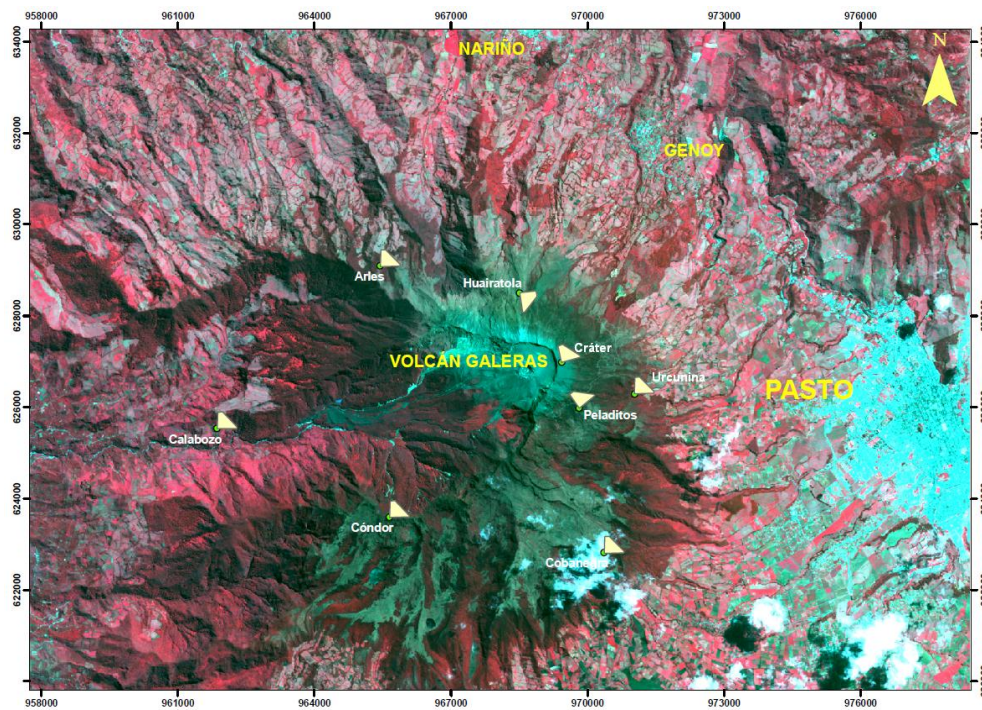


Figura 3. Mapa de localización y orientación de las componentes de las estaciones de inclinometría instaladas en Galeras.

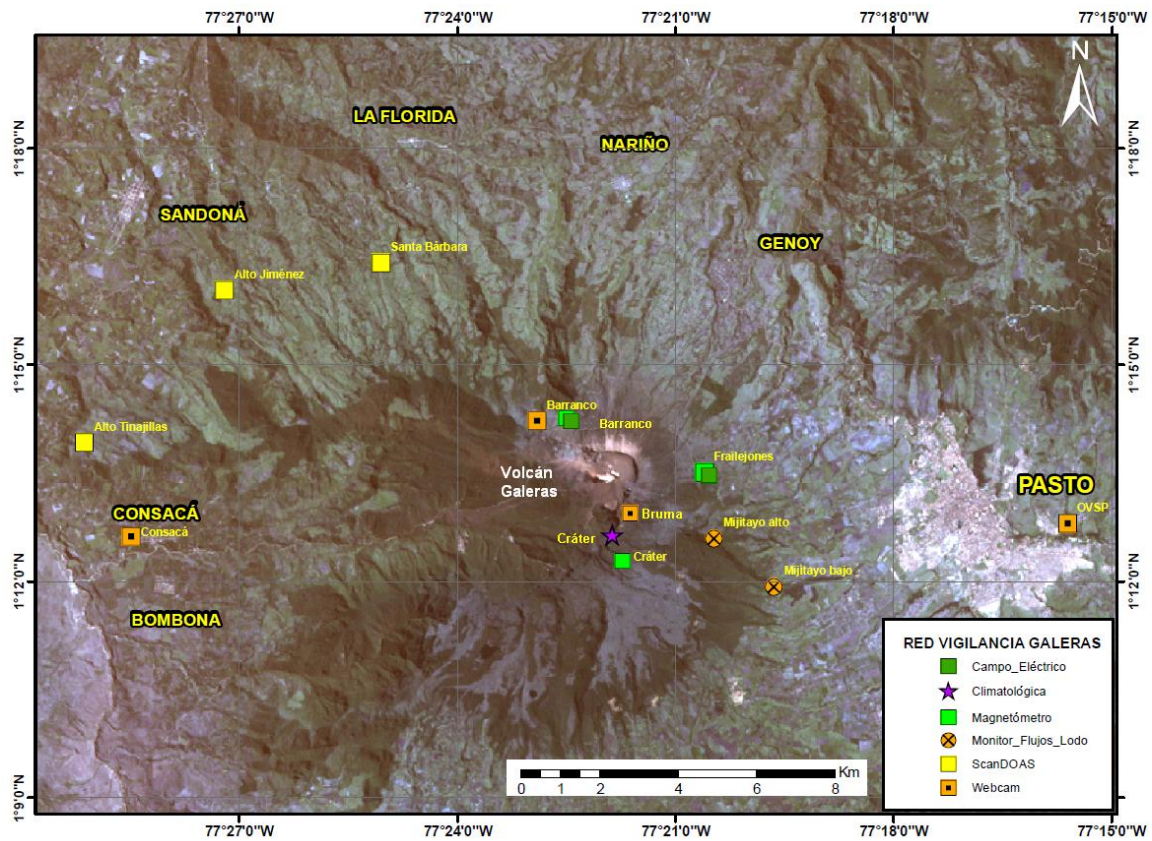
**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras.

| Estación        | Distancia al cráter (km) | angulo del scan ( ° ) | Altura de referencia de la pluma* (m) | Dirección compás ( ° azimut) | Ubicación respecto al cráter | Altitud (msnm) |
|-----------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|
| Santa Bárbara   | 7.9                      | 60                    | 1600                                  | 131                          | NNW                          | 2600           |
| Alto Jiménez    | 10.8                     | 90                    | 1800                                  | 295                          | 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 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           |



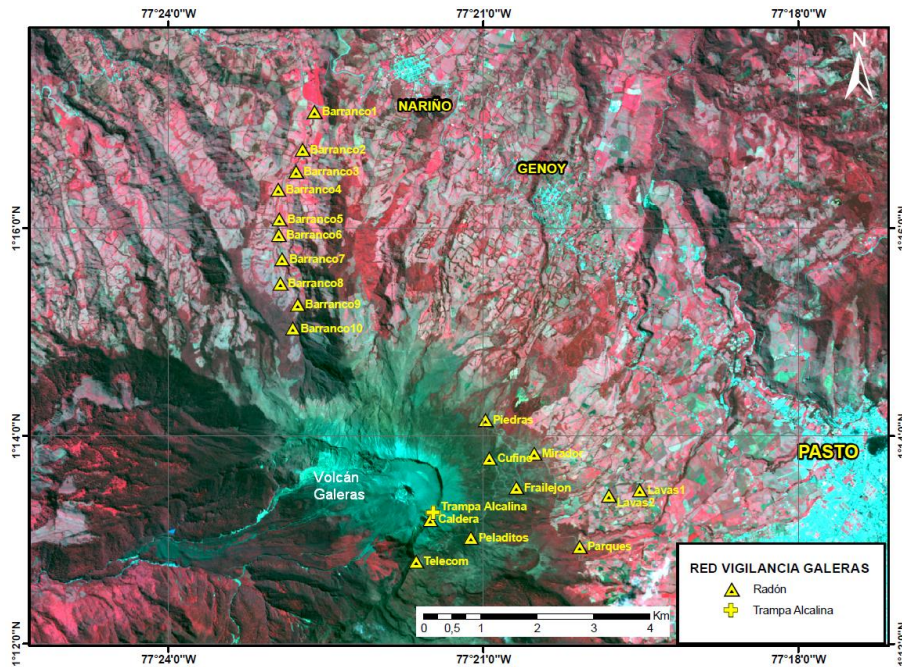
**Figura 4.** Mapa de localización de las estaciones campo eléctrico y magnético, flujos de lodos, ScanDOAS, climatológica y cámaras web que conformaron la red de vigilancia de Galeras durante el mes de abril de 2015.

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

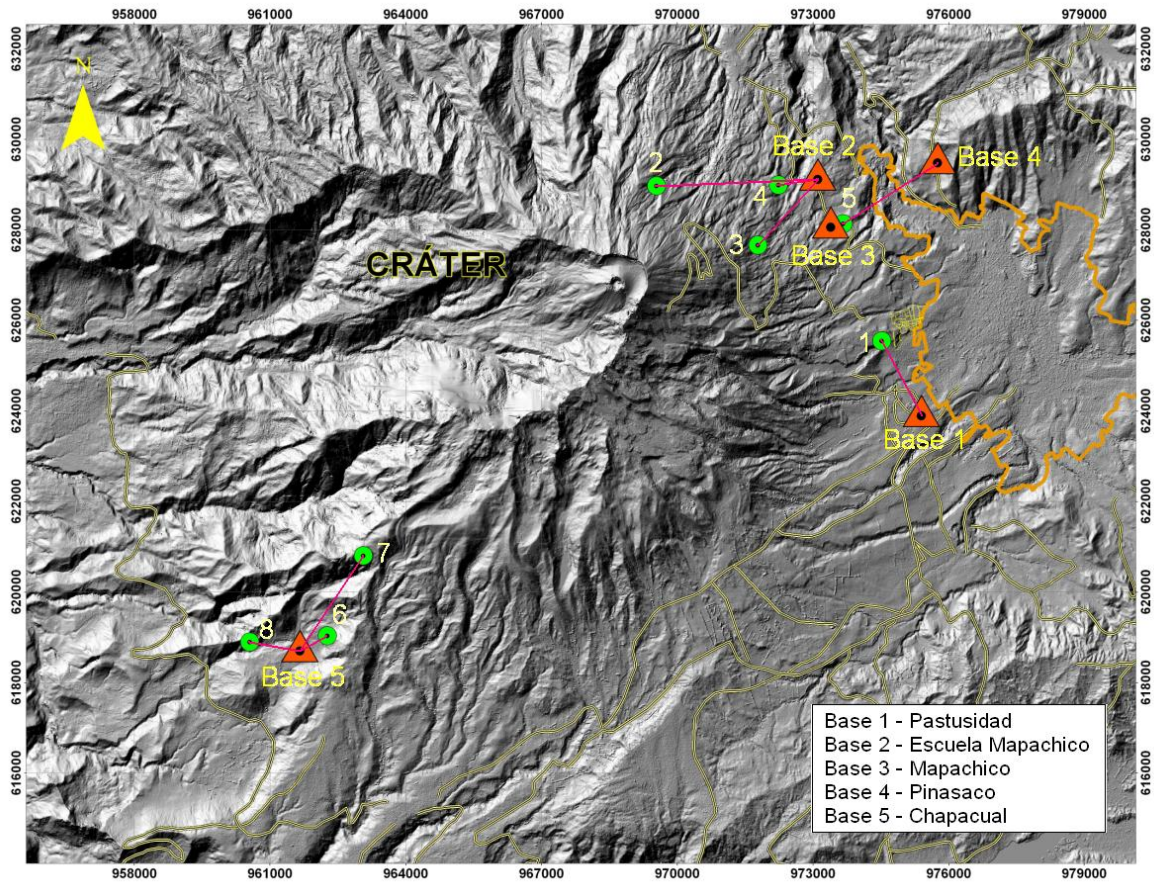
| Estación  | Distancia al Cráter (Km) | Dirección Respecto al Cráter Principal | Altitud (msnm) |
|-----------|--------------------------|--|----------------|
| Caldera   | 1,1                      | SE                                     | 4238           |
| telecom   | 1,6                      | SSE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

**Tabla 7.** Estaciones instaladas por el sector de Barranco (Línea Barranco) para el monitoreo de gas Radón en el volcán Galeras.

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



**Figura 5.** Mapa de localización de las estaciones instaladas en Galeras para el monitoreo de gas Radón.



**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.

**Tabla 8.** Ubicación geográfica de las fuentes termales en el Volcán Galeras.

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

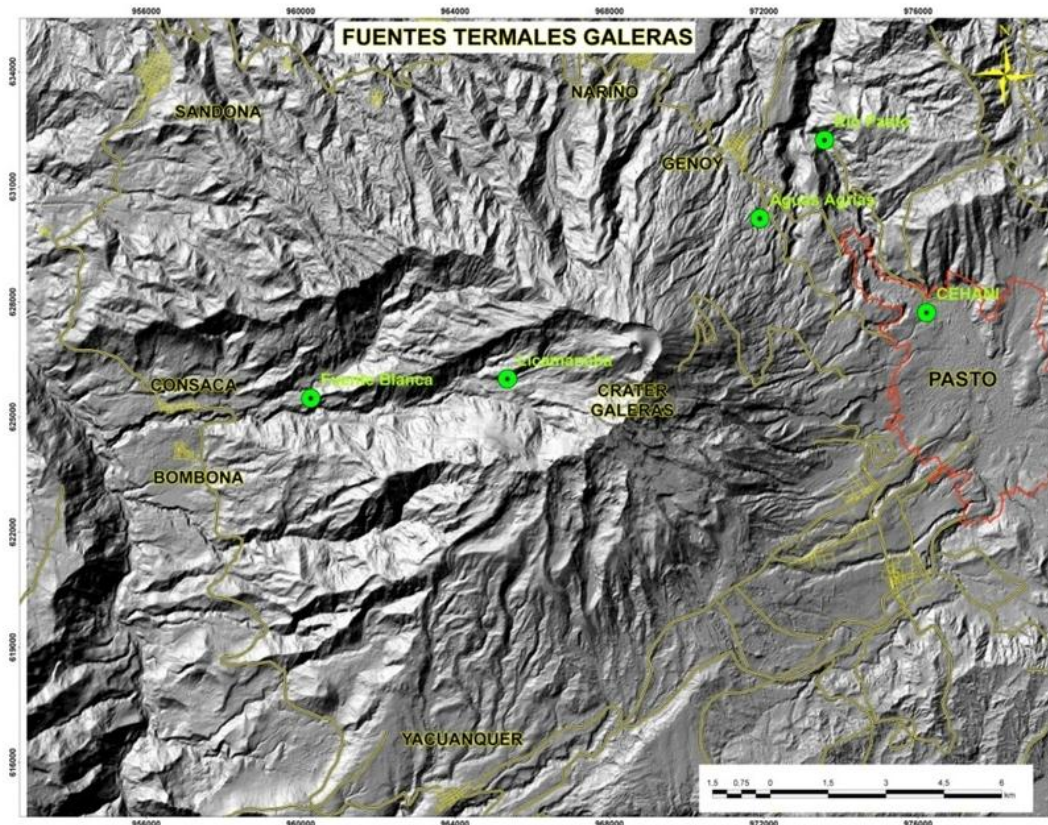


Figura 7. Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia del Volcán Galeras.

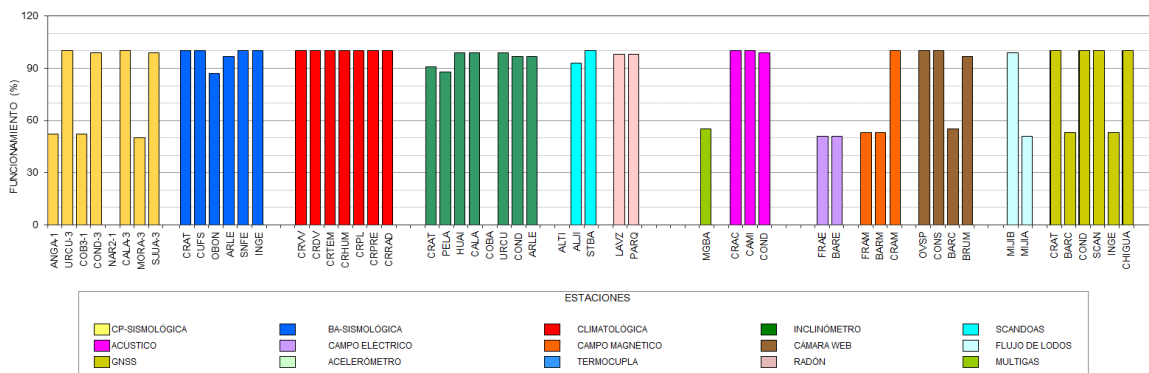


Figura 8. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el mes de abril de 2015, de las estaciones telemétricas que conformaron las redes de monitoreo telemétrico del volcán Galeras.

## 1.2. SISMOLOGÍA

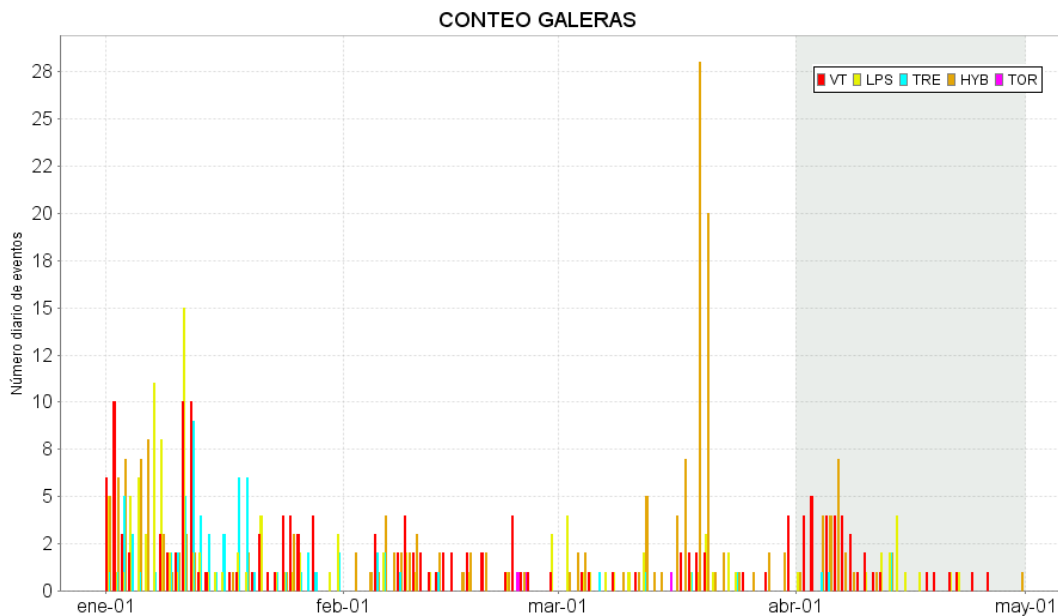
La actividad sísmica dominante, estuvo asociada con eventos que involucran fracturamiento de roca (VT), seguidos por sismos relacionados con fracturamiento de roca y posterior movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos (HYB) y en menor cuantía por eventos tipo TRE, los cuales involucran movimiento de fluido de fuente persistente en el tiempo (Tabla 9, Figura 9).

En abril la sismicidad volcánica disminuyó en ocurrencia cerca del 40% en relación con el mes anterior, registrándose en total 76 sismos. Los eventos que mostraron mayor descenso fueron los clasificados como HYB (Figura 10), observándose un ascenso en los VT, los cuales pasaron de 18 a 35 para el periodo evaluado. Los eventos pequeños que no cumplen con los estándares de amplitud y duración, denominados no clasificables (NC), también mostraron disminución, descenso cercano al 44% del número presentado en el mes anterior.

En total se registraron cuatro eventos tipo Tremor espasmódico clasificables, la duración por evento fluctuó entre 0.7 y 1.9 minutos y se totalizó una duración aproximada de 6 minutos.

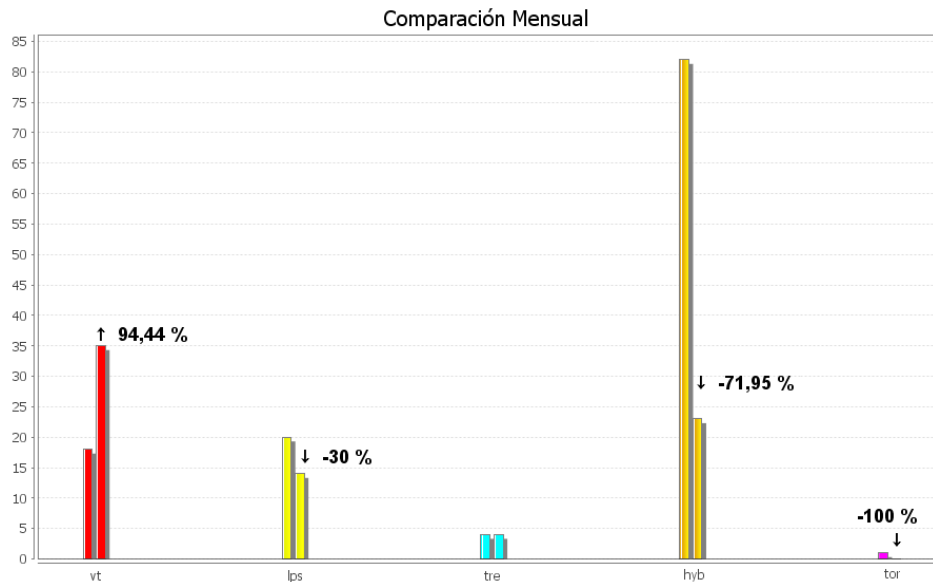
**Tabla 9.** Número de eventos volcánicos por tipo ocurridos entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

| Periodo Evaluado      | Número de eventos por tipo |     |     |     |     |     | TOTAL | NO CLASIFICABLES |
|-----------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------------------|
|                       | vt                         | lps | tre | hyb | tor |     |       |                  |
| 01-ene-15 a 31-ene-15 | 73                         | 81  | 62  | 51  | 0   | 267 | 1297  |                  |
| 01-feb-15 a 28-feb-15 | 31                         | 11  | 6   | 26  | 2   | 76  | 401   |                  |
| 01-mar-15 a 31-mar-15 | 18                         | 20  | 4   | 82  | 1   | 125 | 2955  |                  |
| 01-abr-15 a 30-abr-15 | 35                         | 14  | 4   | 23  | 0   | 76  | 1647  |                  |



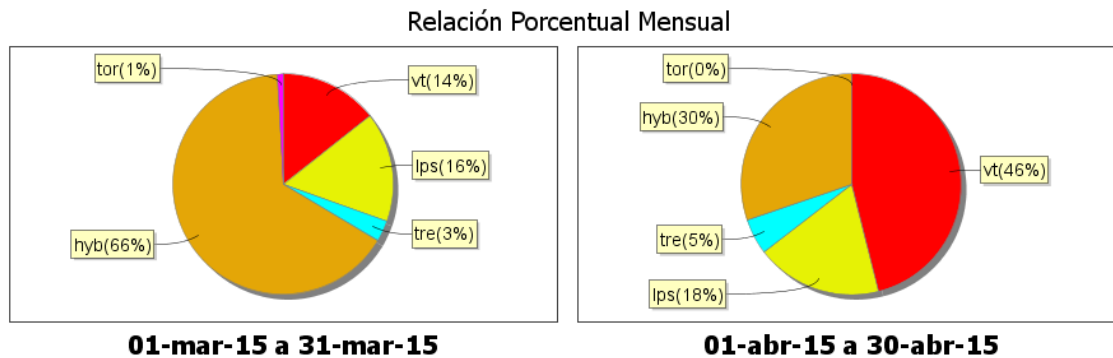
**Figura 9.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre enero y abril de 2015. La zona sombreada corresponde al periodo evaluado en este informe.





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

La Figura 11 muestra la distribución de ocurrencia en porcentaje de los diferentes tipos de sismos.



**Figura 11.** Relación porcentual de ocurrencia sísmica por tipo de sismos en el volcán Galeras, para los meses de marzo y abril de 2015.

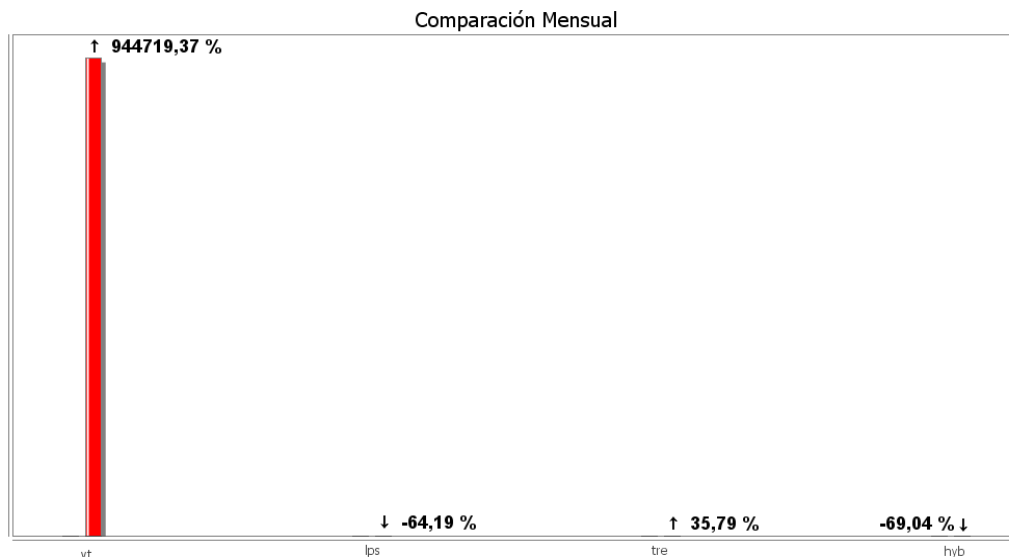
La energía sísmica liberada en abril fue de  $3,34 \times 10^{15}$  ergios, observándose un notable incremento con respecto a marzo, en tres órdenes de magnitud (Tabla 10, Figura 12). El mayor aporte provino de los eventos tipo VT, esto debido al evento registrado el 8 de abril (Figuras 13 y 14).

**Tabla 10.** Energía sísmica liberada por tipo de evento para los meses de enero y abril de 2015, resaltando en gris el mes objeto de evaluación.

| Periodo Evaluado      | Energía liberada por tipo de evento [ergios] |          |          |          |          |
|-----------------------|--|----------|----------|----------|----------|
|                       | VT   | LPS      | TRE      | HYB      | TOTAL    |
| 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 |
| 01-abr-15 a 30-abr-15 | 3.34E+15                                     | 8.47E+11 | 8.79E+09 | 1.41E+11 | 3.34E+15 |



**Figura 12.** Energía sísmica diaria liberada por los eventos volcánicos según su tipo (en términos de su raíz cuadrada), registrados entre el 1 de enero y el 30 de abril de 2015.



**Figura 13.** Comparación porcentual de la energía liberada por tipo de evento para abril de 2015 (barras de la derecha) respecto a marzo de 2015 (barras de la izquierda).

Relación Porcentual Mensual

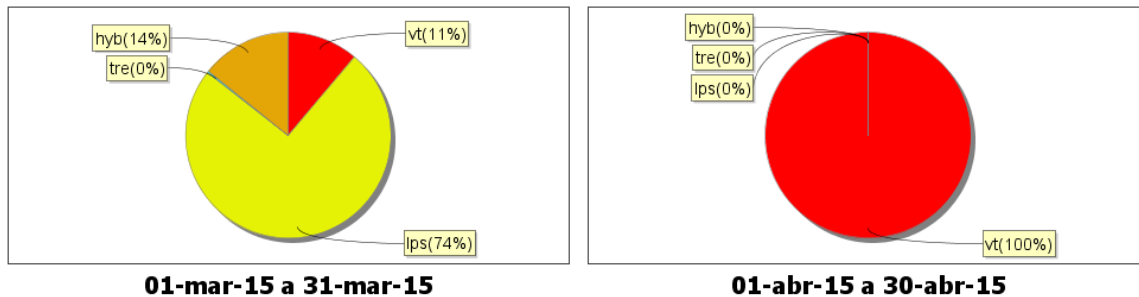


Figura 14. Relación porcentual mensual de la energía sísmica liberada por tipo de sismos para marzo y abril de 2015.

Fue posible localizar 56 sismos, todos clasificados como VT. Es posible distinguir tres fuentes de sismos, la primera en inmediaciones del cráter principal, superficial con profundidades de hasta 3.3 km, y magnitudes entre 0 y 0.8 en la escala de Richter, la segunda ubicada hacia el sector sur, con profundidades entre 3.4 y 5.7 km, magnitudes entre 0 y 2.5, y la tercera hacia el nororiente con profundidades entre 6.4 y 9.5 km respecto a la cima volcánica y las magnitudes locales entre 0.6 y 3.1 en la escala de Richter (Figura 15).

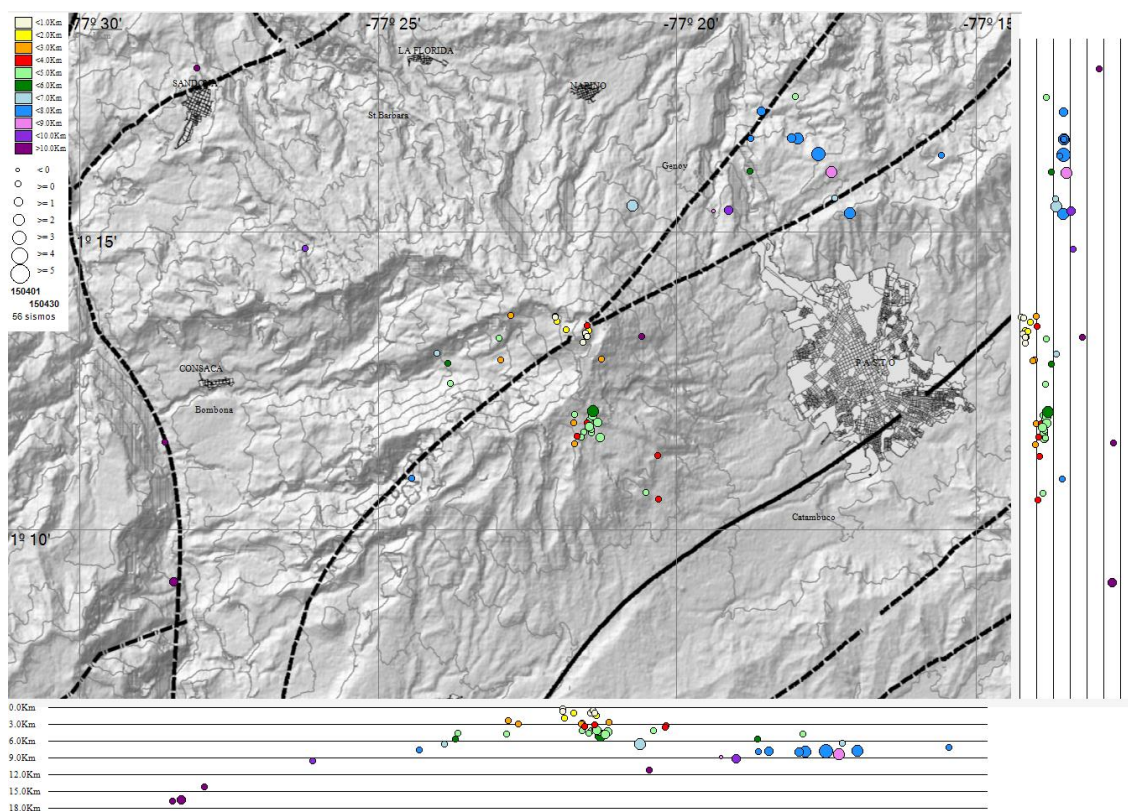
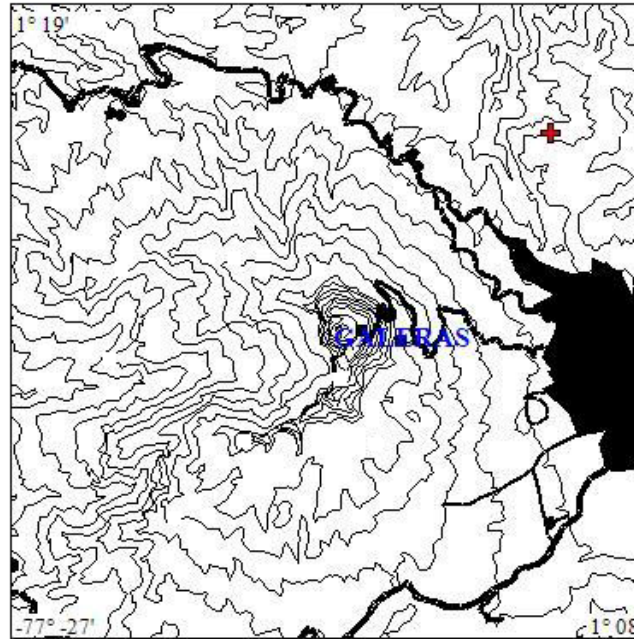


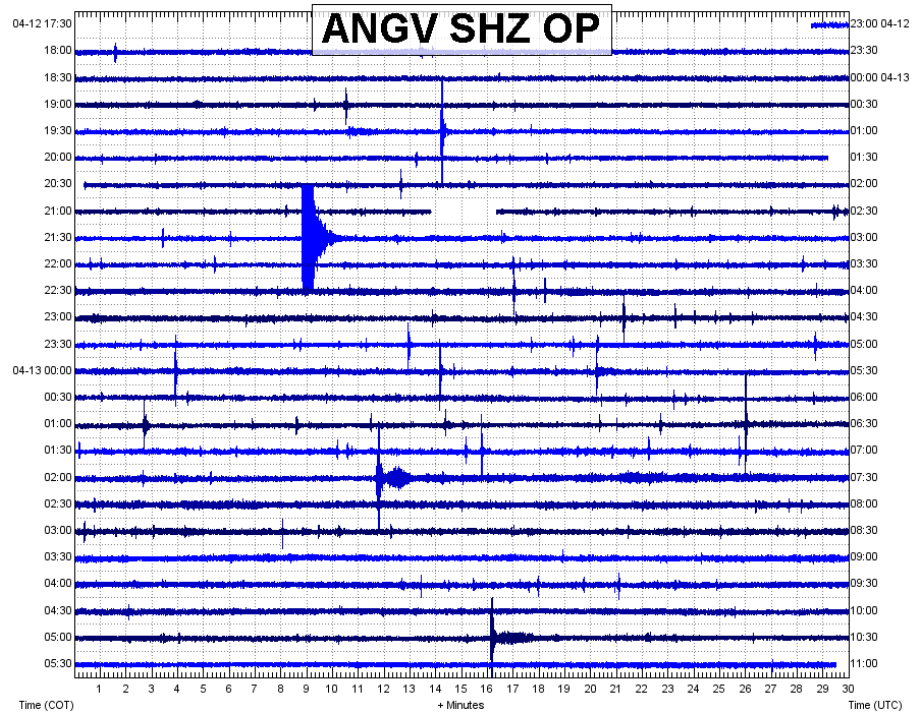
Figura 15. Localización epicentral e hipocentral de sismos VT registrados en el mes de abril de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3.0 km de profundidad.

De esta sismicidad de fractura se resalta el evento ocurrido el 8 de abril, a la 1:23 a.m., el cual se ubicó hacia el sector nororiental, con una magnitud local de 2.4 en la escala de Richter y profundidad de 7.9 km respecto a la cima, el cual fue reportado como sentido algunos habitantes del municipio de Pasto (Figura 16).

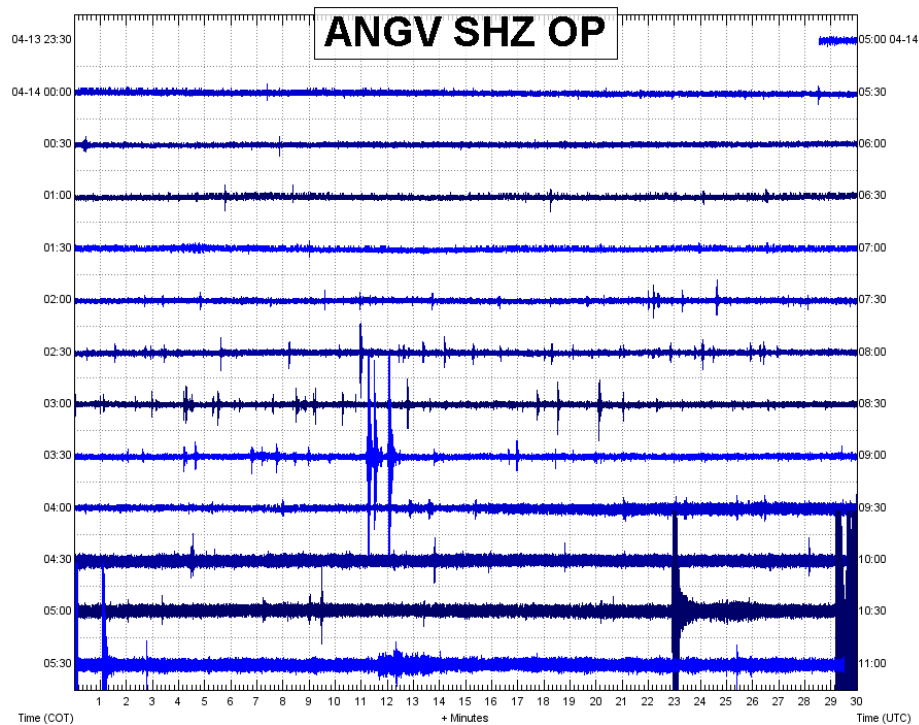


**Figura 16.** Localización epicentral (cruz) del sismo VT registrado el 8 de abril, a la 1:23 a.m., el cual fue reportado como sentido por habitantes del municipio de Pasto.

De igual forma de la sismicidad registrada a lo largo del periodo evaluado, se destaca el registro de dos episodios de enjambre, ocurridos, el primero entre las 7:00 p.m., del 12 de abril y las 3:30 a.m., del 13 de abril, registrándose cerca de 64 eventos no clasificables (Figura 17); el segundo el 14 de abril entre las 2:00 a.m., y las 3:45 a.m., totalizando 43 sismos no clasificable (Figura 18).



**Figura 17.** Sismograma de la estación Anganoy, estación base de clasificación, resaltando el enjambre de sismos no clasificables, ocurrido entre el 12 y 13 de abril de 2015.



**Figura 18.** Sismograma de la estación Anganoy, estación base de clasificación, resaltando el enjambre de sismos no clasificables, ocurrido el 14 de abril de 2015.

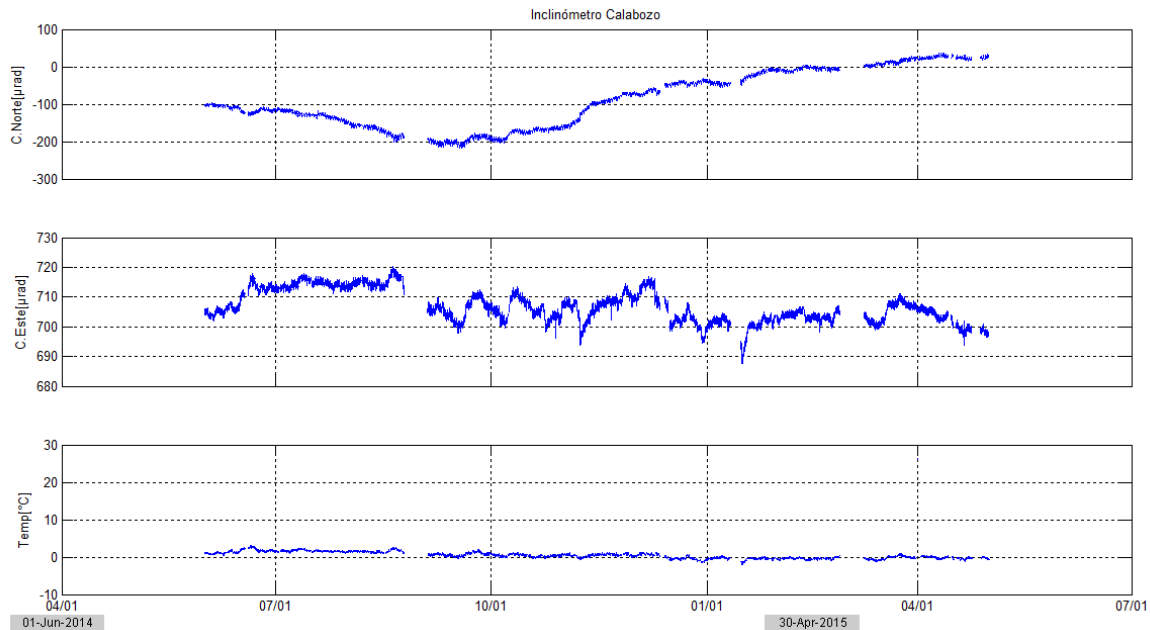
### 1.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

#### 1.3.1. Inclínometría Electrónica

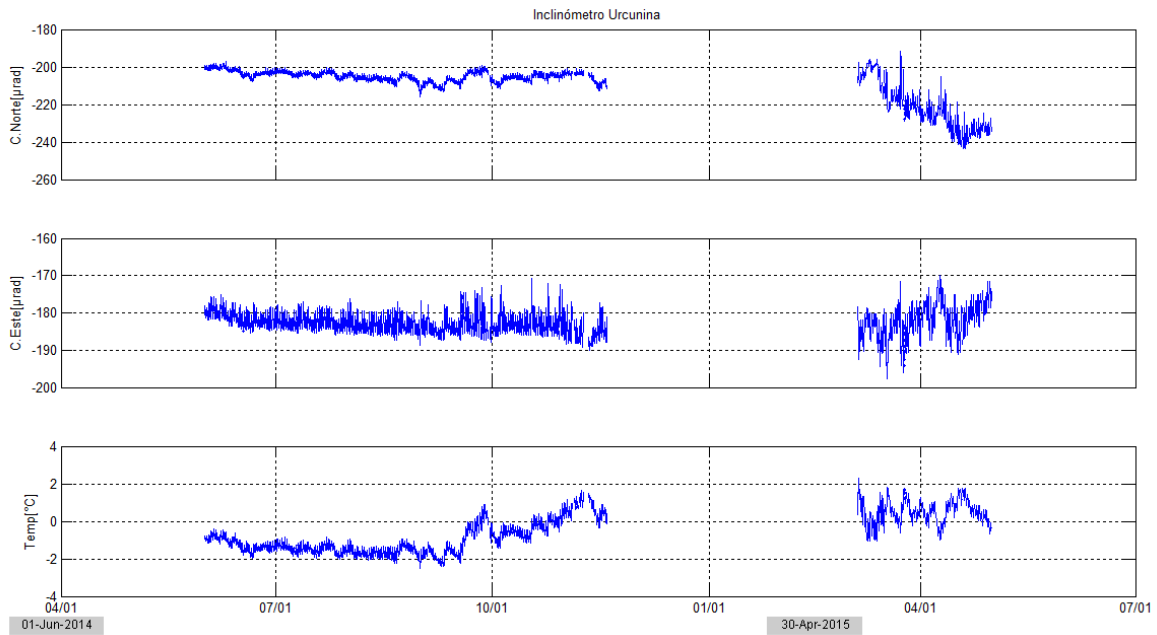
Durante el mes de abril de 2015 se contó con los datos de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, Urcunina, Calabozo, Cóndor y Arlés cuya localización se puede apreciar en las Figuras 2 y 3.

En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, se resalta que la componente de inclinación Norte de Calabozo tiende a estabilizarse, luego de mostrar un comportamiento ascendente entre el 17 de septiembre de 2014 y el 10 de abril de 2015, presentando una variación de 243  $\mu\text{rad}$ , mientras que su componente Este muestra una tendencia estable en su registro (Figura 19). Posterior al cambio de sensor en Urcunina, se observó un comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte hasta el 19 de abril, alcanzando cerca de 44  $\mu\text{rad}$ , por su parte la componente Este muestra ascenso de 10  $\mu\text{rad}$  (Figura 20).

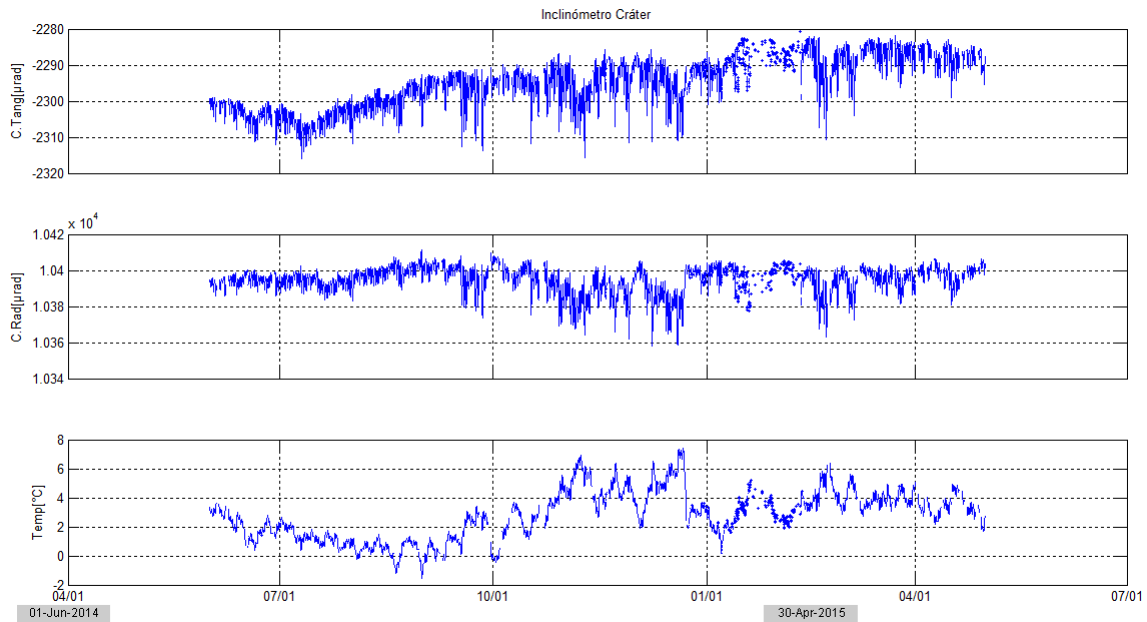
En cuanto al comportamiento de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, y Arles, se observa estabilidad en el registro de sus dos componentes (Figuras 21, 22, 23 y 24). Con respecto al funcionamiento del inclinómetro Cóndor, las variaciones mostradas por las componentes de inclinación, al parecer se encuentran relacionadas con el registro de temperatura (Figura 25).



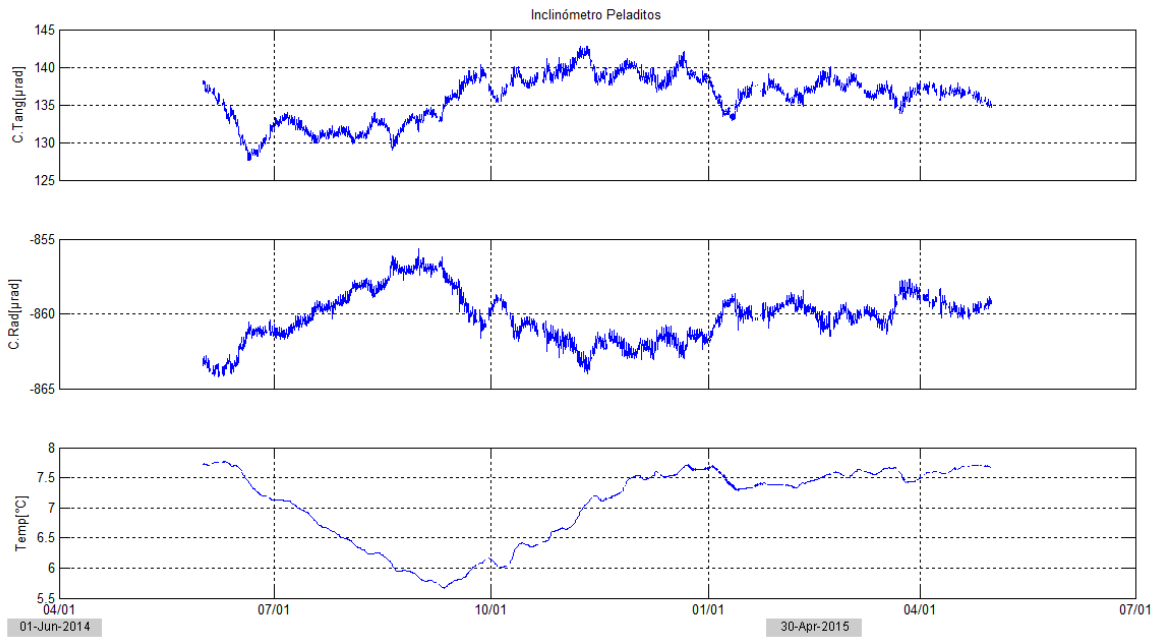
**Figura 19.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.



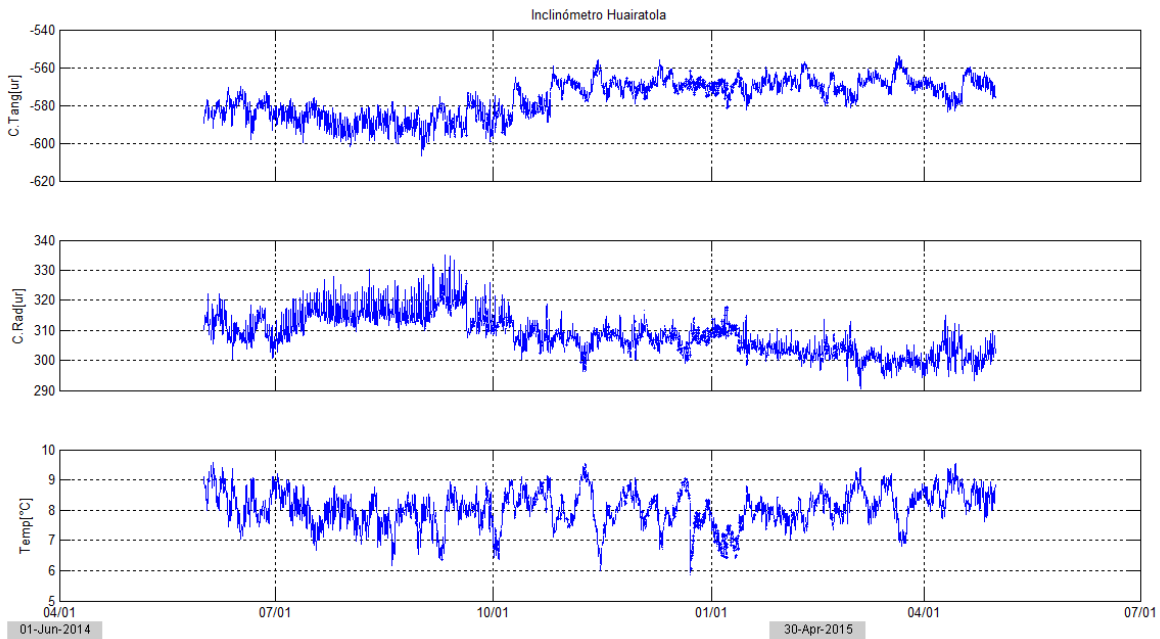
**Figura 20.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.



**Figura 21.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.

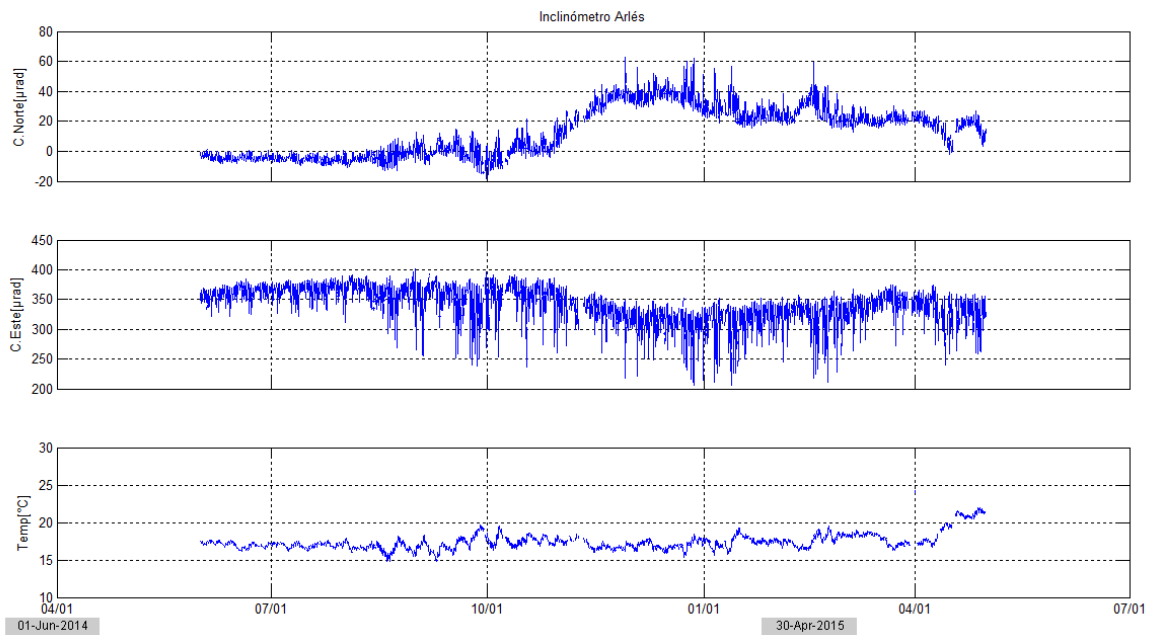


**Figura 22.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.

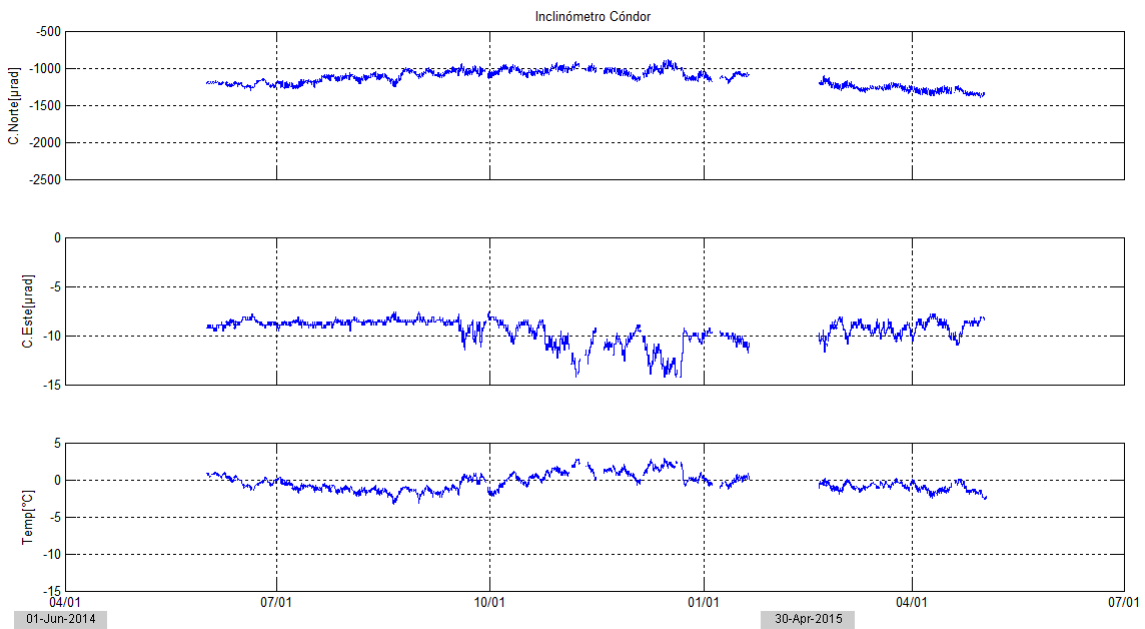


**Figura 23.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.





**Figura 24.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.



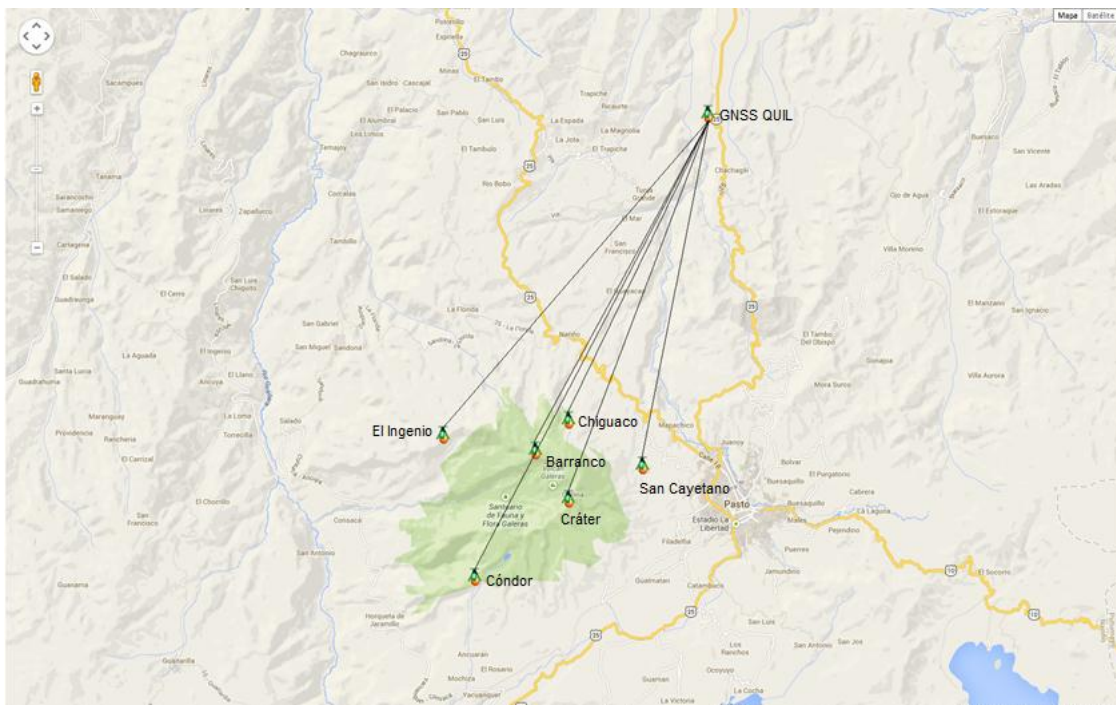
**Figura 25.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ), temperatura del inclinómetro electrónico Cándor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.

### 1.3.2. Estaciones GNSS Permanentes

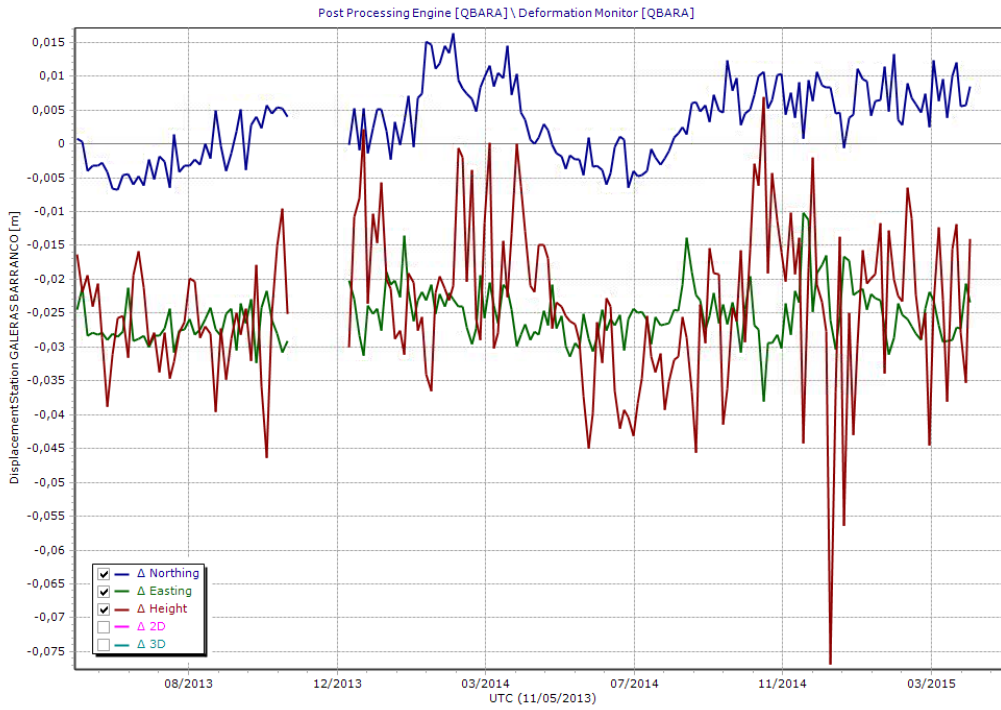
En abril de 2015 se contó con 6 estaciones receptoras GNSS permanentes. Para el análisis se contempló inicialmente un procesamiento diferencial de la información suministrada por estas estaciones considerando una estación de referencia, la estación QUIL ubicada fuera del edificio volcánico de Galeras, 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 26 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 monumento y el 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.

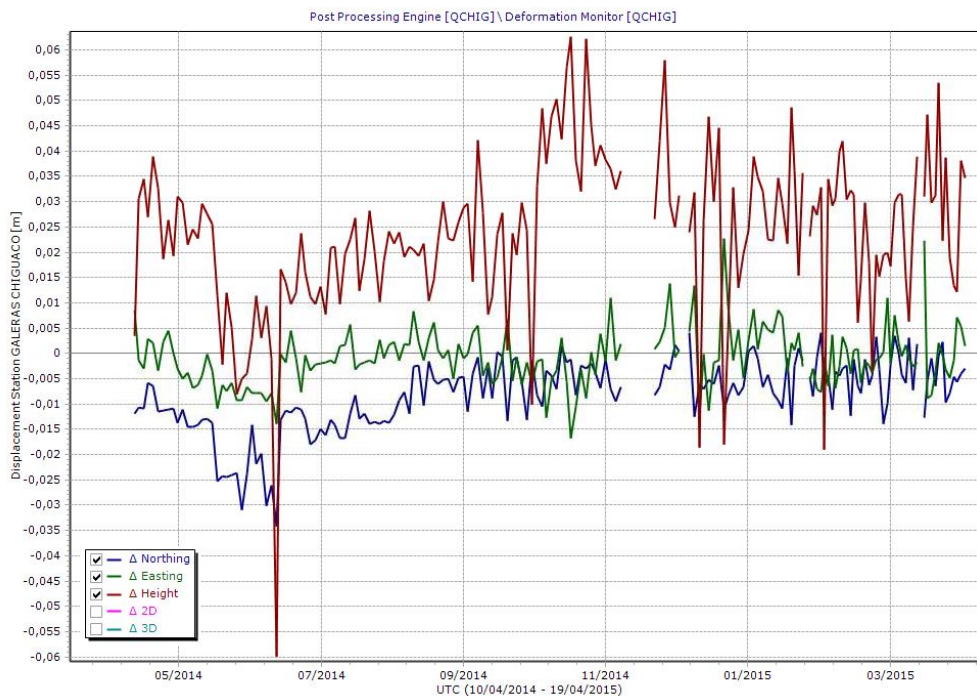
Con relación al procesamiento diferencial, se muestra hasta el 14 de abril, debido a que cerca de 15 días le toma al sistema actualizar las efemérides, correcciones que se deben realizar a las coordenadas. Con respecto a las variaciones en la posición de las estaciones GNSS, se observa estabilidad en el registro Norte y Este de Barranco, Chiguaco, Cráter, El Ingenio y San Cayetano (Figuras 27, 28, 29, 30 y 31). De igual forma en Cóndor no se observan cambios importantes en el periodo evaluado (Figura 32).



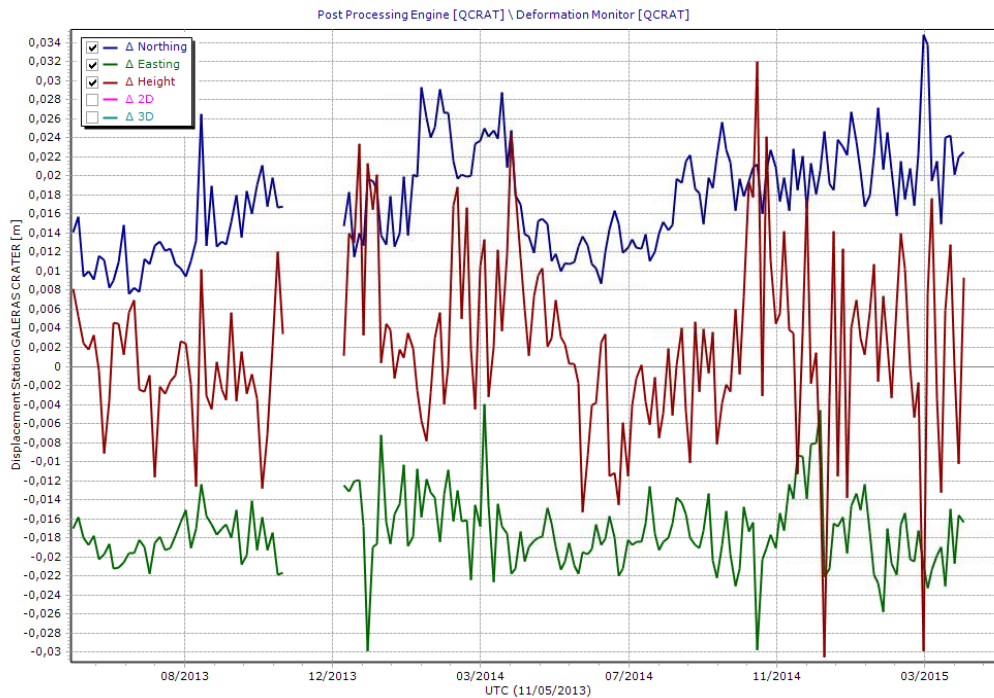
**Figura 26.** Ubicación de las estaciones GNSS instaladas en Galeras respecto al GNSS QUIL ubicado en el aeropuerto Antonio Nariño.



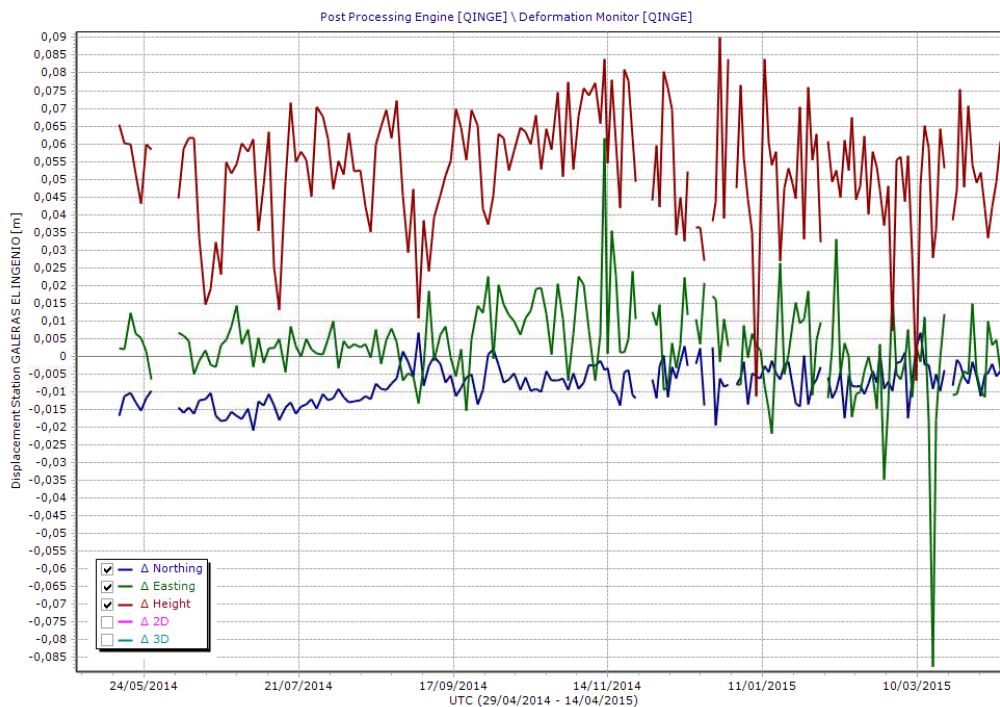
**Figura 27.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2013 y el 14 de abril de 2015.



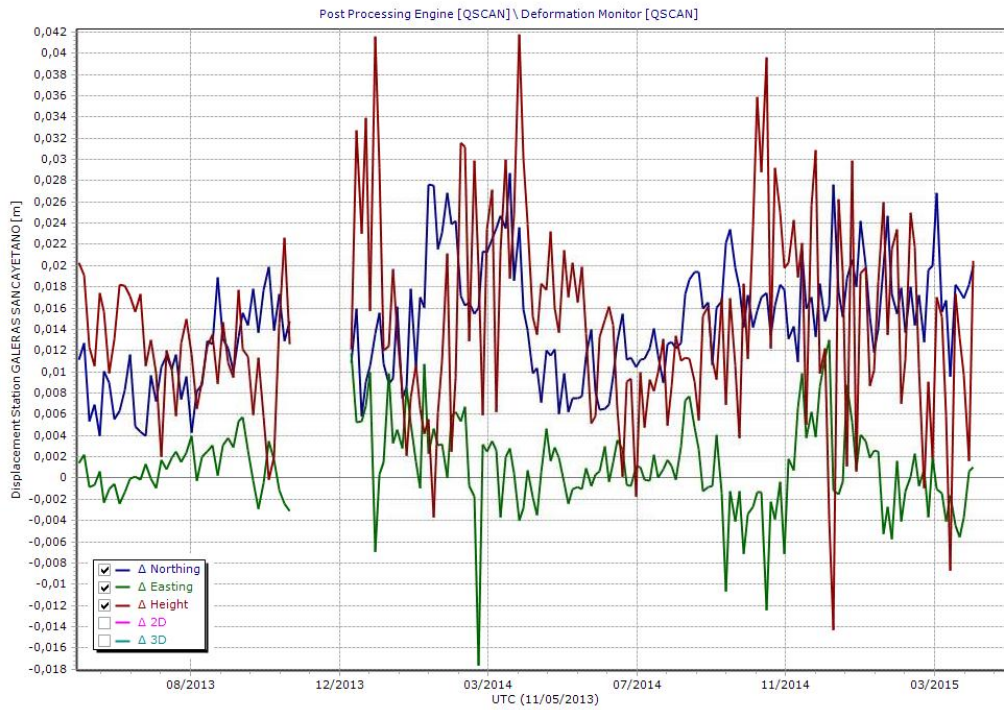
**Figura 28.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2014 y el 14 de abril de 2015.



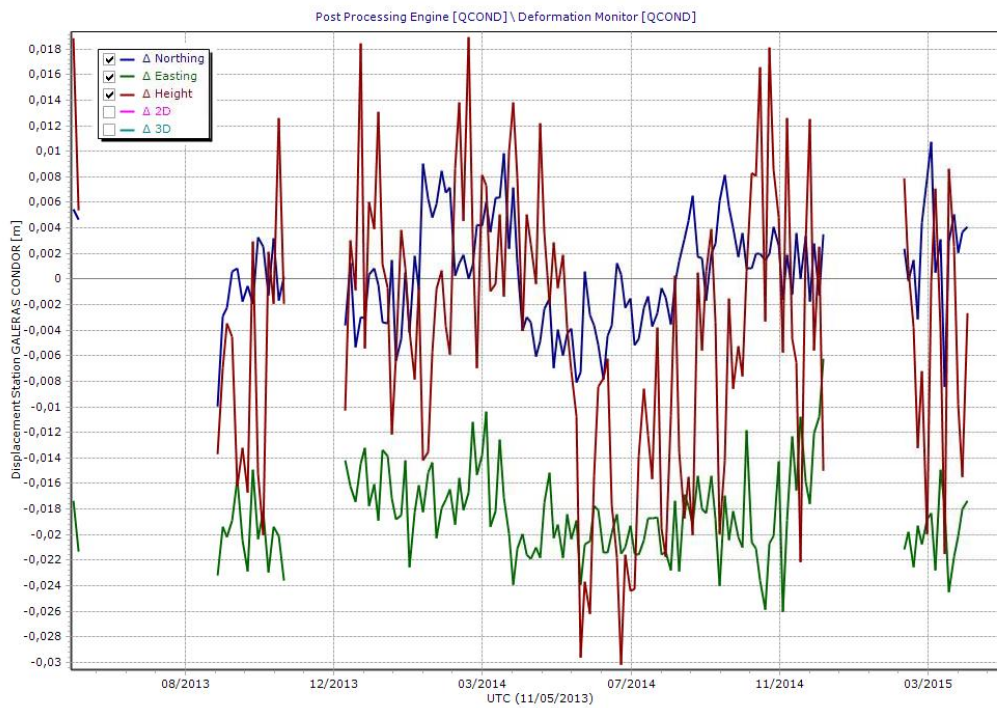
**Figura 29.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cráter instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2013 y el 14 de abril de 2015.



**Figura 30.** 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 y el 14 de abril de 2015.



**Figura 31.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2013 y el 14 de abril de 2015.



**Figura 32.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cónдор instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre junio de 2013 y el 14 de abril de 2015.

## 1.4. GEOQUÍMICA

En cuanto a las emisiones de gases de origen volcánico en la zona de influencia del volcán Galeras, durante el mes de abril de 2015 se efectuaron mediciones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) en la atmosfera, con las estaciones permanentes ScanDOAS. Además, se realizaron mediciones de emisión del isótopo 222 del elemento radiactivo Radón (Rn<sub>222</sub>), que es el isótopo más estable de éste gas, e igualmente se continuó con el muestreo de aguas en fuentes termales.

### 1.4.1. Mediciones de Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>

El dióxido de azufre es una molécula presente en la atmósfera terrestre, principalmente en la tropósfera, emitido por los volcanes activos y por actividades antropogénicas.

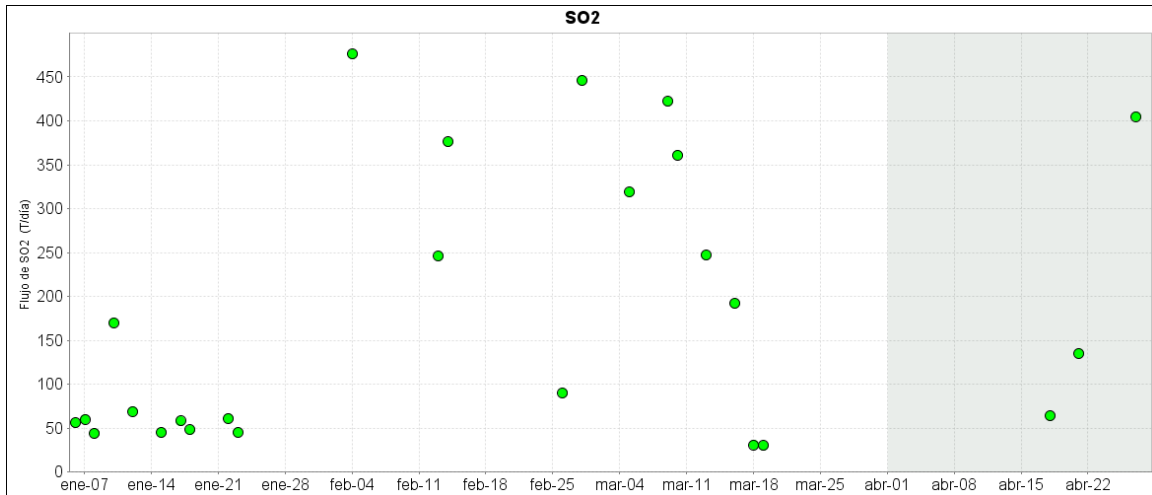
En el volcán Galeras se encuentran ubicadas tres estaciones ScanDOAS telemétricas: Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara para el monitoreo de moléculas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas provenientes de la desgasificación del magma en el reservorio profundo. El DOAS es un sistema de espectroscopia de absorción UV que funciona mediante absorción óptica diferencial de la luz ultravioleta, en este caso diseñado para medir la concentración de gas SO<sub>2</sub>, convirtiendo la luz ultravioleta detectada en señales digitales, cuyo espectro digital se utiliza para la evaluación del gas (Instructivo del APLICATIVO ISOLUCIÓN: IN-AME-OVS-003).

Se registran escaneos durante todos los días del mes de abril para las estaciones Alto Jiménez y Santa Bárbara, mientras que para la estación Alto Tinajillas no se tiene registro de escaneos; para el día 27 de abril se obtiene el mayor flujo de SO<sub>2</sub> registrando 405 Ton/día. Los valores de escaneos estimados para presencia de pluma de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la atmósfera durante este mes (Figura 33) y obtenidos de la estación Alto Jiménez, y Santa Bárbara oscilaron entre las 64 Ton/día para el 18 de abril hasta las 405 Ton/día para el 27 de abril, valores considerados como bajos para el volcán Galeras (Tabla 11).

**Tabla 11.** Emisiones de SO<sub>2</sub> del volcán Galeras (cuantificadas en términos de flujo de emisión) registradas durante el mes de abril de 2015, por las estaciones ScanDOAS (Proyecto NOVAC).

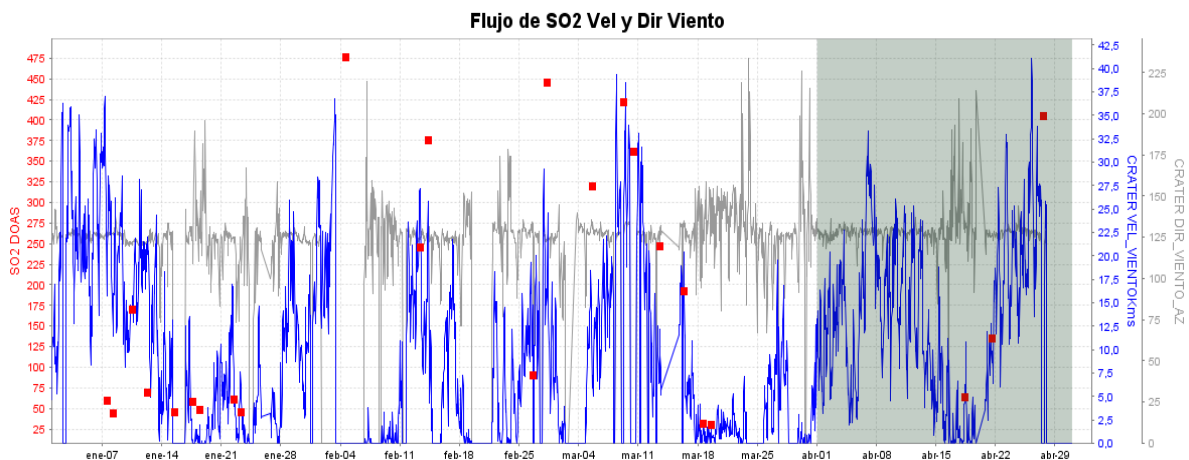
| FECHA     | HORA LOCAL | DIRECCION AZIMUT | VELOCIDAD [m/s] | Máximo flujo SO <sub>2</sub> diario | Estación de registro | Instrumento |
|-----------|------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------|-------------|
| 18-abr-15 | 08:51 AM   | 347.7            | 1.15            | 64                                  | Alto Jimenez         | SCANDOAS    |
| 21-abr-15 | 02:05 PM   | 349.3            | 2.39            | 135                                 | Alto Jimenez         | SCANDOAS    |
| 27-abr-15 | 02:04 PM   | 352              | 5               | 405                                 | Alto Jimenez         | SCANDOAS    |

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



**Figura 33.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub> registrado desde el 1 de enero de 2015 hasta el 30 de abril de 2015, por los instrumentos ScanDOAS en Galeras. Se resalta en gris el mes evaluado.

En la Figura 34 se encuentran registrados los valores de flujo de SO<sub>2</sub>, frente a la velocidad del viento y la dirección del viento, en el que se puede observar que existe una relación con estas dos últimas variables y la cantidad de partículas de SO<sub>2</sub> calculadas para el flujo total en el mes de abril, se observa que se mantiene una tendencia en la dirección del viento y se presenta variación en la velocidad registrada, lo que podría causar diferencias en el cálculo del flujo para SO<sub>2</sub>, cuando la velocidad del viento es baja se observa dispersión en la medida de la dirección.



**Figura 34.** Flujo de emisión de SO<sub>2</sub>, dirección y velocidad del viento para el mes de abril de 2015.

Para este periodo se sigue presentando proceso de desgasificación en Galeras, alcanzando para el día 27 de abril el valor de flujo de SO<sub>2</sub> más alto del periodo evaluado. Se observan variaciones en la velocidad del viento registrada entre 0 y 40 km/s, y un promedio en la dirección del viento de 125° Azimut aproximadamente.

### 1.4.2. Mediciones del gas Radón - Rn<sub>222</sub>

En las Figuras 35 y 36 se encuentra graficado el comportamiento de la concentración de gas radón en el tiempo, se puede observar en la estación Lavas una concentración máxima de 150923 Bq/m<sup>3</sup> para el día 04 de abril a las 18:40 LT (Figura 35, Tabla 12), se siguen evidenciando oscilaciones en el comportamiento de la concentración de radón, la estación Parques presenta para el día 07 de abril a las 6:20 LT un máximo de 98411 Bq/m<sup>3</sup> (Figura 36, Tabla 13).

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.

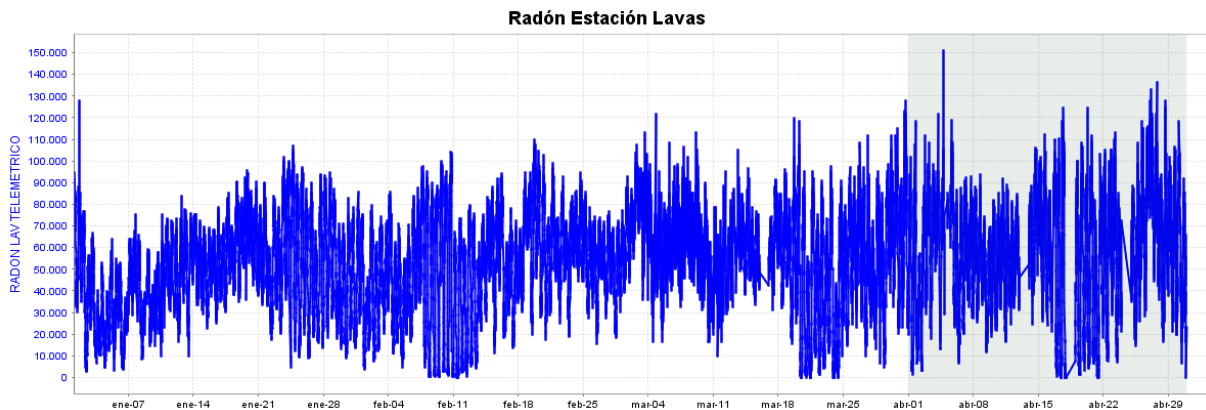


Figura 35. Concentración de gas radón en suelo - estación LAVAS, Abril de 2015.

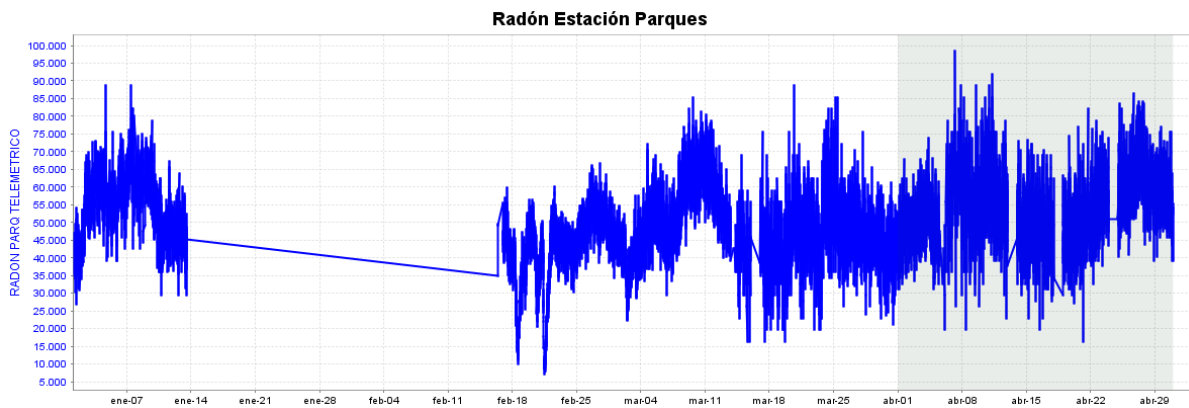


Figura 36. Concentración de gas radón en suelo - estación Parques, Abril de 2015.



**Tabla 12.** Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Lavas – abril de 2015.

| Concentración radón (Bq/m <sup>3</sup> ) |        |
|--|--------|
| Valor promedio                           | 52418  |
| Valor máximo                             | 150923 |
| Valor mínimo                             | 498    |

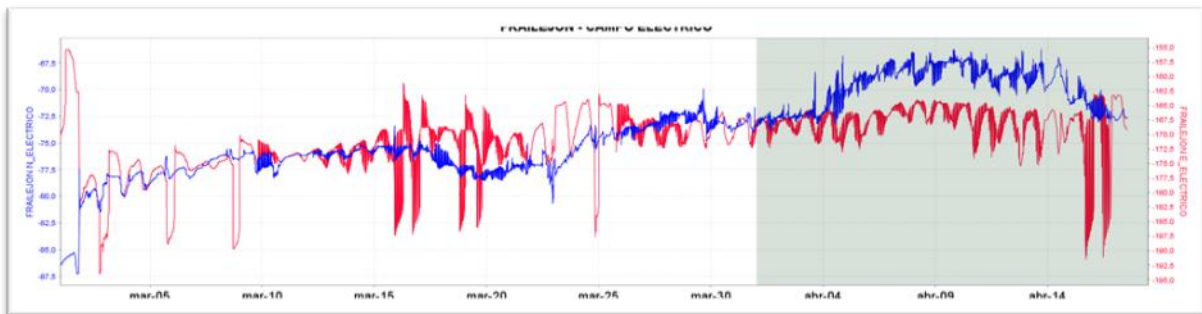
**Tabla 13.** Registro de valores máximos de concentración de Flujo del gas Radón (Rn-222) en la estación Parques – abril de 2015.

| Concentración radón (Bq/m <sup>3</sup> ) |       |
|--|-------|
| Valor promedio                           | 53479 |
| Valor máximo                             | 98411 |
| Valor mínimo                             | 16361 |

## 1.5. ELECTROMAGNETISMO

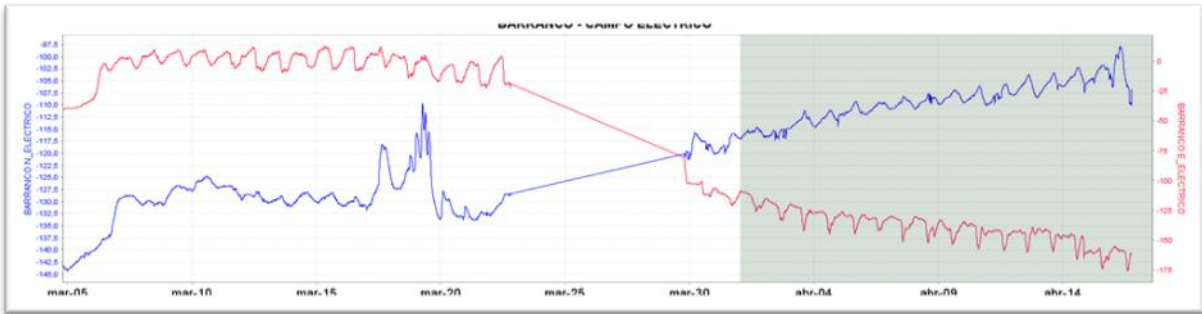
La red de vigilancia volcánica de las variaciones de los campos electromagnéticos está constituida por cinco estaciones, tres de ellas para medición de las variaciones de los campos magnéticos, Frailejón, Barranco y Cráter y dos de ellas para medición de las variaciones de los campos eléctricos, en los sectores de Frailejón y Barranco.

Los registros de las variaciones de Campo eléctrico, en la estación de monitoreo continuo, Frailejón, muestran en este último periodo variaciones cercanas a los 6 mV en la componentes Norte, mientras que en la componente Este se observó estabilidad (Figura 37). Se aclara que la estación sale de funcionamiento a partir del 16 de abril debido a una tormenta eléctrica.



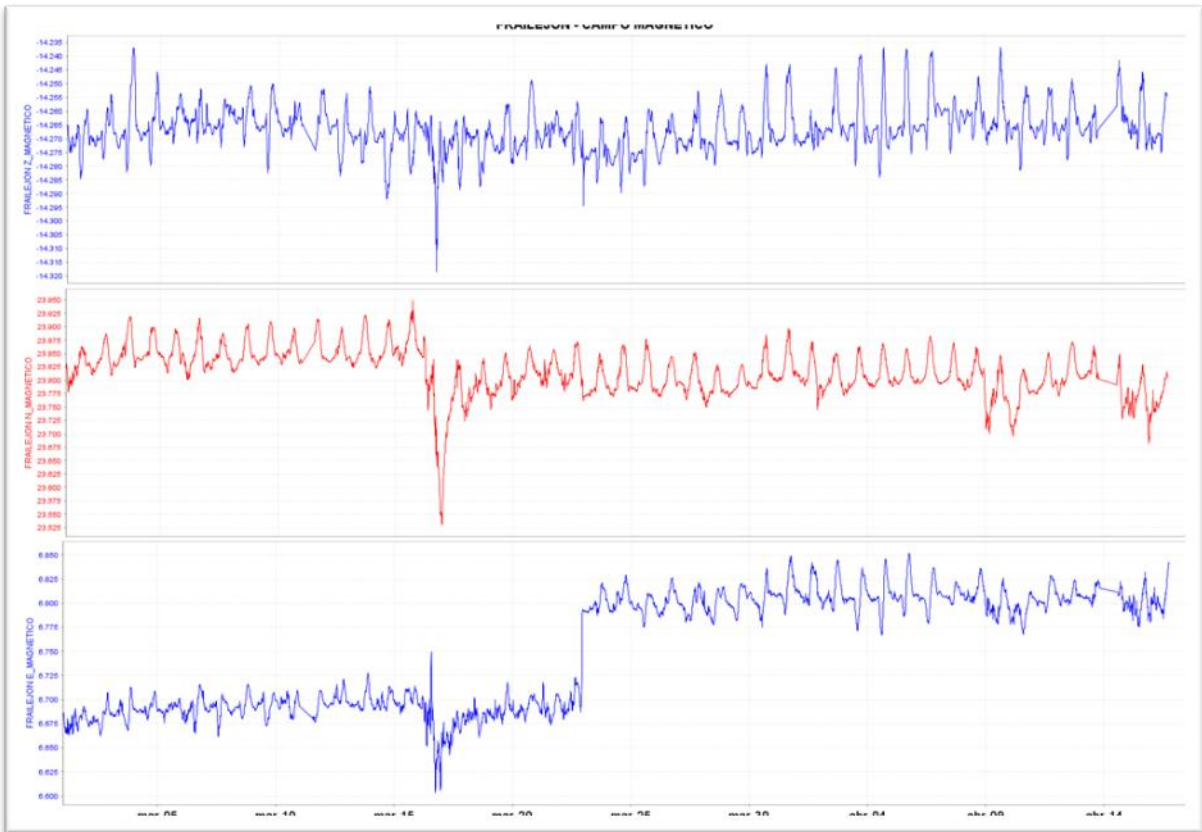
**Figura 37.** Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Frailejón, en el periodo entre marzo y abril de 2015.

El seguimiento de las variaciones del campo eléctrico, en la estación de monitoreo continuo de Barranco, muestra que las componentes Norte y Este, registraron variaciones de 17 mV y 60 mV respectivamente, que son valores normales que se registran en zonas volcánicas. Al igual que la estación Frailejón, Barranco salió de funcionamiento a partir del 16 de abril (Figura 38).

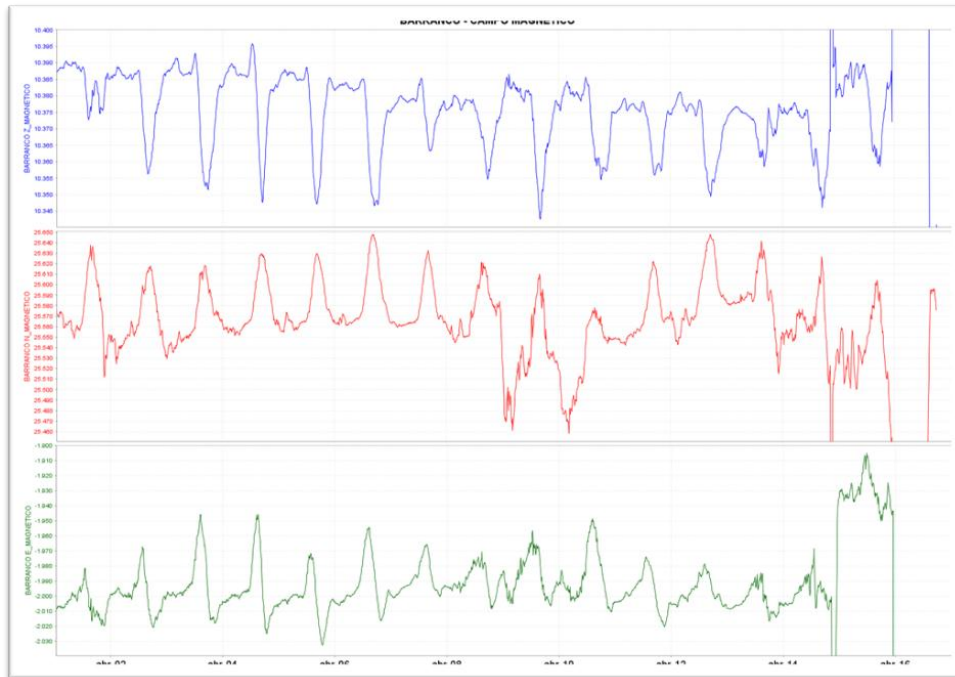


**Figura 38.** Variaciones del Campo eléctrico, en las dos componentes: NS (azul) y EW (rojo), de la estación de Barranco, en el periodo entre marzo y abril de 2015.

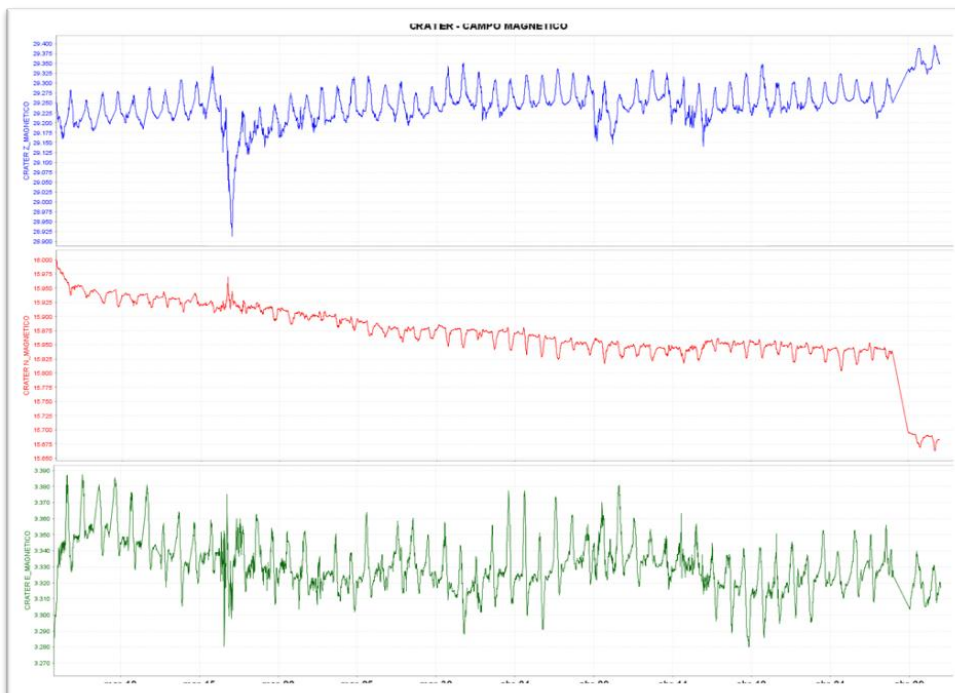
El análisis de las variaciones del campo magnético para el mes de abril de 2015, en la zona de influencia del volcán Galeras, indica que estas variaciones están asociadas con los cambios electromagnéticos día/noche. Los valores de campo magnético total en las estaciones Frailejón y Barranco fueron de 28548 y 27671 nT respectivamente (Figuras 39 y 40). En la estación Cráter se observa que el campo magnético total alcanza los 33456 nT debido a la cercanía a una de las Antenas perteneciente al consorcio de televisión Caracol- RCN (Figura 41).



**Figura 39.** Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (rojo) y EW (verde), de la estación de Frailejón, para el periodo comprendido entre marzo y abril de 2015.



**Figura 40.** Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (rojo) y EW (verde), de la estación de Barranco, para el periodo comprendido entre el 1 y 16 de abril de 2015.

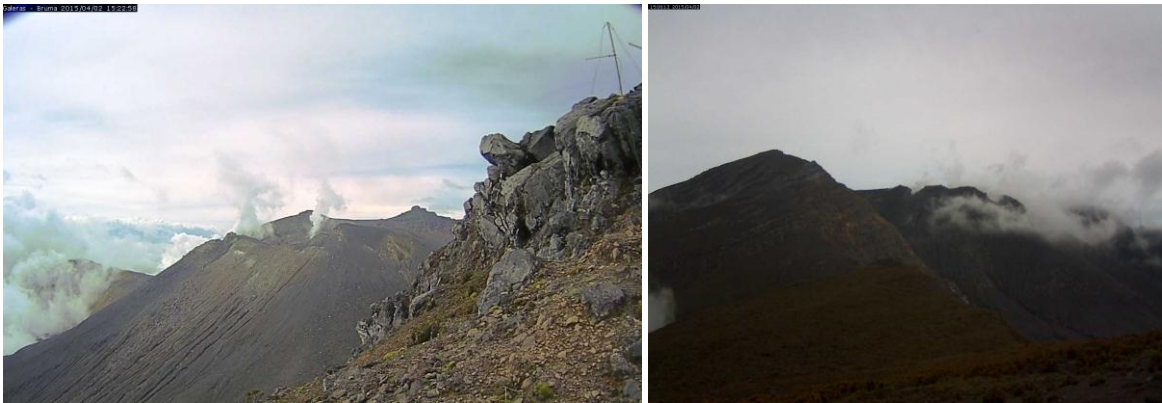


**Figura 41.** Variaciones del Campo Magnético, en las tres componentes: Z (azul), NS (magenta) y EW (rojo), de la estación de Cráter, para el periodo comprendido entre marzo y abril de 2015. A finales del mes de abril se observa variaciones en las componentes debido a que el día 28 se realizó mantenimiento correctivo a la estación.

## 1.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS

La actividad superficial se documentó a partir de observaciones directas hacia la cima desde la sede del OVSP, por reportes de las comisiones de personal en campo, de la comunidad o las autoridades y por videos e imágenes de las cámaras instaladas en el OVSP, Consacá, Barranco Alto y Bruma.

Condiciones favorables de clima permitieron observar emisiones de gases la mayor parte del mes, exceptuando los días 3, 7, 21, 22, 23, 25, 26, 27 y 28 de abril de 2015, debido a la alta nubosidad presente en la cima volcánica. La dispersión de las columnas de gases fue variable debido a la acción de los vientos y la mayor altura de columna estuvo cerca a los 200 m sobre la cima. Los principales focos de emisión continúan ubicados en el cráter principal, sector norte y occidente del cono volcánico. En las Figuras 42 a 45 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases en Galeras.



**Figura 42.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 2 de abril de 2015, en horas de la tarde 3:22 p.m., capturada desde las cámaras de Bruma (izquierda) y Barranco (derecha).



**Figura 43.** Imágenes de las emisiones de gases del volcán Galeras, capturadas el 5 de abril de 2015 desde las cámaras de Barranco (izquierda) y Bruma (derecha).



**Figura 44.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 9 de abril de 2015, en horas de la tarde 4:30 p.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Barranco.



**Figura 45.** Imagen de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 18 de abril de 2015, en horas de la mañana 7:47 a.m., capturada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma.

## 1.7. CONCLUSIONES

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”.

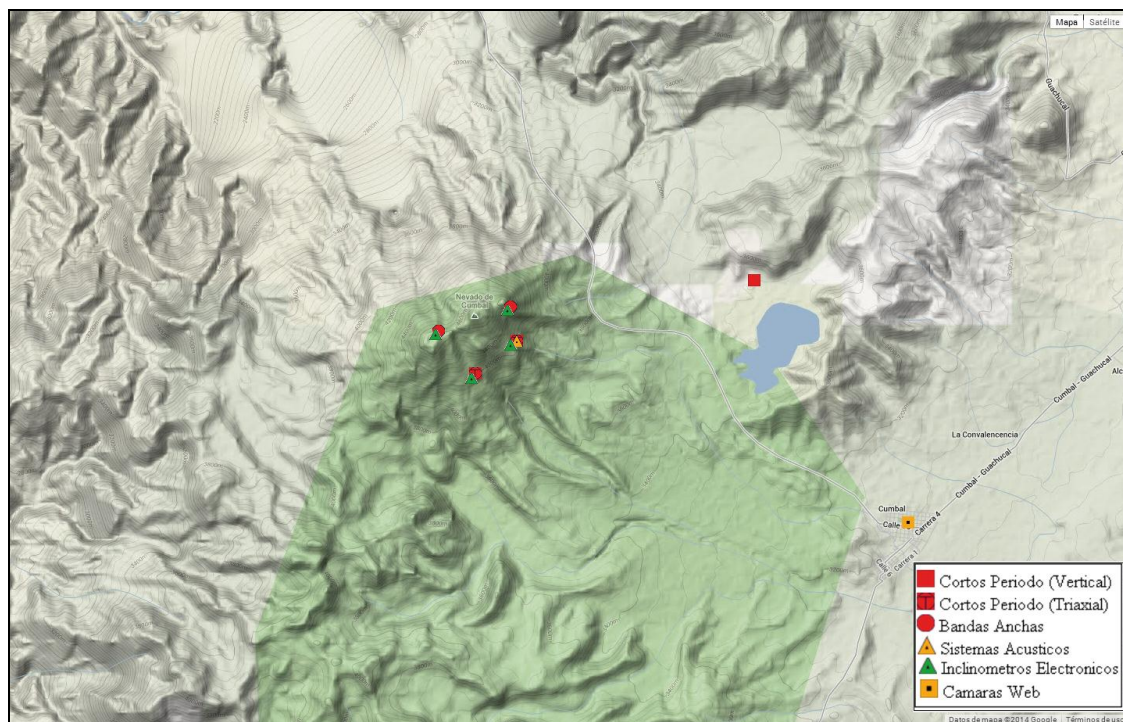
## 2. ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – ABRIL DE 2015

### 2.1. RED DE VIGILANCIA

En la Figura 46 se puede apreciar la disposición de la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal que consta de cuatro estaciones para monitorear su sismicidad (dos sensores de banda ancha y dos de corto periodo), cuatro estaciones para el seguimiento de la deformación cortical del edificio volcánico y un sensor de presión acústica. Adicionalmente, se tiene una cámara de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, instalada en el municipio de Cumbal.

En la Tabla 14, se consigna el nombre de cada estación con sus características. En la Figura 47 se muestra el porcentaje de funcionamiento de las estaciones.

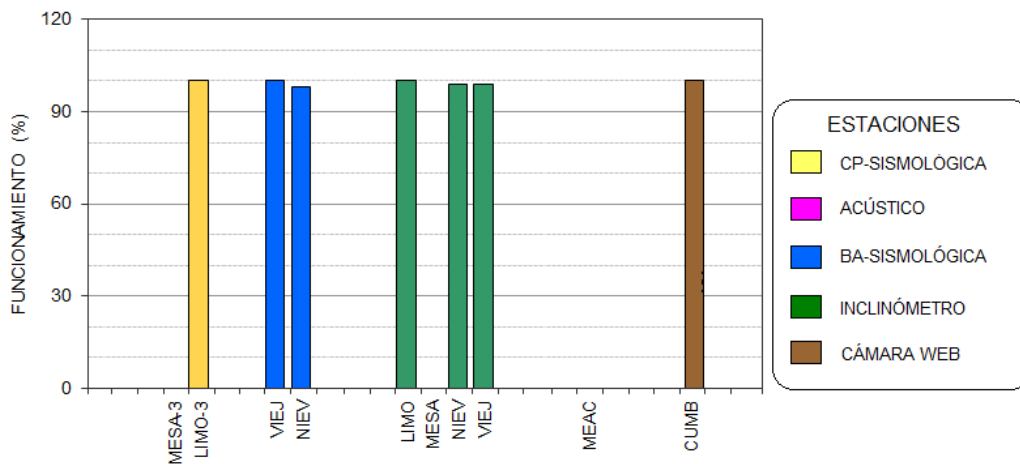
Las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Cumbal, durante el mes de abril de 2015, tuvieron un porcentaje de funcionamiento del 70% (Figura 47).



**Figura 46.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de vigilancia del complejo volcánico Cumbal, durante el mes de abril de 2015.

**Tabla 14.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico Cumbal durante el mes de abril 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           |
| Limones          | Digital              | Sismómetro Corto periodo   | Triaxial       | 1,5                                  | SE                                       | 4232           |
| Punta Vieja      | Digital              | Sismómetro Banda Ancha     | Triaxial       | 2.0                                  | NE                                       | 4519           |
| La Mesa          | Digital              | Sismómetro Corto periodo   | Vertical       | 2,5                                  | ESE                                      | 4270           |
| La Nieve         | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 0,2                                  | E  | 4696           |
| Limones          | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 1,5                                  | SE                                       | 4232           |
| Punta Vieja      | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 2.0                                  | NE                                       | 4519           |
| La Mesa          | Digital              | Inclinómetro Electrónico   | Biaxial        | 2,5                                  | ESE                                      | 4270           |
| La Mesa Acústico | Digital              | Sensor de Presión Acústica | Unidireccional | 2,5                                  | ESE                                      | 4270           |



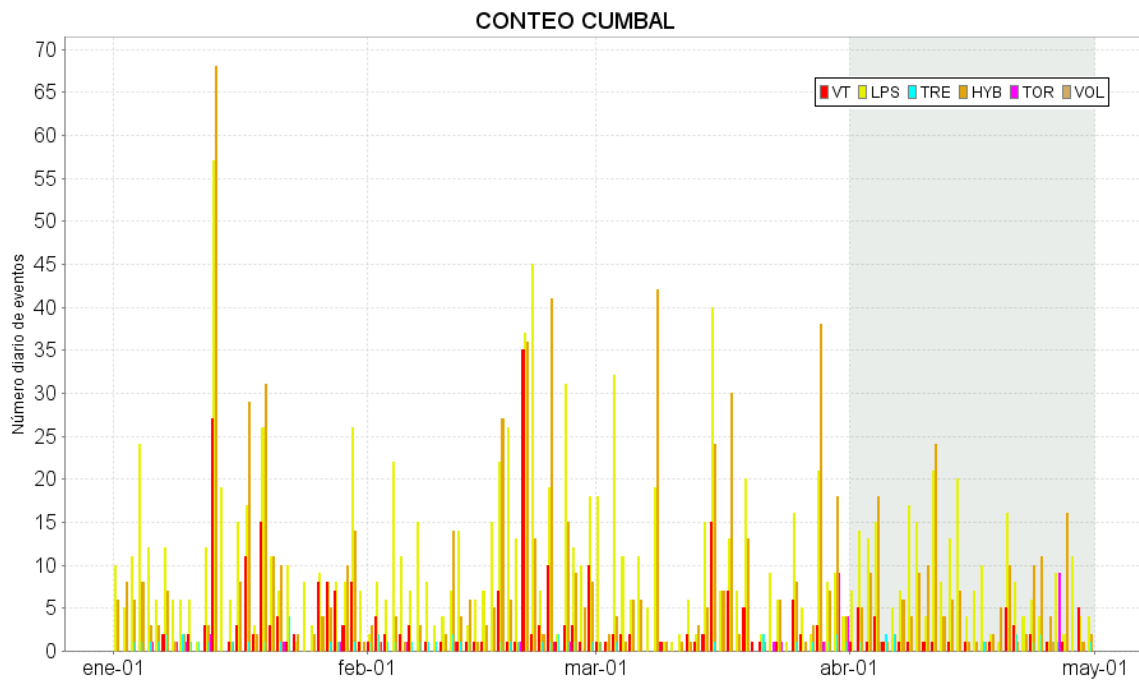
**Figura 47.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico Cumbal durante el mes de abril de 2015.

## 2.2. SISMOLOGÍA

En general en abril de 2015 se presentó un pequeño descenso del 22% en el número total de sismos volcánicos, pasando de 619 a 485 eventos (Tabla 15, Figura 48). El mayor descenso en ocurrencia se observó para los sismos tipo TOR con un 47%, seguido en disminución por los eventos asociados con fractura de roca (VT) con un 34.5% (Figura 49). Los eventos asociados con movimiento de fluidos al interior del volcán de fuente persistente mostraron un leve incremento en su número, de 11 a 13 sismos. Hubo predominio de la sismicidad asociada con movimiento de fluidos (LP) con un 52% del total de eventos sísmicos, seguido por un 35% de los eventos Híbridos y un 7% de los sismos asociados con fractura de roca (VT) Figura 50.

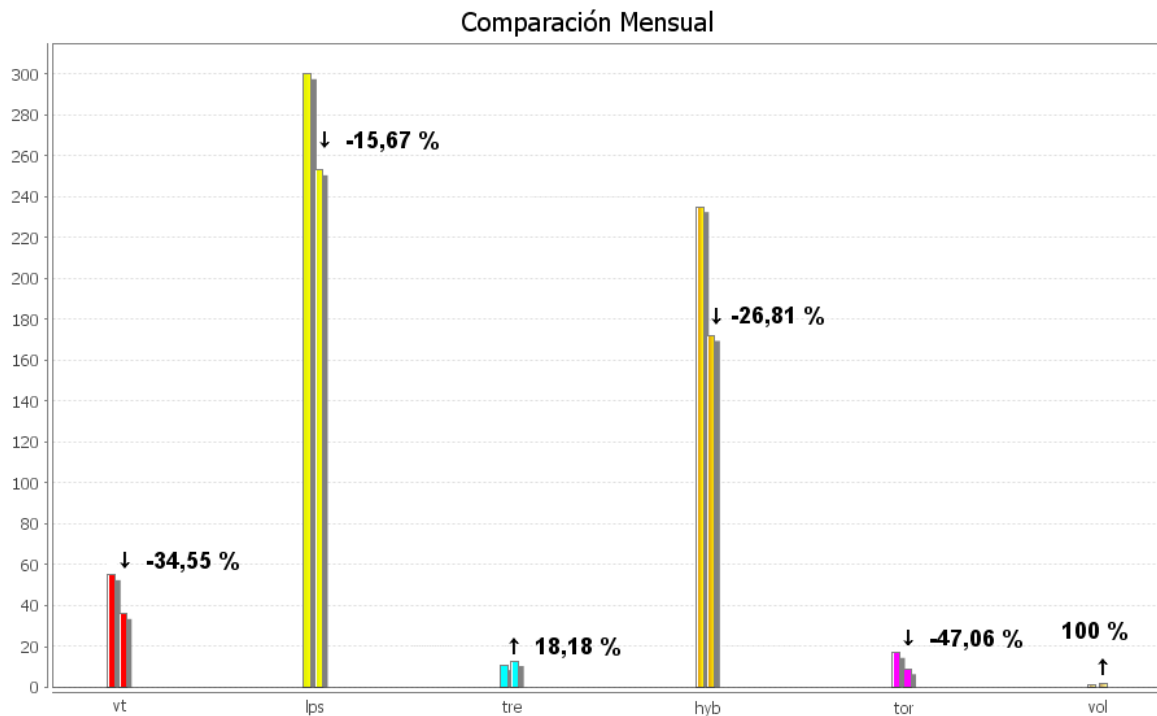
**Tabla 15.** Número de eventos volcánicos por tipo registrados entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

| Periodo Evaluado      | Número de eventos por tipo |     |     |     |     |     | TOTAL |
|-----------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
|                       | vt                         | lps | tre | hyb | tor | vol |       |
| 01-ene-15 a 31-ene-15 | 111                        | 360 | 22  | 246 | 7   | 1   | 747   |
| 01-feb-15 a 28-feb-15 | 95                         | 380 | 23  | 210 | 6   | 0   | 714   |
| 01-mar-15 a 31-mar-15 | 55                         | 300 | 11  | 235 | 17  | 1   | 619   |
| 01-abr-15 a 30-abr-15 | 36                         | 253 | 13  | 172 | 9   | 2   | 485   |

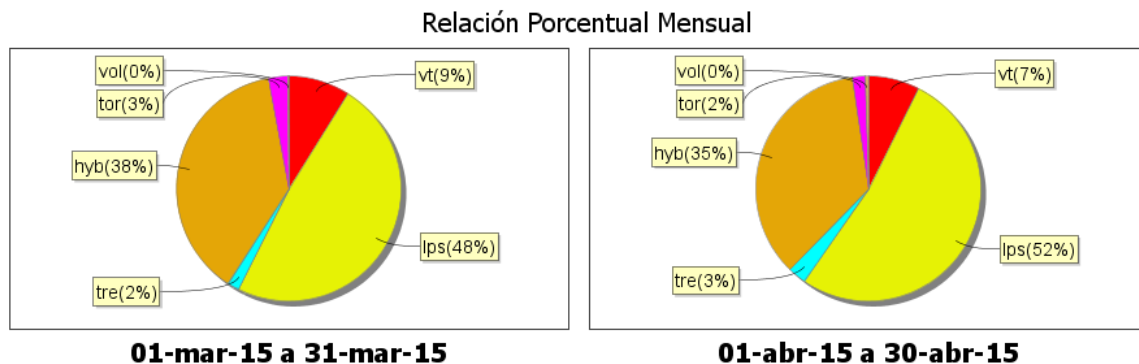


**Figura 48.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre enero y abril de 2015.



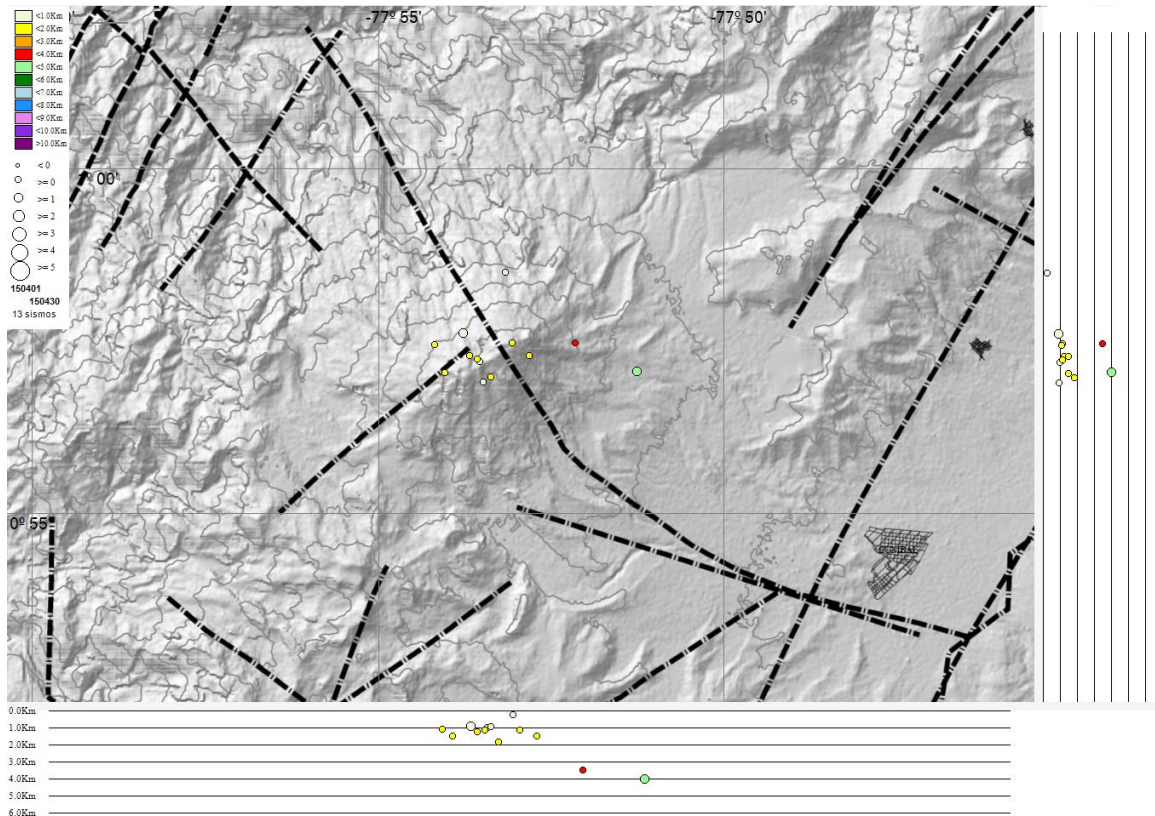


**Figura 49.** Comparación porcentual del número de eventos volcánicos por tipo ocurridos durante el mes de abril (barras de la derecha) respecto al mes de marzo (barras de la izquierda).



**Figura 50.** Porcentajes de ocurrencia sísmica mensual por tipo de evento en el volcán Cumbal para marzo y abril de 2015.

Fue posible localizar 13 sismos, de los cuales 5 fueron asociados con fractura de roca y 8 fueron eventos Híbridos. La gran mayoría de eventos se ubicó en inmediaciones de los dos conos activos del complejo volcánico de Cumbal, Mundo Nuevo al sur y Cumbal al norte, con profundidades entre 0.2 y 4 km. En general, la magnitud local estuvo entre 0.1 y 1.1 en la escala de Richter, cerca del 85% mostro magnitud menor a 1 (Figura 51). Ningún sismo se reportó sentido.

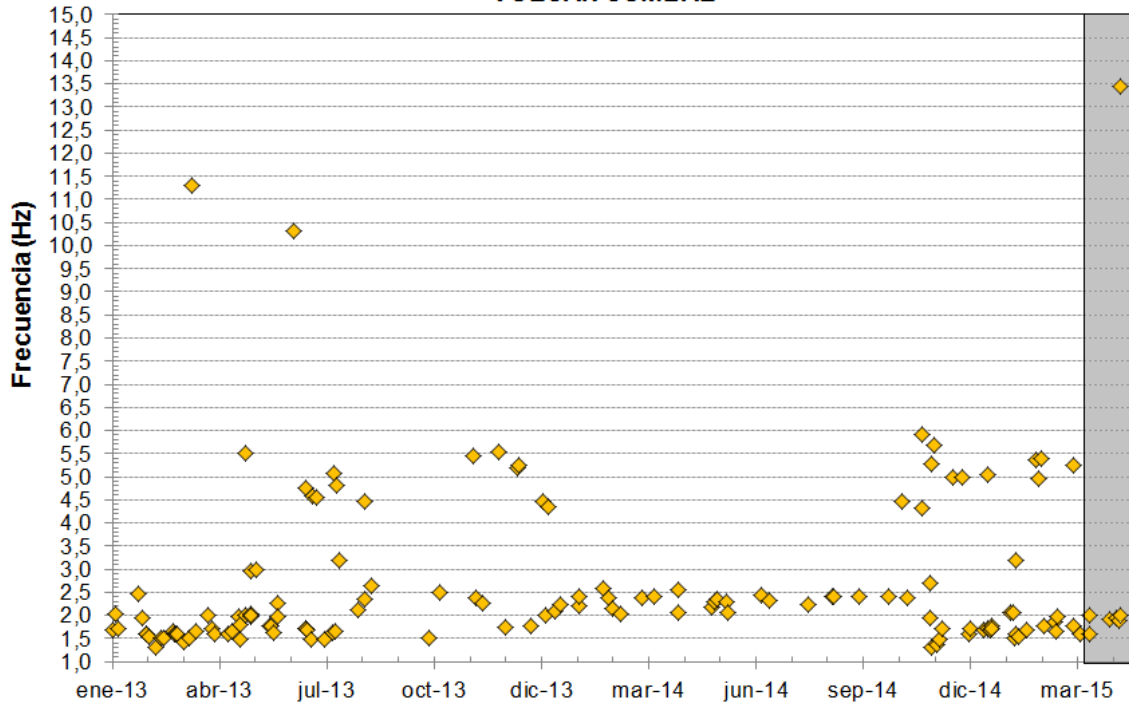


**Figura 51.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT e HYB registrados entre el 1 y el 30 de abril de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 1 km de profundidad respecto a la cima volcánica (4760 msnm).

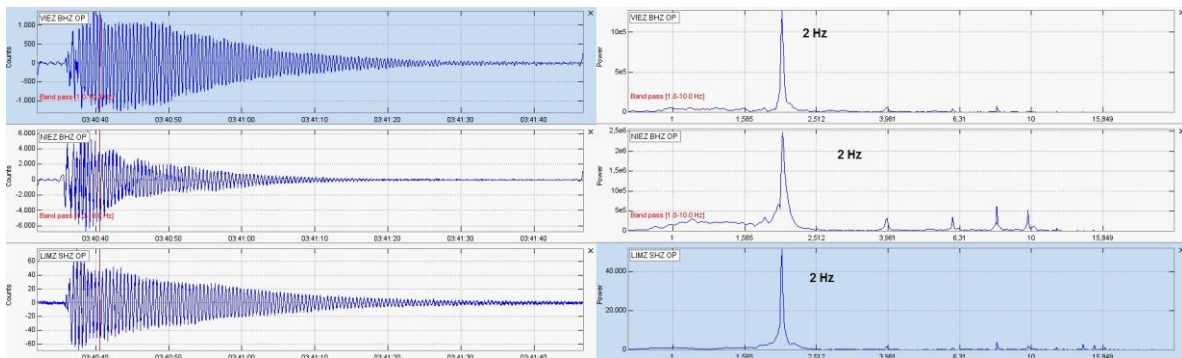
De la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de los eventos de Largo Periodo tipo Tornillo (TOR), los cuales presentaron frecuencias dominantes entre 1.59 y 13.45 Hz (Figura 52), y duraciones entre 52 y 159 segundos. En las Figuras 53 y 54 se presentan a manera de ejemplo, el registro de los eventos TOR ocurridos el 4 y el 5 de abril de 2015.

Se resalta que, hasta la fecha este tipo de eventos no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema volcánico.

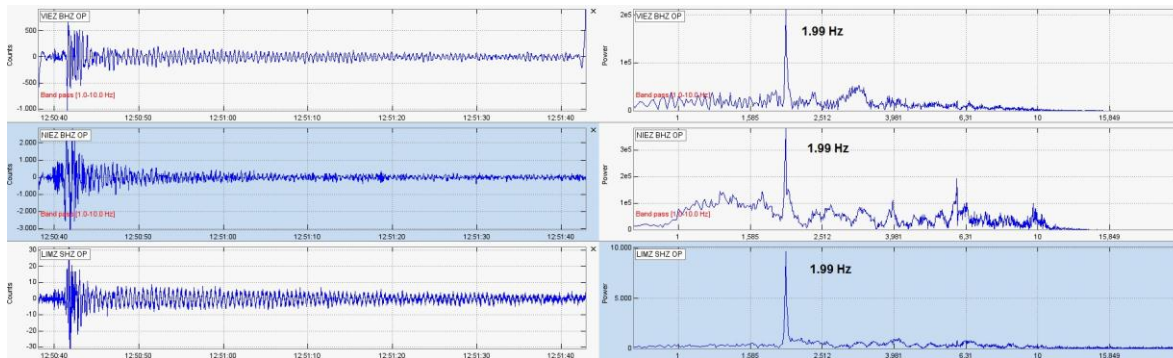
**Frecuencia Dominante Eventos Tipo Tornillo  
VOLCAN CUMBAL**



**Figura 52.** Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados por las estaciones sísmicas instaladas en el complejo volcánico de Cumbal, entre el 1 de enero de 2013 y el 30 de abril de 2015, resaltando los eventos registrados en el mes de abril de 2015 en el recuadro gris.



**Figura 53.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 4 de abril de 2015 a las 10:40 p.m., registrando 61 segundos de duración.

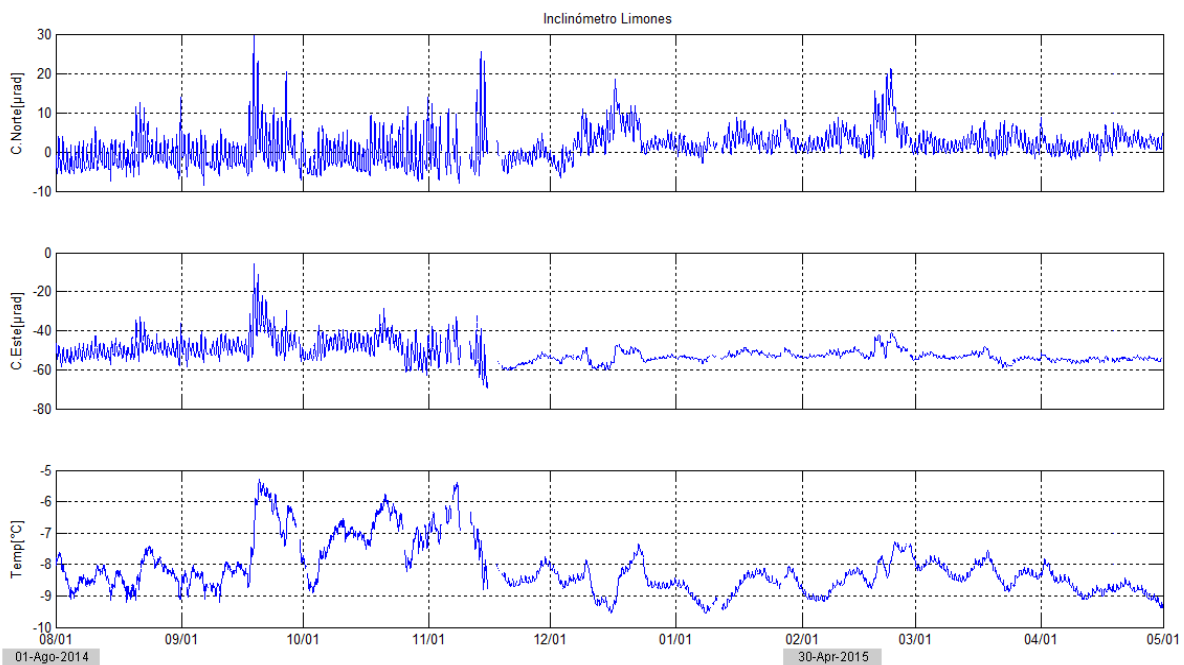


**Figura 54.** Sismogramas y espectros en frecuencia del sismo tipo TOR, ocurrido en Cumbal, el 5 de abril de 2015 a las 7:50 a.m., registrando 52 segundos de duración.

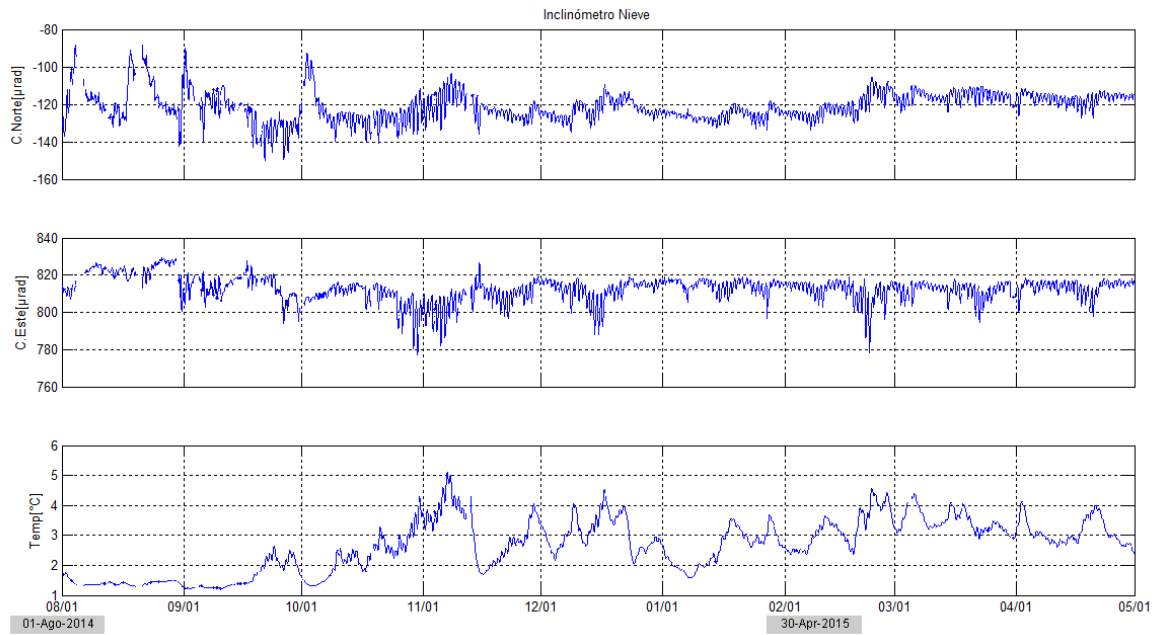
### 2.3. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

En cuanto a los procesos de deformación del edificio volcánico se observó estabilidad en las componentes de inclinación Norte y Este de los inclinómetros Limones y Nieve (Figuras 55 y 56).

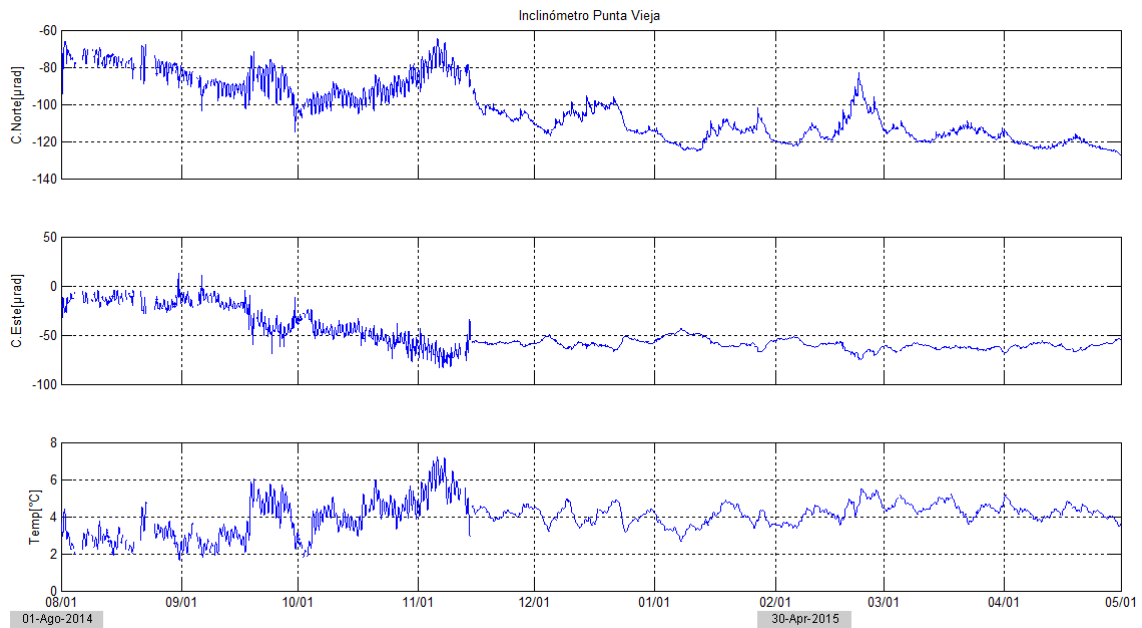
Se observa un comportamiento descendente en la componente de inclinación Norte del equipo Punta Vieja, comportamiento semejante al registrado por el sensor de temperatura, mientras que en su componente Este se presenta estabilidad (Figura 57).



**Figura 55.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 30 de abril de 2015.



**Figura 56.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 30 de abril de 2015.



**Figura 57.** Componentes de inclinación Norte, Este, temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de agosto de 2014 y el 30 de abril de 2015.

## 2.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Gracias a la cámara web instalada en la población de Cumbal y a condiciones de clima favorables durante los días 4, 6, 9, 13 y 14 de abril, fue posible observar emisiones de gases de color blanco, principalmente desde el campo fumarólico El Verde (sector norte, Volcán Cumbal) y desde el campo fumarólico Rastrojo (Volcán Mundo Nuevo), con alturas de columna y dispersión variables por acción de los vientos (Figuras 58 a 60).



**Figura 58.** Emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde, 4 de abril de 2015, 7:24 de la mañana.



**Figura 59.** Emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde, 13 de abril de 2015, 6:09 p.m.



Figura 60. Emisión de gases desde el campo fumarólico El Verde, 14 de abril de 2015, 6:19 p.m.

## 2.5. CONCLUSIONES

- La actividad que viene mostrando Cumbal se caracteriza por fluctuaciones en los niveles de ocurrencia y energía de la sismicidad, y registro eventual de enjambres asociados con procesos predominantemente hidrotermales.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de abril de 2015 permitió, que la actividad del complejo volcánico Cumbal permaneciera en **NIVEL AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

### 3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO ABRIL 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 61).

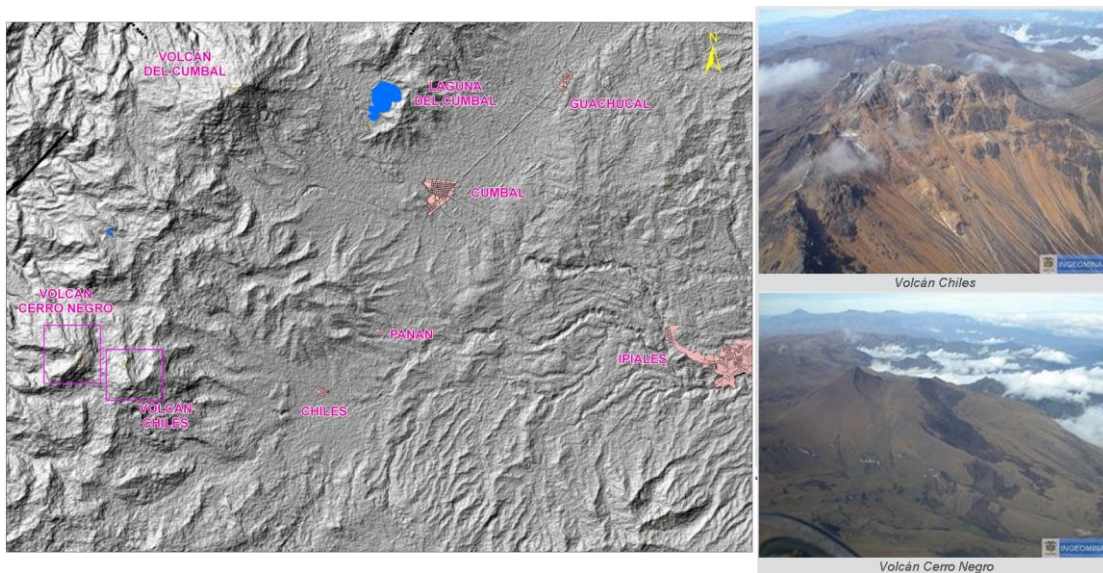


Figura 61. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

#### 3.2. RED DE VIGILANCIA

Se resalta que el 15 de abril, se adiciono a la red de monitoreo, una estación sísmica de banda ancha (conocida como Termales), ubicada muy próxima a la estación térmica, en el sector de Baño Grande, así la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por siete estaciones sísmicas de banda ancha y tres inclinómetros electrónicos (Figura 62, Tabla 16). Una estación permanente telemétrica para el seguimiento de la temperatura en la fuente termal Baño Grande, ubicada en cercanías del cabildo Indígena de Chiles (Figura 62) y una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 63, Tabla 17).

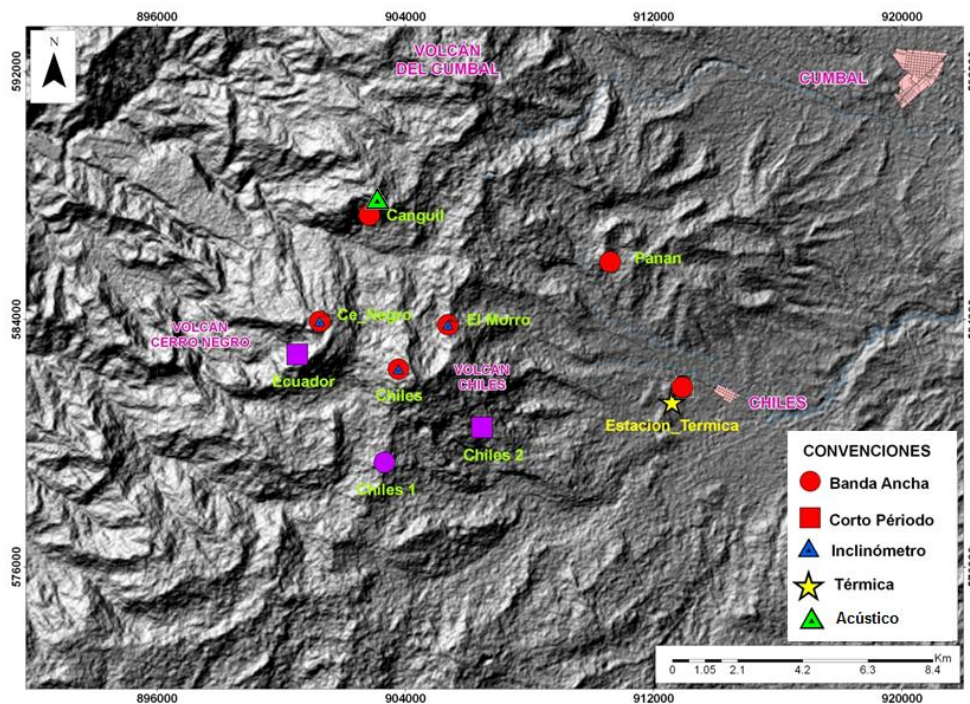
De igual forma se cuenta con un sensor de presión acústica, ubicado en cercanías de la estación sísmica Canguil y una cámara Web instalada en la población de Nazate.



Se resalta que el día domingo 21 de diciembre de 2014 hacia las 8:25 a.m., el sensor sísmico de la estación El Morro registró señales asociadas con pisadas en el sitio de la estación, posteriormente hacia las 8:36 a.m. en sede no se recibe la señal sísmica, únicamente la señal portadora del radio, finalmente a las 8:49 a.m. se pierde totalmente la señal de la estación.

El daño causado a la repetidora instalada en esta estación también impide la transmisión de datos desde otras estaciones como son: Panán (sismómetro) y Canguil (sismómetro y acústico), que si bien se ubican en otros sectores del volcán, repiten sus señales en la estación El Morro.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvieron un funcionamiento promedio del 45% (Figura 64).



**Figura 62.** Estaciones sísmicas y de deformación cortical para los volcanes Chiles y Cerro Negro del lado Colombiano.






**Tabla 16.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de abril de 2015.




| 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           |

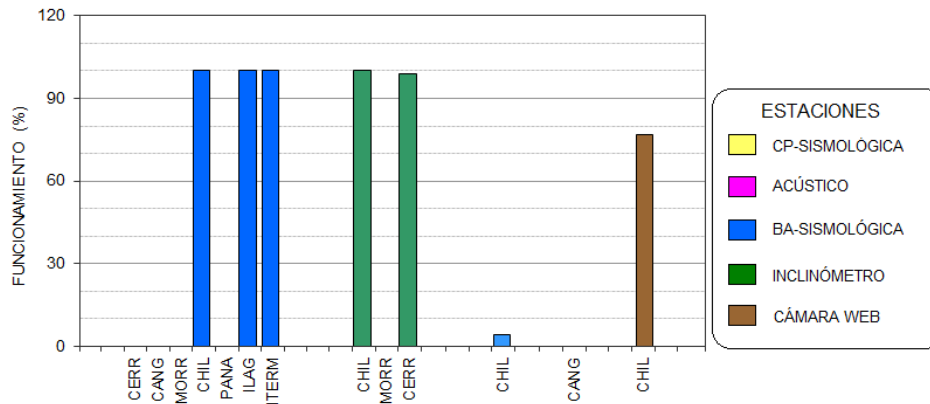


**Figura 63.** Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia de los Volcanes Chiles y Cerro Negro.

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

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

| FUENTE TERMAL         | IMAGEN  | LATITUD       | LONGITUD       | ALTURA (msnm) |
|-----------------------|---|---------------|----------------|---------------|
| (F)<br>BALNEARIO      |  | 0° 48' 11,8"  | 77° 51' 41,4"  | 3269          |
| (G)<br>LA CALERA      |  | 0° 48' 17,4"N | 77° 51' 44,8"W | 3284          |
| (H)<br>EL INFIERNILLO |  | 0° 48' 19,6"N | 77° 51' 43,2"W | 3284          |



**Figura 64.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro durante el mes de abril de 2015.

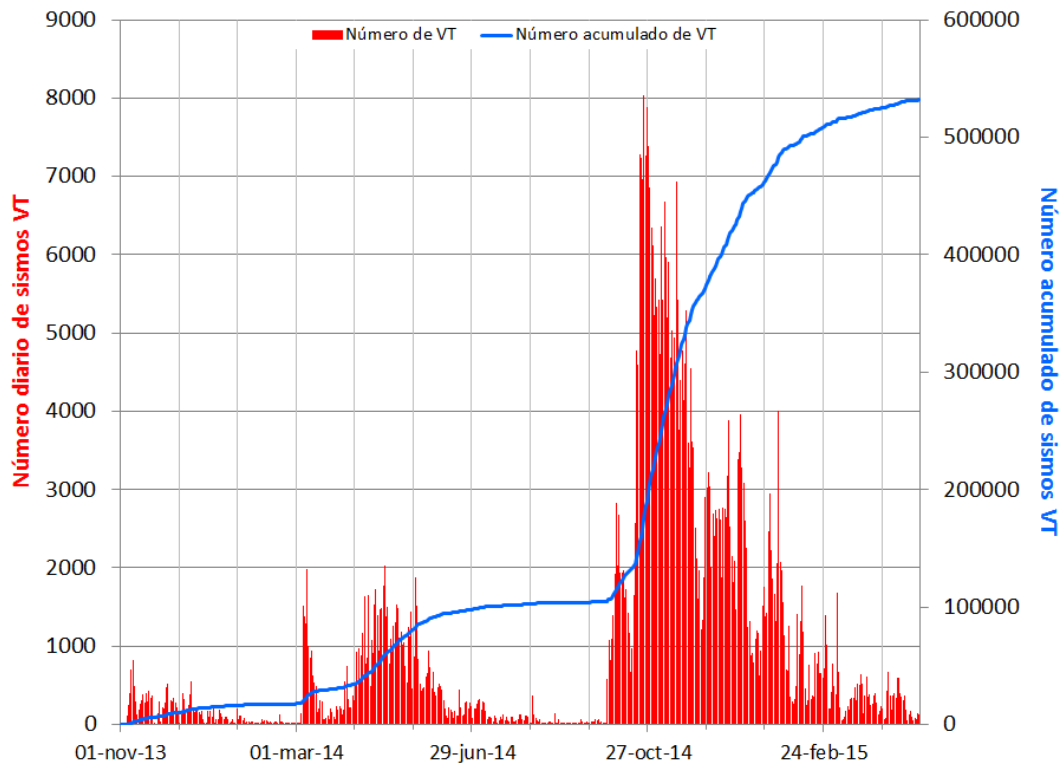
### 3.3. SISMOLOGÍA

Tomando en cuenta el periodo completo desde que se inició la vigilancia instrumental de la actividad volcánica en la zona de influencia de Chiles y Cerro Negro con la instalación permanente de instrumentación especializada en noviembre 5 de 2013, hasta el 30 de abril de 2015, se han registrado en total 531.772 sismos, la gran mayoría presentados en el periodo de mayor sismicidad, que va desde septiembre 29 de 2014 hasta abril 30 de 2015 con 427.261 sismos, en los últimos meses se nota la clara tendencia descendente con algunas fluctuaciones en la ocurrencia sísmica diaria (Figura 65).

La sismicidad en el mes de abril de 2015 disminuyó cerca del 39% del número registrado en marzo, pasando de 12584 a 7692 sismos, todos ellos asociados con fractura de roca (VT) (Tabla 18, Figura 66).

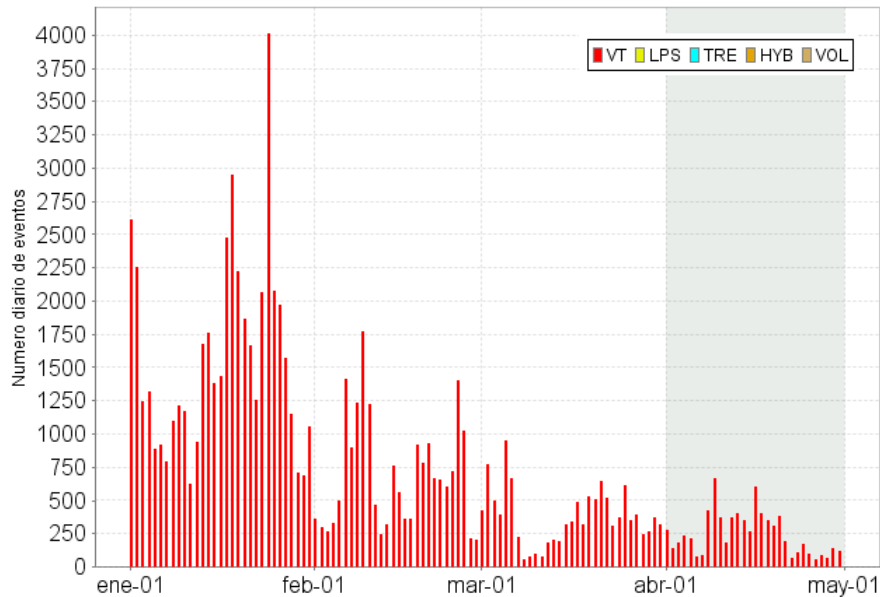
**Tabla 18.** Número de eventos volcánicos por tipo para el complejo volcánico de Chiles – Cerro Negro registrados en enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

| Periodo Evaluado      | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|-----------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                       | vt                         | lps | tre | hyb | TOTAL |
| 01-ene-15 a 31-ene-15 | 49079                      | 0   | 0   | 0   | 49079 |
| 01-feb-15 a 28-feb-15 | 19215                      | 0   | 0   | 0   | 19215 |
| 01-mar-15 a 31-mar-15 | 12584                      | 0   | 0   | 0   | 12584 |
| 01-abr-15 a 30-abr-15 | 7692                       | 0   | 0   | 0   | 7692  |



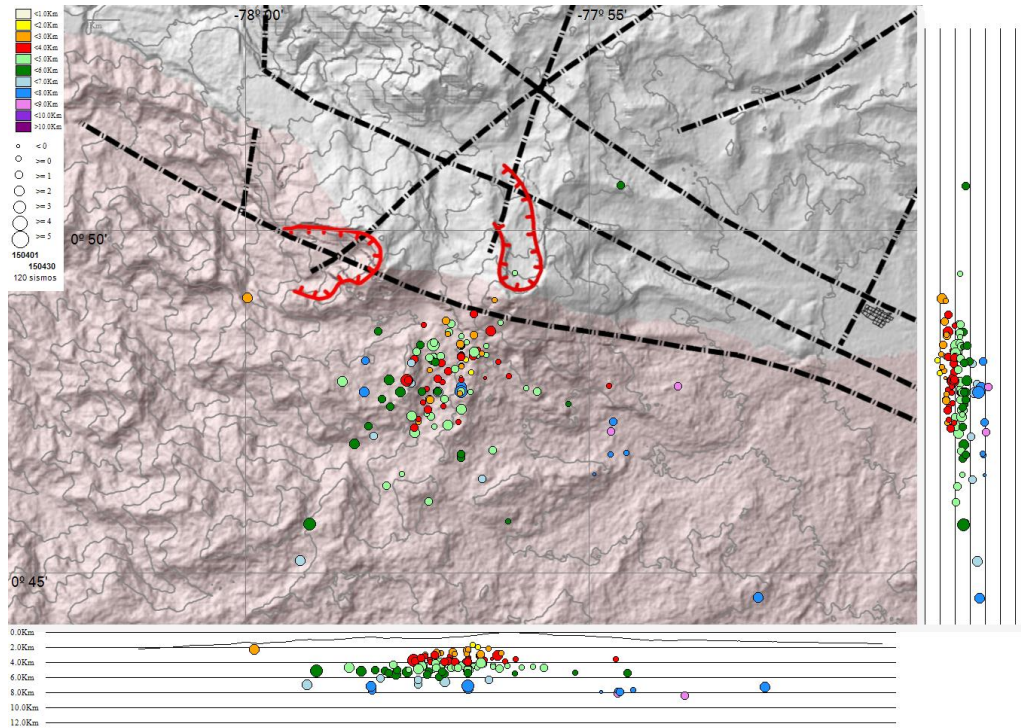
**Figura 65.** Número diario y acumulado de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre noviembre 1 de 2013 y abril 30 de 2015.

**CONTEO**

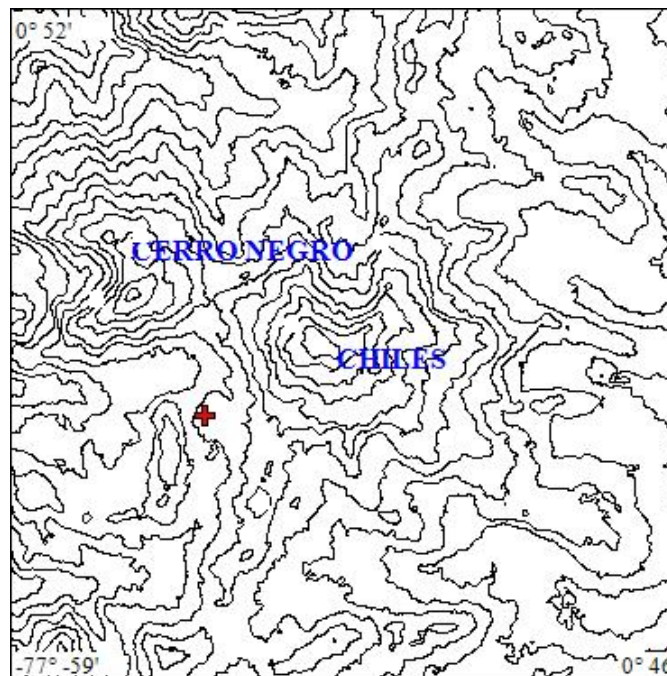


**Figura 66.** Número diario de sismos VT, ocurridos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro entre los meses de enero y abril de 2015.

En abril fue posible obtener una solución de localización para 120 sismos VT, la gran mayoría ubicados en distancias entre 0.5 y 6 km al suroccidente del volcán Chiles (Figura 67). Las profundidades de los sismos oscilaron entre 1.6 y 8.5 km, 101 eventos entre 2 y 5 km. En general, la magnitud local de los sismos localizados de Chiles – Cerro Negro fluctuó entre -0.5 y 3.6 en la escala de Richter, haciendo una selección por magnitud local se tiene que 45 sismos (37.5%) mostró magnitud local menor de 1 grado, 53 sismos (44.2%) mostró magnitud local mayor de 1 y menor de 2 grados y 34 sismos (18.3%) mostraron magnitud local entre 2 y 3.6 en la escala de Richter. De esta sismicidad se resalta el evento ocurrido el 10 de abril, a las 10:15 a.m., el cual presentó una magnitud local de 3.2 y una profundidad de 4.29 km, reportado como sentido por habitantes del resguardo Indígena de Chiles (Figura 68).

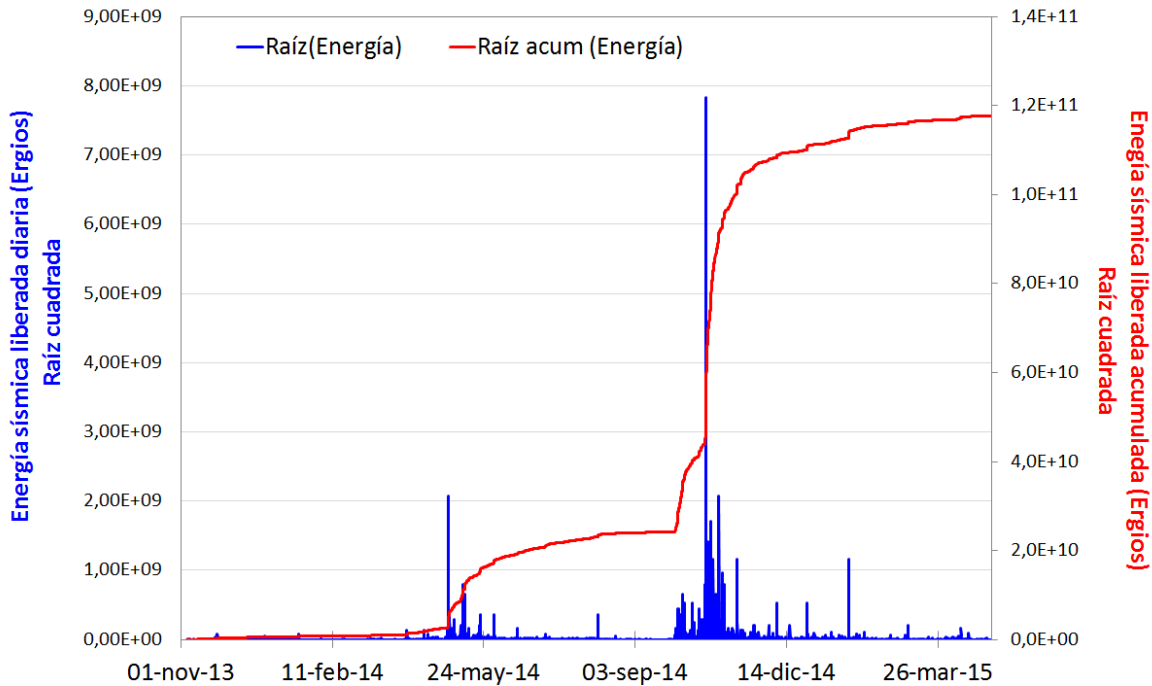


**Figura 67.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos de fractura (VT) registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en abril de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad.



**Figura 68.** Localización epicentral (cruz de color rojo) del sismo de fractura (VT) ocurrido el 10 de abril en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro y fue reportado como sentido.

La energía liberada se ha estimado con base en la magnitud de los sismos, con lo cual, teniendo en cuenta el periodo desde el inicio de la vigilancia instrumental de la actividad en noviembre 5 de 2013 y el 30 de abril de 2015 se tiene un valor total de energía liberada de  $1,048 \times 10^{20}$  ergios, para el periodo entre el 29 de septiembre de 2014 y el 30 de abril de 2015 se tiene un valor de energía de  $9,785 \times 10^{19}$  ergios y para el mes de abril de 2015 se tiene una energía total liberada de  $4,883 \times 10^{16}$  ergios (Figura 69).

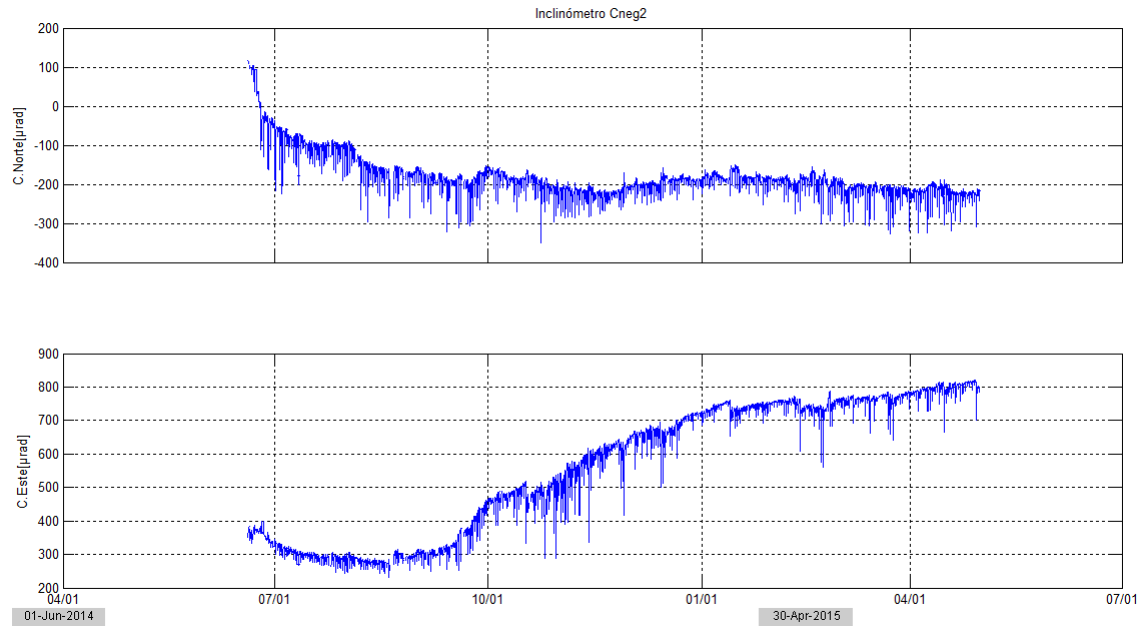


**Figura 69.** Energía diaria y energía acumulada, calculada a partir de la magnitud de los sismos VT ocurridos en Chile – Cerro Negro entre el 1 de noviembre de 2013 y el 30 de abril de 2015. La energía diaria se expresa en términos de su raíz cuadrada, al igual que la energía acumulada.

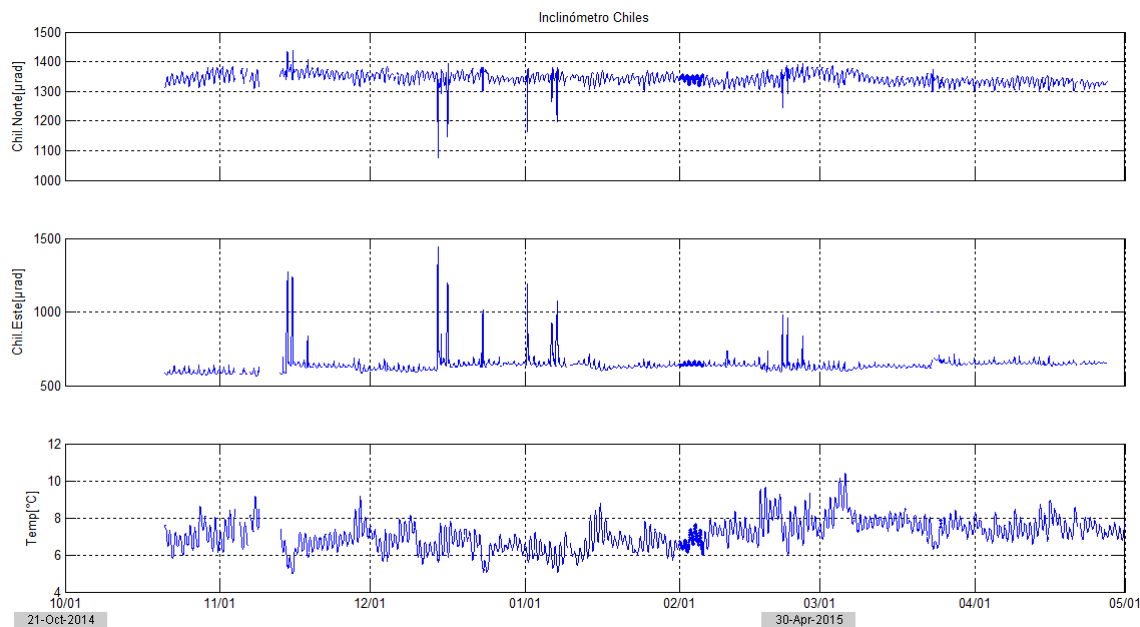
### 3.4. DEFORMACIÓN VOLCÁNICA

Las tendencias se reportan para el periodo posterior al cambio brusco presentado en los sensores de medición de la deformación en superficie del edificio volcánico (octubre 20 de 2014, sismo Mw 5,6). El inclinómetro Cerro Negro muestra en sus registros anomalías en relación a su funcionamiento, por lo cual no se tiene en cuenta para documentar su comportamiento o variaciones y hasta el momento no se ha podido corroborar su estado en campo. El inclinómetro Cneg2 paralelo al inclinómetro Cerro Negro (sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro), siguió mostrando el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Este, acumulando cerca de  $544 \mu\text{rad}$  desde el 20 de agosto de 2014; por su parte la componente Norte muestra estabilidad en su registro (Figura 70).

Para el inclinómetro de Chiles se observa estabilidad en sus registros, tanto en la componente de inclinación Norte, como en la Este (Figura 71).



**Figura 70.** Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro paralelo Cneg2, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.



**Figura 71.** Componentes de inclinación Norte y Este, y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 21 de octubre de 2014 y el 30 de abril de 2015.



### 3.5. GEOQUÍMICA

#### 3.5.1. Muestreo de aguas en fuentes termales - Volcán Chiles

El volcán Chiles cuenta con una red actual de monitoreo de 8 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Baño Grande (A), FT Aguas Hediondas (B), FT Lagunas Verdes (C), FT Río Blanco (D), FT el Hondón (E), FT Balneario (F), FT La Calera (G), FT El Infiernillo (H), (Figura 63, Tabla 17). Los parámetros fisicoquímicos y muestras para análisis permitirán su caracterización y comprensión desde el punto de vista geoquímico para este complejo volcánico.

En la Figura 72 se muestra el valor del potencial de hidrógeno (pH) correspondiente al mes de abril de 2015 para las fuentes termales ubicadas en la zona de influencia del volcán Chiles. Los colores en las gráfica indican el estado de acidez o basicidad del manantial (grado de concentración de iones de hidrógeno en solución), indicando de esta manera una escala de 0 a 14 para el pH.

Las fuentes termales asociadas al volcán Chiles muestreadas durante el mes de abril fueron Lagunas Verdes, Aguas Hediondas, Balneario, La Calera, El Infiernillo, Baño Grande y Río Blanco, presentando potenciales de Hidrógeno (pH), entre 1,3 (ácido) y 6,8 (neutro); fue posible realizar dos mediciones en la fuente termal denominada Baño Grande durante el mes, los días 14 y 29 de abril. En la Figura 73 se presenta la gráfica para el comportamiento del parámetro pH en los diferentes muestreos realizados a través del tiempo de monitoreo de las termales, y se puede decir que en las últimas mediciones realizadas no se tienen variaciones significativas que puedan estar relacionados a cambios en la actividad del volcán.

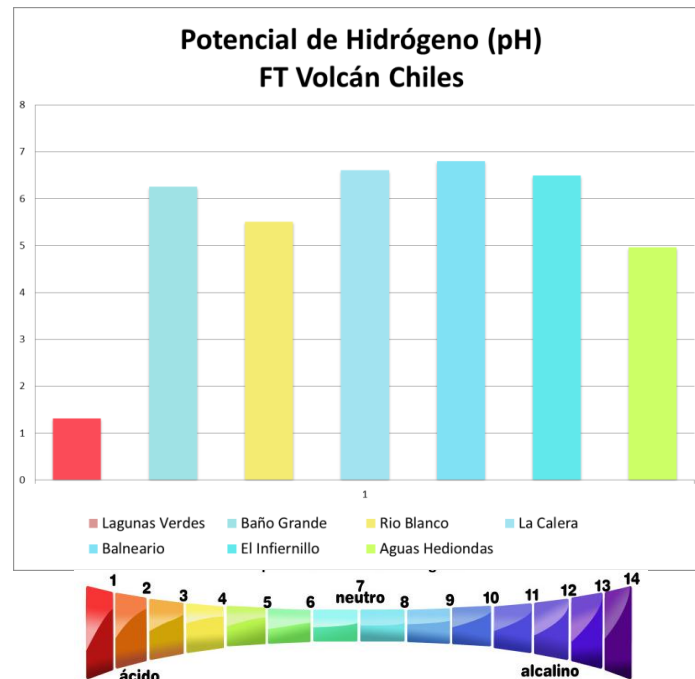


Figura 72. Potencial de hidrógeno de las FT Volcán Chiles - mes de abril 2015.

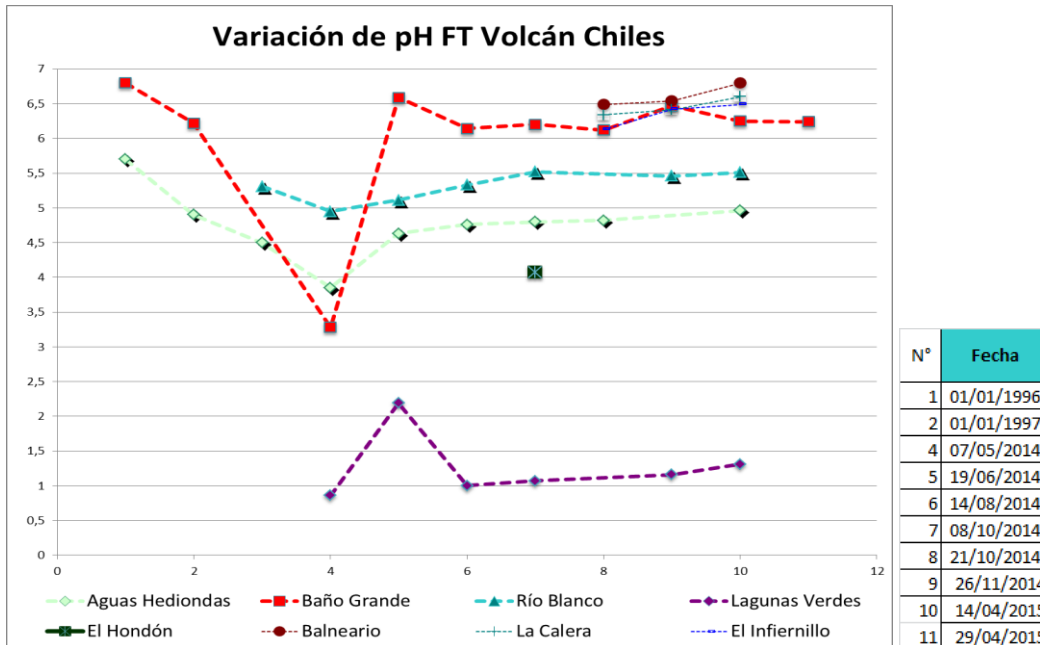


Figura 73. Comportamiento del pH de las FT Volcán Chiles hasta abril de 2015.

En la Tabla 19 se presenta la clasificación de las aguas termales de acuerdo a la temperatura que estas presentan, mientras que en la Tabla 20 se registran las temperaturas medidas en cada una de las termales durante el muestreo realizado en campo en el mes de abril y su clasificación de acuerdo a la temperatura.

Tabla 19. Clasificación de aguas termales según la temperatura.

| TEMPERATURA | CLASIFICACIÓN       |
|-------------|---------------------|
| 20-35°C     | Aguas hipotermales  |
| 35-45°C     | Aguas mesotermales  |
| 45-100°C    | Aguas hipertermales |
| 100-150°C   | Aguas supertermales |

Tabla 20. Temperatura fuentes termales Volcán Chiles – mes de abril de 2015.

| Fecha       | Fuente Termal   | Temperatura (°C) | Clasificación |
|-------------|-----------------|------------------|---------------|
| 14/04/2015  | Baño Grande     | 40,3             | Mesotermal    |
| 14/04/2015  | Balneario       | 38,9             | Mesotermal    |
| 14/04/2015  | La Calera       | 37,6             | Mesotermal    |
| 14/04/2015  | El Infiernillo  | 39,3             | Mesotermal    |
| 15/04/2015  | Río Blanco      | 17,6             | --            |
| 16/04/2015  | Aguas Hediondas | 55,8             | Hipertermal   |
| 16/04/20105 | Lagunas Verdes  | 8,2              | --            |

Por lo anterior los manantiales se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- **Fuente termal Baño Grande (Figura 74)**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra para el mes de abril entre los 35 y 45°C, por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1,6mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

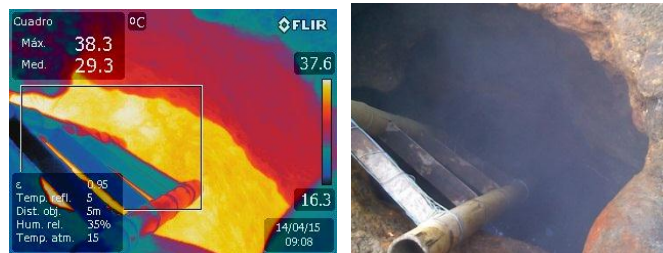


Figura 74. Imagen térmica FT Baño Grande abril 2015.

- **Fuente termal Balneario (Figura 75)**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1,58mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.



Figura 75. Imagen térmica FT Balneario abril 2015.

- **Fuente termal La Calera (Figura 76)**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1,54mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

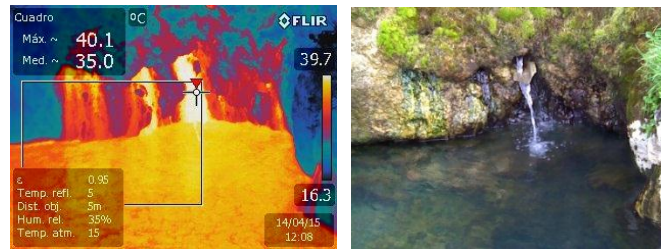


Figura 76. Imagen térmica FT La Calera abril 2015.

- Fuente termal El Infiernillo (Figura 77)

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1,63mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

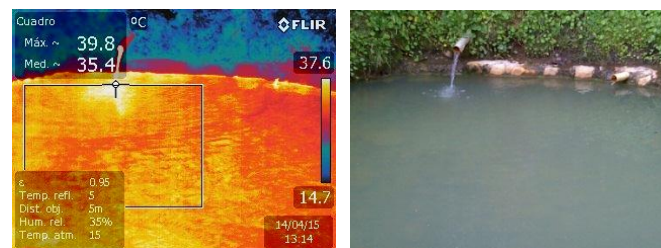


Figura 77. Imagen térmica FT El Infiernillo abril 2015.

- Fuente termal Rio Blanco (Figura 78)

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal es menor a los 20°C. Presenta una conductividad eléctrica de 1,54mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

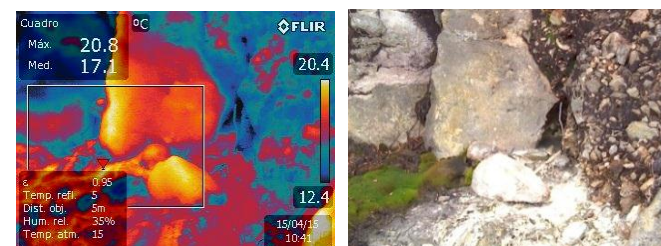


Figura 78. Imagen térmica FT Rio Blanco abril 2015.

- **Fuente termal Aguas Hediondas (Figura79)**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal se encuentra en el rango entre 45°C y 100°C, por lo que se puede considerar como una agua hipertermal. Presenta una conductividad eléctrica de 1,83mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

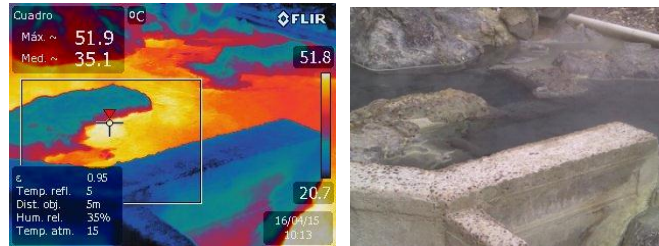


Figura 79. Imagen térmica FT Aguas Hediondas abril 2015.

- **Fuente termal Lagunas Verdes (Figura 80)**

Tipo de surgencia: manantial termal.

Área termal: La temperatura de la manifestación termal es menor a los 20°C. Presenta una conductividad eléctrica de 27,59mS/cm (25°C), que refleja la presencia de abundantes sales solubles en el medio.

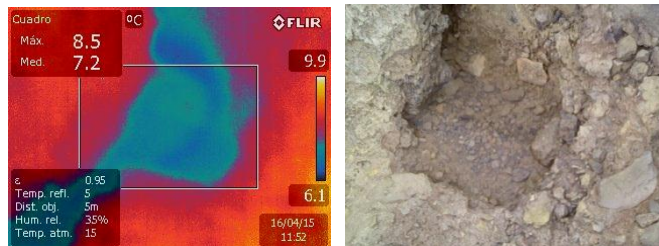


Figura 80. Imagen térmica FT Lagunas Verdes abril 2015.

A continuación se presentan los gráficos sobre la variación de datos fisicoquímicos registrados a partir de datos históricos y aquellos registrados en la última visita de campo, se debe tener en cuenta que durante este mes no fue posible realizar el muestreo de la FT El Hondón; y se tomaron dos mediciones en la FT Baño Grande, gracias a una visita de campo para realizar la re-instalación de la termocupla ubicada en este punto (Figuras 81, 82 y 83).

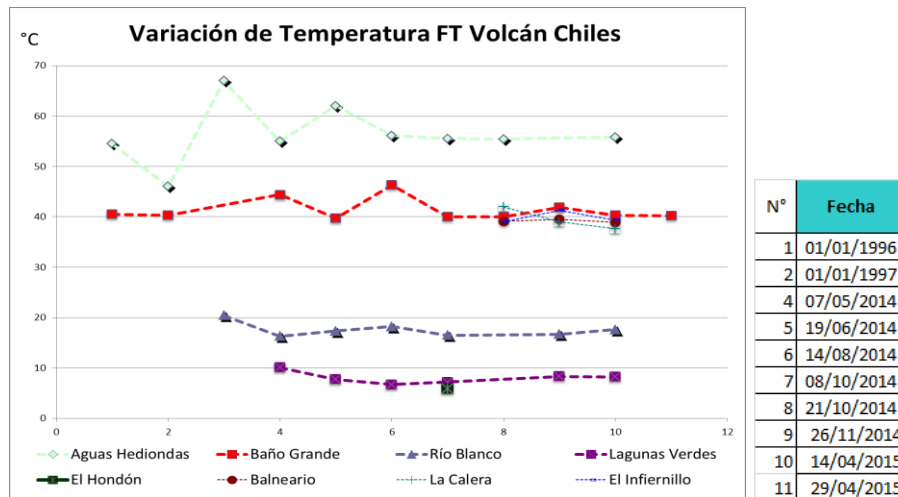


Figura 81. Comportamiento de la temperatura de las FT Volcán Chiles hasta abril de 2015.

En la Figura 81 se puede observar que la variación de la temperatura de las FT pertenecientes a la zona de influencia del volcán Chiles, parecen presentar estabilidad a partir del mes de julio del año 2014, y no se registran cambios significativos en el comportamiento de esta variable.

En la Figura 82, se encuentra la gráfica sobre la variación de la conductividad eléctrica en las aguas de las fuentes termales asociadas al volcán Chiles, se observa una estabilidad en la mayoría de las fuentes, además, que en la fuente termal Lagunas Verdes se presenta un proceso de descenso del valor de la conductividad eléctrica, luego de presentar un pico asociado con el cambio de la actividad del volcán durante el año 2014.

La concentración del ion bicarbonato, determinado en campo mediante valoración con ácido clorhídrico frente a indicador azul de bromofenol, presenta pequeñas variaciones en las fuentes termales visitadas, en Lagunas Verdes no se registra evidencia de la presencia del ion (Figura 83).

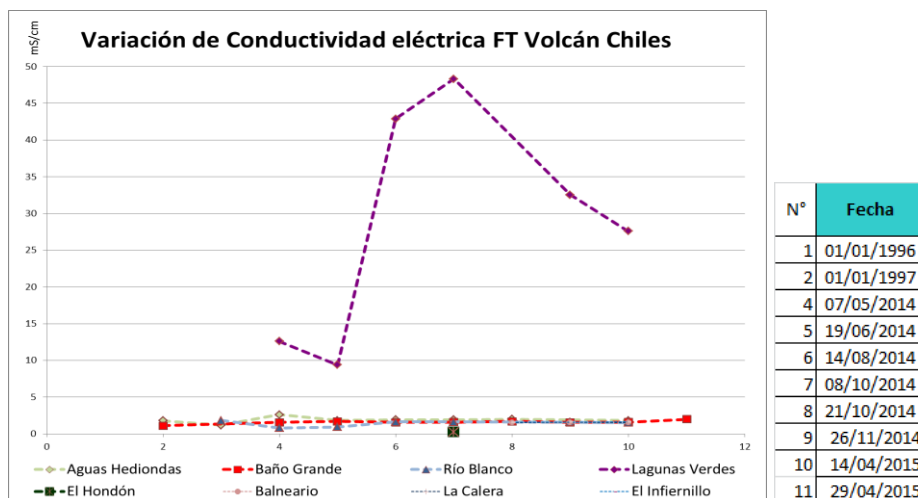


Figura 82. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de las FT Volcán Chiles hasta abril de 2015.

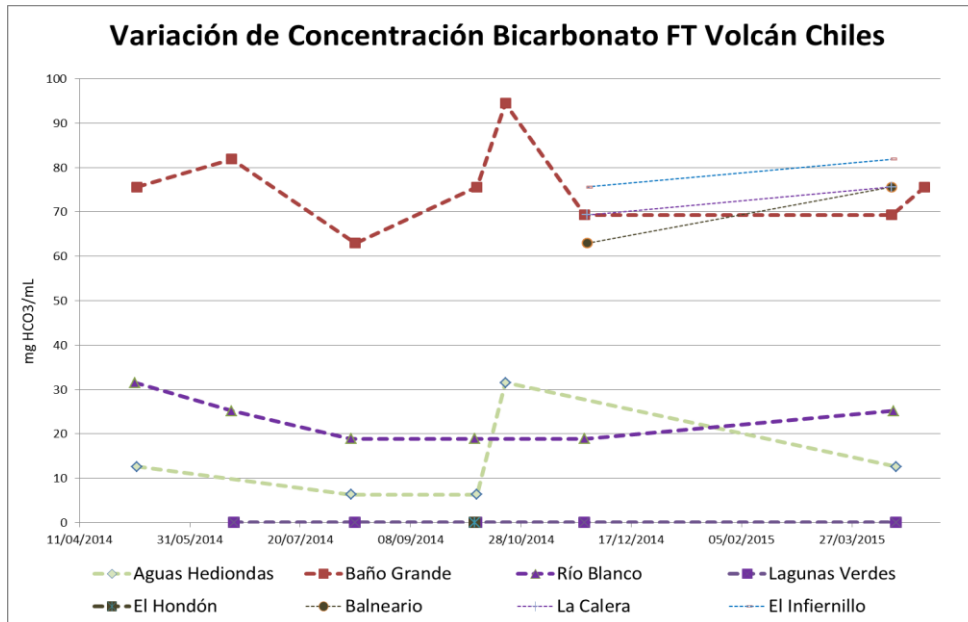


Figura 83. Comportamiento del contenido de Bicarbonato de las FT Volcán Chiles hasta abril de 2015.

### 3.5.2. Registro de temperatura – Estación Térmica Chiles

Los datos sobre la variación de temperatura en la FT Baño Grande del volcán Chiles, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada en el sitio de la fuente termal donde se realizan los muestreos periódicos (Figura 63, Tabla 17), estos se registran diariamente con una tasa de medida de 10 minutos; a partir del día 19 de marzo de 2015 se decide retirar el sensor de temperatura para evaluar junto al grupo de electrónica las interferencias y variaciones que presenta el sistema y realizar la adecuación de señal en el sistema, se realiza la reinstalación del sensor el día 29 de abril.

En la Figura 84 se encuentra la gráfica de la variación de temperatura con respecto al tiempo registrado por la estación térmica en la FT Baño Grande desde el mes de enero de 2015 hasta el 30 de abril del 2015. Las variaciones en la gráfica corresponden a valores registrados en el transcurso del día, por la operación diaria de la piscina (desde las 9:30 a.m. a las 5:30 p.m. aproximadamente), se observa que luego del trabajo realizado por el área de electrónica, las variaciones en la temperatura son hasta de 1,5°C, y son concordantes con lo observado en las visitas de campo. El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación para detectar cambios que puedan estar relacionados con la actividad del volcán.

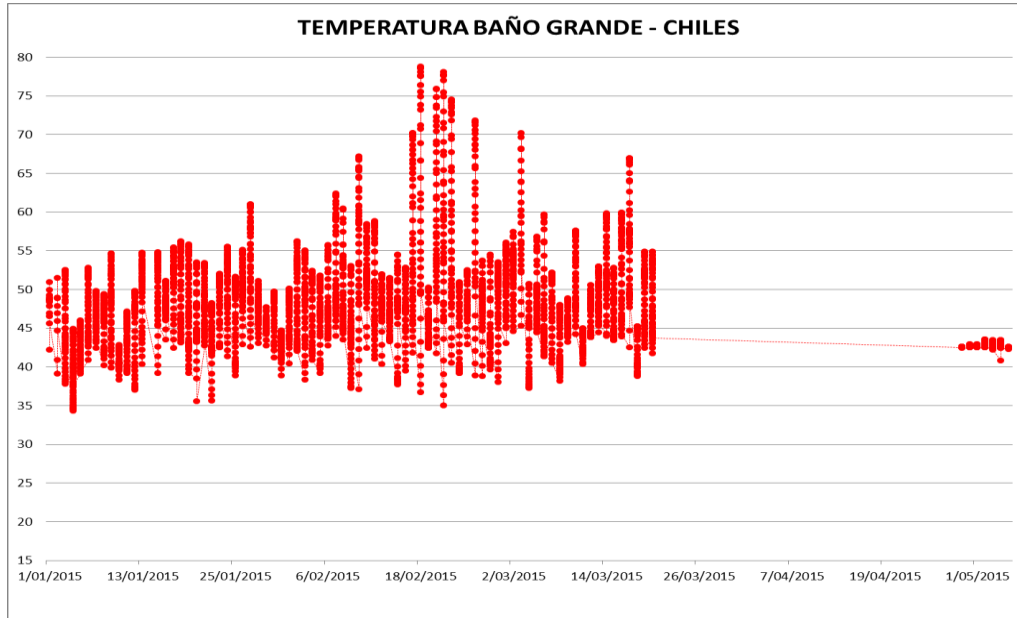


Figura 84. Variación de temperatura FT Baño Grande perteneciente a la zona de influencia del Volcán Chiles - año 2015.

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de abril de 2015 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro. En las Figuras 85 y 86 se muestran dos fotografías del costado oriental del volcán, registradas por la cámara web ubicada en la población de Nazate.



Figura 85. Imagen de Volcán Chiles, 14 de abril de 2015, 6:38 p.m.





Figura 86. Imagen de Volcán Chiles, 15 de abril de 2015, 1:11 p.m.

### 3.7. CONCLUSIONES

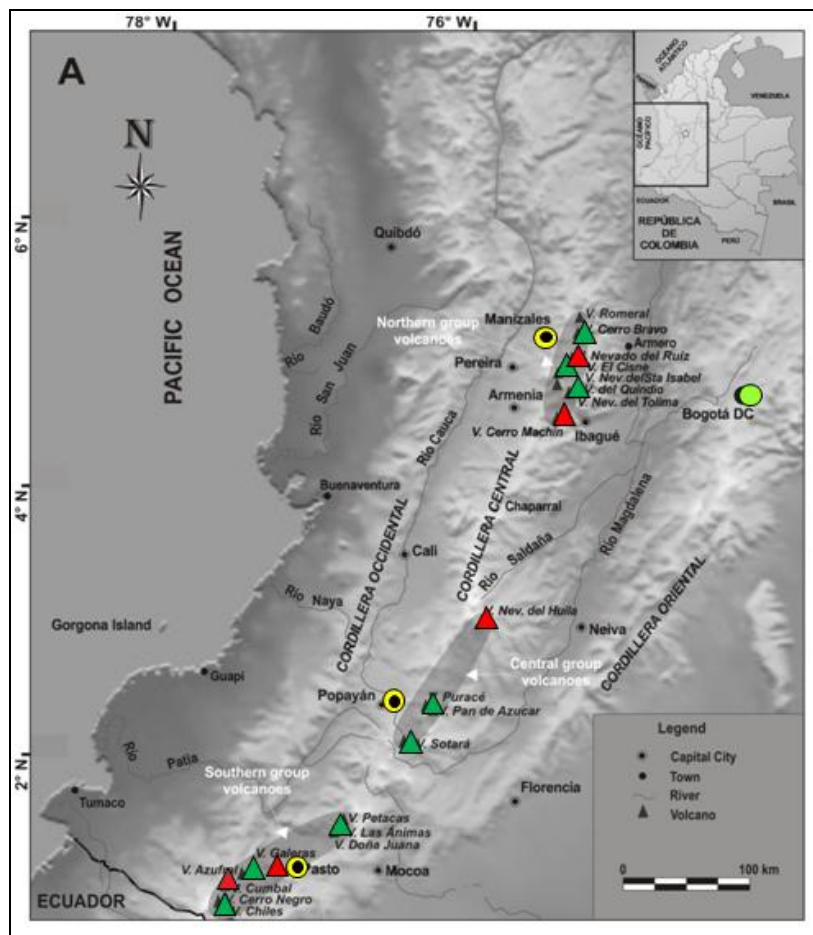
- Aunque la sismicidad ha venido mostrando una disminución gradual, se mantienen valores muy altos de ocurrencia, asociados con una posible intrusión de magma en profundidad y que se reitera, no se ha manifestado aún en superficie, por lo cual el sistema volcánico está lejos de retornar a un estado de equilibrio.

La evaluación del proceso volcánico durante el mes de abril 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 – ABRIL DE 2015

El Servicio Geológico Colombiano ha venido monitoreando de manera permanente la actividad de otros volcanes activos de Nariño, como son Doña Juana, Azufral y Las Ánimas (Figura 87), en busca de estimar un nivel base de actividad, hacer seguimiento de sus manifestaciones y en caso necesario, poder establecer situaciones anómalas y la posibilidad de ocurrencia de eventos eruptivos.

La información obtenida por los diferentes métodos de vigilancia, se viene analizando de manera permanente con el fin de obtener un conocimiento del fenómeno volcánico e identificar oportunamente un posible cambio en la actividad y realizar el diagnóstico del nivel de actividad.



**Figura 87.** Imagen de la localización de las tres provincias volcánicas de Colombia, se observa en el sur a Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro, monitoreados por el OVSP - SGC.

## 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 88).

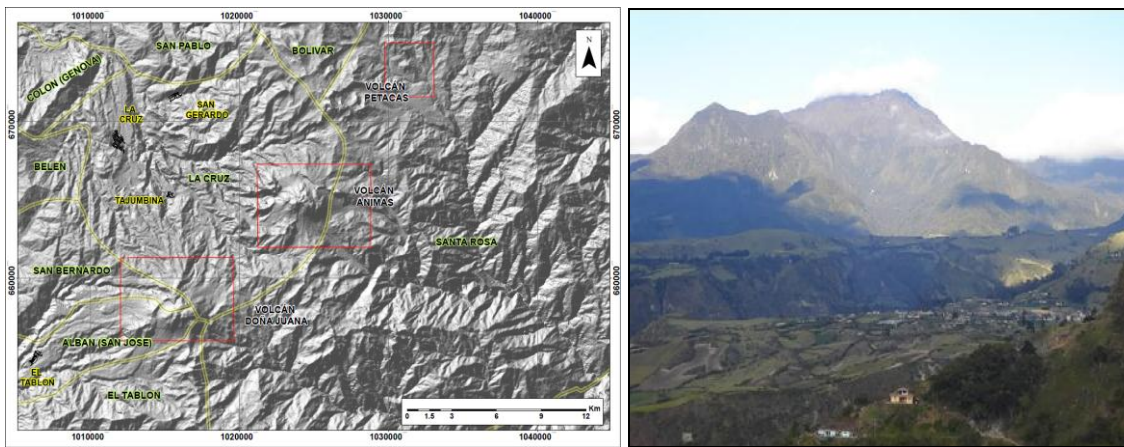


Figura 88. Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

### 4.1.2. Red de vigilancia

Actualmente la red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas y dos inclinómetros electrónicos localizados en los puntos Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental (Tabla 21, Figura 89). Es de resaltar que la estación Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Tabla 21. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas durante el mes de abril 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           |

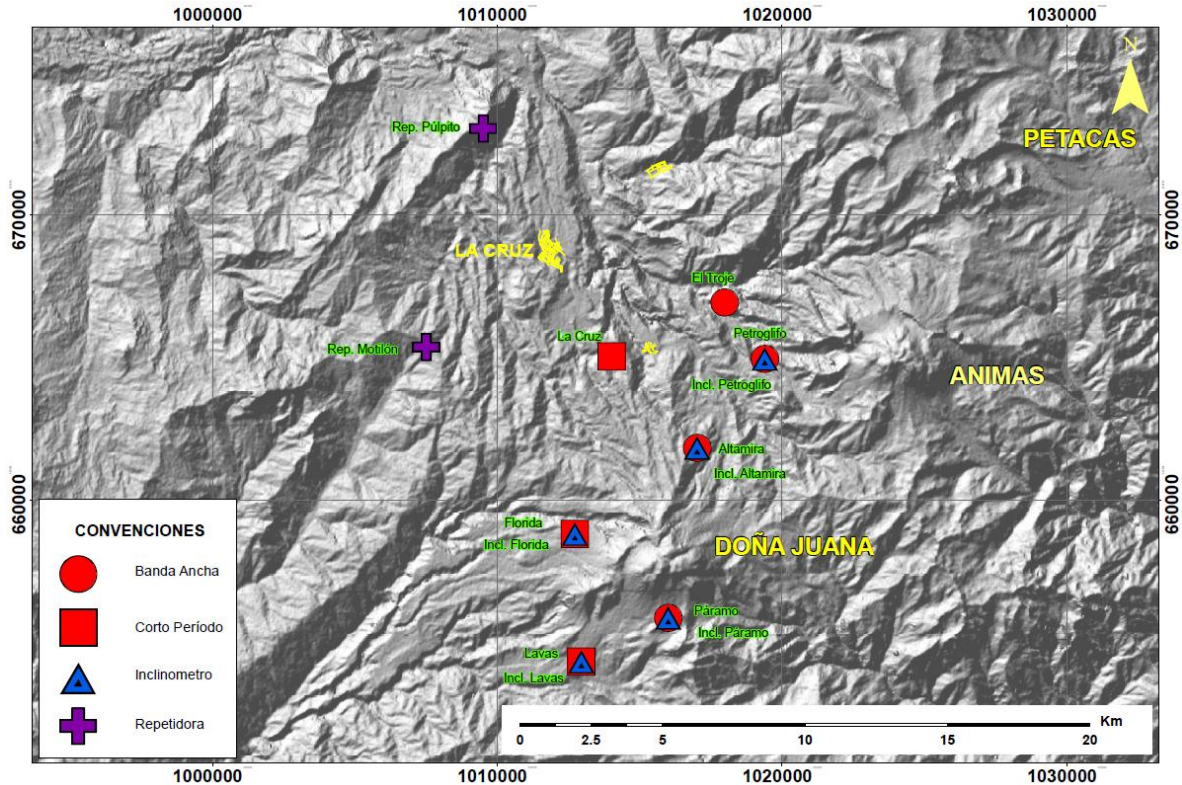


Figura 89. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de abril de 2015.

En el periodo evaluado, la red de estaciones instaladas para el monitoreo del volcán Las Ánimas presentó un funcionamiento promedio del 95%, no se alcanzó un 100% debido a problemas de radio enlace (Figura 90).

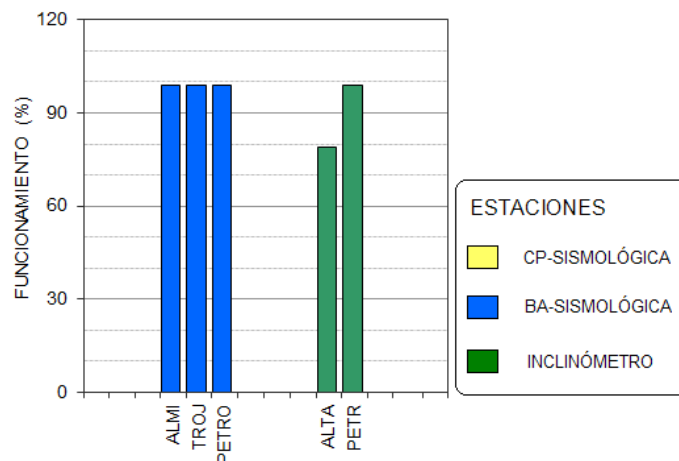


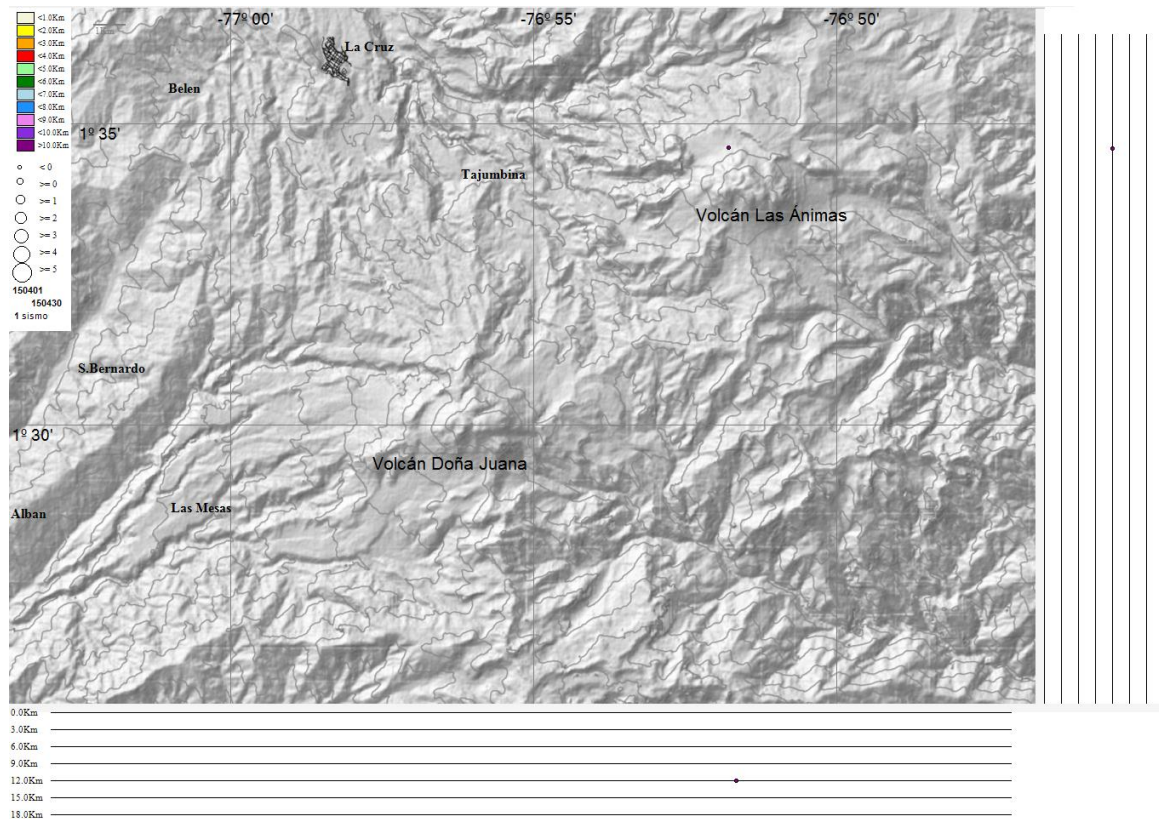
Figura 90. Porcentaje de funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante abril de 2015.

### 4.1.3. Sismología

La sismicidad en la zona de influencia del volcán Las Ánimas permaneció en niveles muy bajos, en abril solamente se registró un sismo asociado con fractura de roca (VT), el cual fue localizado a una distancia de un 1.8 km hacia el noroccidente de la cima volcánica, con una profundidad de 12 km y magnitud local de -0,1 en la escala de Richter (Tabla 22, Figura 91).

**Tabla 22.** Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Las Ánimas registrados entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

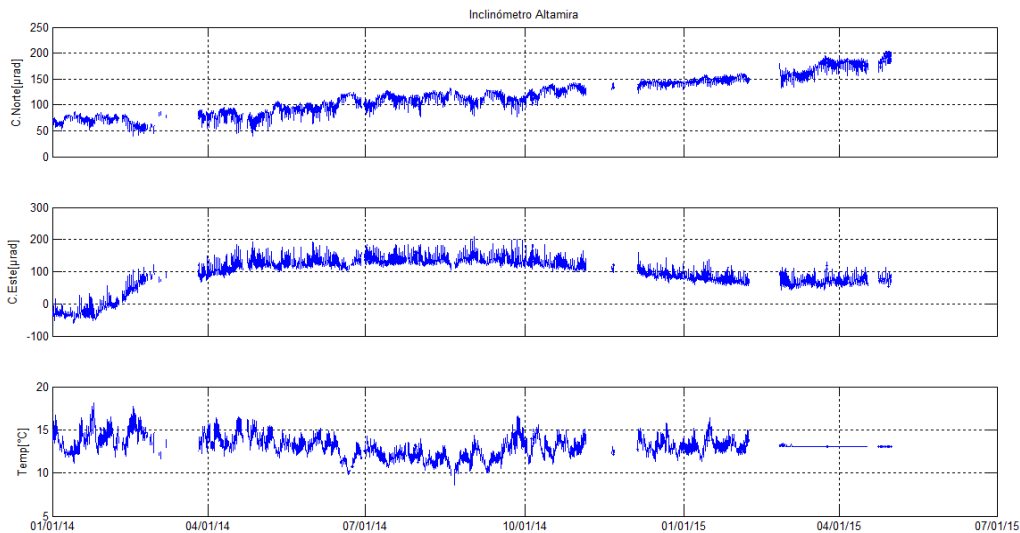
| Periodo Evaluado      | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|-----------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                       | vt                         | lps | tre | hyb | TOTAL |
| 01-ene-15 a 31-ene-15 | 2                          | 0   | 0   | 0   | 2     |
| 01-feb-15 a 28-feb-15 | 1                          | 0   | 0   | 0   | 1     |
| 01-mar-15 a 31-mar-15 | 5                          | 0   | 0   | 0   | 5     |
| 01-abr-15 a 30-abr-15 | 1                          | 0   | 0   | 0   | 1     |



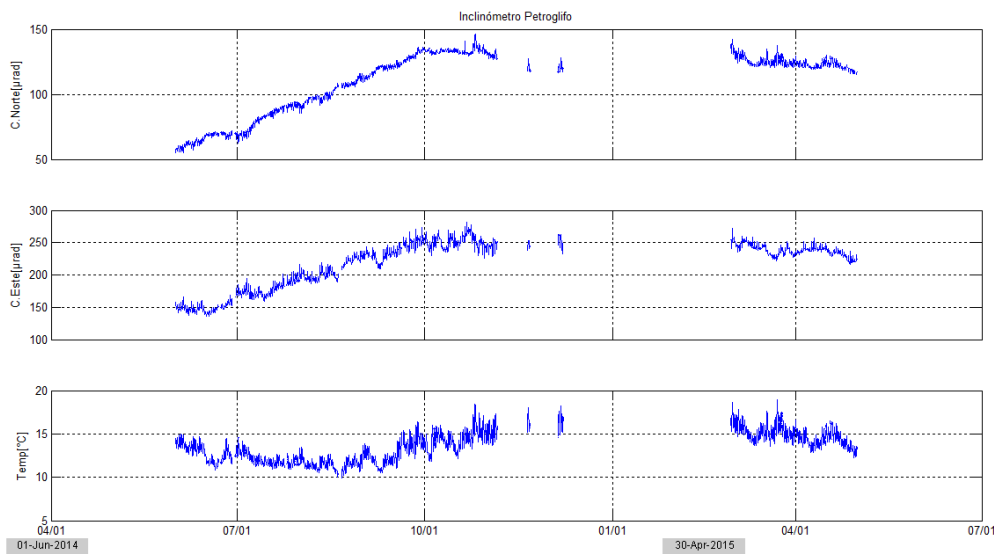
**Figura 91.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos registrados en Las Ánimas, en el mes de abril de 2015, en los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 3 km de profundidad.

#### 4.1.4. Deformación Volcánica

Respecto a los cambios registrados por las estaciones de Inclínometría, continua el comportamiento ascendente en la componente Norte del inclinómetro Altamira, alcanzando desde el 26 de abril de 2014, una variación de 120  $\mu\text{rad}$ , mientras que su componente de inclinación Este muestra estabilidad desde el 25 de febrero de 2015 (Figura 92). En cuanto al inclinómetro Petroglifo, no se observan cambios para el periodo evaluado, las variaciones presentes, son similares a las mostradas por el sensor de la temperatura (Figura 93).



**Figura 92.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 30 de abril de 2015.



**Figura 93.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.

#### 4.1.5. Actividad Superficial

Durante el mes de abril de 2015 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Las Ánimas.

#### 4.1.6. Conclusiones

La evaluación de la actividad volcánica de Las Ánimas durante el mes de abril de 2015 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

### 4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA

#### 4.2.1. Red de vigilancia

La red de vigilancia del volcán Doña Juana consta de dos estaciones de corto periodo y una de banda ancha para monitorear sismicidad y tres estaciones para monitorear la deformación cortical del edificio volcánico, adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz, que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) (Figura 94, Tabla 23). Para el mes de abril de 2015 las estaciones presentaron un funcionamiento del 82% (Figura 95). La estación sísmica Lavas presentó interferencias en la señal y problemas en el sistema de adquisición.

**Tabla 23.** Estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Doña Juana.

| 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           |

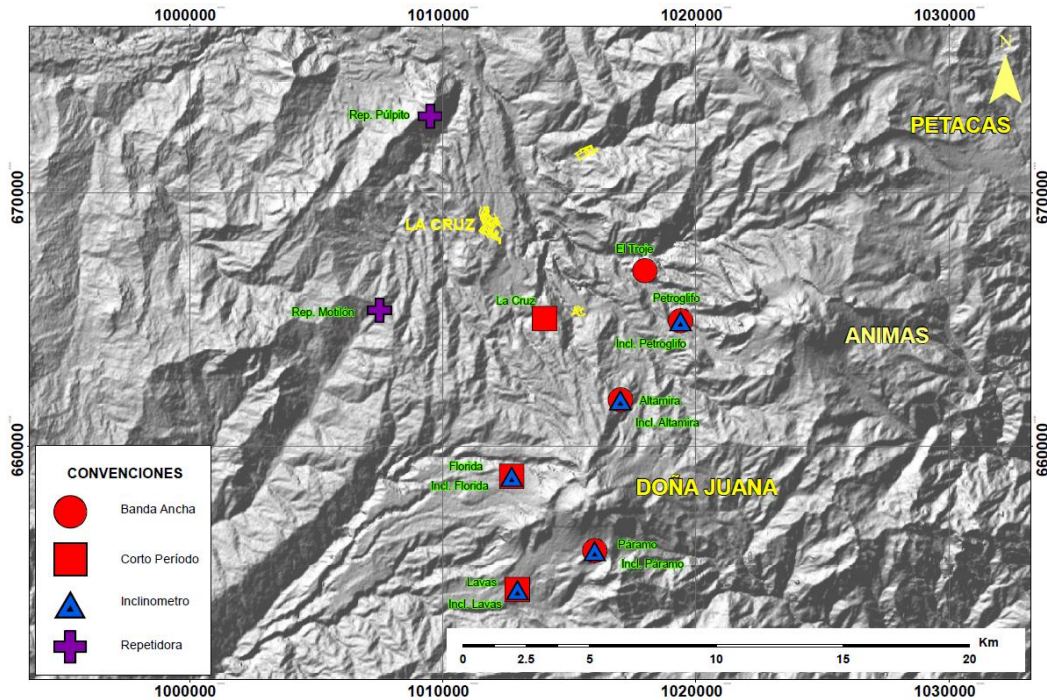


Figura 94. Mapa de localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo del volcán Doña Juana.

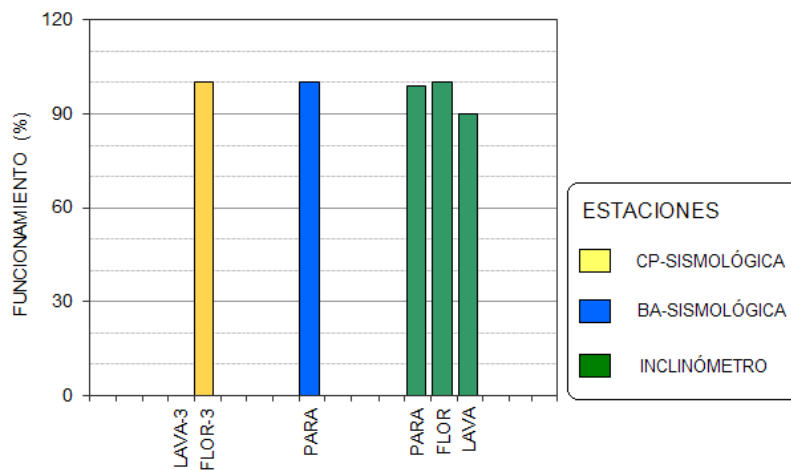


Figura 95. Funcionamiento de las estaciones de la red de monitoreo del volcán Doña Juana en abril de 2015.

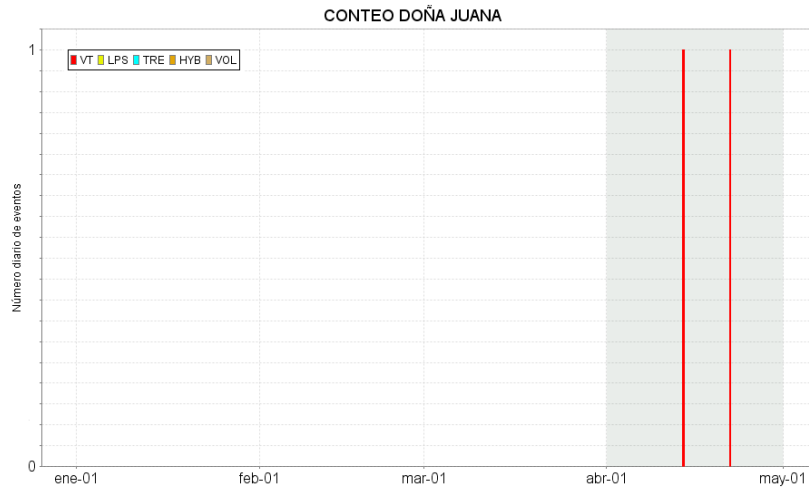
#### 4.2.2. Sismología

En el periodo evaluado se presentaron dos eventos, asociados a fractura de roca – VT (Tabla 24, Figura 96), de los cuales fue posible localizar uno, ubicado hacia el suroccidente del volcán Doña Juana, a 10.4 km de profundidad y magnitud local de 0.9 en la escala de Richter (Figura 97).

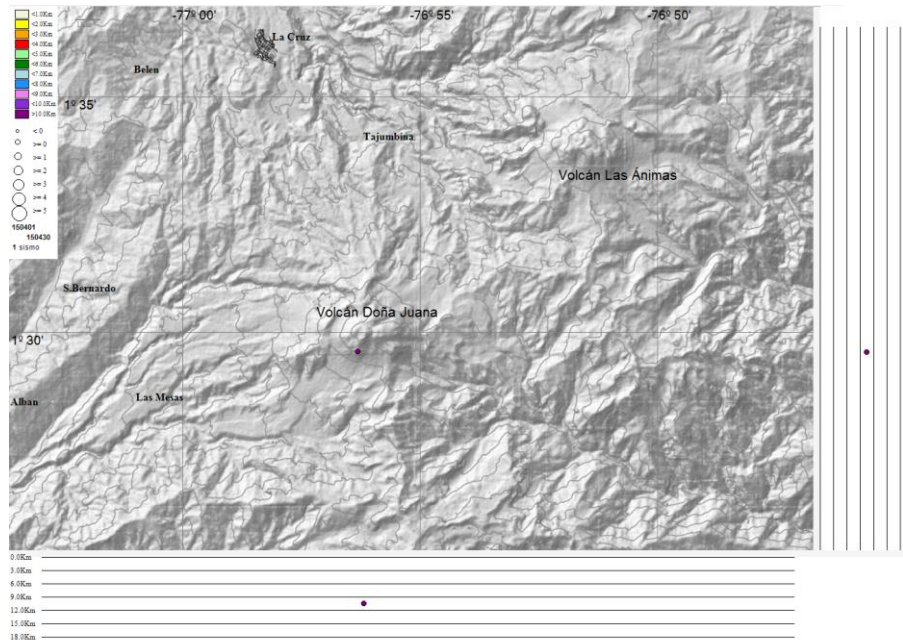


**Tabla 24.** Número de eventos volcánicos por tipo para el volcán Doña Juana registrados entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

| Periodo Evaluado      | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|-----------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                       | vt                         | lps | tre | hyb | TOTAL |
| 01-ene-15 a 31-ene-15 | 0                          | 0   | 0   | 0   | 0     |
| 01-feb-15 a 28-feb-15 | 0                          | 0   | 0   | 0   | 0     |
| 01-mar-15 a 31-mar-15 | 0                          | 0   | 0   | 0   | 0     |
| 01-abr-15 a 30-abr-15 | 2                          | 0   | 0   | 0   | 2     |



**Figura 96.** Conteo diario de los diferentes tipos de sismicidad volcánica, para los meses entre enero y abril de 2015 para el volcán Doña Juana.



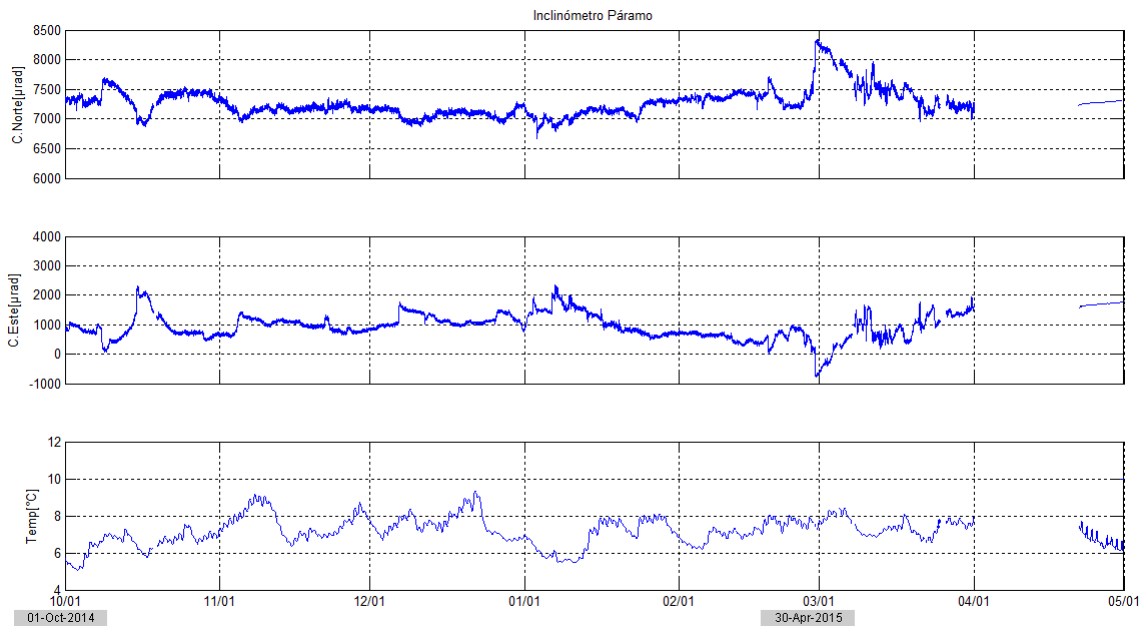
**Figura 97.** Localización epicentral e hipocentral de sismos VT registrados entre el 1 y el 30 de abril de 2015. En los cortes Norte-Sur (derecha) y Este-Oeste (abajo) cada línea de división representa 3 km de profundidad.

### 4.2.3. Deformación Volcánica

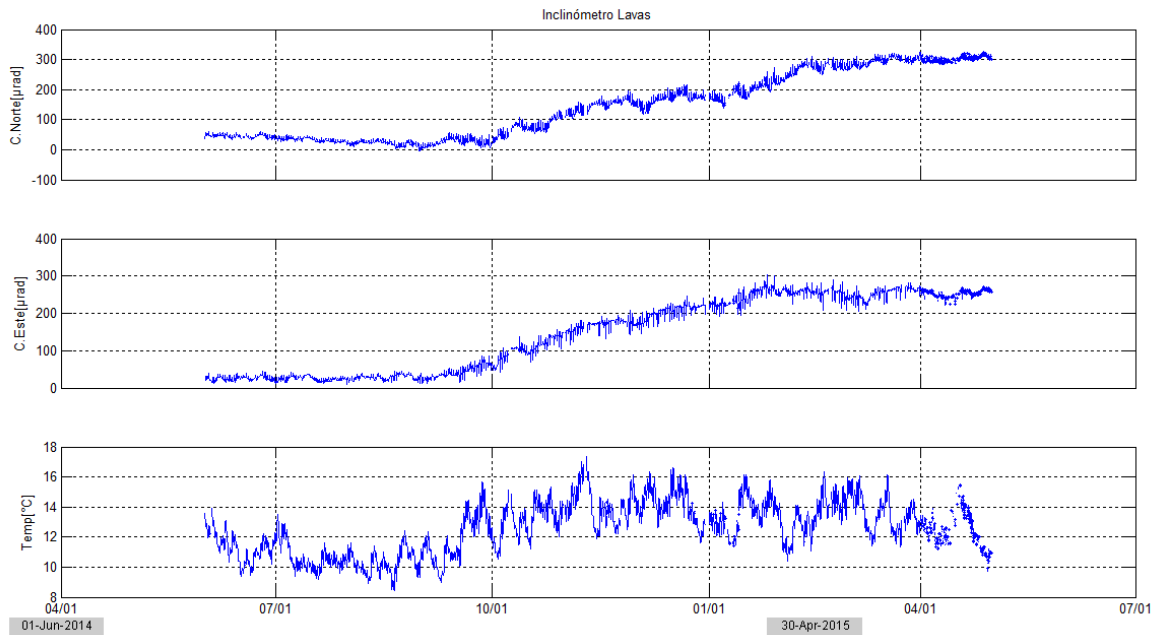
Desde el cambio de sensor en la estación Páramo (abril 21), se observa un comportamiento ascendente en las componentes de inclinación Norte y Este, se resalta que aún es muy poco tiempo de registro de este inclinómetro como para definir una tendencia (Figura 98).

Con respecto al inclinómetro electrónico Lavas, continúa el comportamiento ascendente en la componente de inclinación Norte, acumulando desde el pasado 1 de septiembre de 2014, cerca de 318  $\mu\text{rad}$ , su componente Este presenta estabilidad desde finales de enero de 2015 (Figura 99).

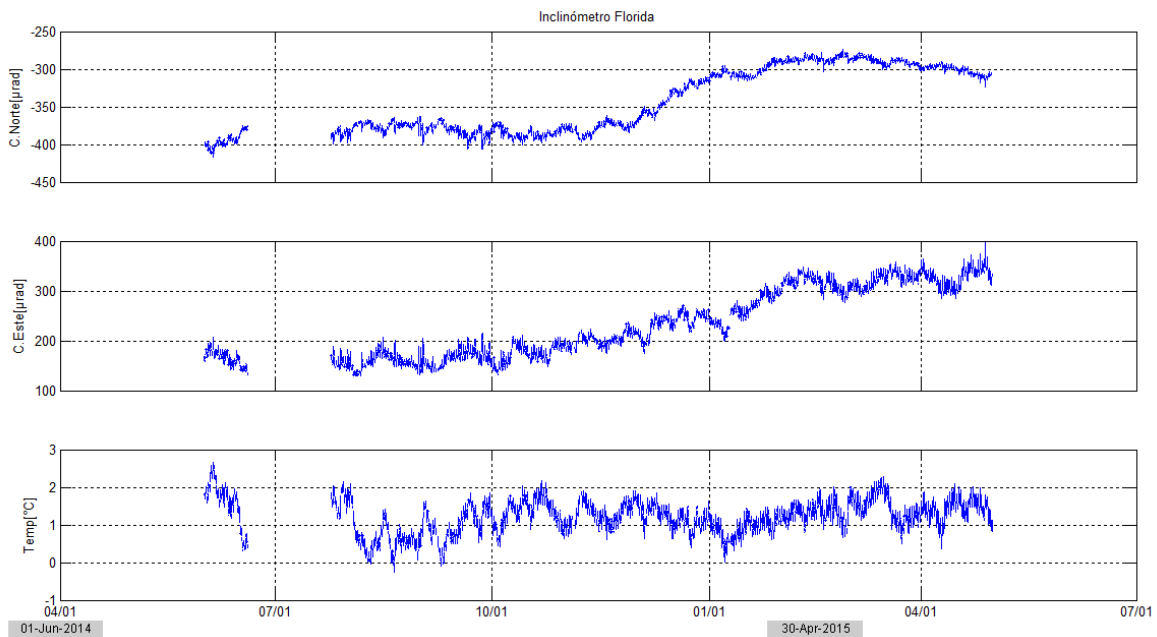
De igual forma continua el comportamiento ascendente en la componente Este del inclinómetro Florida, con 210  $\mu\text{rad}$  desde el 1 de septiembre de 2014, mientras que su componente de inclinación Norte muestra una tendencia descendente desde finales de febrero de 2015 (Figura 100).



**Figura 98.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2014 y el 30 de abril de 2015.



**Figura 99.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.



**Figura 100.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.

#### 4.2.4. Actividad Superficial

Durante el mes de abril de 2015 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

#### 4.2.5. Conclusiones

- La evaluación de los parámetros monitoreados en Doña Juana durante abril de 2015, permitieron establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

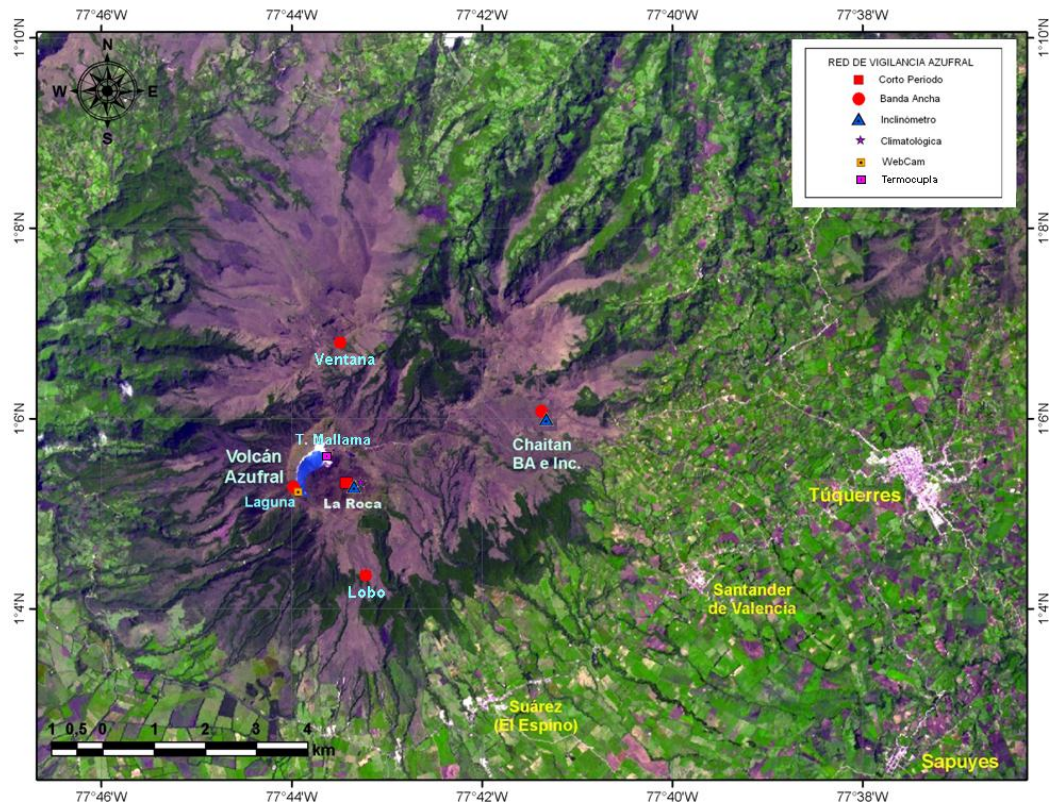
### 4.3. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL

#### 4.3.1. Red de vigilancia

Las estaciones para vigilancia sísmica del volcán Azufral son La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan además con inclinómetros electrónicos y Laguna con una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial (Figura 101, Tabla 25). Se tiene una estación climatológica cerca de la estación La Roca, sensores para medir velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica y radiación solar. También hay una estación de medición 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 102).

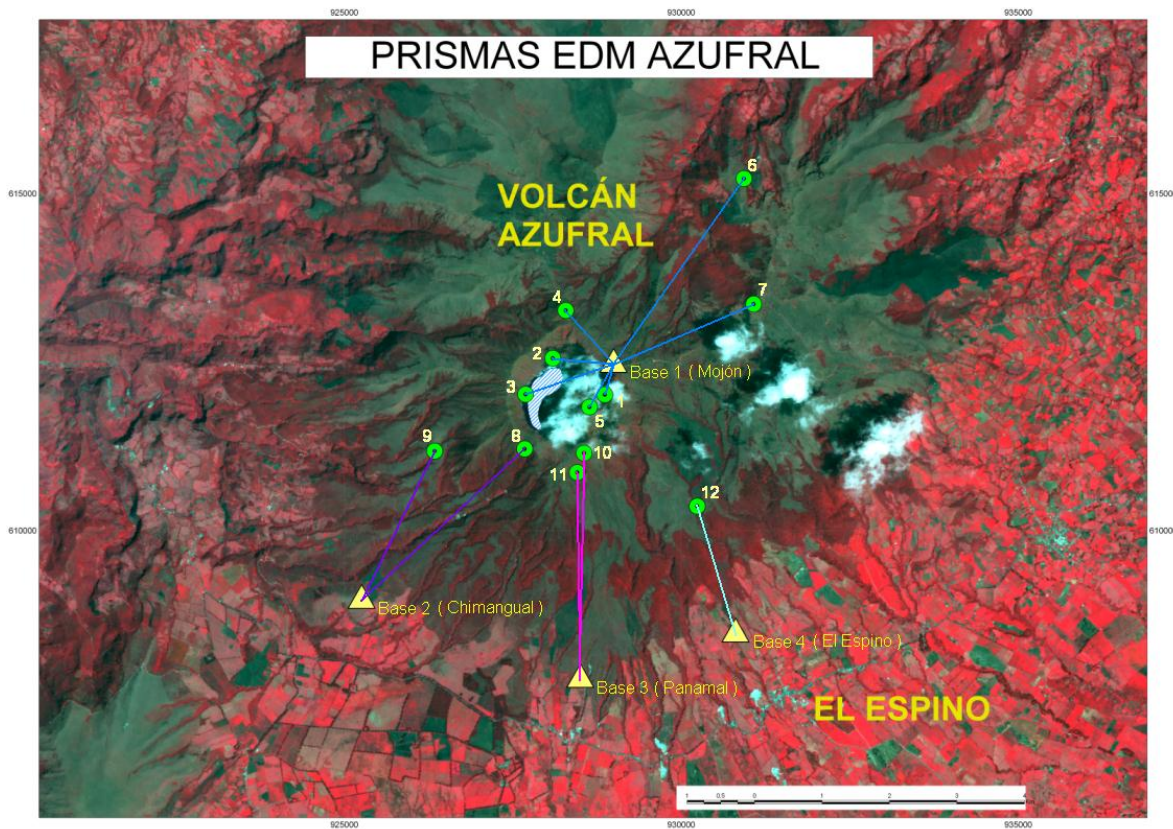
En general, la red de monitoreo telemétrico del volcán Azufral alcanzó en promedio un porcentaje de funcionamiento del 97% para este mes (Figura 103).



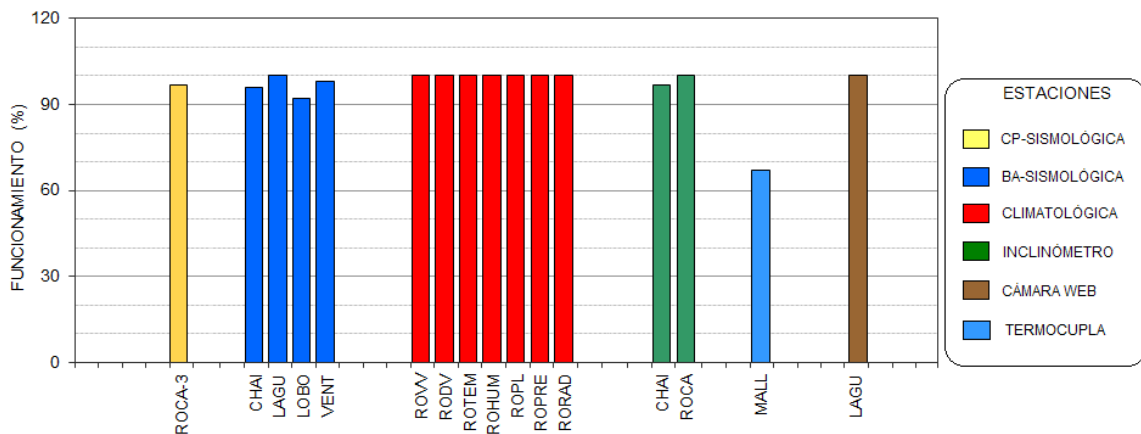
**Figura 101.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el mes de abril de 2015.

**Tabla 25.** Estaciones instaladas en el volcán Azufral.

| 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              | Inclímetro electrónico    | Biaxial    | 1,2                        | E                              | 4025           |
| Chaitán  | Digital              | Inclímetro electrónico    | Biaxial    | 4,3                        | ENE                            | 3730           |



**Figura 102.** Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán AzufRAL. Las figuras 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.



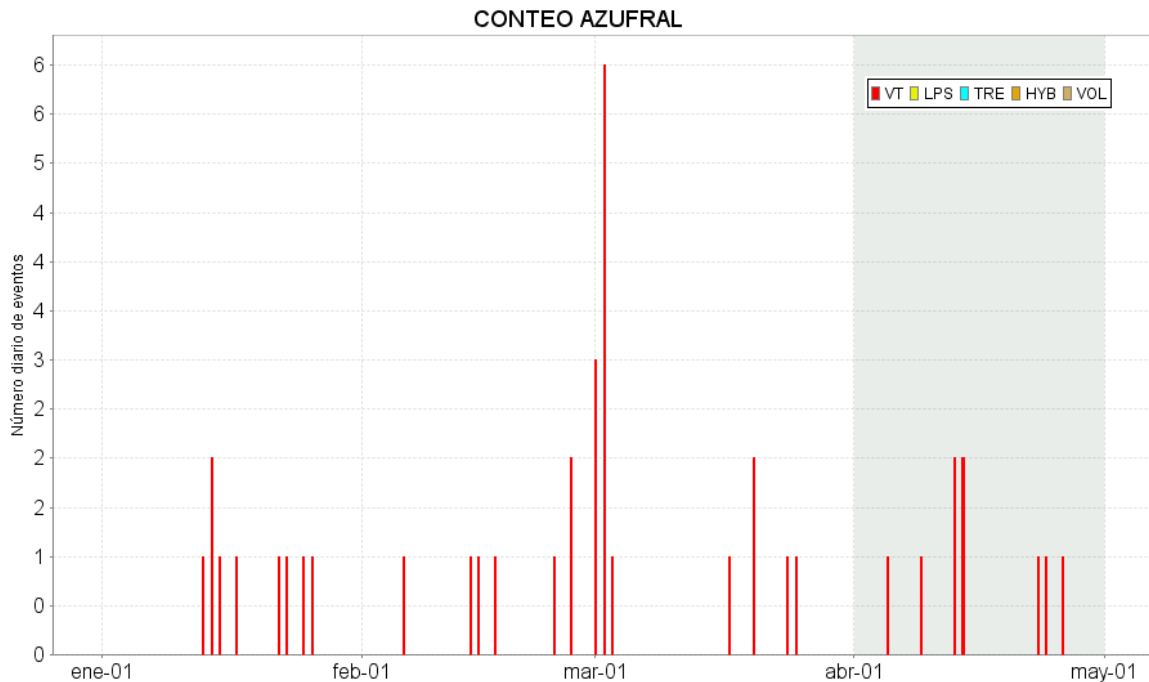
**Figura 103.** Porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán AzufRAL durante el mes de abril de 2015.

### 4.3.2. Sismología

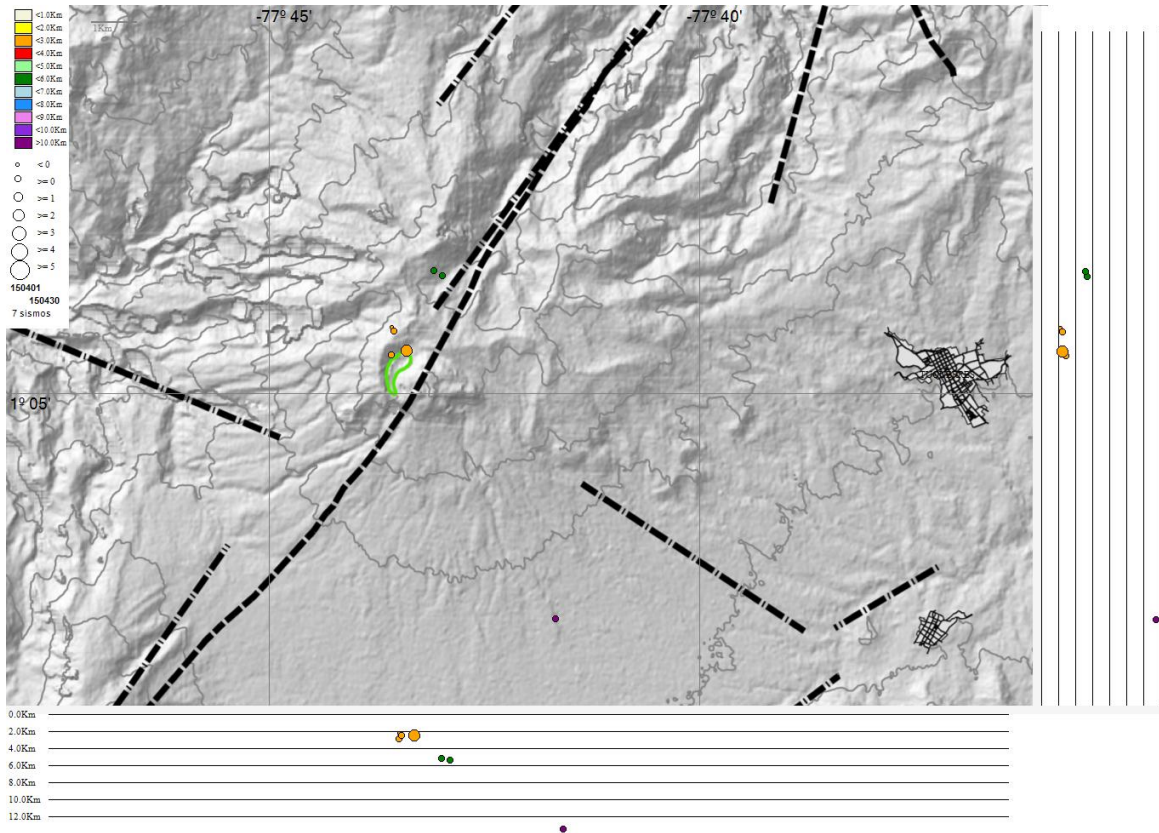
La ocurrencia sísmica en Azufral continuó en niveles bajos y asociada con fractura de roca (VT). En comparación con el mes anterior se notó un descenso pasando de 15 a 9 sismos, de los cuales fue posible localizar 7 que se ubicaron dispersos en la zona de influencia de Azufral, en distancias entre 1 y 4.5 km, profundidades entre 2.3 y 13.4 km y magnitudes locales entre -0.2 y 2.2 en la escala de Richter, ningún sismo se reportó sentido (Tabla 26, Figuras 104 y 105). El evento que presentó magnitud de 2.2, se registró el 23 de abril, a las 7:07 a.m.

**Tabla 26.** Número de sismos volcánicos por tipo registrados en el volcán Azufral entre enero y abril de 2015, resaltando en azul el mes objeto de evaluación.

| Periodo Evaluado      | Número de eventos por tipo |     |     |     |       |
|-----------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|
|                       | vt                         | lps | tre | hyb | TOTAL |
| 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    |
| 01-abr-15 a 30-abr-15 | 9                          | 0   | 0   | 0   | 9     |



**Figura 104.** Número diario de sismos volcánicos registrados en el volcán Azufral entre enero y abril de 2015.



**Figura 105.** Localización epicentral e hipocentral de los sismos VT registrados en abril de 2015. En los cortes N-S (derecha) y E-W (abajo) cada línea representa 2 km de profundidad con respecto a la cima volcánica.

### 4.3.3. Deformación Volcánica

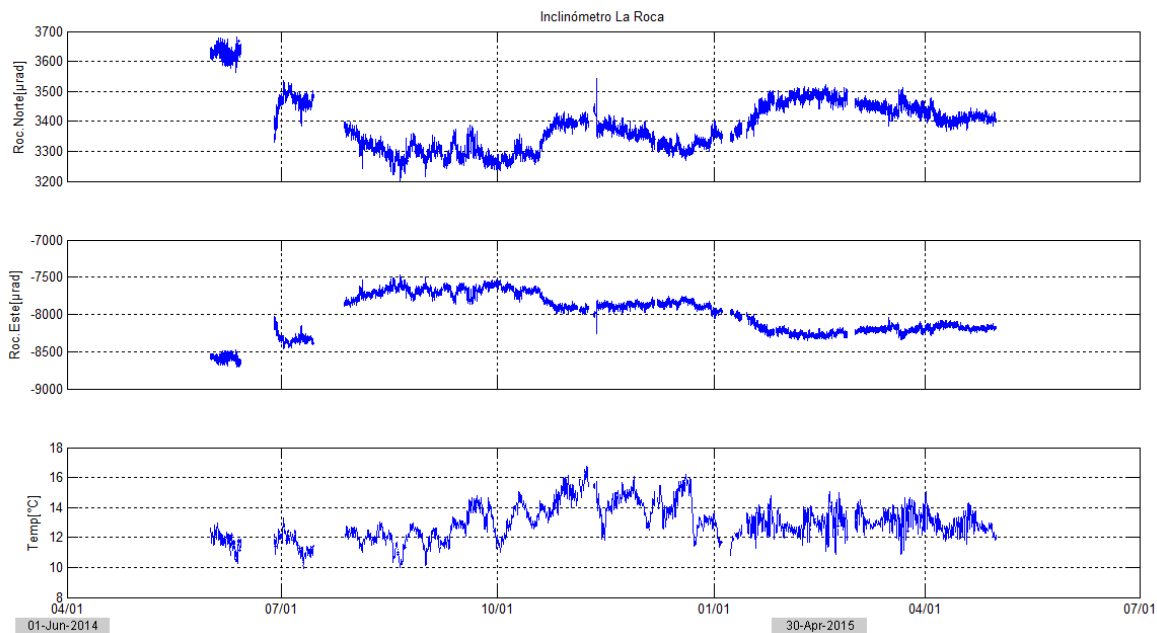
#### 4.3.3.1. Inclínometría Electrónica

En cuanto a la deformación del edificio volcánico, se observó estabilidad en el registro de las componentes de inclinación del sensor La Roca (Figura 106). Con respecto al inclinómetro Chaitán, al parecer en campo se desconectó la parte electrónica de la componente Norte, por lo cual hacemos referencia solo a la Este, observando estabilidad para el periodo evaluado (Figura 107).

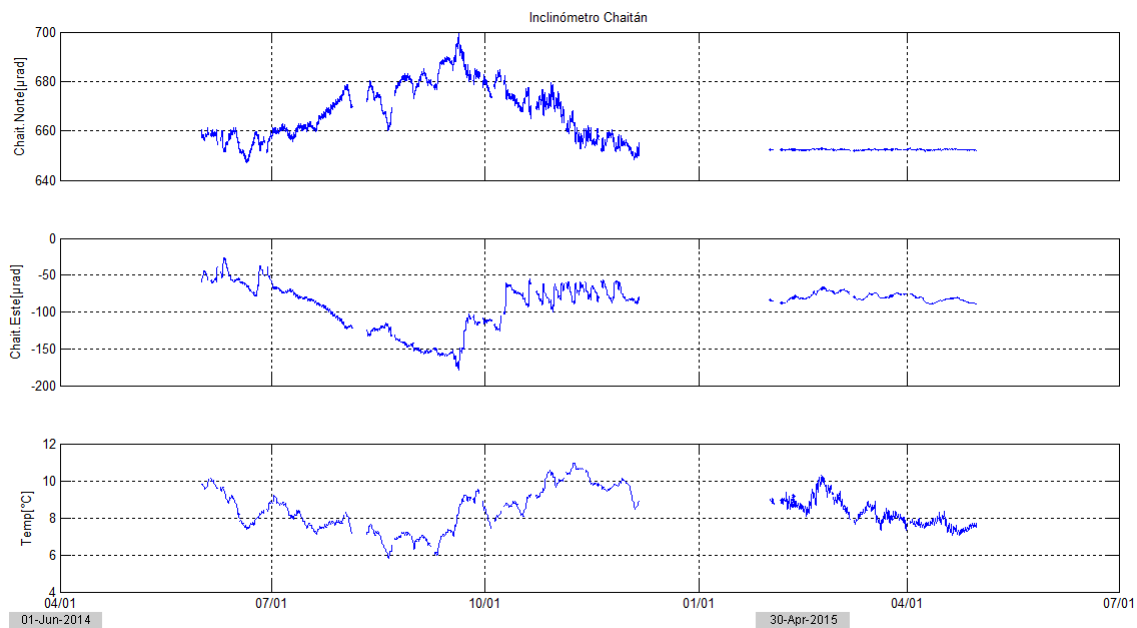
#### 4.3.3.2. Medición Electrónica de Distancias - E.D.M.

Para el periodo evaluado no se realizó ocupación de las Bases definidas para este tipo de mediciones.





**Figura 106.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.



**Figura 107.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de junio de 2014 y el 30 de abril de 2015.

#### 4.3.4. Geoquímica

##### 4.3.4.1. Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcán Azufral

El volcán Azufral cuenta con una red actual de monitoreo de 9 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Salado de Malaver (A), FT La Cabaña (B), FT Quebrada Blanca (C), FT San Ramón (D), FT Arrayán Salado (E), FT Tutachag (F), FT Laguna Verde N°1 (G), FT Laguna Verde N°2 (H), Laguna Verde N°3 (I), Laguna Verde N°4 (J) (Figura 108).

En el mes de abril fue posible realizar el muestreo de parámetros fisicoquímicos en la FT LV N°1 (Tabla 27), se retira la termocupla de la estación térmica Mallama por daños en el cableado causado por personas que visitan el área, también se realiza mediciones de CO<sub>2</sub> en suelo con el equipo de cámara de acumulación.

La fuente termal LV N°1 del volcán Azufral presenta durante el mes de abril un potencial de Hidrógeno (pH) de 6.64 (ligeramente ácido), en la Figura 109 se puede observar las variaciones de pH en el tiempo respecto a meses anteriores, y se puede decir que no se perciben cambios importantes, y si una estabilidad en el sistema.

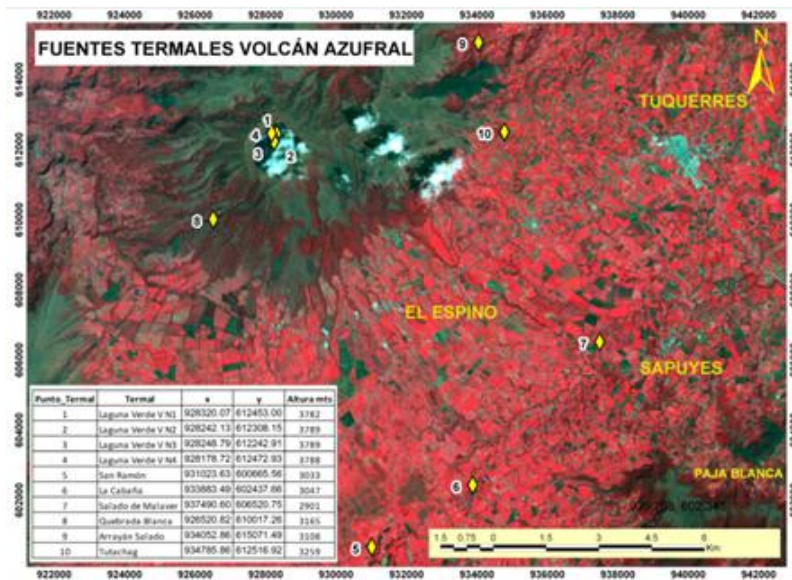
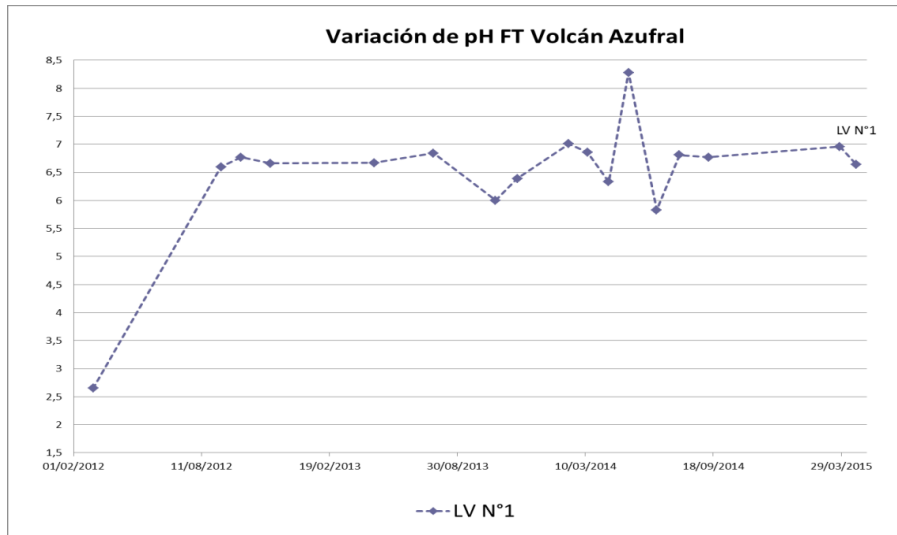


Figura 108. Mapa de localización de las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del volcán Azufral.

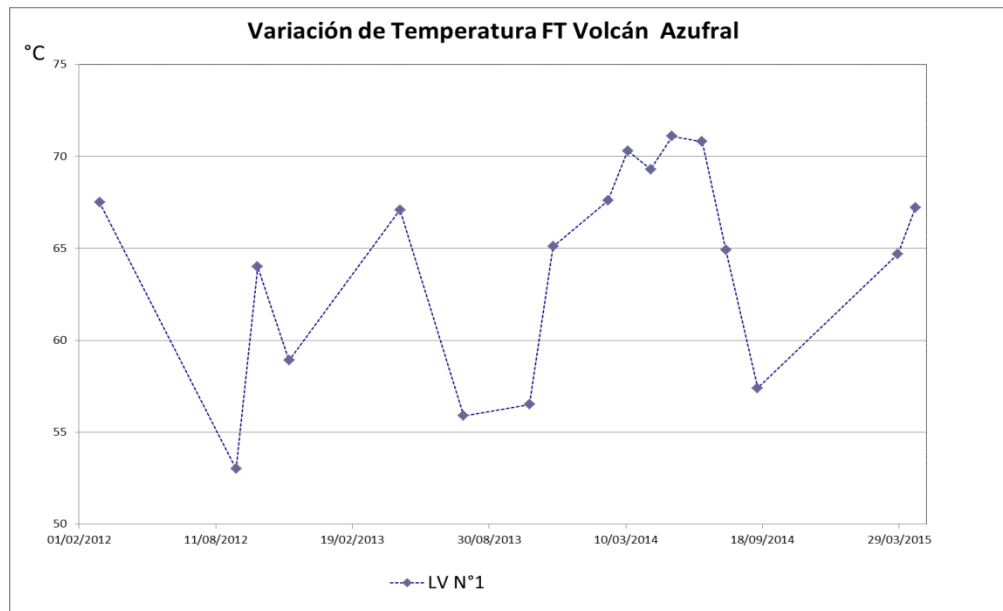
Tabla 27. Ubicación geográfica (WGS84) fuente termal Laguna Verde No.1 del área de influencia del volcán Azufral.

| FUENTE TEMAL   | IMAGEN | LA TITUD | LONGITUD  | AL TURA (msnm) |
|----------------|--------|----------|-----------|----------------|
| LAGUNA VERDE 1 |        | 1.09139° | 77.72163° | 3782           |



**Figura 109.** Variación del pH en la FT LV No.1 del volcán Azufral – mes de abril de 2015.

Para el caso de la temperatura (Figura 110) se observa también una estabilidad relativa, con una pequeña tendencia al aumento de la temperatura, sin llegar a los máximos registrados en anteriores muestreos. En cuanto a la conductividad (Figura 111) se observa que mantiene un comportamiento estable, y la variación no es significativa, con una tendencia hacia una menor conductividad, sin llegar al mínimo registrado en medidas anteriores. La variación en la concentración del ion bicarbonato es mínima respecto a las determinaciones realizadas anteriormente, y se puede considerar que se presenta una estabilidad en el sistema (Figura 112).



**Figura 110.** Variación de temperatura de la FT LV No.1 del volcán Azufral – mes de abril de 2015.

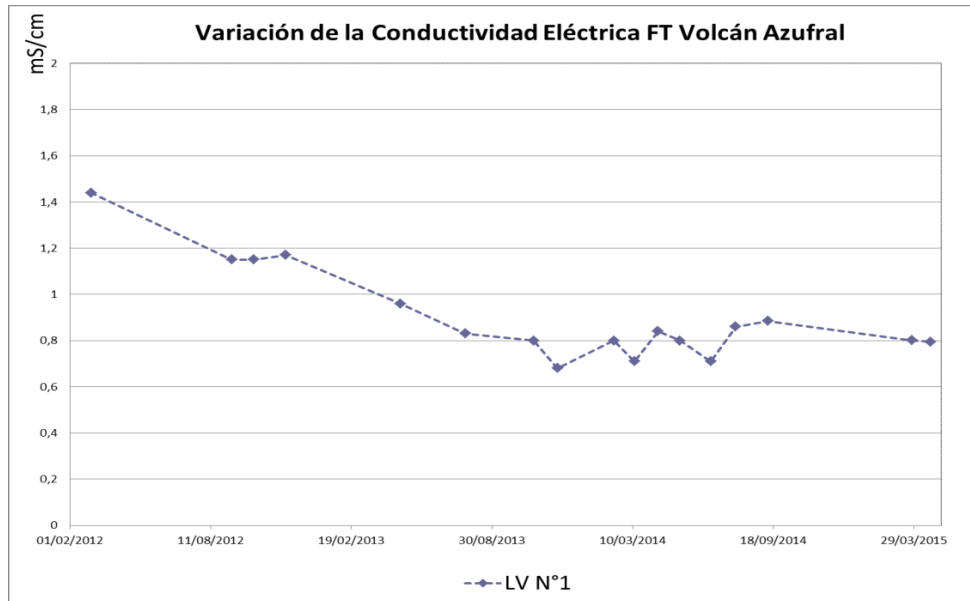


Figura 111. Variación de la conductividad eléctrica en la FT LV No.1 del volcán Azufral – mes de abril de 2015.

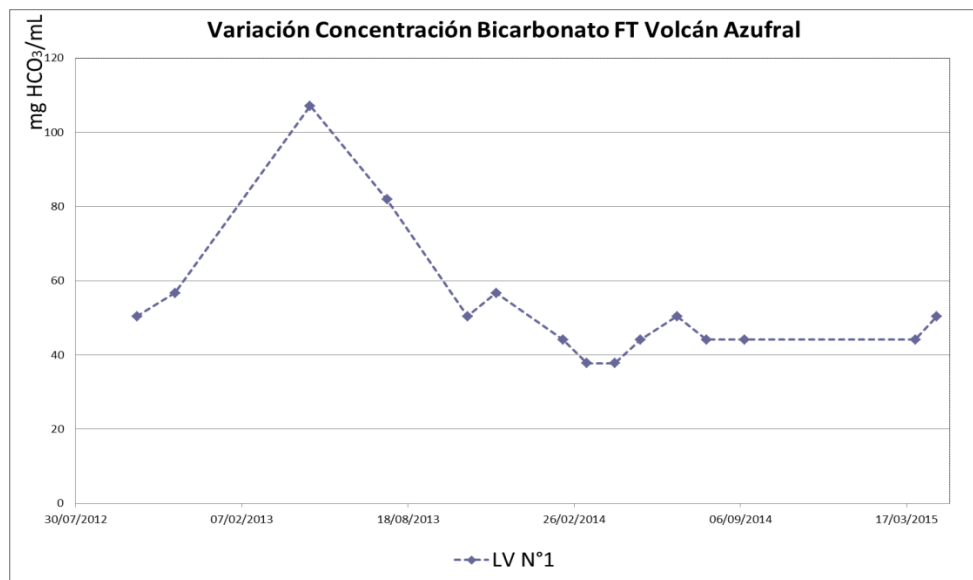


Figura 112. Variación en la concentración del ion bicarbonato en la FT LV No.1 del volcán Azufral – mes de abril de 2015.

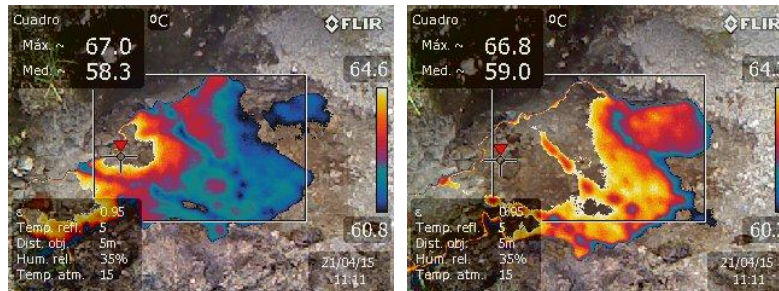
De acuerdo a su temperatura la FT LV N°1 del volcán Azufral se puede clasificar como termal:

- Fuente termal LV N°1

Temperatura superficial: 67.2°C (Temperatura registrada en abril 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 (Figura 113), por lo que la misma puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 0.79mS/cm (25°C), que refleja la presencia de pocas sales solubles en el medio.



**Figura 113.** Imagen térmica FT LV No.1 del volcán Azufral – mes de abril de 2015.

#### 4.3.5. Actividad Superficial y Cambios Geomorfológicos

Condiciones de clima favorables durante los días 1, 4, 5, 6, 9, 11, 13, 14 y 21 de abril de 2015 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 de las fumarolas del domo Mallama ubicado al nororiente de la Laguna Verde.

En las Figuras 114 a 116 se presentan algunas imágenes con procesos de emisión de gases en Azufral.



**Figura 114.** Emisión de gases desde el domo Mallama, 4 de abril de 2015, 7:03 a.m. y 7:43 a.m.



**Figura 115.** Emisión de gases del domo Mallama, 13 de abril de 2015 a las 5:48 p.m.



**Figura 116.** Emisión de gases del domo Mallama, 14 de abril de 2015 a las 6:23 p.m.

#### 4.3.6. Conclusiones

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