



***INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CHILES – CERRO NEGRO, CUMBAL,  
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL  
MARZO 2017***

**San Juan de Pasto, abril de 2017**



SERVICIO  
GEOLÓGICO  
COLOMBIANO





Dirección de  
Geoamenazas

***INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
GALERAS, CHILES – CERRO NEGRO, CUMBAL,  
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL  
MARZO 2017***

**Por:**

**GRUPO DE TRABAJO OBSERVATORIO PASTO**

**San Juan de Pasto, abril de 2017**

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	14
INTRODUCCIÓN .....	17
<b>1 ACTIVIDAD DEL VOLCAN GALERAS – MARZO DE 2017 .....</b>	<b>18</b>
1.1 RED DE VIGILANCIA.....	18
1.2 SISMOLOGÍA.....	23
1.3 DEFORMACIÓN .....	27
1.3.1 Estaciones de Inclinometría Electrónica.....	28
1.3.2 Estaciones GNSS permanentes .....	33
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM .....	38
1.4 ELECTROMAGNETISMO.....	38
1.5 GEOQUIMICA.....	41
1.5.1 Muestreo de gases de origen volcánico en el Volcán Galeras .....	41
1.5.1.1 Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS .....	41
1.6 ACTIVIDAD SUPERFICIAL Y CAMBIOS GEOMORFOLOGICOS .....	44
1.7 CONCLUSIONES.....	46
<b>2 ACTIVIDAD DEL VOLCAN CUMBAL – MARZO DE 2017 .....</b>	<b>48</b>
2.1 RED DE VIGILANCIA.....	48
2.2 SISMOLOGÍA.....	49
2.3 DEFORMACIÓN .....	53
2.4 GEOQUÍMICA.....	56
2.5 ACTIVIDAD SUPERFICIAL .....	56
2.6 CONCLUSIONES.....	57
<b>3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO – MARZO DE 2017..</b>	<b>58</b>
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	58
3.2 RED DE VIGILANCIA.....	58
3.3 SISMOLOGÍA.....	61

<b>3.4</b>	<b>DEFORMACIÓN</b> .....	<b>64</b>
<b>3.5</b>	<b>GEOQUÍMICA</b> .....	<b>66</b>
<b>3.5.1</b>	Registro de temperatura – Estación térmica telemétrica Baño Grande volcán Chiles.....	66
<b>3.6</b>	<b>ACTIVIDAD SUPERFICIAL</b> .....	<b>67</b>
<b>3.7</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>67</b>
<b>4</b>	<b>ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MARZO DE 2017</b> .....	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS</b> .....	<b>69</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Ubicación Geográfica</b> .....	<b>69</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Red de vigilancia</b> .....	<b>69</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Sismología</b> .....	<b>71</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Deformación</b> .....	<b>72</b>
4.1.4.1	Inclinometría Electrónica.....	72
4.1.4.2	Estaciones GNSS Permanentes.....	73
<b>4.1.5</b>	<b>Estudio Geoquímico de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas</b> .....	<b>74</b>
4.1.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales.....	74
<b>4.1.6</b>	<b>Actividad superficial</b> .....	<b>73</b>
<b>4.1.7</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>73</b>
<b>4.2</b>	<b>ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA</b> .....	<b>83</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Red de vigilancia</b> .....	<b>83</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Sismología</b> .....	<b>85</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Deformación</b> .....	<b>86</b>
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica.....	86
4.2.3.2	Estaciones GNSS Permanentes.....	87
<b>4.2.4</b>	<b>Actividad superficial</b> .....	<b>88</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>88</b>
<b>4.3</b>	<b>ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL</b> .....	<b>89</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Red de vigilancia</b> .....	<b>89</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Sismología</b> .....	<b>91</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Deformación</b> .....	<b>93</b>
4.3.3.1	Inclinometría Electrónica.....	93
4.3.3.2	Estaciones GNSS Permanentes.....	95
<b>4.3.4</b>	<b>Electromagnetismo</b> .....	<b>97</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Geoquímica</b> .....	<b>98</b>
4.3.5.1	Muestreo de aguas en la Laguna Verde .....	98

4.3.5.2	Registro de Temperatura – Domo Mallama.....	99
<b>4.3.6</b>	<b>Actividad superficial.....</b>	<b>100</b>
<b>4.3.7</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>101</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>102</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2017.....	19
<b>Figura 2.</b> Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2017. ....	20
<b>Figura 3.</b> Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2017 .....	22
<b>Figura 4.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2017.....	23
<b>Figura 5.</b> Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante febrero y marzo de 2017; el recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe. ....	24
<b>Figura 6.</b> Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2017 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2017.....	24
<b>Figura 7.</b> Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante febrero y marzo de 2017; el recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe .....	25
<b>Figura 8.</b> Comparación de la energía de los sismos por tipo entre febrero y marzo de 2017 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para marzo de 2017 .....	26
<b>Figura 9.</b> Localizaciones de sismos VT e HIB en la zona de influencia de Galeras durante marzo de 2017 .....	27

<b>Figura 10.</b> Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017 .....	28
<b>Figura 11.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cóndor, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 31 de marzo de 2017 .....	29
<b>Figura 12.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de marzo de 2017 .....	29
<b>Figura 13.</b> Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2011 y el 31 de marzo de 2017 .....	30
<b>Figura 14.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2017 .....	31
<b>Figura 15.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017 .....	31
<b>Figura 16.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017 .....	32
<b>Figura 17.</b> Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017 .....	32
<b>Figura 18.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 15 de marzo de 2017 .....	34
<b>Figura 19.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 31 de octubre de 2012 y el 15 de marzo de 2017 .....	34
<b>Figura 20.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 15 de marzo de 2017 .....	35
<b>Figura 21.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2014 y el 15 de marzo de 2017 .....	35
<b>Figura 22.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cóndor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 15 de marzo de 2017 .....	36

<b>Figura 23.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y marzo de 2017. ....	36
<b>Figura 24.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Peladitos instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y marzo de 2017. ....	37
<b>Figura 25.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, en el Municipio de Chachagüí, Departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre febrero de 2010 y el 15 de marzo de 2017. ....	37
<b>Figura 26.</b> Variaciones de la resultante horizontal de las componentes eléctricas, en la zona del volcán Galeras, con los registros en las estaciones Frailejón (verde) y Barranco (rojo), y comparadas con el comportamiento de las lluvias (Pluviómetro en azul), para el periodo de marzo de 2017. ....	38
<b>Figura 27.</b> A la izquierda se tiene el registro de las componentes norte y este de las estaciones de monitoreo eléctrico Frailejón y Barranco y a la derecha se presentan los registros de las mismas componentes, a las cuales se les ha aplicado un filtro, para eliminar las variaciones externas a los procesos volcánicos. El periodo de registro corresponde a marzo de 2017. ....	39
<b>Figura 28.</b> Campo magnético total (F), registrado en las estaciones de Frailejón (FraF-verde), Cráter (CraF-rojo) y Kourou (KouF-azul), para el mes de marzo de 2017, donde se resalta la correspondencia en la ocurrencia de las tormentas magnéticas. La escala de medición para las tres series de tiempo está dada en nano Teslas (nT), la escala de Cráter, corresponde a la escala de la derecha, en tanto que la de Frailejón y Kourou está en la escala de la derecha. ....	40
<b>Figura 29.</b> A la izquierda se muestra el comportamiento de las componentes norte, este y vertical, de las estaciones Frailejón y Cráter, durante el mes de marzo de 2017. A la derecha se muestran las mismas componentes a las cuales se les ha aplicado el filtro para eliminar los efectos externos, resaltando las variaciones propias de la zona volcánica. ....	41
<b>Figura 30.</b> Flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) Volcán Galeras – marzo de 2017. ....	42
<b>Figura 31.</b> Flujo de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), velocidad y dirección del viento – marzo de 2017. ....	43
<b>Figura 32.</b> Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 8 de marzo de 2017 capturada por la cámara de Barranco (izquierda) y Bruma (derecha)..	44
<b>Figura 33.</b> Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 14 de marzo de 2017, capturadas por las cámaras Barranco(izquierda) y Bruma(derecha)...	44
<b>Figura 34.</b> Imágenes de emisión de gases del volcán Galeras presentada el 19 de marzo de 2017, capturadas desde la cámara Barranco (izquierda) y Bruma (derecha). ....	45

<b>Figura 35.</b> Imágen de emision de gases del volcán Galeras presentada el 21 de marzo de 2017 a la 1: 48 p.m., capturad desde la cámara Barranco. ....	45
<b>Figura 36.</b> Imágen de emision de gases del volcán Galeras presentada el 25 de marzo de 2017 a las 7:53 a.m., capturada desde la cámara Barranco.....	46
<b>Figura 37.</b> Imágene de emision de gases del volcán Galeras presentada el 26 de marzo de 2017 a las 6:31 a.m., capturada desde la cámara Barranco.....	46
<b>Figura 38.</b> Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2017. ....	48
<b>Figura 39.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2017. ....	49
<b>Figura 40.</b> Ocurrencia diaria de sismos por tipo de evento en el CVC, durante febrero y marzo de 2017. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe. ....	50
<b>Figura 41.</b> Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2017 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2017.....	51
<b>Figura 42.</b> Sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos tipo TOR, registrados en marzo de 2017 en la componente vertical de la estación La Mesa del CVC. ....	52
<b>Figura 43.</b> Localizaciones de VT e HIB registrados en marzo de 2017 en el CVC. ....	53
<b>Figura 44.</b> Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2009 y el 31 de marzo de 2017. ....	54
<b>Figura 45.</b> Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2017. ....	54
<b>Figura 46.</b> Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2017. ....	55
<b>Figura 47.</b> Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017. ....	55
<b>Figura 48.</b> Imágen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 6 y 15 de marzo de 2017 en horas de la tarde, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja. ....	56
<b>Figura 49.</b> Imágenes de emision de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 16 de marzo 2017, capturadas desde el Municipio de Cumbal (izquierda) y Punta Vieja (derecha).....	56

<b>Figura 50.</b> Emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcanico de Cumbal (sector El Verde), el 20 y 24 de marzo de 2017, en horas de la tarde, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja. ....	57
<b>Figura 51.</b> Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha). ....	58
<b>Figura 52.</b> Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de febrero de 2017. ....	59
<b>Figura 53.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en marzo de 2017. ....	61
<b>Figura 54.</b> Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo durante febrero y marzo de 2017 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe. ....	62
<b>Figura 55.</b> Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en marzo de 2017. ....	63
<b>Figura 56.</b> Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2017. ....	64
<b>Figura 57.</b> Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 25 junio de 2014 y el 31 de marzo de 2017. ....	65
<b>Figura 58.</b> Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2017a. ....	65
<b>Figura 59.</b> Temperatura estación Térmica Baño Grande-Volcán Chiles marzo 2017. ...	66
<b>Figura 60.</b> Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufra, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano. ....	68
<b>Figura 61.</b> Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha). ....	69
<b>Figura 62.</b> Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de marzo de 2017. En el mapa se distingue también el volcán Doña Juana. Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos. ....	70
<b>Figura 63.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas en marzo de 2017. ....	71
<b>Figura 64.</b> Localizaciones de sismos VT registrados en marzo de 2017 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas. ....	72

<b>Figura 65.</b> Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el enero de 2014 y marzo de 2017. ....	73
<b>Figura 66.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 16 de diciembre de 2015 y el 15 de marzo de 2017. ....	74
<b>Figura 67.</b> Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas. ....	75
<b>Figura 68.</b> Potencial de hidrógeno de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo de 2017. ....	77
<b>Figura 69.</b> Comportamiento del pH en las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo de 2017. ....	78
<b>Figura 70.</b> Comportamiento de la temperatura en las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo 2017. ....	80
<b>Figura 71.</b> Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo de 2017. ....	81
<b>Figura 72.</b> Comportamiento de la alcalinidad en las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo de 2016. ....	82
<b>Figura 73.</b> Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas. ....	84
<b>Figura 74.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante marzo de 2017. ....	85
<b>Figura 75.</b> Localizaciones de sismos VT registrados en marzo de 2017 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas. ....	86
<b>Figura 76.</b> Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2017. ....	87
<b>Figura 77.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 27 de febrero de 2016 y el 15 de marzo de 2017. ....	88
<b>Figura 78.</b> Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2017. ....	90
<b>Figura 79.</b> Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de marzo de 2017. ....	91
<b>Figura 80.</b> Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante marzo de 2017. ....	91
<b>Figura 81.</b> Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral durante marzo de 2017. ....	92

<b>Figura 82.</b> Comportamiento de las componentes de inclinación Norte y Este, temperatura y voltaje del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para marzo de 2017. ....	94
<b>Figura 83.</b> Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 31 de marzo de 2017. ....	94
<b>Figura 84.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 15 de marzo de 2017. ....	95
<b>Figura 85.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 15 de marzo de 2017. ....	96
<b>Figura 86.</b> Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Laguna instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 14 de junio de 2016 y el 15 de marzo de 2017. ....	96
<b>Figura 87.</b> A la izquierda se tiene el registro de las componentes norte y este de la estación de monitoreo eléctrico Lobo. A la derecha se presentan los registros de las mismas componentes, a las cuales se les ha aplicado un filtro, para eliminar las variaciones externas a los procesos volcánicos. El periodo de registro corresponde a marzo de 2017. ....	97
<b>Figura 88.</b> A la izquierda se muestra el comportamiento de las componentes norte, este y vertical, de las estaciones Lobo y Kourou, durante el mes de marzo de 2017. A la derecha se muestran las mismas componentes a las cuales se les ha aplicado el filtro para eliminar los efectos externos, resaltando las variaciones propias de la zona volcánica. ....	98
<b>Figura 89.</b> Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufra PARA el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2016 y el 31 de enero de 2017. ....	99
<b>Figura 90.</b> Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registradas el 16 de marzo de 2017 en horas de la mañana, capturadas desde la cámara WEB ubicada al suoccidente del volcán. ....	100
<b>Figura 91.</b> Imágen de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 17 de marzo de 2017 a las 6:55 a.m. capturada desde la cámara WEB ubicada al suoccidente del volcán. ....	101
<b>Figura 92.</b> Imágen de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufral registrada el 23 de marzo de 2017 a las 7:15 a.m. capturada desde la cámara WEB ubicada al suoccidente del volcán. ....	101

## LISTA DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en marzo de 2017. ....	20
<b>Tabla 2.</b> Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2017. ....	21
<b>Tabla 3.</b> Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2017. ....	21
<b>Tabla 4.</b> Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en marzo de 2017. ....	22
<b>Tabla 5.</b> Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras. ....	22
<b>Tabla 6.</b> Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras. ....	23
<b>Tabla 7.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Galeras durante febrero y marzo de 2017. ....	24
<b>Tabla 8.</b> Energía de los eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Galeras durante febrero y marzo de 2017. ....	25
<b>Tabla 9.</b> Sismos con ML mayor o igual a 1.0 grado registrados en Galeras en marzo de 2017. ....	27
<b>Tabla 10.</b> Ubicación geográfica estaciones SCANDOAS en Volcán Galeras. ....	42
<b>Tabla 11.</b> Emisión dióxido de azufre a la atmósfera volcán Galeras – mes de marzo 2017. ....	43
<b>Tabla 12.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2017. ....	49
<b>Tabla 13.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC durante febrero y marzo de 2017. ....	50
<b>Tabla 14.</b> Sismos con ML mayor o igual a 1.0 grado registrados en el CVC en marzo de 2017. ....	53
<b>Tabla 15.</b> Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro. ....	59
<b>Tabla 16.</b> Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles. ....	60

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral - marzo 2017

<b>Tabla 17.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2017 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer.....	61
<b>Tabla 18.</b> Sismos con ML mayor o igual a 1.0 grado registrados en Chiles - Cerro Negro en marzo de 2017. ....	63
<b>Tabla 19.</b> Ubicación geográfica fuente termal Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles. ....	66
<b>Tabla 20.</b> Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – marzo 2017. ....	67
<b>Tabla 21.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en febrero de 2017. ....	70
<b>Tabla 22.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2017 en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas. ....	71
<b>Tabla 23.</b> Ubicación geográfica de las fuentes termales en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas. ....	76
<b>Tabla 24.</b> Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.....	78
<b>Tabla 25.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en febrero de 2017.....	84
<b>Tabla 26.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2017 en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas. ....	85
<b>Tabla 27.</b> Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de marzo de 2017. ....	90
<b>Tabla 28.</b> Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2017 en el volcán Azufral.....	92
<b>Tabla 29.</b> Sismos con ML mayor o igual a 1.0 grado registrados en Azufral en marzo de 2017. ....	93
<b>Tabla 30.</b> Valores de temperatura en Domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – Octubre de 2016 a enero de 2017.....	99

## **RESUMEN**

Durante el mes de marzo de 2017, tanto la ocurrencia como la energía sísmica liberada registrada en el volcán Galeras disminuyeron en comparación a los valores registrados en el mes de febrero. Los sismos asociados con fracturamiento de material cortical (VT) seguidos por aquellos asociados a fracturamiento de roca con el consiguiente movimiento de fluidos (Eventos Tipo HIB) fueron los que aportaron el mayor número. Los eventos tipo VT fueron los que aportaron la mayor fracción de energía liberada.

Respecto a la localización de sismos relacionados con fracturamiento de roca (VT) e (HIB) se identifica que algunos sismos se concentraron muy próximos al cono volcánico, a distancias epicentrales menores a 2.0 km y profundidades superficiales por debajo de los 2 km respecto a la cima volcánica – 4276 msnm. El resto de sismos se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico a menos de 15 km de distancia y a profundidades de hasta 17 km respecto a la cima. Las magnitudes calculadas fueron menores a 1.9 en la escala de Richter.

Los sensores que monitorean las deformaciones volcánicas no muestran mayores variaciones en el periodo evaluado, y aquellas variaciones observadas pueden estar asociadas a cambios de temperatura en la zona de instalación de los equipos.

En cuanto a la actividad superficial con base en la información que aportan las imágenes capturadas del cráter activo, fue posible registrar emisiones de gases durante todos el mes, exceptuando el día 31 de marzo de 2017, en su mayoría de coloración blanca; los principales focos de emisión continúan ubicados en el sector norte y occidental de la cima del cono volcánico con dispersión variable debido a la acción de los vientos y con alturas relativamente bajas sobre la cima de Galeras.

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

Con relación al monitoreo del Complejo volcánico de Cumbal, la evaluación de los registros sísmicos en la estaciones instaladas en este volcán muestran que la mayoría de eventos ocurridos se asocian a movimiento de fluidos de fuente transitoria al

interior del sistema volcánico (LPS) seguidos por aquellos asociados a fracturamiento de material cortical con el consiguiente movimiento de fluidos (eventos tipo HIB).

Respecto a la localización de sismos VT e HIB, para el periodo evaluado fue posible localizar 116 sismos, que en su mayoría se ubicaron en inmediaciones de los dos conos activos del complejo volcánico de Cumbal, el cráter La Plazuela al nororiente y el cráter de Mundo Nuevo al suroccidente, a distancias entre cero y 3.0 km con respecto a La Plazuela, magnitud local máxima de 1.0 y profundidades menores de 4 km con respecto a su cima (4700 m). Las magnitudes locales de los eventos localizados estuvieron por debajo de 1.1 en la escala de Richter.

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

La ocurrencia sísmica de los volcanes Chiles y Cerro Negro, en el mes de marzo de 2017 incrementó en un 49% en comparación al mes de febrero, pasando de 217 a 324 sismos. De esta sismicidad fue posible localizar 119 eventos, la mayoría continúan ubicándose hacia el sur del volcán Chiles en territorio Ecuatoriano a distancias epicentrales menores a 6 km, y profundidades menores a 10 km respecto a la cima volcánica (4.700 msnm); unos cuantos sismos fueron localizados dispersos en la zona de influencia de los dos volcanes, a profundidades menores a 17 km y distancias de hasta 16 km respecto al centro del volcán Chiles. La mayoría de eventos tuvo magnitudes por debajo de 1.6 en la escala de Richter.

Respecto a deformación, continúan registrándose los cambios observados en los inclinómetros Chiles y Cerro Negro.

La evaluación del proceso volcánico para los volcanes Chiles – Cerro Negro en marzo de 2017 permitió mantener el NIVEL AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

En los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral se tuvo registro de 4, 4 y 18 eventos sísmicos respectivamente, todos ellos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), los cuales fueron de bajo nivel energético. Los eventos localizados en el volcán Las Ánimas se ubicaron de manera dispersa sobre el edificio volcánico, con magnitudes menores a 1.6 en la escala de Richter. Los eventos registrados en el volcán Doña Juana se localizaron hacia el Nororiente a 4.2 km respecto a los domos del volcán,

a profundidades de hasta 16 km respecto a la cima y con magnitudes locales menores a 1,6 en la escala de Richter.

Los sismos localizados en el Volcán AzufraI se ubicaron dispersos en la zona de influencia volcánica, a distancias menores a 15 km, profundidades de hasta 9 km respecto a la cima (4070 m) y magnitudes locales por debajo de 2.3 en la escala abierta de Richter.

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

## **INTRODUCCIÓN**

Durante el mes de marzo de 2017, el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y sismológico de Pasto (OVSP), continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes Galeras, Cumbal, Chiles y Cerro Negro, Azufral, Doña Juana, y Las Ánimas, mediante el monitoreo continuo y en tiempo real durante las 24 horas del día. Esto permitió evaluar el estado de actividad de cada uno de estos volcanes.

El estado y características de un volcán pueden variar a través del tiempo y es por ello que surge el monitoreo volcánico, el cual consiste en la vigilancia y estudio de los cambios ocurridos en diferentes fases de un volcán, mediante la aplicación de una serie de disciplinas geofísicas y geoquímicas. Cambios en el comportamiento de la actividad son el reflejo de distintos procesos al interior del sistema volcánico y que pueden ser provocados por procesos hidrotermales o magmáticos que conllevan a variaciones de presión-temperatura en el sistema volcánico, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza, movimiento de material fluido (magma, volátiles o gases) desde niveles más profundos a reservorios más someros o a la superficie misma.

El análisis presentado en este informe corresponde a los resultados preliminares derivados a partir del procesamiento de los datos instrumentales y de las observaciones directas de algunas manifestaciones de la actividad volcánica. Se realiza también una recopilación del funcionamiento de los equipos que conforman la red de monitoreo volcánico en sus diferentes áreas.

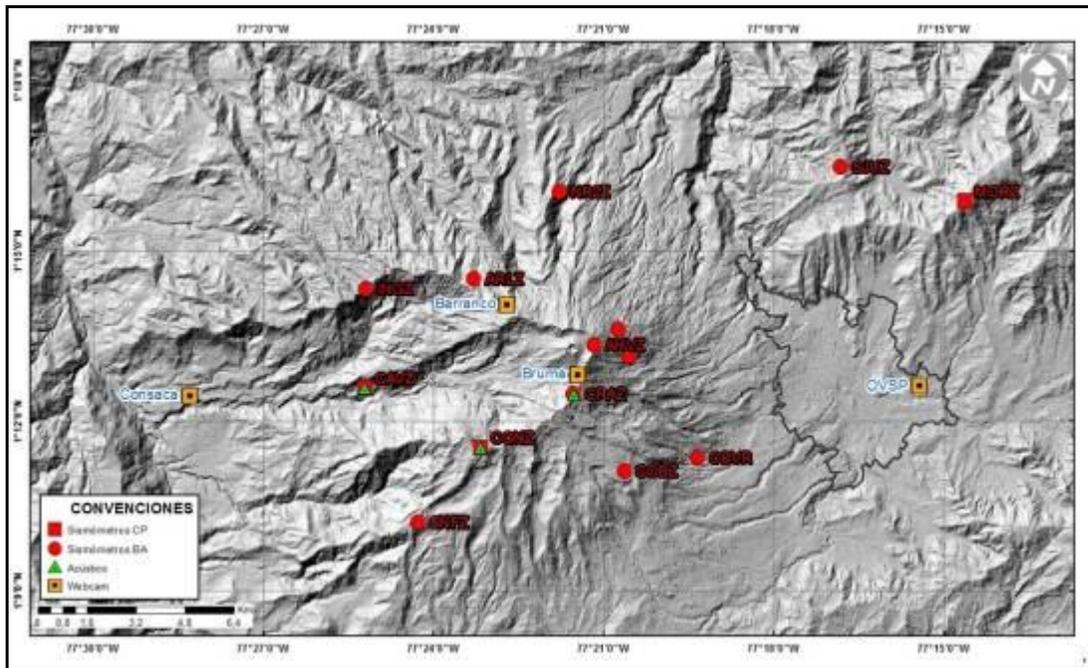
## **1. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – MARZO DE 2017**

### **1.1. RED DE VIGILANCIA**

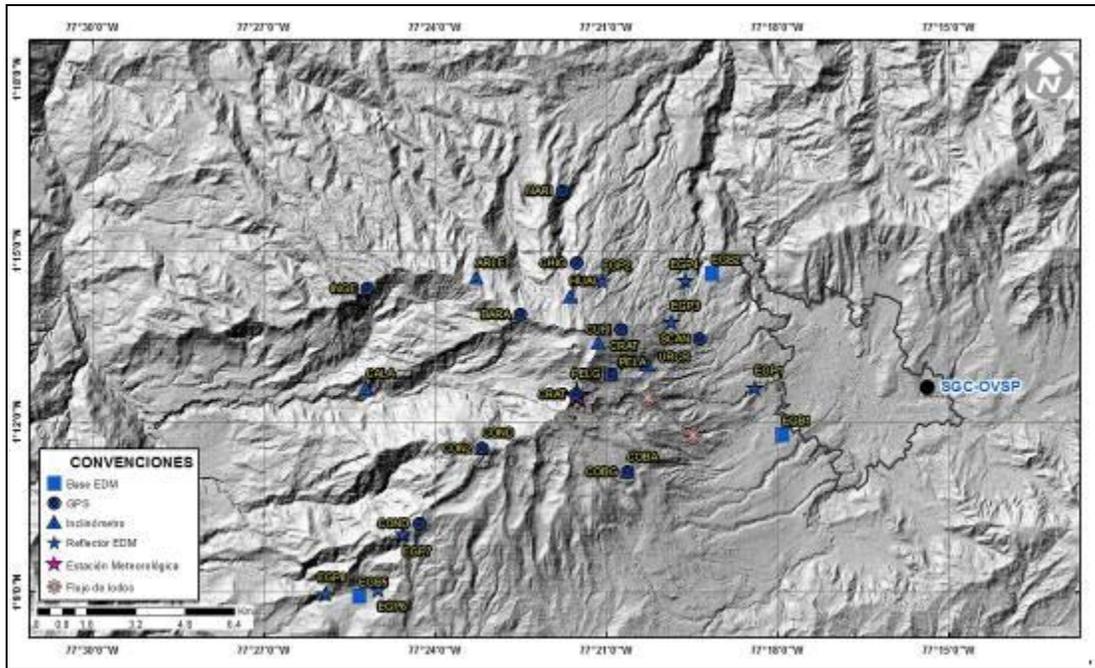
En marzo de 2017 la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Catorce estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: tres de corto periodo y once de banda ancha (Figura 1, Tabla 1).
- Tres sensores de infrasonido, ubicados en los sitios de las estaciones sísmicas Calabozo al occidente, Cráter-2 y Cóndor al sur - suroccidente (Figura 1, Tabla 1).
- Cuatro cámaras de video telemétricas para registro de la actividad superficial, una instalada en la sede del OVSP, otra en la población de Consacá al occidente, otra al noroccidente en Barranco Alto y Bruma al sur del cono activo (Figura 1).
- Ocho inclinómetros electrónicos con transmisión telemétrica (Figura 2, Tabla 2)
- Diez estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, las dos últimas instaladas en los sitios de las estaciones Nariño y Cóndor el 15 y 29 de marzo respectivamente (Figura 2, Tabla 3).
- Cinco bases de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 8 prismas reflectores (Figura 2).
- Una estación meteorológica, conformada con sensores para medición de velocidad y dirección del viento, pluviometría, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa, punto de rocío y temperatura ambiente localizada al sur del cono activo (Figura 2).
- Dos estaciones telemétricas para monitoreo de flujos de lodos, compuestas por un geófono y un pluviómetro, instaladas en la cuenca del río Mijitayo (Figura 2).
- Tres estaciones DOAS telemétricas para detección de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico (Figura 3, Tabla 4).
- Tres estaciones de medición de campo Magnético, Cráter, Frailejón y Barranco y dos estaciones de medición de campo eléctrico en Frailejón y Barranco (Figura 3, Tabla 5).

- Tres estaciones telemétricas para la medición de emisiones del isótopo de gas Radón ( $Rn-222$ ) proveniente del suelo denominadas Lavas 1, Parques y Lirios ubicadas hacia el sector oriental del volcán (Figura 3, Tabla 6).



**Figura 1.** Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2017.



**Figura 2.** Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2017.

**Tabla 1.** Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en marzo de 2017.

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Cóndor	COND	Digital	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	4,4	SW	3977
Calabozo	CAVZ	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	6,9	WSW	2313
Morasurco	MORZ	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	13,7	ENE	3504
Anganoy	ANGV	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	0,7	E	4227
Cufiño	CUVZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1,4	ENE	3828
Cráter	CRAZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1,5	S	4032
Urcunina	URCR	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,4	ESE	3494
Arlés	ARLZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	3450
Cobanegra	COB3	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4,3	SSE	3625
Nariño-2	NR2Z	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,2	NNW	2856
Obonuco	OBVR	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,4	SE	3021
Ingenio	INGZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7	WNW	2890
San Felipe	SNFZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,6	SW	3491
San Juan	SJUZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	10,6	ENE	2898
Cóndor	CONA	Digital	Sensor de Presión Acústica	4 Entradas	4,4	SW	3977
Cráter	CRAC	Digital	Sensor de Infrasonido	4 Entradas	1,5	S	4032
Calabozo	CAMI	Digital	Sensor de Infrasonido	4 Entradas	6,9	WSW	2313

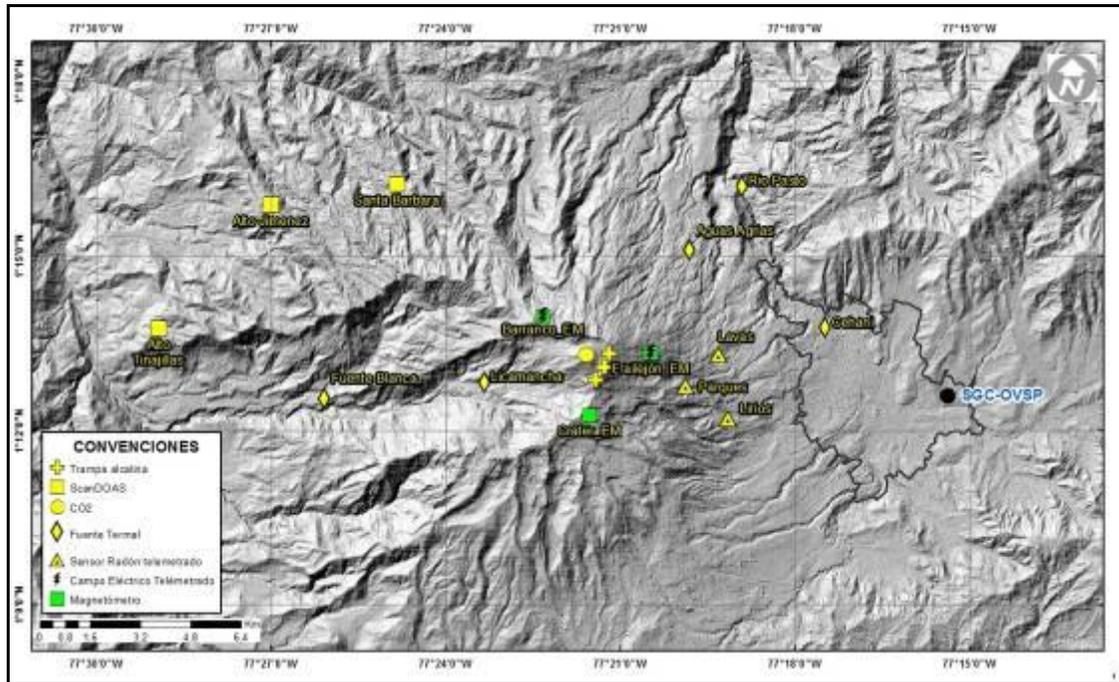
## Servicio Geológico Colombiano

**Tabla 2.** Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2017.

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

**Tabla 3.** Estaciones GNSS telemétricas que conformaron parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en marzo de 2017.

Estaciones GNSS	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Peladitos	1,4	SE	3850
Cráter	1,5	S	4048
Cufiño	1,9	ENE	3800
Barranco	2,6	NW	3904
Chiguaco	2,8	NNE	3513
San Cayetano	4,1	E	3035
Ingenio	7,0	WNW	2907
Cóndor	7,6	SW	3520



**Figura 3.** Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico, Trampa Alcalina, ScanDOAS y fuentes termales que conformaron la red de vigilancia de Galeras en marzo de 2017.

**Tabla 4.** Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en marzo de 2017.

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

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

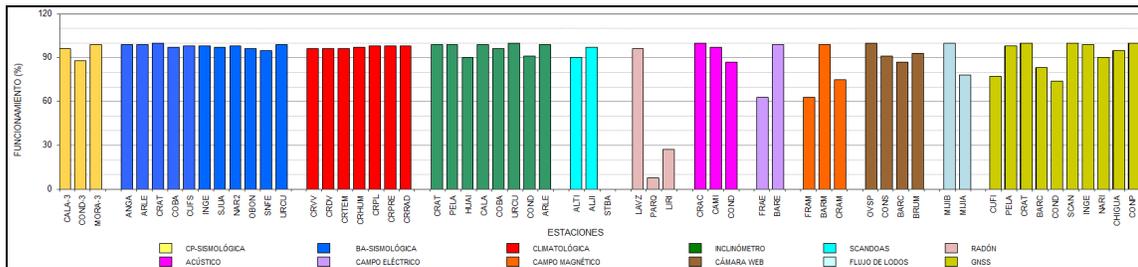
**Tabla 5.** Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras.

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

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

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Parques	3,6	ESE	3358
Lava1	4,5	E	3053
Lirios	4,7	SE	3000

Durante marzo de 2017, la operatividad de la red instrumental de Galeras fue del 89,4%, garantizando la obtención de información confiable para la evaluación de la actividad volcánica. La Figura 4, muestra el histograma con el porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo volcánico.



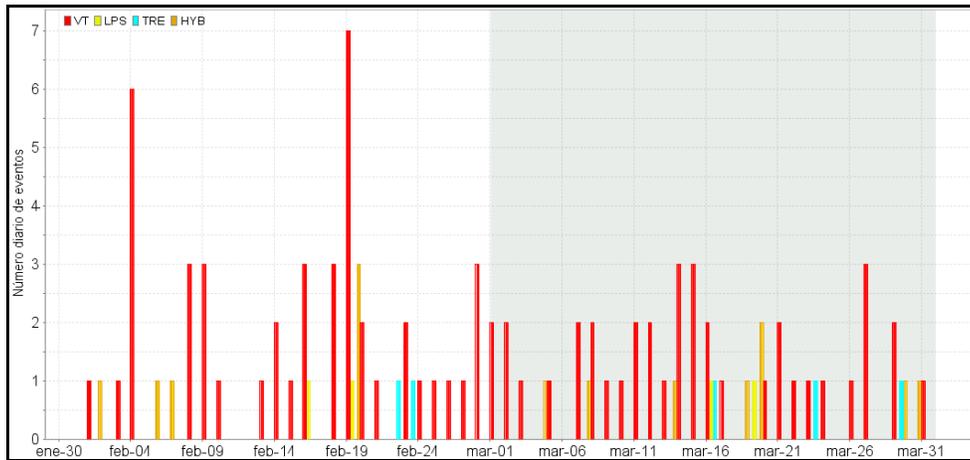
**Figura 4.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en marzo de 2017.

## 1.2 SISMOLOGÍA

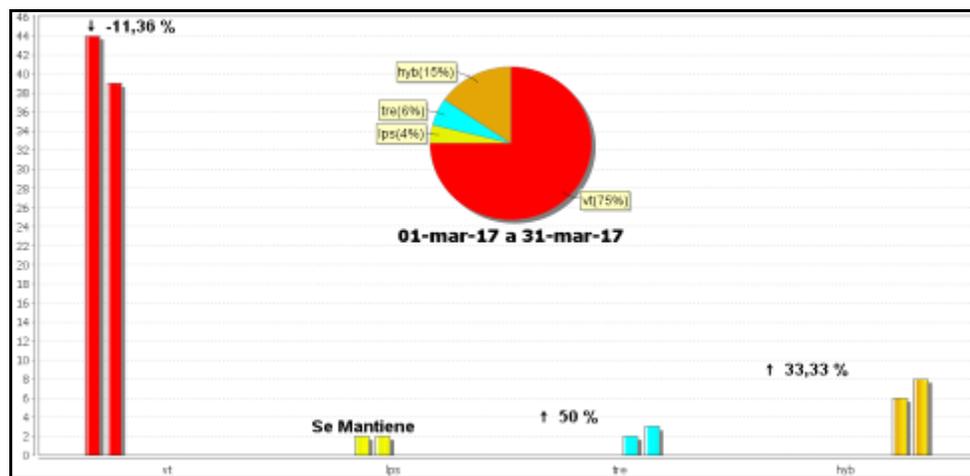
Con relación al mes de febrero, la ocurrencia sísmica de marzo de 2017 mostró una leve disminución del 4%, pasando de un total de 54 a 52 eventos. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 39 sismos que representan el 75% del total, seguida por la sismicidad de tipo híbrido (HIB) que involucra fractura de roca seguida por tránsito de fluidos, con 8 sismos que representan el 15%. Los eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP) o de fuente permanente (TRE) tuvieron una baja ocurrencia, registrando 2 y 3 eventos respectivamente que representan el 4% y 6% del total. Los sismos de tipo VT disminuyeron su número un 11% pasando de 44 a 36 eventos, los sismos de tipo LP mantuvieron su ocurrencia, los sismos de tipo TRE e HIB aumentaron levemente su número. El número diario máximo de sismos fue de 4 y se registró en los días 16 y 29 de marzo (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

**Tabla 7.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Galeras durante febrero y marzo de 2017.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Febrero de 2017	44	2	2	6	54
Marzo de 2017	39	2	3	8	52



**Figura 5.** Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante febrero y marzo de 2017; el recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.



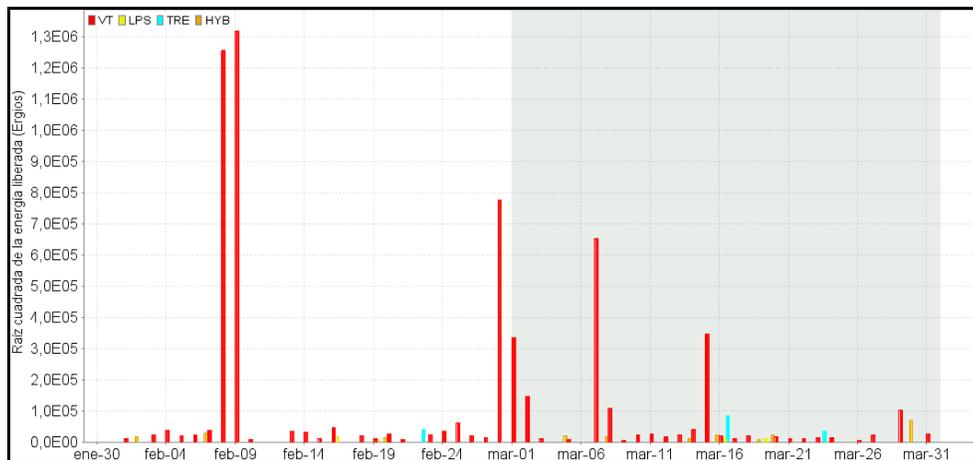
**Figura 6.** Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2017 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2017.

En comparación con febrero, la energía sísmica de marzo mostró una disminución del 81.6%, pasando de  $3.94 \times 10^{12}$  ergios a  $7.26 \times 10^{11}$  ergios. Se mantuvo el predominio energético de los eventos de tipo VT con el 98% de la energía sísmica del mes de marzo, los otros tipos de eventos tuvieron una energía tan baja que el aporte escasamente llega al 1% del total de la energía liberada mensual. Los sismos de tipo VT disminuyeron su energía un 82%, pasando de  $3.94 \times 10^{12}$  ergios a  $7.10 \times 10^{11}$  ergios, los sismos tipo LP también disminuyeron su energía un 26%, pasando de  $3.93 \times 10^8$  ergios a  $2.89 \times 10^8$  ergios. Los sismos de tipo TRE incrementaron su energía 5 veces, pasando de  $1.70 \times 10^9$  ergios a  $8.42 \times 10^9$  ergios y los sismos de tipo HIB también incrementaron su energía 5.4 veces, pasando de  $1.28 \times 10^9$  ergios a  $6.96 \times 10^9$  ergios.

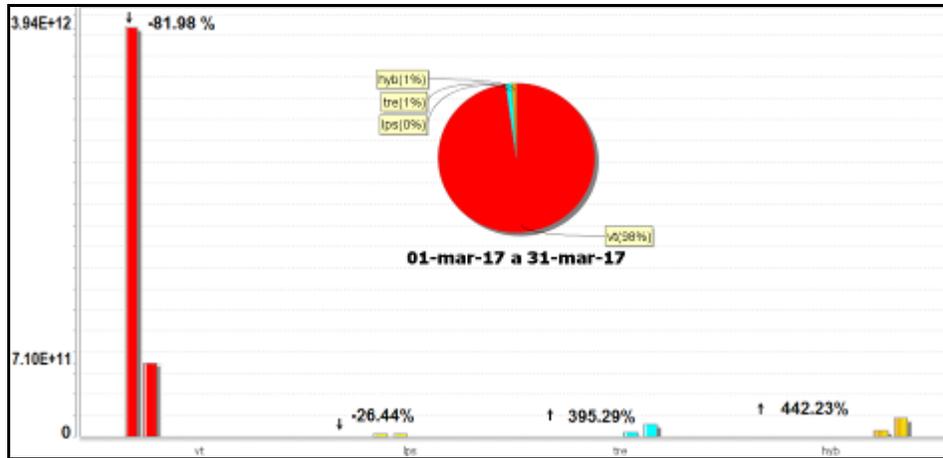
En marzo 7 se registró el pico energético del mes con un valor de  $4.27 \times 10^{11}$  ergios, debido a 3 sismos, un VT y un HIB de baja energía y un VT energético, registrado a las 04:36 hora local con magnitud local de 1.9 en la escala de Richter; este pico energético representa el 59% de la energía sísmica del mes de marzo (Tabla 8, Figura 7 y Figura 8).

**Tabla 8.** Energía de los eventos volcánicos por tipo, ocurridos en Galeras durante febrero y marzo de 2017.

Periodo Evaluado	Energía de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Febrero de 2017	3.94E+12	3.93E+08	1.70E+09	1.28E+09	3.94E+12
Marzo de 2017	7.10E+11	2.89E+08	8.42E+09	6.96E+09	7.26E+11

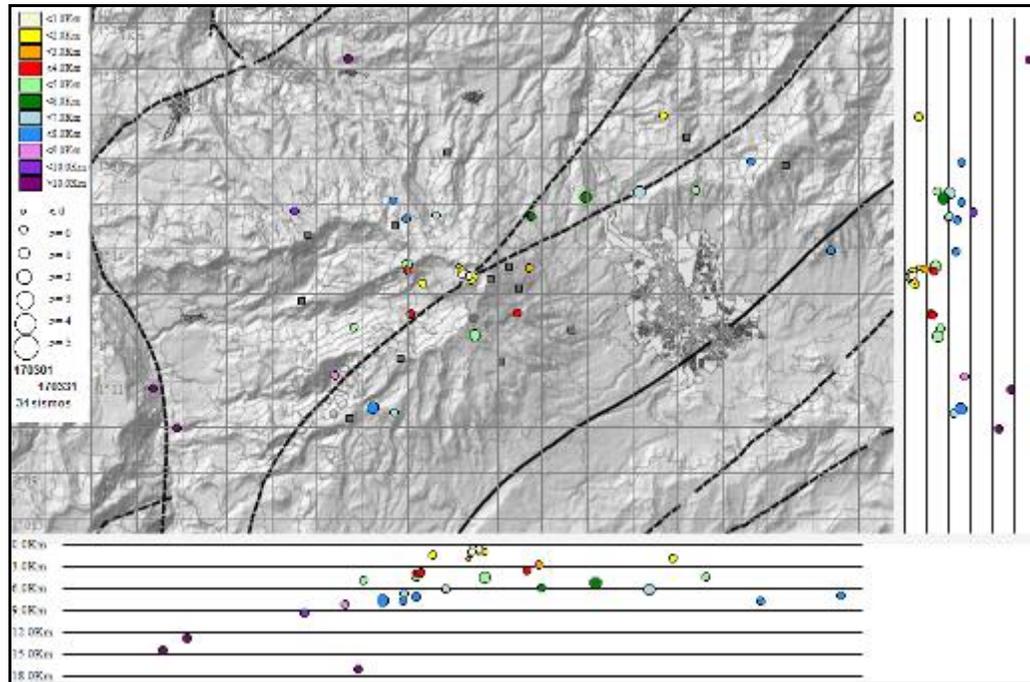


**Figura 7.** Energía diaria liberada en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante febrero y marzo de 2017; el recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.



**Figura 8.** Comparación de la energía de los sismos por tipo entre febrero y marzo de 2017 y estadísticas de la energía sísmica por tipo para marzo de 2017.

Se localizaron 34 sismos, 32 de tipo VT y 2 de tipo HIB, 9 de los cuales se ubicaron en cercanías del cráter activo en profundidades menores de 2 km con respecto a su cima (4270 msnm) y magnitud local máxima de 0.5 en la escala abierta de Richter. El resto de sismos se localizó de forma dispersa en la zona de influencia de Galeras a distancias entre 2 y 15 km y profundidades entre 1.5 y 17 km, con magnitud local máxima de 1.9 en la escala abierta de Richter. El sismo de mayor magnitud de marzo se registró el día 7 a las 04:36 hora local, a una distancia de 7 km al suroccidente del cráter activo, con profundidad de 7.7 km y magnitud local de 1.9, este sismo no fue reportado como sentido (Figura 9).



**Figura 9.** Localizaciones de sismos VT e HIB en la zona de influencia de Galeras durante marzo de 2017.

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 5 sismos con magnitud local igual o superior a 1.0 grado, en la tabla 9 se consignan sus características de localización.

**Tabla 9.** Sismos con ML mayor o igual a 1.0 grado registrados en Galeras en marzo de 2017.

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
01/03/2017	14:26	1-12.08	77-21.51	4.5	1.3
01/03/2017	19:05	1-15.26	77-17.86	6.3	1.5
07/03/2017	04:36	1-10.45	77-23.77	7.7	1.9
08/03/2017	00:10	1-15.15	77-19.04	5.4	1.0
15/03/2017	18:47	1-13.64	77-23.02	4.2	1.5

### 1.3 DEFORMACIÓN

En el mes de marzo de 2017, la red de deformación estuvo conformada por 10 inclinómetros electrónicos (Cráter, Peladitos, Huairatola, Urcunina, Calabozo, Cóndor,

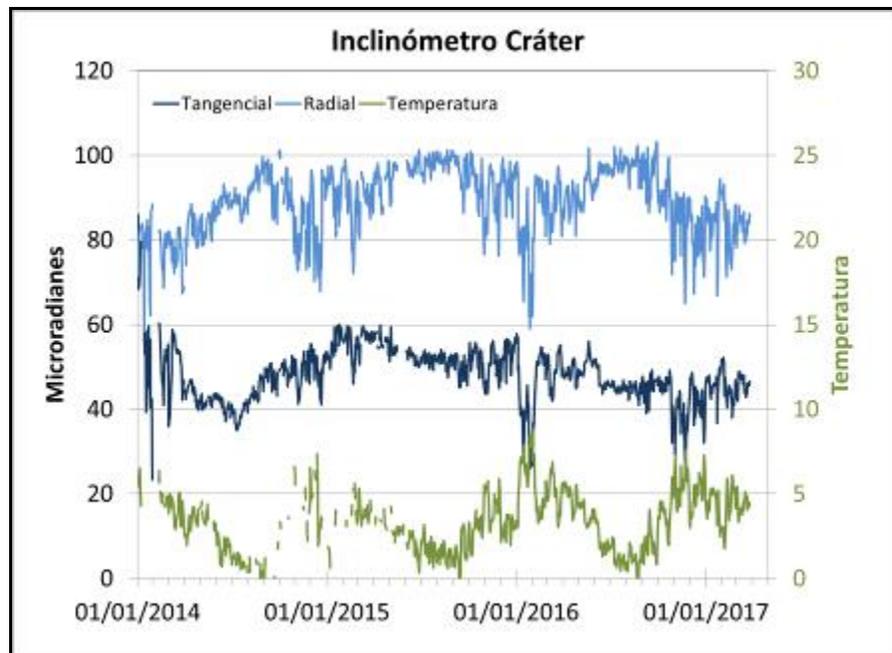
Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y Azufra - marzo 2017

Cobanegra, Arlés, Nariño y Condor-2), una red de EDM (para el mes en evaluación no se ocupó) y 8 GNSS permanentes y telemétricos (Cráter, Barranco, San Cayetano, Chiguaco, El Ingenio, Cóndor, Cufiño y Peladitos) (Figura 2); el 15 y 29 de marzo, del presente año, se instalaron los GNSS Nariño y Condor-2, respectivamente.

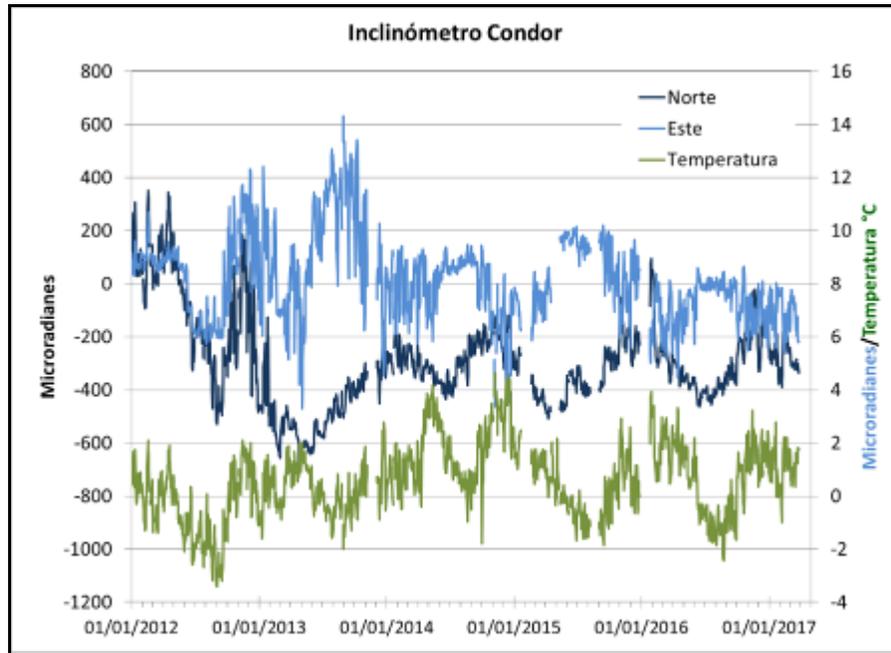
Teniendo en cuenta que los procesos de deformación del volcán se pueden dar en un tiempo considerable, en este informe se presenta el análisis del comportamiento registrado por los sensores instalados por periodos de cambios que van entre 2 y 6 años.

### 1.3.1 Inclinometría Electrónica

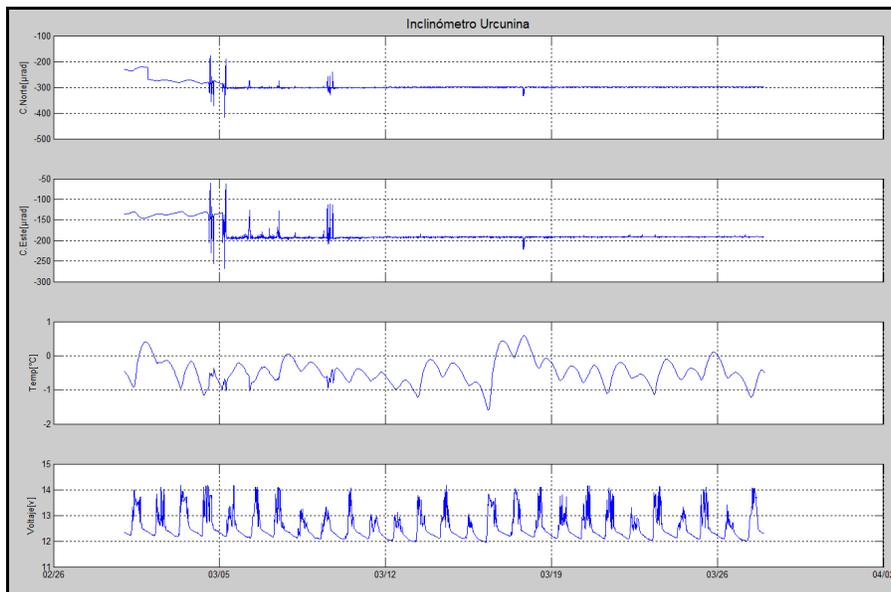
El comportamiento de los inclinómetros Cráter y Cóndor continúa estable, con variaciones que se asocian a los cambios de temperatura de la zona y al sistema de alimentación (Figuras 10 y 11). El inclinómetro Huairatola, desde el 4 de marzo del 2017, muestra problemas en sus componentes de inclinación que pueden obedecer a problemas electrónicos (Figura 12).



**Figura 10.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017.

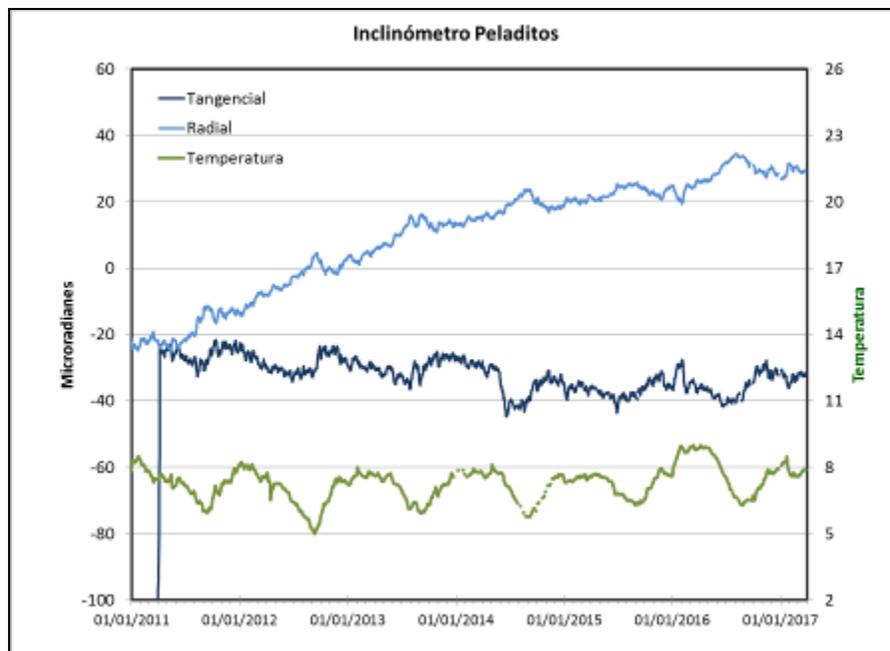


**Figura 11.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cónдор, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 31 de marzo de 2017.

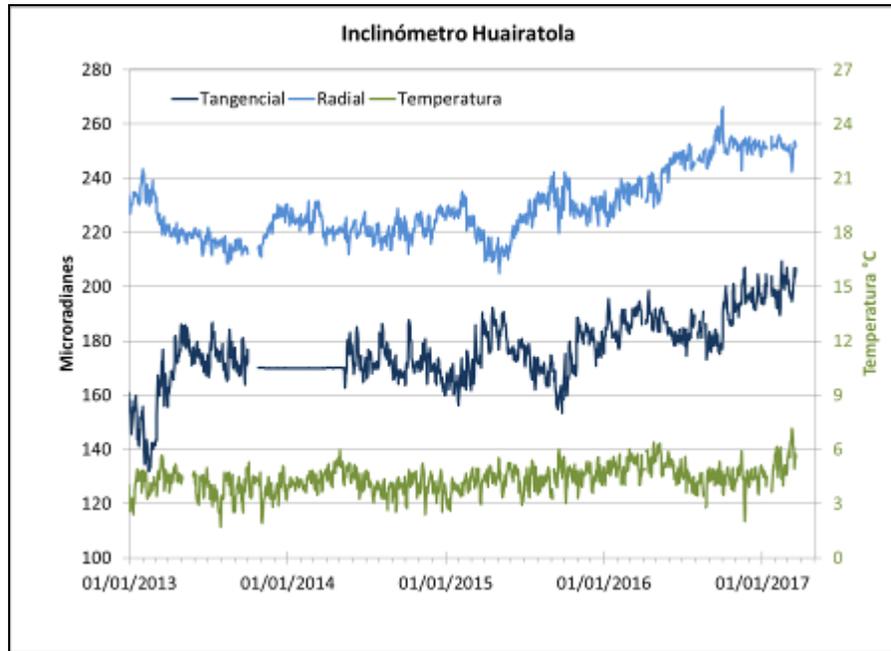


**Figura 12.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2017 y el 31 de marzo de 2017.

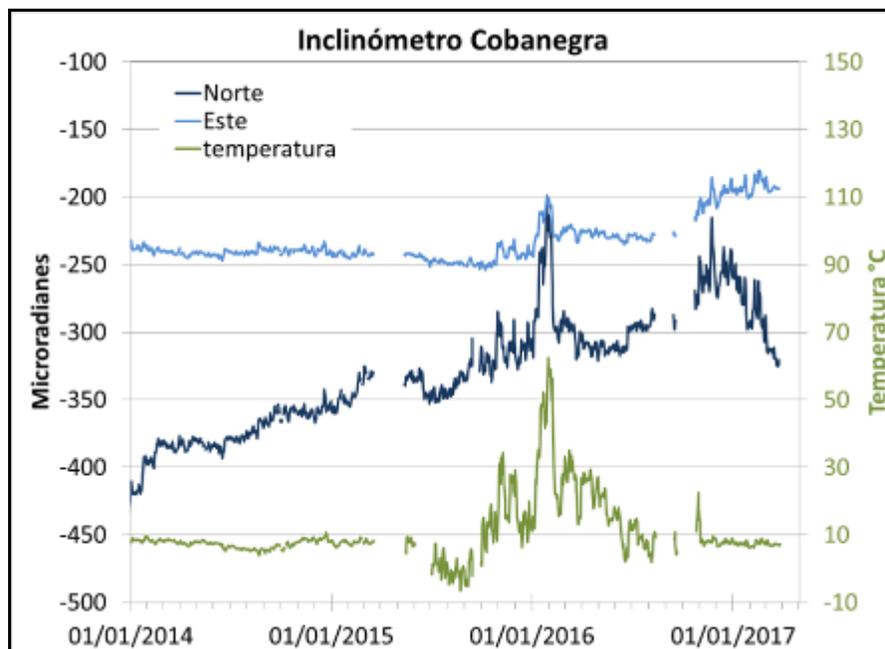
Los inclinómetros Peladitos, Huairatola, Cobanegra, Arlés y Calabozo, vienen presentando cambios en sus componentes, que se ven afectadas por las variaciones de temperatura, pero la tendencia en general puede estar asociada con la actividad volcánica. La componente de inclinación Tangencial de Peladitos presenta una leve tendencia descendente acumulando unos 20  $\mu\text{rad}$  desde 2011 hasta la fecha, y para el mismo periodo la componente Radial, tiene tendencia ascendente de unos 50  $\mu\text{rad}$  (Figura 13). El inclinómetro Huairatola, desde mediados del 2015, está indicando en su componente Radial y tangencial tendencias ascendentes acumulando hasta la fecha aproximadamente 40  $\mu\text{rad}$  en cada una de ellas (Figura 14). En Cobanegra continua el comportamiento ascendente en la componente Norte, reportada desde principios del 2014 con cerca de 100  $\mu\text{rad}$ , y en la componente Este, a partir de enero de 2016, con 50  $\mu\text{rad}$  (Figura 15). El inclinómetro Calabozo, desde septiembre de 2015 tuvo un cambio de tendencia de ascendente a descendente, acumulando hasta la fecha aproximadamente 110  $\mu\text{rad}$ , en cada una de ellas (Figura 16). El inclinómetro Arlés (Figuras 17), desde julio de 2014 indica en su componente Norte una leve tendencia ascendente que acumula hasta la fecha cerca de 70  $\mu\text{rad}$  y su componente Este, para el mismo periodo una tendencia descendente de unos 100  $\mu\text{rad}$ , algunas de estas fluctuaciones pueden estar asociadas a los cambios de temperatura ambiente.



**Figura 13.** Componentes de inclinación Radial y Tangencial ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero 2011 y el 31 de marzo de 2017.



**Figura 14.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2017.



**Figura 15.** Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017.

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y Azúfral - marzo 2017

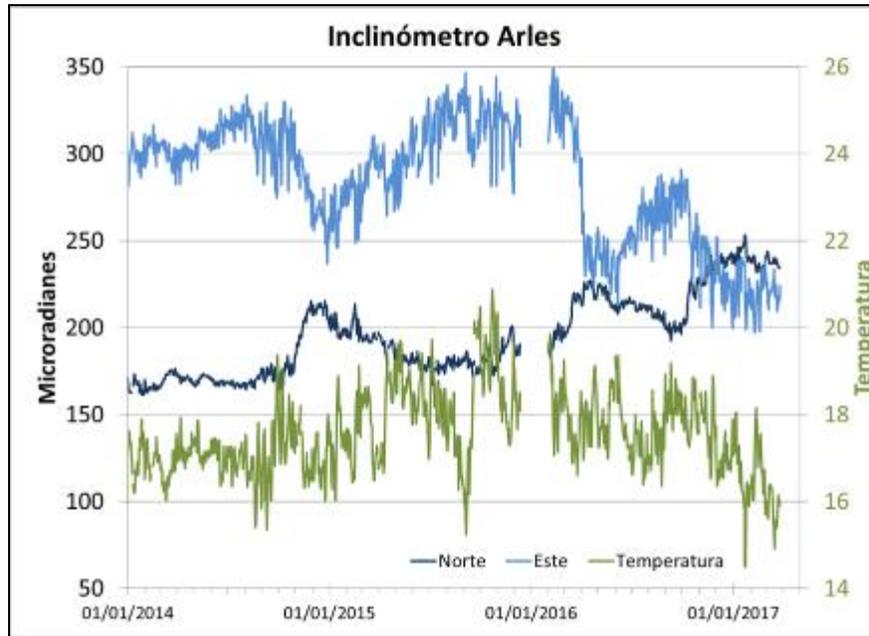


Figura 16. Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Arlés, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017.

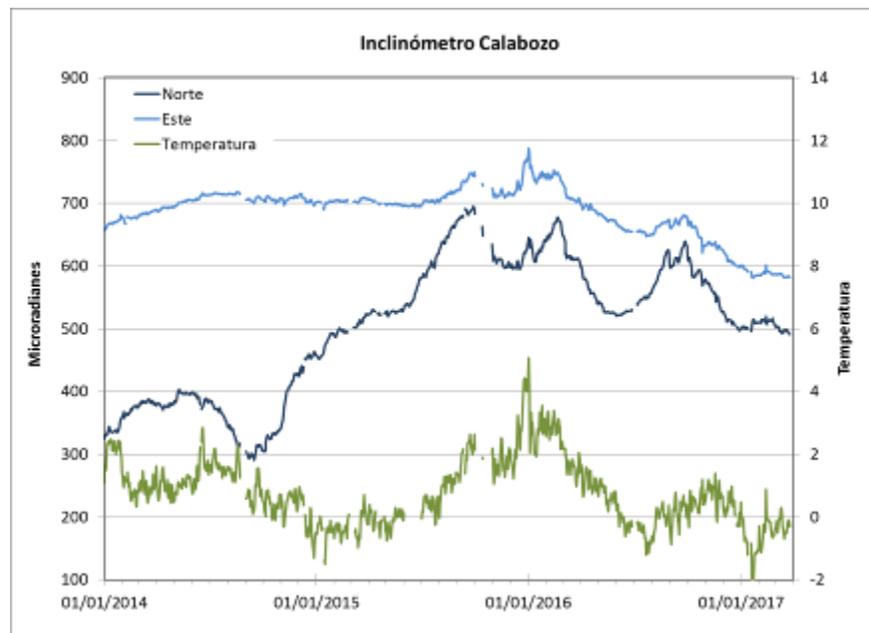


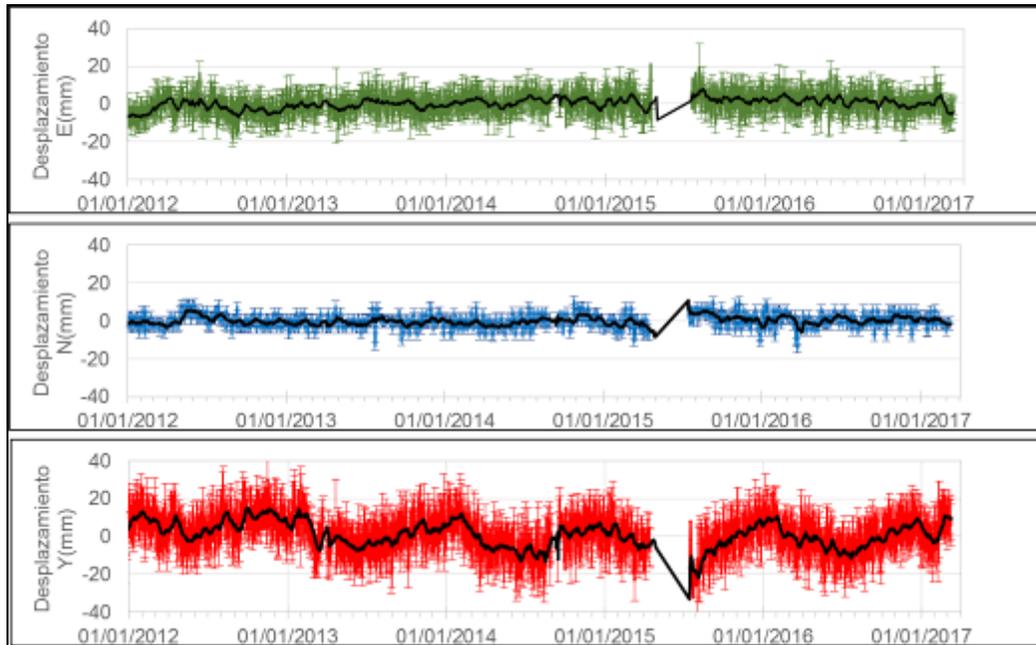
Figura 17. Componentes de inclinación Norte y Este ( $\mu\text{rad}$ ) del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017.

### 1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

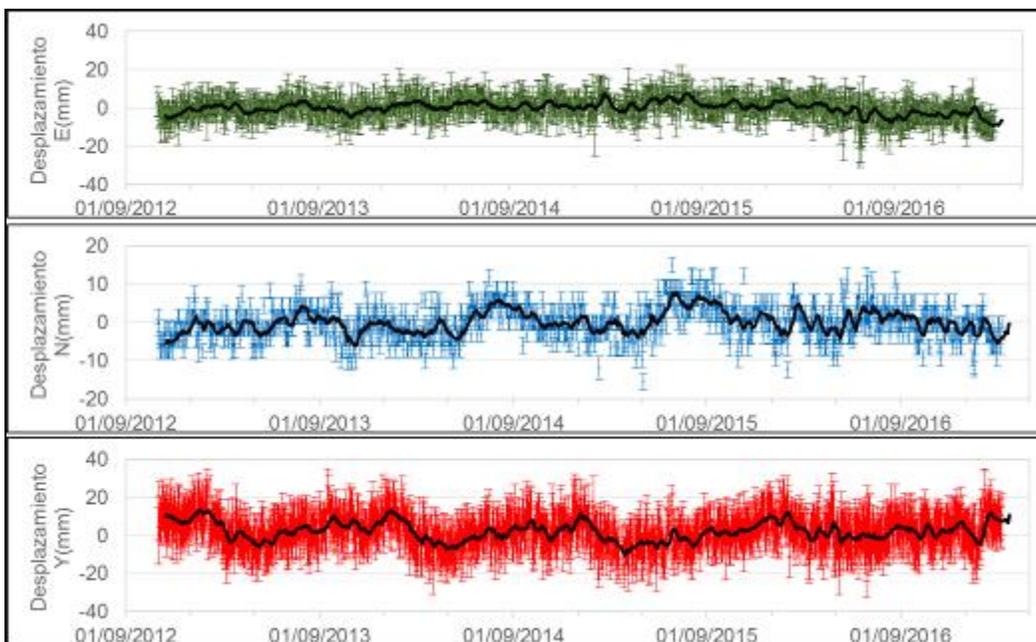
Los GNSS Cráter y Barranco se instalaron en agosto y octubre de 2011 respectivamente, San Cayetano, en octubre de 2012, las estaciones Chiguaco e Ingenio se instalaron en abril de 2014, Córdor se reinstaló en febrero de 2015, Cufiño y Peladitos se instalaron en octubre de 2016, Nariño y Condor-2, en marzo de 2017.

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las Figuras 18 a 25, se indica el comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de los GNSS instalados en Galeras.

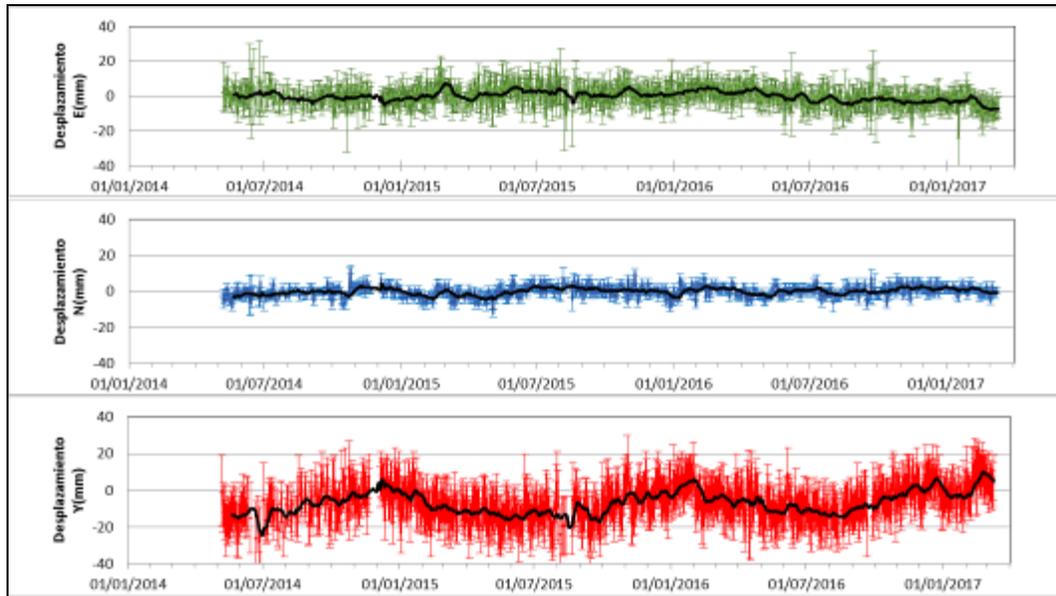
En general en todas las estaciones de GNSS, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento. La estación de referencia para la red de Galeras es el GNSS QUILL (Figura 25), ubicado fuera del edificio volcánico de Galeras, en el aeropuerto Antonio Nariño a 20.6 km de distancia respecto al cráter, instalado por el Proyecto Geored, del Servicio Geológico Colombiano; la componente Norte de este GNSS indica el movimiento de la Placa Tectónica Suramericana en la cual se encuentra situada Colombia, con un desplazamiento acumulado cercano a los 20 mm por año. Esta tendencia se remueve en las componentes Norte de las estaciones de la red de GNSS en Galeras.



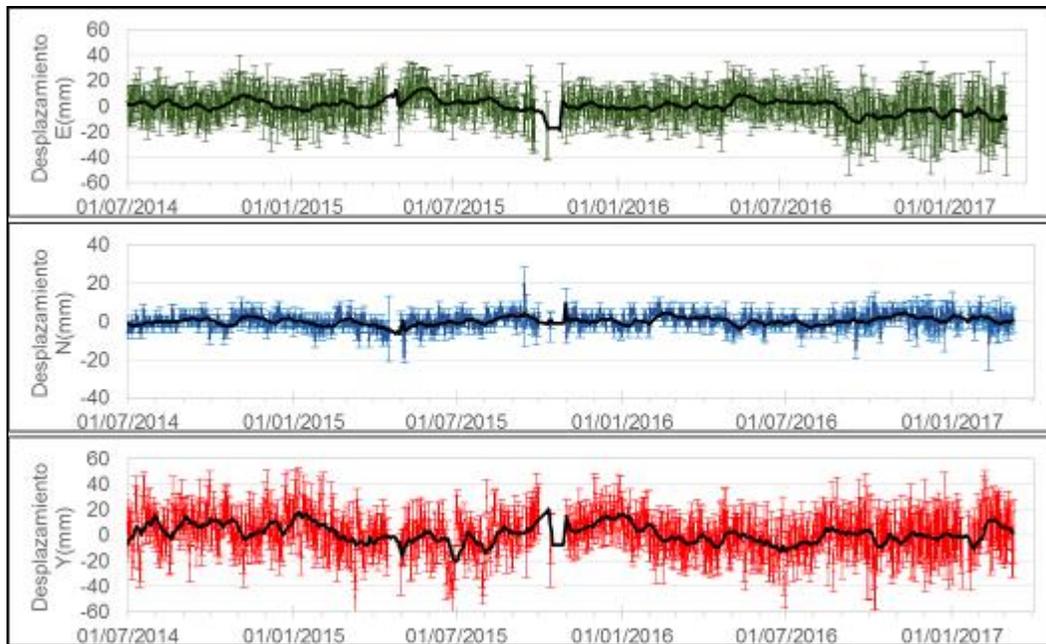
**Figura 18.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Barranco instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 15 de marzo de 2017.



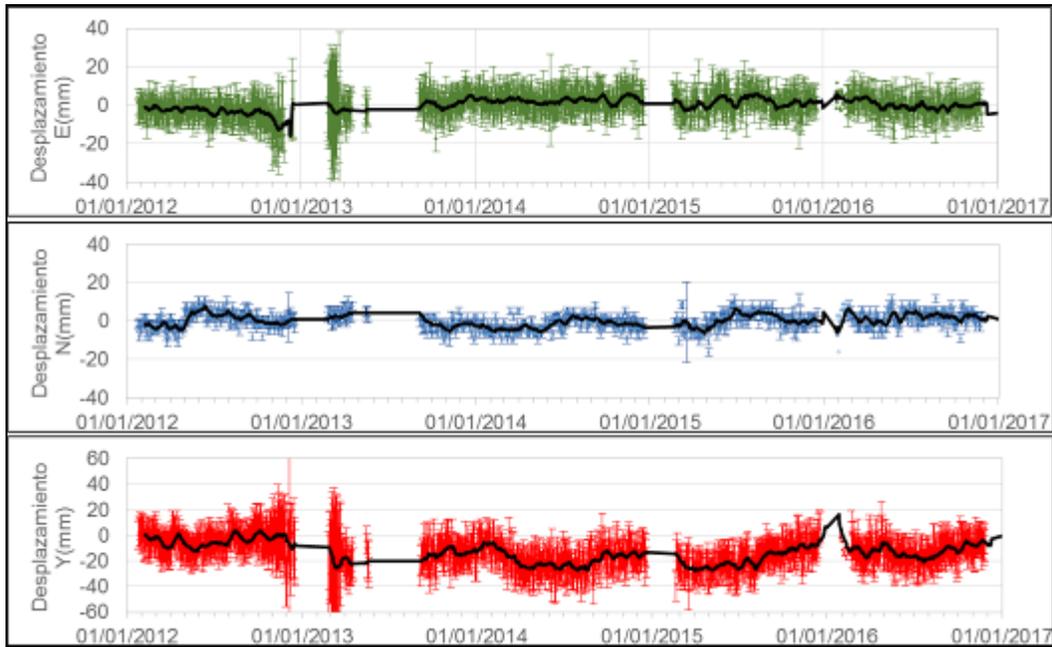
**Figura 19.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS San Cayetano instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 31 de octubre de 2012 y el 15 de marzo de 2017



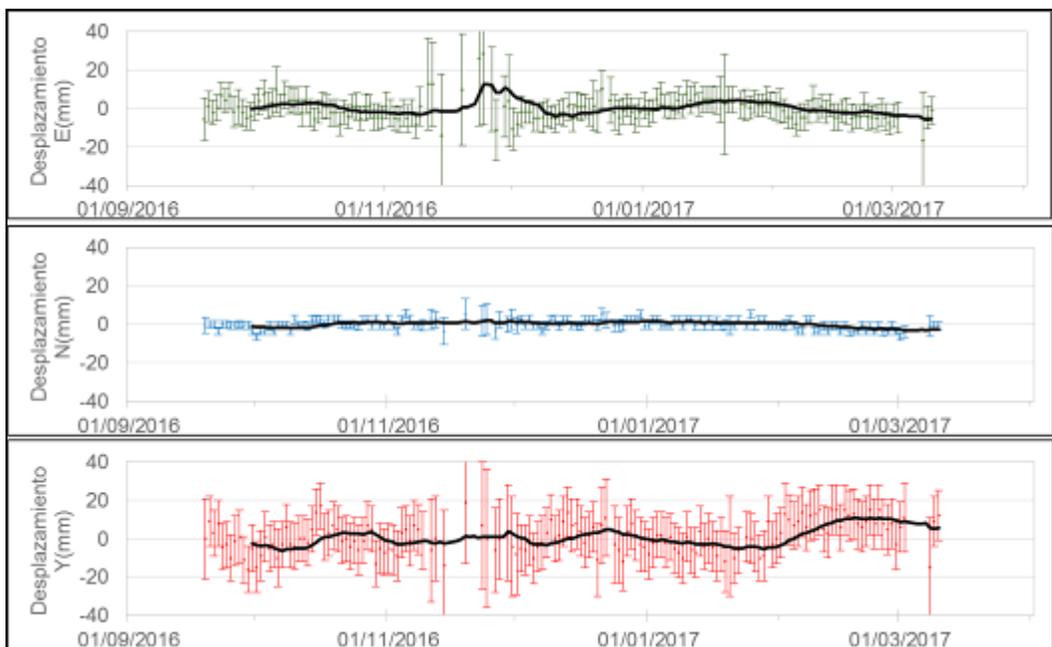
**Figura 20.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Chiguaco instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 7 de mayo de 2014 y el 15 de marzo de 2017.



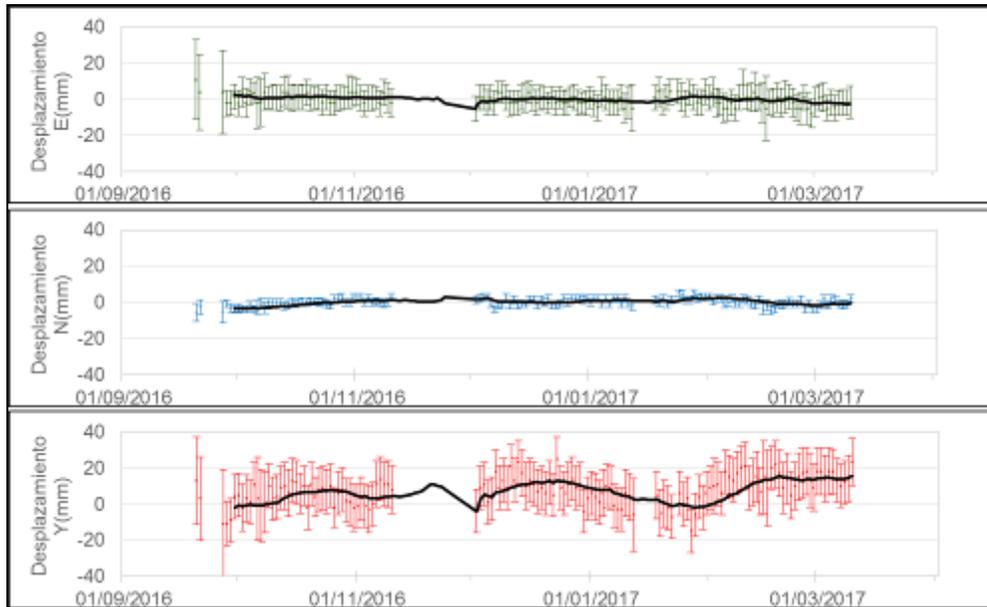
**Figura 21.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Ingenio instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2014 y el 15 de marzo de 2017.



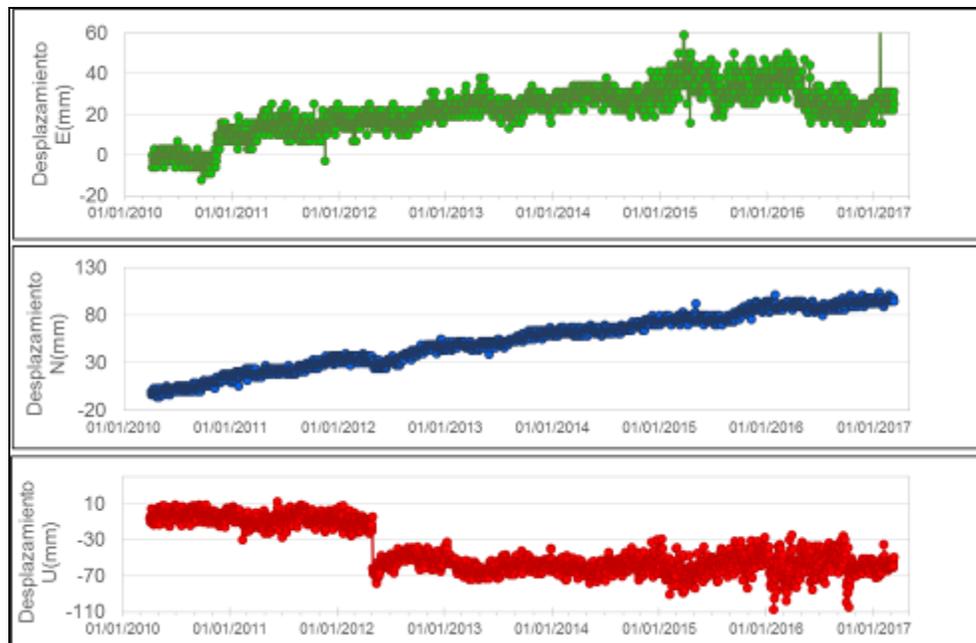
**Figura 22.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Córdor instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2012 y el 15 de marzo de 2017.



**Figura 23.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Cufiño instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y marzo de 2017.



**Figura 24.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Peladitos instalada en Galeras, para el periodo comprendido entre septiembre y marzo de 2017.



**Figura 25.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Quill instalada en el aeropuerto Antonio Nariño, en el Municipio de Chachagüí, Departamento de Nariño, para el periodo comprendido entre febrero de 2010 y el 15 de marzo de 2017.

### 1.3.3 Medición Eléctrica de Distancias EDM

Para éste periodo no se realizaron medidas de EDM en Galeras.

### 1.4 ELECTROMAGNETISMO

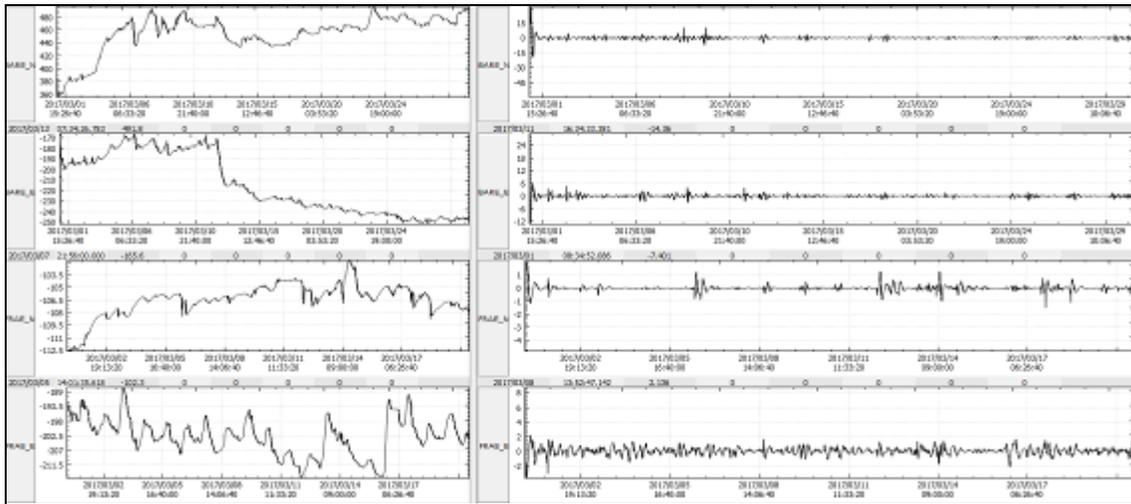
El monitoreo electromagnético en la zona de influencia del volcán Galeras, para el mes de marzo de 2017, se adelantó con el registro de campos eléctricos en la estaciones de Barranco y, Frailejón solamente hasta el 20 de marzo, cuando, luego de una tormenta eléctrica la estación salió de funcionamiento. De igual manera, la estación magnética en Frailejón, registró solamente hasta el 20 de marzo y la de Cráter comenzó a registrar desde el 8 de marzo, día en el que se realizaron trabajos correctivos en esta estación.

Los sensores de monitoreo eléctrico en la zona de influencia de Galeras muestran, adicionalmente a los efectos de las mareas terrestres (variaciones día-noche), una fuerte influencia por los efectos de los procesos hídricos, debido a las fuertes lluvias del mes de marzo en la zona (Figura 26).



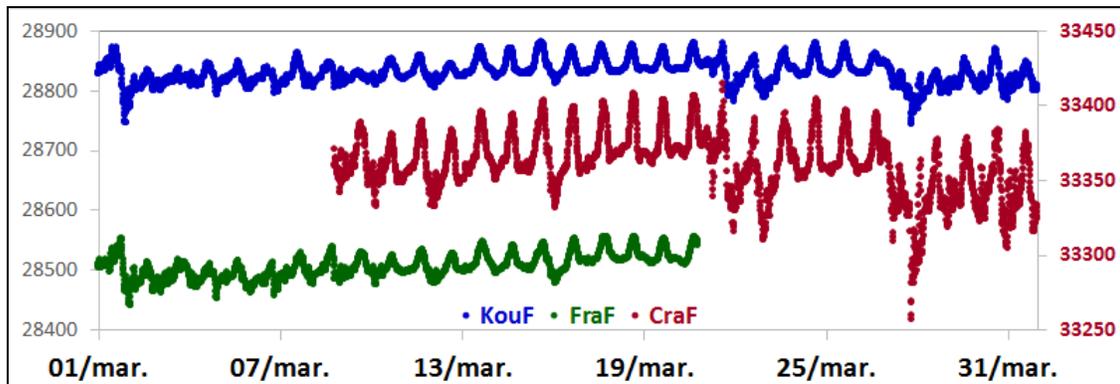
**Figura 26.** Variaciones de la resultante horizontal de las componentes eléctricas, en la zona del volcán Galeras, con los registros en las estaciones Frailejón (verde) y Barranco (rojo), y comparadas con el comportamiento de las lluvias (Pluviómetro en azul), para el periodo de marzo de 2017.

El procesamiento detallado de los datos, a partir de filtrar los efectos de variaciones externas, se obtuvieron las variaciones eléctricas de la zona, verificando que éstas están en un rango entre  $\pm 5$  mV, valores que son muy bajos para una zona volcánica (Figura 27).



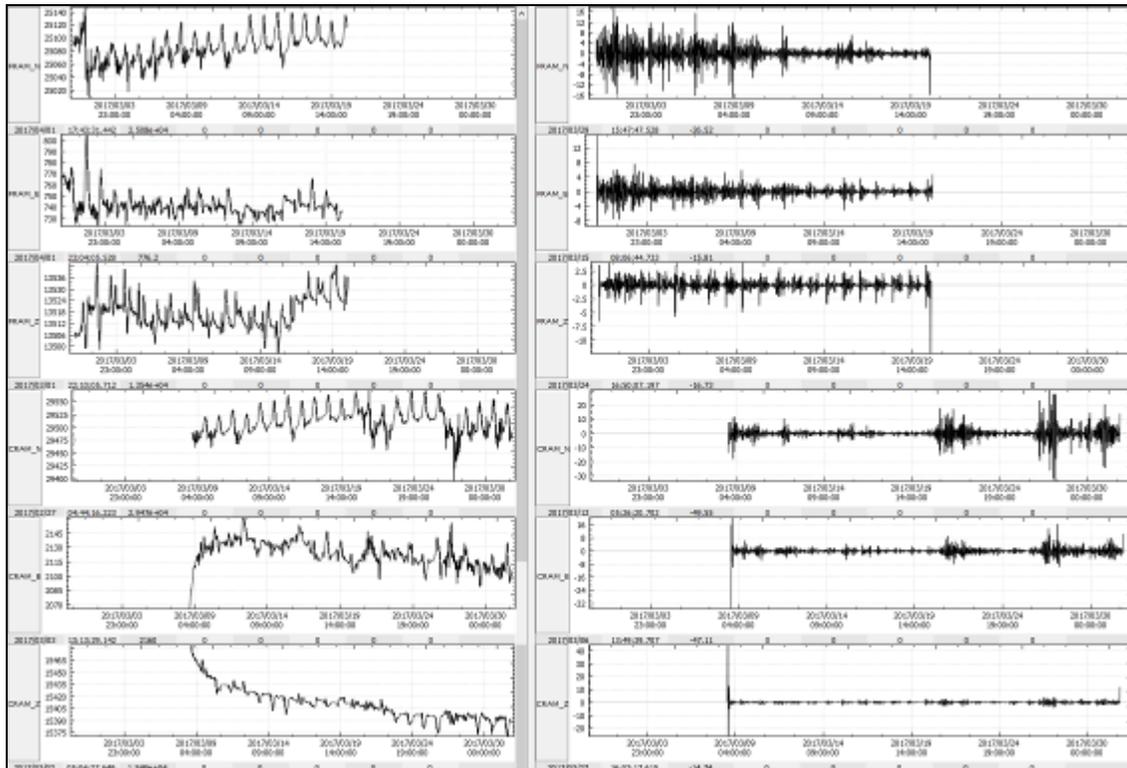
**Figura 27.** A la izquierda se tiene el registro de las componentes norte y este de las estaciones de monitoreo eléctrico Frailejón y Barranco y a la derecha se presentan los registros de las mismas componentes, a las cuales se les ha aplicado un filtro, para eliminar las variaciones externas a los procesos volcánicos. El periodo de registro corresponde a marzo de 2017.

La información del Campo Magnético Terrestre total (F), registrado las estaciones con sensores magnéticos de Frailejón y Cráter, ubicados en la zona de influencia del volcán Galeras; en comparación con el registro de la estación de Kourou, perteneciente a la red de monitoreo magnético global, del Instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (La estación se ubica en Guayana Francesa), permiten identificar de manera predominante las variaciones periódicas, originadas por la influencia de campos externos, donde se identifican periodos del campo geomagnético de 12 horas, 1 día y 27 días, relacionadas con la rotación de la Tierra y la influencia del Sol y la Luna (Figura 28), que son ondulaciones muy bien definidas en los registros. Se identifican también variaciones asociadas con tormentas magnéticas, que son perturbaciones intempestivas del campo, que pueden durar horas o días y modifican el campo en cientos de nano Teslas (nT) y que alteran las ondulaciones cíclicas de los periodos recurrentes; para el mes de marzo, se resaltan tormentas menores el 1, 21 y 27 de marzo de 2017 (Figura 28).



**Figura 28.** Campo magnético total (F), registrado en las estaciones de Frailejón (FraF-verde), Cráter (CraF-rojo) y Kourou (KouF-azul), para el mes de marzo de 2017, donde se resalta la correspondencia en la ocurrencia de las tormentas magnéticas. La escala de medición para las tres series de tiempo está dada en nano Teslas (nT), la escala de Cráter, corresponde a la escala de la derecha, en tanto que la de Frailejón y Kourou está en la escala de la derecha.

Se realizó un proceso de filtrado de datos, eliminando los datos que provienen de frecuencias de efectos externos y se obtuvieron las tres componentes magnéticas de las estaciones Frailejón y Cráter, con las variaciones propias de los efectos de la zona de influencias volcánica, mostrando que las variaciones de los campos magnéticos, para las componentes norte, están en un rango entre  $\pm 20$  nT; para la componente este es de  $\pm 8$  nT y para las componentes verticales de  $\pm 5$  nT, predominando aun los efectos de las tormentas eléctricas (Figura 29).



**Figura 29.** A la izquierda se muestra el comportamiento de las componentes norte, este y vertical, de las estaciones Frailejón y Cráter, durante el mes de marzo de 2017. A la derecha se muestran las mismas componentes a las cuales se les ha aplicado el filtro para eliminar los efectos externos, resaltando las variaciones propias de la zona volcánica.

## 1.5 GEOQUÍMICA

### 1.5.1 Muestreo de gases de origen volcánico en volcán Galeras

#### 1.5.1.1 Emisión del flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) a la atmósfera - Estaciones SCANDOAS

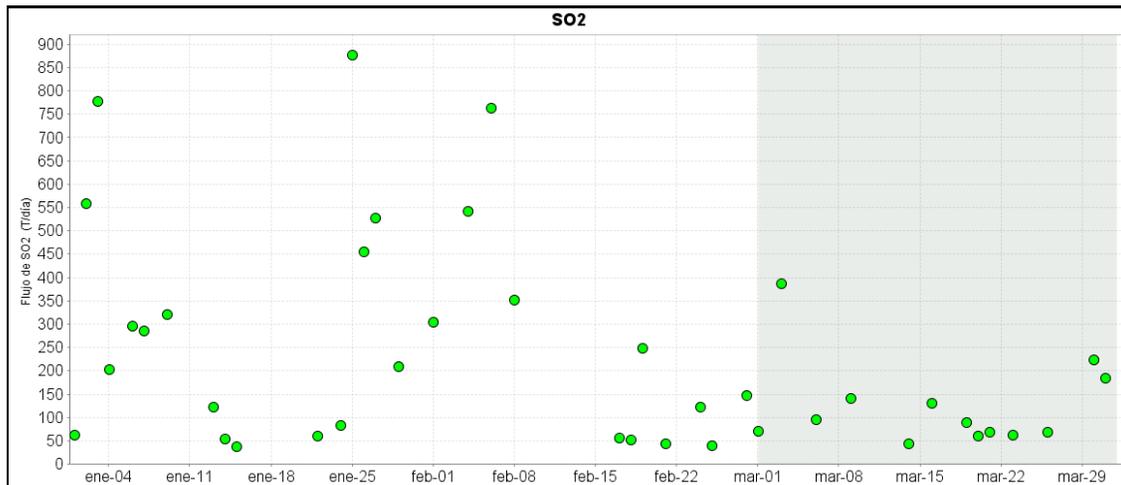
En el volcán Galeras se encuentran ubicadas tres estaciones telemétricas de SCANDOAS (Figura 3, tabla 10): Alto Jiménez, Alto Tinajillas y Santa Bárbara para la medición del flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) emitido a la atmósfera, el SO<sub>2</sub> proviene de la desgasificación del magma, propio del sistema volcánico de Galeras.

El SCANDOAS es un sistema de espectroscopia de absorción UV que funciona mediante absorción óptica diferencial, diseñado para medir la emisión de gas SO<sub>2</sub>, convirtiendo la luz ultravioleta detectada en señales digitales, éstas señales son el espectro para la evaluación del gas. (Instructivo del APLICATIVO ISOLUCIÓN: IN-AME-OVS-020).

**Tabla 10.** Ubicación geográfica estaciones SCANDOAS en Volcán Galeras.

Nombre Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Alto Jiménez	Telemétrica	1° 15' 52.1"	77° 27' 00.0"	2402
Alto Tinajillas	Telemétrica	1° 13' 44.8"	77° 28' 56.0"	1952
Santa Bárbara	Telemétrica	1° 16' 14"	77° 24' 50"	2608

Se registran escaneos durante todos los días del mes de marzo de 2017, para las estaciones Alto Jiménez y Alto Tinajillas, de la estación Santa Bárbara aún no se tiene registro de escaneos; los valores para emisión de SO<sub>2</sub> a la atmósfera se encuentran entre 44 y 386 Ton/día, valores considerados como bajos para el volcán Galeras (Figura 30 y 31, Tabla 11).



**Figura 30.** Flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) Volcán Galeras – marzo de 2017.

Para este periodo se sigue evidenciando proceso de desgasificación en Galeras, con un poco menos flujo de SO<sub>2</sub> en comparación con meses anteriores, tal y como se observa en la gráfica (Figura 3), fue posible observar actividad superficial en Galeras desde las cámaras web instaladas en cercanías al volcán. Se presentaron bajos valores de velocidad del viento durante el periodo evaluado, alcanzaron un máximo de 8.6 m/s.

La dirección del viento fue variable durante el mes de marzo, con tendencia en dirección noroeste. El mayor flujo de SO<sub>2</sub> registrado para el volcán Galeras durante el mes, se presenta el día 3 de marzo de 2017 con un valor de 386 Ton/día, considerado flujo bajo para el volcán Galeras.

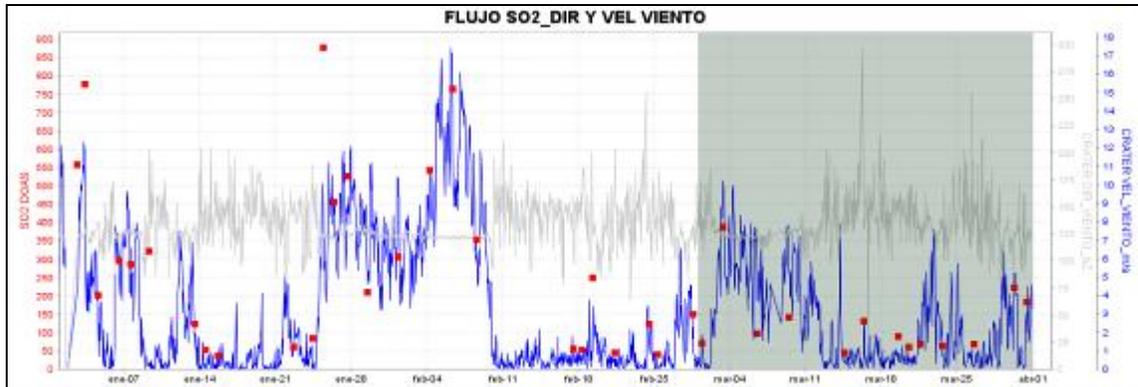


Figura 11. Flujo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), velocidad y dirección del viento – marzo de 2017.

Tabla 11. Emisión dióxido de azufre a la atmósfera volcán Galeras – mes de marzo 2017.

FECHA	HORA LOCAL	DIRECCION AZIMUT	VELOCIDAD [m/s]	Máximo flujo SO2 diario	Estación de registro	Instrumento
01-mar-17	09:19 AM	331	1.2	70	Alto Jimenez	SCANDOAS
03-mar-17	07:37 AM	124.9	8.6	386	Alto Jimenez	SCANDOAS
06-mar-17	01:49 PM	338	3.7	96	Alto Tinajillas	SCANDOAS
09-mar-17	11:25 AM	328.4	5.5	141	Alto Jimenez	SCANDOAS
14-mar-17	01:37 PM	288	1	44	Alto Tinajillas	SCANDOAS
15-mar-17	09:25 AM	141	2	130	Alto Jimenez	SCANDOAS
19-mar-17	02:28 PM	311	1	90	Alto Tinajillas	SCANDOAS
20-mar-17	01:36 PM	325	1	61	Alto Tinajillas	SCANDOAS
21-mar-17	03:14 PM	336	1.1	69	Alto Jimenez	SCANDOAS
23-mar-17	03:48 PM	339	1	62	Alto Jimenez	SCANDOAS
26-mar-17	01:39 PM	315	1	68	Alto Tinajillas	SCANDOAS
30-mar-17	07:30 AM	320.1	5.2	223	Alto Tinajillas	SCANDOAS
31-mar-17	10:38 AM	126.9	3	184	Alto Jimenez	SCANDOAS

\*Valores de flujo de SO<sub>2</sub> para Galeras: Bajo (0<500 Ton/d); Moderados (>500<1000 Ton/d); Alto (>1000<3000 Ton/d); Muy alto (> 3000 Ton/d).

Como conclusión el volcán Galeras continúa con bajos niveles de emisión de SO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo cual está directamente relacionado con la baja actividad volcánica. Se continuará monitoreando y evaluando los datos provenientes de las estaciones SCANDOAS.

### 1.6. Actividad superficial

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

Condiciones favorables de clima permitieron observar emisiones de gases excepto el 31 de marzo debido a la nubosidad presente en la cima volcánica. Los principales focos de emisión se ubican en el cráter principal, campos fumarólicos de El Paisita y el cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico. En las Figuras 32 a 37 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



**Figura 32.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 8 de marzo de 2017 capturada por la cámara de Barranco (izquierda) y Bruma (derecha).



**Figura 33.** Imágenes de la emisión de gases del volcán Galeras presentada el 14 de marzo de 2017, capturadas por las cámaras Barranco(izquierda) y Bruma(derecha).



**Figura 34.** Imágenes de emisión de gases del volcán Galeras presentada el 19 de marzo de 2017, capturadas desde la cámara Barranco (izquierda) y Bruma (derecha).



**Figura 35.** Imágen de emision de gases del volcán Galeras presentada el 21 de marzo de 2017 a la 1: 48 p.m., capturad desde la cámara Barranco.



**Figura 36.** Imágen de emisión de gases del volcán Galeras presentada el 25 de marzo de 2017 a las 7:53 a.m., capturada desde la cámara Barranco.



**Figura 37.** Imágene de emisión de gases del volcán Galeras presentada el 26 de marzo de 2017 a las 6:31 a.m., capturada desde la cámara Barranco

## 1.7 CONCLUSIONES

En el volcán Galeras se registró una leve disminución en la ocurrencia y una importante disminución en la energía de los sismos en comparación con el mes anterior. El mayor aporte tanto en ocurrencia como en energía provino de la sismicidad de tipo VT, asociada con fractura de roca al interior del volcán. Se destaca el registro de un evento VT con ML de 1.9 en la escala abierta de Richter, que no fue reportado como sentido.

La evaluación de los parámetros monitoreados de la actividad volcánica de Galeras en marzo de 2017 permitió mantener el nivel en **AMARILLO ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

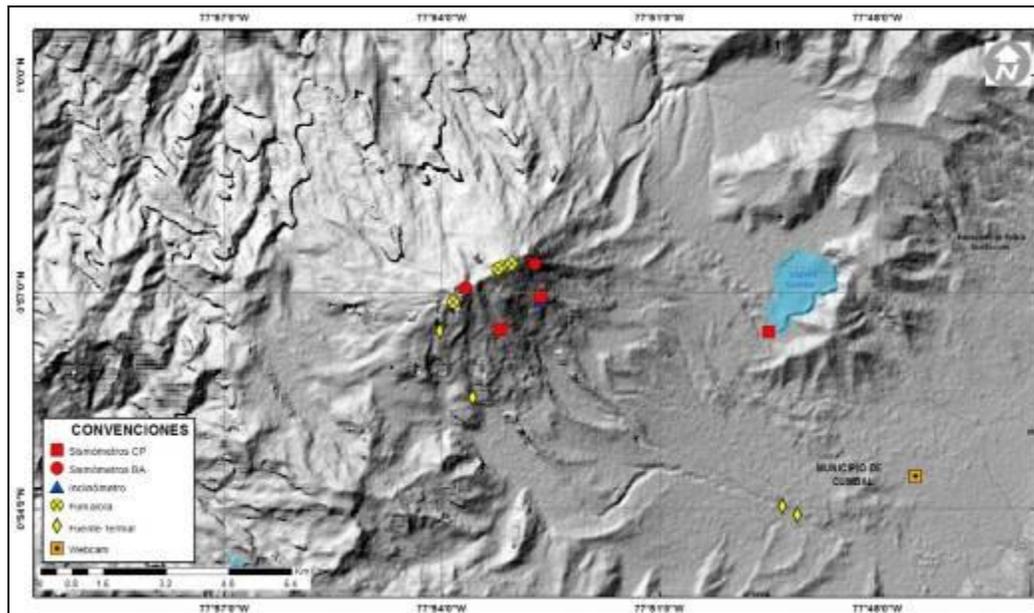
## 2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – MARZO DE 2017

### 2.1 RED DE VIGILANCIA

En marzo de 2017 la red de vigilancia del complejo volcánico de Cumbal estuvo conformada por:

- Cuatro estaciones sísmicas telemétricas: Dos de banda ancha y dos de corto periodo, todas ellas triaxiales (Figura 38, Tabla 12).
- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 38).
- Dos cámaras de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en el municipio de Cumbal y otra en el sitio de la estación Punta Vieja (Figura 38).

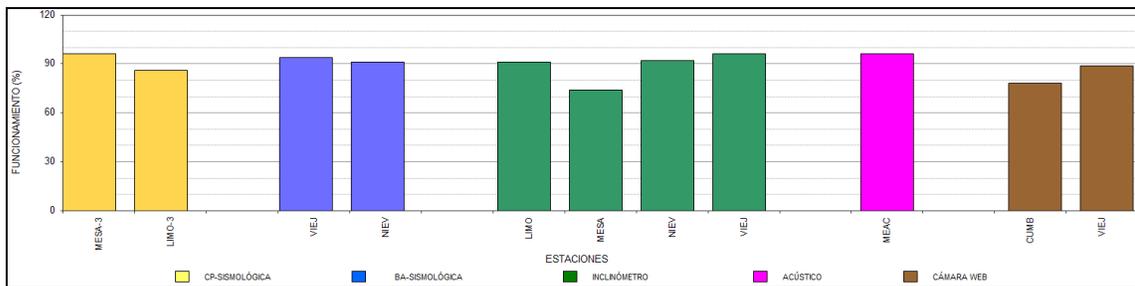
Para este periodo la estaciones sísmicas, de inclinometría, presión acústica tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 89,4 % (Figura 39).



**Figura 38.** Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de marzo de 2017.

**Tabla 12.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2017.

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



**Figura 39.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en marzo de 2017.

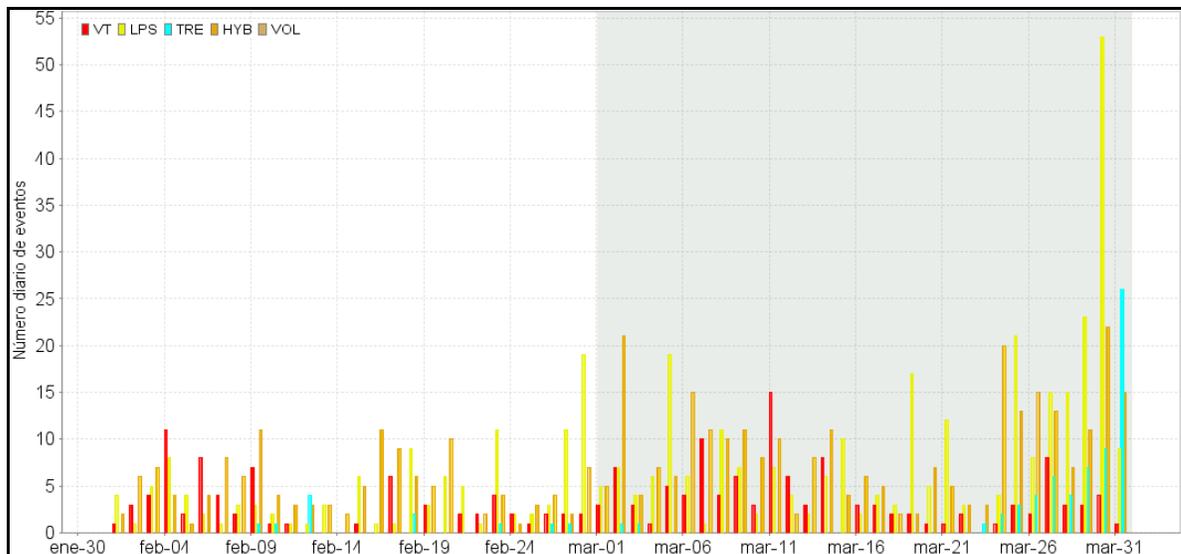
## 2.2 SISMOLOGÍA

En comparación con el mes de febrero, la sismicidad en el complejo volcánico de Cumbal (CVC) incrementó 2.3 veces su número pasando de 333 a 754 eventos en marzo de 2017. La sismicidad dominante fue la asociada con movimiento de fluidos de fuente transitoria al interior del volcán (LPS) con 291 eventos que representan el 39% del total, seguida por los sismos de tipo híbrido (HIB) que involucran fractura de roca con el subsiguiente tránsito de fluidos al interior del volcán, con 282 sismos que representan el 37% de los eventos. Se registraron 117 sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) y 64 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente permanente o episodios de tremor (TRE) que representan el 16% y 8% de la sismicidad respectivamente (Tabla 13, Figura 40 y 41). No se registraron eventos tipo VOL (señales que por sus bajos niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro

de alguno de los tipos de sismicidad establecidos). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el día 30 de marzo, con 88 sismos (53 LP, 22 HIB, 9 TRE y 4 VT).

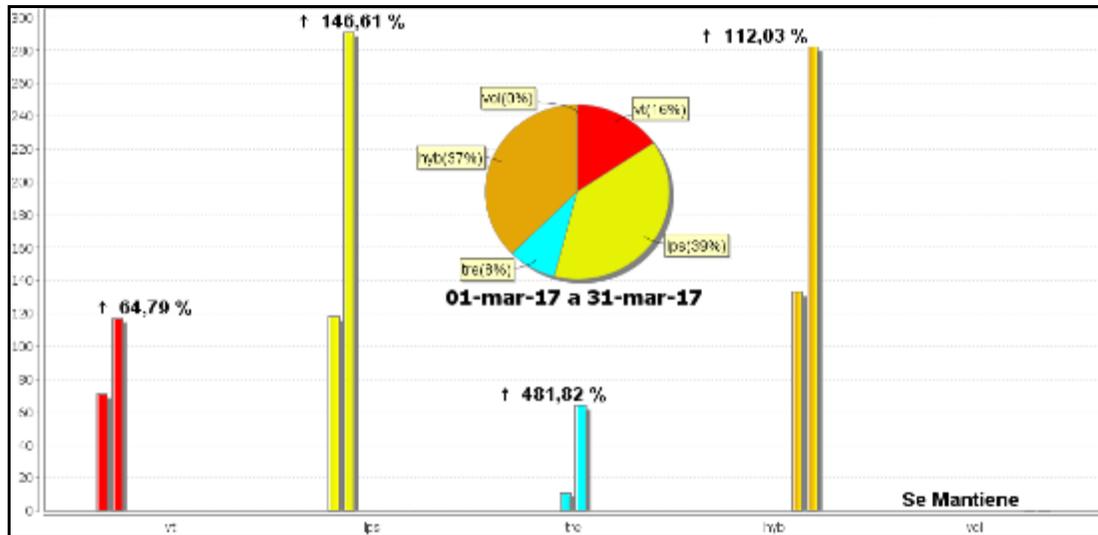
**Tabla 13.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en el CVC durante febrero y marzo de 2017.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Febrero de 2017	71	118	11	133	0	333
Marzo de 2017	117	291	64	282	0	754



**Figura 40.** Ocurrencia diaria de sismos por tipo de evento en el CVC, durante febrero y marzo de 2017. El recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe.

Todos los tipos de sismicidad incrementaron su ocurrencia, los episodios de temblor aumentaron 5.8 veces su número, los sismos de tipo LP e HIB aumentaron su número 2.5 y 2.1 veces respectivamente y los sismos de tipo VT aumentaron 1.6 veces su número con respecto a los valores registrados en el mes anterior (Tabla 13, Figura 40 y 41).

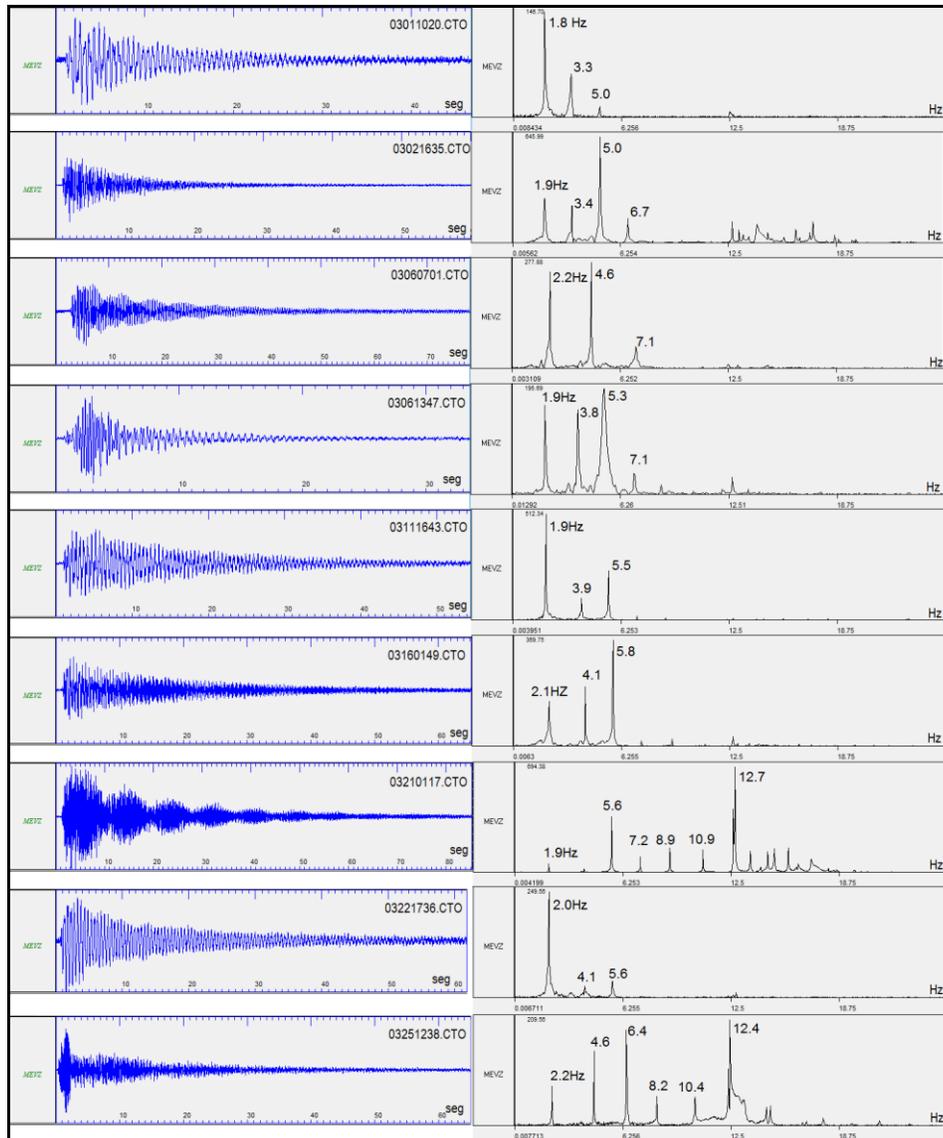


**Figura 41.** Comparación del número de sismos por tipo entre febrero y marzo de 2017 y estadísticas del número de sismos por tipo para marzo de 2017.

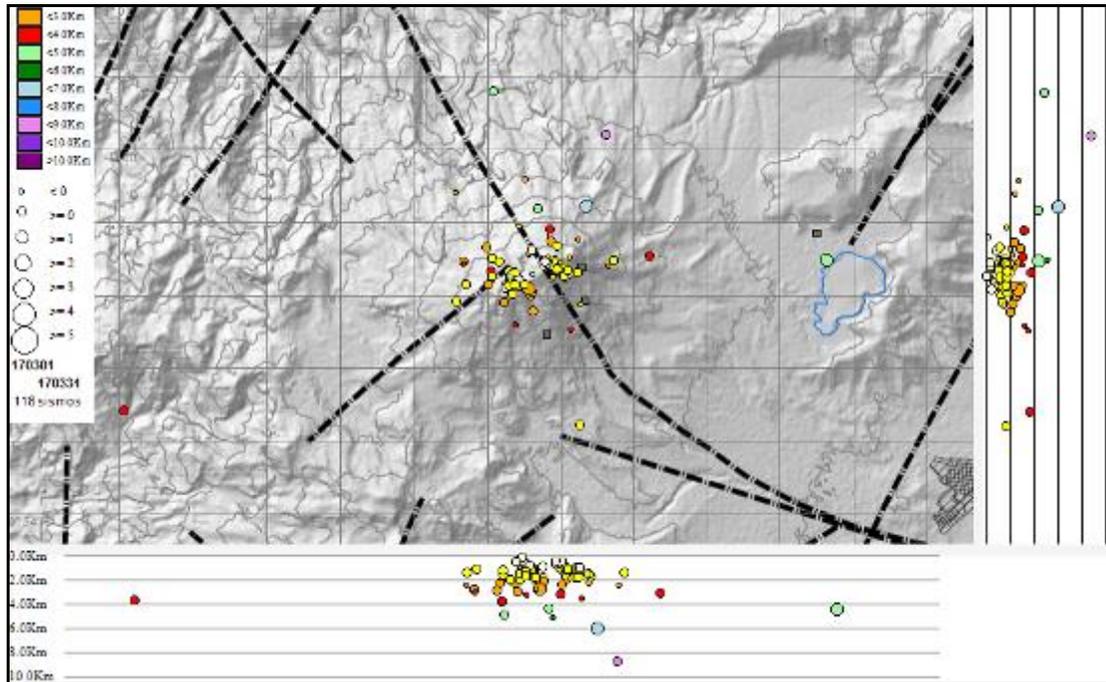
Se destaca el registro de 22 sismos de tipo tornillo TOR, que se caracterizan por el decaimiento lento de su coda y espectros en frecuencia con uno o varios picos dominantes. Los TOR de marzo presentaron en general tres picos de frecuencia dominantes, el primero entre 1.7 y 2.2 Hz; el segundo entre 3.3 y 4.6 Hz y el tercero entre 5.0 y 5.8 Hz en la componente vertical de la estación La Mesa del CVC. En la figura 42 se muestra una selección de los TOR de marzo con sus respectivos espectros de Fourier. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos, en donde los conductos volcánicos que los contienen se comportan como cavidades resonantes y están relacionados principalmente con el sistema hidrotermal del CVC. Se resalta que a diferencia del volcán Galeras, los eventos TOR del CVC no muestran en sus parámetros evaluados una correlación con procesos de presurización del sistema.

Fue posible localizar 116 sismos, la gran mayoría ubicados en inmediaciones de los dos conos activos del complejo volcánico de Cumbal, el cráter La Plazuela al nororiente y el cráter de Mundo Nuevo al suroccidente, a distancias entre cero y 3.0 km con respecto a La Plazuela, magnitud local máxima de 1.0 y profundidades menores de 4 km con respecto a su cima (4700 m). Unos pocos sismos se ubicaron dispersos a distancias entre 3.0 y 12 km del cráter la Plazuela, con magnitud local máxima de 1.1 y profundidades entre 1.5 y 9 km con respecto a su cima (4700 m) (Figura 43). Dos sismos alcanzaron la magnitud máxima registrada de 1.1 en la escala abierta de Richter, el primero se presentó el día 6 de marzo a las 11:03 hora local, fue ubicado a 0.4 km de

distancia al NE del cráter de Mundo Nuevo, a una profundidad de 1.5 km; el segundo sismo se presentó el 21 de marzo a las 14:27 hora local y fue ubicado a 1.5 km de distancia al NNE del cráter La Plazuela, a una profundidad de 6 km, en la tabla 14 se consignan sus características de localización. La energía de los sismos localizados en marzo de 2017 alcanzó un valor de  $2.85 \times 10^{15}$  ergios.



**Figura 42.** Sismogramas y espectros en frecuencia de los eventos tipo TOR, registrados en marzo de 2017 en la componente vertical de la estación La Mesa del CVC.



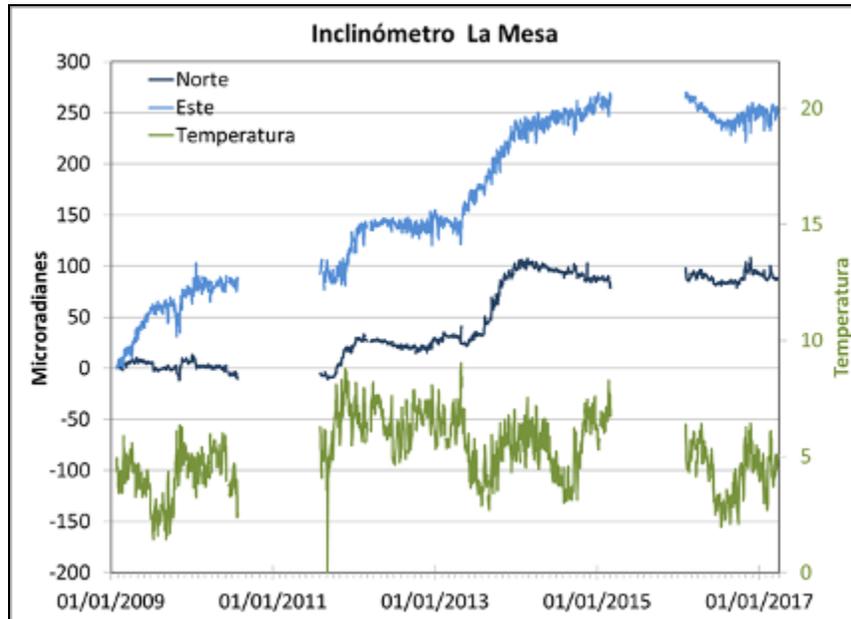
**Figura 43.** Localizaciones de VT e HIB registrados en marzo de 2017 en el CVC.

**Tabla 14.** Sismos con ML mayor o igual a 1.0 grado registrados en el CVC en marzo de 2017.

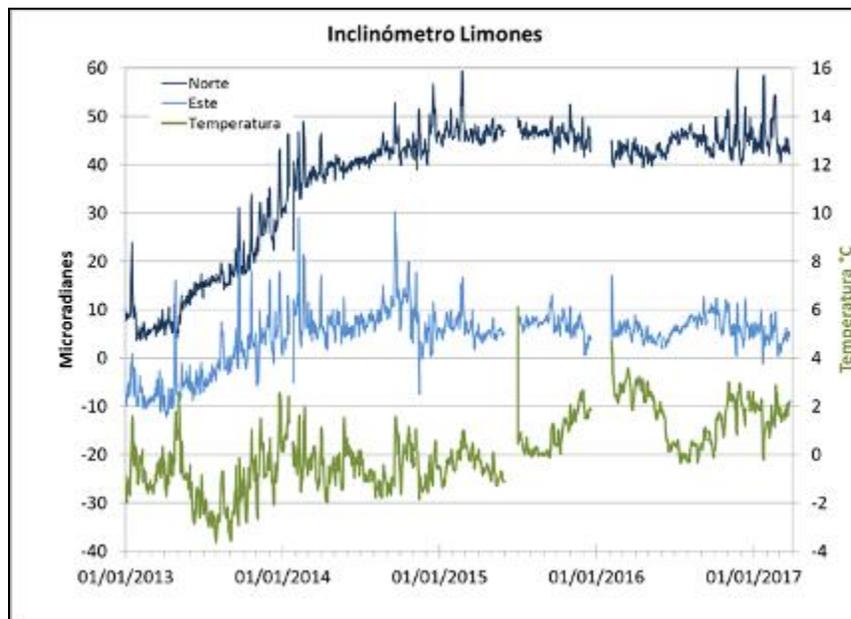
Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
06/03/2017	11:03	0-57.19	77-53.58	1.5	1.1
21/03/2017	14:27	0-58.22	77-52.64	6.0	1.1

## 2.3 DEFORMACIÓN

Las componentes de los inclinómetros La Mesa, Limones, Punta vieja y Nieves, muestran tendencias estables, con variaciones que probablemente están asociadas con la temperatura ambiente (Figuras 44, 45, 46 y 47).

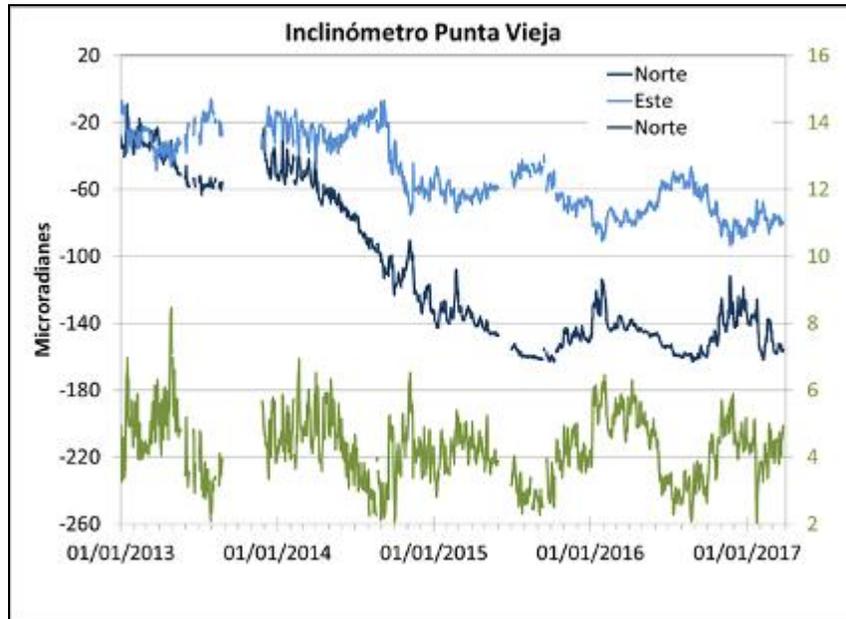


**Figura 44.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2009 y el 31 de marzo de 2017.

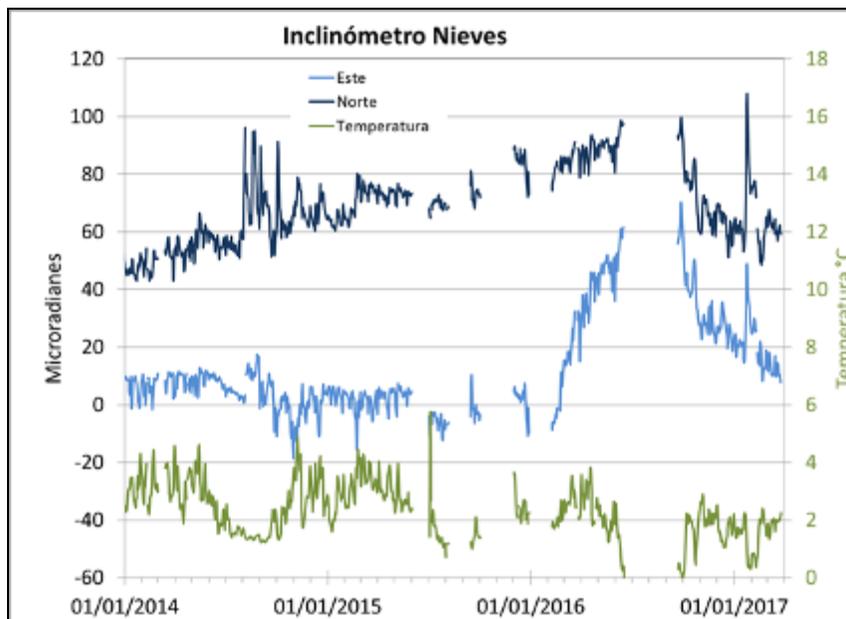


**Figura 45.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2017.

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral - marzo 2017



**Figura 46.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2017.



**Figura 47.** Componentes de inclinación Norte, Este y temperatura del inclinómetro electrónico La Nieve, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2014 y el 31 de marzo de 2017.

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral - marzo 2017

## 2.4 GEOQUÍMICA

En el mes de marzo no se realizaron muestreos en fuentes termales ni en gases en el volcán Cumbal.

## 2.5. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

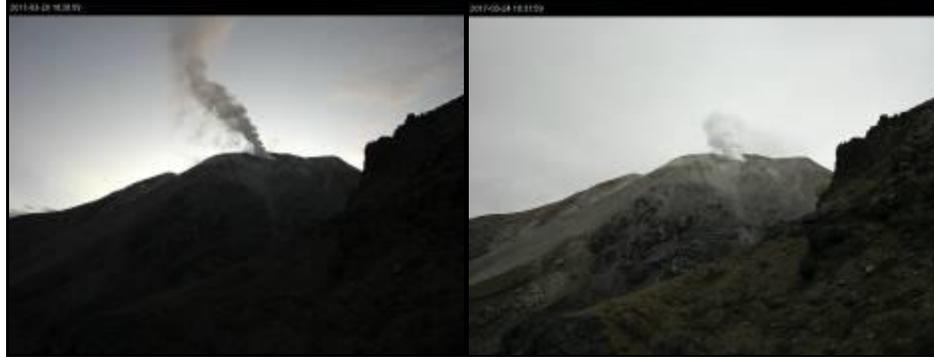
Condiciones de clima favorables durante la mayor parte del mes de marzo, permitieron a través de imágenes capturadas por las cámaras instaladas en el Municipio de Cumbal y el sector de Punta Vieja, observar emisiones de gases de color blanco de baja altura, provenientes principalmente desde los campos fumarólicos El Verde (sector noreste) y Rastrojo (sector suroccidente) (Figuras 48 a 50).



**Figura 48.** Imágen de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal (sector El Verde), el 6 y 15 de marzo de 2017 en horas de la tarde, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.



**Figura 49.** Imágenes de emisión de Gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal presentada el 16 de marzo 2017, capturadas desde el Municipio de Cumbal (izquierda) y Punta Vieja (derecha).



**Figura 50.** Emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcanico de Cumbal (sector El Verde), el 20 y 24 de marzo de 2017, en horas de la tarde, capturadas desde la cámara ubicada en la estación Punta Vieja.

## 2.6. CONCLUSIONES

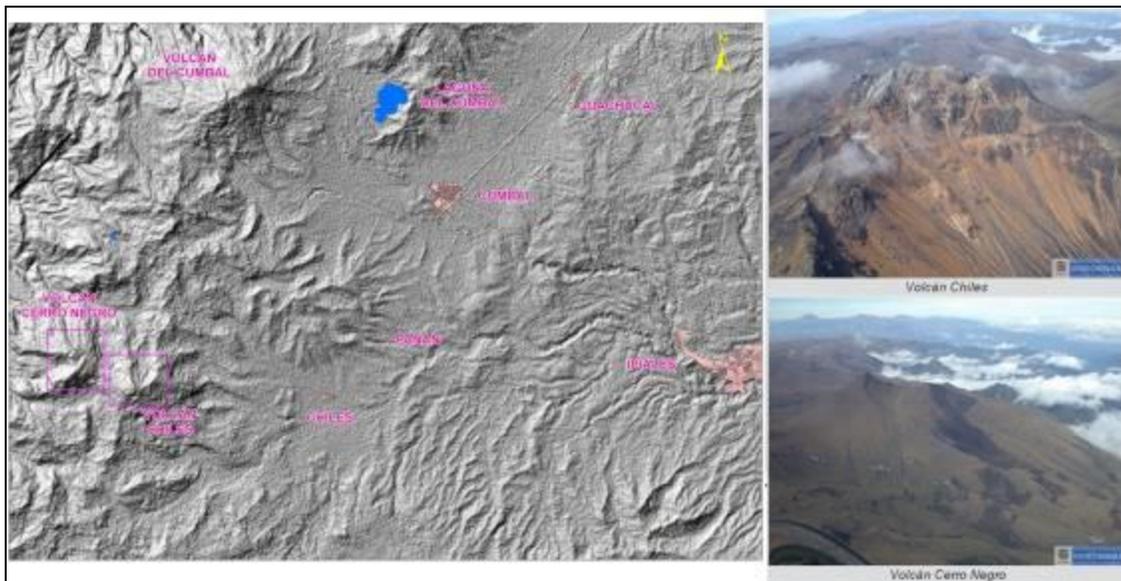
En el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC) se mantuvo el registro de una sismicidad importante en cuanto a ocurrencia pero con niveles bajos de energía, probablemente relacionada con el sistema hidrotermal que involucra los dos conos activos del complejo, el cráter La Plazuela al nororiente y el cráter de Mundo Nuevo al suroccidente. Los sismos de fractura e híbridos localizados se ubicaron principalmente en inmediaciones de los dos conos activos en profundidades menores de 4 km. Los sismos de tipo TOR no evidencian presurización dentro del sistema.

La evaluación de los parámetros monitoreados de la actividad volcánica del CVC en marzo de 2017 permitió mantener el nivel en **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

### 3. ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO FEBRERO DE 2017

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los volcanes Chiles y Cerro Negro se ubican al suroeste del país, en el departamento de Nariño, 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 y el volcán Cerro Negro, con una altura de 4470 msnm se localiza a 16.5 km al suroeste del complejo volcánico Cumbal (Figura 51).

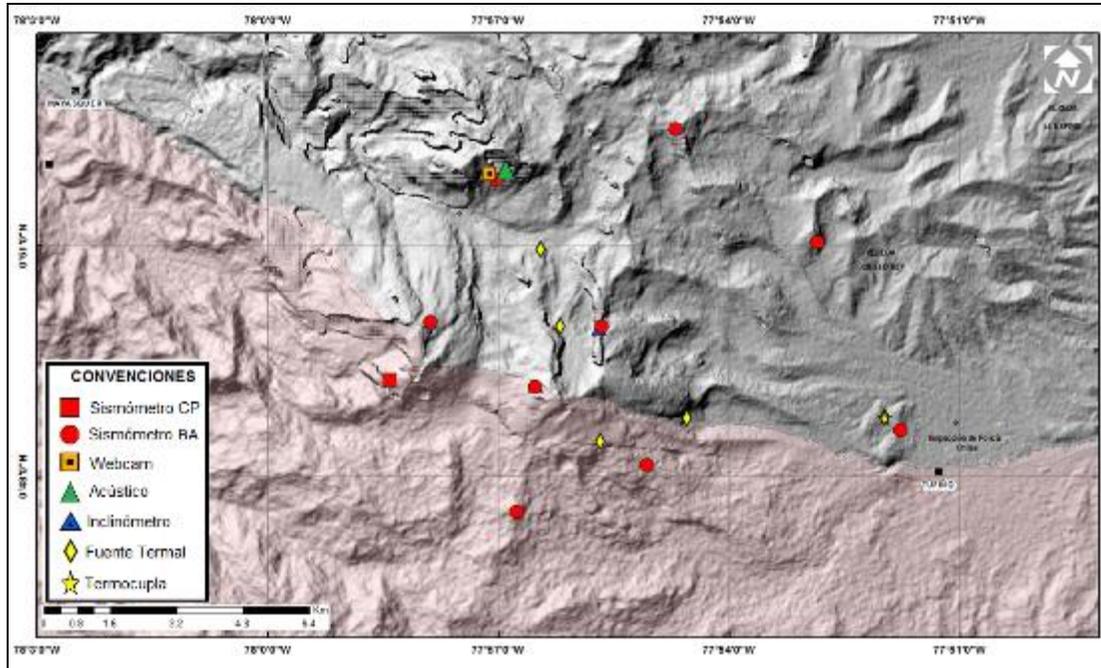


**Figura 51.** Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha).

#### 3.2 RED DE VIGILANCIA

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por seis estaciones sísmicas de banda ancha y 2 inclinómetros electrónicos, un sensor de infrasonido, una cámara WEB y una estación permanente de temperatura en fuente termal. Las estaciones se ubican así: una estación en la cima volcánica en el costado occidental de Chiles (sismómetro e inclinómetro), otra en el sector nororiente denominada Canguil (sismómetro, Cámara web y sensor de infrasonido), otra al

noroccidente en el volcán Cerro Negro (sismómetro e inclinómetro), la estación Panán, a 7,4 km al nororiente del volcán Chiles, la estación Laguna ubicada al nor-nororiente del volcán Chiles y la estación Termales (Sismómetro y Termocupla en fuente termal), ubicada en el sector de Baño Grande. Además se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 52, Tablas 15 y 16).



**Figura 52.** Estaciones telemétrica y no telemétricas que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de febrero de 2017.

**Tabla 15.** Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro.

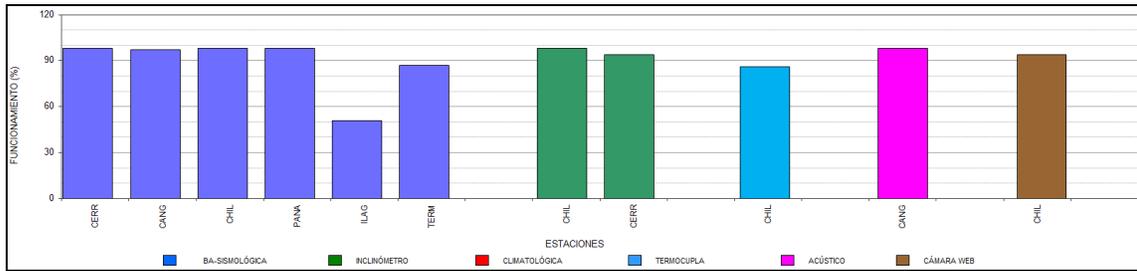
Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia Respecto a Chiles (Km)	Dirección respecto al centro del volcán	Altitud (msnm)
Chiles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1	WNW	4478
I. Chiles	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	1	WNW	4478
Cerro Negro	Digital	Sismómetro Banda 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
Termales	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329

## Servicio Geológico Colombiano

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro tuvo un funcionamiento promedio del 90,8 % (Figura 53).

**Tabla 16.** 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



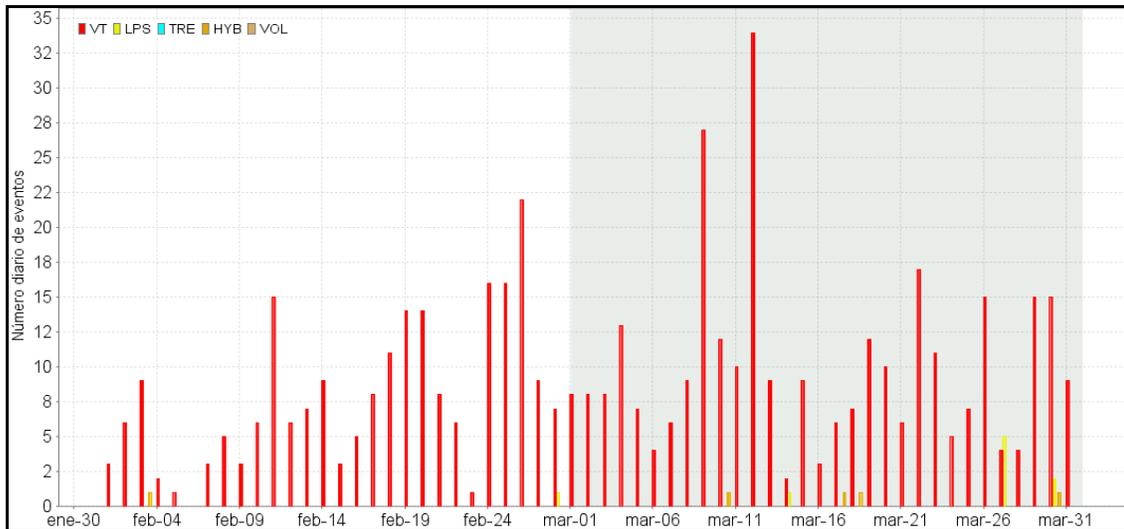
**Figura 53.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en marzo de 2017.

### 3.3. SISMOLOGÍA

Con respecto al mes anterior la ocurrencia sísmica en los volcanes Chiles y Cerro Negro mostró un incremento del 49% en la ocurrencia con respecto al mes de febrero de 2017, pasando de 217 a 324 eventos. Continúa el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 312 eventos que representan el 96% del total, 8 eventos fueron renombrados como LP, representando el 3% y 4 eventos fueron renombrados como HIB, representando el 1% del total (Tabla 17, Figura 54). El pico de ocurrencia sísmica se registró el día 12 con 34 sismos VT de baja energía, con magnitud local máxima de 1.6 en la escala abierta de Richter. La energía sísmica de los eventos localizados en marzo alcanzó un valor de  $1.03 \times 10^{15}$  ergios.

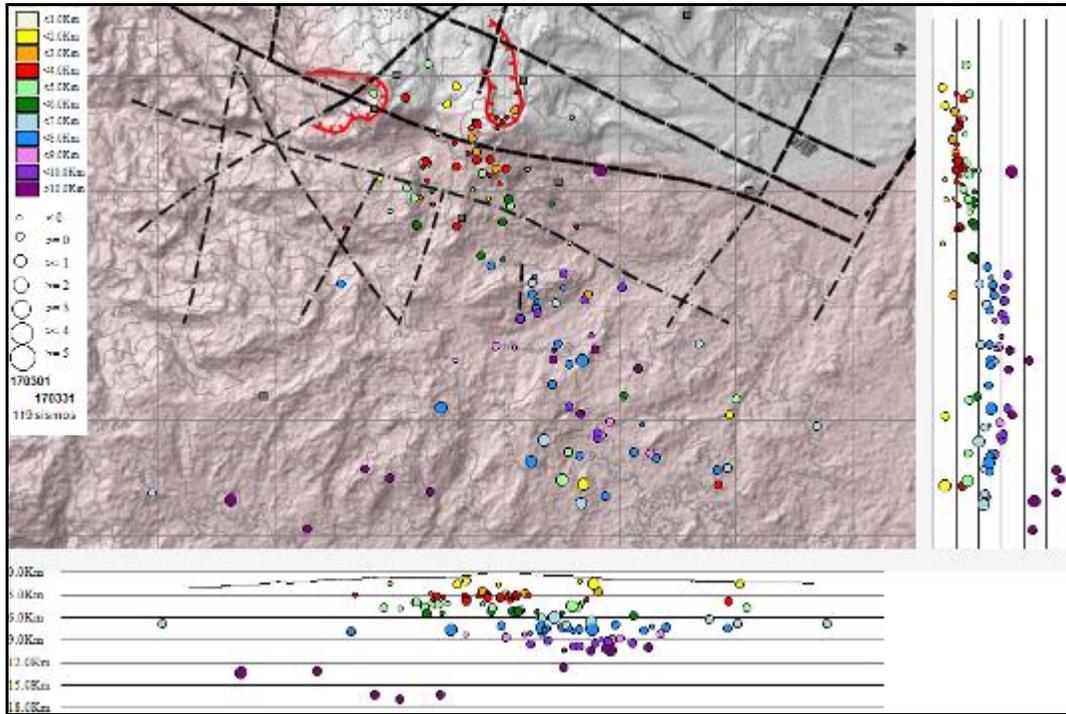
**Tabla 17.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2017 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Febrero de 2017	215	1	0	1	0	217
Marzo de 2017	312	8	0	4	0	324



**Figura 54.** Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo durante febrero y marzo de 2017 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, el recuadro gris resalta el periodo evaluado en este informe.

Se localizaron 119 eventos VT la mayoría de los cuales se ubicaron dispersos en el costado sur de los dos volcanes en territorio ecuatoriano en distancias entre 0.8 y 16 km, a profundidades entre 1 y 17 km con respecto a la cima de Chiles (4700 m) y con magnitud local máxima de 1.6 en la escala abierta de Richter. El sismo de mayor magnitud de marzo en Chiles – Cerro Negro, fue registrado el día 12 a las 14:01 hora local, fue ubicado a una distancia de 9.3 km al SSW de la cima del volcán Chiles y a una profundidad de 8 km con respecto a su cima (4700 m) (Figura 55).



**Figura 55.** Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en marzo de 2017.

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 10 sismos con magnitud local igual o superior a 1.0 grado, en la tabla 18 se consignan sus características de localización.

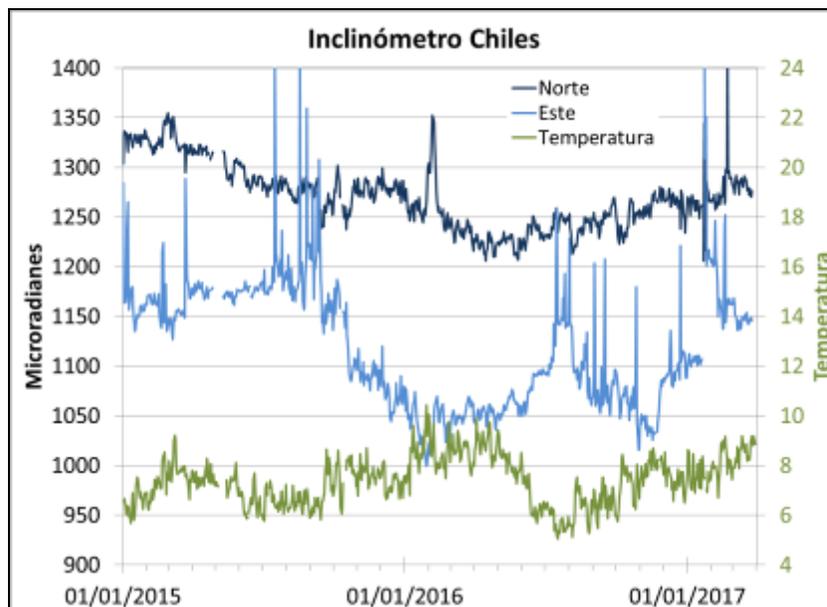
**Tabla 18.** Sismos con ML mayor o igual a 1.0 grado registrados en Chiles - Cerro Negro en marzo de 2017

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
03/03/2017	10:57	0-48.36	77-54.35	10	1.1
12/03/2017	13:28	0-43.66	77-55.35	6	1.2
12/03/2017	13:58	0-42.90	77-54.64	2	1.4
12/03/2017	14:00	0-43.29	77-55.55	7	1.4
12/03/2017	14:01	0-44.22	77-57.13	8	1.6
12/03/2017	14:43	0-42.57	77-54.68	7	1.1
13/03/2017	13:29	0-42.98	77-55.02	5	1.3
15/03/2017	17:24	0-48.49	77-57.40	4	1.2
16/03/2017	21:10	0-45.05	77-54.66	8	1.5
22/03/2017	04:21	0-42.61	78-00.75	13	1.0

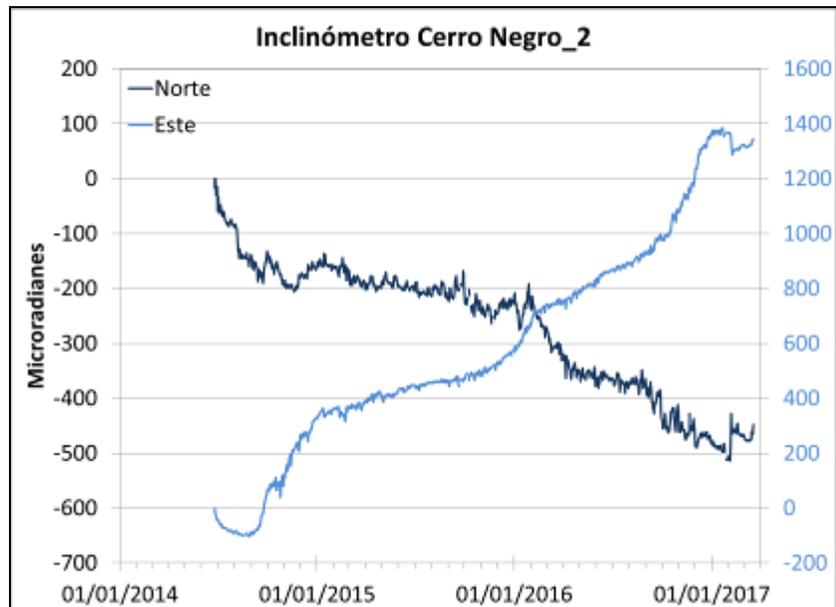
### 3.4. DEFORMACIÓN

En la Figura 52 se aprecia la ubicación de los inclinómetros electrónicos, estaciones dispuestas para el seguimiento de los cambios en superficie.

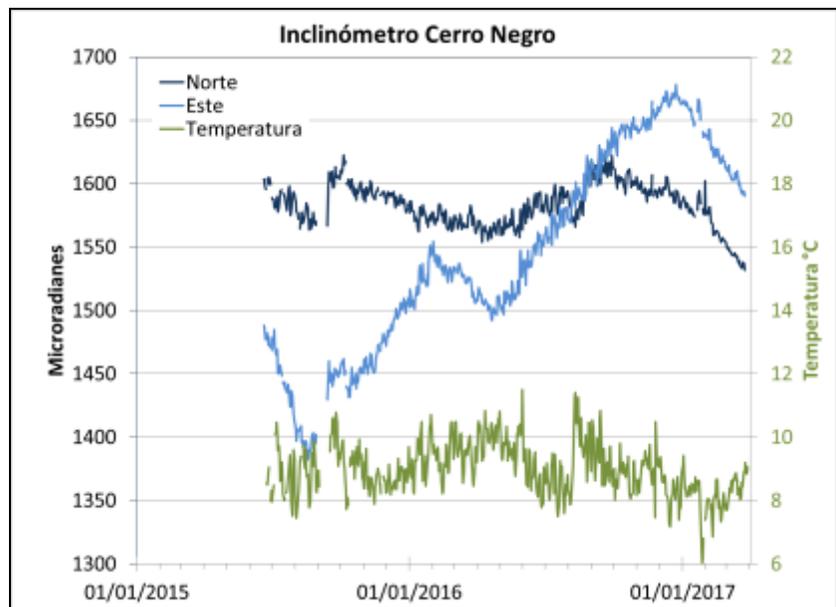
Las componentes del inclinómetro Chiles para el último año mostraron estabilidad, con cambios asociados a la temperatura ambiente (Figura 56). Los inclinómetros instalados en el volcán Cerro Negro, muestran comportamiento similar al reportado en el anterior mes; el inclinómetro Cneg2 paralelo al inclinómetro Cerro Negro (sensor ubicado a 6m del otro inclinómetro), mostró la tendencia ascendente en la componente Este, comportamiento que inició en agosto de 2014, con una variación de 1300 y la componente Norte con una tendencia descendente en su registro, acumulando para el mismo periodo, cerca de 500  $\mu\text{rad}$  (Figura 57). En el inclinómetro Cerro Negro se observó un comportamiento ascendente en la componente Este, hasta diciembre de 2016, posteriormente cambió su tendencia acumulando hasta la fecha cerca de 60  $\mu\text{rad}$ , por su parte la componente Norte, tiene una tendencia estable, con variaciones periódicas que alcanzan los 40  $\mu\text{rad}$  (Figura 58)



**Figura 56.** Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Chiles, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2017.



**Figura 57.** Componentes de inclinación Norte y Este, del inclinómetro electrónico Cerro Negro 2 (Cneg2), paralelo al inclinómetro Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 25 junio de 2014 y el 31 de marzo de 2017.



**Figura 58.** Componentes de inclinación Norte y Este, registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo de 2017.

### 3.5. GEOQUÍMICA

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral - marzo 2017

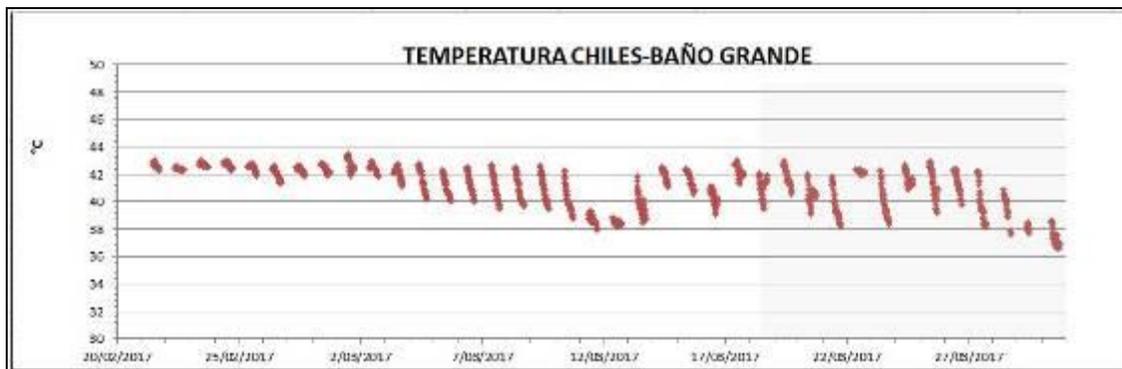
### 3.5.1 Registro de temperatura – Estación térmica telemétrica Baño Grande volcán Chiles.

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 muestreos periódicos de temperatura en agua de origen volcánico (Figura 52, Tabla 19).

En la figura 59 se registran variaciones que corresponden a valores medidos en el mes de marzo de 2017, la temperatura presentó un promedio de 40.8°C y un máximo de 43.5°C (Tabla 20), se registran valores menores a los presentados en meses anteriores por una probable intervención antrópica en la zona, sin embargo el grupo de Geoquímica del OVS Pasto continuará 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.

**Tabla 19.** Ubicación geográfica fuente termal Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles.

FUENTE TERMAL	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (msnm)
BAÑO GRANDE		0.81282°	77.86624°	3318



**Figura 59.** Temperatura estación Térmica Baño Grande-Volcán Chiles marzo 2017.

**Tabla 20.** Valores de temperatura en FT Baño Grande en el área de influencia del volcán Chiles – marzo 2017.

TEMPERATURA	[°C]
Promedio	40.8
Máximo	43.5
Mínimo	36.6

Como conclusión los datos de temperatura provenientes de la estación térmica Baño Grande presentó variaciones importantes por probables intervenciones antrópicas en la zona. Al respecto se consultará a las autoridades del cabildo indígena para descartar daños en el sistema.

### 3.6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Durante el mes de marzo de 2017 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

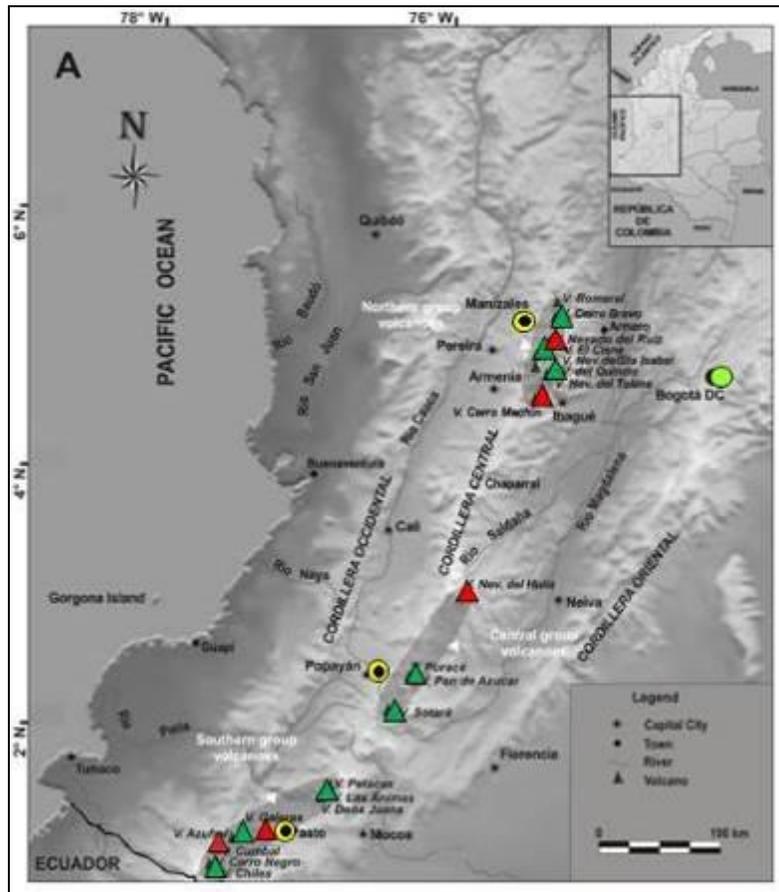
### 3.7. CONCLUSIONES

- La sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer mostró incremento en su ocurrencia y disminución en la energía de los sismos localizados. Se destaca que la máxima ML registrada fue de 1.6 en la escala abierta de Richter.
- La sismicidad registrada desde finales de 2013 a la fecha se asocia a una posible intrusión magmática en profundidad, que hasta el momento no ha mostrado manifestaciones en superficie. A pesar de la notable disminución en la ocurrencia y energía de los sismos y la estabilidad de los otros parámetros medidos, los volcanes Chiles y Cerro Negro aún no han retornado a un estado de equilibrio; por lo tanto, persiste la probabilidad de que se registren sismos con magnitudes importantes que podrían ser sentidos por los habitantes de su zona de influencia.
- La evaluación de la actividad volcánica de Chiles y Cerro Negro de Mayasquer durante marzo de 2017 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**.

#### 4 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – MARZO DE 2017

Como parte de la misión institucional, el Servicio Geológico Colombiano a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP), tiene como función el estudio de los volcanes activos de Nariño. Para el cumplimiento de esta tarea el OVSP continuó con el monitoreo permanente de los volcanes Las Ánimas, Doña Juana y Azufral (Figura 60).

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



**Figura 60.** Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufral, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano.

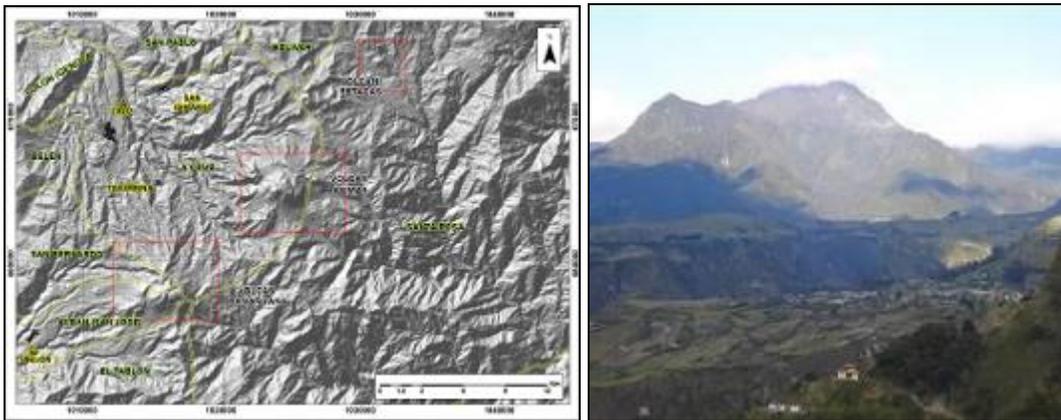
Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral - marzo 2017

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

## **4.1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN LAS ÁNIMAS**

### **4.1.1 Ubicación Geográfica**

El volcán Las Ánimas, que alcanza una altura de 4300 msnm, se encuentra situado al suroccidente de Colombia en el departamento de Nariño en límites con el departamento del Cauca, más exactamente emplazado en el Macizo Colombiano a unos 11 Km al noreste del volcán Doña Juana y a 12 Km al suroeste del volcán Petacas. En su zona de influencia se ubican los municipios La Cruz, San Pablo, Las Mesas, La Unión, Colón, San Bernardo del Departamento de Nariño y Florencia, Bolívar y Santa Rosa en el Departamento del Cauca (Figura 61).



**Figura 61.** Localización del volcán Las Ánimas (izquierda) e imagen del costado occidental del volcán (derecha).

### **4.1.2 Red de vigilancia**

La red de monitoreo del volcán Las Ánimas está conformada por tres estaciones sísmicas, dos inclinómetros electrónicos localizados en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre su costado occidental, y desde finales del mes de noviembre de 2015, se cuenta con una estación GNSS permanente encargada de detectar los cambios sobre la superficie volcánica. Es de resaltar que la estación

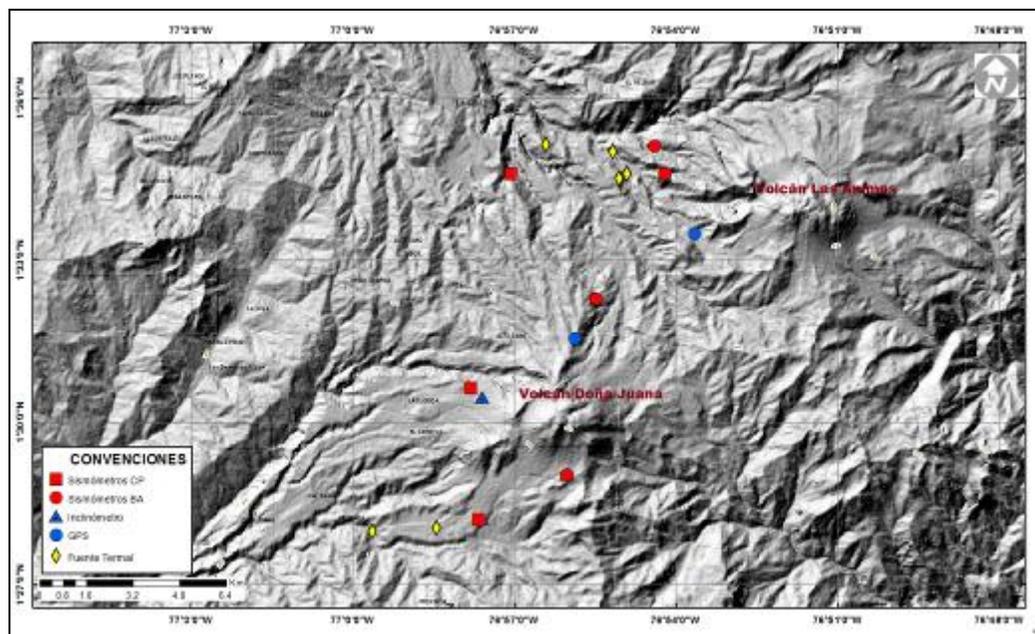
multiparámetro Altamira (sísmica y de deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

En la Figura 62 se muestra la disposición de las estaciones para monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Las Ánimas. En la Tabla 21 se consignan sus características.

En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Las Ánimas tuvo un funcionamiento del 97,8 % (Figura 63).

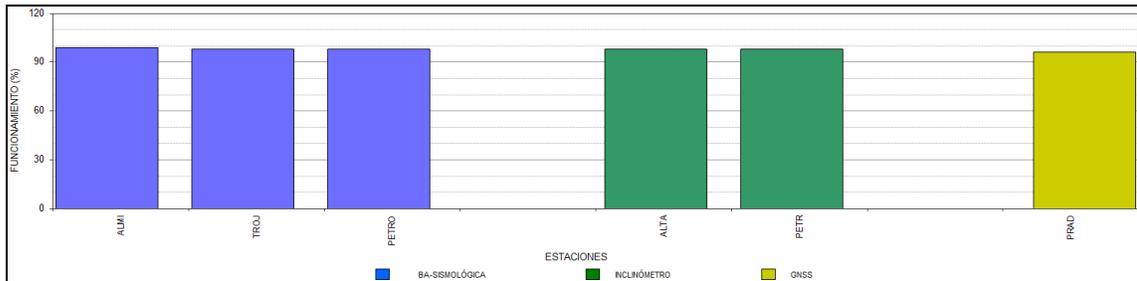
**Tabla 21.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Las Ánimas en febrero de 2017.

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
Pradera	Digital	GNSS	Triaxial	4,0	WSW	2995



**Figura 62.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas durante el mes de marzo de 2017. En el mapa se distingue también el volcán Doña Juana.

Adicionalmente se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías que en la figura se resaltan con rombos.



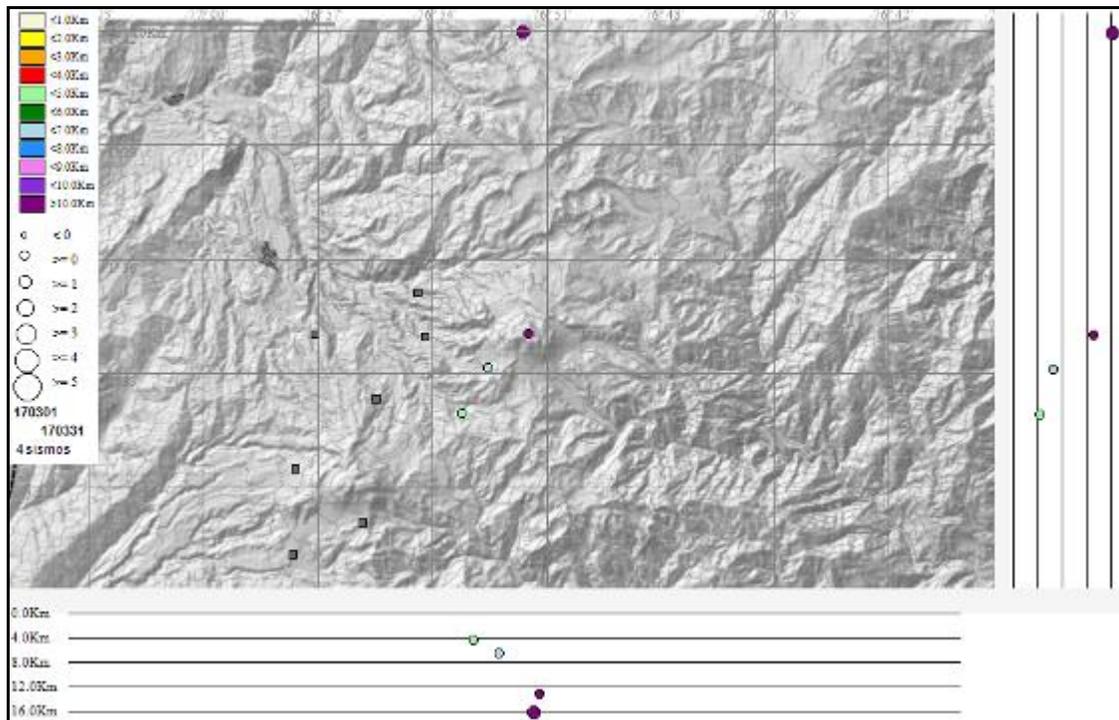
**Figura 63.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Las Ánimas en marzo de 2017.

#### 4.1.3 Sismología

En marzo se mantuvieron los niveles bajos de ocurrencia y energía, con un descenso del 60% en la ocurrencia sísmica pasando de 10 a 4 eventos con relación al mes de febrero. Se registraron 4 sismos, todos ellos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) (Tabla 22). Fue posible localizarlos todos y se ubicaron dispersos en la zona de influencia volcánica de Las Ánimas, a distancias entre cero y 15 km, profundidades entre 4 y 16 km con respecto a su cima (4300 m) y magnitud local entre 0.7 y 1.6 en la escala abierta de Richter (Figura 64). El mayor sismo del mes se registró el 21 de marzo a las 15:13 hora local a una distancia de 15 km al norte de la cima de Las Ánimas a una profundidad de 16 km y con magnitud local de 1.6 en la escala abierta de Richter. La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de  $1.67 \times 10^{14}$  ergios.

**Tabla 22.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2017 en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Febrero de 2017	9	0	0	0	1	10
Marzo de 2017	4	0	0	0	0	4



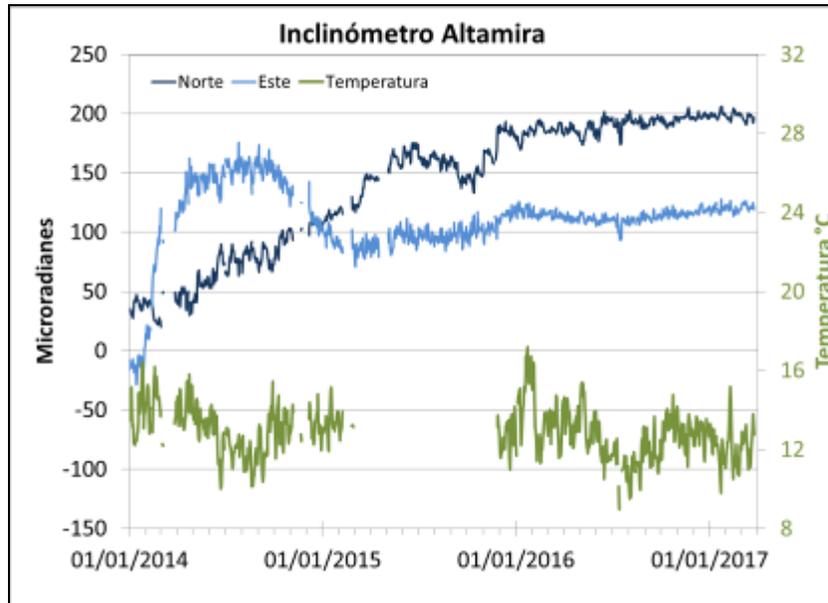
**Figura 64.** Localizaciones de sismos VT registrados en marzo de 2017 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

#### 4.1.4 Deformación

En la Figura 62 se aprecia la ubicación de los inclinómetros electrónicos y estaciones GNSS, estaciones dispuestas para el seguimiento de los cambios en superficie de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana.

##### 4.1.4.1 Inclinometría Electrónica

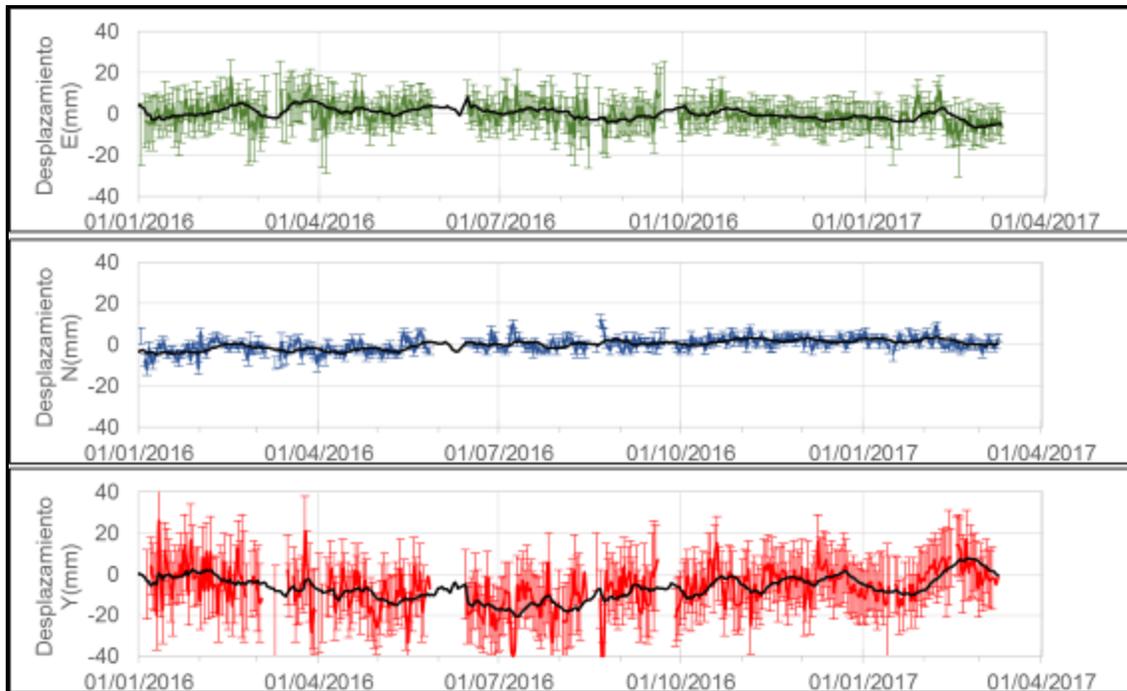
El inclinómetro Altamira, desde 2014, y hasta mediados del 2016, mostró una tendencia ascendente en su componente Este, acumulando unos 150  $\mu$ rad, posteriormente y hasta la fecha muestra una tendencia estable. La componente Este mantiene la tendencia estable (Figura 65). El inclinómetro Petroglifo, muestra cambios que pueden estar asociados más a problemas en el sensor, es necesario realizar mantenimiento al mismo.



**Figura 65.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el enero de 2014 y marzo de 2017.

#### 4.1.4.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el análisis de los GNSS, igual que para la red de Galeras, se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En la Figura 66, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS Pradera, instalado en el volcán Las Ánimas. En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura.

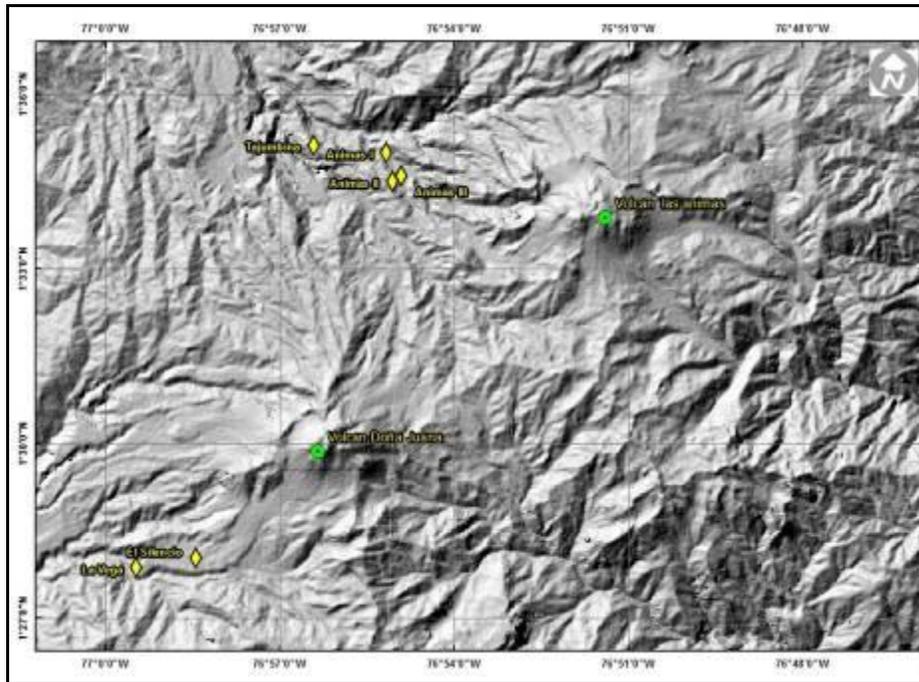


**Figura 66.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Pradera instalada sobre la superficie del volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 16 de diciembre de 2015 y el 15 de marzo de 2017.

#### 4.1.5 Estudio Geoquímico de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

##### 4.1.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

El complejo volcánico Doña Juana – Las Ánimas cuenta con una red actual de monitoreo de 6 fuentes termales (FT), entre las que se encuentran: FT Tajumbina (A), FT Animas I (B), FT Animas II (C), FT Animas III (D), que corresponde al volcán Las Ánimas y las FT La Vega (E), El Silencio (F), corresponden al volcán Doña Juana. (Figura 67, Tabla 23). Los parámetros fisicoquímicos y muestras para análisis permitirán su caracterización y comprensión desde el punto de vista geoquímico para este complejo volcánico.



**Figura 67.** Mapa de localización de las fuentes termales perteneciente a la zona de influencia de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Con respecto a la toma de datos y medición de parámetros fisicoquímicos en las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia del volcán Doña Juana y Las Ánimas, se utilizaron los siguientes equipos:

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

-Termómetro digital: permite hacer mediciones de temperatura.

Nota: No fue posible realizar el muestreo en la FT Animas II por factores antrópicos en la zona, ésta se encontró contaminada y no fue posible acceder a ella.

Tabla 23. Ubicación geográfica de las fuentes termales en los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

FUENTE TERMAL		COORDENADAS		ALTURA msnm
		Latitud Norte	Longitud Occidental	
Animas I		01° 34' 30.4"	76° 55' 3.1"	2586
Animas II		01° 35' 0.2"	76° 55' 10.2"	2486
Animas III		01° 34' 36.4"	76° 54' 54.5"	2578
Tajumbina		01° 34' 68"	76° 56' 25"	2500
La Vega		01° 27' 52.4"	76° 59' 28.1"	2432
El Silencio		01° 28' 2.3"	76° 58' 26.6"	2458 msnm

En la figura 68 se registran los valores del potencial de hidrógeno (pH) correspondientes al mes de marzo de 2017 de las fuentes termales muestreadas. 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 que hacen parte de la red de monitoreo de aguas de origen volcánico asociadas a los volcanes Doña Juana y las Ánimas entre los días 19 y 20 de marzo de 2017, presentaron potenciales de Hidrógeno (pH), entre 6,4 (neutro) y 7,6 (neutro).

En la figura 69 se observa 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 observar que el valor de pH continua incrementándose para la FT Animas I, pero que sin embargo se mantiene dentro de los límites de la neutralidad.

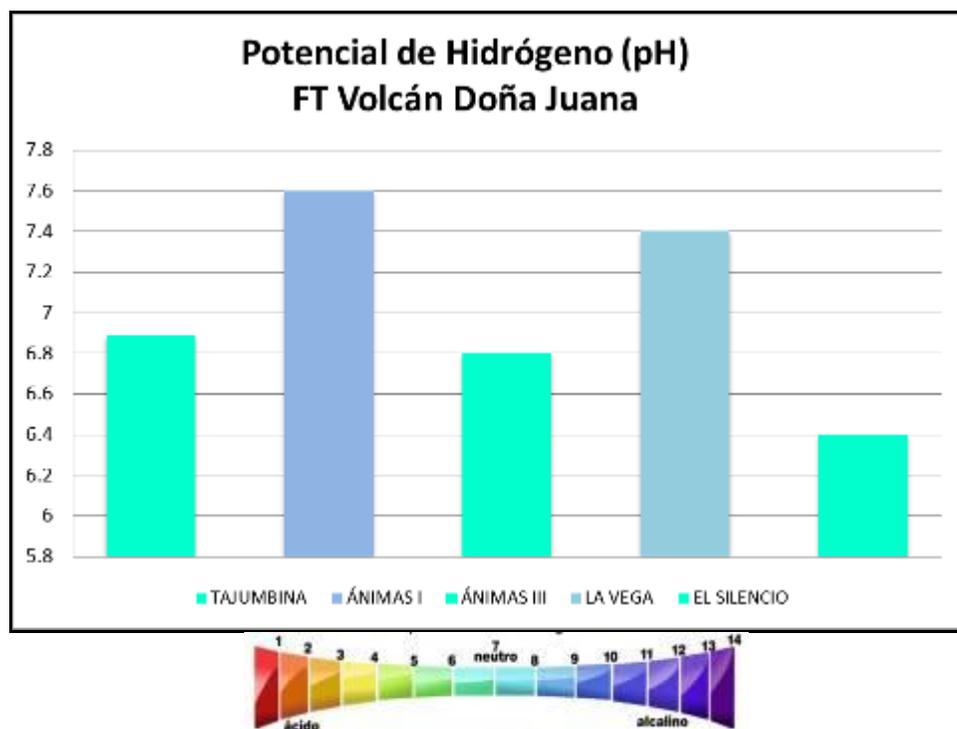


Figura 68. Potencial de hidrógeno de las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo de 2017.

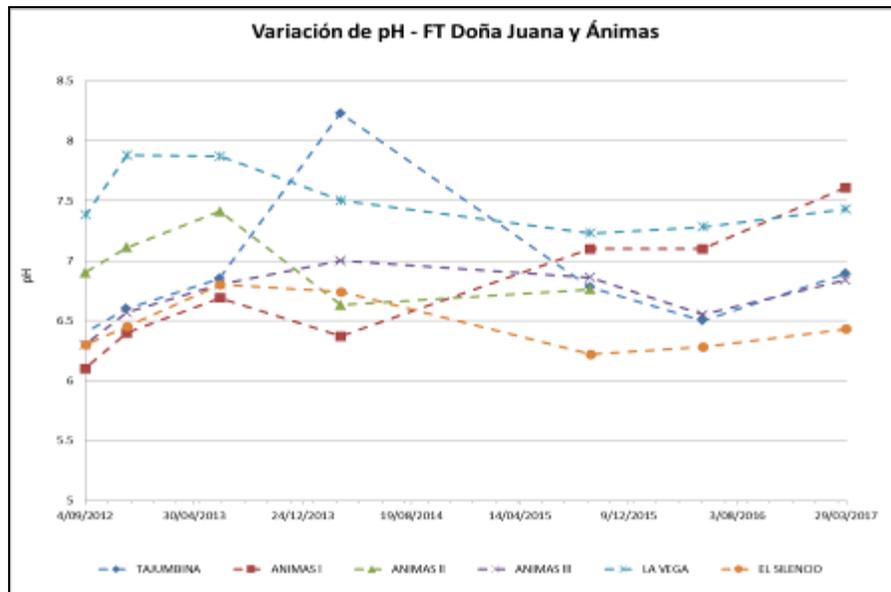


Figura 69. Comportamiento del pH en las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo de 2017.

En la tabla 24 se presenta la clasificación de las aguas termales de acuerdo a la temperatura, lo cual permite caracterizar a los manantiales así:

Tabla 24. Clasificación de aguas termales de acuerdo a la temperatura.

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

• **Fuente termal Tajumbina**

Temperatura superficial: 61.9°C (Temperatura registrada en marzo de 2017 con termómetro digital).

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: Por su temperatura, la manifestación termal puede ser clasificada como hipertermal. Presenta también una mediana conductividad eléctrica de 6,2 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal Ánimas I**

Temperatura superficial: 54.4°C. (Temperatura registrada en marzo de 2017 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipertermal. Presenta una mediana conductividad eléctrica de 5.5 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en solución.

- **Fuente termal Ánimas III**

Temperatura superficial: 38.9°C. (Temperatura registrada en marzo de 2017 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como mesotermal. Presenta una baja conductividad eléctrica de 3.8 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de sales solubles en el medio.

- **Fuente termal La Vega**

Temperatura superficial: 23.7°C. (Temperatura registrada en marzo de 2017 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 0,58 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de pocas sales solubles en el medio.

- **Fuente termal El Silencio**

Temperatura superficial: 24.3°C. (Temperatura registrada en marzo de 2017 con termómetro digital)

Tipo de surgencia: manantiales.

Área termal: puede ser clasificada según su temperatura como hipotermal. Presenta también una baja conductividad eléctrica de 0,7 mS/cm (25°C), que refleja la presencia de pocas sales solubles en el medio.

A continuación se presentan los gráficos sobre la variación de datos fisicoquímicos registrados a partir de datos históricos y aquellos registrados en el último muestreo.

En la figura 70 se observa el comportamiento de la temperatura en las fuentes termales pertenecientes a la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, registrándose una importante disminución en la temperatura para la FT

Ánimas III, mientras que para las demás FT no se observan cambios relevantes de esta variable.

Estos cambios podrían deberse a la mezcla entre agua de precipitación proveniente de la alta cantidad de lluvia en la zona con el agua del manantial termal, se continuará realizando monitoreo a la temperatura para descartar o determinar el origen de estos cambios.

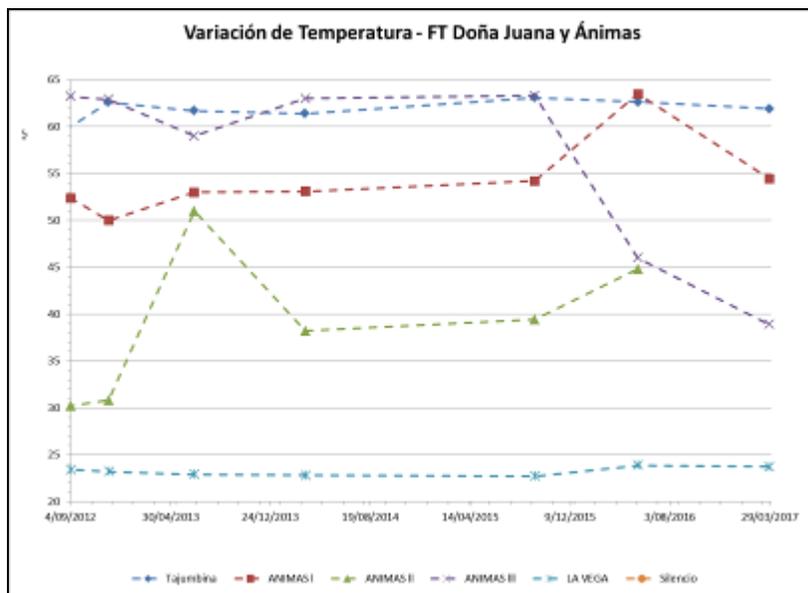
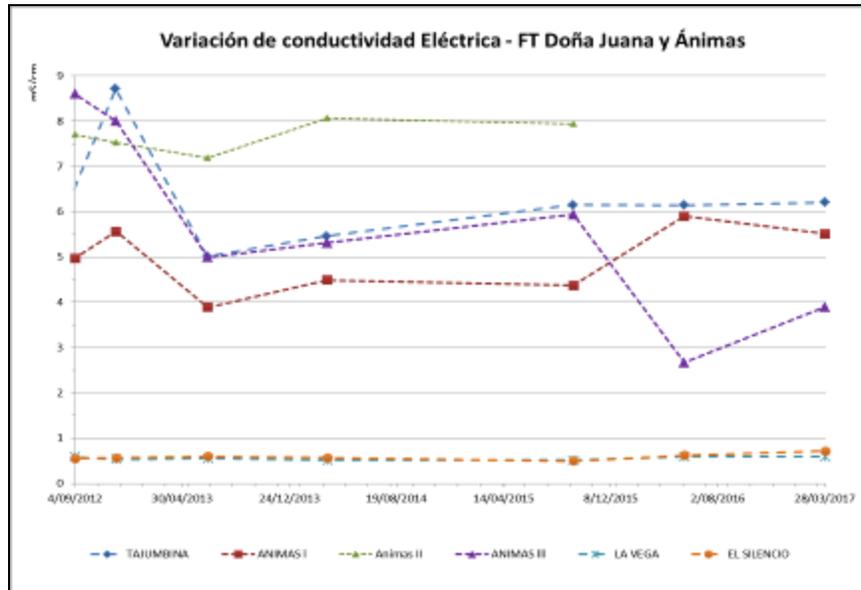


Figura 70. Comportamiento de la temperatura en las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo 2017.

En la figura 71, se presenta la gráfica para la variación de la conductividad eléctrica en las fuentes termales de origen volcánico, se puede observar que para la mayoría de las fuentes termales, los valores de conductividad presentan estabilidad, sin embargo la FT Ánimas III continua con valores fluctuantes. Estas variaciones están directamente involucradas con la composición iónica de las aguas, que a pesar de la temporada con alta lluviosidad en la zona, se mantiene en la mayoría de ellas una concentración iónica similar.



**Figura 71.** Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo de 2017.

La alcalinidad determinada a través del ion bicarbonato *in situ* mediante valoración con ácido clorhídrico frente a indicador azul de bromofenol, presenta un incremento importante en la fuente termal Animas I, el cual podría deberse a mayor presencia de CO<sub>2</sub> apoyado por un medio “más alcalino” que los presentados en meses anteriores, el cual no permite coexistir en su especie más ácida. Las demás termales presentan estabilidad (Figura 72).

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

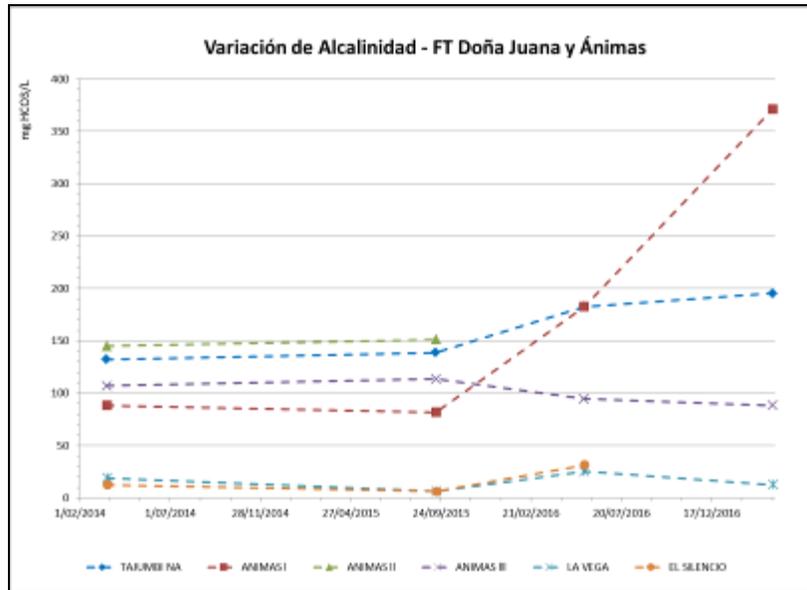


Figura 72. Comportamiento de la alcalinidad en las FT Volcanes Doña Juana y Las Ánimas-marzo de 2016.

Como conclusión podemos determinar:

Las fuentes termales que hacen parte de la red de monitoreo de aguas de origen volcánico asociadas a los volcanes Doña Juana y las Ánimas, presentaron pH entre 6,4 (neutro) y 7,6 (neutro).

El valor de pH continúa incrementándose para la FT Animas I, manteniéndose dentro de los límites de la neutralidad.

Se registró una importante disminución en la temperatura para la FT Ánimas III, mientras que para las demás FT no se observan cambios relevantes de esta variable.

Para la mayoría de las fuentes termales, los valores de conductividad presentan estabilidad, sin embargo la FT Ánimas III continúa con valores fluctuantes.

Las variaciones en la conductividad eléctrica están directamente involucradas con la composición iónica de las aguas.

La alcalinidad determinada presentó un incremento importante en la fuente termal Animas I, el cual podría deberse a mayor presencia de CO<sub>2</sub> apoyado por un medio “más alcalino” que los presentados en meses anteriores.

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

#### **4.1.6 Actividad Superficial**

Durante el mes de marzo de 2017 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Las Ánimas.

#### **4.1.7 Conclusiones**

Persisten los niveles bajos de ocurrencia y energía sísmica. La sismicidad registrada en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas corresponde a eventos asociados con fractura de material cortical, denominados Volcano Tectónicos (VT).

La evaluación de la actividad volcánica de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante marzo de 2017 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

### **4.2. ACTIVIDAD DEL VOLCÁN DOÑA JUANA**

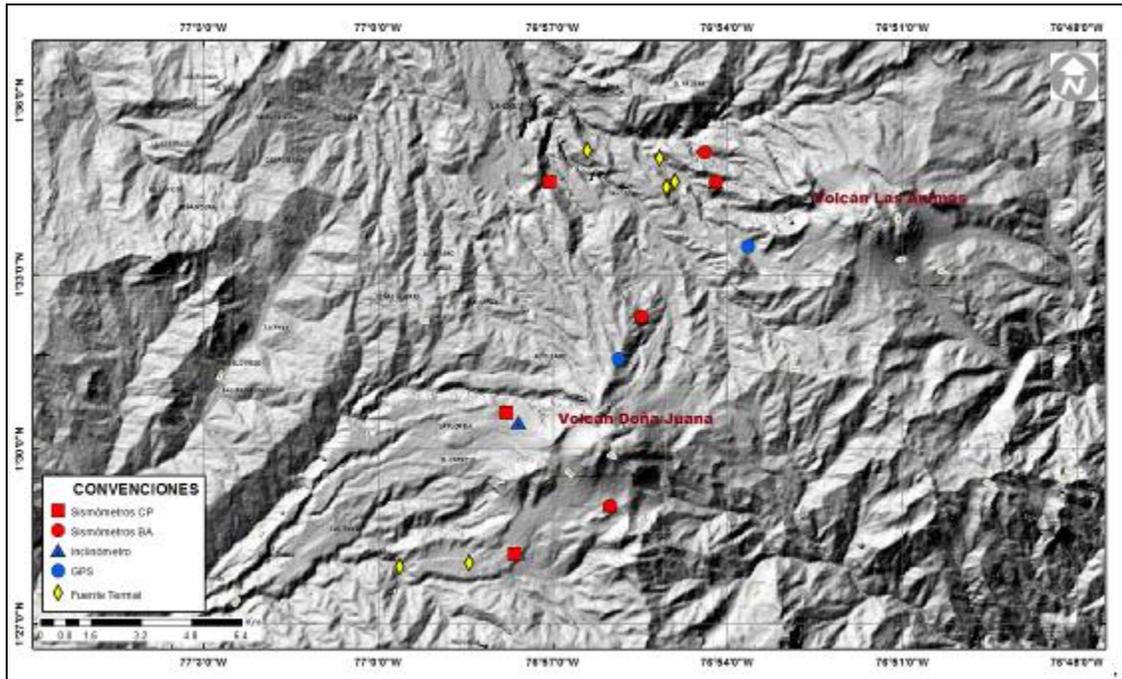
#### **4.2.1. Red de Vigilancia**

Para el mes de marzo de 2017, la red de vigilancia del volcán Doña Juana estuvo conformada por:

- Tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de Corto Periodo y una de Banda Ancha (Figura 73, Tabla 25).
- La red de deformación del volcán Doña Juana cuenta con tres inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 73, Tabla 25).
- A partir del 25 de febrero se cuenta con la señal de la estación GNSS permanente La Palma, instalada hacia el sector nororiente del volcán Doña Juana

Adicionalmente se cuenta con la señal digital de la estación La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Figura 73, Tabla 25).

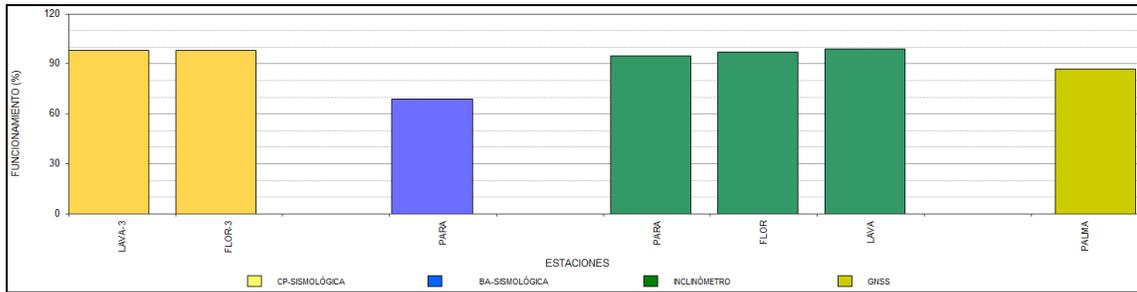
En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvo un funcionamiento promedio del 91,9 % (Figura 74).



**Figura 73.** Localización de las estaciones que conforman la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Animas.

**Tabla 25.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana en febrero de 2017.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al centro del volcán (Km)	Dirección respecto al volcán	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,1	SE	3533
I. Páramo	Digital	Inclínómetro Electrónico	Biaxial	2,1	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	2,3	W	3140
I. Florida	Digital	Inclínómetro Electrónico	Biaxial	2,3	W	3140
Lavas	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4,1	SW	3145
I. Lavas	Analógica	Inclínómetro Electrónico	Biaxial	4,1	SW	3145
La Cruz	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Uniaxial	7.5	NNW	2761
La Palma	Digital	GNSS	Triaxial	2,7	NNW	3478



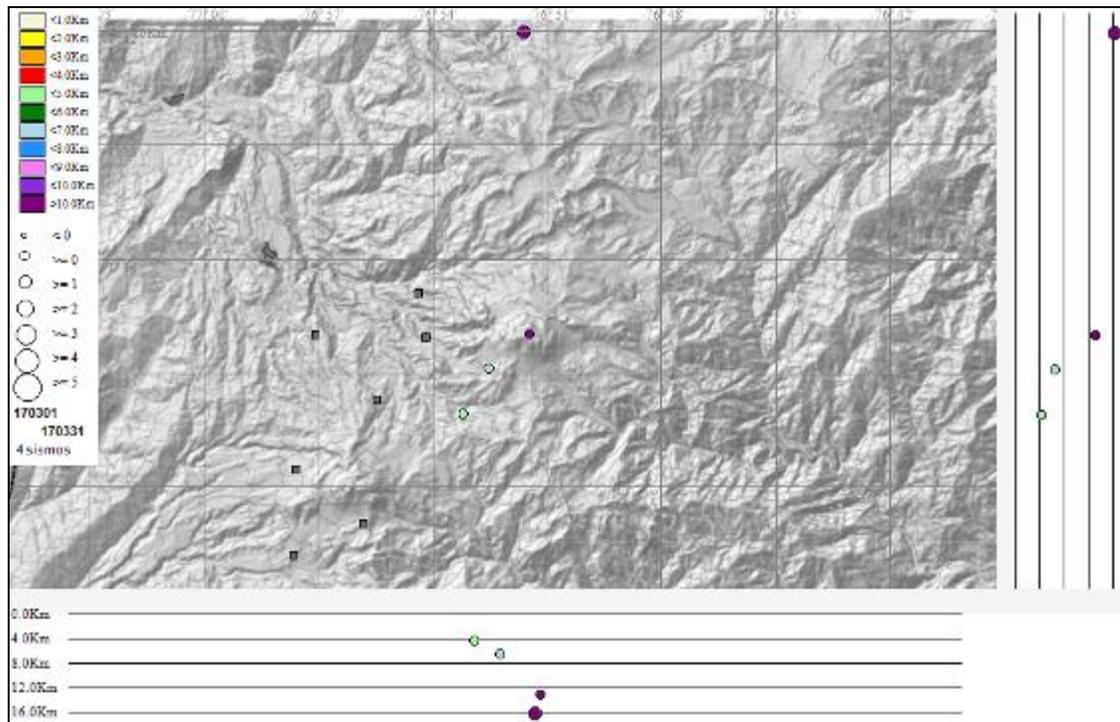
**Figura 74.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante marzo de 2017.

#### 4.2.2 Sismología

En marzo se mantuvieron los niveles bajos de ocurrencia y energía, con un descenso del 60% en la ocurrencia sísmica pasando de 10 a 4 eventos con relación al mes de febrero. Se registraron 4 sismos, todos ellos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT) (Tabla 26). Fue posible localizarlos todos y se ubicaron dispersos en la zona de influencia volcánica de Las Ánimas, a distancias entre cero y 15 km, profundidades entre 4 y 16 km con respecto a su cima (4300 m) y magnitud local entre 0.7 y 1.6 en la escala abierta de Richter (Figura 75). El mayor sismo del mes se registró el 21 de marzo a las 15:13 hora local a una distancia de 15 km al norte de la cima de Las Ánimas a una profundidad de 16 km y con magnitud local de 1.6 en la escala abierta de Richter. La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de  $1.67 \times 10^{14}$  ergios.

**Tabla 26.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2017 en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Febrero de 2017	9	0	0	0	1	10
Marzo de 2017	4	0	0	0	0	4

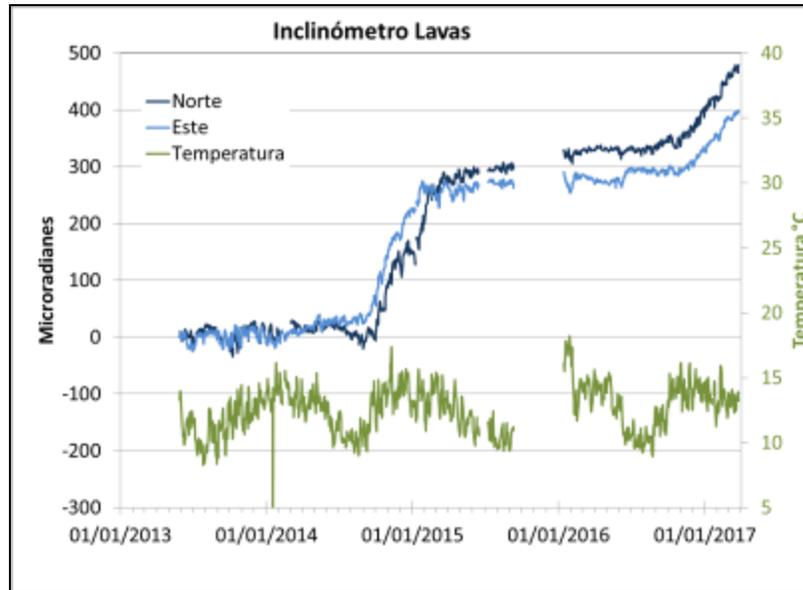


**Figura 75.** Localizaciones de sismos VT registrados en marzo de 2017 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

### 4.2.3 Deformación

#### 4.2.3.1 Inclínometría Electrónica

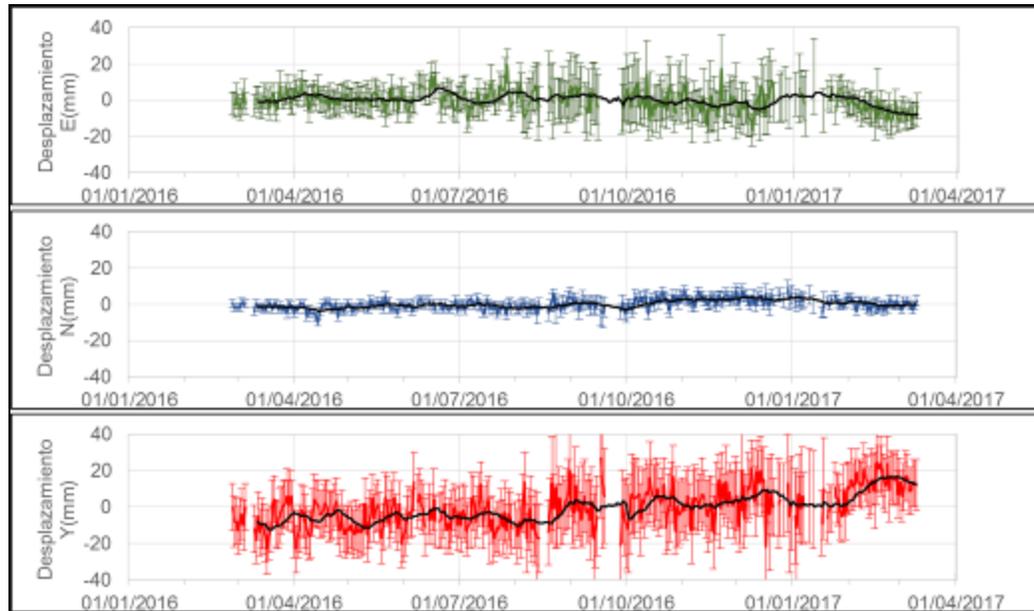
El inclinómetro Lavas, entre enero de 2015 y hasta marzo de 2017, continúa mostrando una tendencia ascendente, que para este periodo acumula en la componente Norte y Este cerca de 130 y 100  $\mu\text{rad}$ , respectivamente (Figura 76). Los inclinómetros Florida y Páramo, presentan interferencias en sus componentes.



**Figura 76.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de marzo de 2017.

#### 4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En la Figura 77, se indica el comportamiento de las direcciones del GNSS La Palma, instalado en Doña Juana. En general se observa un comportamiento estable en el desplazamiento indicado por las direcciones Este, Norte y Altura.



**Figura 77.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 27 de febrero de 2016 y el 15 de marzo de 2017.

#### 4.2.4 Actividad Superficial

Durante el mes de marzo de 2017 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del volcán Doña Juana.

#### 4.2.5 Conclusiones

Persisten los niveles bajos de ocurrencia y energía sísmica. La sismicidad registrada en la zona de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas corresponde a eventos asociados con fractura de material cortical, denominados Volcano Tectónicos (VT).

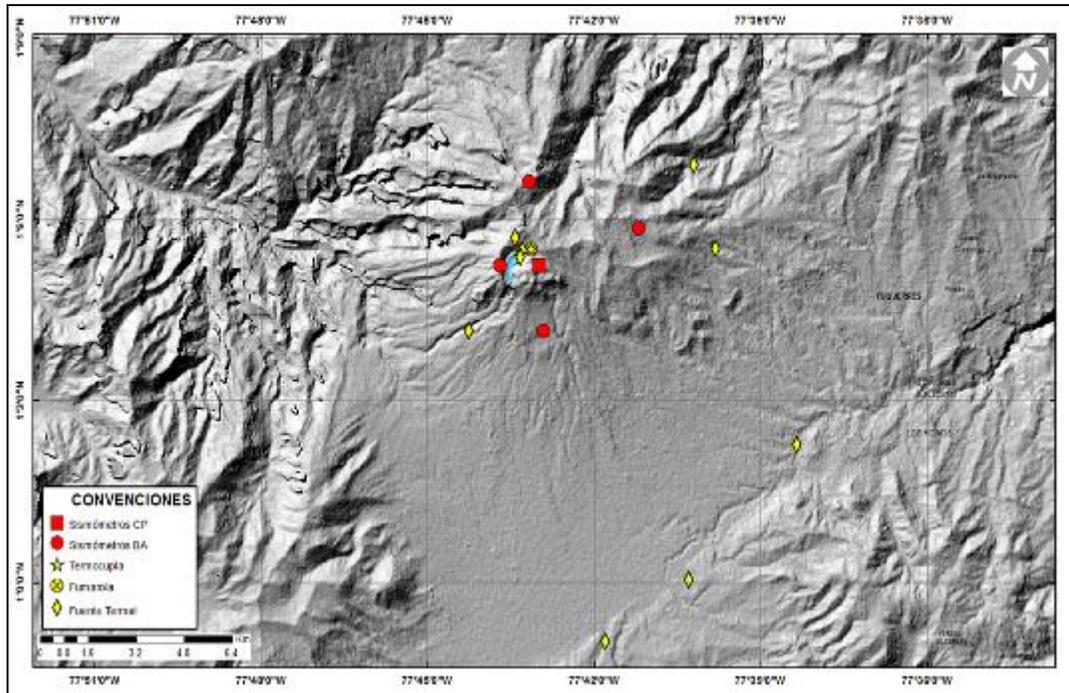
La evaluación de la actividad volcánica de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante marzo de 2017 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

### **4.3 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN AZUFRAL**

#### **4.3.1 Red de vigilancia**

En la Figura 78 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán Azufral, las cuales son: La Roca, Chaitán, Laguna, Ventana y Lobo, las dos primeras cuentan con sensores sísmicos e inclinómetros electrónicos y Laguna con un sensor sísmico y una cámara web para el seguimiento de la actividad superficial. En la Tabla 27 se consignan sus características. Adicionalmente se cuenta con una estación meteorológica La Roca, que consta de un anemómetro para medida de velocidad y dirección del viento, un sensor de temperatura, un sensor de humedad relativa, un pluviómetro, un sensor de presión atmosférica y uno para medidas de radiación solar. Adicionalmente se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

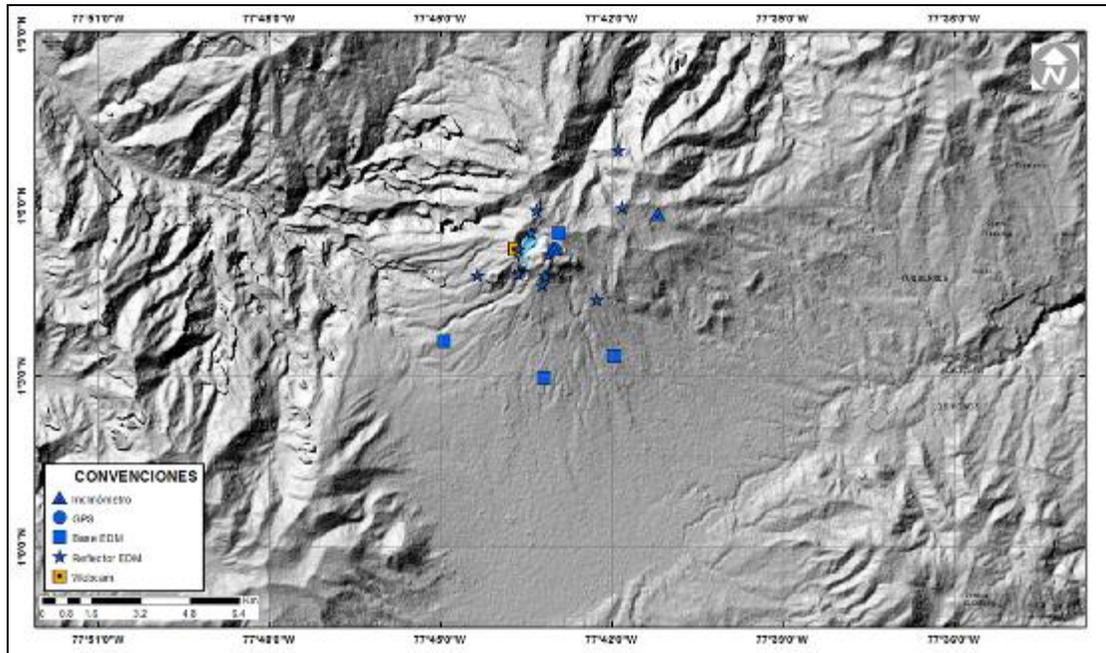
Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de Azufral se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4 bases y 12 prismas reflectores. Desde el pasado mes de marzo de 2015 se cuenta con una estación GNSS, ubicada muy próxima a la estación multiparámetro La Roca (Figura 79).



**Figura 78.** Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufral durante el mes de marzo de 2017.

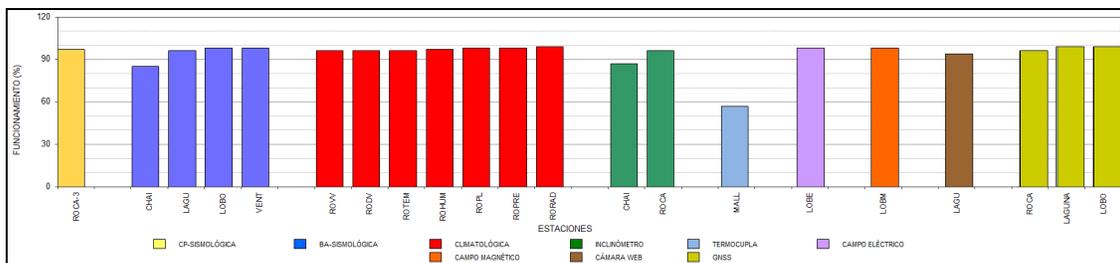
**Tabla 27.** Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán Azufral en el mes de marzo de 2017.

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a la Laguna (Km)	Ubicación Respecto a la Laguna	Altitud (msnm)
La Roca	Analógica	Sismómetro Corto periodo	Triaxial	1.2	E	4025
Chaitán	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	4.3	ENE	3730
Laguna	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	0.5	SW	3921
Lobo	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2.4	SE	3569
Ventana	Digital	Sismómetro de Banda Ancha	Triaxial	2.5	NE	3981
La Roca	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	1.2	E	4025
Chaitán	Digital	Inclinómetro electrónico	Biaxial	4.3	ENE	3730
Mallama	Digital	Termocupla		0.5	NE	3805



**Figura 79.** Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufral en el mes de marzo de 2017.

En general, la red de monitoreo del volcán Azufral alcanzó un porcentaje promedio de operación del 94,2 % para este mes (Figura 80).



**Figura 80.** Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante marzo de 2017.

### 4.3.2 Sismología

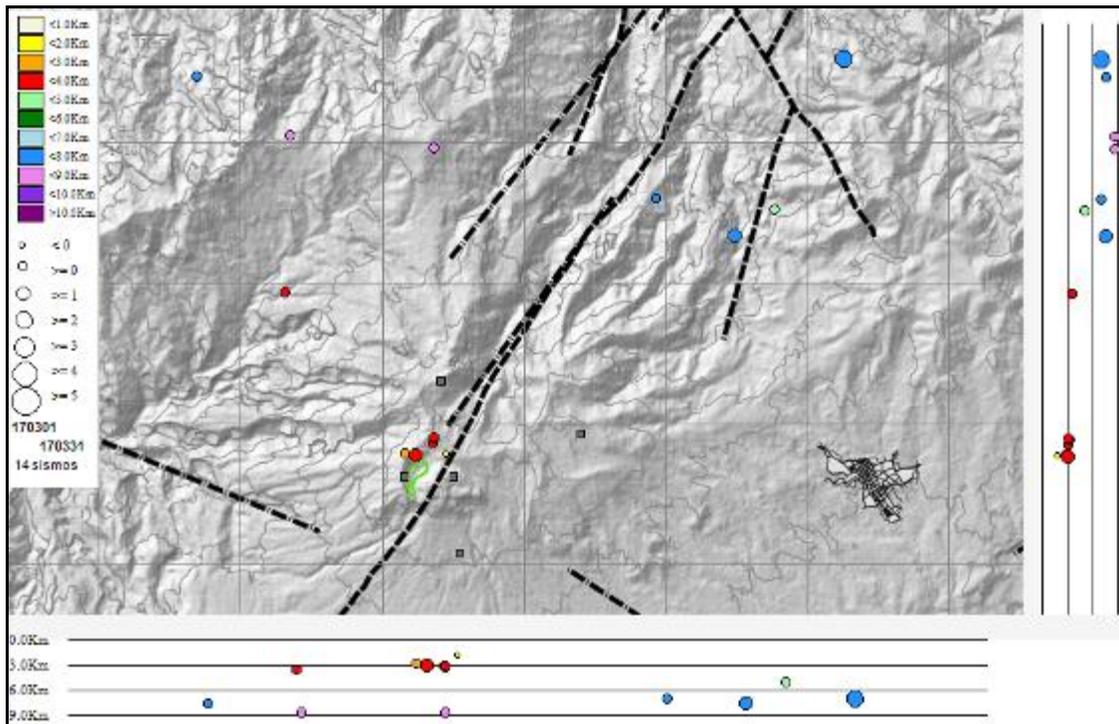
Se mantuvieron los niveles bajos de ocurrencia y energía sísmica, con un aumento del 50% en la ocurrencia, pasando de 12 a 18 eventos, en comparación con el mes anterior. Todos los eventos registrados fueron de tipo VT, asociados con fractura de roca al interior del volcán, ningún evento fue renombrado como VOL (señales que por sus

Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y Azufral - marzo 2017

bajos niveles energéticos no son fáciles de catalogar dentro de alguno de los tipos de sismicidad establecidos) (Tabla 28). Fue posible localizar 14 VT que se ubicaron dispersos en la zona de influencia volcánica, a distancias entre 0.4 y 15 km, profundidades entre 2 y 9 km con respecto a la cima (4070 m) y magnitud local máxima de 2.3 en la escala abierta de Richter. El mayor sismo del mes se registró el día 19 a las 13:54 hora local, fue ubicado a 15 km al NE de la Laguna Verde, con profundidad de 7 km y magnitud local de 2.3, no se reportó como sentido (Figura 81). La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de  $2.02 \times 10^{15}$  ergios.

**Tabla 28.** Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en febrero y marzo de 2017 en el volcán Azufral.

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo					
	VT	LPS	TRE	HIB	VOL	TOTAL
Febrero de 2017	10	0	0	0	2	12
Marzo de 2017	18	0	0	0	0	18



**Figura 81.** Localizaciones de sismos VT registrados en Azufral durante marzo de 2017.

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 3 sismos con magnitud local igual o superior a 1.0 grado, en la tabla 29 se consignan sus características de localización. Ningún sismo fue reportado como sentido.

**Tabla 29.** Sismos con ML mayor o igual a 1.0 grado registrados en Azufral en marzo de 2017

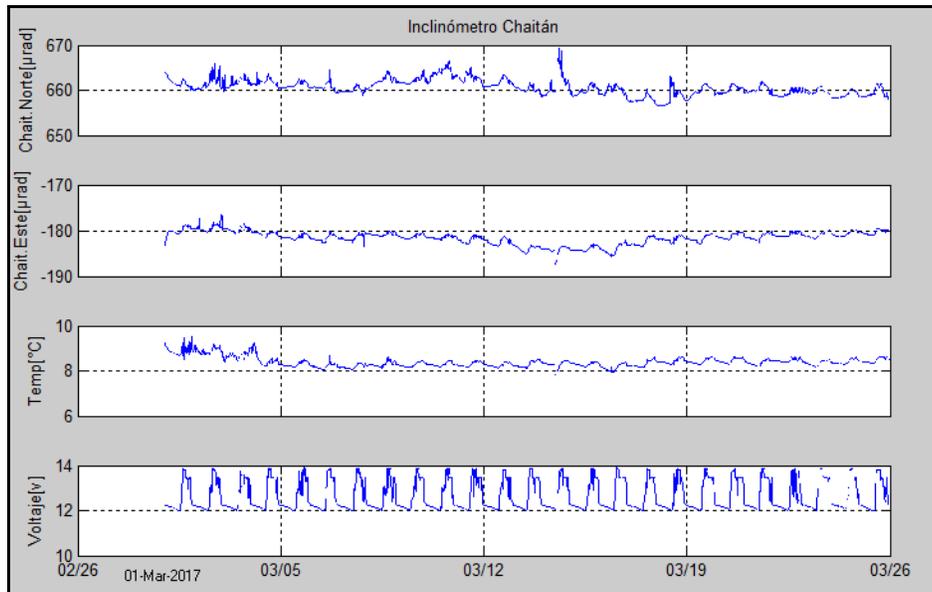
Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
17/03/2017	00:24	1-05.55	77-43.54	3.1	1.9
19/03/2017	13:54	1-11.20	77-37.48	7.0	2.3
25/03/2017	21:16	1-08.69	77-39.02	7.6	1.6

### **4.3.3 Deformación**

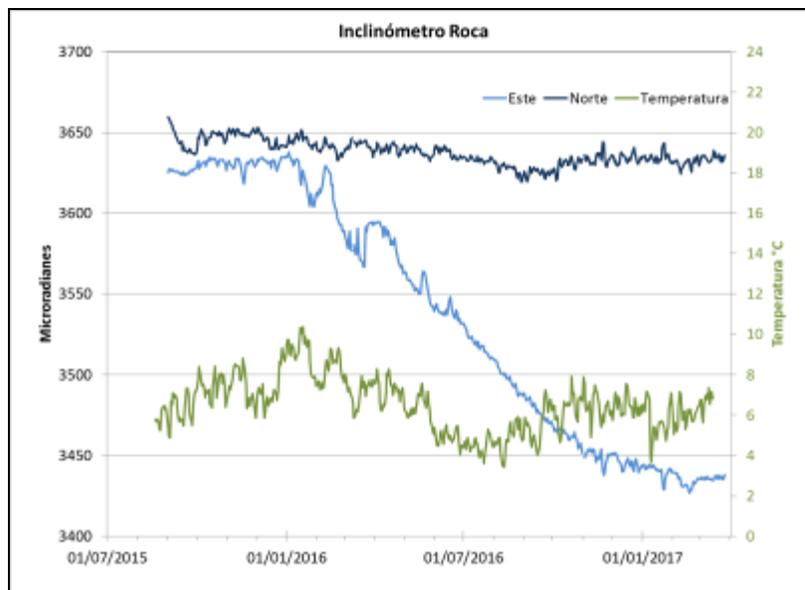
En la Figura 79 se aprecia la ubicación de los inclinómetros electrónicos, Bases y prismas EDM y estaciones GNSS, estaciones dispuestas para el seguimiento de los cambios en superficie del Volcán Azufral.

#### **4.3.3.1 Inclinometría Electrónica**

En el inclinómetro Chaitán se observa una tendencia estable con variaciones periódicas en las componentes que superaban los 100 urad, por esta razón el 28 de febrero de 2017 se movió el sensor unos pocos metros, construyendo un nuevo sistema de protección en un sector donde las condiciones climáticas no lo afectan considerablemente, durante el mes de marzo las componentes muestran estabilidad con variaciones que no superan los 10 urad (Figura 82). En el inclinómetro la Roca durante el 2016, se presentó un cambio en la pendiente de la componente Este, mostrando una tendencia descendente, con cerca de 170  $\mu$ rad, y en la componente Norte un cambio menor de unos 25  $\mu$ rad, indicando una deflación hacia la zona de la Laguna Verde del Azufral, lo cual puede estar asociado con la disminución del nivel del agua de la laguna, durante este año, la tendencia de las componentes tienden a estabilizarse (figura 83).



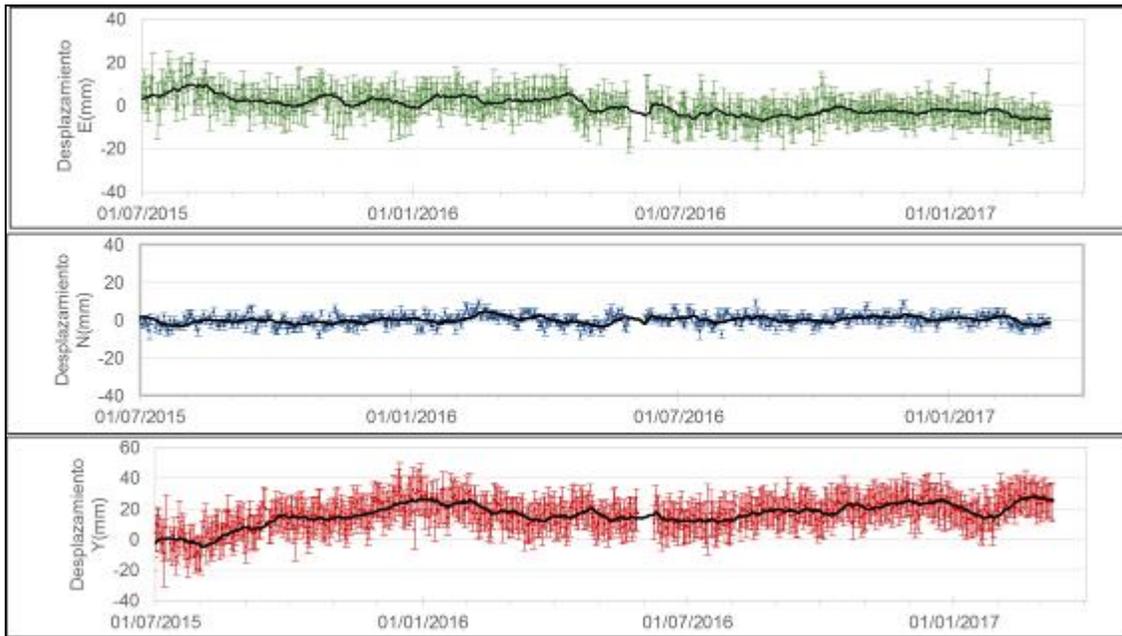
**Figura 82.** Comportamiento de las componentes de inclinación Norte y Este, temperatura y voltaje del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para marzo de 2017.



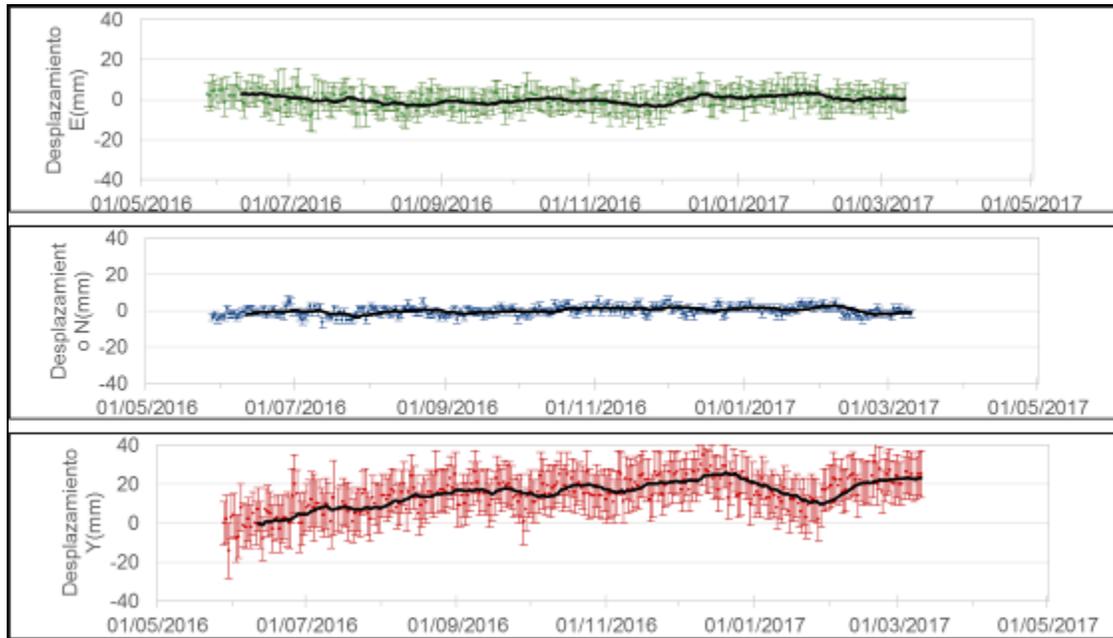
**Figura 83.** Componentes de inclinación Norte y Este, temperatura del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 31 de marzo de 2017.

4.3.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

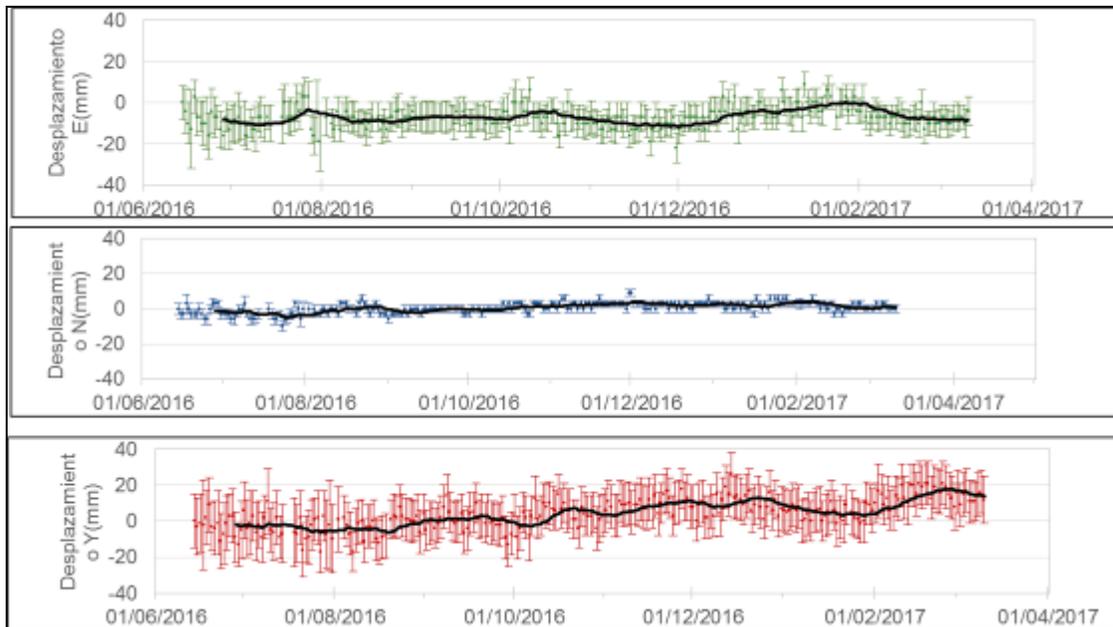
En el volcán Azufra, se cuenta con tres GNSS, La Roca, Laguna y Lobo. Para el análisis se contempló un procesamiento absoluto, el cual se está realizando a través del Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS). Los datos en formato RINEX, son enviados por separado para cada día y cada estación y posteriormente el resultado es almacenado en hojas de cálculo. El CSRS, utiliza las efemérides finales, correcciones que se deben hacer al dato de posición, por lo cual el proceso se presenta con 15 días de retraso. En las Figuras 84, 85 y 86, se muestra comportamiento de las direcciones Norte, Este y altura de los GNSS La Roca, Lobo y Laguna. En general el comportamiento de las componentes muestra estabilidad.



**Figura 84.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Roca instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2015 y el 15 de marzo de 2017.



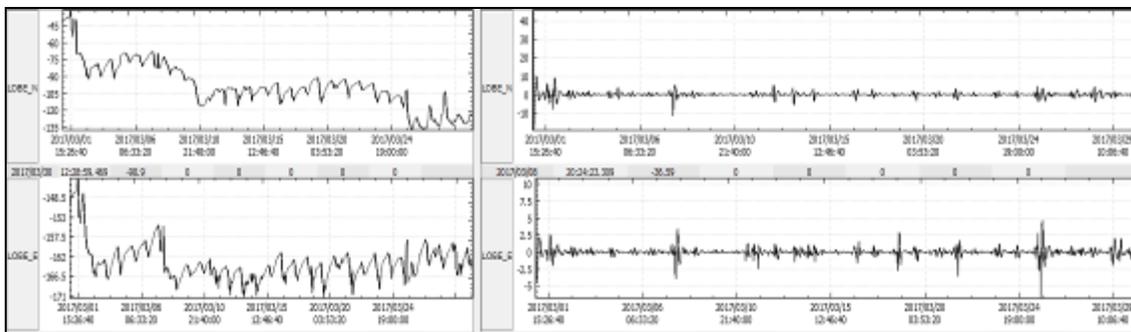
**Figura 85.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Lobo instalado en el volcán Azufzal, para el periodo comprendido entre el 28 de mayo de 2016 y el 15 de marzo de 2017.



**Figura 86.** Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de la estación GNSS Laguna instalado en el volcán Azufzal, para el periodo comprendido entre el 14 de junio de 2016 y el 15 de marzo de 2017.

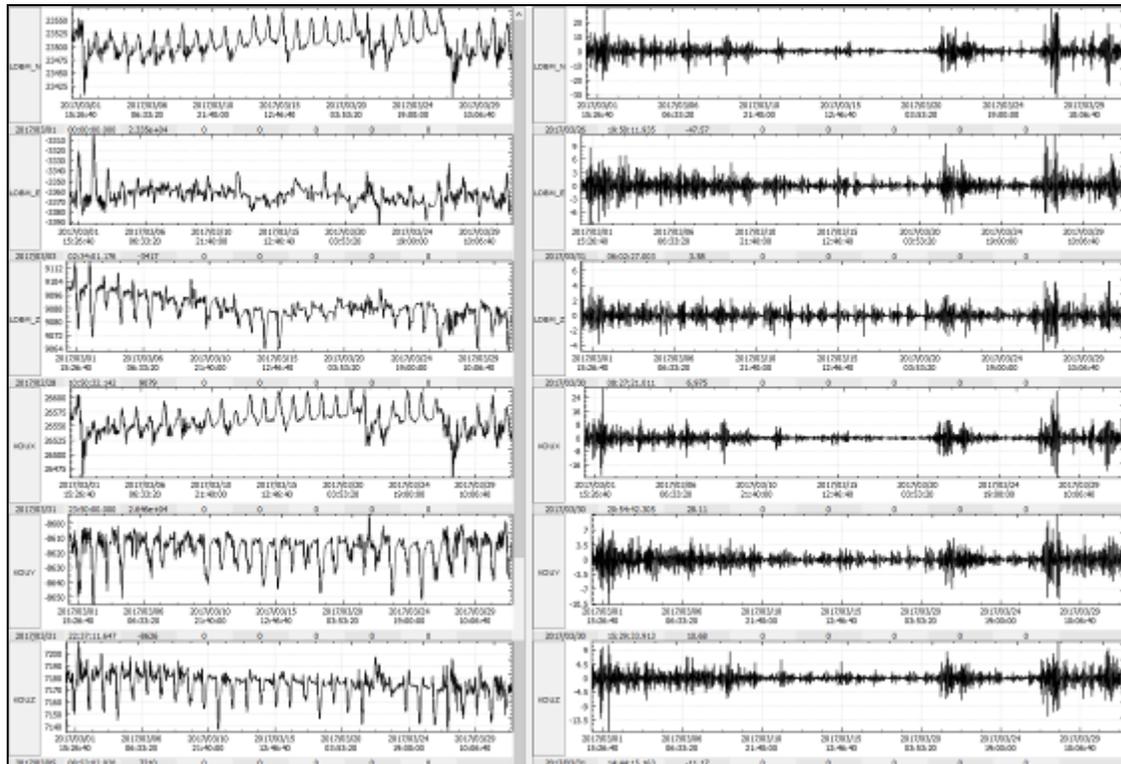
#### 4.3.4 Electromagnetismo

Los registros de las componentes del campo eléctrico, en la zona de influencia del volcán Azufral, muestran inicialmente las variaciones asociadas con los fenómenos externos, mostrando proceso cíclicos de periodos de 12 horas, un día, 28 días y más; sin embargo, al realizar un faltado de los datos, eliminando estos periodos cíclicos, fue posible identificar las variaciones propias de la zona de influencia del volcán Azufral, obteniendo variaciones menores de 10 mV, que corresponden a variaciones bajas para zonas volcánicas (Figura 87).



**Figura 87.** A la izquierda se tiene el registro de las componentes norte y este de la estación de monitoreo eléctrico Lobo. A la derecha se presentan los registros de las mismas componentes, a las cuales se les ha aplicado un filtro, para eliminar las variaciones externas a los procesos volcánicos. El periodo de registro corresponde a marzo de 2017.

En cuanto al comportamiento de las componentes magnéticas del sensor ubicado en la estación de Lobo, en el volcán Azufral, para el mes de marzo de 2017, al igual que para Galeras, se resaltan inicialmente las variaciones asociadas con procesos externos, que son comparables con las variaciones observadas en las componentes de la estación de Kourou, de la red de monitoreo magnético global, del Instituto Central de Magnetismo Terrestre, ubicado en Francia, (La estación se ubica en Guayana Francesa). Al filtrar los datos es posible identificar las variaciones propias de la zona de influencia volcánica, que son del orden de  $\pm 20$  nT, para la componente norte,  $\pm 8$  nT para la componente este y  $\pm 5$  nT para la componente vertical (Figura 88).



**Figura 88.** A la izquierda se muestra el comportamiento de las componentes norte, este y vertical, de las estaciones Lobo y Kourou, durante el mes de marzo de 2017. A la derecha se muestran las mismas componentes a las cuales se les ha aplicado el filtro para eliminar los efectos externos, resaltando las variaciones propias de la zona volcánica.

#### 4.3.5. Geoquímica

##### 4.3.5.1 Muestreo de Aguas en la Laguna Verde

El 17 de marzo y luego del incremento en las tasas de emisión de gases observadas en el sector del domo Mallama al nororiente de la Laguna cratérica, se realizó medidas de parámetros fisicoquímicos en aguas que se encuentran en el sector conocido como La Playita obteniendo los siguientes valores, que no reflejan cambios significativos:

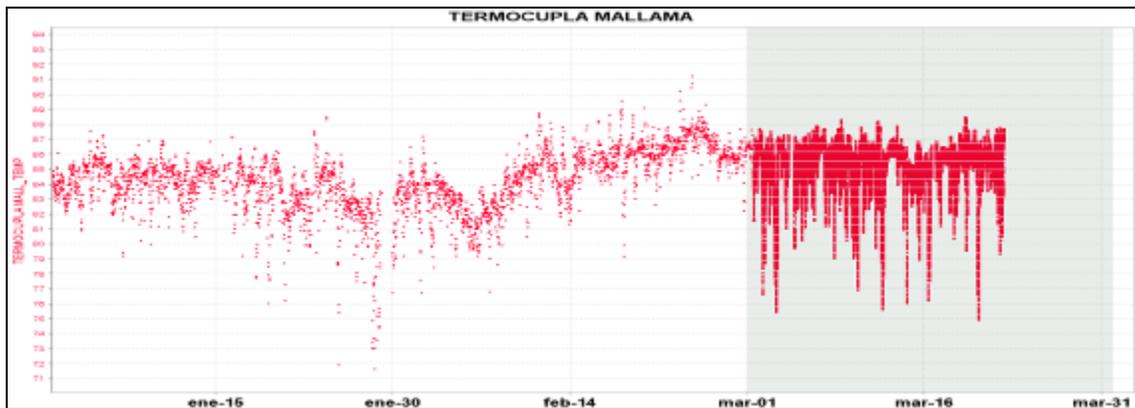
- Potencial Hidrógeno (pH): 2.1 (Ácido)
- Conductividad Eléctrica Media: 3.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$

#### 4.3.5.1 Registro de Temperatura – Domo Mallama

Los datos sobre la variación de temperatura en el campo fumarólico “Domo Mallama” del volcán Azufral, se obtienen a partir de una estación telemétrica ubicada en el sitio (Figura 78), los cuales se registran diariamente con una tasa de muestreo de 10 minutos.

En la Figura 89 se registran las variaciones que corresponden a variaciones día-noche. Durante el mes de marzo de 2017 se registra un valor máximo de 88,5°C (Tabla 30). Hasta el momento no se han encontrado relaciones con la actividad volcánica. Se resalta que por problemas en la tarjeta digitalizadora, el equipo sólo funcionó hasta el 22 de marzo de 2017.

El grupo de Geoquímica del OVS Pasto continua con el monitoreo de esta variable, registrando el comportamiento y operación de la estación.



**Figura 89.** Temperatura Domo Mallama-Estación térmica perteneciente a la zona de influencia del Volcán Azufra PARA el periodo comprendido entre el 1 de octubre de 2016 y el 31 de enero de 2017.

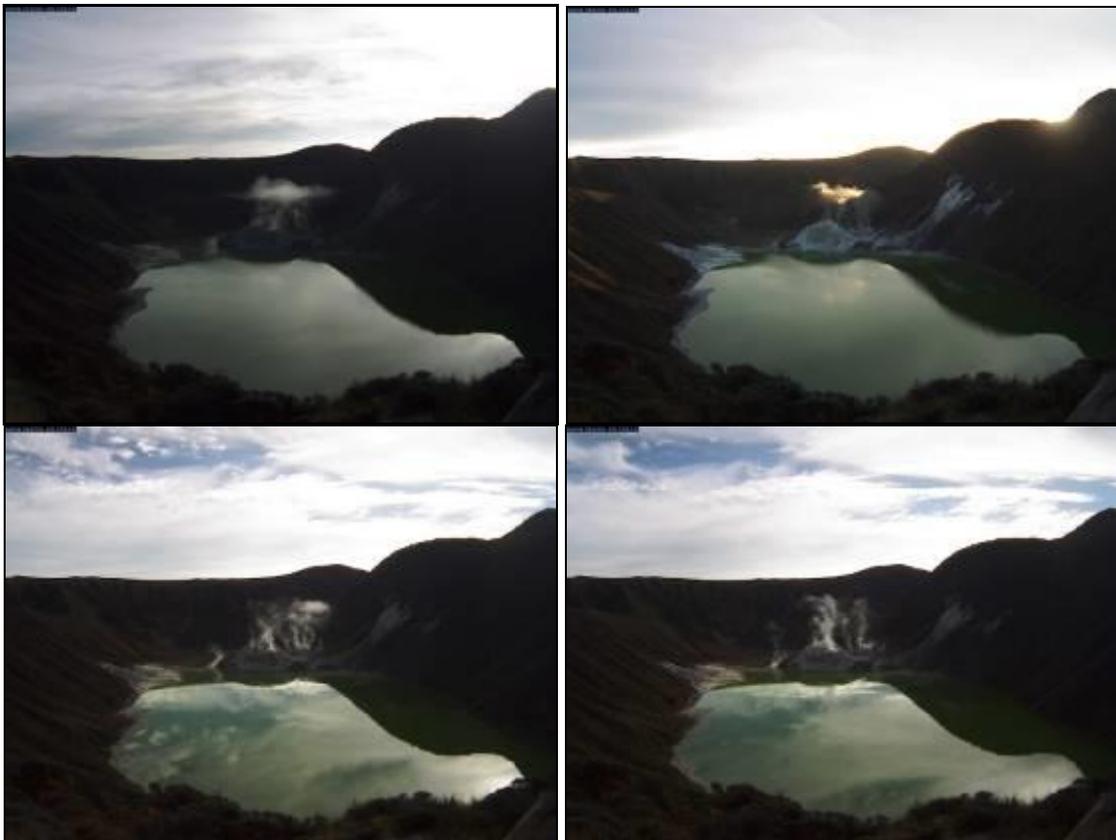
**Tabla 30.** Valores de temperatura en Domo Mallama en el área de influencia del volcán Azufral – Octubre de 2016 a enero de 2017.

VALOR	Temp. (°C)
Mínimo	74,8
Máximo	88,5
Promedio	85

#### 4.3.6. Actividad Superficial

Las condiciones de clima favorables permitieron a través de las imágenes capturadas por la cámara instalada en el costado suroccidental de la laguna cratérica observar emisiones de gases de color blanco de baja altura provenientes del domo Mallama ubicado en el nororiente de la Laguna Verde para todos los días del mes exceptuando el 6 de marzo. Para la mañana del 16 de marzo de resalta un incremento importante en los lugares y tasas de emisión de gases, particularmente desde el Domo Mallama, hecho por el cual se sugiere a CORPONARIÑO y Parques Nacionales de Colombia tomar las medidas preventivas que se estimen pertinentes, dada la alta afluencia de turistas y visitantes que suele tener el cráter del Volcán Azufra.

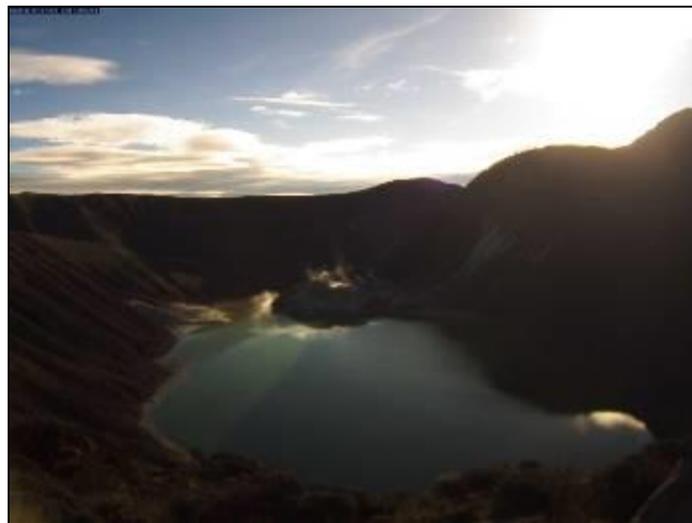
En las Figuras 90, 91 y 92 se presentan algunas imágenes relacionadas con procesos de emisión de gases en el volcán Azufra.



**Figura 90.** Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufra registradas el 16 de marzo de 2017 en horas de la mañana, capturadas desde la cámara WEB ubicada al suoccidente del volcán.



**Figura 91.** Imágen de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 17 de marzo de 2017 a las 6:55 a.m. capturada desde la cámara WEB ubicada al suoccidente del volcán.



**Figura 92.** Imágen de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 23 de marzo de 2017 a las 7:15 a.m. capturada desde la cámara WEB ubicada al suoccidente del volcán.

#### 4.3.7 Conclusiones

Persisten los niveles bajos de ocurrencia y energía. La sismicidad registrada en la zona de influencia del volcán AzufraI corresponde a eventos asociados con fractura de material cortical, denominados Volcano Tectónicos (VT). Se destaca el registro de un evento VT con ML de 2.3 en la escala abierta de Richter, que no fue reportado como Informe mensual de actividad de los volcanes Galeras, Chiles – Cerro Negro, Cumbal, Las Ánimas, Doña Juana y AzufraI - marzo 2017

sentido. Se presentan fluctuaciones en los procesos de emisión de gases particularmente desde el Domo Mallama.

La evaluación de la actividad volcánica del volcán Azufral durante marzo de 2017 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

Servicio Geológico Colombiano – SGC. Boletín mensual e informes semanales de actividad del Volcán Galeras y de los Volcanes Doña Juana, Las Ánimas, Azufral, Cumbal, Chiles y Cerro Negro de Mayasquer y Bases de datos internas del OVSP. Meses de febrero y marzo de 2017. Varios autores. Informes inéditos. Pasto. 2017.

Información complementaria puede ser consultada en la página web del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto en: <http://www.sgc.gov.co/Pasto.aspx>