



***INFORME MENSUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES
GALERAS, CUMBAL, CHILES – CERRO NEGRO,
LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL
ENERO 2021***

San Juan de Pasto, Febrero de 2021



**El futuro
es de todos**

Minenergía

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©

Oscar Paredes Zapata

Director General

Marta Lucia Calvache Velasco

Dirección Técnica Geoamenazas

Cristian Mauricio López

Coordinador Grupo Trabajo Investigación Evaluación y Monitoreo Actividad Volcánica

Diego Mauricio Gómez Martínez

Coordinador Grupo Trabajo Pasto

AUTORES

Adriana Ortega Estupiñan

Betty Silva Parra

Carlos Laverde Castaño

Darío Arcos Guerrero

Edgar Muñoz Hidalgo

Jorge Mora Arroyo

John Meneses Muñoz

Jairo Ortiz Valencia

Lourdes Narváez Medina

Oscar Cadena Ibarra

Paola Narváez Obando

Patricia Ponce Villarreal

Rafael Cárdenas Santacruz

Roberto Torres Corredor

Richard Mier Portilla

Yenny Hache Timana

Grupo de Trabajo Observatorio Pasto

CONTENIDO

RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	16
1 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN GALERAS – ENERO DE 2021	17
1.1 Red de Vigilancia	17
1.2 Sismología	23
1.3 Deformación	26
1.3.1 Inclinometría Electrónica	26
1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes	30
1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM	32
1.4 Electromagnetismo	32
1.5 Geoquímica	37
1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico	37
1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo	37
1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales	39
1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales	39
1.6 Actividad Superficial	39
1.7 Conclusiones	41
2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2021	41
2.1 Red de Vigilancia	41
2.2 Sismología	44
2.3 Deformación	49
2.4 Electromagnetismo	51
2.5 Geoquímica	51
2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales	51
2.6 Actividad Superficial	51
2.7 Conclusiones	54
3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - ENERO DE 2021	54
3.1 Ubicación Geográfica	54
3.2 Red de Vigilancia	55
3.3 Sismología	58
3.4 Deformación	61
3.4.1 Inclinometría Electrónica	61
3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes	63
3.5 Electromagnetismo	64
3.6 Geoquímica	68
3.6.1 Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	68

3.6.2	Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	68
3.6.3	Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles	68
3.7	Actividad Superficial	68
3.8	Conclusiones	68
4	ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES LAS ÁNIMAS, DOÑA JUANA Y AZUFRAL – ENERO DE 2021	69
4.1	Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.	70
4.1.1	Red de Vigilancia	70
4.1.2	Sismología	72
4.1.3	Deformación	74
4.1.3.1	Inclinometría Electrónica	74
4.1.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	77
4.1.4	Geoquímica	79
4.1.4.1	Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana	79
4.1.5	Actividad Superficial	80
4.1.6	Conclusiones	80
4.2	Actividad del Volcán Azufral	80
4.2.1	Red de Vigilancia	80
4.2.2	Sismología	83
4.2.3	Deformación	85
4.2.3.1	Inclinometría Electrónica	85
4.2.3.2	Estaciones GNSS Permanentes	86
4.2.3.3	Medición Electrónica de Distancias – EDM	90
4.2.4	Electromagnetismo	90
4.2.5	Geoquímica	90
4.2.5.1	Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufral	90
4.2.5.2	Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azufral	90
4.2.5.3	Estación térmica Mallama volcán Azufral	90
4.2.5.4	Estación Climatológica La Roca	91
4.2.6	Actividad Superficial	92
4.2.7	Conclusiones	94
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2021	19
Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2021	19
Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2021	21
Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2021	22
Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2020 y enero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado	23
Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre 2020 y enero 2021 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero 2021	24
Figura 7. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2020 y enero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado	25
Figura 8. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, enero 2021	25
Figura 9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021	27
Figura 10. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2021	27
Figura 11. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2021	28
Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021	28
Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2021	29
Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 21 de marzo de 2018 y el 31 de enero de 2021	29

Figura 15. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cónдор, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK	30
Figura 16. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base	31
Figura 17. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 31 de enero de 2021 (400). En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	32
Figura 18. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre octubre 2020 y enero 2021	33
Figura 19. Variaciones del CMT-F, en la estación de FRA (verde) y KOU (negra), para el mes de enero, 2021, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta) Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal y se graficó superpuesta a cada serie temporal (amarillo)	35
Figura 20. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre octubre, 2020 y enero 2021, comparadas con los registros de las estaciones de pluviometría MIJAP (azul)	36
Figura 21. Variaciones del CEH, en la estación FRA, para el mes de enero, 2021 (verde), y promedio móvil de la serie temporal, que se ha graficado superpuesta a la serie temporal (amarillo)	36
Figura 22. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios (octubre 2020 – Enero 2021)	37
Figura 23. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques (octubre 2020 – Enero 2021)	38
Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 7 de enero de 2021 a las 6:50 a.m., (izquierda) y el día 13 de enero de 2021 a las 8:26 a.m., (derecha)	39
Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 15 de enero de 2021 a las 7:56 a.m., (izquierda) y el día 16 de enero de 2021 a las 6:01 p.m., (derecha)	40
Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 19 de enero de 2021 a las 9:57 a.m., (izquierda) y el día 21 de enero de 2021 a las 5:56 a.m., (derecha)	40
Figura 27. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 22 de enero de 2021 a las 8:00 a.m., (izquierda) y el día 26 de enero de 2021 a las 6:47 a.m., (derecha)	40

Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 30 de enero de 2021 a las 12:25 p.m., (izquierda) y el día 31 de enero de 2021 a las 7:28 a.m., (derecha)	41
Figura 29. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de enero de 2021	43
Figura 30. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de enero de 2021	43
Figura 31. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2021	44
Figura 32. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante diciembre 2020 y enero 2021. El recuadro resalta el periodo evaluado	45
Figura 33. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre 2020 y enero 2021 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero 2021	45
Figura 34. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante diciembre 2020 y enero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado	46
Figura 35. Sismogramas filtrados y espectros en frecuencia de 9 eventos TOR de enero 2021 en la componente vertical de la estación Limones del CVC	47
Figura 36. Sismos localizados en el CVC, enero 2021	48
Figura 37. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021	49
Figura 38. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021	50
Figura 39. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021	50
Figura 40. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 3 de enero de 2021 a las 3:55 p.m., (izquierda) y el día 4 de enero de 2021 a las 6:54 p.m., (derecha)	51
Figura 41. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 5 de enero	

de 2021 a las 9:42 a.m., (izquierda) y el día 6 de enero de 2021 a las 6:02 a.m., (derecha)	52
Figura 42. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 13 de enero de 2021 a las 6:19 a.m., (izquierda) y el día 14 de enero de 2021 a las 6:33 p.m., (derecha)	52
Figura 43. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 15 de enero de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:34 p.m., (izquierda) y Punta Vieja, el día 16 de enero de 2021 a las 7:03 p.m., (derecha)	52
Figura 44. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche el día 17 de enero de 2021 a las 7:01 a.m., (izquierda) y el día 18 de enero de 2021 a las 6:30 a.m., (derecha)	53
Figura 45. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 21 de enero de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 7:55 a.m., (izquierda) y Punta Vieja, el día 22 de enero de 2021 a la 1:36 p.m., (derecha)	53
Figura 46. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 28 de enero de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 3:33 p.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 29 de enero de 2021 a las 5:09 a.m., (derecha)	53
Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 30 de enero de 2021 a las 7:35 a.m., (izquierda) y el día 31 de enero de 2021 a las 6:40 a.m., (derecha)	54
Figura 48. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)	55
Figura 49. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2021	56
Figura 50. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero de 2021	58
Figura 51. Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2020 y enero 2021, el recuadro resalta el periodo evaluado	59
Figura 52. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2020 y enero 2021, el recuadro indica el periodo evaluado	60

Figura 53. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en enero 2021	60
Figura 54. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 31 de enero de 2021	62
Figura 55. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y 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 2016 y el 31 de enero de 2021. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación	62
Figura 56. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 6 de julio de 2019 y el 16 de enero de 2021	63
Figura 57. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 16 de enero de 2021, estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatoriano – IGEPN	64
Figura 58. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético del Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro: MOR (azul) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre octubre 2020 y enero 2021	66
Figura 59. Variaciones del CMT-F, en la estación de MOR (azul) y KOU (negra), para el mes de enero, 2021, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta). Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal y se graficó superpuesta a cada serie temporal (amarillo)	67
Figura 60. 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	70
Figura 61. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de enero de 2021	72
Figura 62. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2021	72
Figura 63. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante diciembre 2020 y enero 2021, volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado	73
Figura 64. Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, enero 2021	74
Figura 65. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los	

volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de enero de 2021	75
Figura 66. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2019 y el 31 de enero de 2021	75
Figura 67. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 31 de enero de 2021	76
Figura 68. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 7 de febrero de 2019 y el 31 de enero de 2021	77
Figura 69. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Lavas y GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021	78
Figura 70. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base	79
Figura 71. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 31 de enero de 2021 (400). En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada	79
Figura 72. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azuftral durante el mes de enero de 2021	81
Figura 73. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azuftral en el mes de enero de 2021	81
Figura 74. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azuftral durante enero de 2021	83
Figura 75. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azuftral, diciembre 2020 y enero 2021. El recuadro resalta el periodo evaluado	84
Figura 76. Localizaciones de sismos VT en Azuftral, enero 2021	85
Figura 77. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azuftral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021	86
Figura 78. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Laguna instalada en Azuftral, para el periodo comprendido entre el 1	

de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK	87
Figura 79. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Lobo instalada en AzufraI, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK	88
Figura 80. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de AzufraI, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base	89
Figura 81. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 31 de enero de 2021 (400). En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada	90
Figura 82. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán AzufraI – Enero 2021	91
Figura 83. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 4 de enero de 2021 a las 6:18 p.m., (izquierda) y el 5 de enero de 2021 a las 10:03 a.m., (derecha)., capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	92
Figura 84. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 7 de enero de 2021 a las 6:33 a.m., (izquierda) y el 8 de enero de 2021 a las 5:38 a.m., (derecha)., capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	93
Figura 85. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 10 de enero de 2021 a las 3:38 p.m., (izquierda) y el 17 de enero de 2021 a las 7:53 a.m., (derecha)., capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	93
Figura 86. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 29 de enero de 2021 a las 3:28 p.m., (izquierda) y el 31 de enero de 2021 a las 8:48 a.m., (derecha)., capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de enero de 2021	18
Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2021	20
Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2021	20
Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2021	21
Tabla 5. Estaciones que monitorean las variaciones del campo de potencial eléctrico y magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras	22
Tabla 6. Estaciones para el monitoreo de gas Radón instaladas sobre la vía de acceso a Galeras	22
Tabla 7. Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2020 y enero 2021	23
Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2020 y enero 2021	24
Tabla 9. Sismos con ML igual o superior a 2.5, volcán Galeras, enero 2021	26
Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras Enero 2021.	38
Tabla 11. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras Enero de 2021	38
Tabla 12. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2021	42
Tabla 13. Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2020 y enero 2021	44
Tabla 14. Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2020 y enero 2021	46
Tabla 15. Sismos con ML igual a 1.0 en el CVC, enero 2021	48
Tabla 16. Estaciones que conforman la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Chiles y Cerro Negro	56
Tabla 17. Ubicación geográfica (WGS84) de las fuentes termales y frías del área de influencia del volcán Chiles	57
Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2020 y enero 2021 en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer	58
Tabla 19. Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2020 y enero 2021	59
Tabla 20. Sismos VT con ML mayor o igual a 2.0, Chiles - Cerro Negro, enero 2021	61

Tabla 21. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2021	71
Tabla 22. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2020 y enero 2021 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas	73
Tabla 23. Sismo con ML igual a 3.0, Doña Juana y Las Ánimas, enero 2021	74
Tabla 24. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán AzufraI en el mes de enero de 2021	82
Tabla 25. Número de eventos volcánicos por tipo en AzufraI, diciembre 2020 y enero 2021	83
Tabla 26. Energía de eventos volcánicos por tipo en AzufraI, diciembre 2020 y enero 2021	84
Tabla 27. Sismo con ML igual a 2.9, volcán AzufraI, enero 2021	85
Tabla 28. Datos parámetros estación climatológica La Roca - enero 2021	92

RESUMEN

Para el mes de enero de 2021 y en comparación con el mes anterior, para Galeras se presentó un ligero incremento en la ocurrencia sísmica, pasando de 93 a 104 eventos, 101 de los cuales están asociados con fractura de roca. El pico de ocurrencia sísmica se registró el 3 de enero con 13 eventos de tipo VT. En contraste, la energía de los sismos disminuyó en un 91% su valor, pasando de 4.16×10^{15} ergios a 3.88×10^{14} ergios. En general, los sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, a distancias entre cero y 18 km, con profundidades entre 1.7 y 14 km con respecto a la cima, en gran parte los eventos registran niveles energéticos bajos, resaltando el sismo del 3 de enero a la 1:55 p.m., de magnitud 3.2 en la escala de Richter, ubicado a 18 km hacia el sector nororiental del cono activo, reportado como sentido por algunos habitantes del Municipio de Chachagüi (Departamento de Nariño).

La ocurrencia sísmica del complejo volcánico Cumbal mostró niveles similares a los reportados en el periodo anterior, con un total para enero de 2021 de 1268 eventos, donde el 81% involucran fractura al interior del volcán, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria con el 14%. El pico de ocurrencia se presentó el día 2 de enero, con 96 eventos. La mayoría de sismos localizados se ubicaron al suroriente del Complejo Volcánico Cumbal, a niveles superficiales, con distancias epicentrales de hasta 11.1 km y magnitudes menores a 1.0 en la escala de Richter.

La ocurrencia sísmica en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero de 2021 disminuyó en ocurrencia un 49% lo reportado en diciembre, pasando de 8325 a 4287 eventos. Los eventos VT con 4248 sismos representan el 99.1% del total, también se registraron 39 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos. El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 20 de enero con 1427 eventos VT. Como ha sido característico de la actividad sísmica registrada en la región de influencia de los volcanes Chiles – Cerro Negro, la distribución de los sismos VT localizados permite diferenciar varias fuentes sismogénicas bien definidas principalmente hacia el sur y sur-occidente, así como también al sur-oriente del Chiles. La magnitud local máxima fue de 3.3 en la escala de Richter. Algunos de los sensores para el seguimiento de los cambios en superficie, continúan mostrando variaciones importantes, que vienen registrándose desde mayo de 2019.

Los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2021, mostraron incremento en la ocurrencia sísmica teniendo en cuenta lo reportado en diciembre de 2020, para este periodo evaluado se tiene un total de 24 sismos VT. El pico de ocurrencia se registró el

10 de enero con 4 sismos VT. En su mayoría localizados hacia el oeste - suroeste de la zona de influencia del volcán Las Ánimas, a una distancia de hasta 8.3 km, profundidades entre 3.9 y 12.2 km, Se destaca el sismo registrado el 26 de enero, a las 00:08 a.m., de magnitud 3.0, ubicado a 4.8 km hacia el suroeste del volcán Las Ánimas, el cual fue reportado como sentido por algunos habitantes de la vereda El Troje – Municipio de La Cruz, y del casco urbano de La Cruz (Departamento de Nariño).

Dentro de niveles bajos, en enero 2021 la sismicidad del volcán Azufral, incrementó 2 veces su número, pasando de 15 a 30 eventos, 29 de ellos asociados con fractura de roca. El pico de ocurrencia sísmica se registró el 30 de enero con 5 VT. Los sismos localizados se ubicaron de manera dispersa alrededor del edificio volcánico, la mayoría de baja energía, en distancias entre 0.3 y 11 km, con profundidades entre 2 y 14 km y ML máxima de 2.9 Richter.

INTRODUCCIÓN

A lo largo del periodo evaluado, 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, 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 que 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 primario de los datos instrumentales y de las observaciones directas 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 – ENERO DE 2021

1.1 Red de Vigilancia

Para el mes de enero de 2021 la red de vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por:

- Diecisiete estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de corto periodo y quince de banda ancha (Figura 1, Tabla 1).
- Seis sensores de infrasonido (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).
- Doce estaciones permanentes GNSS (Sistema Global de Navegación Satelital) telemétricas (Figura 2, Tabla 3).
- Cinco bases de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 8 prismas reflectores (Figura 2).
- Dos estaciones para monitoreo y seguimiento térmico Paisita y Deformes.
- 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 ScanDOAS telemétricas para detección de dióxido de azufre (SO₂) (Figura 3, Tabla 4).
- Sensor de CO₂ Parques.
- Tres estaciones de medición de campo Magnético, Deformes, 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).

La red instrumental de monitoreo y vigilancia del volcán Galeras presentó un porcentaje de funcionamiento para el mes de enero de 2021 del 77 % (Figura 4).

Tabla 1. Estaciones sísmicas y sensores acústicos de la red de monitoreo de Galeras en el mes de enero de 2021

Estación	Código	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección Respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Cóndor	COND	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4,4	SW	3977
Calabozo	CAVZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	6,9	WSW	2313
Morasurco	MORZ	Digital	Sismómetro Corto Período	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	SW	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	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
Tosoabí	TOSZ	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	10,6	ENE	2898
ViviOVSP	VSGC	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	11,44	SE	2622
Achalay	ACHA	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	0,6	N	4134
Loma Larga	LOMZ	Digital	Sismómetro Corto Período	Uniaxial	14,2	NNO	2393
Cóndor	CONA	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	4,4	SW	3977
Cráter	CRAC	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	1,5	S	4032
Cráter2	CR2C	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	1,5	S	4032
Calabozo	CAMI	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	6,9	WSW	2313
Calabozo2	CA2P	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	6,9	WSW	2313
Ingenio	INGE	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	7	WNW	2890
Ingenio2	ING2	Digital	Sensor de infrasonido	Uniaxial	7	WNW	2890

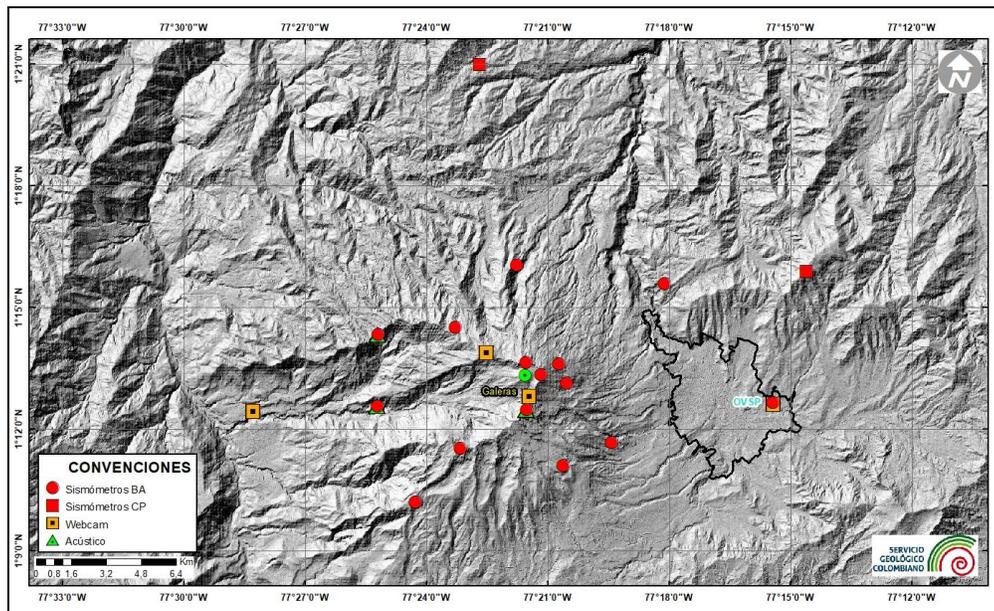


Figura 1. Localización de las estaciones sísmicas y sensores de infrasonido que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2021

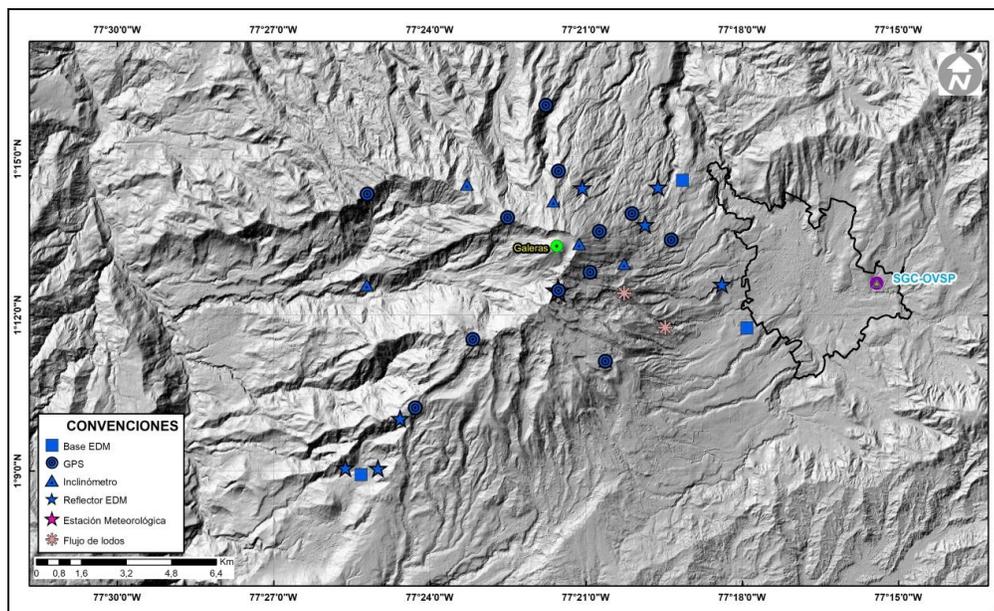


Figura 2. Localización de las estaciones para el seguimiento de la deformación (inclinómetros electrónicos, EDM y GNSS) que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2021

Tabla 2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2021

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	NW	3450
Cóndor	4,9	SW	3985
Calabozo	7,1	WSW	2350

Tabla 3. Estaciones GNSS telemétricas que forman parte de la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras en enero de 2021

Estaciones GNSS Permanentes	Distancia al Cráter (Km)	Ubicación Respecto al Cráter Principal	Altitud (msnm)
Cráter	1.5	S	4048
Cóndor	7.6	SW	3985
Barranco	2.6	NW	3904
San Cayetano	4.1	E	3035
Ingenio	7	WNW	2907
Cufiño	1.4	E	3827
Peladitos	1.4	SE	3850
Nariño	5	N	2870
Cóndor Pasto	4.9	SW	3985
Cobanegra	3.9	SSE	3625
Mapachico	2.9	NE	3268

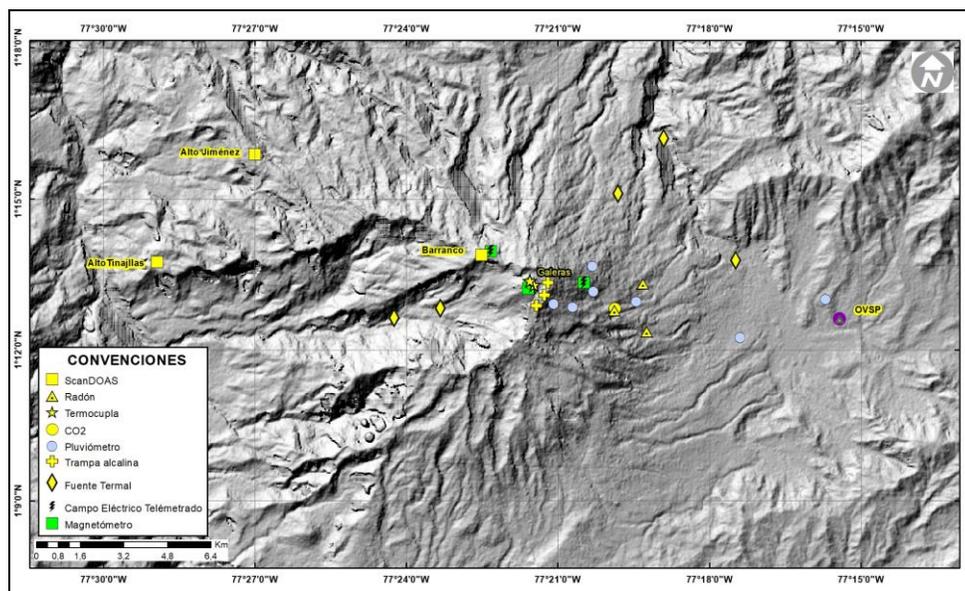


Figura 3. Localización de las estaciones de campo magnético y eléctrico. Trampa Alcalina, ScanDOAS, sensores de gas Radón, termocuplas, fuentes termales y pluviómetros que conformaron la red de vigilancia de Galeras en enero de 2021

Tabla 4. Estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras en enero de 2021

Estación	Distancia al Cráter (Km)	Ángulo del Scan (°)	Altura de referencia de la pluma *(m)	Dirección compás (°contra-azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Barranco	7.9	60	1600	131	NNW	3865
Alto Jiménez	10.8	90	1800	115	WNW	2402
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	WNW	2095

* 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
Barranco	Digital	Eléctrico	Biaxial	2	NW	3800
Frailejón	Digital	Magnético	Triaxial	2,7	E	3727
Barranco	Digital	Magnético	Triaxial	2	NW	3800
Deformes	Digital	Magnético	Triaxial	1,9	SSE	4001
Cráter	Digital	Magnético	Triaxial	1,5	SW	4016

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	3330
Lavas	4,5	NE	3260
Lirios	4,7	ESE	3053

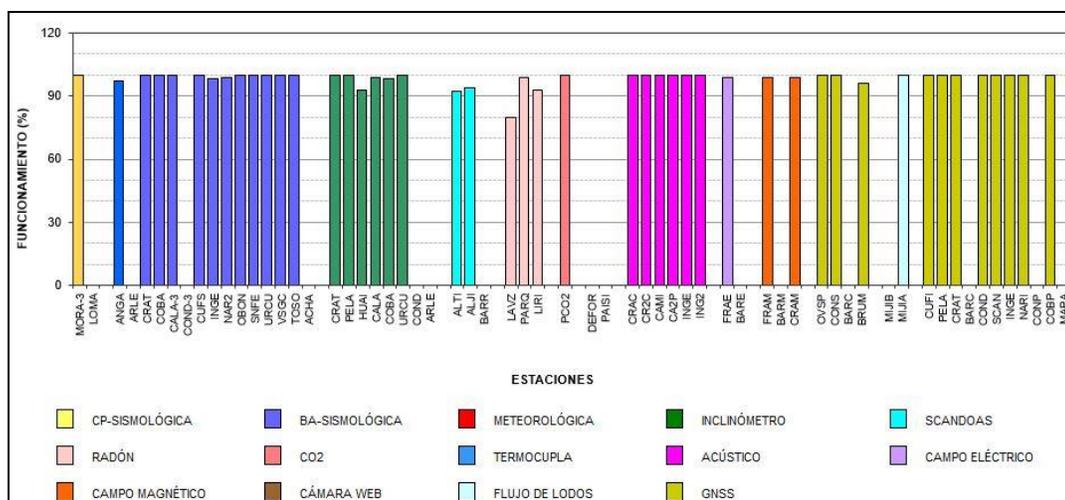


Figura 4. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras en enero de 2021

1.2 Sismología

La ocurrencia sísmica incrementa un 12% en enero del 2021, pasando de 93 a 104 eventos, con relación a diciembre del 2020. De los sismos registrados, 101 fueron asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), equivalente al 97%, dos fueron asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP), equivalente al 2%, y uno fue de tipo híbrido (HIB) que combinan las características de fractura de roca y tránsito de fluidos, equivalente al 1%. No se registraron eventos de fluidos de fuente permanente o episodios de tremor (TRE). Los sismos de tipo VT incrementaron 10% su número, pasando de 92 a 101 eventos. El pico de ocurrencia sísmica se registró el 3 de enero del 2021 con 13 eventos de tipo VT (Tabla 7, Figura 5 y Figura 6).

Tabla 7. Número de sismos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2020 y enero 2021

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2020	92	1	0	0	93
Enero 2021	101	2	0	1	104

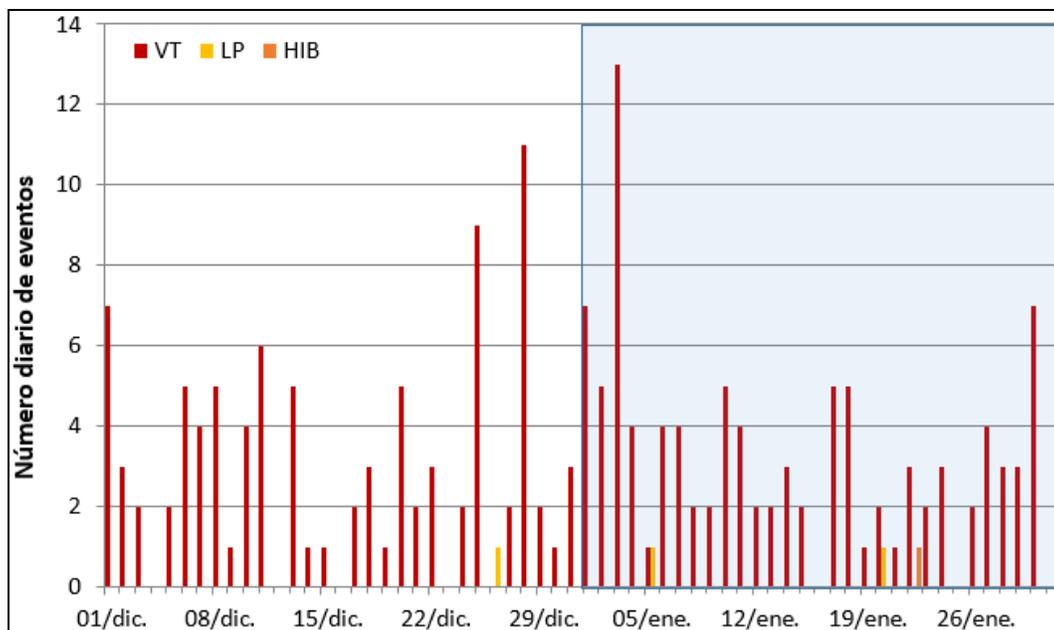


Figura 5. Número diario de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2020 y enero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado

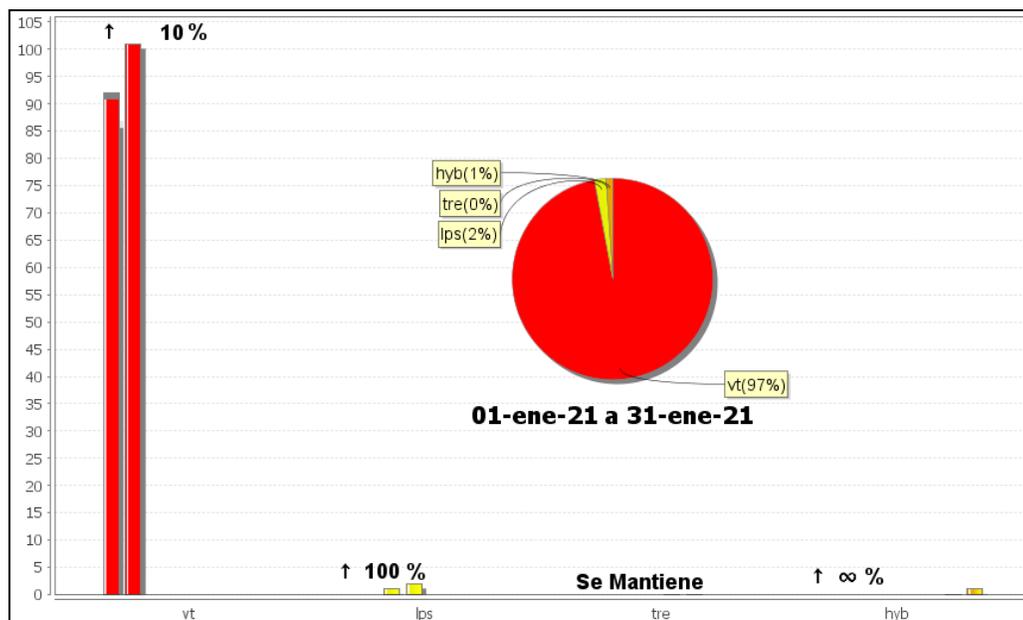


Figura 6. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre 2020 y enero 2021 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero 2021

La energía de los sismos disminuyó 91%, pasando de 4.16×10^{15} ergios a 3.88×10^{14} ergios. Los sismos VT contribuyeron con el 100% de la energía sísmica de enero 2021, la energía de los otros tipos de eventos queda inmersa en la energía de VT. El pico energético se registró el 3 de enero del 2021 con 3.70×10^{14} ergios, debida a 13 eventos VT, uno de ellos con ML de 3.2 (Tabla 8, Figuras 7 y 8).

Tabla 8. Energía de eventos volcánicos por tipo en Galeras, diciembre 2020 y enero 2021

Periodo Evaluado	Energía de eventos por tipo			
	VT	LPS	HIB	TOTAL
Diciembre 2020	4.16E+15	1.45E+10	0.00E+00	4.16E+15
Enero 2021	3.88E+14	6.91E+09	2.48E+10	3.88E+14

Se localizaron 53 sismos VT, ubicados de manera dispersa en la zona de influencia volcánica, a distancias entre cero y 18 km, con profundidades entre 1.7 y 14 km con respecto a la cima de Galeras (4200 msnm) y con 3.2 de ML máxima (Figura 8).

La magnitud local de la mayoría de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 2 sismos VT, con ML de 2.5 y 3.2 en la escala de Richter y en la Tabla 9 se consignan sus características. El evento de mayor energía se registró el 3 de enero del 2021 a las 01:55 p.m., fue ubicado a 18 km al noreste de la cima de Galeras,

con profundidad de 12 km y ML de 3.2 Richter, se reportó sentido en Chachagüí (Nariño).

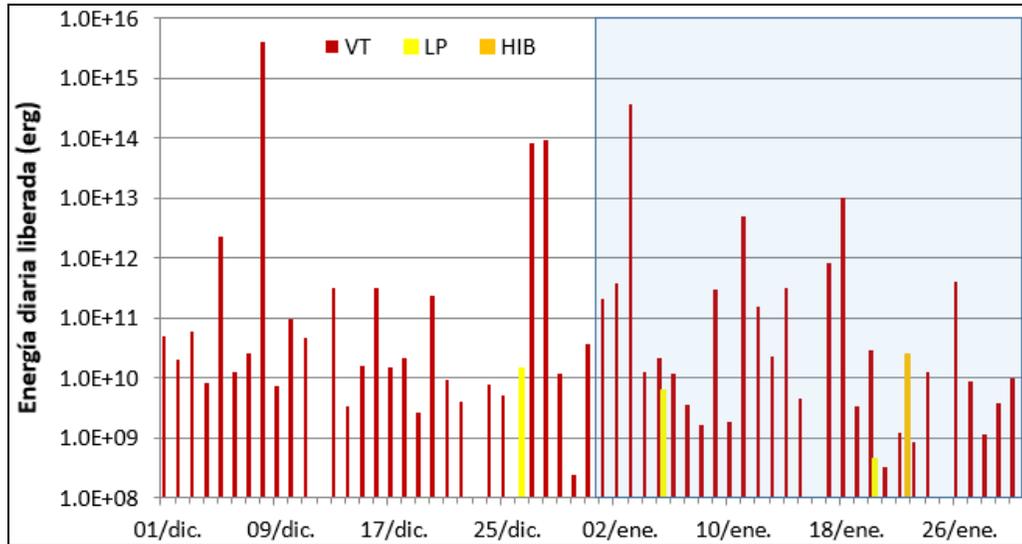


Figura 7. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en Galeras durante diciembre 2020 y enero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado

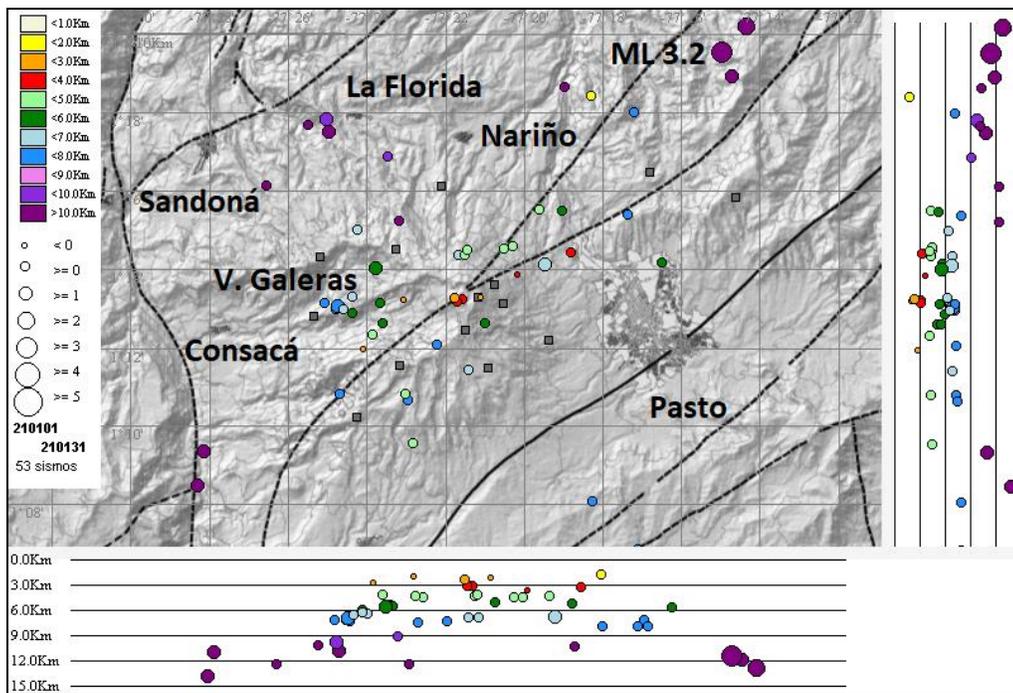


Figura 8. Sismos localizados en la zona de influencia de Galeras, enero 2021

Tabla 9. Sismos con ML igual o superior a 2.5, volcán Galeras, enero 2021

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
03/01/2021	13:01	1-20.21	77-14.37	12.8	2.5
03/01/2021	13:55	1-19.54	77-14.98	11.5	3.2

1.3 Deformación

Para el periodo evaluado, la red de deformación estuvo conformada por 8 inclinómetros electrónicos, una red de EDM (Medición Electrónica de Distancias) y 11 estaciones GNSS Permanentes telemétricas; el inclinómetro y el GNSS Cóndor - Pasto están por fuera desde el 4 de agosto de 2020, el GNSS Mapachico desde el 30 de agosto de 2020, el inclinómetro Arles y el GNSS Barranco desde el 10 de diciembre de 2020.

1.3.1 Inclinometría Electrónica

En los últimos meses, se observa un comportamiento estable en las componentes de inclinación del inclinómetro Huairatola, sin embargo, en una escala mayor de tiempo se aprecia una tendencia persistente desde enero de 2018 en sus componentes, que acumulan hasta la fecha 45 μ rad y 130 μ rad en las componentes radial y tangencial, respectivamente (Figuras 9).

Persiste la leve tendencia ascendente en la componente de inclinación Radial de Peladitos. Entre mayo del 2011 y abril del 2016 se registró un cambio de 48 μ rad y entre abril de 2016 y la fecha se han acumulado cerca de 10 μ rad (Figura 10).

Continúa el comportamiento ascendente en la componente Este del inclinómetro Cobanegra (Figura 11), alcanzando 110 μ rad desde mediados del 2015, y el descenso en la componente Norte, que para el mismo periodo de tiempo acumula cerca de 200 μ rad de variación.

Con respecto al inclinómetro Cráter, luego del fuerte cambio ascendente en la componente Radial, que se dio entre el 21 de septiembre y el 29 de diciembre de 2020, con cerca de 170 μ rad, tiende a estabilizarse (Figura 12); por su parte la componente Tangencial muestra una tendencia ascendente, acumulando desde marzo de 2020 unos 50 μ rad.

Para el inclinómetro Calabozo, luego de mostrar la tendencia descendente en sus dos componentes, la Este presenta estabilidad desde junio de 2020; las variaciones

acumuladas desde junio de 2015 hasta la fecha son de 200 μrad y 170 μrad , para la componente Este y Norte respectivamente (Figura 13). El inclinómetro Urcunina (Figura 14), muestra variaciones en sus componentes menores a 5 μrad (Figuras 13).

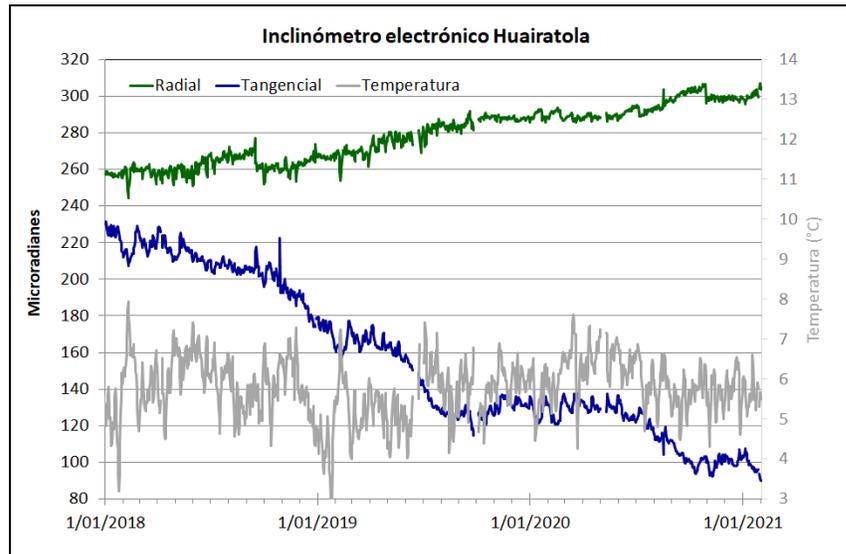


Figura 9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021

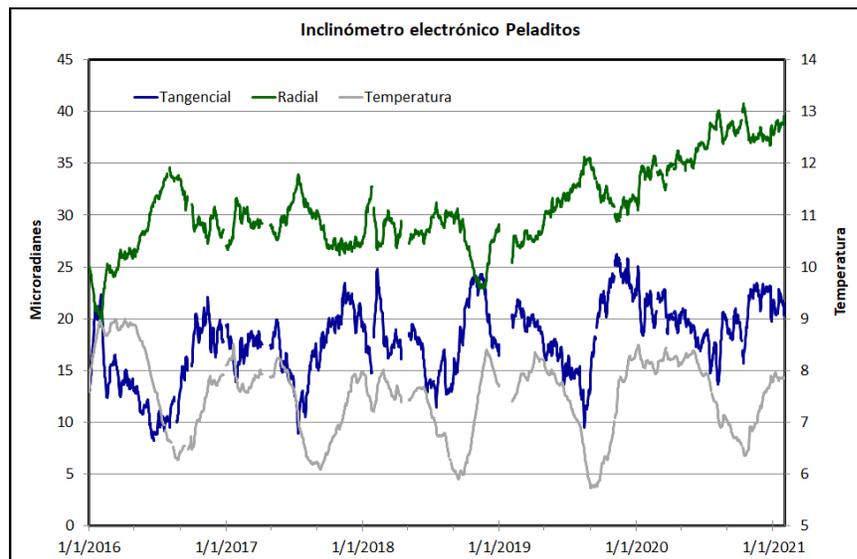


Figura 10. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2021

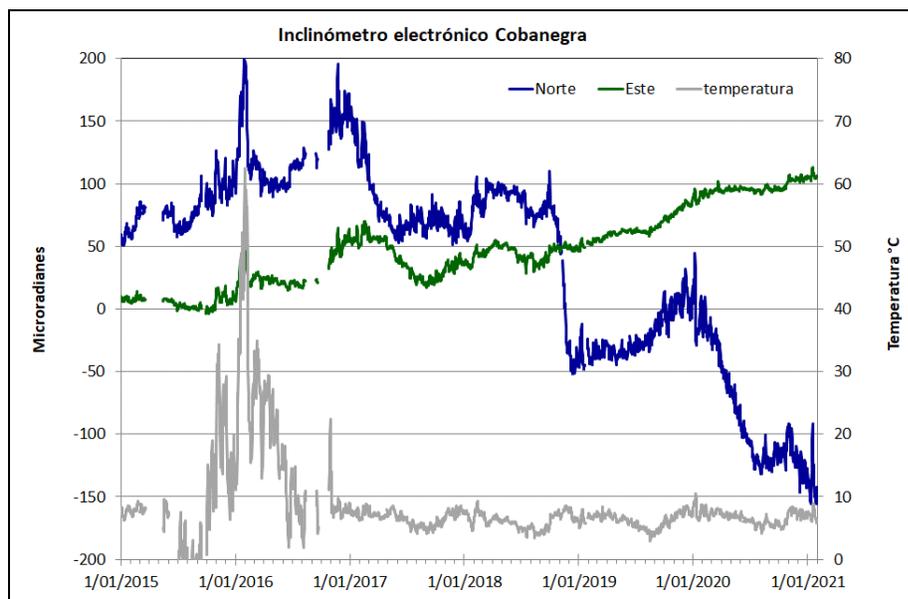


Figura 11. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2021

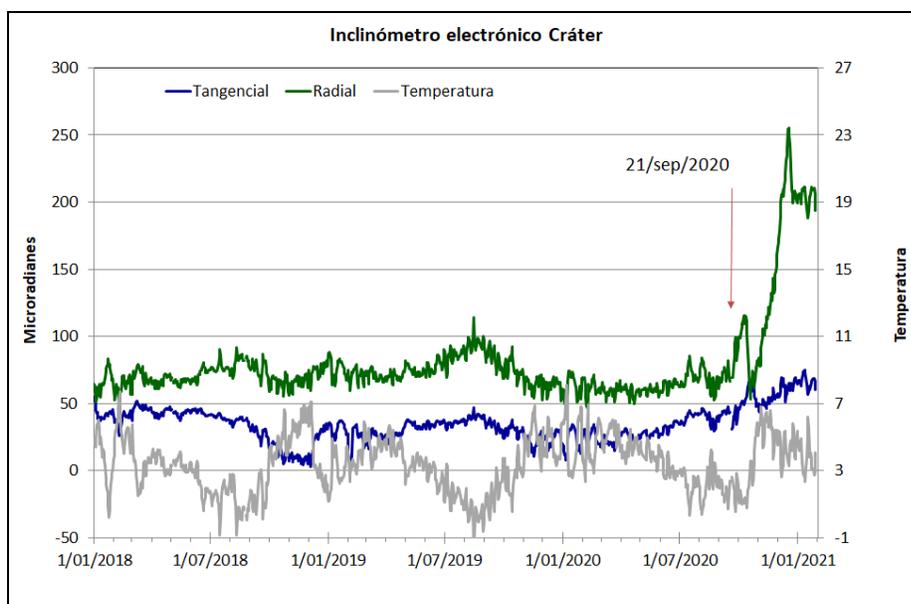


Figura 12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial (μrad) y registro de la temperatura del inclinómetro electrónico Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021

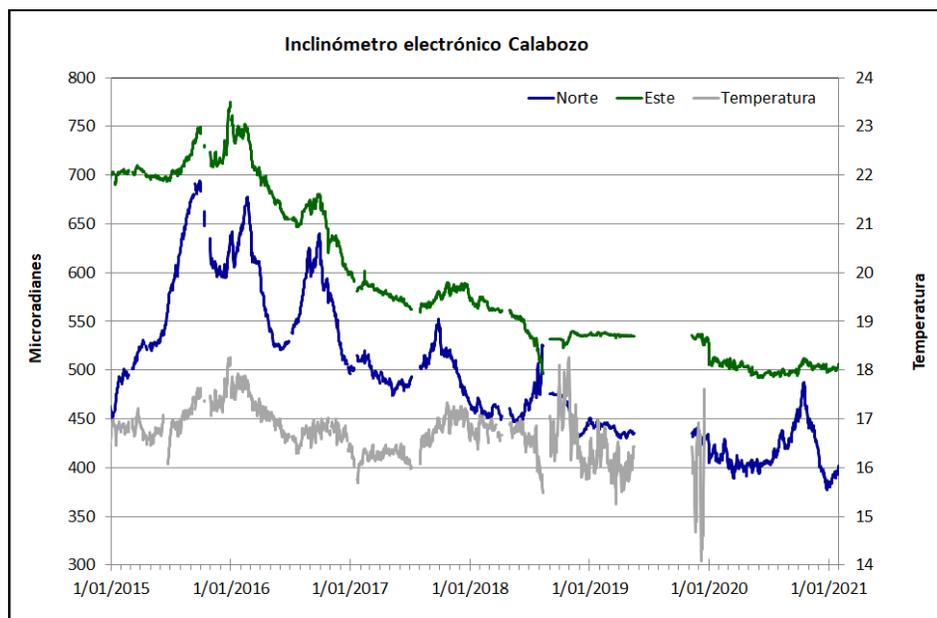


Figura 13. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de enero de 2021

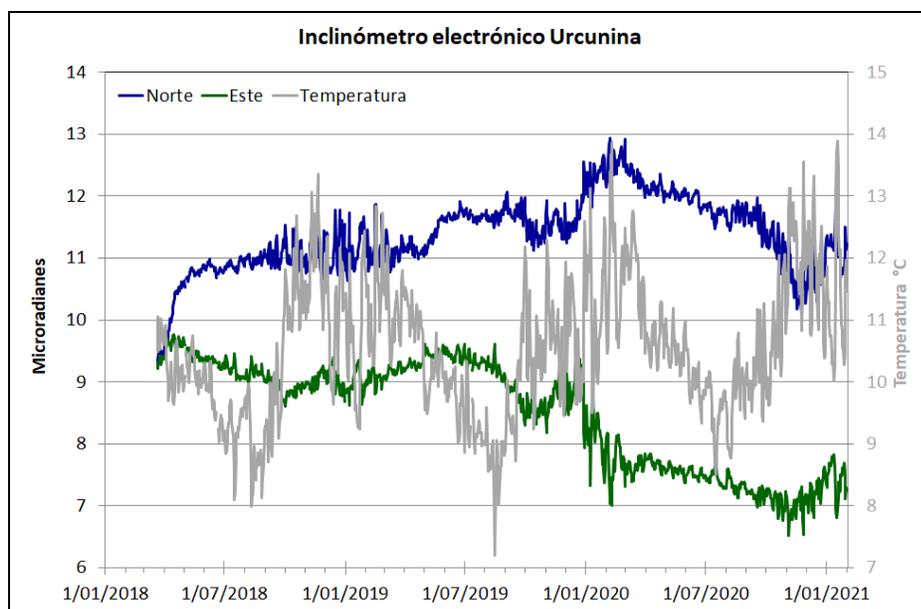


Figura 14. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 21 de marzo de 2018 y el 31 de enero de 2021

1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La red GNSS para Galeras está conformada por 11 estaciones permanentes, 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, Cándor se reinstaló en febrero de 2015, Cufiño y Peladitos se instalaron en octubre de 2016, Nariño y Condor-2, en marzo de 2017 y Cobanegra en abril de 2017 y el 14 de diciembre de 2018, se instaló la estación Mapachico. Desafortunadamente el 4 de septiembre de 2019 personas inescrupulosas sustrajeron del sitio de instalación los equipos de la estación GNSS Chiguaco, al norte del volcán, el cual hasta el momento no se ha podido recuperar.

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo.

En general, en la red de GNSS de Galeras, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura. En la Figura 15, se indica a manera de ejemplo, el comportamiento de las estaciones GNSS de Cráter y Cobanegra, para un periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021, usando orbitas finales.

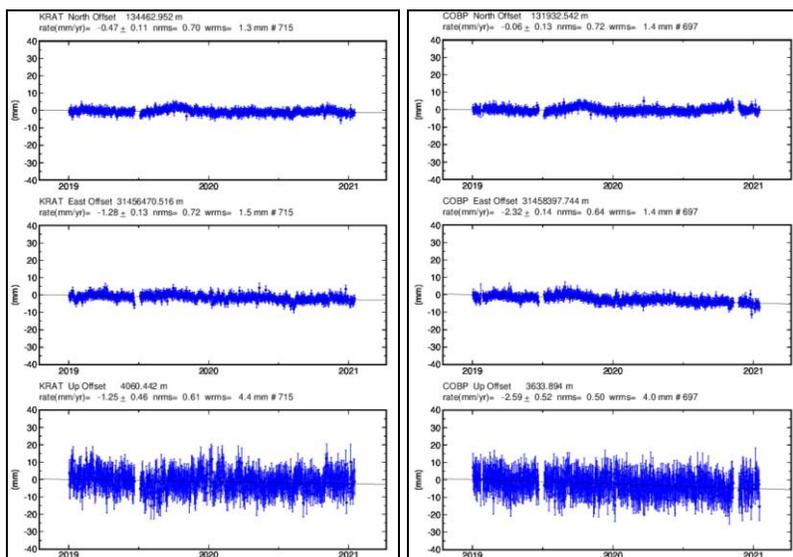


Figura 15. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS Permanentes Cráter y Cándor, instaladas en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 16, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 16, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

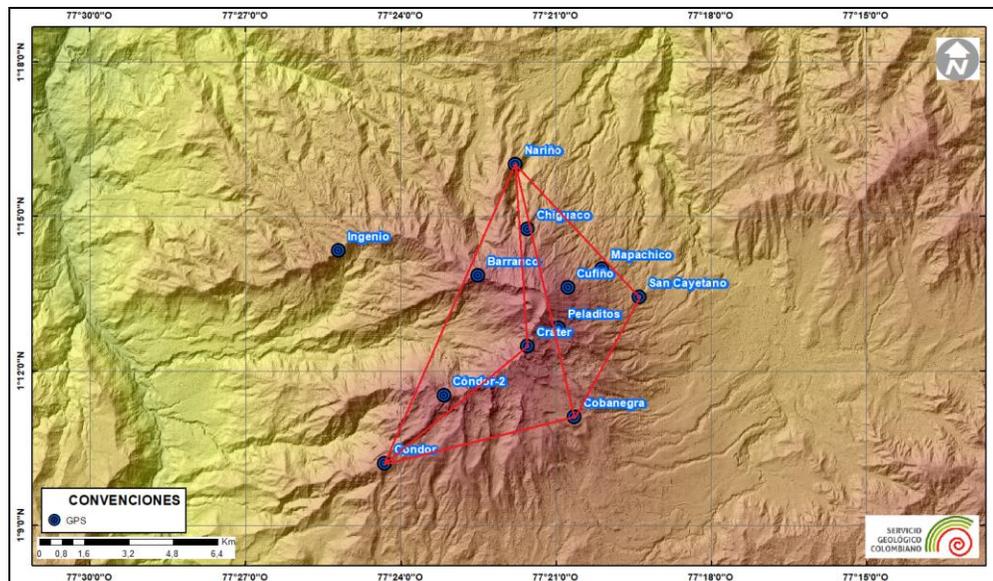


Figura 16. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Galeras, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

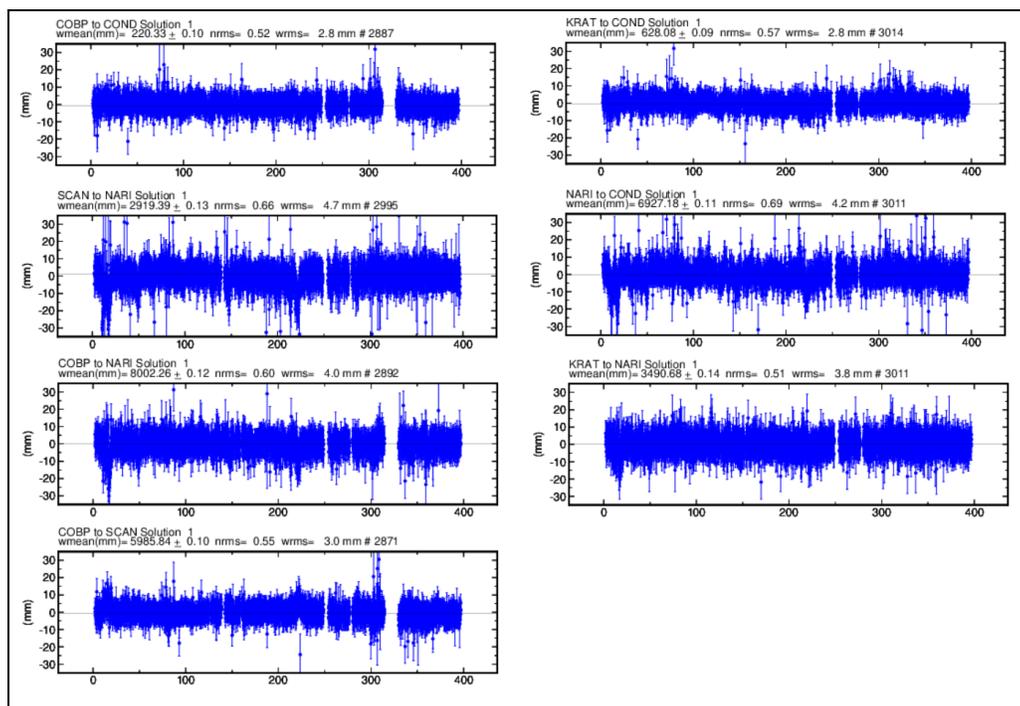


Figura 17. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 31 de enero de 2021 (400). En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

1.3.3 Medición Electrónica de Distancias - EDM

En el periodo evaluado no se realizó ocupación de las bases de medición.

1.4 Electromagnetismo

El análisis de la información de las variaciones del Campo Magnético Terrestre Total (F) (CMT-F), en la zona de influencia del volcán Galeras, para el mes de enero de 2021, se realizó tomando los registros de la estación Frailejón (FRA), que cuenta un sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate y un arreglo de dipolos horizontales para el registro de las variaciones del Campo Eléctrico en sus componentes NS y EW.

Entre octubre, 2020 y enero, 2021 (Figura 18), el comportamiento de los registros obtenidos por medio en la estación magnética FRA, muestran una tendencia ligeramente descendente, resaltando principalmente las variaciones seculares con periodos de entre 25 a 30 días, y periodos más cortos de: un día, 12 horas, ocho horas. Se registraron también registros con frecuencias mayores, asociadas a eventos magnéticos externos, generados por tormentas geomagnéticas, que al llegar a las

inmediaciones del Campo Magnético de la Tierra afectan los registros de la estación tanto en amplitud como en frecuencia.

La estación Kourou (KOU), se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. KOU está ubicada en Guayana Francesa, y corresponde a la estación de la red mundial más cerca de la zona de estudio, a una latitud muy próxima a la zona de los volcanes de Nariño. Al comparar los registros en las estaciones de monitoreo magnético de Galeras y Kourou, se resaltan las variaciones similares en ambos registros, que se asocian con las variaciones seculares (día-noche) y con la ocurrencia de fenómenos magnéticos como las tormentas geomagnéticas; principalmente, aquellas con índices Kp iguales o mayores a 3 (Figuras 18 y 19). Al igual que la estación FRA, KOU tuvo un comportamiento ligeramente descendente durante el periodo entre octubre, 2020 y enero, 2021.

Los valores de predicción de tormentas geomagnéticas de tipo Kp, se toman del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration) (Figura 18).

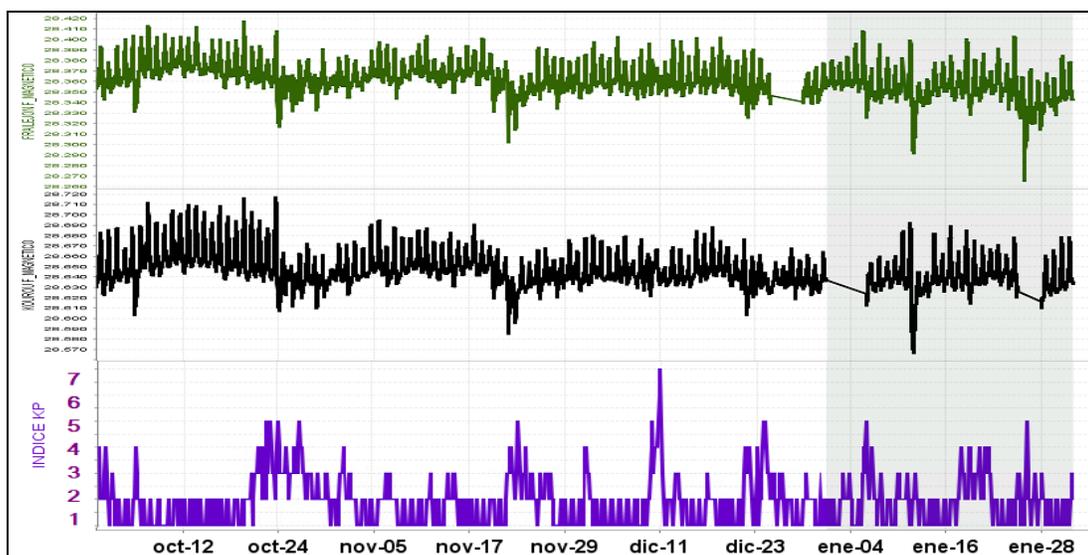


Figura 18. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético de Galeras: FRA (verde) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Período comprendido entre octubre 2020 y enero 2021

Para el mes de enero, 2021, el valor promedio del campo magnético, en FRA, fue de alrededor de 28.350 nT, con una variación diaria promedio de alrededor de 55 nT, en tanto que para KOU, el valor promedio para el mes de enero, 2021, fue de alrededor de 28.640 nT, con variación máxima diaria de alrededor de 65 nT/día (Figura 19).

En enero, 2021, las tormentas geomagnéticas tuvieron índices de intensidad Kp, entre 1 y 5. Entre las mayores perturbaciones del campo magnético que se presentaron, se relacionan los días cuando los índices Kp fueron iguales a 5, aun cuando, se presentaron los máximos cambios durante tormentas que tuvieron índices Kp persistentes en valor de 3, como sucedió entre el 11 y 12 de enero, 2021; cuando tormentas geomagnéticas con índices máximas de 3, generaron variaciones del campo magnético en FRA de alrededor de 110 nT, que corresponde al doble de la amplitud promedio en esa estación y, variaciones máximas en KOU de alrededor de 130 nT, que igualmente corresponden al doble del valor normal de variación de amplitud del campo en la estación (Figura 19).

Tomando los valores de promedio móvil diario, para cada una de las series temporales del CMT-F, (Figura 20), que corresponden a las series de tiempo en amarillo, en cada estación de monitoreo del campo magnético en Galeras: FRA y estación de referencia KOU, se disminuyen los efectos de las variaciones seculares día-noche (24 horas) y se obtuvo el comportamiento local de los campos magnéticos. Para la estación FRA se calculó una variación total en el mes de alrededor de 45 nT y una variación diaria máxima de alrededor de 28 nT, para el día 25 de enero, cuando se tuvo una tormenta geomagnética de índice Kp de 5, lo que claramente puede representar interferencia externa, ya que en general, las variaciones diarias promedio de la estación son menores de 10 nT, que podría explicarse como estabilidad en la actividad volcánica de Galeras, desde los datos magnéticos. En la estación de KOU (Figura 19), se observa para el mes de enero 2021, la serie con promedio móvil, muestra una variación mensual de alrededor de 28 nT y una variación máxima igual, de 28 nT, para el 11 de enero, cuando se muestra la tormenta geomagnética de Kp igual a 3, que altera los registros de las estaciones magnéticas. En el caso de la estación KOU no se cuenta con registros para el día 25 de enero, por lo cual no se puede comparar si la variación máxima podría ser mayor. En general, los valores de variación diaria para KOU son menores a 7 nT.

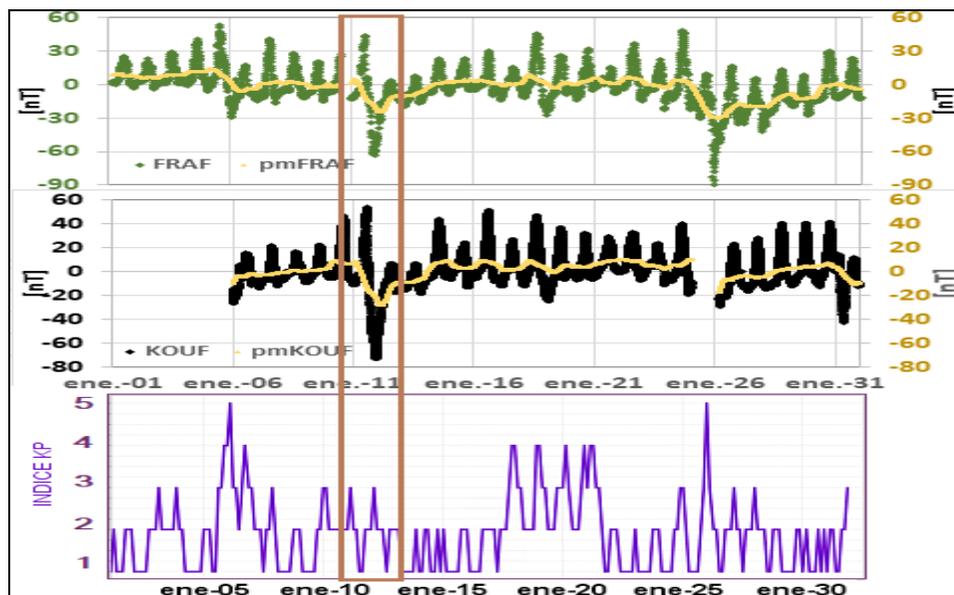


Figura 19. Variaciones del CMT-F, en la estación de FRA (verde) y KOU (negra), para el mes de enero, 2021, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta). Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal y se graficó superpuesta a cada serie temporal (amarillo)

El comportamiento de la componente Horizontal del Campo Eléctrico (CEH), registrado en la estación de monitoreo en Galeras, FRA, para el periodo entre, octubre, 2020 y enero, 2021 (Figura 20), registró entre el 3 y 5 de noviembre, 2020, un fuerte descenso de alrededor de 136 mV, que no se asociaron con proceso alguno de incremento o cambio en la actividad del volcán Galeras. Posteriormente, el comportamiento de las variaciones eléctricas tuvo un comportamiento descendente, que, para el mes de enero, 2021 fueron de alrededor de 20 mV.

En la zona de influencia del volcán Galeras se han instalado dos pluviómetros, Mijitayo Alto (MJAP-magenta), ubicado en la parte alta del volcán y el segundo Mijitayo Bajo (MIJB-azul), ubicado a media montaña; los cuales permiten medir la cantidad de lluvia generada en la zona volcánica. Para el mes de enero, solo funcionó el equipo de MJAP, que dio un acumulado de lluvia para ese mes de alrededor de 36 mm, mostrando, además, que las lluvias más fuertes del mes se presentaron en los seis primeros días, posteriormente, la tendencia ascendente del pluviómetro muestra una pendiente más suave. Esto se refleja también en los registros de la estación eléctrica FRA, pues su registro tiene una tendencia descendente suave.

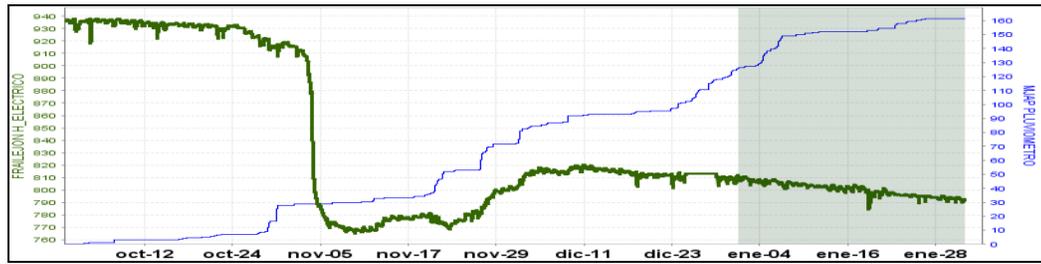


Figura 20. Variaciones del CEH en la estación de monitoreo eléctrico de Galeras; FRA (verde), para el periodo entre octubre, 2020 y enero 2021, comparadas con los registros de las estaciones de pluviometría MIJAP (azul)

Tomando el promedio móvil para la serie temporal del CEH, (series de tiempo en amarillo) (Figura 21), se mantiene la tendencia descendente, que para enero 2021 fue de alrededor 18 mV, y variaciones diarias promedio, muy bajas, de hasta 2 mV, aun cuando eventualmente se presentaron variaciones de hasta 5 mV, que se han asociado con el ligero incremento de las lluvias.

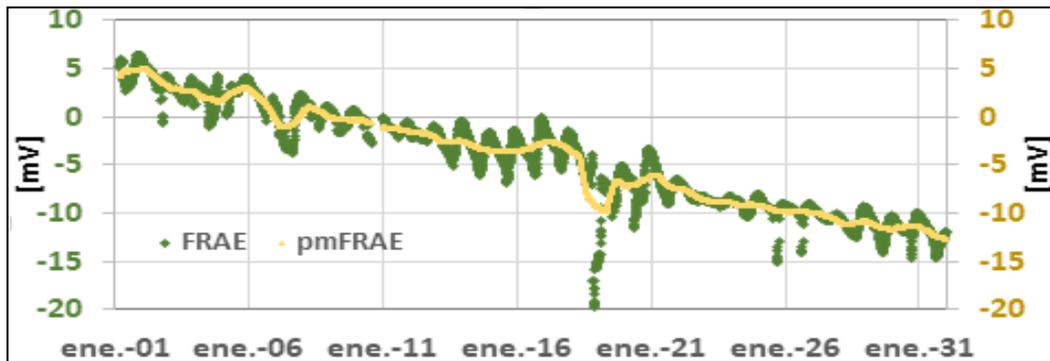


Figura 21. Variaciones del CEH, en la estación FRA, para el mes de enero, 2021 (verde), y promedio móvil de la serie temporal, que se ha graficado superpuesta a la serie temporal (amarillo)

1.5 Geoquímica

1.5.1 Muestreo de Gases de Origen Volcánico

1.5.1.1 Concentración de gas radón difuso en el suelo

El radón 222, es un producto en la cadena de descomposición nuclear del uranio 238, con una vida media de 3.85 días. Las emanaciones de radón son uno de los posibles precursores de sismos y erupciones volcánicas. En zonas de actividad sísmica y volcánica; específicamente en el área de influencia del volcán Galeras se realizan mediciones de gas Rn 222, por ser considerado como un posible precursor de la actividad tanto sísmica como volcánica.

En la Figura 3 (Red de vigilancia) se presenta el mapa de las estaciones para medición de concentración de gas Radón que hacen parte de la red de vigilancia del volcán Galeras.

El comportamiento de la concentración respecto al tiempo del gas radón se registra para la estación de Lirios en la Figura 22 y en la Figura 23 para la estación de Parques, los valores de promedio, máximo y mínimo de la concentración se muestran en la Tabla 10 para Lirios y Tabla 11 para Parques.

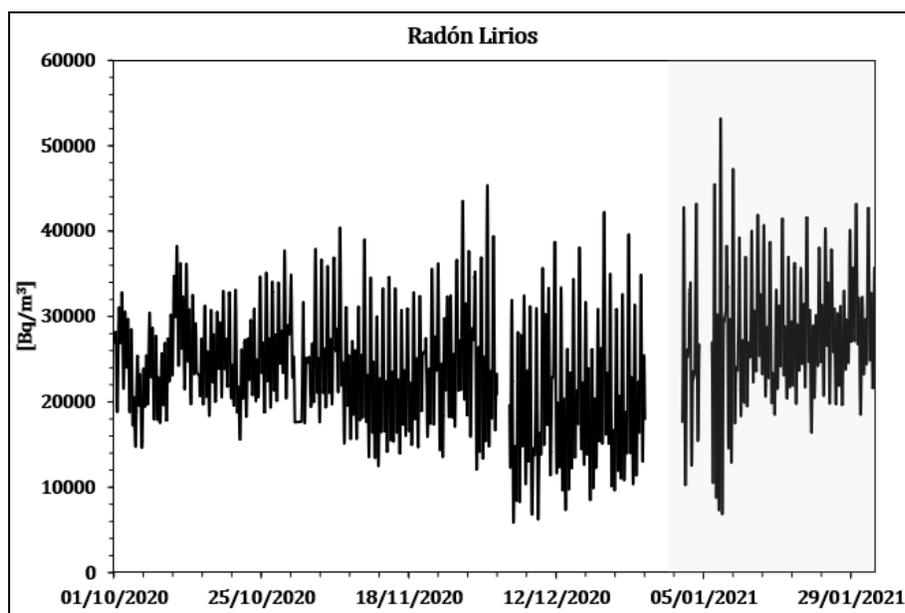


Figura 22. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Lirios (octubre 2020 – enero 2021)

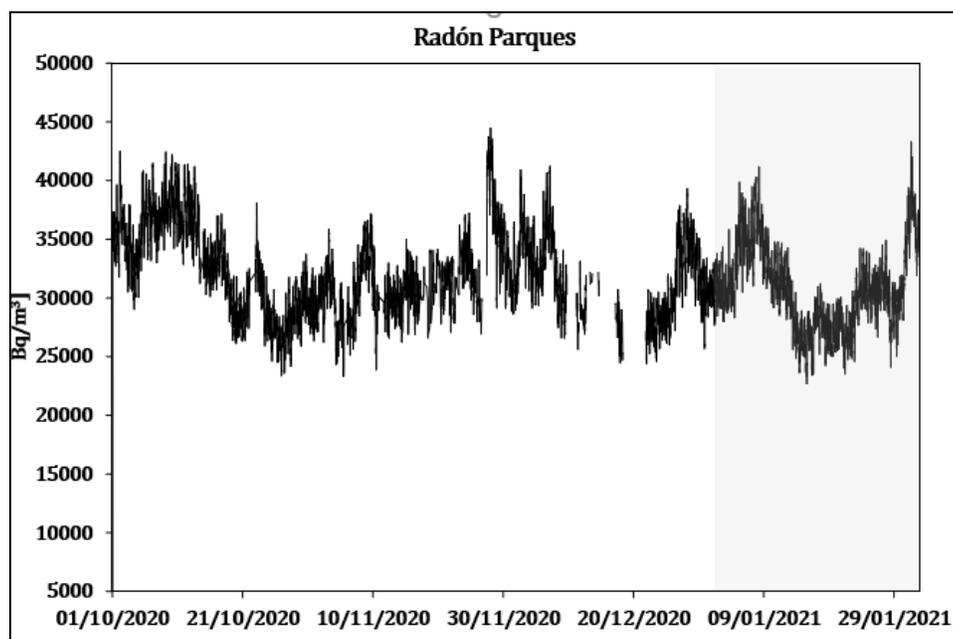


Figura 23. Concentración radón difuso en suelo-volcán Galeras – estación Parques (octubre 2020 – enero 2021)

Se puede observar que los valores registrados del gas radón en enero de 2021 (área sombreada) para las estaciones de Lirios y Parques, presentan un comportamiento periódico similar a meses anteriores, encontrándose dentro de la línea base de comportamiento.

Lo anterior mencionado no se relaciona con cambios en la actividad del volcán Galeras.

Tabla 10. Valores de concentración de radón- estación Lirios –Volcán Galeras Enero 2021

Valor	Radón Lirios [Bq/m ³]
Promedio	20434
Máximo	52984
Mínimo	6850

Tabla 11. Valores de concentración de radón- estación Parques –Volcán Galeras Enero de 2021

Valor	Parques [Bq/m ³]
Mínimo	24084
Promedio	44095
Máximo	43315

1.5.1.2 Muestreo de aguas en fuentes Termales

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

1.5.1.3 Composición Iónica de aguas en fuentes termales

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

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.

Durante los días 7, 13, 15, 16, 19, 21, 22, 26, 30 y 31 del mes de enero del 2021, se observó emisión de gases desde las cámaras web de Barranco y Bruma.

Los principales focos de emisión se ubican en el cráter principal, campos fumarólicos de El Paisita al norte del cono activo y el cráter secundario de Las Chavas al occidente del cono volcánico, son columnas de color blanco, poca altura y dispersión variable por acción del viento.

En las Figuras 24 a 28 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases de Galeras.



Figura 24. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 7 de enero de 2021 a las 6:50 a.m., (izquierda) y el día 13 de enero de 2021 a las 8:26 a.m., (derecha)

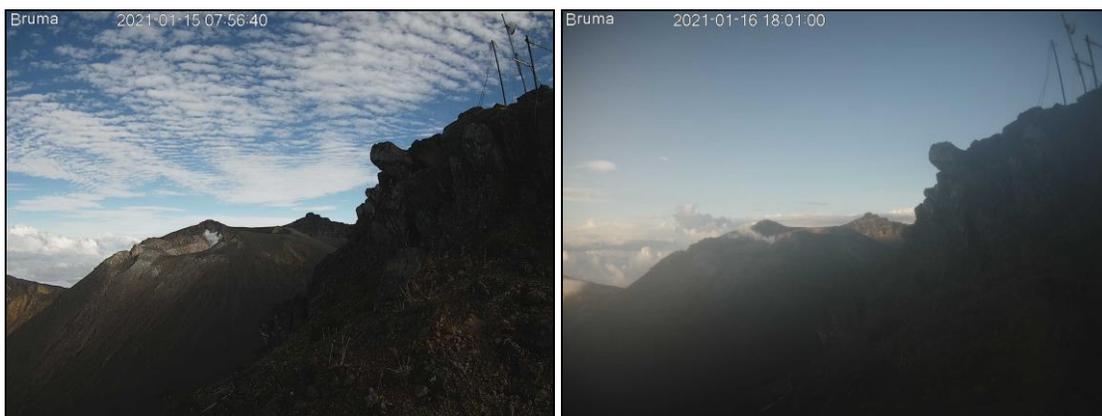


Figura 25. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 15 de enero de 2021 a las 7:56 a.m., (izquierda) y el día 16 de enero de 2021 a las 6:01 p.m., (derecha)



Figura 26. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 19 de enero de 2021 a las 9:57 a.m., (izquierda) y el día 21 de enero de 2021 a las 5:56 a.m., (derecha)



Figura 27. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 22 de enero de 2021 a las 8:00 a.m., (izquierda) y el día 26 de enero de 2021 a las 6:47 a.m., (derecha)

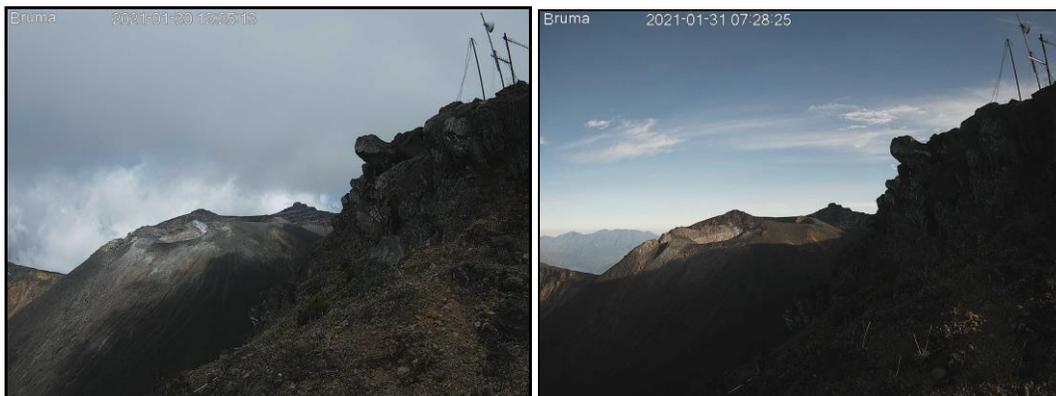


Figura 28. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la cámara ubicada en el sector de Bruma el día 30 de enero de 2021 a las 12:25 p.m., (izquierda) y el día 31 de enero de 2021 a las 7:28 a.m., (derecha)

1.7 Conclusiones

- En enero 2021, en el volcán Galeras se registró un leve incremento en la ocurrencia y disminución en la energía de los sismos. Todos los eventos se asociaron con fractura de material cortical, destacándose 2 sismos con ML de 2.5 y 3.2 Richter. El sismo de ML 3.2 registrado el 3 de enero a la 1:55 p.m., se reportó sentido en Chachagüí (Nariño).
- El radón emitido y registrado en enero de 2021 en comparación con meses anteriores presenta un comportamiento similar, encontrándose dentro de la línea base registrada.

La evaluación de la actividad volcánica de Galeras en enero 2021 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

2 ACTIVIDAD DEL VOLCÁN CUMBAL – ENERO DE 2021

2.1 Red de Vigilancia

En enero de 2021 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 29, Tabla 12).

- Un sensor de presión acústico ubicado en el sitio de la estación sismológica La Mesa (Figura 29).
- Tres cámaras de video permanente para observación y seguimiento de la actividad superficial, una instalada en el municipio de Cumbal, otra en el sitio de la estación Punta Vieja y en el sector del Boliche (Figura 29).
- Cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos, dispuestos para el seguimiento de los cambios en superficie asociados a la deformación volcánica (Figura 30, Tabla 12).

Para este periodo las estaciones telemétricas tuvieron en promedio un porcentaje de funcionamiento del 83 % (Figura 31).

Tabla 12. Estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2021

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

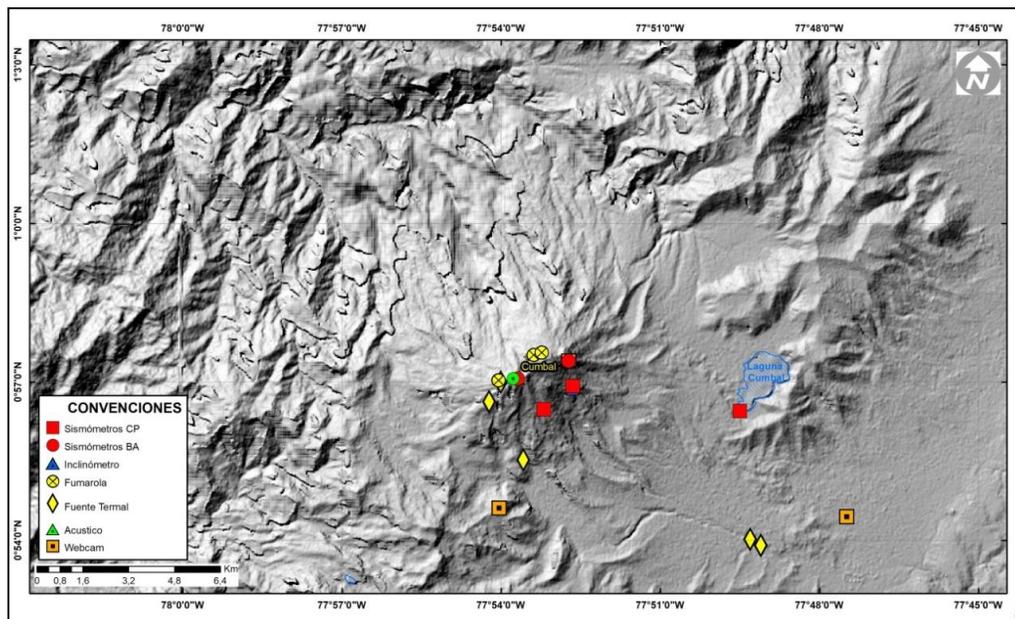


Figura 29. Mapa de localización de las estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal durante el mes de enero de 2021

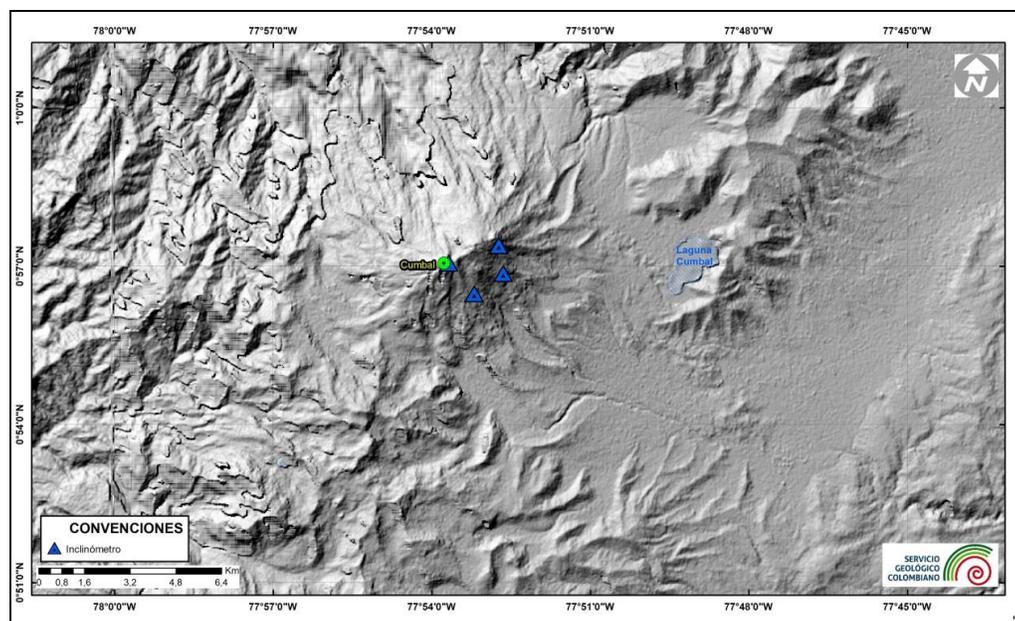


Figura 30. Mapa de localización de las estaciones de deformación volcánica, inclinómetros electrónicos que forman parte de la red de vigilancia del Complejo Volcánico de Cumbal para el mes de enero de 2021

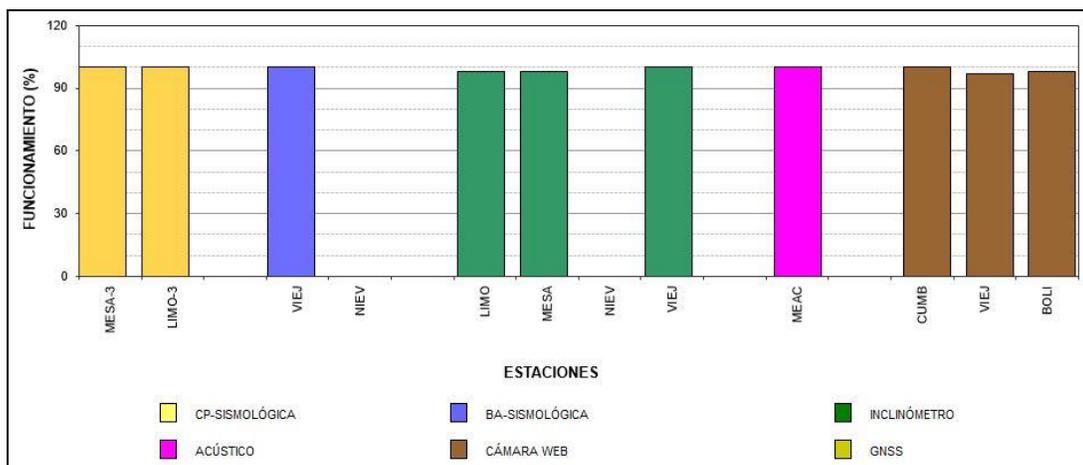


Figura 31. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del complejo volcánico de Cumbal en enero de 2021

2.2 Sismología

Comparando diciembre 2020 con enero 2021, la ocurrencia sísmica mostró niveles similares en el complejo volcánico de Cumbal (CVC), solamente se registró una disminución del 1%, pasando de 1281 a 1268 eventos. La sismicidad dominante fue la asociada con fractura de material cortical (VT) con 1022 eventos, que equivalen al 81% del total, seguida de la sismicidad asociada con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior del volcán (LP) con 178 eventos, que representan el 14%, seguida de 68 eventos de tipo híbrido (HIB) que equivalen al 5%. No se registraron episodios de tremor (TRE) (Tabla 13, Figura 32 y 33). Los sismos de tipo VT incrementaron su ocurrencia 5% pasando de 976 a 1022 eventos, los LP disminuyeron 27% su ocurrencia pasando de 243 a 178 eventos, los HIB incrementaron 10%, pasando de 62 a 68 eventos (Tabla 13, Figura 32 y Figura 33). El pico de ocurrencia se presentó el día 2 de enero, con 96 eventos (76 VT, 14 LP y 6 HIB) (Figura 32).

Tabla 13. Número de sismos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2020 y enero 2021

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2020	976	243	0	62	1281
Enero 2021	1022	178	0	68	1268

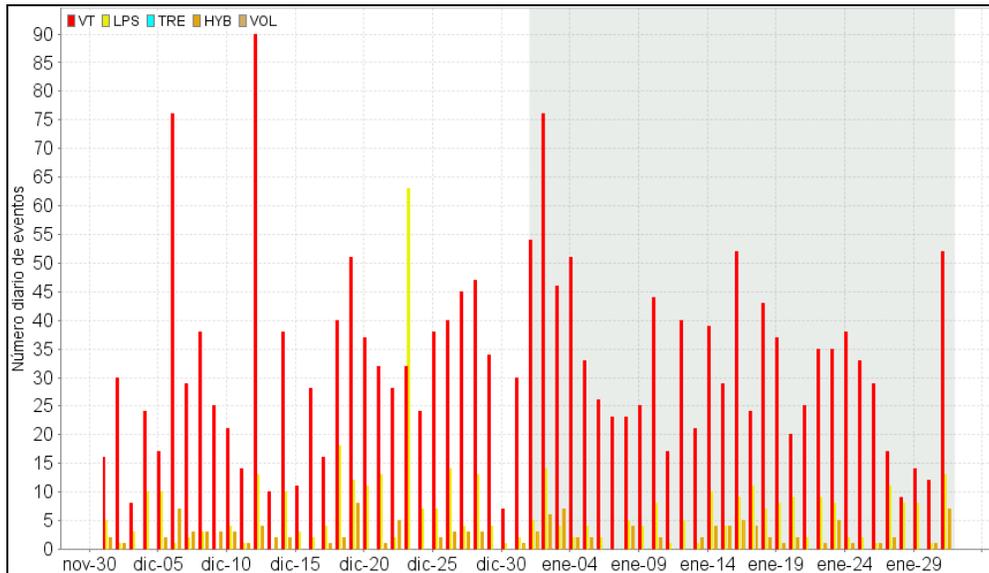


Figura 32. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo en el CVC, durante diciembre 2020 y enero 2021. El recuadro resalta el periodo evaluado

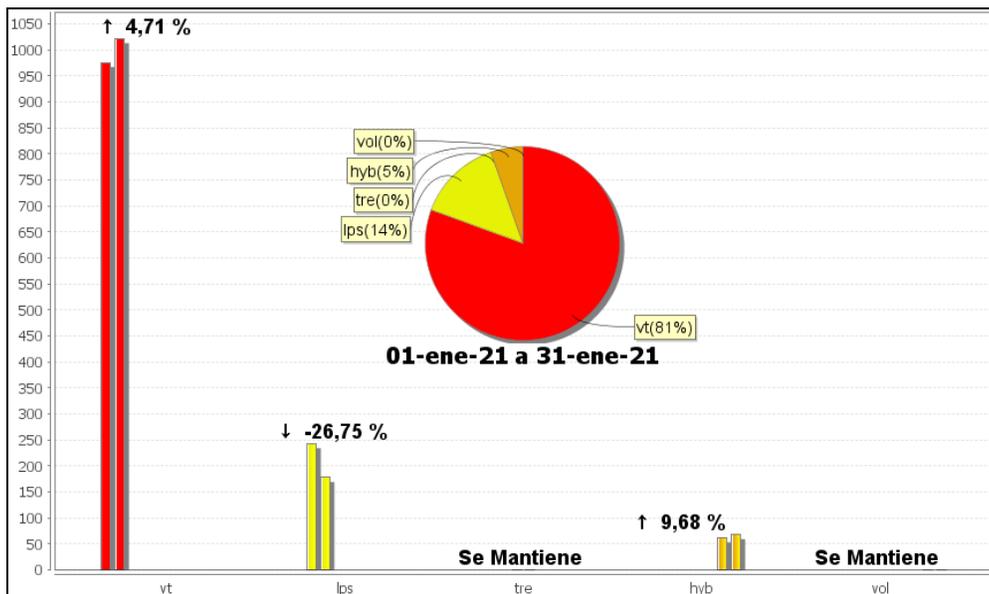


Figura 33. Comparación del número de sismos por tipo entre diciembre 2020 y enero 2021 y estadísticas del número de sismos por tipo para enero 2021

La energía sísmica liberada incrementó 14 veces su valor, pasando de 3.29×10^9 ergios a 4.57×10^{10} ergios, correspondiendo un 99% a los eventos de tipo VT con 4.50×10^{10} ergios, un 1% a los eventos tipo LP con 5.61×10^8 ergios y la energía de los eventos de tipo HIB con 9.19×10^7 ergios queda inmersa en la energía de VT. El pico energético se

presentó el 4 de enero, con 3.64×10^{10} ergios, debida a 51 eventos VT (Tabla 14, Figura 34).

Tabla 14. Energía de eventos volcánicos por tipo en el CVC, diciembre 2020 y enero 2021

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2020	3.15E+09	1.10E+08	0.00E+00	2.24E+07	3.29E+09
Enero 2021	4.50E+10	5.61E+08	0.00E+00	9.19E+07	4.57E+10

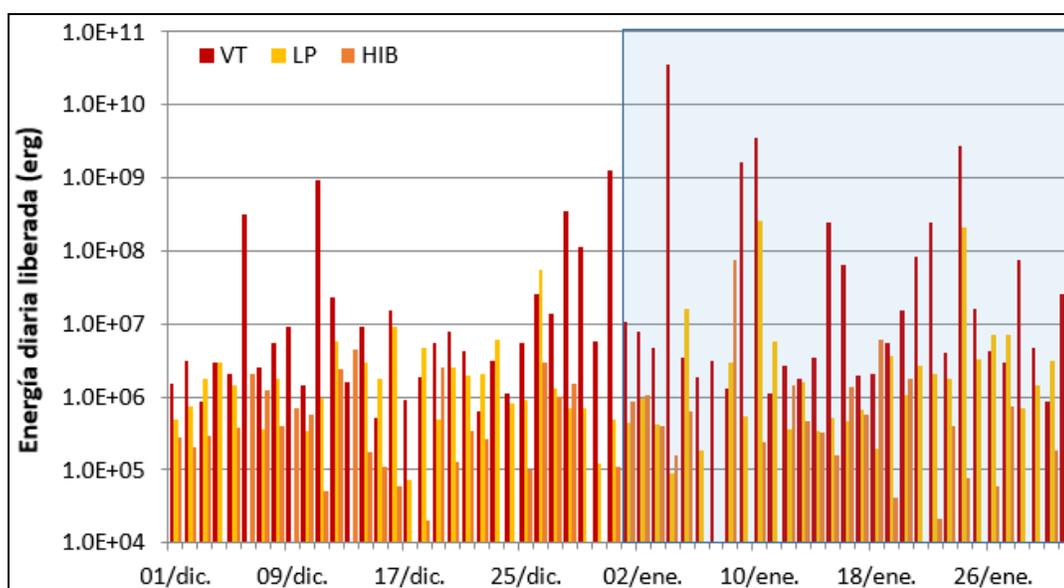


Figura 34. Energía diaria liberada de eventos volcánicos por tipo, registrados en el CVC durante diciembre 2020 y enero 2021; el recuadro indica el periodo evaluado

En enero 2021 se registraron 17 eventos de tipo Tornillo (TOR), de pequeña amplitud, que se caracterizan por el decaimiento lento de su coda y espectros en frecuencia con uno o varios picos dominantes, una selección de eventos TOR de enero se muestra en la Figura 35, en la componente vertical de la estación Limones del CVC. Los espectros en frecuencia de los eventos TOR de enero 2021, presentaron un primer pico en una frecuencia entre 1.5 y 1.6 Hz, el cual es el dominante para la mayoría, también registraron otros picos en frecuencias alrededor de 2 y 3 Hz, el cual es dominante para algunos eventos. Las señales sísmicas y los componentes espectrales de los eventos tipo TOR del CVC indican que están asociados con movimiento de fluidos que implican resonancia en los conductos volcánicos que los contienen, 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.

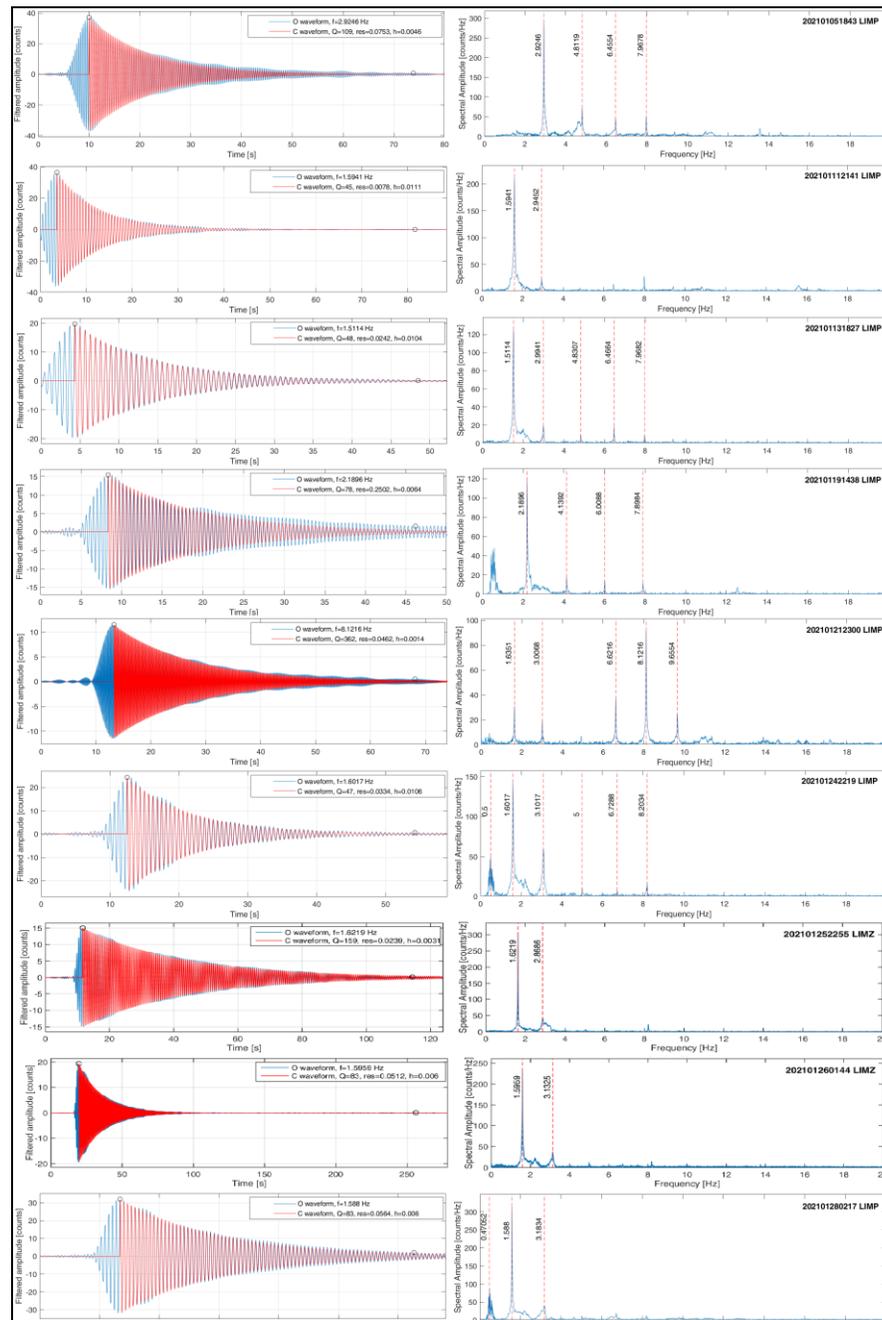


Figura 35. Sismogramas filtrados y espectros en frecuencia de 9 eventos TOR de enero 2021 en la componente vertical de la estación Limones del CVC

Se localizaron 103 sismos de baja energía, que se distribuyeron en 2 grupos diferenciados, el primero, con 83 eventos en inmediaciones de los cráteres activos del complejo volcánico, Plazuelas (noreste) y Mundo Nuevo (suroccidente), en distancias

entre cero y 2.8 km, profundidades menores de 4 km, con respecto a la altura de Plazuelas (4700 msnm) y con ML máxima de 0.3 Richter, siguiendo un alineamiento SE-NW, apegado a un trazo de falla. El resto de sismos se ubicaron de manera dispersa en la zona de influencia del CVC, preferencialmente hacia el suroriente, en distancias entre 2.5 y 15 km, con profundidades entre 0.5 y 9 km con respecto a la altura de Plazuelas (4700 msnm) y con 1.0 de magnitud local máxima (Tabla 15, Figura 36).

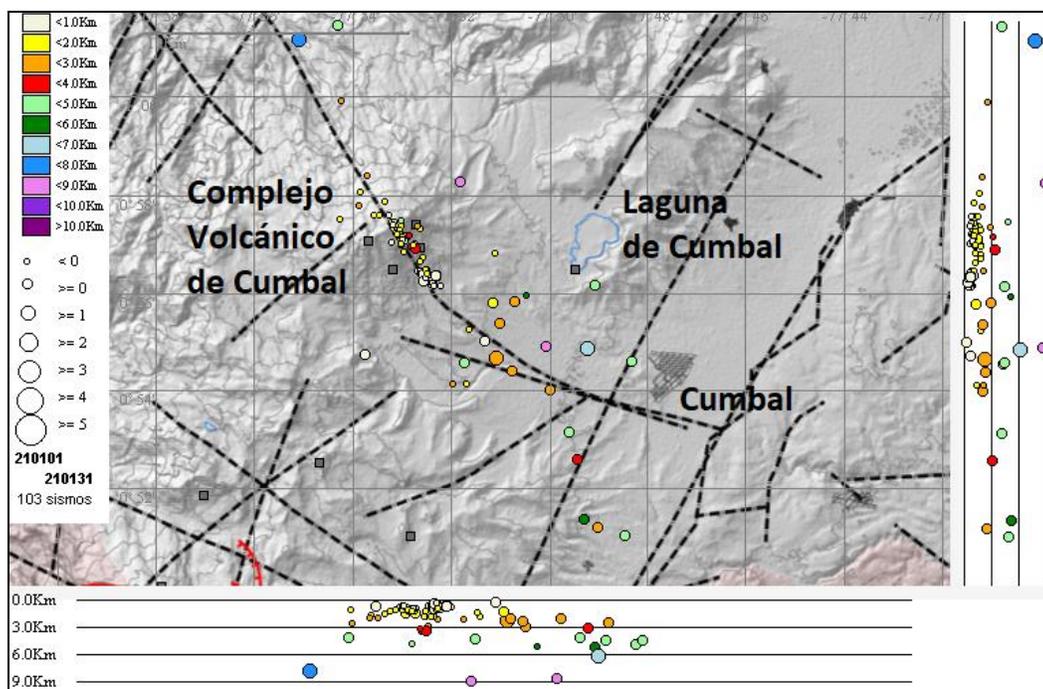


Figura 36. Sismos localizados en el CVC, enero 2021

La magnitud local de los sismos es pequeña, pues son eventos de baja energía, se destacan 3 sismos VT, con ML de 1.0 en la escala de Richter y en la Tabla 15 se consignan sus características de localización.

Tabla 15. Sismos con ML igual a 1.0 en el CVC, enero 2021

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
03/01/2021	00:05	1-01.17	77-55.10	7.9	1.0
10/01/2021	22:29	0-54.90	77-49.21	6.2	1.0
16/01/2021	15:47	0-54.69	77-51.10	2.3	1.0

2.3 Deformación

Las componentes de inclinación de las estaciones Limones, muestran tendencias estables, con variaciones en los registros que en algunos casos alcanzan más de 20 μrad , que muy probablemente están asociadas con los cambios en la temperatura ambiente donde están instalados los equipos (Figura 37). La estación Punta Vieja, pese a sus variaciones temporales asociadas a las condiciones de temperatura, muestran en su componente Este una leve tendencia descendente desde mediados del 2019, acumulando hasta la fecha unos 20 μrad , la componente Norte es estable (Figura 38). La Estación La Mesa, después del cambio registrado en la componente Norte de cerca de 200 μrad en el 2018 y que no se asoció con actividad volcánica, muestra una tendencia estable, aunque presenta cambio abruptos asociados posiblemente con la temperatura ambiente. La componente Este desde enero de 2019 hasta la fecha tiene una tendencia ascendente acumulando 40 μrad (Figura 39).

La estación de inclinometría La Nieve continúa por fuera desde el 24 de octubre de 2020.

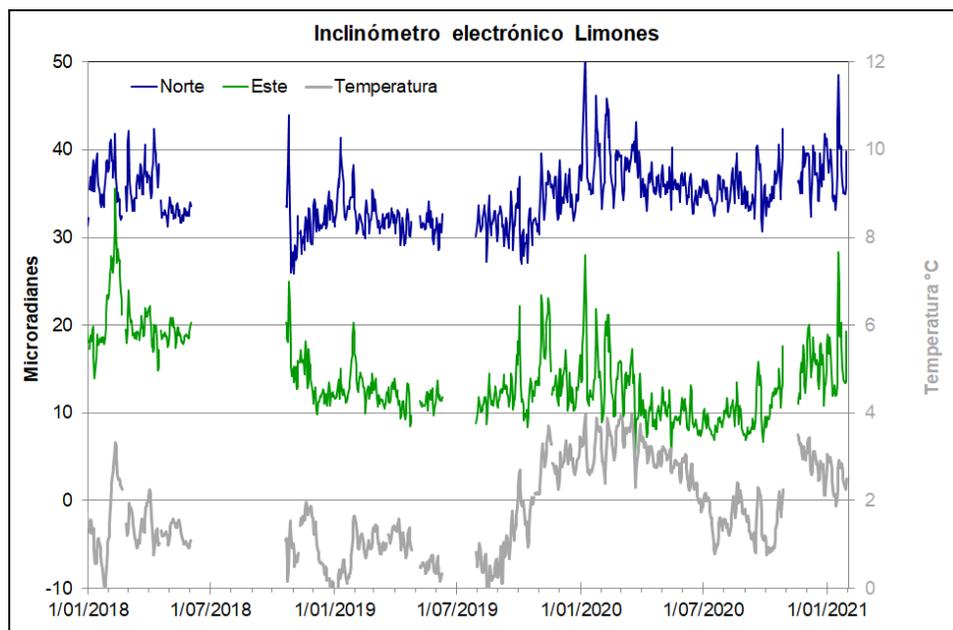


Figura 37. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Limones, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021

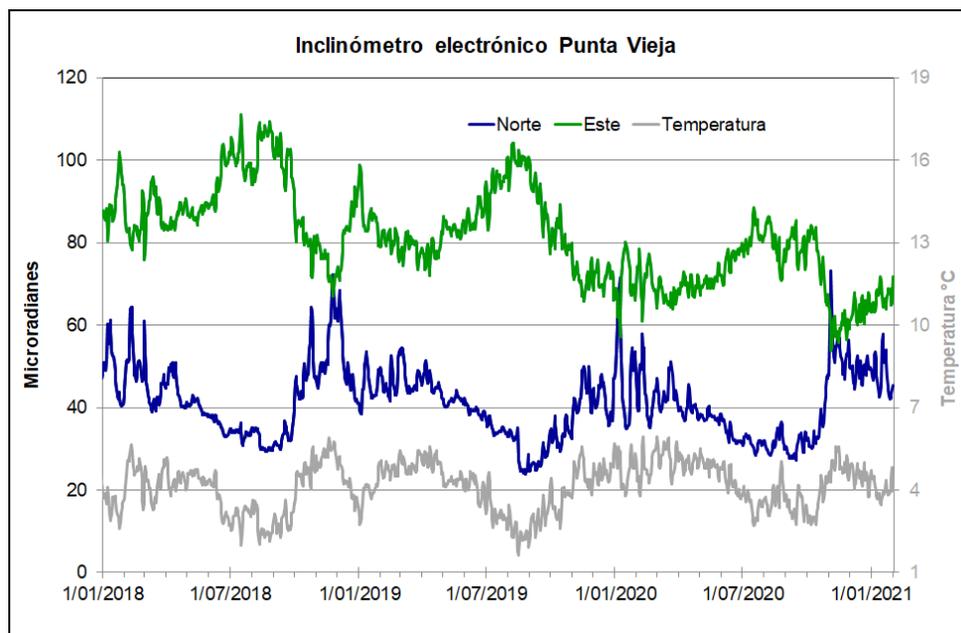


Figura 38. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Punta Vieja, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021

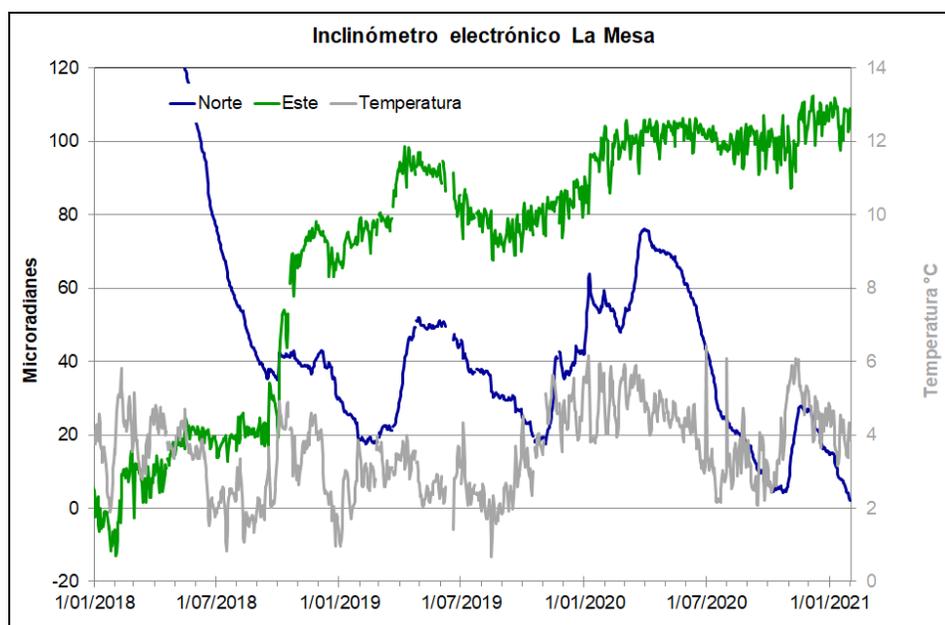


Figura 39. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021

2.4 Electromagnetismo

Para el periodo evaluado no se realizó esta actividad.

2.5 Geoquímica

2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

2.6 Actividad Superficial

Los días 3, 4, 5, 6, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 28, 29, 30 y 31 del mes de enero de 2021 con las cámaras web de Cumbal y del Boliche se observó emisiones de gases principalmente desde los campos fumarólicos El Verde (sector nororiental) y Rastrojos (sector suroccidente), con columnas de color blanco, altura variable y dispersión de acuerdo a la dirección predominante de los vientos en la zona.

En las Figuras 40 a 47 se presentan algunas imágenes asociadas a procesos de emisión de gases del complejo volcánico de Cumbal.

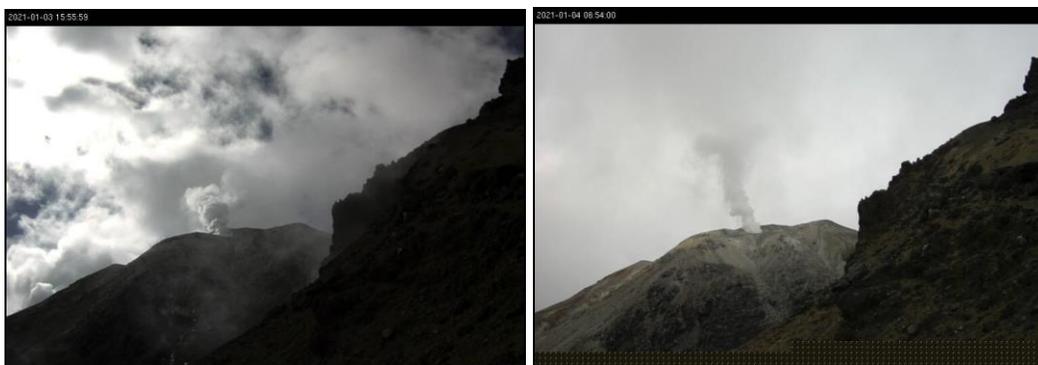


Figura 40. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 3 de enero de 2021 a las 3:55 p.m., (izquierda) y el día 4 de enero de 2021 a las 6:54 p.m., (derecha)



Figura 41. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 5 de enero de 2021 a las 9:42 a.m., (izquierda) y el día 6 de enero de 2021 a las 6:02 a.m., (derecha)



Figura 42. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Punta Vieja el día 13 de enero de 2021 a las 6:19 a.m., (izquierda) y el día 14 de enero de 2021 a las 6:33 p.m., (derecha)



Figura 43. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 15 de enero de 2021 por la cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 6:34 p.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 16 de enero de 2021 a las 7:03 p.m., (derecha)



Figura 44. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector del Boliche el día 17 de enero de 2021 a las 7:01 a.m., (izquierda) y el día 18 de enero de 2021 a las 6:30 a.m., (derecha)



Figura 45. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 21 de enero de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 7:55 a.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 22 de enero de 2021 a las 1:36 p.m., (derecha)



Figura 46. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captadas el 28 de enero de 2021 por las cámaras ubicadas en el sector del Boliche a las 3:33 p.m., (izquierda) y Punta Vieja el día 29 de enero de 2021 a las 5:09 a.m., (derecha)



Figura 47. Imágenes de la emisión de gases ocurrida en el Complejo Volcánico de Cumbal captada por la cámara ubicada en el sector de Punta Vieja el día 30 de enero de 2021 a las 7:35 a.m., (izquierda) y el día 31 de enero de 2021 a las 6:40 a.m., (derecha)

2.7 Conclusiones

- En enero 2021, en el Complejo Volcánico de Cumbal (CVC), la sismicidad disminuye levemente su ocurrencia e incrementa su energía liberada, con predominio de eventos asociados con fractura de roca al interior del volcán. Los sismos son de baja energía, con ML máxima de 1.0 en la escala de Richter.

La evaluación de la actividad volcánica del CVC en enero 2021 permitió mantener el nivel **AMARILLO** ■ (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”.

3 ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES CHILES Y CERRO NEGRO DE MAYASQUER - ENERO DE 2021

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 48).

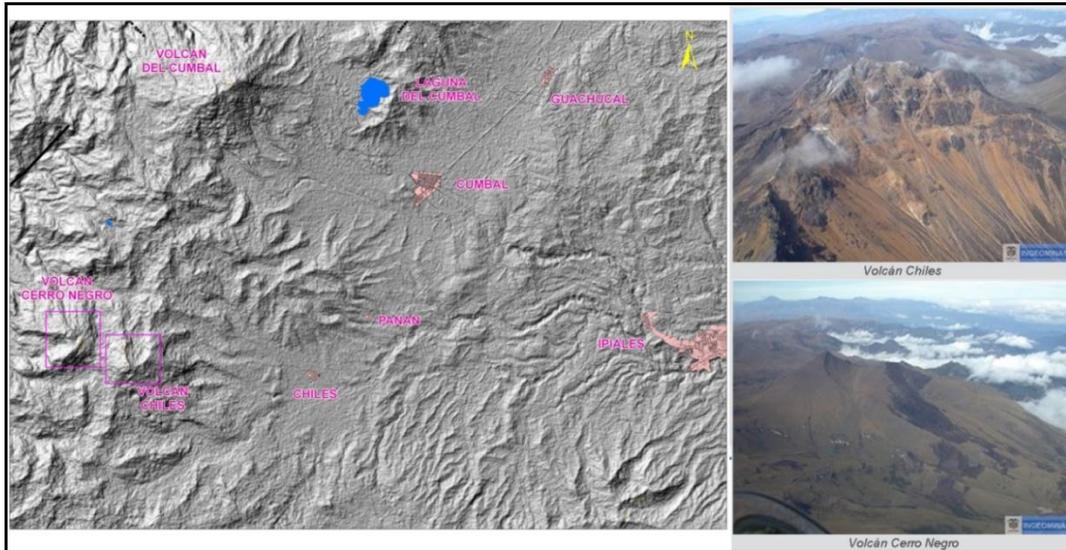


Figura 48. Localización de los volcanes Chiles y Cerro Negro (izquierda) e imágenes de los mismos (derecha)

3.2 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro está conformada por (Figura 49, Tabla 6):

- Siete estaciones sísmicas de Banda ancha.
- Tres inclinómetros electrónicos (Chiles, Morro y Cerro Negro).
- Un sensor de presión acústica (Canguil).
- Una estación para monitoreo y seguimiento de cambios térmicos (En el sector de Baño Grande).
- Una estación cámara web (Canguil).
- Una estación de campo magnético (Morro).
- Una estación GNSS Permanente (Morro).

Además, se cuenta con una red de muestreo de aguas en fuentes termales y fuentes frías (Figura 49, Tabla 17).

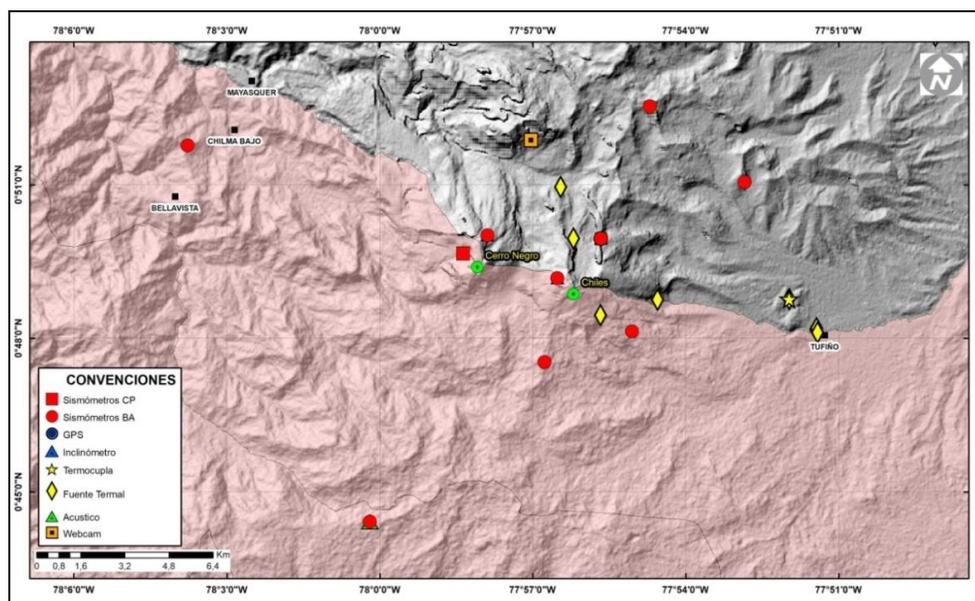


Figura 49. Estaciones telemétricas y no telemétricas que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en el mes de enero de 2021

Tabla 16. 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
C. Negro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4	WNW	4216
I. C. Negro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4	WNW	4216
Canguil	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	5,8	NNW	3788
Lagunas	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,1	NNE	4003
Panam	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	7,4	NE	3750
Termáles	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9,3	E	3329
El Morro	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2,3	NNE	4075
El Morro	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2,3	NNE	4075
Canguil	Digital	Sensor de Presión Acústica	Unidireccional	5,8	NNW	3788
Baño Grande	Digital	Termocupla	Unidireccional	7,9	NE	3318
Morro_EM	Digital	Magnetómetro	Biaxial	2,3	NNE	4075
El Morro	Digital	GNSS	Triaxial	2,3	NNE	4075

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

Fuente Termal	Imagen	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (msnm)
Baño Grande		0.81282°	77.86624°	3318
Aguas Hediondas		0.81256°	77.90923°	3613
Lagunas Verdes		0.80758°	77.92791	3894
Río Blanco		0.84928°	77.94092°	3611
El Hondón		0.832535	-77.936713	3948

En el periodo evaluado, las estaciones de la red telemétrica instalada para el monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro presentaron un funcionamiento promedio del 87 % (Figura 50).

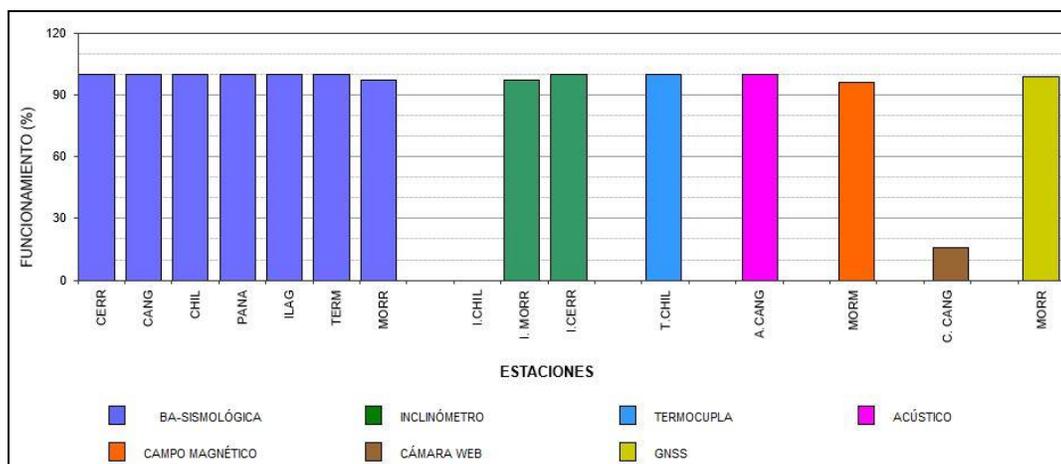


Figura 50. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero de 2021

3.3 Sismología

La sismicidad en la región de los volcanes Chiles y Cerro Negro en enero 2021 disminuyó un 49% su número, pasando de 8325 a 4287 eventos, con respecto al mes de diciembre del 2020. Se mantuvo el predominio de la sismicidad asociada con fractura de roca al interior del volcán (VT) con 4248 eventos, que representan el 99.1% del total; también se registraron 39 eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP), con el 0.9%. La sismicidad VT también disminuyó su ocurrencia 49%, pasando de 8288 a 4248 eventos, la sismicidad LP incrementó su ocurrencia un 5%, pasando de 37 a 39 eventos (Tabla 18, Figura 51). El pico de ocurrencia sísmica se presentó el 20 de enero con 1427 eventos VT (Tabla 18, Figura 51).

Tabla 18. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2020 y enero 2021 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	TOTAL
Diciembre 2020	8288	37	0	0	8325
Enero 2021	4248	39	0	0	4287

La energía sísmica disminuyó un 88% su valor, al pasar de 1.58×10^{17} ergios a 1.91×10^{16} ergios. Todo el aporte energético provino de los eventos VT y la energía de los sismos LP queda inmersa en la energía de VT. La energía de los VT también disminuyó 88% su valor, al pasar de 1.58×10^{17} ergios a 1.91×10^{16} ergios, la energía de los LP incrementó 5.5 veces su valor, al pasar de 1.31×10^{12} ergios a 7.23×10^{12} ergios. El pico de energía se registró el 6 de enero, con 1.20×10^{16} ergios, debida a un VT con ML de 3.3 Richter (Tabla 19, Figura 52).

Tabla 19. Energía de eventos volcánicos por tipo en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2020 y enero 2021

Periodo Evaluado	Energía de eventos por tipo		
	VT	LPS	TOTAL
Diciembre 2020	1.58E+17	1.31E+12	1.58E+17
Enero 2021	1.91E+16	7.23E+12	1.91E+16

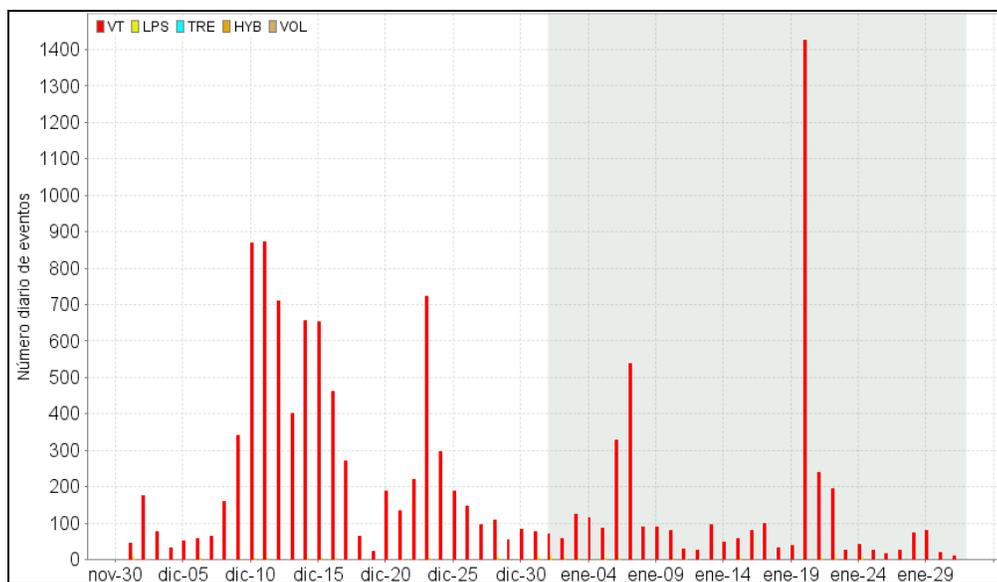


Figura 51. Número diario de sismos en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2020 y enero 2021, el recuadro resalta el periodo evaluado

Se localizaron 823 sismos, la gran mayoría en el cuadrante suroccidental de la zona de influencia del volcán Chiles, en distancias entre 0 y 5 km, con profundidades menores de 6 km, con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y ML máxima de 3.3 Richter. Otro grupo de eventos se localizaron en una zona al suroriente de Chiles, siguiendo un alineamiento suroriente a noroccidente, en distancias entre 4.5 y 12 km, con profundidades entre 7 y 15 km, con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y ML máxima de 0.7 Richter.

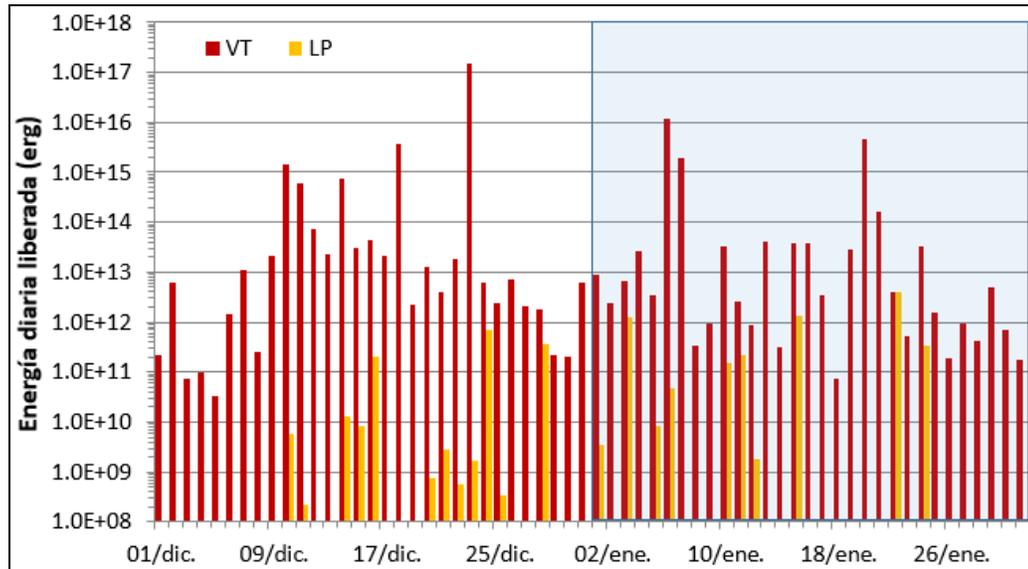


Figura 52. Energía sísmica diaria en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, diciembre 2020 y enero 2021, el recuadro indica el periodo evaluado

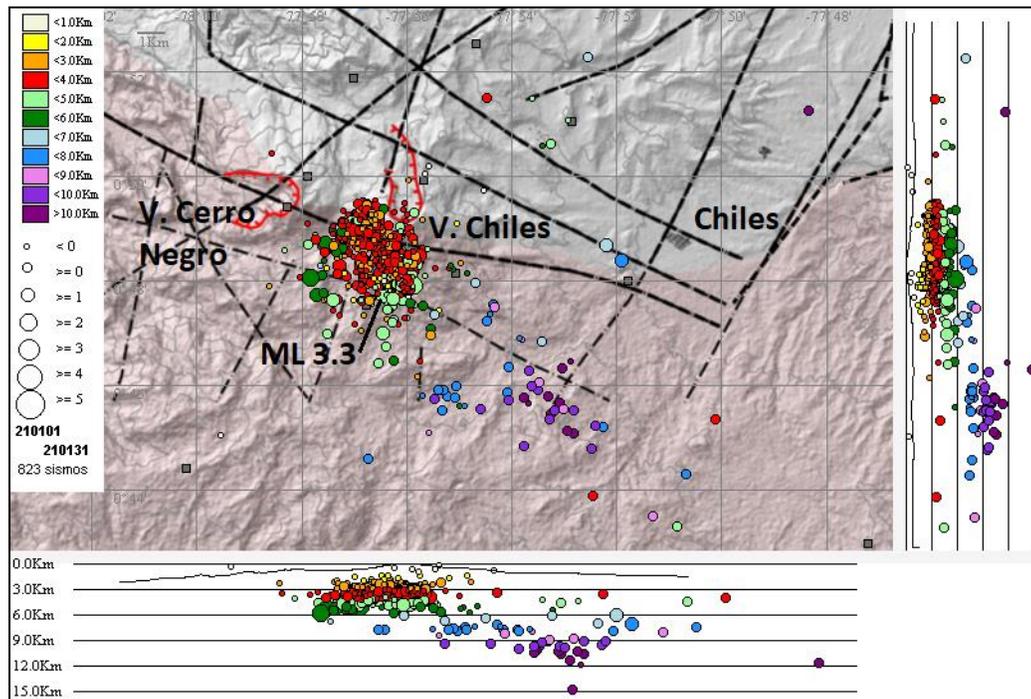


Figura 53. Localizaciones de sismos VT registrados en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer en enero 2021

Unos pocos eventos se localizaron dispersos en la zona de influencia de los dos volcanes, en general en distancias entre 2 y 15 km, con profundidades entre 0.5 y 12

km, con respecto a la cima de Chiles (4700 msnm) y ML máxima de 1.3 Richter (Figura 53). El evento de mayor energía se registró el 6 de enero a las 09:11 a.m., se ubicó a 2.7 km al suroccidente de la cima de Chiles, a una profundidad de 4.5 km, con ML de 3.3 Richter (Figura 53). No se recibieron reportes de sismo sentido.

La mayoría de eventos son de baja energía, se resalta el registro de 5 eventos con ML mayor o igual a 2.0 Richter y en la Tabla 20 se consignan sus características de localización (Figura 53, Tabla 20).

Tabla 20. Sismos VT con ML mayor o igual a 2.0, Chiles - Cerro Negro, enero 2021

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
06/01/2021	09:11	0-47.74	77-56.26	4.5	3.3
07/01/2021	00:51	0-48.21	77-56.18	4.6	2.6
07/01/2021	17:08	0-47.93	77-55.87	4.0	2.0
20/01/2021	08:45	0-48.97	77-57.10	5.0	2.0
20/01/2021	10:19	0-48.09	77-57.84	5.7	2.6

3.4 Deformación

3.4.1 Inclínometría Electrónica

Con respecto al comportamiento de la red de deformación instalada en los volcanes Chiles y Cerro Negro, se cuenta con tres inclinómetros electrónicos, dos instalados en el volcán Chiles y uno en el volcán Cerro Negro, y una estación GNSS permanente instalado en el volcán Chiles. El inclinómetro Chiles se encuentra fuera de funcionamiento desde el 7 de noviembre de 2020.

La componente Norte del inclinómetro el Morro, tuvo una tendencia descendente entre febrero y octubre del 2020, con un cambio de 20 μ rad, posteriormente y hasta la fecha su tendencia es estable, al igual que la componente Este. (Figura 54).

Con respecto al comportamiento del inclinómetro Cerro Negro se distinguen cuatro periodos: el primero entre mayo 26 de 2016 y el 10 de octubre de 2018, el segundo, entre octubre 11 de 2018 y mayo 27 de 2019, el tercero entre mayo 28 de 2019 hasta noviembre 13 de 2020 y el cuarto desde noviembre 14 de 2020 hasta la fecha (Figura 55). Para el último periodo se observa en la componente Este un cambio acelerado de tendencia que acumulan cerca de 700 μ rad. Aunque las variaciones en la red de GNSS se mantienen, no se evidencia una correspondencia entre este inclinómetro y el GNSS y el inclinómetro instalado en la estación el Morro.

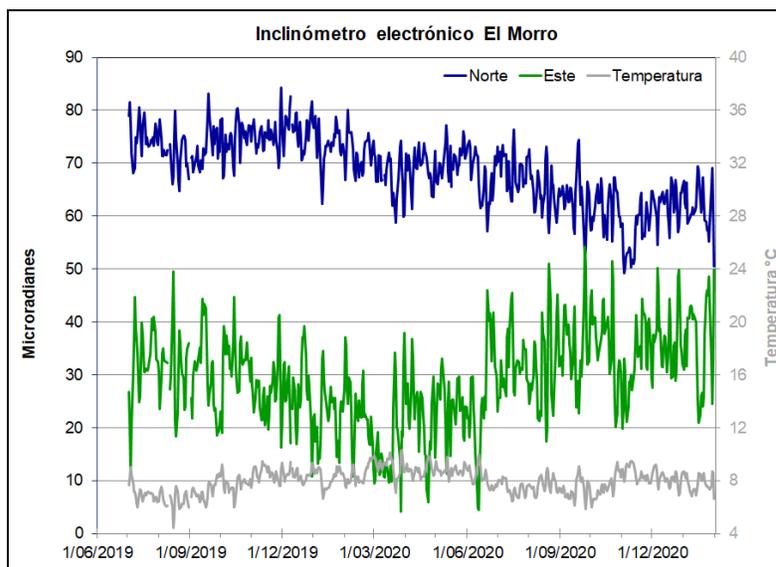


Figura 54. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico El Morro, instalado en el volcán Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 31 de enero de 2021

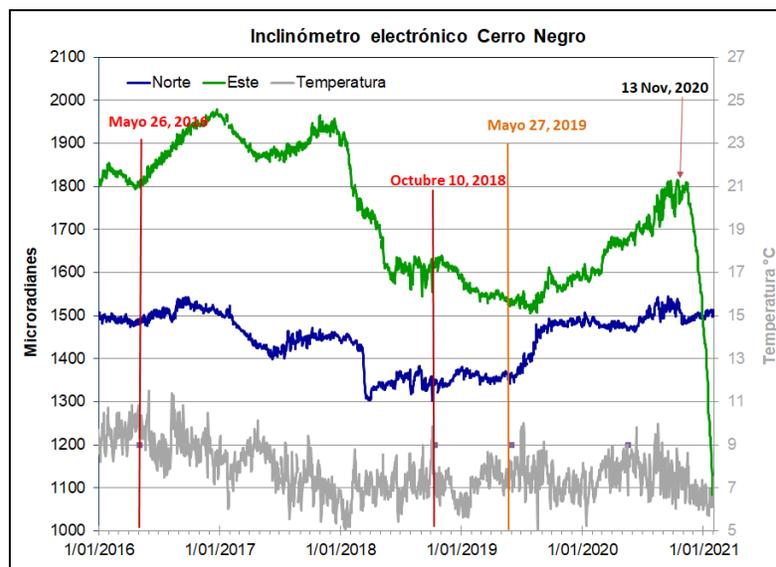


Figura 55. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Cerro Negro, instalado en el volcán del mismo nombre, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de enero de 2021. Resaltando con líneas verticales el cambio de tendencia en las componentes de inclinación

3.4.2 Estaciones GNSS Permanentes

Sobre la superficie del volcán Chiles por parte del SGC – OVS Pasto se tiene instalada una estación GNSS Permanente, ubicada en vecindades de la estación multiparamétrica El Morro, hacia el costado nororiental de Chiles.

Para el análisis se contempló un procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.7, haciendo uso de efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. Desde su instalación muestra una tendencia ascendente en la dirección Norte y en la componente Vertical, con cambios de unos 17 mm y 20 mm, respectivamente. La dirección Este muestra una tendencia descendente de unos -4 mm (Figura 56).

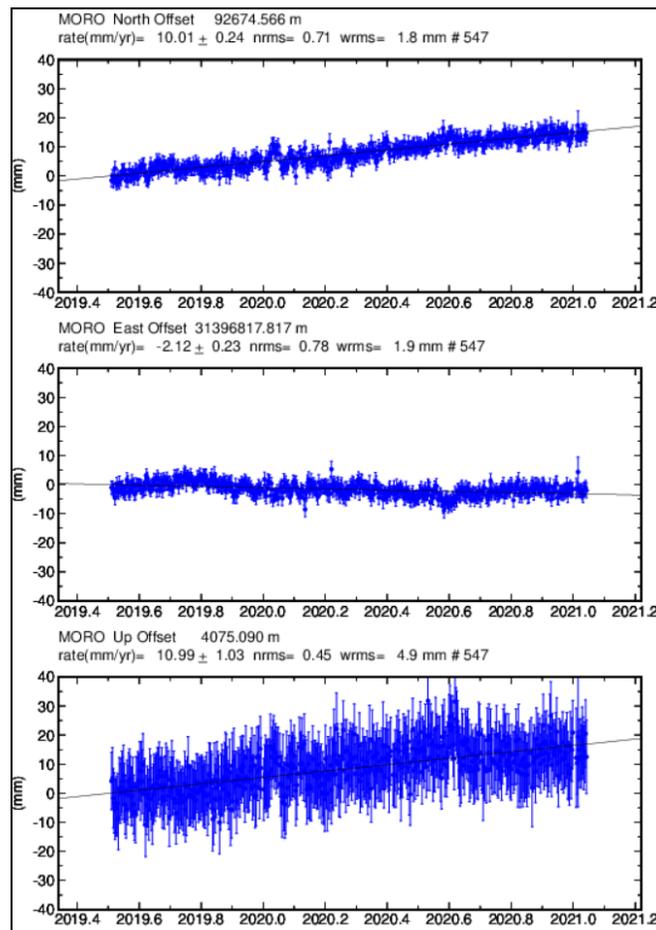


Figura 56. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS El Morro instalada en Chiles, para el periodo comprendido entre el 6 de julio de 2019 y el 16 de enero de 2021

En el sector ubicado en territorio ecuatoriano, el IGEPN, tiene instalados para el monitoreo de estos cambios en superficie, los GNSS permanentes CHLS y CHLW, en la Figura 57, se muestra la serie temporal desde el 1 de enero de 2020 y el 16 de enero de 2021; para CHLS se observa ascenso en la dirección Norte, la componente de altura tiende a estabilizarse desde agosto de 2020, y la componente Este se mantiene estable; la estación CHLW, tiene un marcado descenso en la dirección Este el cual, de igual forma persiste el ascenso en la altura y en la componente Norte hay un ligero cambio de tendencia, de ascendente a descendente desde agosto de 2020.

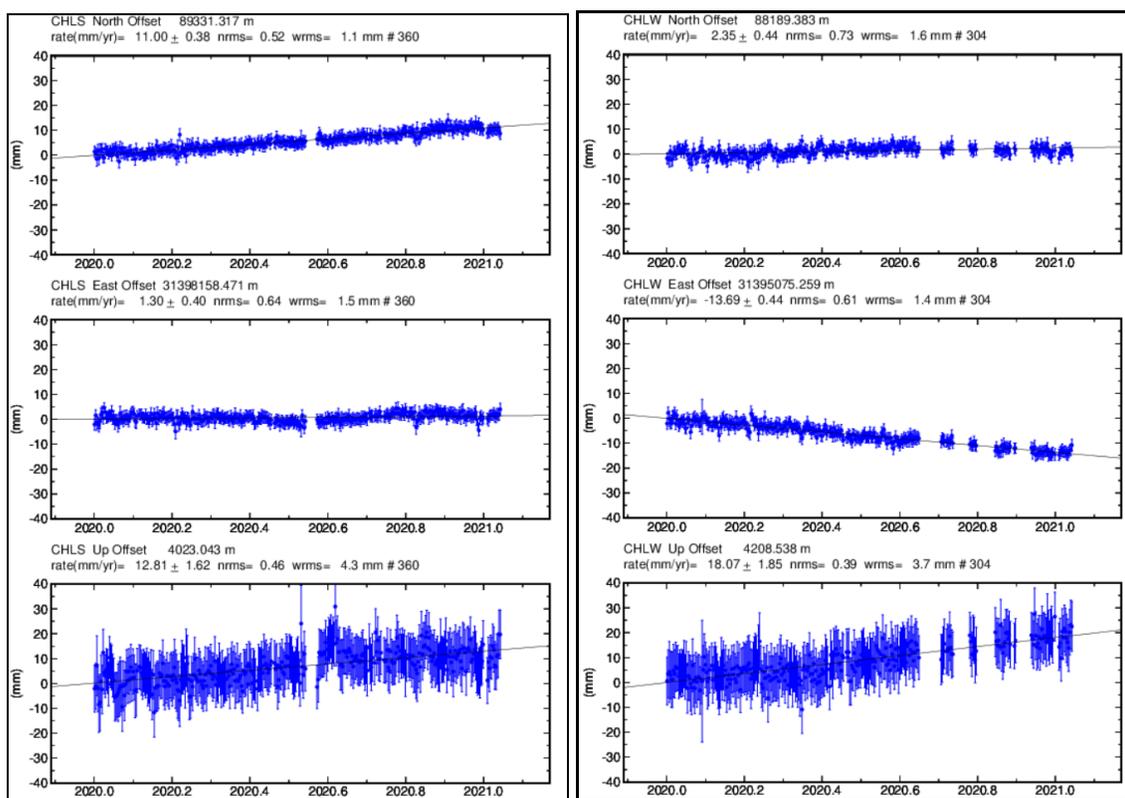


Figura 57. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS CHLS y CHLW instaladas en Chiles, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 16 de enero de 2021, estaciones que pertenecen a la red de monitoreo del lado ecuatoriano – IGEPN

3.5 Electromagnetismo

El análisis de la información de las variaciones del Campo Magnético Terrestre Total (F) (CMT-F), en la zona de influencia del Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro, para el mes de enero de 2021, se realizó tomando los registros de la estación Morro (MOR), que cuenta un sensor magnético triaxial, tipo Fluxgate.

Entre octubre, 2020 y enero, 2021 (Figura 58), el comportamiento de los registros obtenidos por medio en la estación magnética MOR, muestran una tendencia ligeramente descendente, resaltando principalmente las variaciones seculares con periodos de entre 25 a 30 días, y periodos más cortos de: un día, 12 horas, ocho horas. Se registraron también registros con frecuencias mayores, asociadas a eventos magnéticos externos, generados por tormentas geomagnéticas, que al llegar a las inmediaciones del Campo Magnético de la Tierra afectan los registros de la estación tanto en amplitud como en frecuencia.

La estación Kourou (KOU), se ha tomado como referencia para el análisis de los datos magnéticos registrados por el OVS-Pasto, por pertenecer a la Red de Monitoreo Magnético Global del Instituto Central de Magnetismo Terrestre de Francia. KOU está ubicada en Guayana Francesa, y corresponde a la estación de la red mundial más cerca de la zona de estudio, a una latitud muy próxima a la zona de los volcanes de Nariño. Al comparar los registros en las estaciones de monitoreo magnético en el Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro, MOR y Kourou, se resaltan las variaciones similares en ambos registros, que se asocian con las variaciones seculares (día-noche) y con la ocurrencia de fenómenos magnéticos como las tormentas geomagnéticas; principalmente, aquellas con índices Kp iguales o mayores a 3 (Figuras 58 y 59). Al igual que la estación MOR, KOU tuvo un comportamiento ligeramente descendente durante el periodo entre octubre, 2020 y enero, 2021.

Los valores de predicción de tormentas geomagnéticas de tipo Kp, se toman del Centro de Predicción Espacial del Clima (SWPC-Space Weather Prediction Center), perteneciente a la Administración Nacional del Océano y Atmósfera (NOOA- National Oceanic and Atmospheric Administration) (Figuras 58).

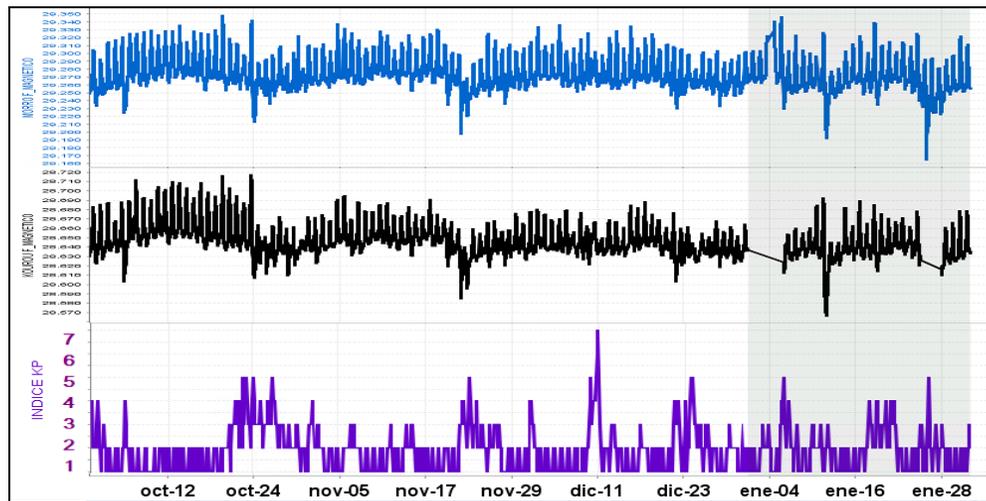


Figura 58. CMT-F calculado en la estación de monitoreo magnético del Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro: MOR (azul) y la estación de referencia KOU (negra), conjuntamente con el índice Kp (magenta). Periodo comprendido entre octubre 2020 y enero, 2021

Para el mes de enero, 2021, el valor promedio del campo magnético en MOR fue de alrededor de 28.350 nT, con una variación diaria promedio de alrededor de 70 nT, en tanto que para KOU, el valor promedio para el mes de enero, 2021, fue de alrededor de 29.270 nT, con variación máxima diaria de alrededor de 65 nT/día (Figura 59).

En enero, 2021, las tormentas geomagnéticas tuvieron índices de intensidad Kp, entre 1 y 5. Entre las mayores perturbaciones del campo magnético que se presentaron, se relacionan los días cuando los índices Kp fueron iguales a 5, aun cuando, se presentaron los máximos cambios durante tormentas que tuvieron índices Kp persistentes en valor de 3, como sucedió entre el 11 y 12 de enero, 2021; cuando tormentas geomagnéticas con índices máximas de 3, generaron variaciones del campo magnético en MOR de alrededor de 140 nT, que corresponde casi al doble de la amplitud promedio en esa estación y, variaciones máximas en KOU de alrededor de 130 nT, que igualmente corresponden al doble del valor normal de variación de amplitud del campo en la estación (Figura 59).

Tomando los valores de promedio móvil diario, para cada una de las series temporales del CMT-F, (Figura 59), que corresponden a las series de tiempo en amarillo, en cada estación de monitoreo del campo magnético en el Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro: MOR y estación de referencia KOU, se disminuyen los efectos de las variaciones seculares día-noche (24 horas) y se obtuvo el comportamiento local de los campos magnéticos. Para la estación MOR se calculó una variación total en el mes de alrededor de 50 nT y una variación diaria máxima de alrededor de 34 nT, para el día 25 de enero, cuando se tuvo una tormenta geomagnética de índice Kp de 5, lo que claramente

puede representar interferencia externa, ya que en general, las variaciones diarias promedio de la estación son menores de 12 nT, que podría explicarse como estabilidad en la actividad volcánica del Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro, desde los datos magnéticos. En la estación de KOU (Figura 59), se observa para el mes de enero 2021, la serie con promedio móvil, muestra una variación mensual de alrededor de 34 nT y una variación máxima igual, de 28 nT, para el 11 de enero, cuando se muestra la tormenta geomagnética de Kp igual a 3, que altera los registros de las estaciones magnéticas. En el caso de la estación KOU no se cuenta con registros para el día 25 de enero, por lo cual no se puede comparar si la variación máxima podría ser mayor. En general, los valores de variación diaria para KOU son menores a 7.

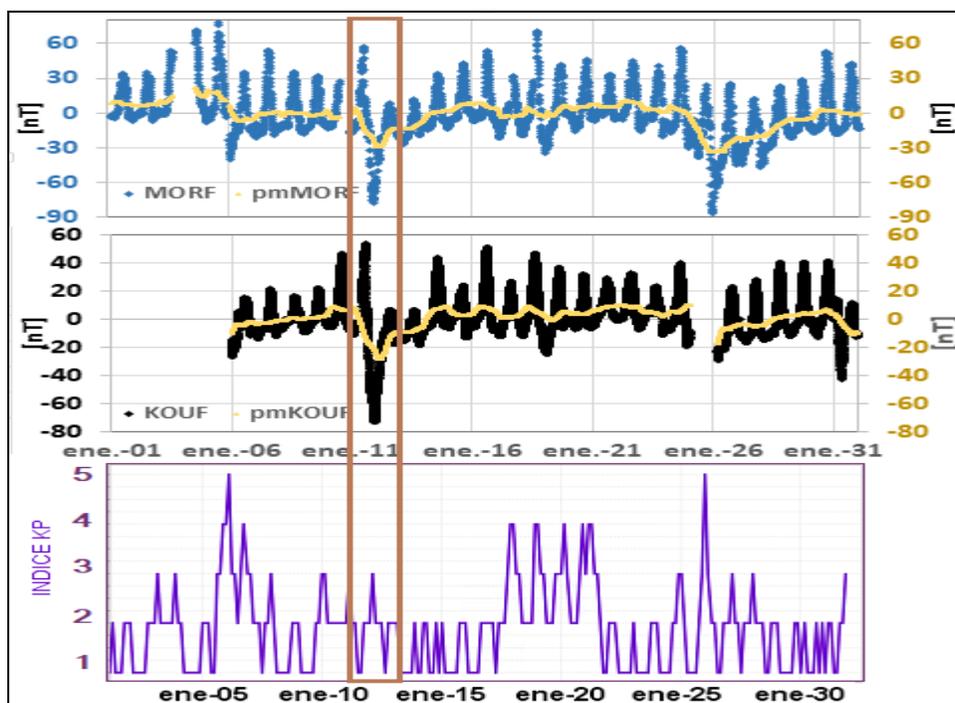


Figura 59. Variaciones del CMT-F, en la estación de MOR (azul) y KOU (negra), para el mes de enero, 2021, graficados conjuntamente con el Índice Kp (magenta). Además, para cada estación se calculó el promedio móvil de la serie temporal y se graficó superpuesta a cada serie temporal (amarillo)

3.6 Geoquímica

3.6.1 Composición iónica fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

3.6.2 Temperatura fuentes termales de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

3.6.3 Registro de temperatura – Estaciones térmicas termales - Volcán Chiles

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

3.7 Actividad Superficial

Durante el mes de enero de 2021 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial del Complejo Volcánico Chiles – Cerro Negro.

3.8 Conclusiones

- La sismicidad en la zona de influencia de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer, en enero del 2021 mostró disminución tanto en su ocurrencia como en su energía con respecto a lo registrado en diciembre del 2020. Continúa el predominio de los sismos asociados con fractura de roca al interior del volcán (VT), destacándose el registro de 5 eventos con ML entre 2.0 y 3.3 Richter. No se recibieron reportes de sismo sentido.
- Se destaca que en meses anteriores el registro de eventos asociados con tránsito de fluidos de fuente transitoria al interior de los conductos volcánicos (LP) era muy esporádico, pero a partir de enero 2020 se registró un aumento en la ocurrencia y energía de este tipo de sismos, el cual se ha mantenido.

La sismicidad registrada desde finales de 2013 hasta la fecha se asocia con una posible intrusión magmática en profundidad, que hasta el momento no ha mostrado manifestaciones en superficie. A pesar de la estabilidad de los otros parámetros medidos, ocasionalmente se presentan enjambres de sismos VT, con sismos sentidos

por los habitantes de la zona, que elevan los niveles de energía y ocurrencia, lo cual indica que los volcanes Chiles y Cerro Negro aún no han retornado a un estado de equilibrio. Por lo anterior, se mantiene 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 de los volcanes Chiles y Cerro Negro de Mayasquer durante enero 2021 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 –ENERO DE 2021

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).

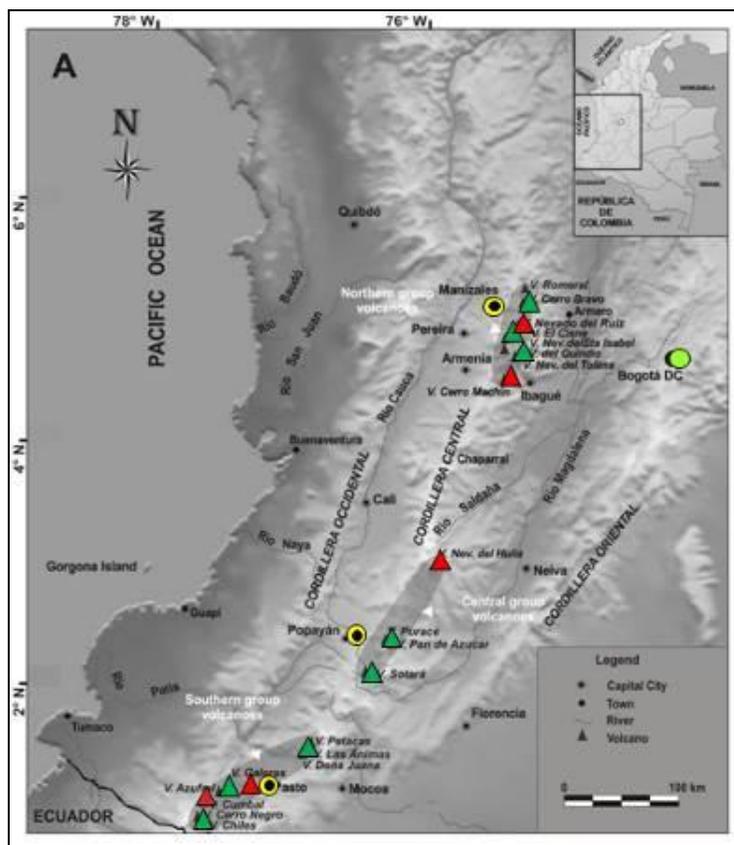


Figura 60. Localización de algunos volcanes del sur de Colombia, entre ellos están Galeras, Doña Juana, Azufraal, Cumbal, Las Ánimas, Chiles y Cerro Negro monitoreados por el OVSP - Servicio Geológico Colombiano

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

4.1 Actividad de los Volcanes Doña Juana y Las Ánimas.

4.1.1 Red de Vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas está distribuida de la siguiente manera: sobre la superficie del volcán Las Ánimas, tres estaciones sísmicas, en las zonas conocidas como Altamira, Petroglifo y El Troje sobre el costado occidental del edificio volcánico, dos inclinómetros electrónicos localizados en Altamira y Troje. En el volcán Doña Juana se tiene instalado dos estaciones sísmicas telemétricas triaxiales, dos inclinómetros localizados en cada una de las estaciones sísmicas y dos

GNSS Permanentes. Es de resaltar que la estación multiparámetrica Altamira (sísmica y deformación), se encuentra ubicada en los límites de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas (Tabla 21, Figura 61). Adicionalmente se tiene la señal de la estación sísmica La Cruz que pertenece a la Red Sismológica Nacional de Colombia, RSNC (Tabla 21), Figura 61. En el periodo evaluado, las estaciones de la red instalada para el monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas tuvieron un funcionamiento del 96 % (Figura 62).

Tabla 21. Estaciones que forman parte de la red de vigilancia de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2021

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Dist. a Doña Juana (Km)	Dir. respecto a Doña Juana	Dist. a Las Ánimas (Km)	Dir. respecto a Las Ánimas	Altitud (msnm)
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2.1	S	12.3	SW	3533
I. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	2.1	S	12.3	SW	3533
Lavas	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4.1	SW	15.5	SW	3145
I. Lavas	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4.1	SW	15.5	SW	3145
Lavas	Digital	GNSS	Triaxial	4.1	SW	15.5	SW	3145
La Palma	Digital	GNSS	Triaxial	2.7	N	9	SW	3477
Altamira	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4.1	NE	7,9	SW	3137
I. Altamira	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	4.1	NE	7,9	SW	3137
Petroglifo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	8.9	NE	4,6	W	2905
I. Petroglifo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Biaxial	8.9	NE	4,6	W	2905
Troje	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	9.6	NE	6,2	NW	2726

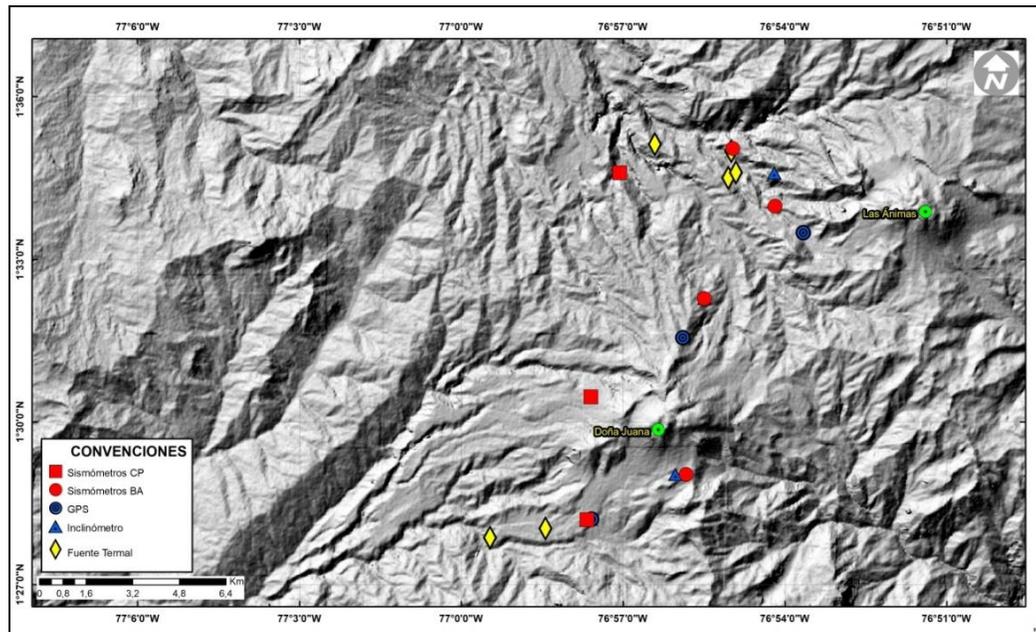


Figura 61. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante el mes de enero de 2021

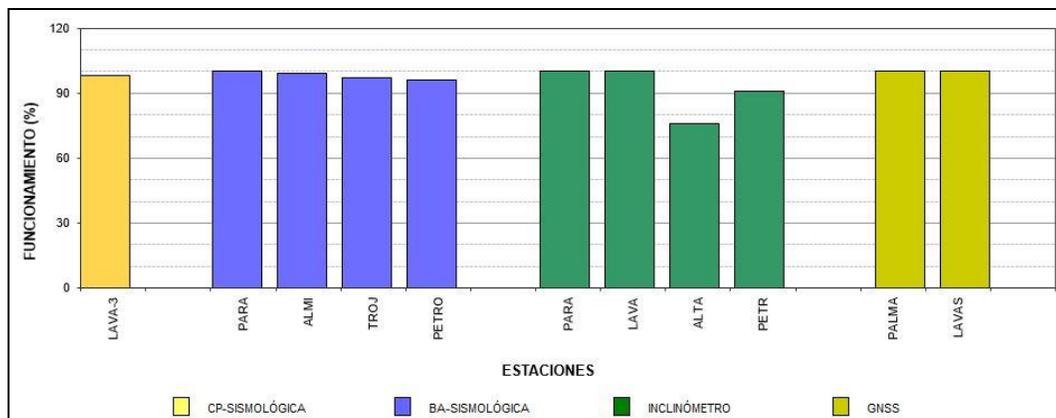


Figura 62. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que hacen parte de la red de monitoreo de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero de 2021

4.1.2 Sismología

Los volcanes Doña Juana y Las Ánimas en enero 2021, presentaron incremento del 71%, en el número de sismos, pasando de 14 a 24 eventos, todos asociados con fractura de roca (VT). El pico de ocurrencia se registró el día 10 de enero con 4 sismos VT (Tabla 22, Figura 63).

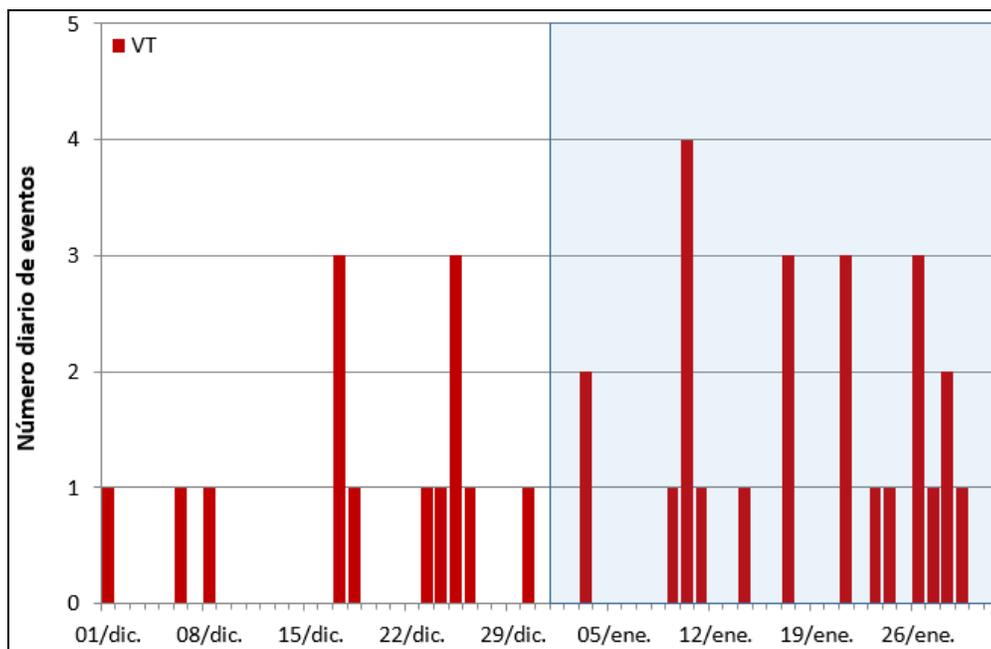


Figura 63. Ocurrencia diaria de sismos volcánicos por tipo, durante diciembre 2020 y enero 2021, volcanes Doña Juana y Las Ánimas. El recuadro resalta el periodo evaluado

Fue posible localizar 14 VT, de los cuales, 11 se dispusieron en el cuadrante sur occidental de la zona de influencia del volcán Las Ánimas; en general los sismos se ubicaron en distancias a entre 1.7 y 8.5 km, con profundidades entre 4 y 12 km con respecto a la cima de Las Ánimas (4300 msnm) y con ML máxima de 3.0 Richter (Figura 64). La energía de los sismos localizados alcanzó un valor de 7.13×10^{13} ergios, calculada con base en su magnitud local. Los sismos localizados son de baja energía, se destaca el registro de 1 VT con ML de 3.0 Richter, el cual ocurrió en enero 26 a las 00:08 a.m., ubicado a 5 km al SW de la cima de Las Ánimas, a una profundidad de 4 km (4300 msnm) y en la Tabla 23 se consignan sus características de localización.

Tabla 22. Número de eventos volcánicos por tipo, ocurridos en diciembre 2020 y enero 2021 en la región de influencia de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2020	14	0	0	0	14
Enero 2021	24	0	0	0	24

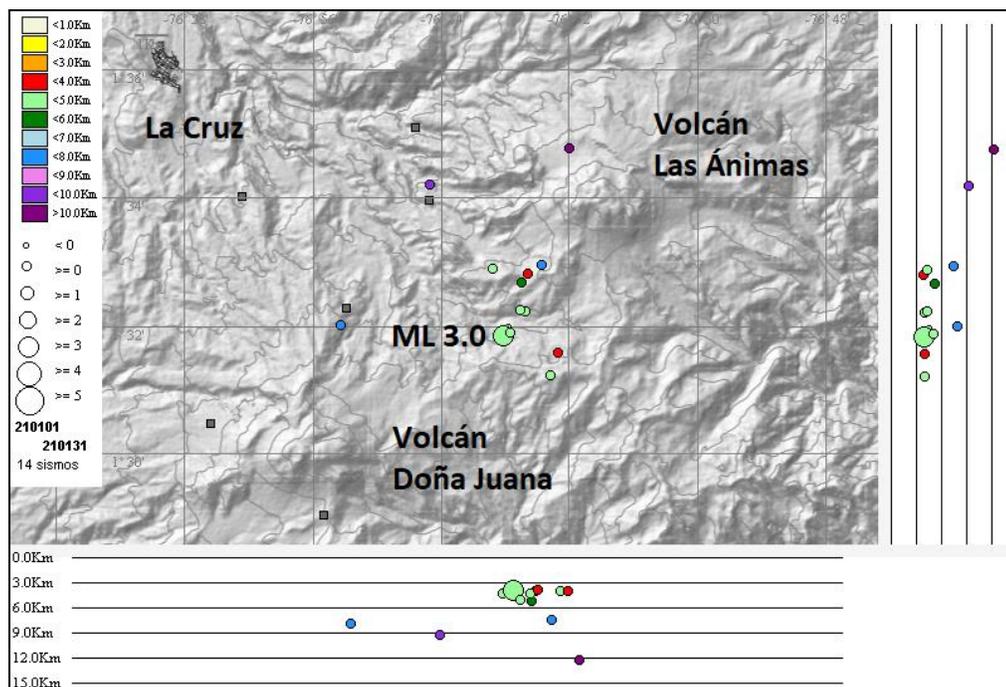


Figura 64. Sismos VT localizados, volcanes Doña Juana y Las Ánimas, enero 2021

Tabla 23. Sismo con ML igual a 3.0, Doña Juana y Las Ánimas, enero 2021

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. km	ML
26/01/2021	00:08	1-31.86	76-53.05	4.0	3.0

4.1.3 Deformación

4.1.3.1 Inclínometría Electrónica

En el volcán Las Ánimas, el inclinómetro Altamira, pese a las fluctuaciones en los registros se evidencia una tendencia ascendente en las dos componentes, alcanzando la Este 30 μ rad y la Norte cerca de 20 μ rad desde abril de 2019 (Figura 65). En la Figura 66, se muestra la serie temporal para la estación de inclinimetría Petroglifo, la componente Norte, continua con la tendencia descendente, acumulando 200 μ rad desde febrero de 2019. Por su parte la componente Este mantiene un comportamiento estable.

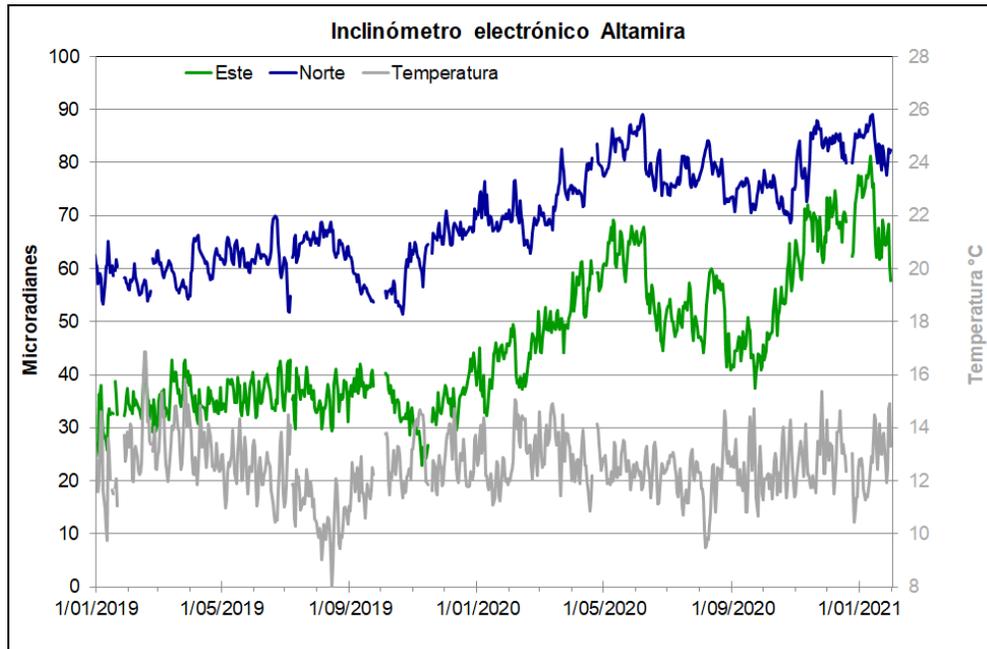


Figura 65. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Altamira, instalado en el límite entre los volcanes Doña Juana y Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 31 de enero de 2021

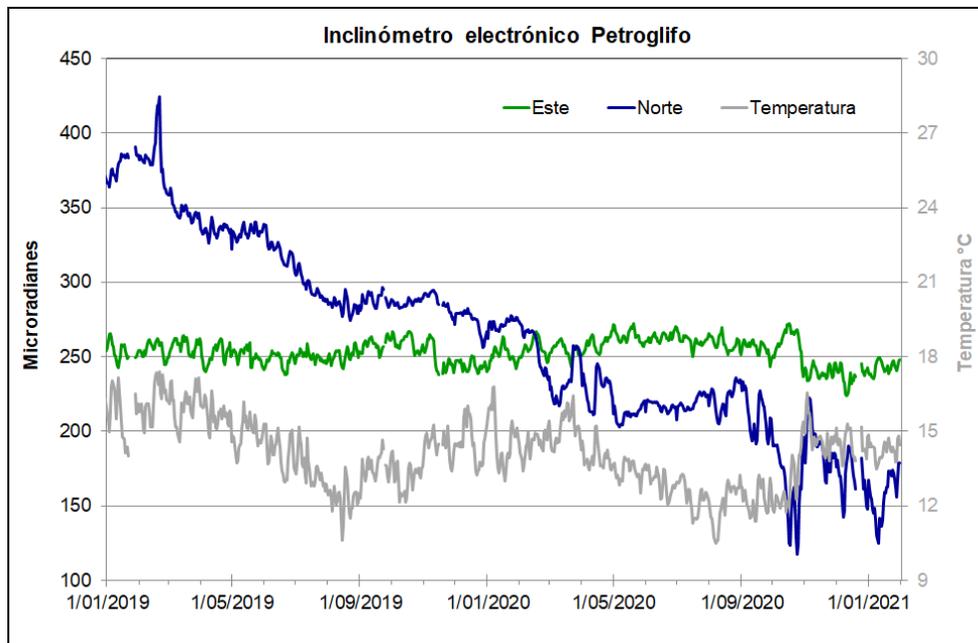


Figura 66. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Petroglifo, instalado en el volcán Las Ánimas, para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2019 y el 31 de enero de 2021

En cuanto al volcán Doña Juana, desde noviembre de 2020 se observa un comportamiento descendente en la componente Este del inclinómetro Páramo, variación que ya registra cerca 90 μrad , en contraste se tiene un ascenso en la Norte de 32 μrad desde septiembre de 2020 (Figura 67). Se observa estabilidad en las componentes de inclinación Norte y Este de la estación de inclinometría Lavas, con variaciones similares a las mostradas por el sensor de temperatura (Figura 68).

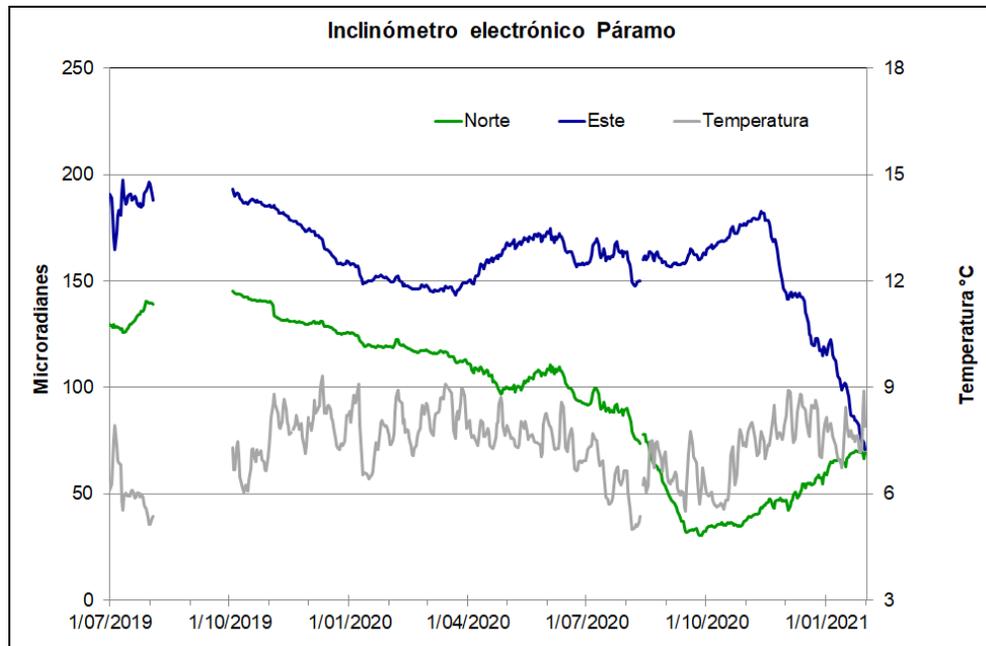


Figura 67. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2019 y el 31 de enero de 2021

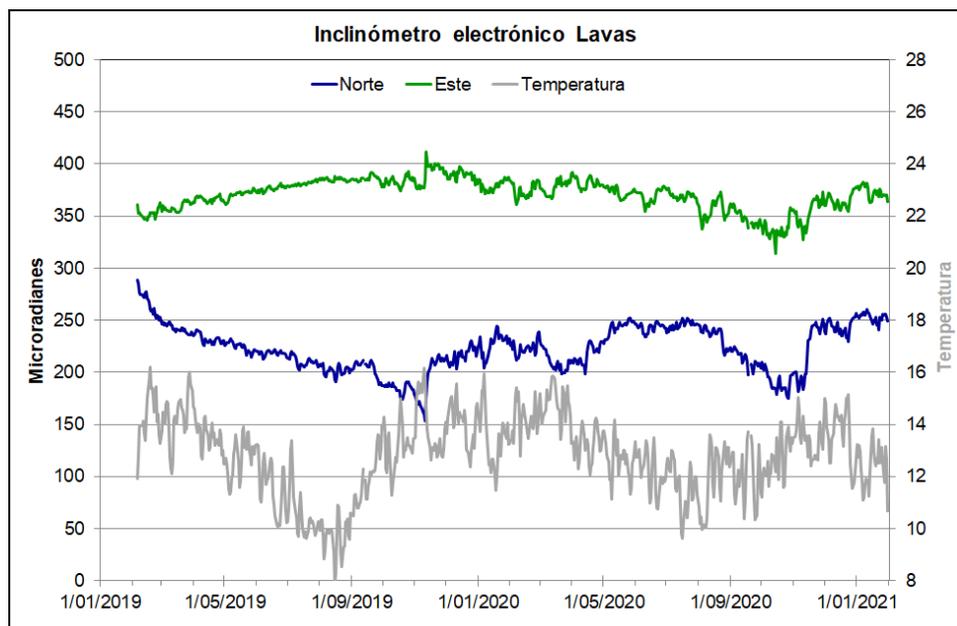


Figura 68. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y registro de temperatura del inclinómetro electrónico Lavas, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 7 de febrero de 2019 y el 31 de enero de 2021

4.1.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

La estación GNSS Pradera fue saqueada el 30 de noviembre de 2017 y hurtados algunos de sus equipos, hasta el momento no se ha recuperado esta estación.

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Doña Juana, dos estaciones GNSS Permanentes, La Palma y Lavas.

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. En general, en la red de GNSS de Doña Juana, se observa un comportamiento estable en el desplazamiento de las direcciones Norte, Este y Altura. En la Figura 69, se indica, el comportamiento de las estaciones GNSS Lavas y GNSS La Palma. En las dos estaciones se observan tendencias similares en sus comportamientos. La componente Norte y Vertical son estables. La componente Este muestra una tendencia descendente con una variación desde enero de 2019 hasta el 16 de enero de 2021 de unos 8 mm.

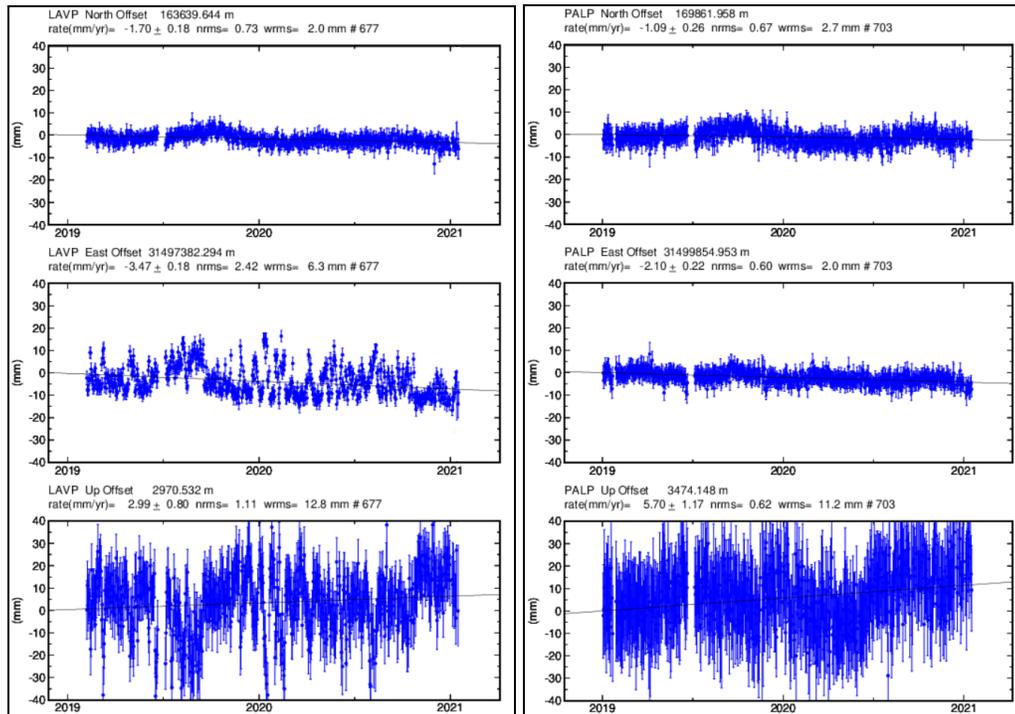


Figura 69. Variaciones en las direcciones Norte, Este y altura de las estaciones GNSS Lavas y GNSS La Palma instalada sobre la superficie del volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, para el volcán Doña Juana se tienen instaladas dos estaciones GNSS Permanentes, en la Figura 70, se muestra su ubicación y en la Figura 71, se muestra las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

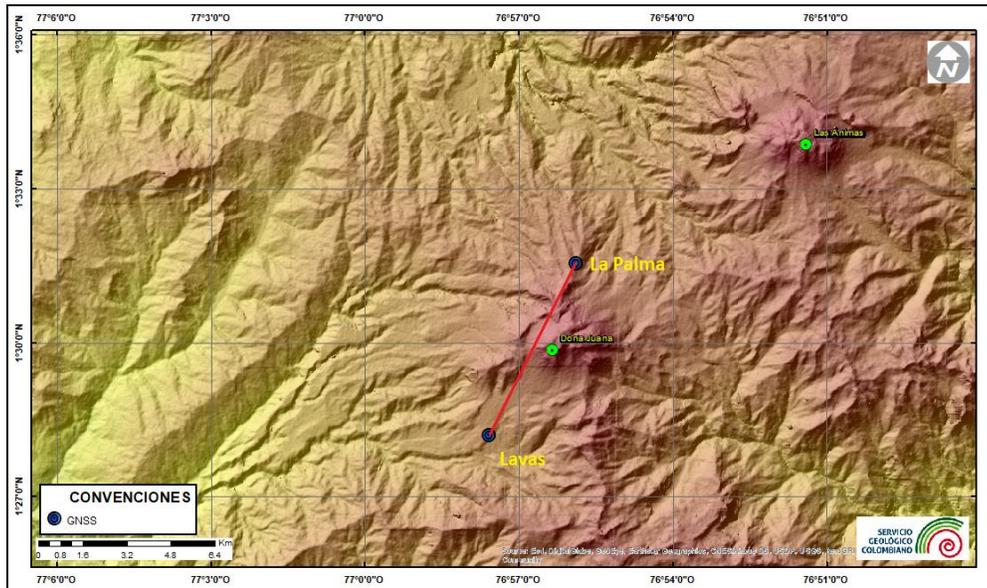


Figura 70. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Doña Juana, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. El trazo de color rojo indica las estaciones para las cuales se calculó línea base

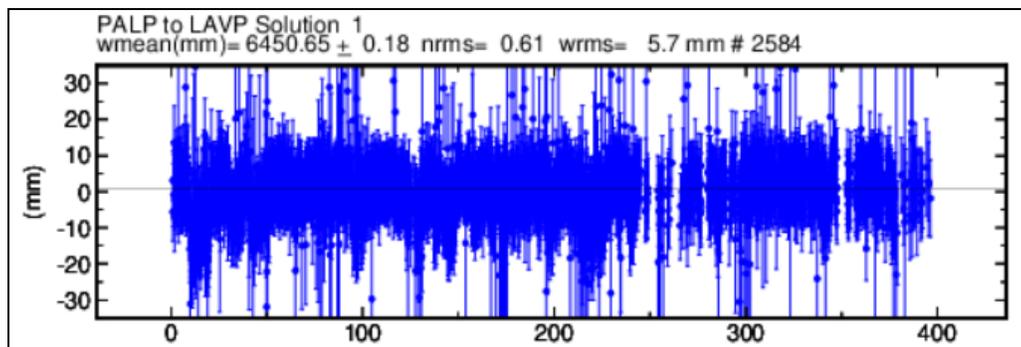


Figura 71. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, línea Base con soluciones cada 3 horas, la serie temporal está entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 31 de enero de 2021 (400). En la parte superior se etiqueta para las estaciones que fue determinada

4.1.4 Geoquímica

4.1.4.1 Muestreo de aguas en fuentes termales – Volcanes Las Ánimas y Doña Juana

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

4.1.5 Actividad Superficial

Durante el mes de enero de 2021 no se tuvo reportes relacionados con actividad superficial de los volcanes Las Ánimas y Doña Juana.

4.1.6 Conclusiones

- En enero 2021 se registró incremento en la ocurrencia y energía de la sismicidad, en relación con diciembre 2020. La sismicidad en su totalidad fue asociada con fractura de roca, con ML máxima de 3.0 Richter, registrada por un sismo que fue reportado como sentido.

La evaluación de la actividad de los volcanes Doña Juana y Las Ánimas durante enero 2021 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

4.2 Actividad del Volcán AzufraI

4.2.1 Red de Vigilancia

En la Figura 72 se muestra la disposición de las estaciones instaladas para el monitoreo de la actividad sísmica y de deformación cortical del volcán AzufraI, 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 24 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 medida de radiación solar. Como complemento a la red de vigilancia se instaló un sensor de Temperatura en una de las fumarolas del domo Mallama hacia el nororiente de la Laguna cratérica.

También se tienen sensores para medición de campo magnético y eléctrico, ubicados hacia el sector de la estación multiparamétrica Lobo.

Con el fin de monitorear cambios en la superficie del edificio volcánico de AzufraI se tiene instalada una red de Medición Electrónica de Distancia (EDM), compuesta por 4

bases y 12 prismas reflectores. Para el periodo evaluado se cuentan con cuatro estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Lobo, Laguna y Ventana (Figura 73).

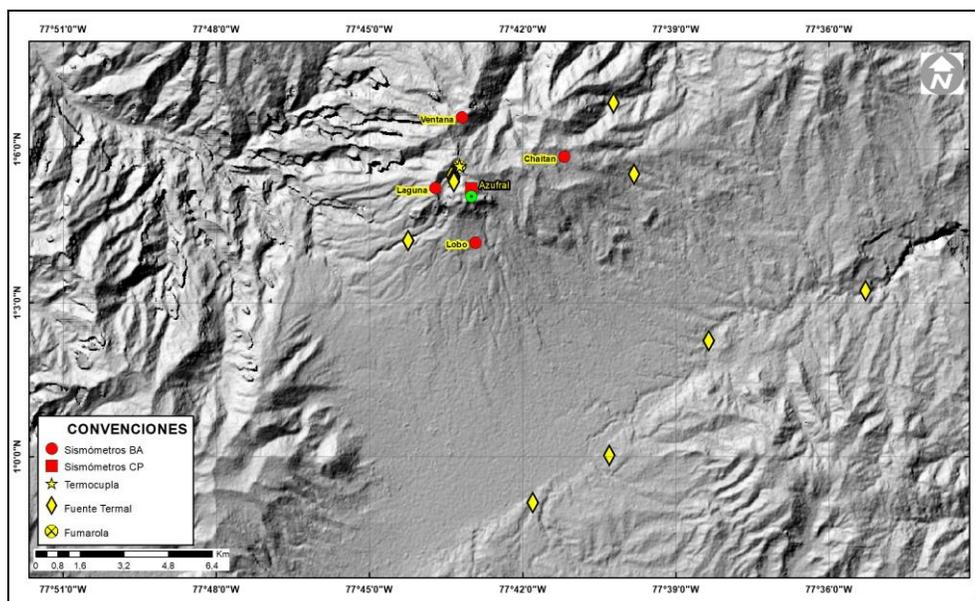


Figura 72. Localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico y geoquímico del volcán Azufraal durante el mes de enero de 2021

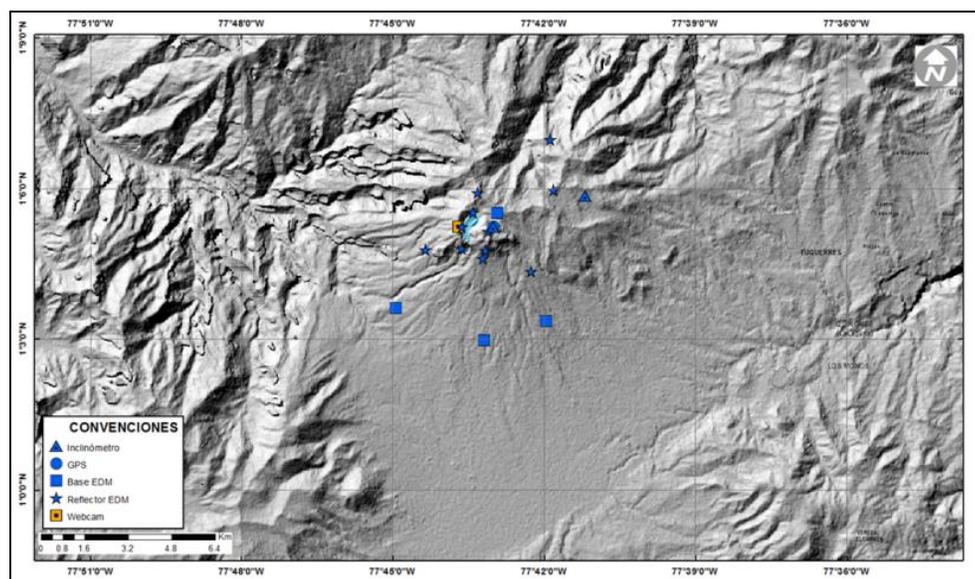


Figura 73. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo en deformación y cámara web del volcán Azufraal en el mes de enero de 2021

Tabla 24. Estaciones que conformaron la red de vigilancia del volcán AzufraI en el mes de enero de 2021

Estación	Transmisión de Datos	Tipo de Sensor	Componente	Dist. a la Laguna Verde (Km)	Ubicación respecto a la Laguna Verde	Altitud (msnm)
La Roca	Digital	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	Uniaxial	0.5	NW	3802
Lobo	Digital	Autopotencial	Biaxial	0,4	SE	3569
Lobo_EM	Digital	Magnetómetro	Biaxial	0,5	SE	3569
La Roca	Digital	GNSS	Triaxial	1.2	E	4025
Laguna	Digital	GNSS	Triaxial	0.5	SW	3921
Lobo	Digital	GNSS	Triaxial	2.4	SE	3569
Ventana	Digital	GNSS	Triaxial	2.5	NE	3981

En general, la red de monitoreo del volcán AzufraI alcanzó un porcentaje promedio de operación del 91 % para este mes (Figura 74).

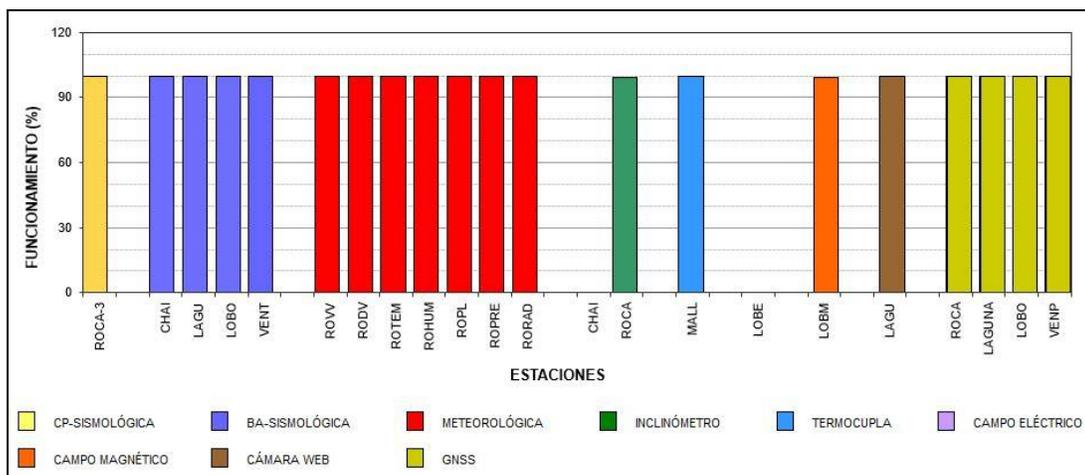


Figura 74. Histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azuftral durante enero de 2021

4.2.2 Sismología

Dentro de niveles bajos, en enero 2021 la sismicidad del volcán Azuftral, incrementó 2 veces su número, pasando de 15 a 30 eventos, 29 de ellos asociados con fractura de roca (VT) equivalente al 97% y uno de ellos asociado con tránsito de fluidos de fuente transitoria (LP), equivalente al 3% (Figura 75, Tabla 25). El pico de ocurrencia sísmica se registró el 30 de enero con 5 VT.

La energía sísmica disminuyó 30% su valor, pasando de 3.70×10^{11} ergios a 2.57×10^{11} ergios, correspondiendo casi en su totalidad a los eventos de tipo VT, la energía de los LP de 3.36×10^{08} ergios, queda inmersa en la energía de los VT (Tabla 26). El pico energético se registró el 13 de enero con 2.47×10^{11} ergios, debida a 2 VT. Se localizaron de manera dispersa, 13 sismos, la mayoría de baja energía, en distancias entre 0.3 y 11 km, con profundidades entre 2 y 14 km, con respecto a la cima (4200 msnm) y ML máxima de 2.9 Richter (Figura 76).

Tabla 25. Número de eventos volcánicos por tipo en Azuftral, diciembre 2020 y enero 2021

Periodo Evaluado	Número de eventos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2020	14	1	0	0	15
Enero 2021	29	1	0	0	30

Tabla 26. Energía de eventos volcánicos por tipo en Azufraal, diciembre 2020 y enero 2021

Periodo Evaluado	Energía de eventos volcánicos por tipo				
	VT	LPS	TRE	HIB	TOTAL
Diciembre 2020	3.69E+11	9.97E+08	0.00E+00	0.00E+00	3.70E+11
Enero 2021	2.57E+11	3.36E+08	0.00E+00	0.00E+00	2.57E+11

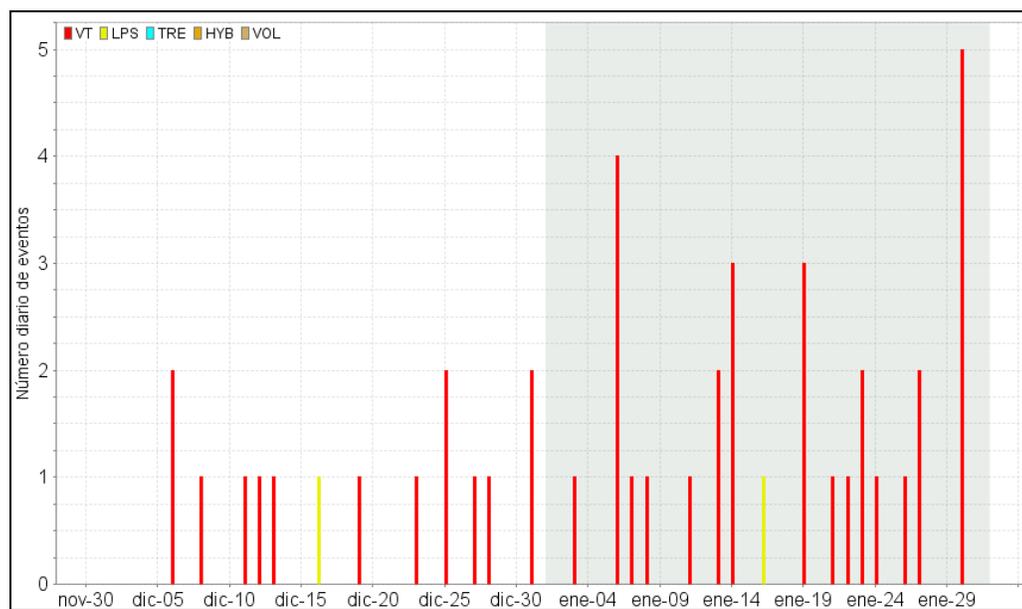


Figura 75. Ocurrencia diaria de sismos por tipo en Azufraal, diciembre 2020 y enero 2021. El recuadro resalta el periodo evaluado

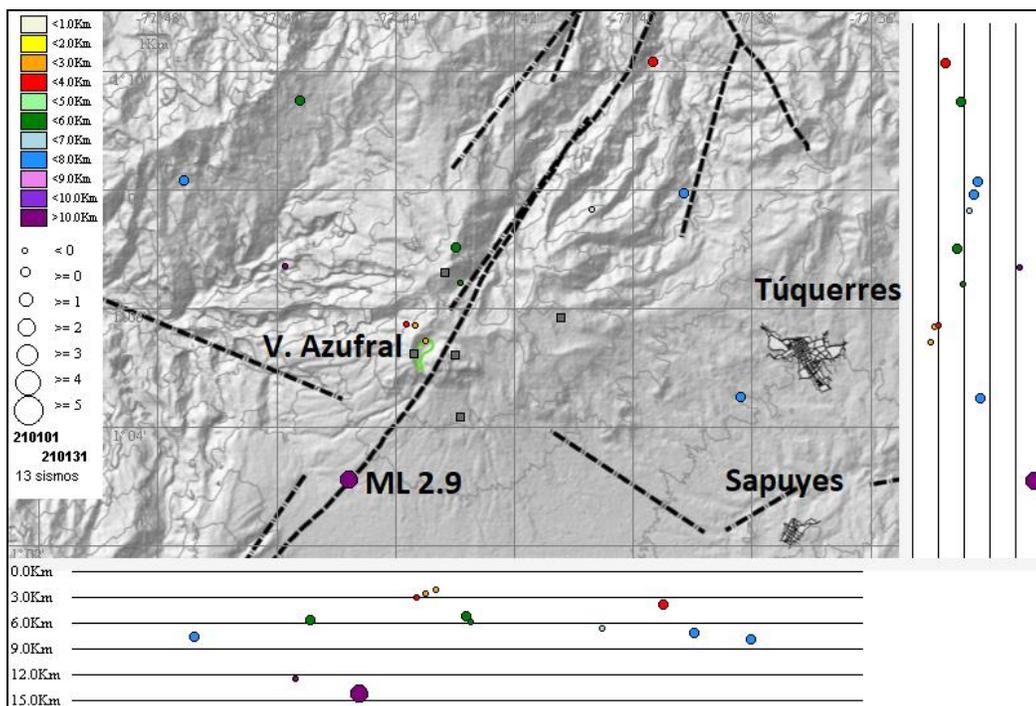


Figura 76. Localizaciones de sismos VT en AzufraI, enero 2021

Los sismos localizados son de baja energía, se destaca 1 VT con ML de 2.9 Richter, registrado el 13 de enero del 2021, a las 03:47 a.m., ubicado a 5 km al SW del domo Mallama, a una profundidad de 14 km con respecto a la cima (4200 msnm) y en la Tabla 27 se muestran sus características de localización. No se recibieron reportes de sismo sentido.

Tabla 27. Sismo con ML igual a 2.9, volcán AzufraI, enero 2021

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Prof. Km	ML
13/01/2021	03:47	1-03.13	77-44.80	14	2.9

4.2.3 Deformación

4.2.3.1 Inclínometría Electrónica

Las componentes Este y Norte del inclinómetro La Roca, muestran estabilidad desde el pasado mes de junio de 2020 (Figura 77). El inclinómetro Chaitán está por fuera desde el 3 de octubre de 2020.

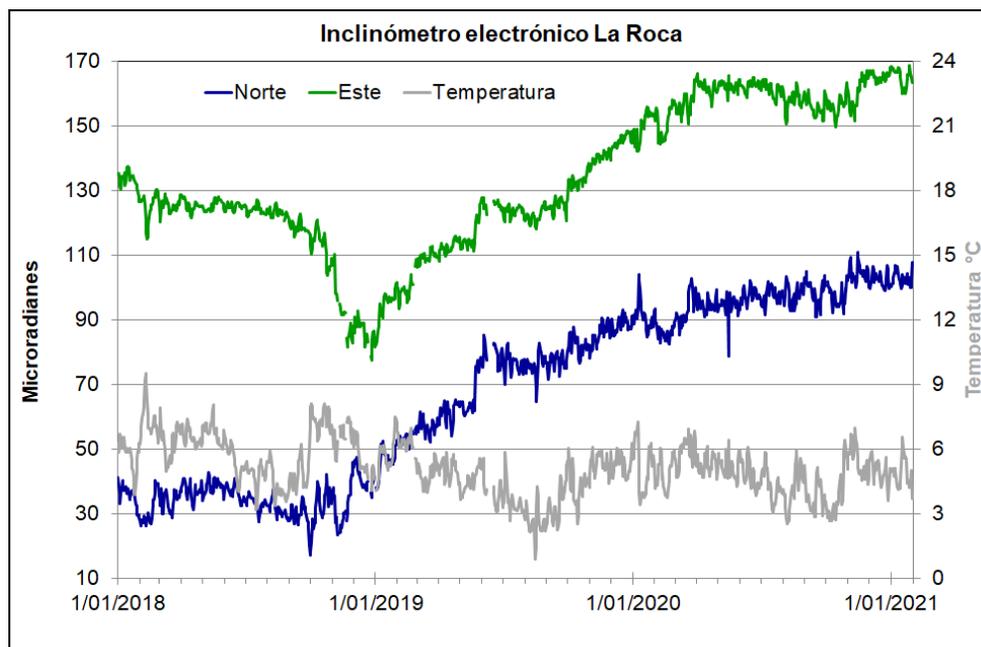


Figura 77. Componentes de inclinación Norte y Este (μrad) y temperatura del inclinómetro electrónico La Roca, instalado en el volcán Azufraal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2018 y el 31 de enero de 2021

4.2.3.2 Estaciones GNSS Permanentes

Para el periodo evaluado se tienen sobre la superficie del Volcán Azufraal, cuatro estaciones GNSS Permanentes, La Roca, Laguna, Lobo y Ventana.

Para el análisis se contempló el procesamiento Baseline, mediante el software GAMIT/GLOBK 10.71. Utilizando efemérides finales, parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo. En la Figura 78, se muestra el comportamiento de las direcciones Norte, Este y Altura del GNSS Laguna, se resalta la ligera tendencia ascendente que se presenta en las tres direcciones, acumulando desde 2019 hasta la fecha: en la Norte 5 mm, en la Este de 6 mm y en altura cerca de 4 mm. Las estaciones Lobo, Ventana y Roca mantienen tendencias estables, en la Figura 79 se muestran las series temporales de la estación Lobo.

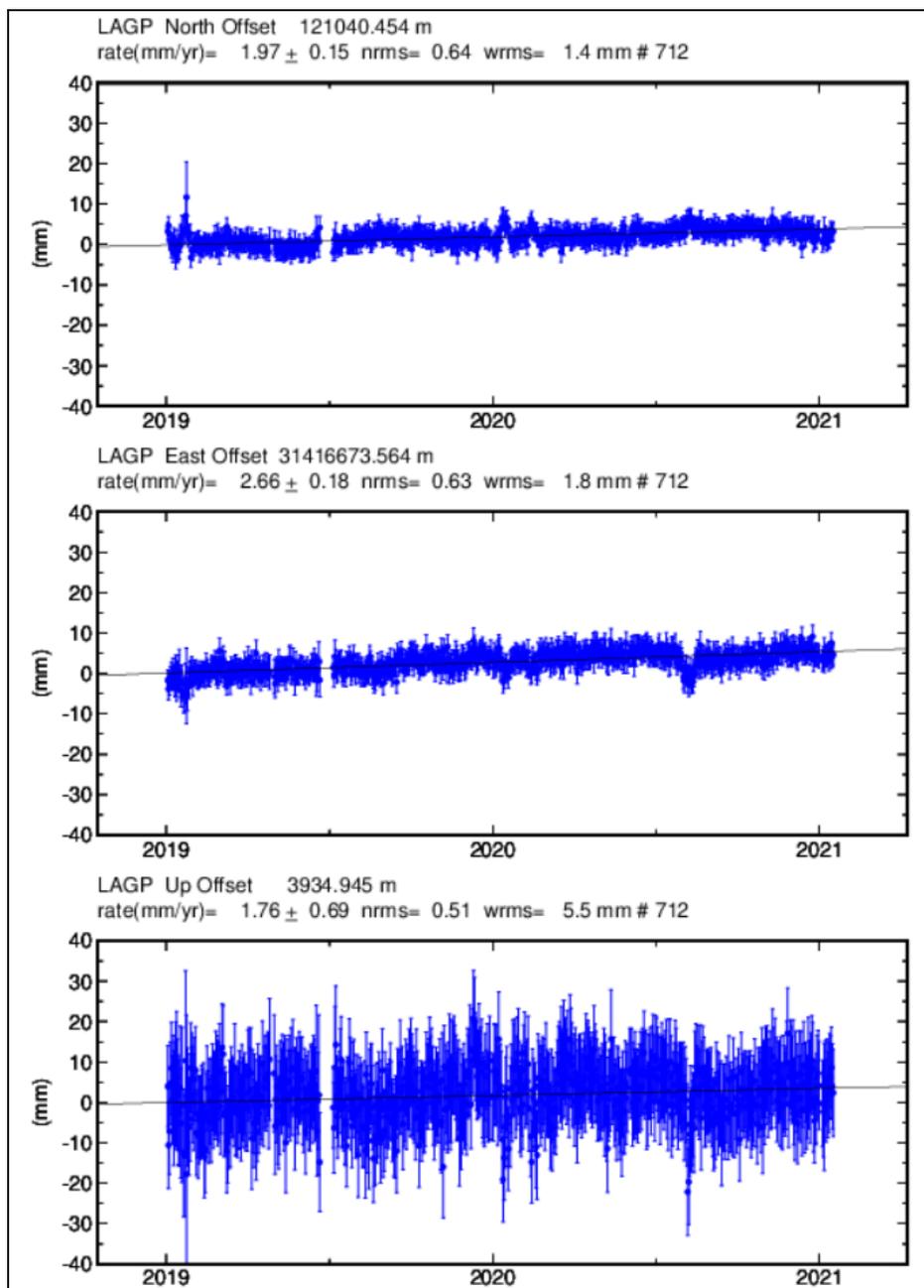


Figura 78. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Laguna instalada en Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK

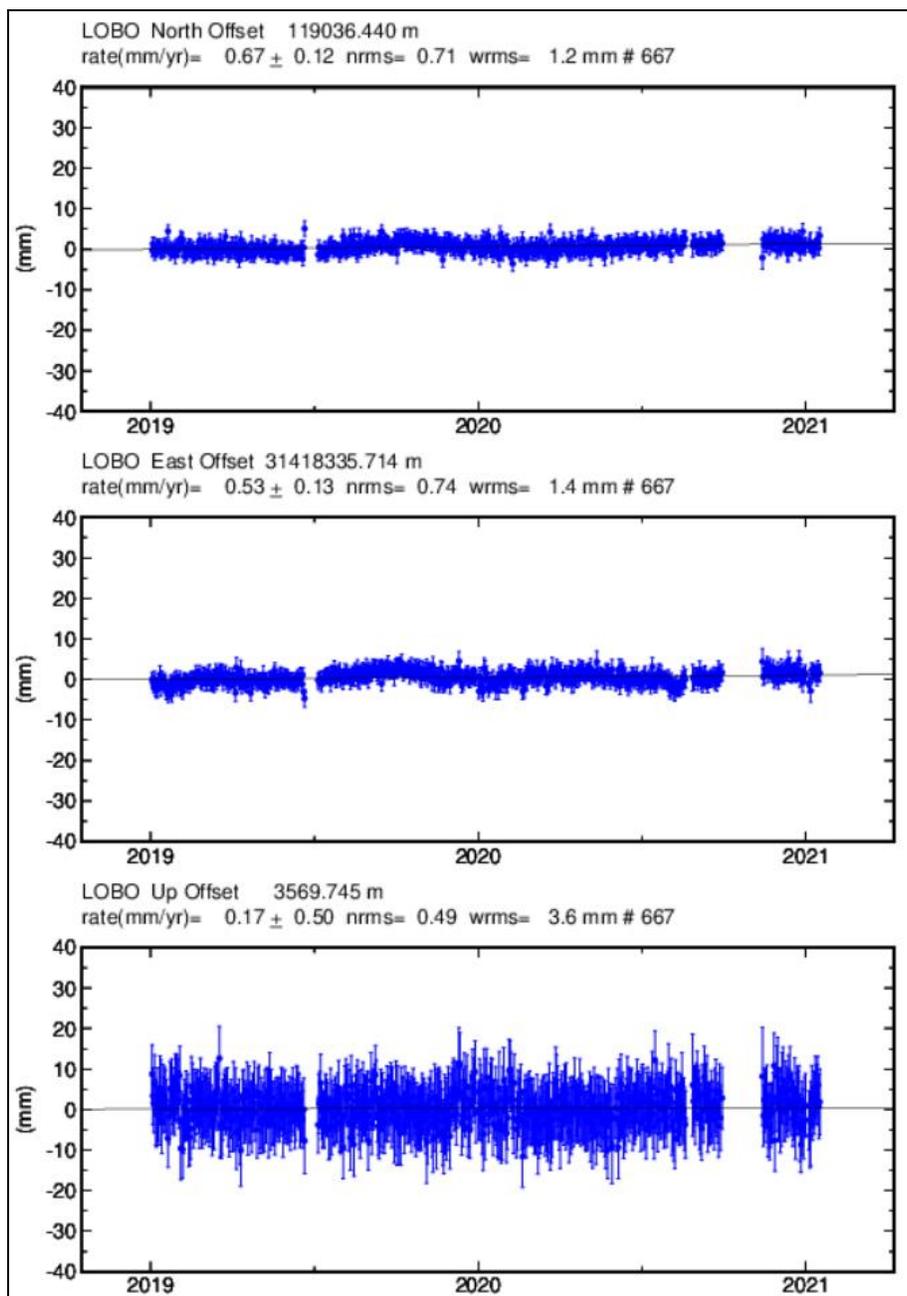


Figura 79. Variaciones en las direcciones Norte, Este y Altura de la estación GNSS Permanente Lobo instalada en Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2019 y el 16 de enero de 2021, procesados con el software GAMIT/GLOBK

Líneas Base

Realizando un procesamiento diferencial con una solución cada tres horas, es decir un procesamiento cuasi- real, podemos obtener líneas base entre estaciones GNSS, series temporales que nos indican la variación en distancia entre una y otra estación, medida cada tres horas, es posible realizar el arreglo entre estaciones como mejor convenga, en la Figura 80, se muestra la ubicación de las estaciones GNSS y las estaciones propuestas para la solución, y en la Figura 81, se muestran las variaciones en distancia con las soluciones cada tres horas usando orbitas rápidas.

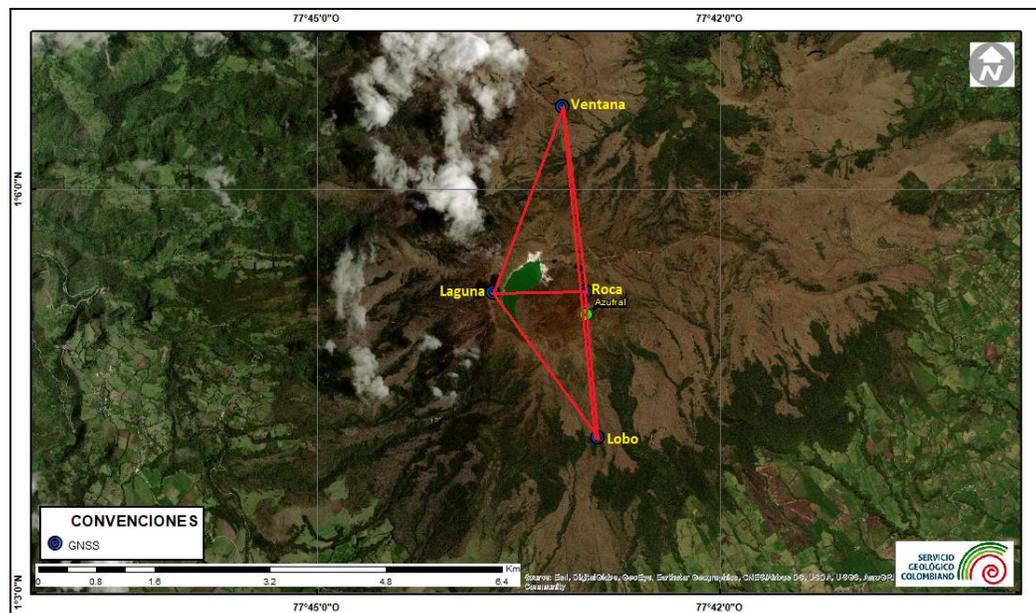


Figura 80. Ubicación de las estaciones GNSS instaladas sobre la superficie de Azufraal, dispuestas para el seguimiento de los cambios en la corteza volcánica. Los trazos de color rojo indican las estaciones para las cuales se calculó líneas base

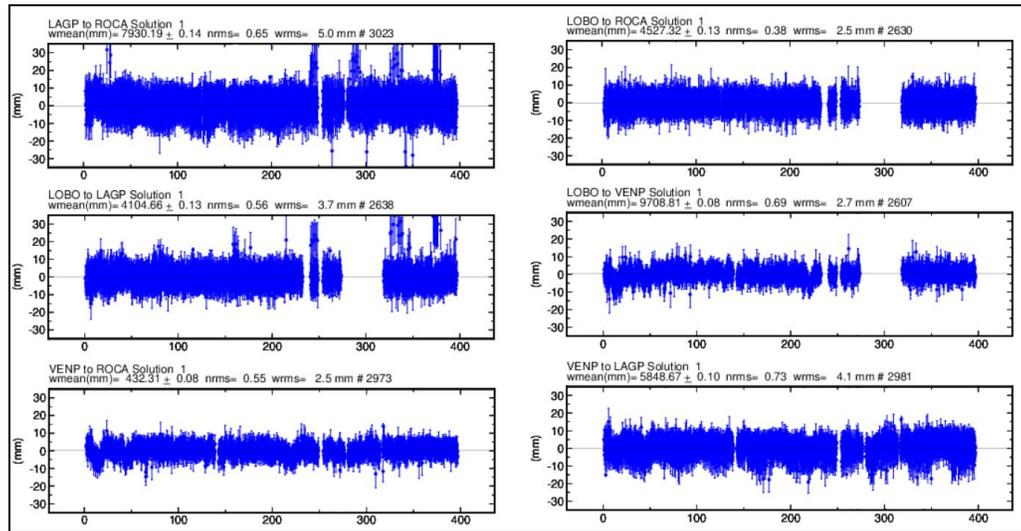


Figura 81. Variaciones en distancia entre estaciones GNSS, líneas Base con soluciones cada 3 horas, las series temporales están entre el 1 de enero de 2020 (1) y el 31 de enero de 2021 (400). En la parte superior de cada serie, se etiquetan para las estaciones que fue determinada

4.2.3.3 Medición Electrónica de Distancias – EDM

En el periodo evaluado no se realizó ocupación de las bases de medición.

4.2.4 Electromagnetismo

En el periodo evaluado no se realizó ocupación de las bases de medición.

4.2.5 Geoquímica

4.2.5.1 Muestreo de aguas en fuentes termales- volcán Azufraal

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

4.2.5.2 Muestreo de gases de origen volcánico- volcán Azufraal

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

4.2.5.3 Estación térmica Mallama volcán Azufraal

Para el mes de enero no se llevó a cabo ninguna actividad al respecto.

4.2.5.4 Estación Climatológica La Roca

De la estación climatológica La Roca ubicada en el volcán AzufraI se obtienen datos de las variables: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, presión atmosférica y radiación solar.

En la Figura 82, se evidencia la gráfica temporal de las variables estudiadas y los valores numéricos en la Tabla 28, para el periodo evaluado se observan cambios en la dirección del viento para algunos días del mes de enero, los cuales no tienen relación con la actividad del volcán AzufraI. Los otros parámetros presentan variaciones características de su respectivo comportamiento.

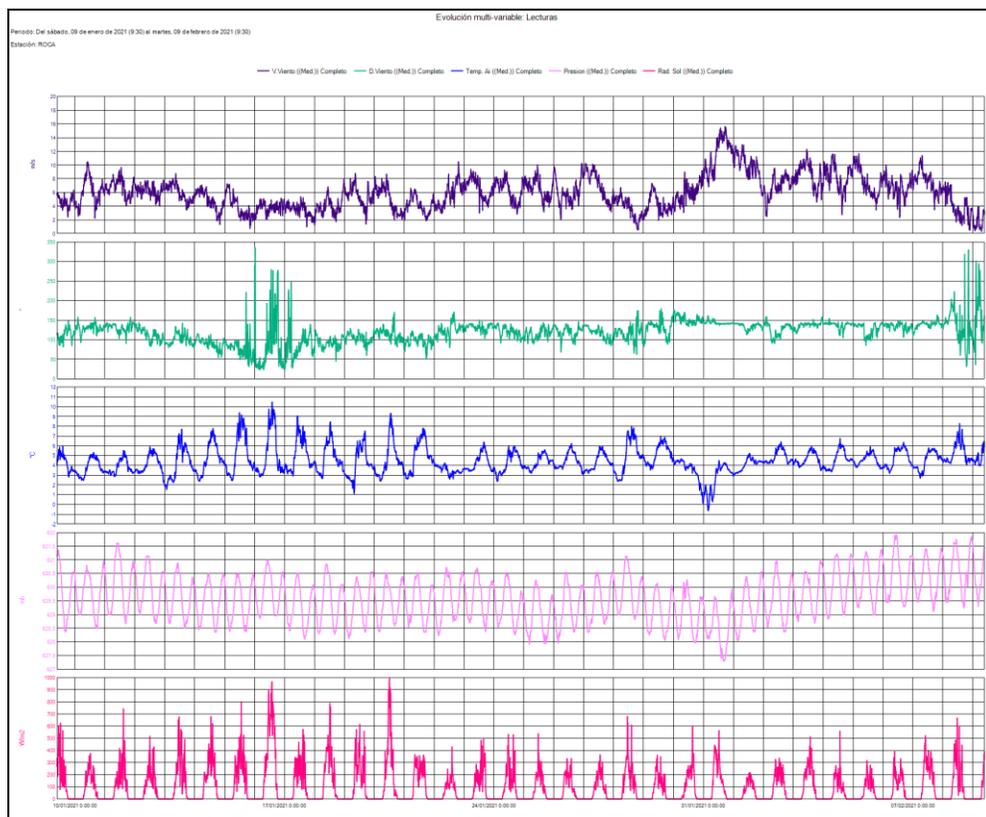


Figura 82. Variaciones parámetros estación climatológica La Roca Volcán AzufraI – Enero 2021

Tabla 28. Datos parámetros estación climatológica La Roca - enero 2021

	V.Viento (Med.) (m/s)	D.Viento (Med.) (°)	Temp. Ai (Med.) (°C)	Presion (Med.) (mb)	Rad. Sol (Med.) (W/m2)	Lluvia (Acu.) (mm)
Med.	4,6	155,1	4,5	630,0	86,1	0,0
Máx.	13,9	343,7	9,8	633,3	933,5	0,1
Mín.	0,3	28,3	1,4	626,9	0,1	0,0
Acu.	--	--	--	--	--	0,4

4.2.6 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 los días 4, 5, 7, 8, 10, 17, 29 y 31 de enero de 2021.

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 Azufraal.

En las Figuras 83 a 86 se ilustra imágenes relacionadas con procesos de emision de gases en el volcán Azufraal.

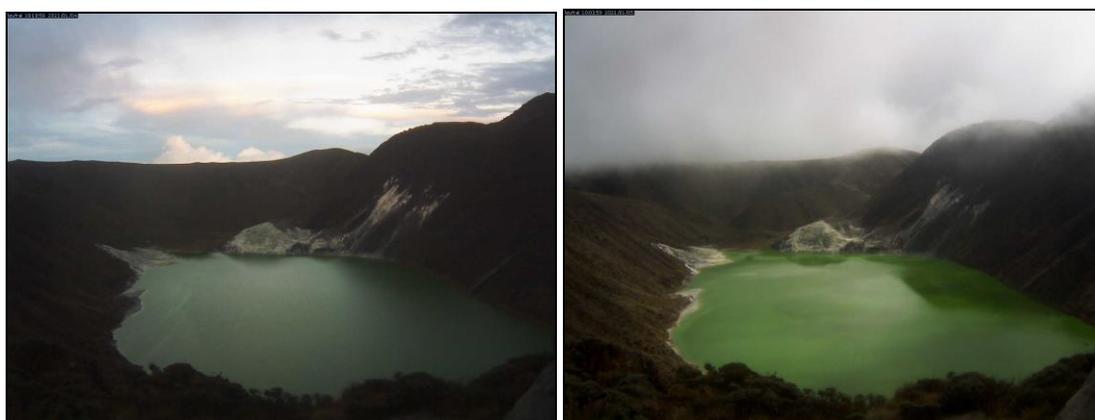


Figura 83. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán Azufraal registrada el 4 de enero de 2021 a las 6:18 p.m., (izquierda) y el 5 de enero de 2021 a las 10:03 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

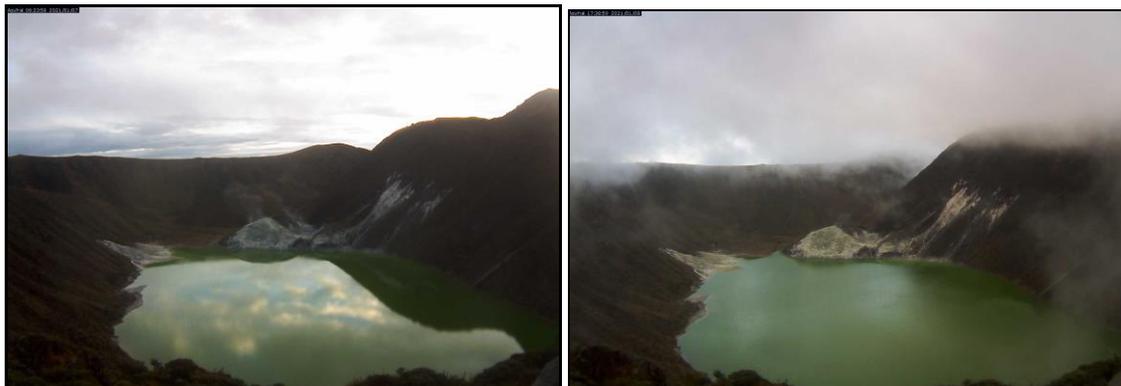


Figura 84. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 7 de enero de 2021 a las 6:33 a.m., (izquierda) y el 8 de enero de 2021 a las 5:38 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

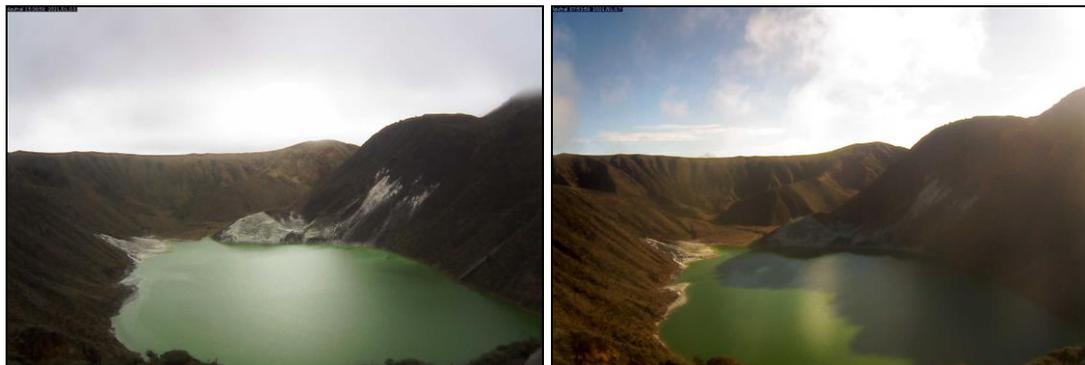


Figura 85. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 10 de enero de 2021 a las 3:38 p.m., (izquierda) y el 17 de enero de 2021 a las 7:53 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán



Figura 86. Imágenes de emisión de gases del domo Mallama - volcán AzufraI registrada el 29 de enero de 2021 a las 3:28 p.m., (izquierda) y el 31 de enero de 2021 a las 8:48 a.m., (derecha), capturada desde la cámara WEB ubicada al suroccidente del volcán

4.2.7 Conclusiones

- Dentro de niveles bajos, en enero 2021 la sismicidad en la zona de influencia del volcán Azufral incrementó su ocurrencia y disminuyó su energía, casi en su totalidad estuvo asociada con fractura de material cortical (VT), con ML máxima de 2.9 en la escala de Richter, sin reportes de sismo sentido.
- Se registra estabilidad en las variables con excepción de la dirección del viento, sin estar relacionado con la actividad del volcán Azufral.

La evaluación de la actividad volcánica de Azufral en enero 2021 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Servicio Geológico Colombiano – SGC (2020). 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 SGC-OVSP. Meses de diciembre del 2020 y enero del 2021. Varios autores. Informes inéditos. Pasto.

Información complementaria puede ser consultada en la página web del Servicio Geológico Colombiano en:

<https://www.sgc.gov.co/Publicaciones/Paginas/informes-tecnicos.aspx>