

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

SGC

Boletín Anual

ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES DEL NORTE DE COLOMBIA

Proyecto: Investigación, Evaluación y Diagnóstico de Dinámicas Geológicas

2025



BOLETÍN ANUAL DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES DEL NORTE DE COLOMBIA

Enero – diciembre de 2024

Servicio Geológico Colombiano

SGC

Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales

SGC-OVSMA

2025



Dirección de
Geoamenazas

Servicio Geológico Colombiano

Julio Fierro Morales

Director general

Nathalia María Contreras Vásquez

Directora técnica Geoamenazas

Lina Marcela Castaño

Coordinadora Grupo de trabajo Evaluación y Monitoreo de la Actividad Volcánica - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales - OVSMA

Autores

Grupo de monitoreo OVSMA

Lina Marcela Castaño López

Lina Constanza García Cano

Alejandro Cardona Paz

Álvaro Esteban Acevedo

Alejandro Montes Osorio

Beatriz Elena Galvis

Claudia Patricia Álvarez

Juan Andrés Chavarro

Julián Ceballos

Julián Ramírez

Laura Barrantes

Laura Daniela Vélez

Luis Miguel Cardona

Manuela Mejía Castaño

María Alejandra Vélez Hurtado

Marisol Galvis Vargas

Milton Ordoñez

Nancy Trujillo

Sebastián Duque Fernández

Wilford Loaiza Escobar

Zayda Cáceres Tibaduiza

Zoraida Chacón

Grupo de trabajo: Grupo de trabajo Evaluación y Monitoreo de la Actividad Volcánica – Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales

Proyecto: Evaluación y monitoreo de la actividad volcánica

Contenido

Resumen	10
Abstract	12
Introducción	14
1. Generalidades de los volcanes del norte colombiano	15
2. Actividad de los volcanes del norte de Colombia en el 2024	18
2.1. Complejo Volcánico Nevado del Ruiz	18
2.1.1. Generalidades	19
2.1.2. Red de vigilancia	20
2.1.3. Actividad volcánica	22
2.1.4. Análisis y conclusiones	36
2.2. Volcán Cerro Machín	37
2.2.1. Generalidades	37
2.2.2. Red de vigilancia	39
2.2.3. Actividad volcánica	40
2.2.4. Análisis y discusión	45
2.3. Volcán Nevado de Santa Isabel	46
2.3.1. Generalidades	46
2.3.2. Red de vigilancia	47
2.3.3. Actividad volcánica	48
2.3.4. Análisis y discusión	51
2.4. Complejo volcánico Cerro Bravo	51
2.4.1. Generalidades	51
2.4.2. Red de vigilancia	52
2.4.3. Actividad volcánica	53
2.4.4. Análisis y discusión	55
2.5. Complejo de Domos Cisne - Morro Negro	55
2.5.1. Generalidades	55
2.5.2. Red de vigilancia	56
2.5.3. Actividad volcánica	57
2.5.4. Análisis y discusión	59
2.6. Complejo volcánico Cerro España	59
2.6.1. Generalidades	59
2.6.2. Red de vigilancia	60
2.6.3. Actividad volcánica	60
2.6.4. Análisis y discusión	61
2.7. Volcán Paramillo de Santa Rosa	61
2.7.1. Generalidades	61
2.7.2. Red de vigilancia	62
2.7.3. Actividad volcánica	63
2.7.4. Análisis y discusión	64
2.8. Volcán Paramillo del Quindío	64
2.8.1. Generalidades	64
2.8.2. Red de vigilancia	65

2.8.3. Actividad volcánica	66
2.8.4. Análisis y discusión	66
2.9. Volcán Nevado del Tolima	66
2.9.1. 3.9.1 Generalidades	66
2.9.2. Red de vigilancia	68
2.9.3. Actividad volcánica	69
2.9.4. Análisis y discusión	69
2.10. Volcán Romeral	69
2.10.1. Red de vigilancia	70
2.10.2. Actividad volcánica	71
2.10.3. Análisis y discusión	71
2.11. Volcanes del campo volcánico del Nororiente de Caldas	71
2.11.1. Volcán San Diego	71
2.11.2. Volcán El Escondido	72
2.11.3. Volcán Guadalupe	73
2.11.4. Red de vigilancia	74
2.11.5. Actividad volcánica	75
2.11.6. Análisis y discusión	75
REFERENCIAS	76

Índice de figuras

Figura 1. Esquema geológico estructural de los volcanes monitoreados en la zona norte de Colombia por el SGC-OVSMA. Tomado y modificado de Ceballos et., al. 2020.	16
Figura 2. Vista del CVNR desde el espacio en abril del 2010 (<i>Image Science and Analysis Laboratory, NASA – Johnson Space Center: The Gateway to Astronaut Photography of Earth</i>). Tomado y modificado de Ceballos et al. (2020).	18
Figura 3. Fotografía Volcán Nevado del Ruiz. Tomada por Luis Gerónimo Valencia en sobrevuelo de enero de 2020.	19
Figura 4. Red de vigilancia del volcán Nevado del Ruiz. La numeración desde 1 hasta 19 indica las estaciones multiparámetro (compuestas por dos o más sensores) relacionadas en la Tabla 2. Las estaciones multiparámetro sin numeración corresponden a las estaciones instaladas en volcanes vecinos que también son utilizadas en el monitoreo indirecto del VNR.	21
Figura 5. Series de tiempo de la actividad sísmica registrada en el VNR durante el 2024. A) Número diario de sismos VT, la ocurrencia de sismicidad <i>drumbeat</i> de este tipo se indica en la parte superior de la gráfica. B) Energía sísmica diaria de sismos VT. C) Número diario de sismos de LP/VLP, TR e HB, el registro de sismos tipo tornillo y emisiones de ceniza se indican en la parte superior de la gráfica. D) Dr promedio sismos de largo y muy largo período (LP y VLP). E) Dr promedio de los pulsos de tremor y tremor volcánico continuo (TR y TC). F) RSAM estación Bis, componente vertical, en la parte superior de la gráfica se indican las fechas de ocurrencia del tremor tipo <i>bursts</i> , espasmódico y armónico.	24
Figura 6. Mapa de localización de los sismos asociados a fracturamiento de roca (VT) (círculos de colores) registrados en el volcán Nevado del Ruiz, durante el 2024. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos definen su magnitud.	25
Figura 7. Mapa de localización de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos (círculos de colores) registrados en el volcán Nevado del Ruiz, durante el 2024. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa el tipo de evento registrado y el tamaño de los círculos definen su desplazamiento reducido, DR.	26
Figura 8. Componente vertical de las estaciones GNSS Gualí (A), Nereidas (B) y Olleta (C) de la red de deformación del VNR. Desplazamiento LOS (D) y longitud línea base GNSS Recio-Inderena (E).	27
Figura 9. Series de tiempo de datos de procesos de desgasificación de SO ₂ y de emisión de gases y ceniza del VNR en el 2024. A) Flujo diario máximo de SO ₂ y masa de SO ₂ . B) Estimación altura columna de gases a partir de la triangulación de estaciones DOAS. C) Estimación altura columna de gases mediante apreciaciones visuales. D) Número diario de emisiones de ceniza confirmadas.	28
Figura 10. Diagramas de dispersión y velocidad de los vientos estación meteorológica Olleta y Anemómetro Gualí durante el período comprendido entre enero a diciembre de 2024. A) Dispersión entre enero y junio. B) Dispersión entre julio y diciembre.	29
Figura 11. Fotografías de la columna de gases y ceniza en el cráter Arenas capturadas durante el año por las cámaras instaladas en los sectores cañón de río Azufrado, Gualí, y sede SGC Manizales.	30
Figura 12. Imágenes termográficas de la columna de gases y ceniza obtenidas mediante la cámara FLIR instalada, a aproximadamente 4 km al nororiente del cráter Arenas, en el sector del cañón del río Azufrado.	31
Figura 13. Series de tiempo de datos de algunos parámetros geofísicos de carácter superficial monitoreados en el VNR durante el 2024: A) Temperatura aparente del material emitido durante emisiones de gases y ceniza. B) Anomalías térmicas reportadas en los diferentes portales web y C) Área estimada del domo de lava en el fondo del cráter Arenas y sismicidad tipo <i>drumbeat</i> registrada.	31
Figura 14. Evolución del domo de lava en el fondo del cráter Arenas durante 2024. Imágenes TerraSAR-X, la flecha de color amarillo señala el domo de lava.	32
Figura 15. Series de tiempo de datos de parámetros fisicoquímicos en fuentes termales sector noroccidente del 2023 a 2024.	32
Figura 16. Series de tiempo de datos de la composición química en fuentes termales sector noroccidente del 2023 a 2024.	33

Figura 17. Diagrama con la variación en el porcentaje volumétrico de componentes para muestras de las emisiones de ceniza del VNR durante el año 2024. Las distancias de los sitios de muestreo son referidas respecto al cráter Arenas.	34
Figura 18. Fragmentos potencialmente juveniles vistos a través del Estereoscopio. A) Vidrio negro bajo en vesículas. B) Vidrio traslucido a gris denso. C) Vidrio traslucido a pardo denso. D) Líticos frescos.	35
Figura 19. A. Vectores de velocidad (rojo) y vectores de mejor ajuste (azul) para una fuente esférica para el período 2019 – 2024. La fuente se representa por un cuadro de color amarillo ubicada justo debajo del CDNSI.	36
Figura 20. Fotografía Volcán Cerro Machín. Tomada por John Makario Londoño Bonilla.	38
Figura 21. Mapa de estaciones del volcán Cerro Machín.	39
Figura 22. Gráfica multiparámetro del VCM durante 2024: A) Número de sismos VT diarios registrados. B) Raíz de la energía sísmica liberada. C) Magnitud local (ML) de sismos VT localizados. D) Componente vertical de la estación GNSS Laguna de la red de deformación volcánica.	41
Figura 23. Mapa de localización de la sismicidad VT en el VCM durante el año 2024.	42
Figura 24. Series de tiempo de datos de parámetros fisicoquímicos en fuentes termales del VCM, período 2023 al 2024.	43
Figura 25. Series de tiempo de datos de la composición química de las fuentes termales del VCM, período 2023 al 2024.	43
Figura 26. Series de tiempo de la temperatura en las fuentes termales de Estatuas, durante el 2024.	44
Figura 27. Monitoreo de gases en campo fumarólico La Macha, VCM.	44
Figura 28. Campañas de medición de concentración y flujo de CO ₂ difuso en suelo realizadas en el sector Laguna, VCM.	45
Figura 29. Vista panorámica del flanco occidental del complejo de domos de Santa Isabel, sector central, cabecera del glaciar Conejeras. Tomada por Julián Andrés Ceballos.	46
Figura 30. Mapa estaciones instaladas en el volcán Nevado de Santa Isabel.	47
Figura 31. A y B). Número diario y raíz de la energía en Julios de sismos VT registrados en el CVNSI en 2025. C). Componente vertical de la estación GNSS Otún de la red de deformación del CVNSI, 2024.	48
Figura 32. Mapa de localización de los sismos VT registrados en el volcán Nevado de Santa Isabel, durante el 2024.	49
Figura 33. Series de tiempo que muestran la variación del flujo y de la concentración de CO ₂ en suelo, en el volcán Nevado de Santa Isabel, estación Otún, noviembre de 2023 a diciembre de 2024.	50
Figura 34. Monitoreo de gases en el campo fumarólico, La Azufre.	50
Figura 35. Complejo volcánico Cerro Bravo A). Vista del sector sur de la estructura volcánica B). Domo con estructura en espina al norte del complejo. C). Flanco oriental donde se observan las cuencas de las quebradas el Jordán, Los Micos. Tomado de Valencia <i>et al.</i> (2022).	52
Figura 36. Mapa de estaciones instaladas en el VCB.	53
Figura 37. Número diario (A) y raíz de la energía sísmica liberada en Julios (B) de sismos VT registrados en el VCB durante 2024. Componente vertical de la estación GNSS Cerro Bravo (C) de la red de deformación del VCB, 2024.	54
Figura 38. Mapa de localización de sismos VT en el VCB, 2024.	55
Figura 39. Vista panorámica del domo colada Paramillo del Cisne y el domo Morro Negro. Tomada por Julián Andrés Ceballos.	56
Figura 40. Mapa de estaciones cercanas al Complejo volcánico Cisne - Morro Negro.	57
Figura 41. Número diario (A) y raíz de la energía en Julios (B) de sismos VT registrados en el CVCM. Componente vertical de la estación GNSS Laguna Verde (C) de la red de deformación del CDCM, 2024.	58
Figura 42. Mapa de localización de sismicidad tipo VT registrada en los volcanes Paramillo del Cisne, Nevado de Santa Isabel, Paramillo de Santa Rosa, complejo volcánico Cerro España, Paramillo del Quindío y Nevado del Tolima, durante el 2024.	58
Figura 43. Vista del CVCE y los cerros de Alsacia y Arenero, localizados al sur del Complejo de Domo de Santa Isabel. Fuente de la imagen: Google Earth. Tomado de Monsalve-Bustamante (2020).	60
Figura 44. Número diario y raíz de la energía en Julios de los sismos VT registrados en el CVCE en el 2024.	61
Figura 45. Vista del sector noroccidental del CVPSR. Tomada por Ramiro Ramírez.	62
Figura 46. Mapa de estaciones de la red de monitoreo del volcán Paramillo de Santa Rosa.	63

Figura 47. Número diario (A) y raíz de la energía en Julios (B) de sismos VT registrados en el CVPSR durante el 2024. (C) Componente vertical de la estación GNSS Paramillo de la red de deformación del CVPSR.	64
Figura 48. Volcán Paramillo del Quindío. Tomada por Mauricio Tamayo.	65
Figura 49. Mapa estaciones en el volcán Paramillo del Quindío y sus alrededores.	65
Figura 50. Número diario (A) y raíz de la energía en Julios (B) de sismos VT registrados en el VPQ en el 2024.	66
Figura 51. Volcán compuesto de origen poligenético Nevado del Tolima. Tomada por Milton Iván Ordóñez Villota.	67
Figura 52. Estaciones de monitoreo instaladas en el volcán Nevado del Tolima.	68
Figura 53. Número diario (A) y raíz de la energía sísmica en Julios (B) de sismos VT registrados en el VNT en el 2024.	69
Figura 54. Vista panorámica del flanco oriental del volcán Romeral. La línea punteada de color amarillo indica el límite aproximado del borde del centro de emisión. Tomada por Julián Andrés Ceballos.	70
Figura 55. Mapa de estaciones volcán Romeral.	71
Figura 56. Vista de la estructura volcánica del Maar de San Diego desde el sector SW. En línea punteada de color amarillo el borde del anillo de tefra de la estructura nororiental, en rojo el borde del anillo de tefra de la estructura SW. Al interior el cono de toba El Morro y la laguna cratélica. Tomado de Monsalve <i>et al.</i> (2023).	72
Figura 57. Foto del volcán El Escondido desde la cima del cerro La Cruz. Fuente de la imagen: María Luisa Monsalve Bustamante. El borde del cráter está delimitado por la línea roja discontinua. Tomado y modificado de Monsalve <i>et al.</i> (2019).	73
Figura 58. Vista panorámica del Complejo de Doms de Guadalupe. Tomada por María Luisa Monsalve.	74
Figura 59. Mapa de estaciones de los volcanes del Campo Volcánico del nororiente de Caldas.	74

Índice de tablas

Tabla 1. Estructuras volcánicas monitoreadas en Colombia por el SGC	17
Tabla 2. Estaciones de monitoreo multiparámetro instaladas en el VNR y sus respectivos sensores.	21
Tabla 3. Estaciones de monitoreo multiparámetro instaladas en el volcán Cerro Machín	39
Tabla 4. Estaciones de monitoreo con cada uno de los sensores instalados en ella.	47
Tabla 5. Estaciones de monitoreo multiparámetro con cada uno de los sensores instalados en ella	53
Tabla 6. Estación multiparámetro de monitoreo instalada en el CVCE.	60
Tabla 7. Estaciones multiparámetro instaladas en el VPSR.	63
Tabla 8. Estación multiparámetro instalado en el VPQ.	66
Tabla 9. Estaciones de monitoreo con cada uno de los sensores instalados en ella.	68

Resumen

La actividad de las estructuras volcánicas monitoreadas en el Segmento Volcánico Norte de Colombia (SVNC) por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales durante el año 2024 se caracterizó por presentar cambios en los parámetros monitoreados de los volcanes Nevado del Ruiz (VNR), Nevado de Santa Isabel (VNSI) y Cerro Machín (VCM), cuyas variaciones fueron durante el 2025. Los demás volcanes activos monitoreados del SVNC presentaron un comportamiento estable.

El VNR mantuvo una actividad inestable reflejada principalmente en la sismicidad, la desgasificación de dióxido de azufre (SO₂), las emisiones de ceniza y las anomalías térmicas detectadas en el fondo del cráter Arenas. La sismicidad asociada a fracturamiento de roca (VT) mostró tasas variables, con incrementos destacados en enero y junio. El sismo más energético se registró el 3 de enero, con magnitud 3,9. La sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos presentó una disminución en la energía sísmica liberada, aunque se mantuvo el registro de señales de tipo largo período (LP), muy largo período (VLP), tremor (TR) y tremor continuo (TC). Se incrementaron notablemente los eventos tipo *drumbeat*, asociados con la actividad del domo de lava en el cráter Arenas.

La deformación del VNR presentó un comportamiento inflacionario lento y sostenido hasta mediados de diciembre, cuando comenzó una ligera deflación. Se estimó una tasa de deformación vertical de 2,6 mm/año. La desgasificación de SO₂ fue persistente, aunque con tendencia general a la disminución. Las tasas de emisión presentaron valores destacados en julio y noviembre, superando las 7500 t/d en algunos días. La altura de la columna de gases alcanzó un máximo de 2300 m el 30 de agosto. Las anomalías térmicas aumentaron, especialmente durante los primeros meses del año, alcanzando niveles de energía que no se registraban desde 2019.

Las emisiones de ceniza del VNR continuaron ocurriendo de forma tanto pulsátil como continua. No se evidenciaron cambios significativos en el domo de lava ni en los parámetros de las fuentes termales. El análisis de ceniza reveló una composición dominada por cristales, vidrios y líticos, con una participación reducida de líticos alterados, lo que sugiere un bajo aporte de las paredes del conducto. La sismicidad glacial aumentó respecto al año anterior.

En el VCM se registró un aumento en la energía sísmica liberada asociada a la sismicidad VT y valores similares en el número total de eventos respecto al año 2023. Los eventos se localizaron principalmente en el flanco occidental del domo principal, a profundidades entre 2 km y 6 km. También se observaron manifestaciones superficiales relacionadas con la emisión de gases y cambios en parámetros geoquímicos como el flujo de CO₂ en el suelo, donde se identificaron concentraciones y flujos significativamente elevados que evidencian zonas activas de emisión. Las estaciones GNSS no detectaron deformaciones significativas en el volcán.

En el VNSI se mantuvo una baja actividad sísmica asociada a fracturamiento de roca, con disminución en el número de eventos y energía liberada respecto al año anterior. La sismicidad se localizó de forma dispersa y a profundidades entre 1 km y 7 km. Se mantuvo el registro de emisiones de CO₂ en la zona de La Azufrera, con tasas variables dentro de rangos estables. El VNSI presentó un comportamiento inflacionario lento y sostenido hasta mediados de diciembre, cuando comenzó una ligera deflación. Se estimó una tasa de deformación vertical de 3 mm/año. No se observaron cambios relevantes en los parámetros geoquímicos. La sismicidad glacial disminuyó respecto al año anterior.

Los volcanes Cerro Bravo, Paramillo del Cisne, Paramillo del Quindío, Cerro España, Paramillo de Santa Rosa, Nevado del Tolima, San Diego, Romeral, El Escondido y Guadalupe presentaron niveles bajos de actividad con relación al 2023. La actividad sísmica se caracterizó por ser de baja energía (magnitudes menores de 1,0) y se localizó principalmente en las inmediaciones de cada volcán, a profundidades entre 1 km y 10 km.

Con base en la evaluación integral de los parámetros monitoreados, se estableció que los volcanes Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel y Cerro Machín permanecieron en “ALERTA AMARILLA”: volcanes con cambios en el comportamiento del nivel base de los parámetros monitoreados y otras manifestaciones. Los demás volcanes del SVNC se mantuvieron en “ALERTA VERDE”: volcanes activos en reposo.

Abstract

The activity of the volcanic structures monitored in the Northern Volcanic Segment of Colombia (NVSC) by the Manizales Volcanological and Seismological Observatory during 2024 was characterized by variations in the monitored parameters of the Nevado del Ruiz (NRV), Nevado de Santa Isabel (NSIV), and Cerro Machín (MCV) volcanoes, whose changes extended into 2025. The other active volcanoes monitored within the NVSC exhibited stable behavior.

The NRV maintained unstable activity, mainly reflected in its seismicity, sulfur dioxide (SO₂) degassing, ash emissions, and thermal anomalies detected at the bottom of the Arenas crater. Seismicity associated with rock fracturing (VT) showed variable rates, with marked increases in January and June. The most energetic earthquake was recorded on January 3, with a magnitude of 3.9. Seismicity related to fluid dynamics showed a decrease in released seismic energy, although long-period (LP), very-long-period (VLP), tremor (TR), and continuous tremor (CT) signals continued to be recorded. Drumbeat-type events increased significantly, associated with activity of the lava dome within the Arenas crater.

Deformation at the NRV exhibited a slow and sustained inflationary trend until mid-December, when a slight deflation began. A vertical deformation rate of 2.6 mm/year was estimated. SO₂ degassing remained persistent, though with a general decreasing trend. Emission rates showed notable peaks in July and November, exceeding 7,500 t/d on some days. The gas plume reached a maximum height of 2,300 m on August 30. Thermal anomalies increased, especially during the first months of the year, reaching energy levels not recorded since 2019.

Ash emissions from the NRV continued to occur both pulsatingly and continuously. No significant changes were observed in the lava dome or in the parameters of the hot springs. Ash analysis revealed a composition dominated by crystals, glass, and lithic fragments, with a low proportion of altered lithics, suggesting limited contribution from the conduit walls. Glacier-related seismicity increased compared to the previous year.

At the MCV, an increase in released seismic energy associated with VT-type events was recorded, while the total number of events remained like that of 2023. Events were mainly located on the western flank of the main dome, at depths between 2 km and 6 km. Surface manifestations related to gas emissions and changes in geochemical parameters, such as soil CO₂ flux, were also observed, showing significantly elevated concentrations and fluxes that indicate active degassing zones. GNSS stations did not detect significant deformation at the volcano.

At the NSIV, low seismic activity associated with rock fracturing persisted, with decreases in both the number of events and the released energy compared to the previous year. Seismicity was scattered and located at depths between 1 km and 7 km. CO₂ emissions continued to be recorded in the La Azufrera area, with variable rates within stable ranges. The NSIV showed a slow and sustained inflationary trend until middle of December, when a slight deflation began. A vertical deformation rate of 3 mm/year was estimated. No significant changes were observed in geochemical parameters. Glacier-related seismicity decreased compared to the previous year.

The Cerro Bravo, Paramillo del Cisne, Paramillo del Quindío, Cerro España, Paramillo de Santa Rosa, Nevado del Tolima, San Diego, Romeral, El Escondido, and Guadalupe volcanoes exhibited low levels of activity compared to 2023. Seismic activity was characterized by low energy (magnitudes below 1.0) and was mainly located near each volcano, at depths between 1 km and 10 km.

Based on the comprehensive evaluation of the monitored parameters, it was determined that the Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel, and Cerro Machín volcanoes remained at “YELLOW ALERT”: volcanoes exhibiting changes in baseline behavior of monitored parameters and other manifestations. The remaining NVSC volcanoes remained at “GREEN ALERT”: active volcanoes at rest.

Introducción

De conformidad con las disposiciones del Decreto 4131 de 2011, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), como instituto científico y técnico, adscrito al Ministerio de Minas y Energía, reconocido por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS como centro de investigación (Resolución No. 1057 del 02 de diciembre de 2014), le corresponde analizar e investigar eventos sísmicos de origen geológico generadores de amenazas y evaluar su impacto en el ámbito regional y nacional, así como proponer, evaluar y difundir metodologías de evaluación de amenazas con afectaciones departamentales y municipales. Es así como el SGC, a través de la dirección de Geoamenazas, implementó una red de tres Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos (en las ciudades de Manizales, Popayán y Pasto), con el fin de monitorear los volcanes considerados como activos en el país.

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales (OVSMA), creado en abril de 1986, se encarga del monitoreo continuo de los volcanes pertenecientes al Segmento Volcánico Norte de Colombia (comprendido entre las coordenadas geográficas $4^{\circ} 22' 01''$ y $5^{\circ} 44' 28''$ de latitud Norte y $74^{\circ} 50' 42''$ y $75^{\circ} 49' 26''$ de longitud occidente) como son San Diego, Romeral, Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Paramillo del Cisne, Nevado de Santa Isabel, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío, Complejo Volcánico Cerro España, Nevado del Tolima y Cerro Machín, así como los demás centros volcánicos situados dentro del segmento volcánico (Figura 1). Estos volcanes se encuentran localizados en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima.

El SGC-OVSMA realiza el monitoreo de la actividad volcánica a través de una red de estaciones, preferiblemente multiparámetro, que registran datos de la actividad de los volcanes a través de diferentes técnicas geofísicas como sismología, geodesia y geoquímica. Igualmente, teniendo en cuenta los volcanes en estado de alerta Amarilla, en algunos de ellos, se cuenta con redes permanentes de vigilancia de la actividad superficial como cámaras térmicas, sensores infrasonicos e imágenes satelitales, entre otros.

En este informe, el SGC presenta un resumen de la actividad registrada durante el 2024 por los volcanes antes mencionados. Esta información es obtenida a través de las redes de vigilancia instaladas en los alrededores de los centros volcánicos, la cual es procesada y analizada por el equipo técnico que conforma el grupo de trabajo Monitoreo, Investigación y Diagnóstico de actividad volcánica de la ciudad de Manizales.

1. Generalidades de los volcanes del norte colombiano

Los volcanes de la zona norte de Colombia monitoreados por el SGC, a través del OVSMA, (figura 1) hacen parte del Segmento Volcánico Norte de Colombia (cf Hall & Wood, 1985; Monsalve-Bustamante, 2020). Este segmento se localiza a 200 km al norte del volcán Nevado del Huila en la cordillera Central, en áreas de los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima. Esta zona volcánica es limitada por lineamientos noroccidente-suroriente al norte (Cañas Gorgas) y al sur (Cartago) (cf. Hall & Wood, 1985). Bohórquez et al. (2005) propone como límites para esta zona volcánica, hacia el norte, una estructura de tendencia noroccidente-suroriente conocida como el lineamiento del Río Pocito que corta la cadena montañosa cerca a el volcán Romeral y al sur las fallas Chapetón-Pericos e Ibagué.

El vulcanismo de este segmento es asociado con procesos de subducción relacionados a una trinchera de 160 km de largo, localizada entre los 4,0° y 5,5° de latitud norte y el suroriente de la costa del Chocó. Esta zona de subducción ha sido definida por sismicidad (70 km - 200 km de profundidad), a distancias epicentrales de 200 km a 350 km al oriente de la trinchera y con una profundidad del *slab* mayor a 200 km, con un ángulo de inclinación de 40° hacia el oriente - suroriente (Arcila & Dimaté, 2005). Los volcanes de esta zona se localizan a 300 km de la trinchera (Monsalve-Bustamante, 2020).

Los volcanes que conforman este segmento corresponden de norte a sur al Campo Volcánico Noreste de Caldas, cuyas estructuras se encuentran desplazadas del eje de la cordillera Central y están relacionadas, en entre otros factores, al sistema de fallas de Palestina. Las estructuras más relevantes de este campo corresponden a los volcanes San Diego, El Escondido y Guadalupe. Actualmente el SGC, a través del OVSMA, se encuentra realizando investigaciones en este campo volcánico con el descubrimiento de nuevos centros de emisión volcánica.

Hacia el sur de este campo volcánico, principalmente hacia el eje de la cordillera Central y con algunas estructuras volcánicas satélites se presenta una cadena volcánica conformada por complejos y campos volcánicos de volcanes poligenéticos o monogenéticos. De norte a sur las estructuras volcánicas son: volcán Romeral, Campo Volcánico Monogenético Tapias-Guacaica, Complejo Volcánico Cerro Bravo, Campo Volcánico Monogenético Villamaría-Termale, Complejo Volcánico Nevado del Ruiz, Complejo de Domos Cisne-Morro Negro, Complejo de Domos Santa Isabel, Complejo Volcánico Paramillo de Santa Rosa, Complejo Volcánico Cerro España, los volcanes Paramillo del Quindío, Nevado del Tolima, Cerro Machín y el Campo Volcánico Monogenético Metaima (figura 1 y tabla 1).

De esta zona volcánica, el volcán San Diego es la estructura volcánica ubicada más al norte de la cordillera de los Andes, localizada a 70 km al nororiente del Complejo Volcánico Cerro Bravo (Monsalve-Bustamante 2020). En la parte sur, los volcanes monogenéticos basálticos que se encuentran cerca a los municipios de Cajamarca e Ibagué (*e.g.* Gómez *et al.*, 2016; Monsalve & Gómez, 2015; Murcia *et al.*, 2019; Núñez *et al.*, 2001) marcan el límite más sur de la zona volcánica, los cuales actualmente se agrupan en el Campo Volcánico Monogenético Metaima (Monsalve *et al.*, 2023).

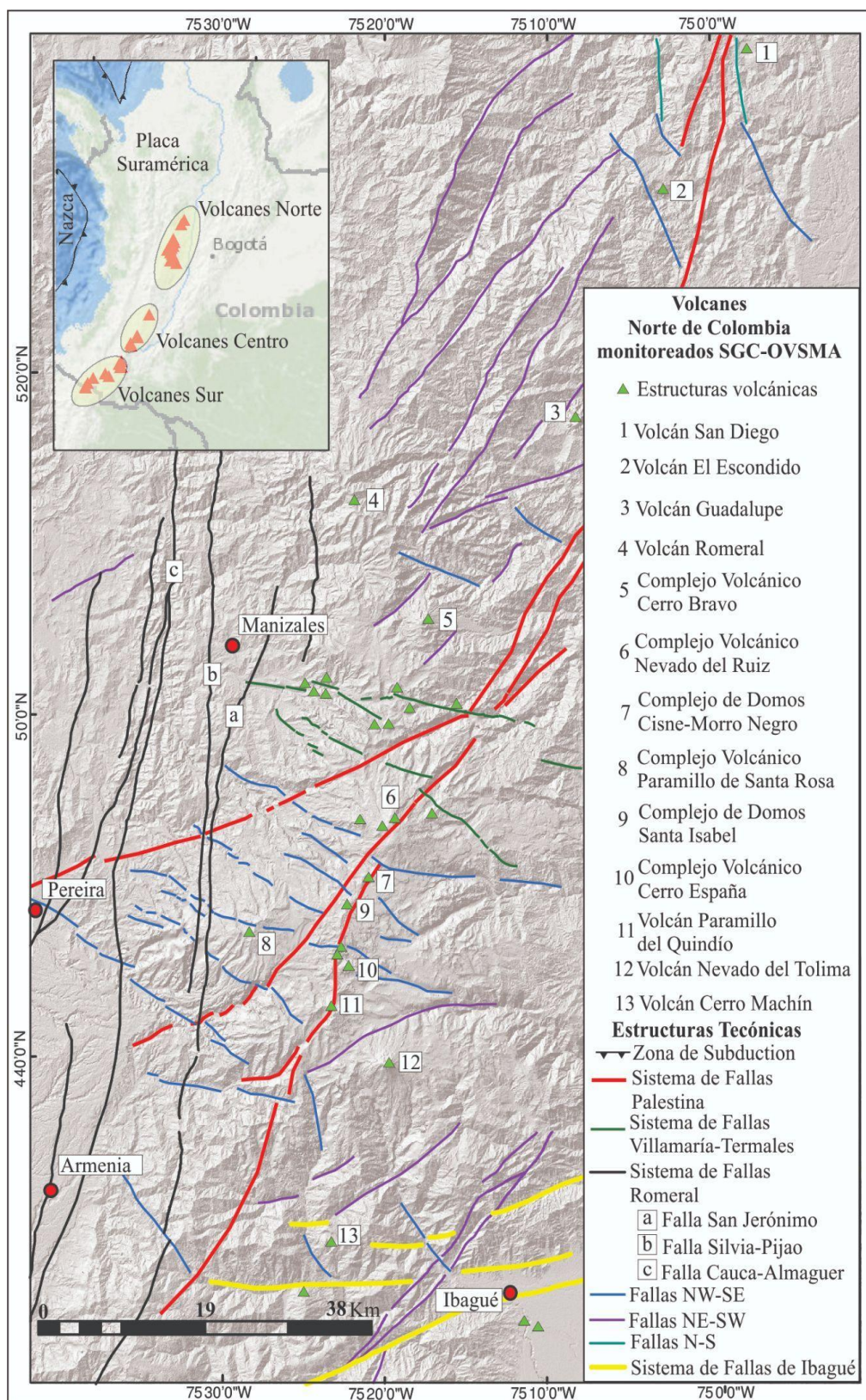


Figura 1. Esquema geológico estructural de los volcanes monitoreados en la zona norte de Colombia por el SGC-OVSMA. Tomado y modificado de Ceballos et., al. 2020.

Tabla 1. Estructuras volcánicas monitoreadas en Colombia por el SGC

SEGMENTO VOLCÁNICO NORTE DE COLOMBIA	SEGMENTO VOLCÁNICO CENTRAL DE COLOMBIA	SEGMENTO VOLCÁNICO SUR DE COLOMBIA
1. Volcanes del Campo Nororiental de Caldas: - Volcán San Diego - Volcán El Escondido - Volcán Guadalupe	1. Volcán Sucubún	1. Complejo Volcánico Chiles-Cerro negro
2. Volcán Romeral	2. Complejo Volcánico Sotará	2. Complejo Volcánico Cumbal
3. Complejo Volcánico Cerro Bravo	3. Puracé	3. Volcán Azufral
4. Complejo Volcánico Nevado del Ruiz	4. Cadena Volcánica de los Coconucos	4. Volcán Galeras
5. Complejo Volcánico Cisne- Morro Negro	5. Complejo Volcánico Nevado del Huila	5. Volcán Doña Juana
6. Complejo de Domos de Santa Isabel		6. Volcán Las Ánimas
7. Complejo Volcánico Cerro España		7. Campo Volcánico Monogenético Guamez-Sibundoy
8. Complejo Volcánico Paramillo de Santa Rosa		
9. Volcán Paramillo del Quindío		
10. Volcán Nevado del Tolima		
11. Volcán Cerro Machín		

Petrográficamente, los productos volcánicos del Segmento Volcánico Norte de Colombia (SVNC) se clasifican en andesitas y dacitas, con características mineralógicas y asociaciones de Plagioclasa (Pg), Ortopiroxeno (Opx), Clinopiroxeno (Cpx), $\pm$ Olivino (Ol) y Óxidos (Ox); Pg, Opx, Cpx y Ox; y Pg, Anfíbol (An) $\pm$ Biotita (Bi) y Ox. Geoquímicamente, estos productos corresponden a andesitas calco-alcalinas, dacitas y riolitas. Los diagramas multielementos REE (elementos de las tierras raras) muestran patrones paralelos con marcado enriquecimiento en LREE (elementos de tierras raras ligeras) y agotamiento de HREE (elementos de las tierras raras pesadas) principalmente para los productos del volcán San Diego y anomalías positivas de Tb (Terbio) para rocas de los complejos volcánicos Paramillo de Santa Rosa y Nevado del Ruiz, anomalías positivas de Eu (Europio) para muestras de roca de San Diego y el Escondido y sin anomalías para muestras del volcán Cerro Machín. Todos los volcanes de la zona presentan afinidad calco-alcalina. En particular las rocas de los volcanes Cerro Machín, Cerro Bravo, El Escondido, San Diego y los productos antiguos del Complejo Volcánico del Nevado del Ruiz presentan tendencia adakítica. (Monsalve-Bustamante, 2020).

El inicio de la actividad volcánica en esta zona de la cordillera Central de Colombia va desde el Plioceno, acorde al reporte de edades de 4,3 m. a. $\pm$ 0,4 m. a. y 3,5 m. a. $\pm$ 0,4 m. a. en depósitos volcanoclásticos de la Formación Mesa (cf. Thouret et al., 1990), 3,6 m. a. $\pm$ 0,36 m. a. y 2,7 m. a. $\pm$ 0,1 ma en flujos de lava del volcán Romeral (cf. Flórez, 1986) y 2,3 $\pm$ 0,1 (cf. Thouret *et al.*, 1990) en el flujo de lava de Tarapacá del Complejo Volcánico Paramillo de Santa Rosa.

Desde el año 2007 se han detectado cambios importantes en la actividad de varios volcanes de este segmento. Los cambios más significativos han sido los siguientes: 1) Reactivación del volcán Nevado del Ruiz en 2010, con un incremento en la sismicidad y posterior actividad eruptiva con pequeñas emisiones de ceniza, así como el emplazamiento de un pequeño domo de lava en el fondo del cráter Arenas. 2) Aumento de las emisiones de radón y CO₂ detectadas en estaciones de monitoreo cercanas a Cerro Bravo y una posterior secuencia de sismicidad LP profunda en 2008. 3) Aumento de las emisiones de radón y

CO₂ en el volcán Cerro Volcán Machín y aumento de la actividad sísmica. 4) Deformación regional ocurrida entre 2011 y 2013 ubicada cerca del Complejo de Domos de Santa Isabel a una profundidad de 14 km, que fue detectado por análisis InSAR (Lundgren *et al.*, 2015). 5) Aumento de la sismicidad en varios volcanes del segmento sugiriendo un estado de cambios, relacionados posiblemente con el emplazamiento de un magma en una cámara magmática profunda. (Londoño, 2016).

2. Actividad de los volcanes del norte de Colombia en el 2024

Las estructuras volcánicas monitoreadas por el SGC-OVSMA, durante el 2024, no presentaron cambios en el estado de alerta por actividad volcánica, de acuerdo con la evaluación integral de los diferentes parámetros monitoreados en cada una de ellas. Los volcanes Nevado del Ruiz, Cerro Machín y Santa Isabel mostraron comportamiento inestable con leves variaciones en los parámetros monitoreados que los enmarcaron dentro del estado de alerta Amarilla. Las demás estructuras volcánicas evidenciaron estabilidad en su comportamiento por lo que continúan en el estado de alerta Verde. A continuación, se describen los aspectos más relevantes de la actividad volcánica registrada en los volcanes del SVNC durante el año.

2.1. Complejo Volcánico Nevado del Ruiz

El Complejo Volcánico Nevado del Ruiz (CVNR) está conformado por el volcán activo Nevado del Ruiz y los volcanes inactivos La Olleta, Nereidas, Piraña y otros centros eruptivos menores Nevado del Ruiz. (cf. Martínez *et al.*, 2014; Ceballos *et al.*, 2020) (figura 2).

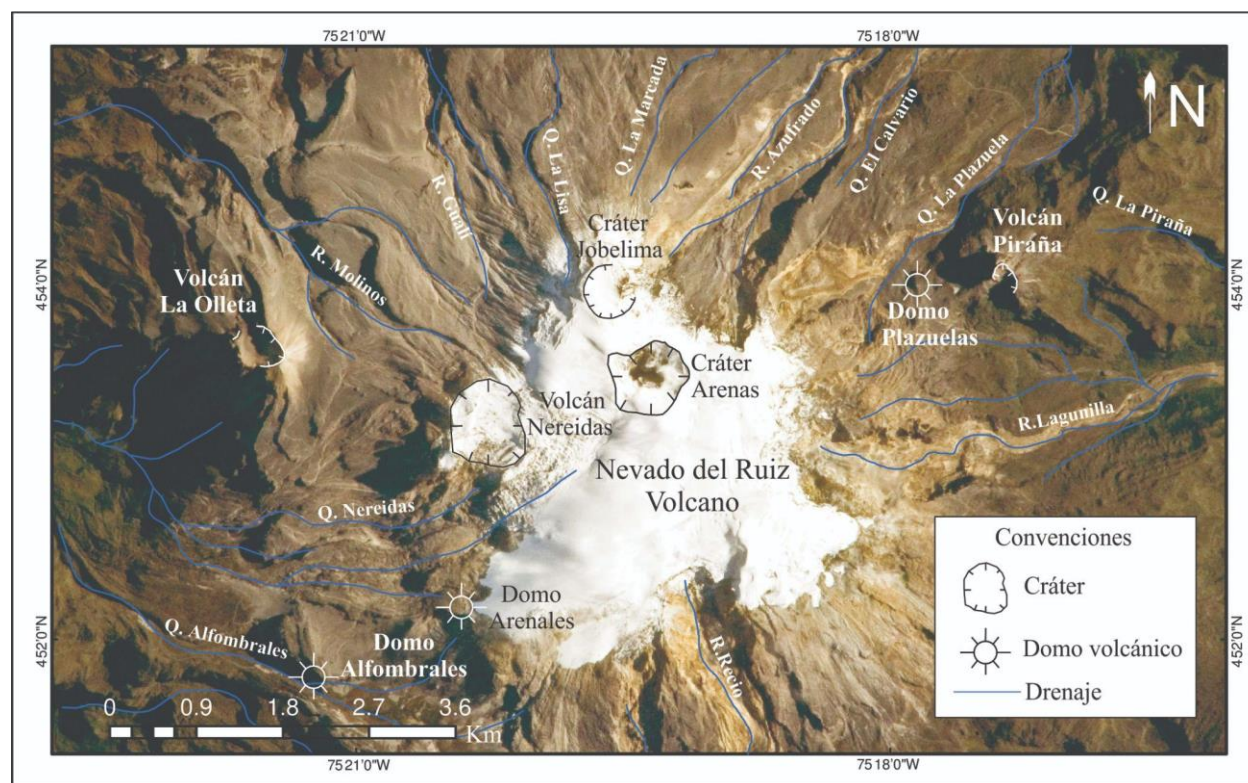


Figura 2. Vista del CVNR desde el espacio en abril del 2010 (*Image Science and Analysis Laboratory, NASA – Johnson Space Center: The Gateway to Astronaut Photography of Earth*). Tomado y modificado de Ceballos *et al.* (2020).

2.1.1. Generalidades

El volcán Nevado del Ruiz (VNR) es un volcán compuesto poligenético con una altura de 5321 m s.n.m. (figura 3). En su cima presenta un cráter activo denominado Arenas con diámetro máximo de 980 m y una profundidad de 200 m. El VNR está localizado en la parte media de la cordillera Central de Colombia (4° 53' 43" N, 75° 19' 21" W), entre los departamentos de Caldas y Tolima, a aproximadamente 140 km al occidente-noroccidente de Bogotá D.C. y 28 km al suroriente de Manizales. Actualmente presenta una cobertura glaciar de aproximadamente 7,68 km² (IDEAM, 2023).



Figura 3. Fotografía Volcán Nevado del Ruiz. Tomada por Luis Gerónimo Valencia en sobrevuelo de enero de 2020.

El VNR hace parte del CVNR (figura 2). La evolución geológica de este complejo está definida en cuatro períodos: 1) Período Eruptivo Pre-Ruiz, período que se caracterizó por un vulcanismo efusivo y la construcción del volcán “Ruiz Ancestral” entre 1,8 m. a. y 0,97 m. a. 2) Primer Período Eruptivo Ruiz, período que correspondió a la construcción del volcán “Ruiz Antiguo” que estuvo definido por un vulcanismo efusivo que comenzó hace menos de 0,97 m. a. Al final de este período eruptivo, hace 95 k. a., se presentó una época explosiva, la destrucción de este volcán y la formación de una caldera. 3) Período Eruptivo Ruiz Intermedio que correspondió al origen de los volcanes La Olleta, Nereidas, Piraña y centros eruptivos menores y 4) Segundo Período Eruptivo Ruiz durante el cual se formó la actual estructura del VNR. (cf. Ceballos et al., 2020; Martínez et al., 2014).

Los productos volcánicos del CVNR presentan composiciones de andesitas (ocasionalmente andesitas basálticas y dacitas) de medio a alto contenido de K₂O y de carácter calco-alcalino. El origen de los magmas resulta de la combinación de procesos de fusión parcial de la cuña astenosférica previamente

metasomatizada por fluidos de la placa subducente, cristalización fraccionada, asimilación de la corteza y mezcla de magmas (Ceballos *et al.*, 2020).

El VNR durante su etapa inicial de construcción con edades de 66 k. a. $\pm$ 5,6 k. a. y 26,8 k. a. $\pm$ 5,6 k. a. presentó actividad predominantemente efusiva. En los últimos 13,4 ka ha presentado erupciones predominantemente explosivas en donde han ocurrido al menos 14 fases eruptivas caracterizadas por una dinámica eruptiva de estilo subpliniano con un VEI (índice de explosividad volcánica, por sus siglas en inglés) entre 3 y 4. Esta dinámica ha generado fenómenos recurrentes de lahares, corrientes de densidad piroclástica, caídas piroclásticas y con menor frecuencia avalanchas de escombros no magmáticas. Históricamente han ocurrido eventos eruptivos en los años 1595, 1800-1845 y 1985 D.C., con la generación de grandes volúmenes de lahares. (cf. Martínez *et al.*, 2014; Ceballos *et al.*, 2016; Ceballos *et al.*, 2020).

En la etapa más reciente, la actividad del VNR, después de la erupción de 1985 (13 de noviembre) ha estado caracterizada por períodos de menor y mayor actividad volcánica con algunas erupciones menores. Entre 1986 y 1993 la actividad eruptiva fue predominantemente freática y se caracterizó por presentar pequeñas explosiones de VEI 1 (Londoño & Galvis 2018) y caídas menores de ceniza y lapilli. En 1989 se presentó un pulso eruptivo de VEI 2, de origen freatomagmático con caídas piroclásticas y lahares de corto alcance (Méndez, 1995). En la actividad eruptiva actual que viene ocurriendo desde el 2012 y que continua hasta el momento de edición de este boletín, la actividad ha sido predominantemente explosiva, con la generación de pequeñas erupciones vulcanianas de VEI 1 (emisiones de ceniza y lapilli), entre las que se destaca el pulso eruptivo del 29 de mayo de 2012. También se ha presentado una fase efusiva con el emplazamiento de un domo de lava ($V: \approx 2 \times 10^6 \text{ m}^3$, Ordoñez *et al.*, 2020) en el fondo del cráter Arenas a finales del 2015. Esta actividad se ha interpretado de origen freático entre el 2012 y 2015 y magmático entre el 2015 hasta la fecha (Ceballos *et al.*, en preparación).

El mapa de amenaza del volcán Nevado del Ruiz versión 2015 puede consultarse en el enlace: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoRuiz/Paginas/Mapa-amenaza.aspx>

La animación del mapa de amenaza en 3D puede consultarse en: <https://www.youtube.com/watch?v=xkZrZqMqHa8>

2.1.2. Red de vigilancia

La red de vigilancia del Volcán Nevado del Ruiz (VNR) está conformada por 41 estaciones distribuidas en el volcán y su área de influencia (figura 4), y están equipadas con una variedad de sensores especializados. Estos instrumentos permiten recolectar información proveniente de distintas disciplinas o técnicas de monitoreo, tales como geofísica, geodesia, geoquímica, geología física y geo-vulcanología, con el objetivo de evaluar el comportamiento del volcán y diagnosticar su actividad. Las estaciones están interconectadas mediante un sistema de transmisión por radio, lo que garantiza una comunicación permanente entre ellas y el observatorio, asegurando así el flujo continuo de información en tiempo real. Algunas de estas estaciones son multiparámetro, es decir, están equipadas con dos o más tipos de sensores, y la red incluye además varios repetidores que refuerzan la transmisión de datos. En total, la red cuenta con un conjunto diverso de sensores, de los cuales actualmente 16 tienen problemas de funcionamiento. En la tabla 2 se listan los diferentes sensores que conforman las 41 estaciones de la red de vigilancia del VNR.

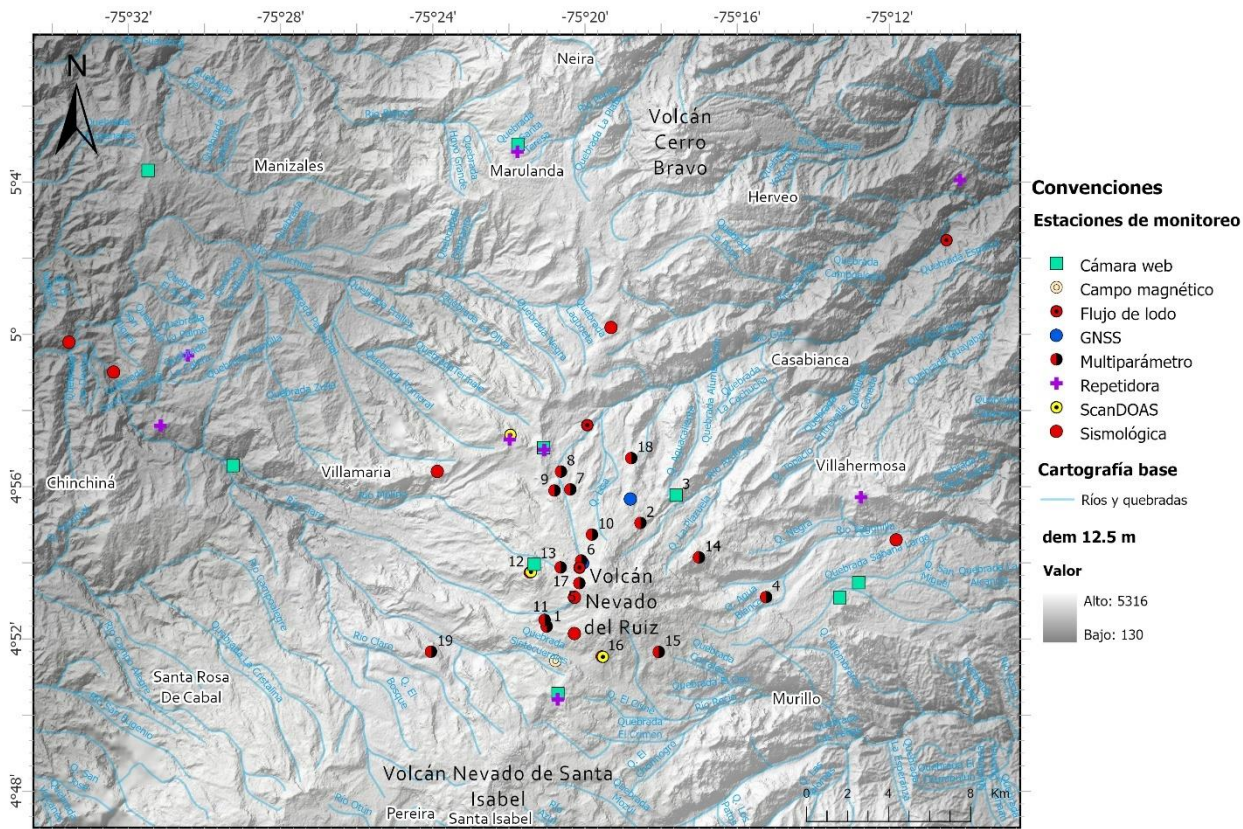


Figura 4. Red de vigilancia del volcán Nevado del Ruiz. La numeración desde 1 hasta 19 indica las estaciones multiparámetro (compuestas por dos o más sensores) relacionadas en la Tabla 2. Las estaciones multiparámetro sin numeración corresponden a las estaciones instaladas en volcanes vecinos que también son utilizadas en el monitoreo indirecto del VNR.

Tabla 2. Estaciones de monitoreo multiparámetro instaladas en el VNR y sus respectivos sensores.

No. ESTACIONES	ESTACIÓN	TIPO	SENSORES INSTALADOS	SENSORES INSTALADOS	TOTAL DE SENSORES POR ESTACIÓN
1	ALFOMBRALES	Simple	Sísmica Banda Ancha	1	1
2	PIRAÑA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	2	2
3	RIO CLARO	Simple	Sísmica Banda Ancha	1	1
4	RUBI	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	3	1
5	BILLAR	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	2	2
6	AZUFRADO	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	4	3
7	BIS	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	4	4
8	LISA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	3	2
9	RECIO3	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	5	5
10	TOLDA FRIA	Simple	Sísmica Corto Período	1	1
11	OLLETA 2	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos, Cámara termográfica	7	6
12	REFUGIO	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	2	2
13	INDERENA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	4	2

14	RECIO	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	2	2
15	NEREIDAS 2	Simple	Sísmica Banda Ancha	1	1
16	EI DIAMANTE	Simple	Sísmica Corto Período	1	1
17	EL DESTIERRO	Simple	Sísmica Banda Ancha	1	1
18	ALFOMBRALES 2	Simple	Campo Magnético	1	1
19	ALFOMBRALES 3	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	2	2
20	AZUFRAO 2	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos, Cámara termográfica	6	4
21	BRUMA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	4	4
22	CAMIÓN	Simple	ScanDOAS	1	0
23	OLLETA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	4	4
24	GUALI	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	2	1
25	GUALI 1	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	2	1
26	GUALI 2	Simple	Flujo de Lodo	1	0
27	GUALI 3	Simple	Flujo de Lodo, Cámara Web	2	2
28	GUALI	Simple	Cámara Web	1	1
29	RUBI 2	Simple	GNSS	1	1
30	LAGUNILLA2	Simple	Cámara Web	1	1
31	CISNE	Simple	Cámara Web	1	1
32	HOTEL	Simple	PH y Conductividad	2	0
33	NEREIDAS	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, 2 Infrasonidos	4	3
34	BALCONES	Simple	Cámara Web	1	1
35	MOLINOS 1	Simple	Flujo de Lodo	1	1
36	OVSMA	Simple	Cámara Web	1	1
37	PLATO	Simple	Sísmica Banda Ancha	1	1
38	LAGUNILLA	Simple	Sísmica Banda Ancha	1	1
39	C GUALI	Simple	Cámara PTZ	1	1
40	CORALITO	Simple	Cámara PTZ	1	1
41	DESQUITE	Simple	Cámara PTZ	1	1
Total				87	71

2.1.3. Actividad volcánica

El VNR es uno de los volcanes más activos de Colombia en la actualidad. A finales de 2010, después de 25 años de la erupción de 1985, el volcán volvió a mostrar cambios, especialmente, en los niveles de actividad sísmica y en las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) emitidas a la atmósfera. Estos cambios conllevaron al SGC a cambiar su nivel de actividad de Verde a Amarillo, (Estados de alerta de Verde a Amarilla, en el nuevo esquema de categorización de la actividad volcánica, vigente desde septiembre de 2023). Desde entonces, el volcán ha presentado un comportamiento inestable con períodos de mayor actividad volcánica (Castaño *et al.*, 2017), como los observados en el 2012 y entre 2014 y 2016. En este último período, ocurrió el emplazamiento de un domo de lava en el fondo del cráter Arenas, el cual fue visto, por primera vez, en superficie a finales de octubre de 2015.

La actividad volcánica en el Nevado del Ruiz, durante el 2024, se caracterizó por mostrar variaciones importantes en parámetros físicos monitoreados tales como sismicidad, desgasificación, deformación, etc. Respecto al 2023, se observó una disminución importante en las tasas de sismicidad, continuó la tendencia al descenso en las tasas de desgasificación de SO₂, se presentó una deformación menor de la superficie volcánica, se apreció un aumento importante en el nivel de energía térmica radiada a través de las anomalías térmicas y se determinó estabilidad en el área del domo de lava existente en el fondo del cráter Arenas.

Las variaciones más importantes observadas en el 2024 se detallan a continuación:

Actividad sísmica: Durante el 2024 continuó el registro de sismicidad asociada a procesos de fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico y con dinámica de fluidos dentro los conductos volcánicos. También se registraron señales sísmicas asociadas a la dinámica del glaciar que cubre la parte alta del volcán y a procesos de carácter superficial como pequeños desprendimientos de hielo o material poco consolidado y avalanchas y caídas de rocas que ocurren con frecuencia en la superficie volcánica.

Las tasas de sismicidad volcánico-tectónica (VT) durante el 2024 fueron variables (figura 5). Los mayores registros ocurrieron entre el 1 y el 6 de enero y, el 24 de junio, con 5656 y 1722 sismos, respectivamente (figura 5). El mayor aporte energético se presentó en el incremento sísmico de enero, este corresponde al cuarto valor más alto registrado en los últimos 14 años, y estuvo relacionado principalmente a un sismo de magnitud 3,9 ML (Magnitud Local) (figura 5) que ocurrió el 3 de enero a las 16:03 UTC. Este evento se localizó a 2,6 km al noroccidente del edificio volcánico, a una profundidad de 5 km, el cual fue reportado como sentido por funcionarios del Parque Nacional Natural Los Nevados, personal del SGC en labores de campo y habitantes en el área de influencia cercana al volcán y en la ciudad de Manizales (Caldas). El incremento sísmico de enero se localizó en dos zonas del volcán, simultáneamente, una a aproximadamente 2,5 km de distancia al nornoroccidente del cráter Arenas y la segunda 3 km al sur del mismo.

El incremento del 24 de junio estuvo relacionado con sismicidad tipo *drumbeat* y se caracterizó por presentar un nivel de energía bajo. Debido a la baja magnitud de los eventos no fue posible su localización, sin embargo, de acuerdo a los tiempos de arribo se presume que los sismos estuvieron localizados en el cráter.

La sismicidad VT restante registrada durante el año se localizó, principalmente, en el cráter Arenas y en los sectores nororiental, oriental, suroriental, y sursuroccidental del edificio volcánico, en un radio de 5 km a partir del cráter, a profundidades entre menores de 1 km y 5 km. También se registró sismicidad en los sectores oriental, norte, noroccidental y suroccidental, a distancias entre 5 km y 14 km del cráter, con rangos de profundidad entre 2 km y 10 km (figura 6).

La sismicidad asociada a la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos se localizó entorno al cráter Arenas, a profundidades menores de 3 km (figura 7). Respecto al 2023, se observó un leve incremento en el número de sismos registrados y una disminución en la energía sísmica liberada de eventos de largo período (LP) y pulsos de tremor (TR). En cuanto a los eventos de muy largo período (VLP) se apreció una disminución en el número de señales registradas. Así mismo, continuó el registro de episodios de tremor volcánico continuo (TC) con duraciones y niveles de energía menores a los observados en el 2023. Ocasionalmente, el tremor presentó características armónicas y deslizamientos de la

frecuencia (*gliding*). Otros eventos asociados a la dinámica de fluidos que se registraron, en menor medida, durante el año fueron sismos híbridos y tornillos, ambos de bajo nivel energético.

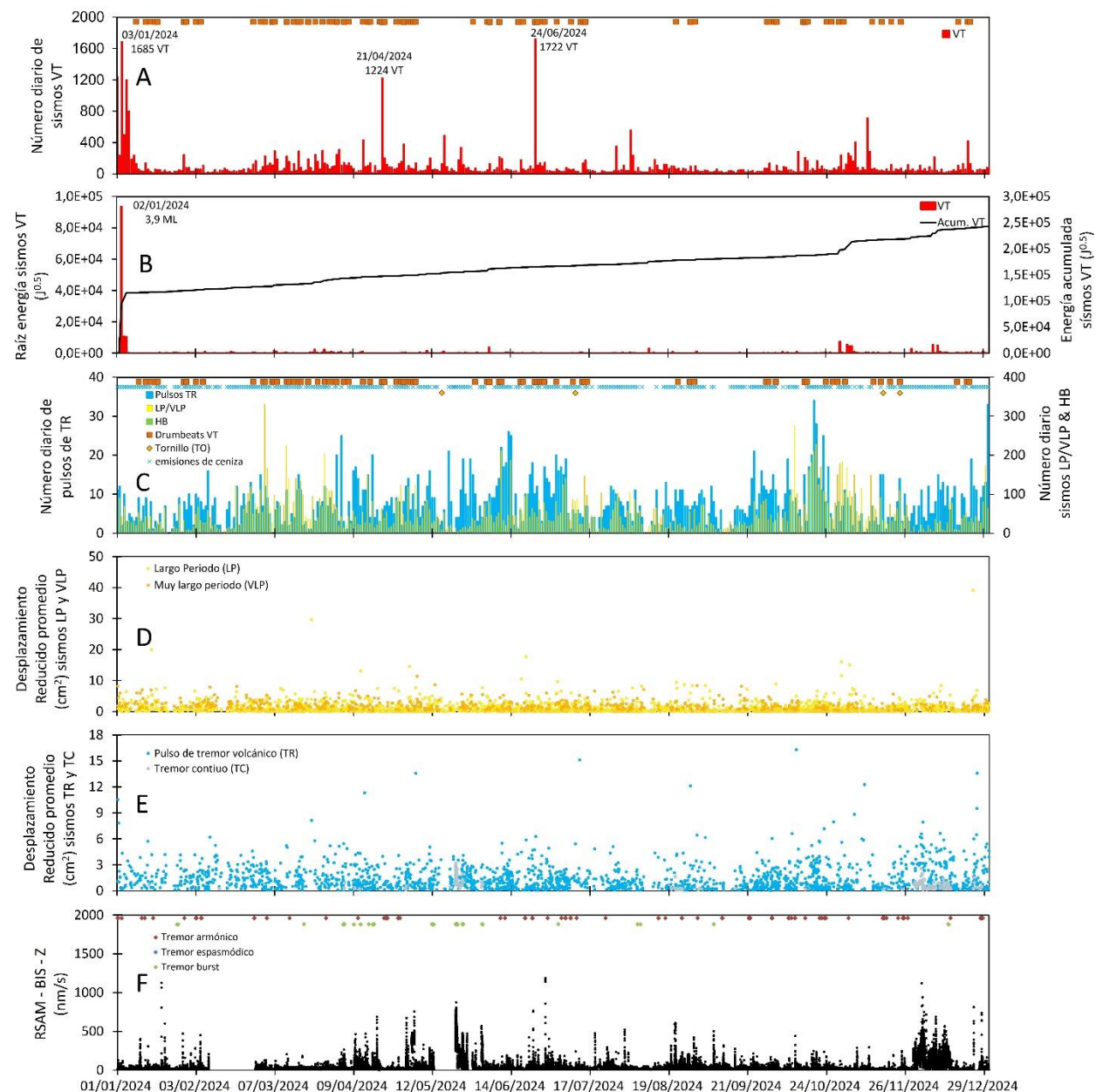


Figura 5. Series de tiempo de la actividad sísmica registrada en el VNR durante el 2024. A) Número diario de sismos VT, la ocurrencia de sismicidad *drumbeat* de este tipo se indica en la parte superior de la gráfica. B) Energía sísmica diaria de sismos VT. C) Número diario de sismos de LP/VLP, TR e HB, el registro de sismos tipo tornillo y emisiones de ceniza se indican en la parte superior de la gráfica. D) Dr promedio sismos de largo y muy largo período (LP y VLP). E) Dr promedio de los pulsos de tremor y tremor volcánico continuo (TR y TC). F) RSAM estación Bis, componente vertical, en la parte superior de la gráfica se indican las fechas de ocurrencia del tremor tipo *bursts*, espasmódico y armónico.

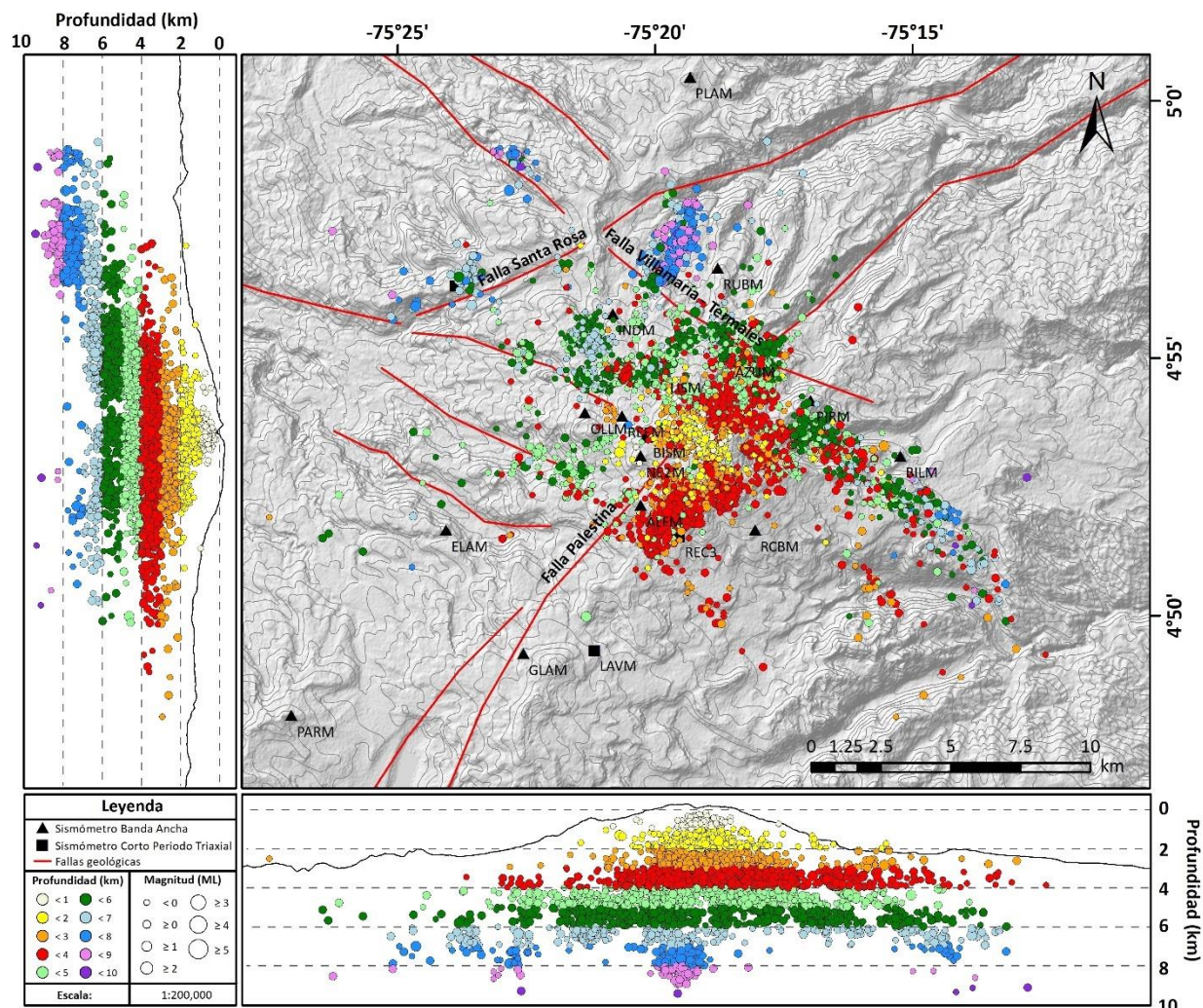


Figura 6. Mapa de localización de los sismos asociados a fracturamiento de roca (VT) (círculos de colores) registrados en el volcán Nevado del Ruiz, durante el 2024. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos definen su magnitud.

Respecto al nivel de energía de las señales sísmicas asociadas a la dinámica de fluidos, referida en términos de desplazamiento reducido (Dr), este fue variable y, en general, presentó valores menores a 10 cm^2 . Los Dr por encima de este valor fueron ocasionales. El máximo Dr para los eventos LP fue de 39 cm^2 el 24 de diciembre a las 08:54, para los eventos TR fue de 16 cm^2 el 11 de octubre a las 07:03, y para los VLP de 11 cm^2 el 05 de mayo a las 14:22. En cuanto al TC, aunque predominaron valores de Dr menores de 2 cm^2 , los Dr máximos alcanzados fueron de 3 cm^2 el 21 de mayo (Figura 6e). Estos valores de Dr del TC estuvieron asociados con cambios en la amplitud de la señal que se reflejaron en las características de la señal, los valores bajos de Dr estuvieron relacionados con una señal sísmica de amplitud sostenida o relativamente constante y los valores altos con señales de amplitud variable que caracterizaron el TC tipo *burst*, como puede verse la Figura 6f en la cual se representa la amplitud de la señal RSAM (real-time seismic-amplitude measurement).

La sismicidad tipo *drumbeat*, relacionada con la actividad y evolución del domo de lava emplazado en el fondo del cráter Arenas, también continuó registrándose durante el 2024. Esta sismicidad incrementó significativamente en comparación con la registrada en el 2023. Los episodios fueron de corta duración,

bajo nivel energético y, en general, los episodios estuvieron conformados por sismos VT principalmente (el 88 % de los episodios) y, en menor proporción, por eventos LP y HB.

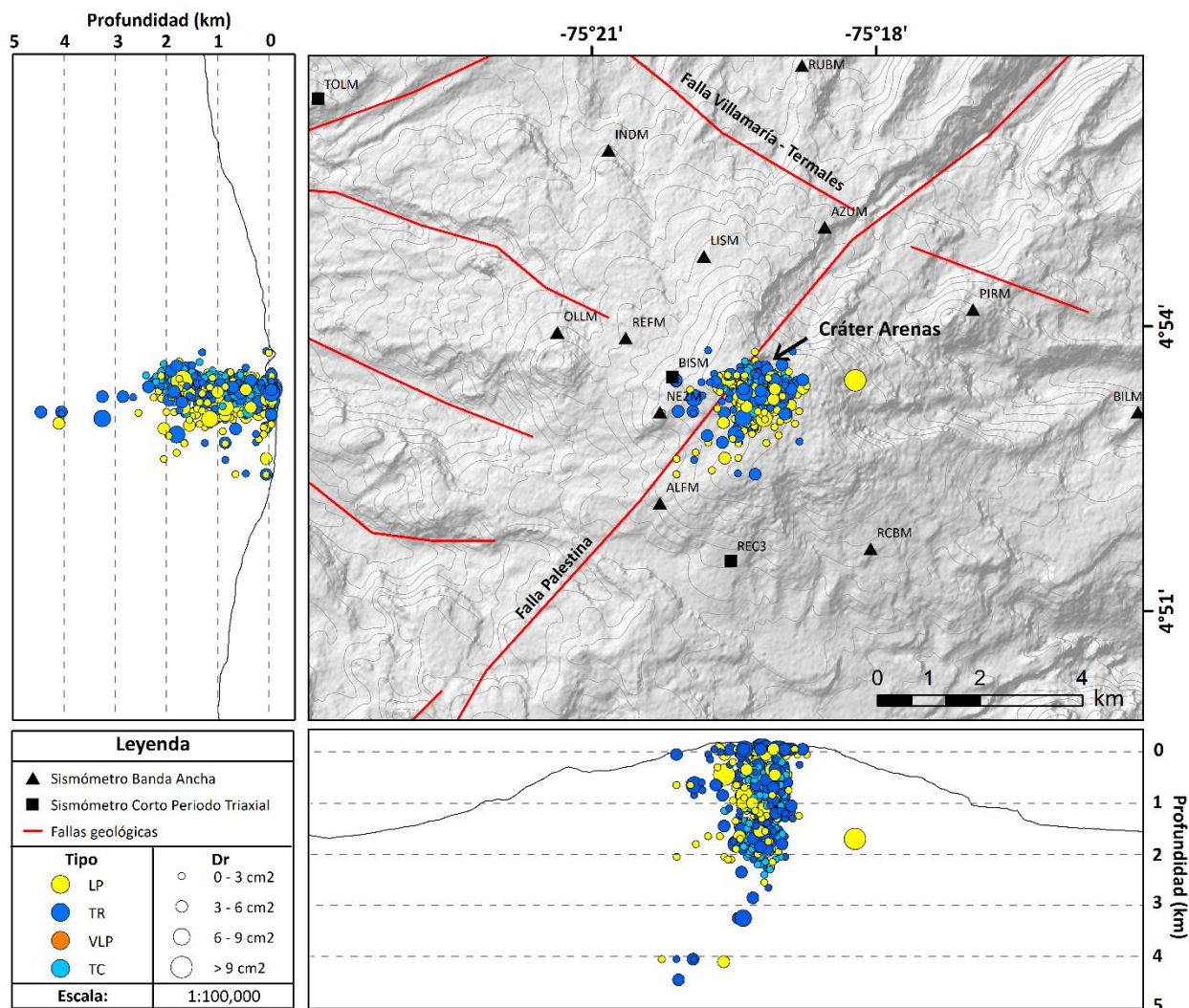


Figura 7. Mapa de localización de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos (círculos de colores) registrados en el volcán Nevado del Ruiz, durante el 2024. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa el tipo de evento registrado y el tamaño de los círculos definen su desplazamiento reducido, DR.

Deformación de la superficie volcánica. El procesamiento de los datos de las estaciones GNSS de la red de deformación del VNR ha permitido definir un período de deformación lenta y constante (inflación) del edificio volcánico durante el 2024, con una tasa de deformación vertical de 2,6 mm/año y un acumulado entre 2,5 cm y 3,0 cm (figura 8). A mediados de diciembre de 2024 se empezó a registrar un leve proceso deflacionario con un acumulado aproximado de -1,0 cm. Cabe resaltar que estos cambios registrados durante este período hacen parte de un proceso deformativo que se observa desde el 2019 (Castaño-López et al., 2025). Esta deformación también fue detectada mediante el procesamiento *DinSAR* (*Differential Interferometry of Synthetic Aperture Radar*) de imágenes de radar de la plataforma Sentinel-1. El desplazamiento *LOS* (*Line of Sight*) registró un acumulado de 3,3 cm durante el 2024 (figura 8). Cabe resaltar que con esta técnica no se tiene la misma precisión que con los GNSS lo que resulta en una mayor

magnitud del desplazamiento. Las líneas base GNSS del VNR también registraron esta deformación como lo muestra la línea Recio-Inderena que tuvo un alargamiento de 13 mm durante el 2024 (figura 8). Cabe resaltar que para los últimos meses del año 2024 la estación Recio tuvo inconvenientes operativos que generaron un problema con la recepción de datos.

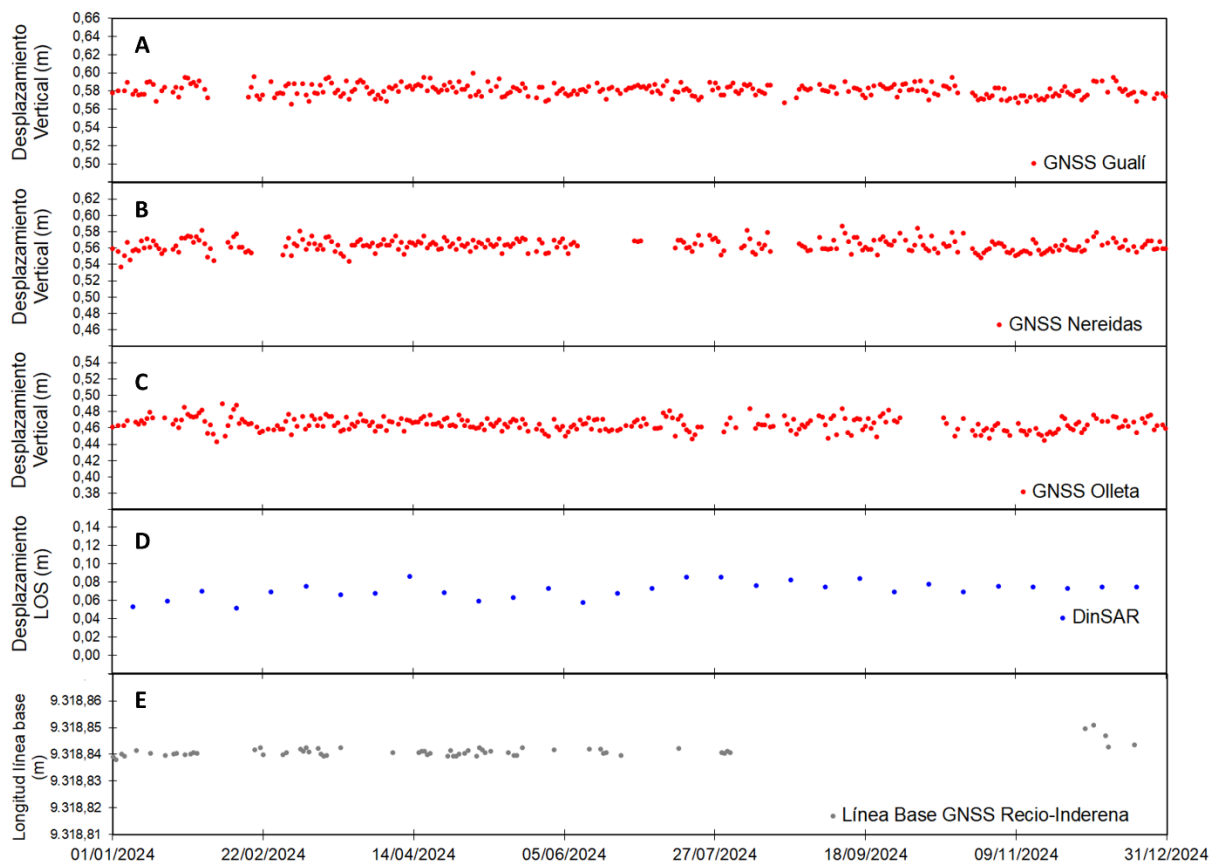


Figura 8. Componente vertical de las estaciones GNSS Gualí (A), Nereidas (B) y Olleta (C) de la red de deformación del VNR. Desplazamiento LOS (D) y longitud línea base GNSS Recio-Inderena (E).

Desgasificación de SO_2 . Durante el 2024 se apreció una constante variación de los procesos de emisión de gases y desgasificación en el volcán. La desgasificación relacionada con las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) desde el cráter Arenas fue estimada a partir de los datos obtenidos con la red de estaciones *DOAS* (*Differential Optical Absorption Spectroscopy*) instaladas en el volcán. Se aprecia que para los meses de mayo a septiembre los flujos máximos de SO_2 presentaron variaciones menores, el valor promedio estimado en este período fue 4500 t/d, las tasas mayores de desgasificación ocurrieron en julio, destacándose por presentar valores por encima de las 7500 t/d (figura 9). De manera ocasional, también se estimaron flujos máximos cercanos a 8000 t/d en noviembre. Respecto al seguimiento de la masa de SO_2 emitida a la atmósfera, detectada a través del sistema TROPOMI abordo del satélite Sentinel-5P (figura 9), se observaron fluctuaciones en las descargas de gas, con valores superiores a 1800 toneladas registrados en abril y mayo.

Actividad superficial. En general, durante 2024 se apreció la constante variación de los procesos de desgasificación y emisión de gases en el volcán. La altura de la columna de gases fue estimada por medio de la triangulación de las estaciones DOAS (figura 9) y mediante apreciaciones visuales a través de las cámaras web de monitoreo (figura 9). Ambas metodologías permitieron establecer alturas máximas

alrededor de 2000 m (medidos desde la cima del cráter) y un promedio de 1000 m. La altura máxima observada en vertical fue de 2300 m, el 30 de agosto durante la emisión de ceniza registradas a las 18:42 UTC.

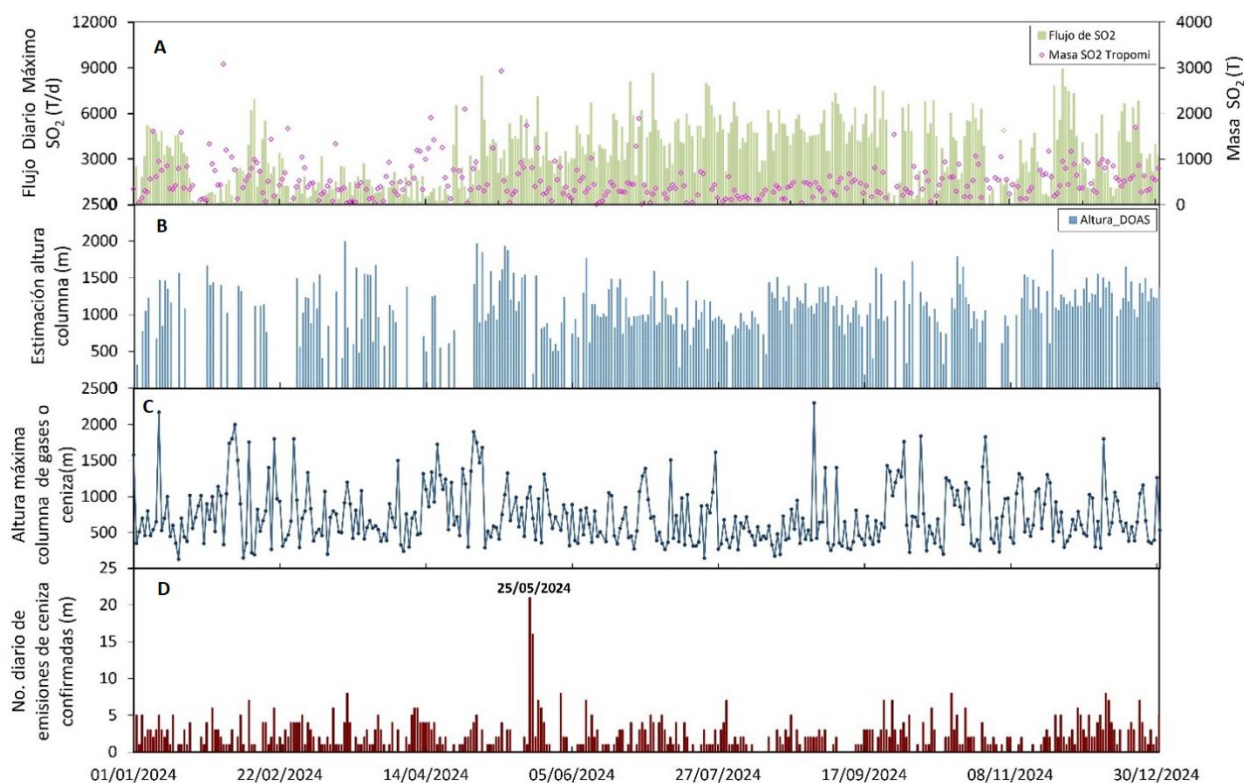


Figura 9. Series de tiempo de datos de procesos de desgasificación de SO_2 y de emisión de gases y ceniza del VNR en el 2024. A) Flujo diario máximo de SO_2 y masa de SO_2 . B) Estimación altura columna de gases a partir de la triangulación de estaciones DOAS. C) Estimación altura columna de gases mediante apreciaciones visuales. D) Número diario de emisiones de ceniza confirmadas.

La dispersión de la columna de gases fue estimada a partir de los datos de la estación meteorológica Olleta, del anemómetro de la estación Gualí y de la información suministrada por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), utilizando el modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*). La dirección del viento mostró un comportamiento variable, sin evidenciar una tendencia preferencial; sin embargo, las mayores dispersiones de la columna de gases se presentaron hacia los flancos noroccidental y occidental del volcán durante el año 2024 (figura 10).

Otro proceso recurrente y relevante en la actividad del VNR fueron las emisiones de ceniza (figura 11) y los cambios relativos en la temperatura relativa del material emitido (figura 12). Estos procesos continuaron registrándose a lo largo del 2024 y estuvieron asociados a algunas señales sísmicas como pequeñas explosiones, pulsos de tremor y tremor volcánico continuo (figura 5). El número de emisiones de ceniza pulsátiles confirmadas disminuyó en el 2024 y aumentó el número de emisiones continuas, con relación a lo que se registró en el 2023. En la figura 12, se muestran algunos de los cambios más importantes en la temperatura aparente del material emitido observados durante el 2024, a través de las cámaras FLIR (termográficas). En la figura 13 se aprecia la variación de la temperatura aparente estimada para la columna de gases y ceniza durante el 2024. A lo largo del año se recibieron reportes de caída de

ceniza en diferentes municipios de los departamentos de Caldas, Tolima y Risaralda, de acuerdo con la dirección de dispersión imperante en la zona al momento de la emisión.

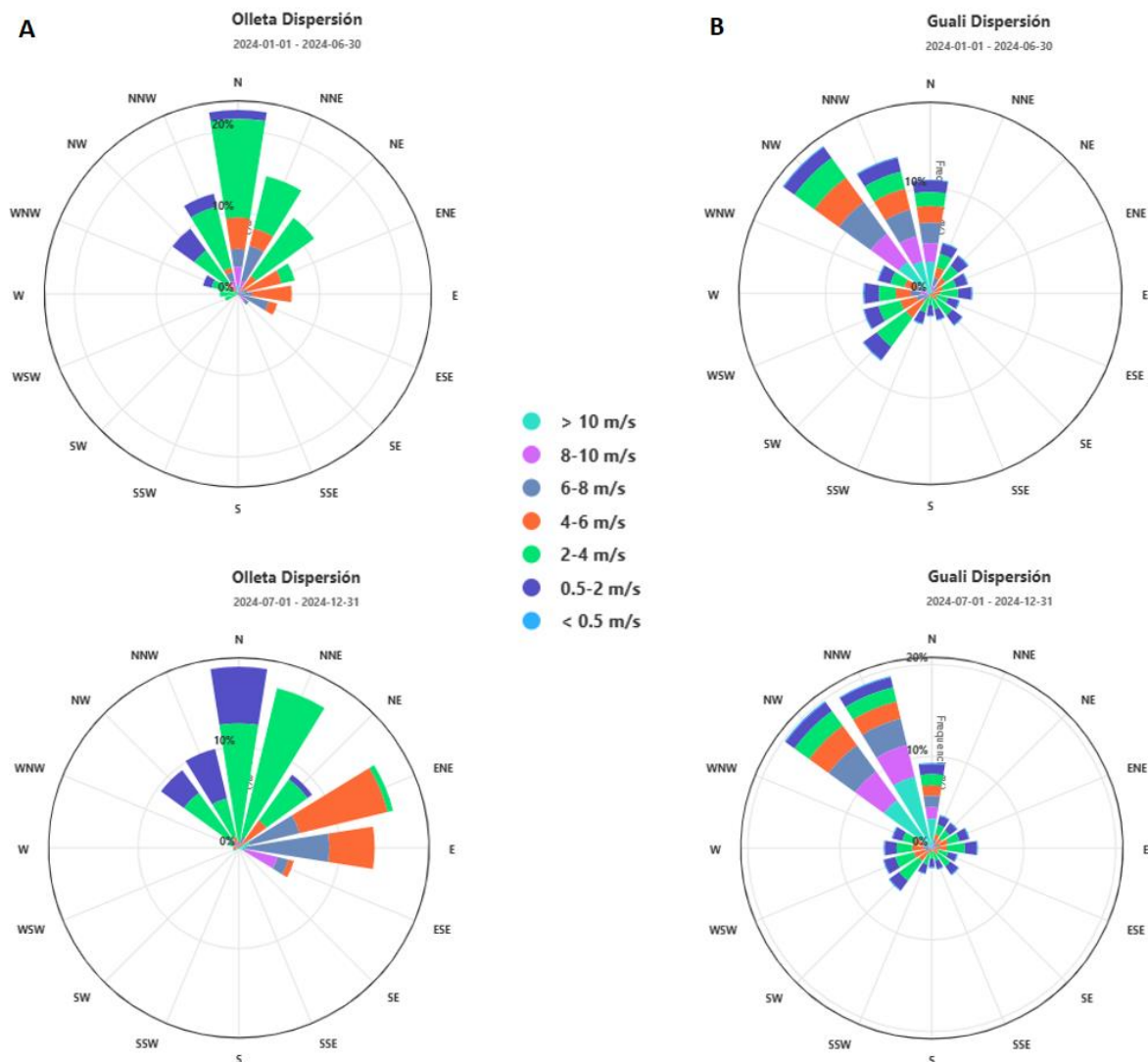


Figura 10. Diagramas de dispersión y velocidad de los vientos estación meteorológica Olleta y Anemómetro Gualí durante el período comprendido entre enero a diciembre de 2024. A) Dispersión entre enero y junio. B) Dispersión entre julio y diciembre.

Con respecto al seguimiento de anomalías térmicas, a través de los portales web MIROVA, NASA FIRMS, MOUNTS y MODVOLC, se obtuvieron varios reportes de anomalías térmicas en el fondo del cráter Arenas, principalmente, con niveles de energía de bajo a moderado. Es importante resaltar el incremento de las anomalías con niveles de energía moderado durante los primeros cuatro meses del 2024 (figura 13), siguiendo la tendencia que se venía observando desde septiembre del año 2023. En este período también se tuvo el reporte, a través de los portales MIROVA y MODIS, de las anomalías con los valores máximos observados en el fondo del cráter desde el 2019. Los valores máximos en el portal MIROVA fueron de 39 MW los días 29 de enero y 23 de marzo y 42 MW el 15 de febrero y, en el portal MODIS fue de 36 MW el 23 de enero.

En el monitoreo de la evolución del domo de lava en el fondo del cráter Arenas, que se realiza a través del seguimiento y análisis de las imágenes de TerraSAR-X, no se apreciaron cambios importantes en la estructura superficial del domo durante el 2024 (figura 14). La geoforma del domo continúa siendo irregular lo que permite inferir que no se han presentado nuevos aportes de material magmático a niveles más superficiales.



Figura 11. Fotografías de la columna de gases y ceniza en el cráter Arenas capturadas durante el año por las cámaras instaladas en los sectores cañón de río Azufrado, Gualí, y sede SGC Manizales.

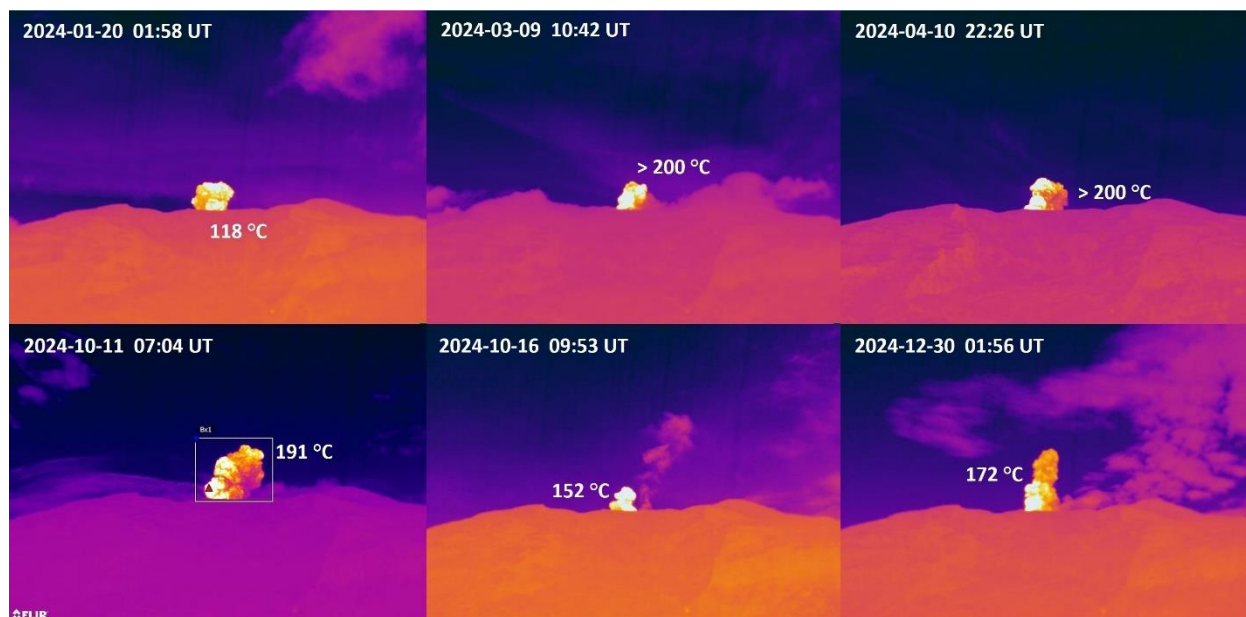


Figura 12. Imágenes termográficas de la columna de gases y ceniza obtenidas mediante la cámara FLIR instalada, a aproximadamente 4 km al nororiente del cráter Arenas, en el sector del cañón del río Azufrado.

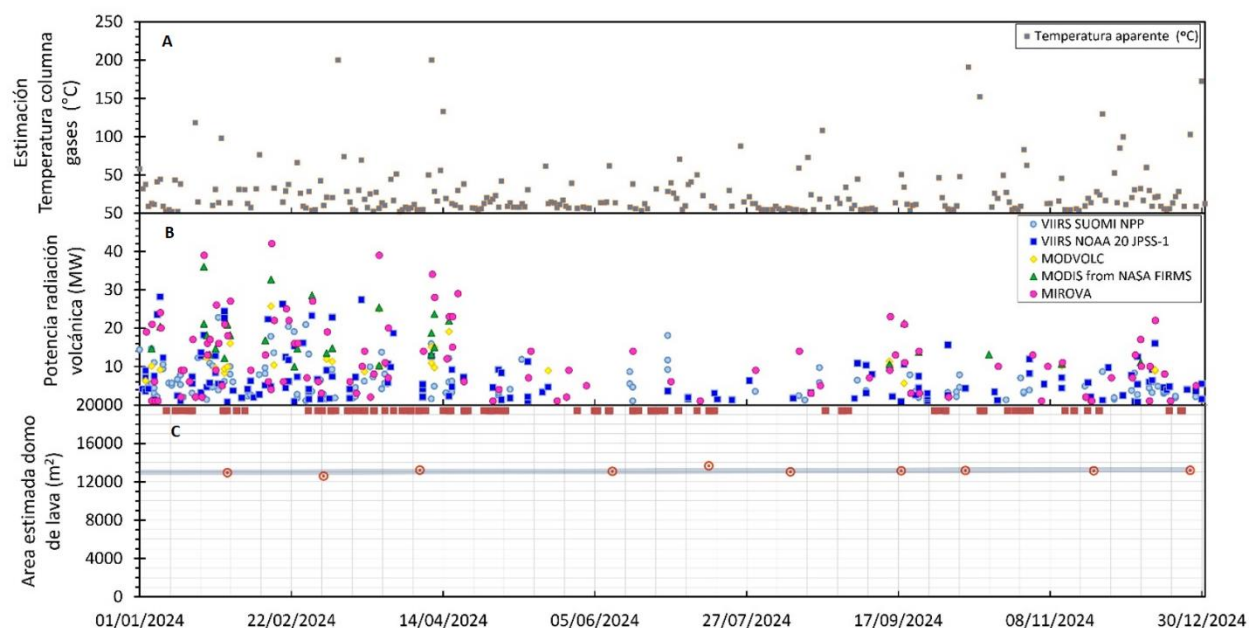


Figura 13. Series de tiempo de datos de algunos parámetros geofísicos de carácter superficial monitoreados en el VNR durante el 2024: A) Temperatura aparente del material emitido durante emisiones de gases y ceniza. B) Anomalías térmicas reportadas en los diferentes portales web y C) Área estimada del domo de lava en el fondo del cráter Arenas y sismicidad tipo *drumbeat* registrada.

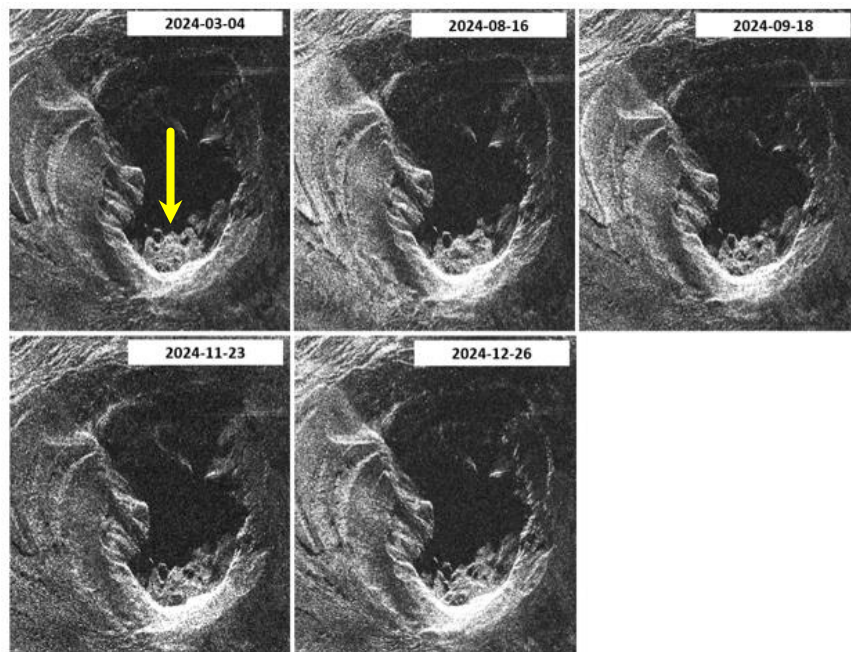


Figura 14. Evolución del domo de lava en el fondo del cráter Arenas durante 2024. Imágenes TerraSAR-X, la flecha de color amarillo señala el domo de lava.

Fuentes termales. El monitoreo de las manifestaciones hidrotermales no mostró variaciones significativas durante las mediciones realizadas en el 2024. Los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y temperatura) se mantuvieron constantes (figura 15) de igual manera, no se registraron cambios en la composición química relacionada con la concentración de aniones (cloruros, sulfatos y bromuros) (figura 16).

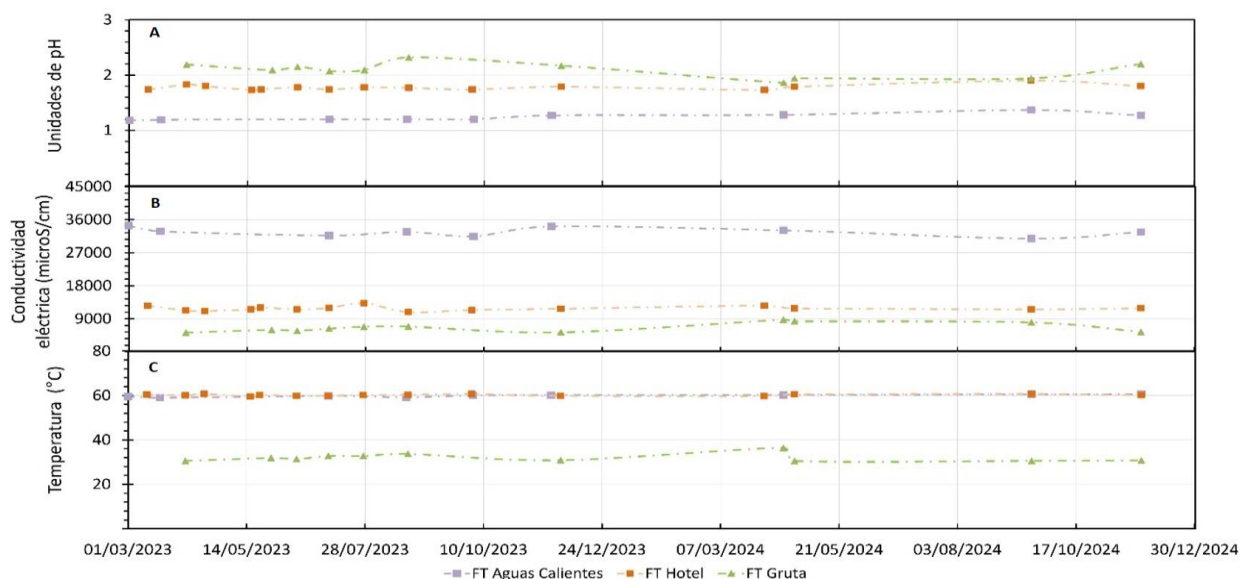


Figura 15. Series de tiempo de datos de parámetros fisicoquímicos en fuentes termales sector noroccidente del 2023 a 2024.

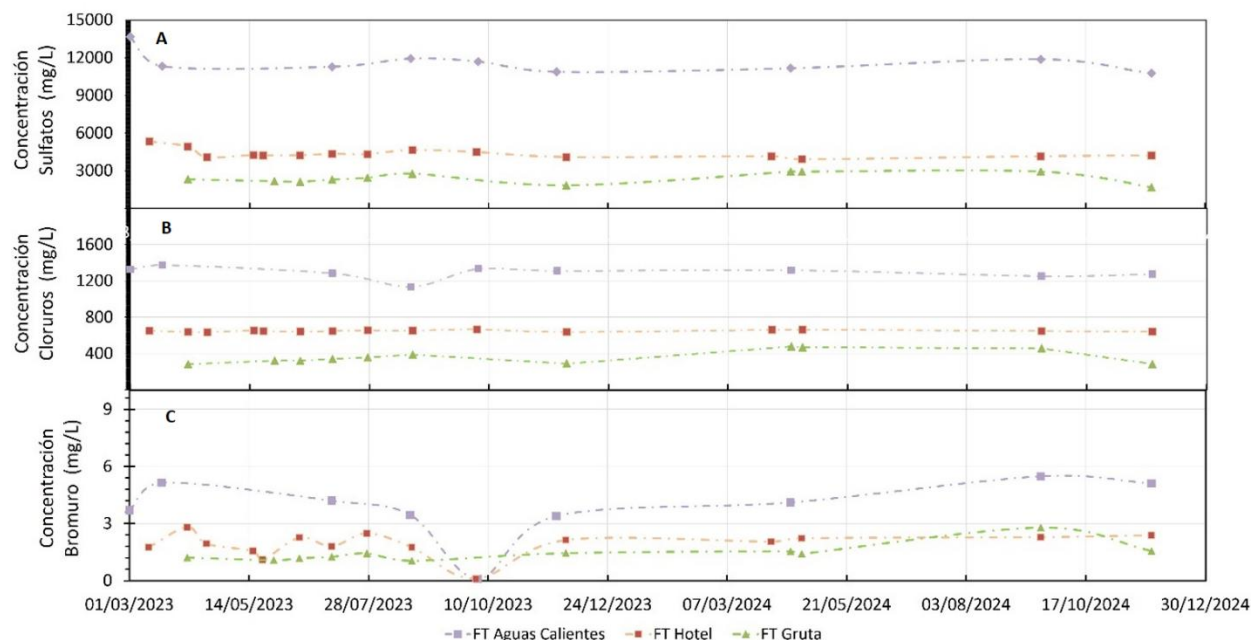


Figura 16. Series de tiempo de datos de la composición química en fuentes termales sector noroccidente del 2023 a 2024.

Geología. El análisis de granulometría y componentes de las emisiones de ceniza del VNR durante el año 2024, se efectuó a partir de muestras colectadas a una distancia entre 2 km-10 km respecto a la fuente de emisión (cráter Arenas). Los conteos (porcentaje volumétrico) y la descripción de las propiedades físicas de los componentes se realizó a escala macroscópica a través del estereoscopio (Zeiss, Discovery V8).

En general los constituyentes presentan una variación volumétrica en el porcentaje relativo de componentes (figura 17) de cristales libres (30 % - 75 %), vidrio translúcido a gris denso (5% - 35 %), vidrio negro a pardo denso (3 % - 20 %), Vidrio negro vesiculado (0 % - 1 %), vidrio vesiculado blanco (0 % - 3 %), vidrio negro a pardo bajo en vesículas (0 % -3 %), vidrio gris o pardo alto en vesículas (0 % - 1 %), fragmentos líticos frescos (1 % - 16 %) y líticos alterados (0 % - 5 %).

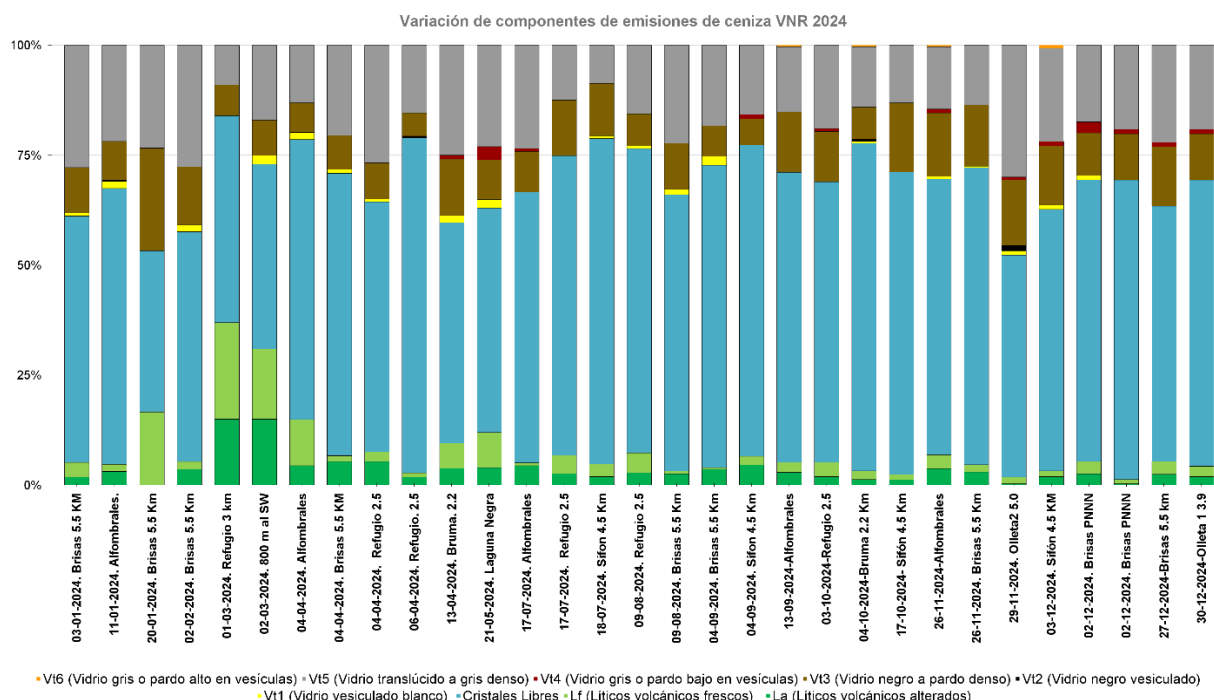


Figura 17. Diagrama con la variación en el porcentaje volumétrico de componentes para muestras de las emisiones de ceniza del VNR durante el año 2024. Las distancias de los sitios de muestreo son referidas respecto al cráter Arenas.

Los cristales libres son predominantemente de plagioclasa, ortopiroxeno y cantidades accesorias de biotita, clinopiroxeno y magnetita. En general, las emisiones de ceniza se caracterizaron por presentar un tamaño de grano predominante entre ceniza media a muy fina (2ϕ a 4ϕ), de moderada a pobremente seleccionada y de composición predominante de cristales, vidrio y líticos.

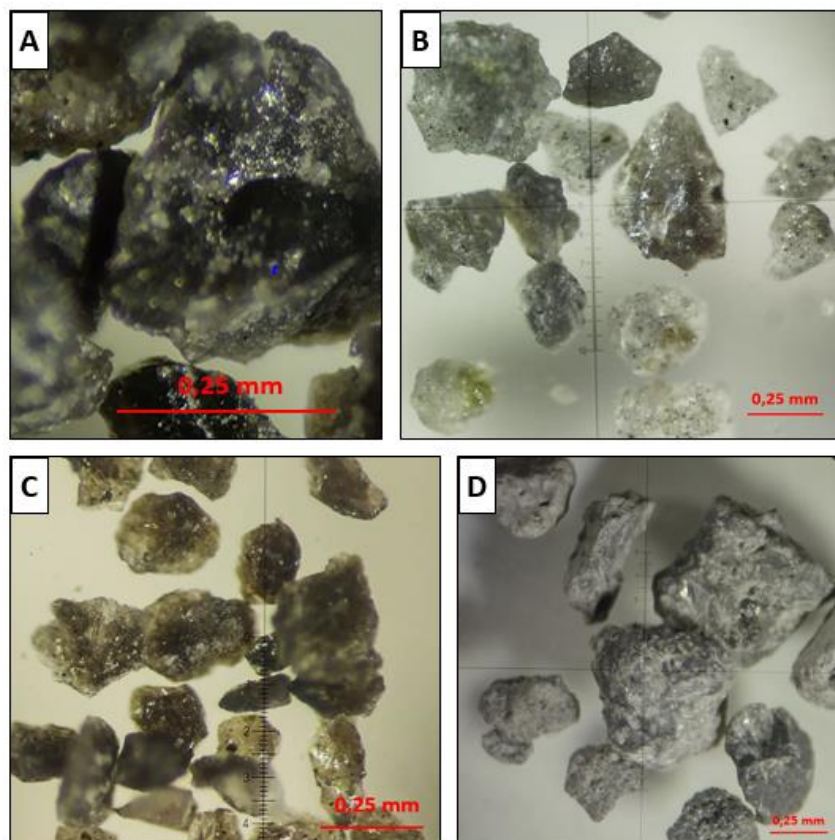


Figura 18. Fragmentos potencialmente juveniles vistos a través del Estereoscopio. A) Vidrio negro bajo en vesículas. B) Vidrio traslucido a gris denso. C) Vidrio traslucido a pardo denso. D) Líticos frescos.

Los fragmentos líticos frescos son de color gris, de morfologías subangulares a angulares y de textura afanítica a porfírica. Los fragmentos líticos alterados presentan variaciones texturales y de color, algunos fragmentos presentan, óxidos de hierro, sulfuros diseminados y alto contenido de arcillas.

Los mecanismos de generación de los fragmentos potencialmente juveniles (figura 18) pueden corresponder a la fragmentación de la parte superior del domo preexistente y ascenso de nuevos pulsos de magma impulsado por descompresión lenta durante la cristalización y la liberación de gases disueltos. Los análisis granulométricos y análisis composicionales de los componentes durante el 2024 muestran bajo aporte de líticos alterados lo que posiblemente podría indicar que en los procesos de fragmentación de ceniza el aporte de las paredes del conducto del edificio volcánico fue mínimo. La ceniza emitida tiene su origen en la refragmentación de parte del domo emplazado en el 2015 y la interacción con los pequeños pulsos de magma ascendente.

Actividad sísmica asociada a la dinámica glaciar. La sismicidad relacionada con la dinámica del glaciar que cubre la parte alta del volcán se continuó registrando durante el 2024. Los niveles de esta sismicidad aumentaron significativamente respecto al año 2023.

2.1.4. Análisis y conclusiones

El análisis de la actividad sísmica, tanto la asociada a dinámica de fluidos como la volcano-tectónica, registrada en el VNR durante el 2024 permite establecer la continuidad de procesos como la degasificación del domo de lava y el posible ascenso de pequeños baches de material magmático que podrían adherirse a la raíz del domo e interactuar con el sistema hidrotermal. Este fenómeno puede estar relacionado con la actividad observada en fuentes sísmicas superficiales (< 2 km de profundidad), el cráter, y zonas epicentrales que no distan más de 5 km del cráter.

Otros parámetros analizados como las fluctuantes emisiones de SO_2 a la atmósfera, la temperatura aparente del material emitido, el número de emisiones de ceniza y la altura de la columna de gases y ceniza, en promedio conservan valores similares a los observados en años anteriores. Además, se observa un comportamiento establece que se aprecia en otras variables geoquímicas evaluadas en las fuentes termal refuerza la hipótesis derivada del comportamiento sísmico.

La deformación observada en el CVNR para el año 2024, considerando el período completo entre 2019 y 2024, fue modelada utilizando el software DModels (Battaglia et al., 2013). El mejor ajuste se obtuvo para una fuente esférica ubicada a 10 km al suroccidente del CVNR, a una profundidad de 15 km, justo debajo del Complejo de Domos de Santa Isabel (CDNSI) (figura 19). Cabe resaltar que, aunque esta fuente no se localiza directamente bajo el VNR, la inflación asociada a ella comenzó en 2012 (Lundgren et al., 2015) y concluyó en 2018, un período caracterizado por alta actividad volcánica y la extrusión de un domo de lava en el cráter Arenas (Ordoñez et al., 2022). La fase de deformación más reciente (2019–2024), también está asociada a la misma fuente profunda (Ordoñez et al. 2024), lo que sugiere la persistencia de un sistema magmático activo en profundidad que continúa aportando energía y material al sistema volcánico superficial.

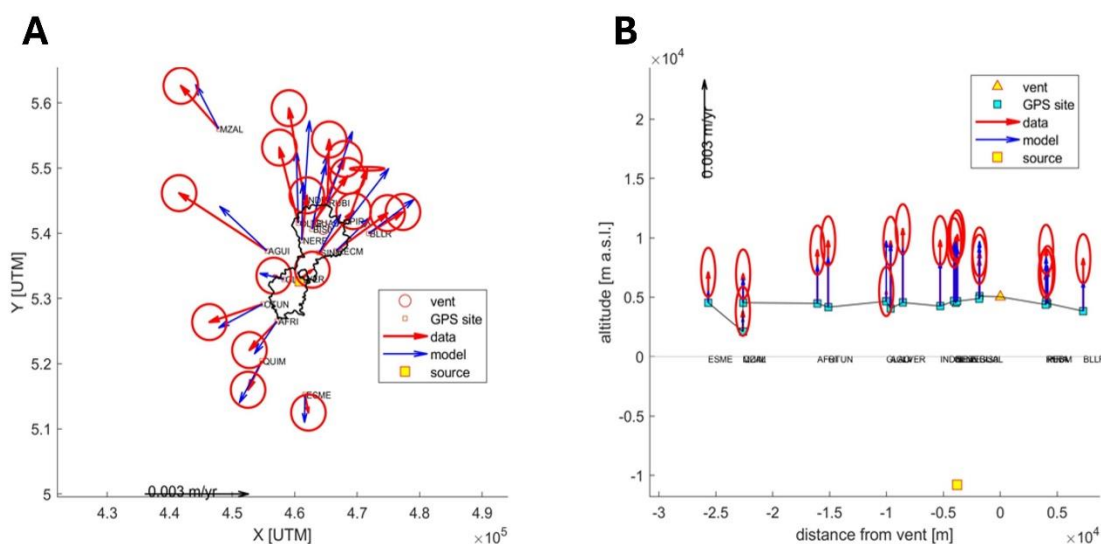


Figura 19. A. Vectores de velocidad (rojo) y vectores de mejor ajuste (azul) para una fuente esferoidal para el período 2019 – 2024. La fuente se representa por un cuadro de color amarillo ubicada justo debajo del CDNSI.

Esta dinámica interna del volcán se refleja en los procesos de desgasificación y en la generación de emisiones de ceniza observadas en los últimos años.

A partir de los resultados de los análisis de componentes de las emisiones de ceniza se proponen como posibles mecanismos de generación de esta:

1. El fracturamiento del domo de lava (2015-2017) y de las paredes del conducto relacionada con los cambios de presión de gases que circulan a través de los conductos volcánicos, y
2. La fragmentación magmática cerca de la superficie, en un régimen frágil, de pequeños cuerpos o baches de magma desgasificado.

El carácter variable en la intensidad de la actividad volcánica observado desde 2019 puede interpretarse como el resultado de cambios en la permeabilidad del domo de lava ubicado en el fondo del cráter Arenas, debidos a la apertura o cierre temporal de pequeñas grietas o conductos. Este proceso estaría controlado por la conectividad de las burbujas de gas, que actúan como vías de desgasificación a través del magma poco profundo, permitiendo una desgasificación pasiva. Las fluctuaciones en el flujo de SO₂ evidencian, en general, una desgasificación persistente; sin embargo, es importante tener en cuenta que la liberación de gases a través de un domo permeable podría verse interrumpida por la acumulación de burbujas y la consecuente presurización del sistema, lo que conllevaría a desencadenar un proceso eruptivo de mayor magnitud.

2.2. Volcán Cerro Machín

2.2.1. Generalidades

El volcán Cerro Machín (VCM) con una altura 2750 m s.n.m. está localizado en el flanco oriental de la cordillera Central de Colombia (4° 29' N y 75° 22' W), a 7 km al nororiente del municipio de Cajamarca, 17 km al noroccidente de la ciudad de Ibagué, 30 km al oriente de la ciudad de Armenia y 150 km al suroccidente de Bogotá D.C.

El VCM corresponde a una estructura de un cono volcánico complejo domo-anillo piroclástico (figura 20) de composición dacítica (cf. Cepeda *et al.*, 1996; Méndez *et al.*, 2002), localizada en la parte sur del Segmento Volcánico Norte de Colombia. Este volcán tiene un cráter de 2,4 km de diámetro con una morfología de colapso hacia el sector suroriental. En el centro del cráter presenta un complejo de domos de lava de composición dacítica con actividad fumarólica en la cima. El VCM se encuentra en la intersección de sistemas de fallas en dirección nororiente-suroccidente y noroccidente-suroriental. Osorio *et al.* (2008) sugirió una estrecha relación entre la Falla de Ibagué y el VCM.



Figura 20. Fotografía Volcán Cerro Machín. Tomada por John Makario Londoño Bonilla.

La historia eruptiva del VCM es menor a 50 millones de años (ka) durante el Pleistoceno presentó actividad explosiva, edades radiométricas ^{14}C asociadas de 47100 ± 2400 , 20445 ± 210 años, 12185 ± 200 B. P. y 10885 ± 95 B. P. han sido reportadas en depósitos de corrientes de densidad piroclástica concentrada (Cepeda et al., 1996; Méndez, 2001). Durante el Holoceno se han generado seis períodos eruptivos (cuatro plinianos y dos por colapso de domos). Las erupciones plinianas ocurridas alcanzaron un VEI de 5 con columnas eruptivas de más de 32 km de altura, generación de depósitos de caídas piroclásticas con acumulaciones de más de 10 cm de espesor (a distancias de hasta 50 km), corrientes de densidad piroclástica (e.g. Cepeda et al., 1996; Méndez et al., 2002; Rueda, 2005) y grandes volúmenes de depósitos de lahares (flujos de escombros e hiperconcentrados) que cubrieron un área de más de 1000 km² hacia el oriente del volcán en el valle del río Magdalena (e.g. Cortés, 2001; Murcia et al., 2008, 2010; Cortés-Jiménez, 2020). Estas erupciones afectaron poblaciones prehispánicas en los alrededores del volcán (Cano et al., 2015).

El mapa de amenaza del volcán Cerro Machín del año 2002 en su visualización traducida puede consultarse en el enlace: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanCerroMachin/Documents/Mapa-Amenaza-Volcanica-ZonifacionVolc-Cerro-Machin.pdf>

2.2.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del Volcán Cerro Machín (VCM) está constituida por un total de 26 sensores, correspondientes a diferentes técnicas de monitoreo como sismología, geofísica, deformación, geoquímica y actividad superficial. De estos, 12 sensores se encuentran distribuidos en las siete estaciones multiparámetro instaladas directamente en el volcán (figura 21 y tabla 3).

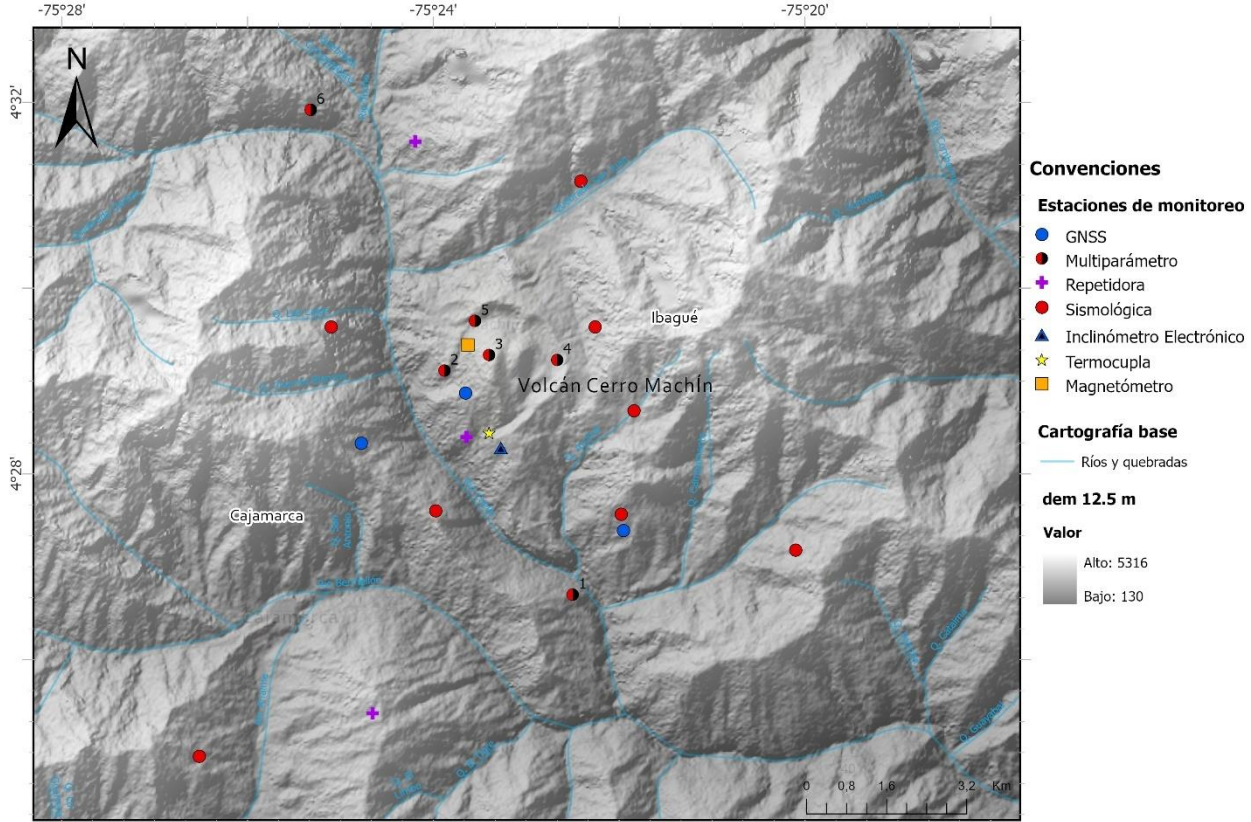


Figura 21. Mapa de estaciones del volcán Cerro Machín.

Tabla 3. Estaciones de monitoreo multiparámetro instaladas en el volcán Cerro Machín

No. ESTACIONES	ESTACIÓN	TIPO	SENSORES INSTALADOS	SENSORES INSTALADOS	TOTAL DE SENSORES POR ESTACIÓN
1	ANILLO	Multiparámetro	Sísmica Banda Ancha, inclinómetro	2	2
2	LAGUNA	Multiparámetro	GNSS, sísmica banda ancha, inclinómetro, meteorológica, flujo CO2, concentración CO2	6	4
3	LAJAS	Simple	Sísmica corto período	1	1
4	TAPIAS	Simple	Sísmica Banda Ancha	1	1
5	TOCHE	Multiparámetro	Sísmica Banda Ancha, Cámara web	2	2
6	TIGRE	Simple	Sísmica corto período	1	1
7	SAN LORENZO	Simple	Sísmica corto período	1	1
8	SAN JUAN	Simple	Sísmica corto período	1	1
9	MORAL	Simple	Sísmica corto período	1	1

10	MORAL2	Simple	GNSS	1	1
11	SILENCIO	Simple	Sísmica corto período	1	1
12	CIMA	Multiparámetro	Sísmica corto período, inclinómetro	2	2
13	SANTA MARTA	Simple	Sísmica corto período	1	1
14	ALEJANDRIA	Multiparámetro	Sísmica Banda Ancha, Radón	2	1
15	EL RODEO	Multiparámetro	GNSS, inclinómetro	2	1
16	AGUAS CALIENTES	Simple	inclinómetro	1	1
17	LA SECRETA	Simple	GNSS	1	1
18	SANTA ANA	Simple	GNSS	1	1
19	ESTATUAS	Simple	Termocupla	1	1
20	DOMO	Simple	Magnetómetro	1	1
Total				30	26

2.2.3. Actividad volcánica

La actividad del VCM, desde que se empezó su monitoreo (1987), ha estado caracterizada predominantemente por variaciones en la sismicidad asociada a procesos de fracturamiento de roca o volcano-tectónica (VT), que se ha localizado predominantemente en sectores proximales a la cima del volcán, a distancias menores de 3 km desde su parte central, y en menor proporción en zonas distales, ubicadas a distancias de hasta 9 km respecto a la cima. Desde marzo de 2018 estos eventos sísmicos se han concentrado principalmente en la zona correspondiente al domo principal y su flanco suroccidental (SW) (desde el occidente hasta el sur), con distancias menores a 2,5 km respecto a la cima, como lo describen Castaño-López et al., 2025.

Durante el 2024 continuó el registro continuo de la sismicidad tipo VT (figura 22A) en el área de influencia del VCM, con un valor similar en el número total de eventos registrados y un aumento en la energía sísmica liberada, respecto a lo reportado para el año inmediatamente anterior. Se destaca la ocurrencia de siete períodos de incremento en la actividad sísmica en sectores proximales al edificio volcánico (figura 22A), durante los cuales se registraron días con más de 90 eventos diarios, sin embargo estas tasas diarias son bajas para el histórico de este volcán. La sismicidad registrada durante los dos incrementos ocurridos durante enero de 2024, del 6 al 9 de enero y del 14 al 17 de enero, se localizaron en fuentes proximales al domo principal, a 1 km en dirección occidental y suroccidental, y profundidades de 2 km a 3 km, entre la sismicidad registrada durante estos días se destaca la ocurrencia de un sismo de magnitud 2,0 ML, ubicado 1 km al suroccidente de la cima y a 3 km de profundidad.

El 23 de marzo se registró la actividad sísmica de mayor aporte energético del año (figura 22B), asociada a la ocurrencia de dos eventos de magnitudes 4,2 ML y 4,0 ML, ocurridos a las 07:25 UTC (02:25 a. m. hora local) y las 07:30 UTC (02:30 a. m. hora local), respectivamente (figura 22C). Estos eventos se localizaron 1 km al suroccidente de la cima, a 3 km - 4 km de profundidad y fueron reportados como sentidos por habitantes de los municipios de Cajamarca e Ibagué (Tolima), y Armenia, Montenegro y Calarcá (Quindío). Únicamente 11 eventos sísmicos de magnitudes mayores a 4 han sido registrados durante los últimos 25 años en este volcán, todos ubicados en la zona proximal a menos de 2 km de la cima, cinto de estos bajo el domo en su costado occidente-suroccidente, por lo que la ocurrencia de estos dos eventos a niveles poco profundos constituye un suceso a destacar durante la actividad sísmica de 2024. Estos eventos desencadenaron un incremento sísmico de 278 eventos de sismicidad VT de bajo aporte energético,

donde la mayor magnitud alcanzada fue de 2,1 ML para un sismo ocurrido a las 07:26 UTC en la misma fuente sismogénica. No se detectaron cambios, en otros parámetros monitoreados, asociados al incremento.

Durante los períodos de incremento de sismicidad de los días 4 de mayo, 12 a 13 de junio y 13 de septiembre los eventos se localizaron 1 km al suroccidente y al occidente de la cima a 2 km - 4 km de profundidad. Finalmente, el 18 de septiembre, el día con el mayor número de eventos del año con un total de 335, la sismicidad se localizó en dos fuentes sismogénicas, principalmente bajo el domo a 4 km - 5 km de profundidad y al occidentesuroccidente, con profundidades entre 2 km y 4 km. Además, cinco eventos de tipo VT que presentaron magnitudes iguales o mayores a 2,0 (figura 22) fueron registrados los días: 7 de enero (2,0 ML), 23 de febrero (2,0 ML), 23 de marzo (2,1 ML), 13 de junio (2,3 ML) y 13 de septiembre (2,2 ML).

La distribución de las localizaciones de la sismicidad VT del año se concentró principalmente en los sectores proximales occidente, occidentesuroccidente, suroccidente, sursuroccidente y sur del edificio volcánico (figura 23), a distancias menores de 2 km del domo principal. Estas localizaciones tienden a profundizarse hacia la parte central del domo principal, mientras que los sismos más superficiales se ubican hacia el límite occidental de la fuente sismogénica. De igual manera, se observa una incipiente linealización de la geometría de la fuente en dirección noroccidente-suroriente sobre el borde suroccidental del domo.

En menor proporción, algunos eventos sísmicos se localizaron de manera dispersa, a distancias mayores a 2 km de su parte central en los diferentes flancos del volcán. El rango de profundidades de estos eventos varió entre 1 km y 10 km (figura 23).

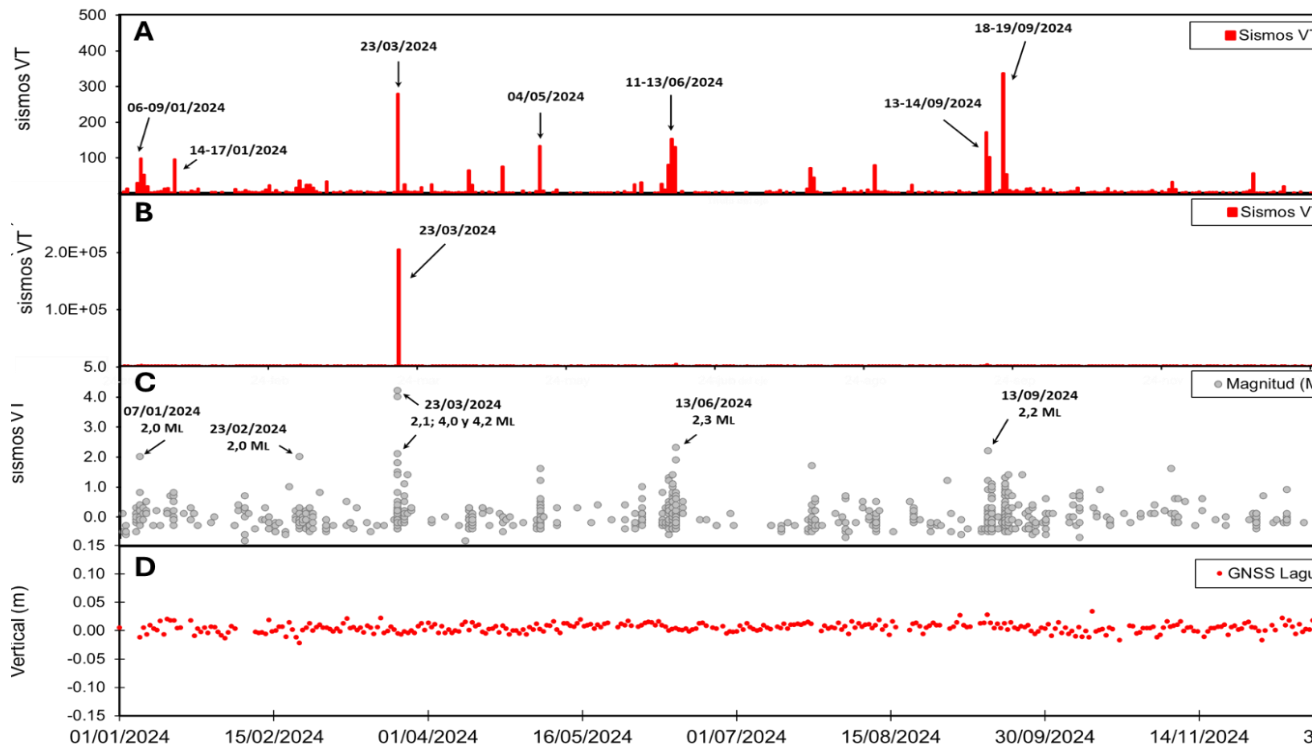


Figura 22. Gráfica multiparámetro del VCM durante 2024: A) Número de sismos VT diarios registrados. B) Raíz de la energía sísmica liberada. C) Magnitud local (ML) de sismos VT localizados. D) Componente vertical de la estación GNSS Laguna de la red de deformación volcánica.

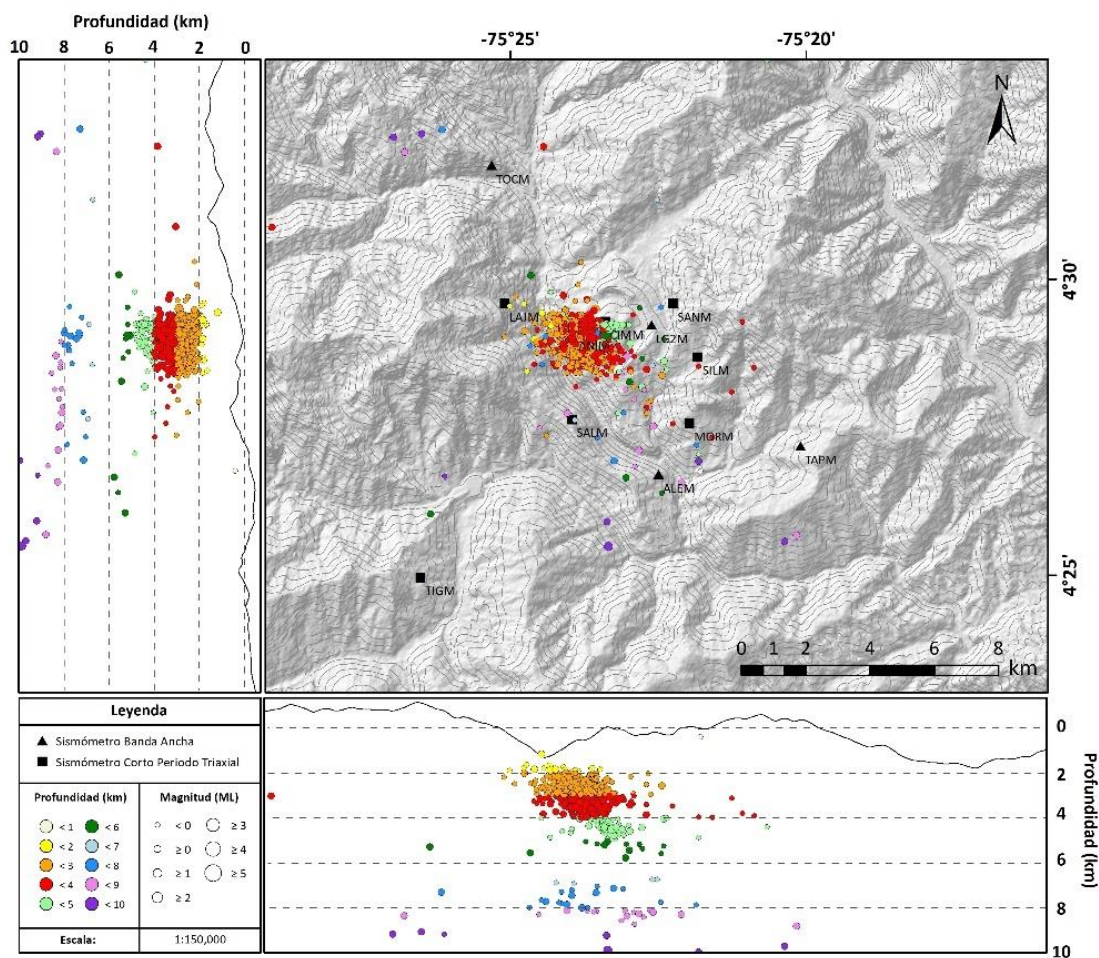


Figura 23. Mapa de localización de la sismicidad VT en el VCM durante el año 2024.

Los datos de las estaciones de la red de deformación del VCM no detectaron deformación del edificio volcánico. En la figura 22D se presenta la componente vertical de la estación GNSS Laguna mostrando un comportamiento estable.

El monitoreo de algunas manifestaciones hidrotermales en el VCM, durante el 2024, permitió determinar un comportamiento estable en los parámetros fisicoquímicos de pH, conductividad eléctrica y temperatura (figura 24). Por otra parte, no se observaron variaciones en el contenido de los iones mayoritarios de cloruros y sulfatos de las fuentes termales Estatuas, Piscina y Toche (figura 25). La termocupla de la fuente termal Estatuas, con transmisión de datos telemétricos, registró valores promedios entre 87,1 °C y 87,6 °C, los cuales se mantienen dentro de las líneas base que se tienen para el volcán desde años anteriores (figura 26).

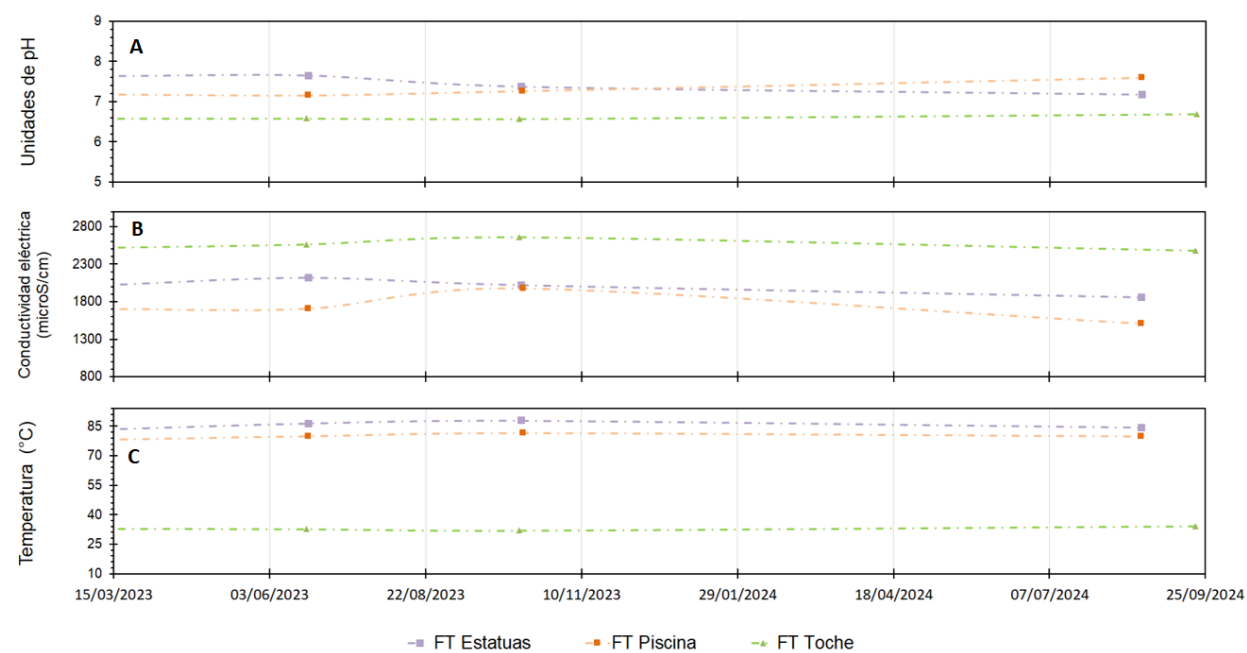


Figura 24. Series de tiempo de datos de parámetros fisicoquímicos en fuentes termales del VCM, período 2023 al 2024.

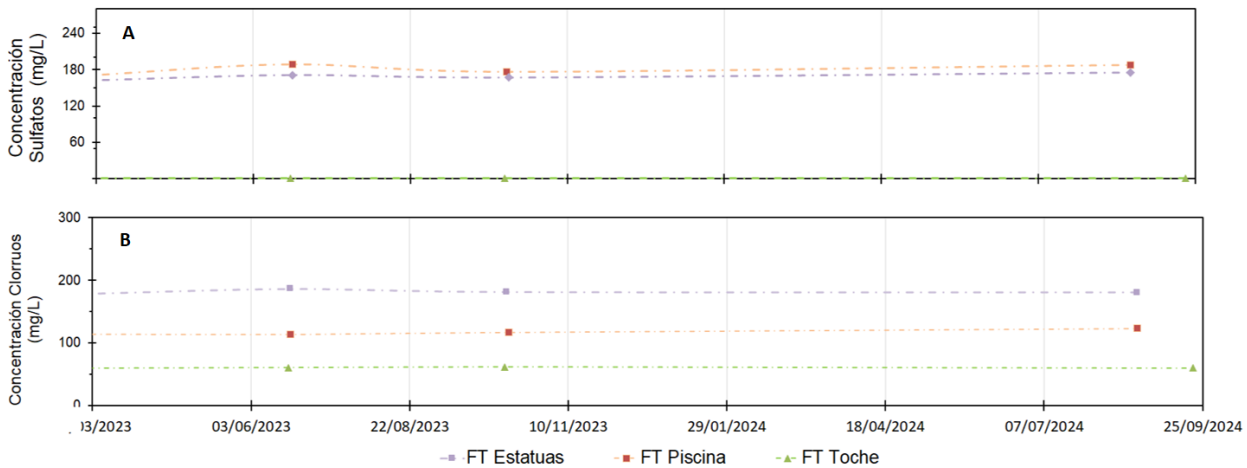


Figura 25. Series de tiempo de datos de la composición química de las fuentes termales del VCM, período 2023 al 2024.

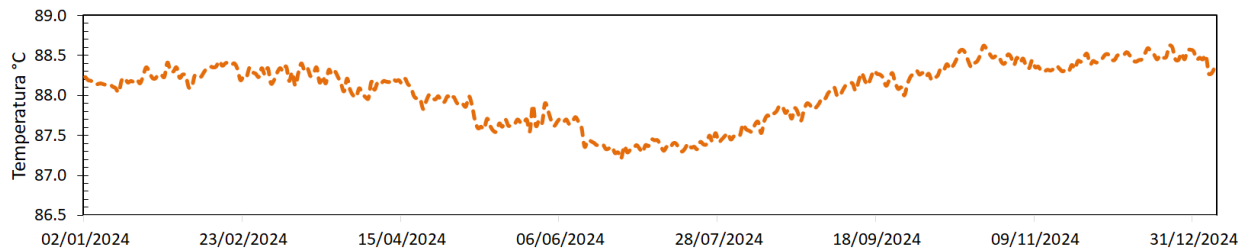
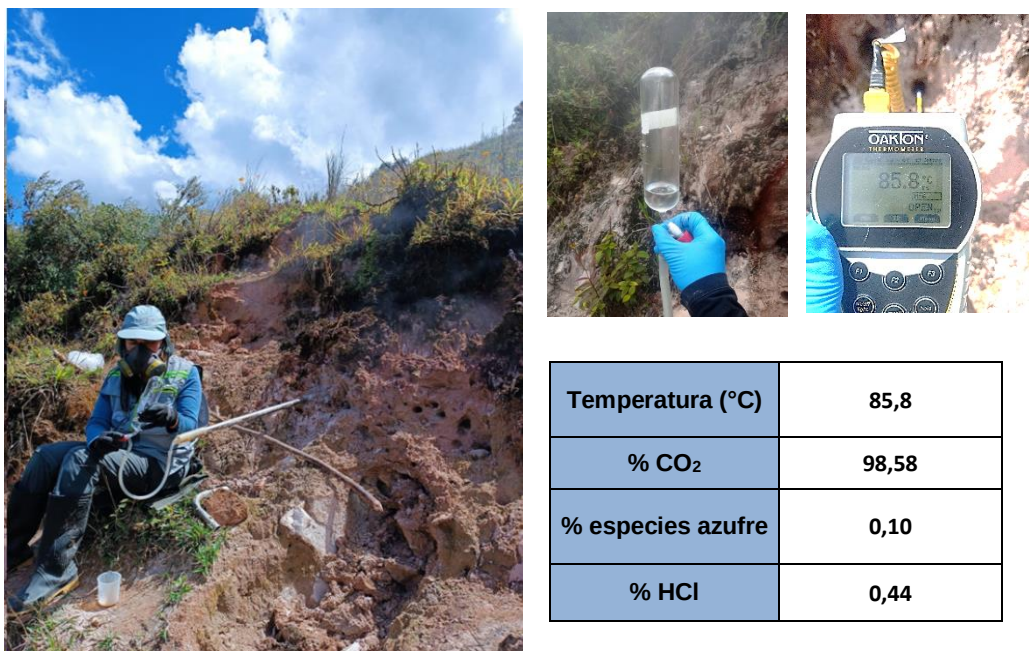


Figura 26. Series de tiempo de la temperatura en las fuentes termales de Estatuas, durante el 2024.

El seguimiento de la composición química de los gases emitidos en el campo fumarólico La Macha permitió establecer estabilidad en las medidas del dióxido de carbono (CO₂), éste continúa siendo el gas predominante en las descargas con un porcentaje superior al 98 %, la temperatura en la fumarola fue de 85,8 °C. Se observa el campo fumarólico La Macha y el proceso de toma de muestras con botellas de vidrio al vacío tipo *Giggenbach* (figura 27).



Temperatura (°C)	85,8
% CO ₂	98,58
% especies azufre	0,10
% HCl	0,44

Figura 27. Monitoreo de gases en campo fumarólico La Macha, VCM.

En cuanto a los procesos de desgasificación difusa de CO₂, el VCM tiene zonas de anomalías importantes de flujo de CO₂ que han sido monitoreadas realizando campañas de medición con equipo flujómetro portátil. En el 2024 se inició con mayor detalle el estudio de la zona La Laguna ubicada en el cráter del volcán, la cual tiene algunas anomalías de importancia para el seguimiento de la desgasificación difusa.

En la figura 28 se aprecian las mediciones realizadas en este sector, durante las tres campañas realizadas se identificaron zonas de anomalías que alcanzan concentraciones de CO₂ por encima de 10000 ppm, teniendo en cuenta que el valor medio en ambiente es de 350 ppm y flujos superiores a 750 (mol/m²/día). El SGC continuará realizando monitoreo en esta zona y en otras que presentan alta desgasificación como el sector Primavera y en inmediaciones de la fumarola La Macha.

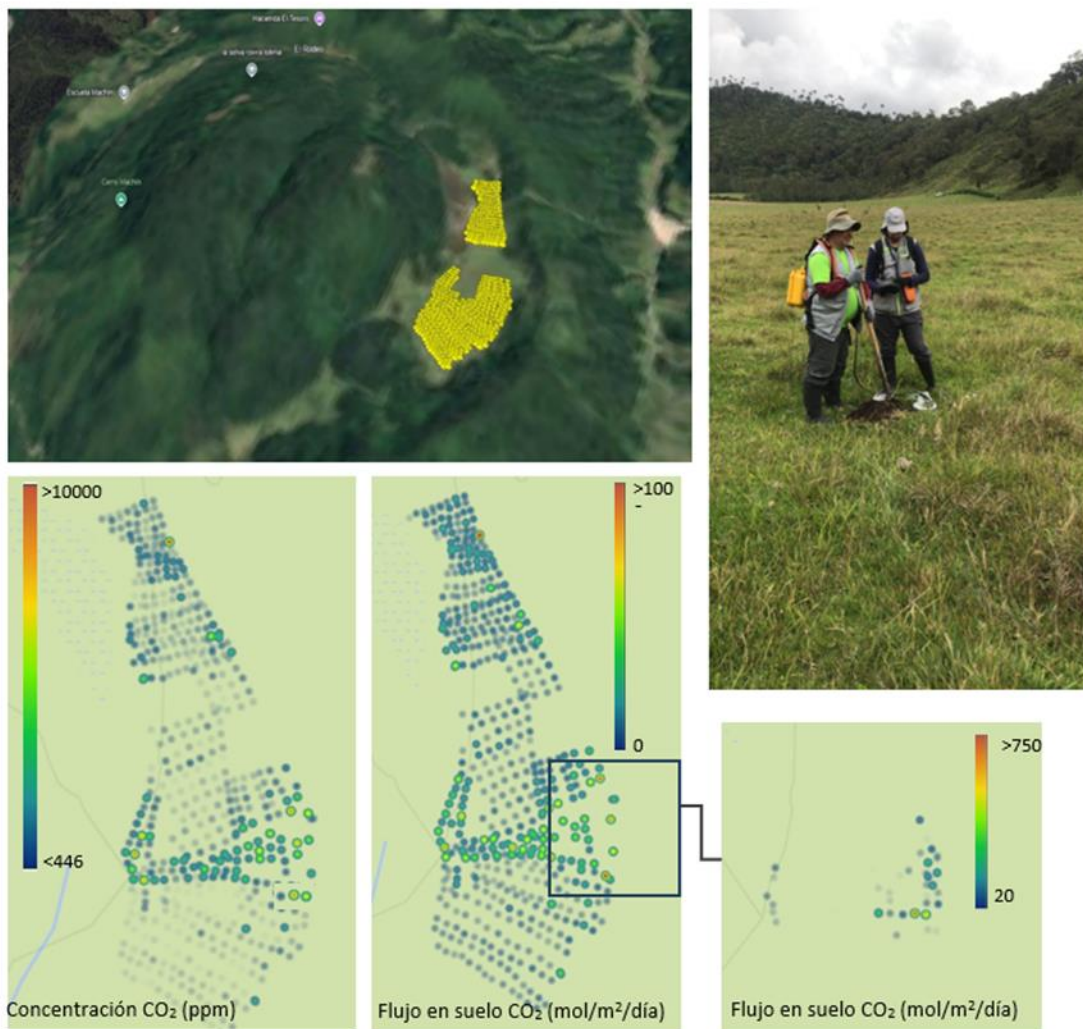


Figura 28. Campañas de medición de concentración y flujo de CO₂ difuso en suelo realizadas en el sector Laguna, VCM.

2.2.4. Análisis y discusión

Durante el año 2024 la actividad del volcán Cerro Machín continuó mostrando variaciones importantes especialmente en la energía sísmica de la sismicidad asociada con procesos de fracturamiento de roca bajo el domo principal y el flanco suroccidental de la estructura volcánica. Aunque variaciones en el número de eventos sísmicos registrados y en su aporte energético han sido continuos desde que el cambio a nivel de alerta Amarilla se destaca para el período evaluado el incremento sísmico del 23 de marzo de 2024, durante el cual se generaron dos sismos con magnitudes importantes, de 4,2 ML y 4,0 ML a 1 km de distancia de la cima del volcán hacia el suroccidente y a 3 km - 4 km de profundidad. Teniendo en cuenta que únicamente 11 eventos sísmicos de magnitudes mayores a 4 han sido registrados en los últimos 25 años en la zona proximal del VCM, la ocurrencia de estos eventos marca un hecho importante dentro del análisis continuo en la actividad volcánica del VCM. Aunque no se detectaron cambios asociados en otras técnicas de monitoreo durante la ocurrencia de estos eventos y la localización de la sismicidad en los últimos años no ha mostrado tendencias claras de migración hasta el momento, se mantiene especial atención en la evolución de la actividad volcánica.

La evaluación integral de los diferentes parámetros monitoreados en el volcán, donde la sismicidad VT y las altas tasas de desgasificación difusa de CO₂ son componentes relevantes en la actividad, muestra que las variaciones observadas están contempladas dentro del estado de alerta Amarilla en que permanece el volcán e indica cambios en su comportamiento que a la fecha no manifiestan un proceso eruptivo latente.

2.3. Volcán Nevado de Santa Isabel

2.3.1. Generalidades

El volcán Nevado de Santa Isabel se localiza entre los departamentos de Caldas y Tolima (4° 48' N y 75° 22' W), a 32 km al suroriente de Manizales. La cima de esta estructura volcánica alcanza una altura de 4965 m.s.n.m. y está cubierta por un casquete glaciar.

CHEC S.A. (1983) lo describió como un estratovolcán con un gran edificio alargado en dirección del eje volcánico nornoriente-sursuroccidente e Ingeominas-Carder (1993) como un conjunto de domos y domos coladas ubicado en la intersección de los sistemas de Fallas de Palestina y Salento, al que denominó Complejo del Domos de Santa Isabel, incluyendo los volcanes más septentrionales del Complejo Volcánico Cerro España por su similitud. El retroceso glaciar en el Complejo del Domos de Santa Isabel (figura 29) ha expuesto al menos cuatro picos que corresponden a pequeños edificios volcánicos y domos desarrollados sobre antiguas estructuras volcánicas.



Figura 29. Vista panorámica del flanco occidental del complejo de domos de Santa Isabel, sector central, cabecera del glaciar Conejeras. Tomada por Julián Andrés Ceballos.

El Complejo de Domos de Santa Isabel es considerado activo porque presenta productos del Holoceno y actividad sísmica asociada (Monsalve-Bustamante, 2020). El mapa de amenaza del volcán Nevado de Santa Isabel (Complejo Volcánico de Domos) del año 1992 con su versión actualizada en visualización año 2007, puede consultarse en el siguiente enlace:

https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadodeSantalsabel/Documents/MAPA_AMENAZA_NEVADO_SANTA_ISABEL_60ppp.pdf

2.3.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Nevado de Santa Isabel está conformada por dos estaciones multiparámetro, una estación GNSS, una estación de inclinometría y una de flujo de CO₂, a través de las cuales se realiza el monitoreo directo de esta estructura volcánica. Adicionalmente, mediante las estaciones instaladas en estructuras volcánicas vecinas, se lleva a cabo un seguimiento indirecto y permanente de este complejo volcánico (figura 30 y tabla 4).

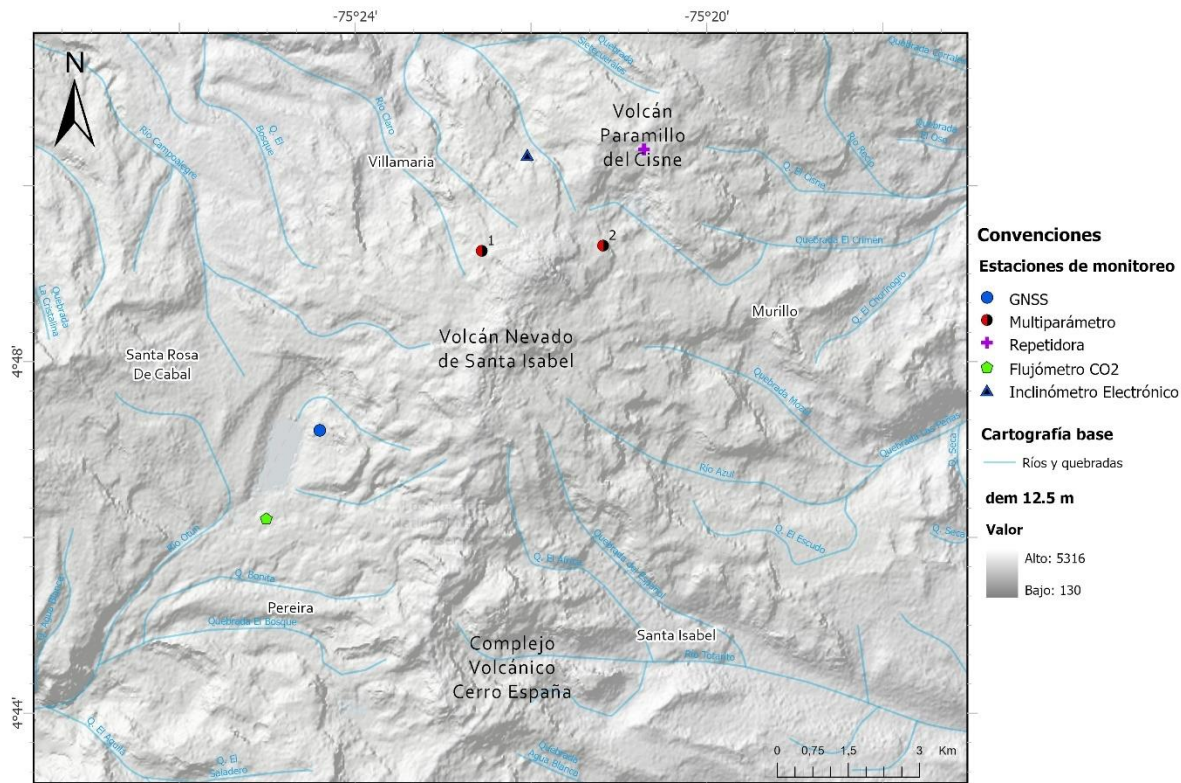


Figura 30. Mapa estaciones instaladas en el volcán Nevado de Santa Isabel.

Tabla 4. Estaciones de monitoreo con cada uno de los sensores instalados en ella.

No. ESTACIONES	ESTACIÓN	TIPO	SENSORES INSTALADOS	SENSORES INSTALADOS	TOTAL DE SENSORES POR ESTACIÓN
1	GLACIAR	Multiparamétrico	Inclinómetro electrónico, GNSS, sísmica banda ancha	3	3
2	SANTA ISABEL	Simple	Inclinómetro electrónico	1	1
3	LAGUNA VERDE	Multiparamétrico	Sísmica corto período, GNSS	2	2
4	OTÚN	Simple	GNSS	1	1
5	AZUFRERA	Simple	FLUJOMETRO CO2	1	1
Total				8	8

2.3.3. Actividad volcánica

La actividad en volcán Nevado de Santa Isabel (VNSI) continúa estando caracterizada por sismicidad VT (asociada a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico) y algunos cambios leves en la superficie volcánica detectados por la red de deformación. Los parámetros geoquímicos monitoreados permanecieron dentro de un rango que denota estabilidad.

La actividad sísmica del VNSI disminuyó en el número de sismos registrados y en la energía sísmica liberada, con respecto al año 2023 (figura 31). Los sismos se localizaron, principalmente, en los sectores suroriente, norte, noroccidente, suroccidente y nororiente de la estructura volcánica, a distancias, en su mayoría, menores a 6 km desde la parte central del edificio volcánico, a profundidades entre 1 km y 7 km (figura 32) medidos desde la cima volcánica. A lo largo del año se registraron algunos incrementos sísmicos destacándose el ocurrido entre el 24 y el 25 de mayo, por alcanzar las tasas diarias de sismicidad más altas del año, de 425 y 247 sismos respectivamente y, por ser el de mayor liberación de energía sísmica (figura 31). Durante el incremento se presentaron siete sismos con magnitud local mayor a 1, entre ellos el de máxima magnitud del año, el cual se registró el 25 de mayo a las 06:47 UTC, con una magnitud de 1,5, localizado a 4,5 km al sursuroriente de la parte central de la estructura volcánica, a 3,6 km de profundidad medidos desde la cima del volcán.

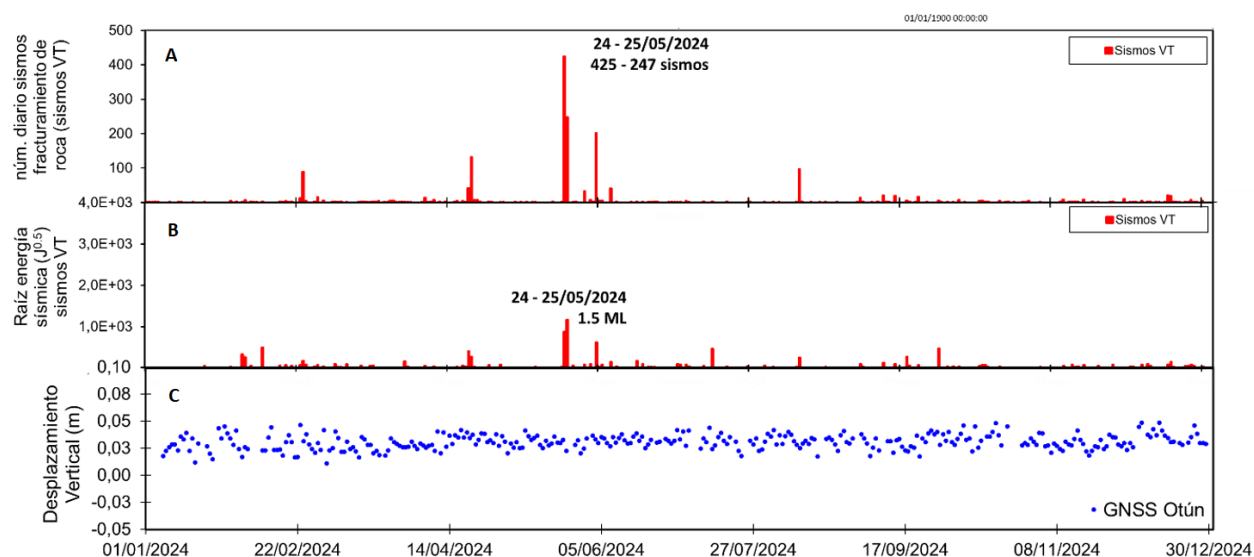


Figura 31. A y B). Número diario y raíz de la energía en Julios de sismos VT registrados en el CVNSI en 2024. C). Componente vertical de la estación GNSS Otún de la red de deformación del CVNSI, 2024.

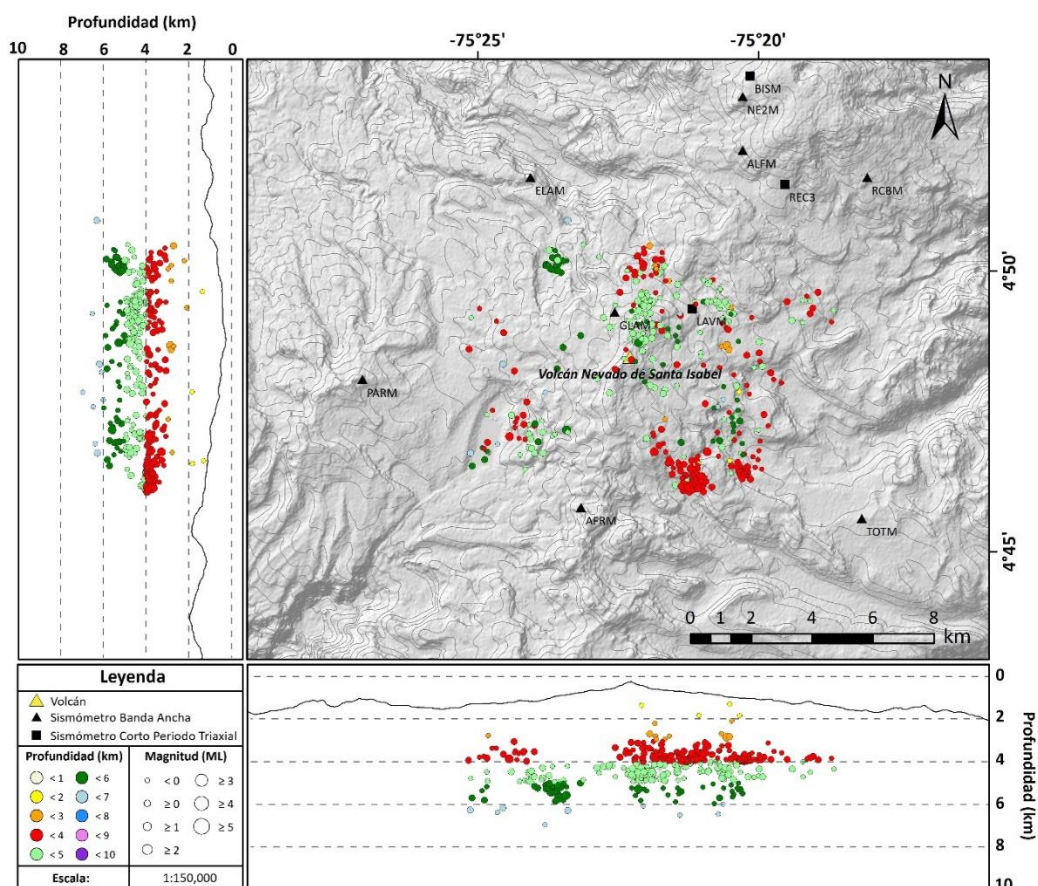


Figura 32. Mapa de localización de los sismos VT registrados en el volcán Nevado de Santa Isabel, durante el 2024.

La deformación de la superficie volcánica, medida a través de estaciones GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global), mostró cambios menores a lo largo del año. En la componente vertical de la estación GNSS Otún, estación de referencia de la red, se observa una deformación lenta y constante (inflación) durante el 2024 (ver figura 31). La tasa de deformación vertical fue de 3 mm/año, con un acumulado de 2 cm. Estos cambios registrados durante este período forman parte de un proceso deformativo que se evidencia desde 2019 asociado a la fuente profunda (Castaño—López et al., 2025).

Es importante mencionar que, aunque el proceso inflacionario mencionado para el período 2019-2024 ha sido modelado y se ha encontrado que la fuente que causa la deformación en las estaciones está ubicada justo debajo del volcán, no se ha evidenciado que afecte directamente la actividad de este.

Durante el 2024 los procesos de desgasificación en suelo mostraron estabilidad, en la figura 33 se aprecia el comportamiento de las medidas de concentración y flujo de dióxido de Carbono (CO_2) difuso, datos obtenidos por la estación telemétrica Otún que realiza mediciones cada hora. La concentración de CO_2 osciló entre 1000 ppm y 1400 ppm, con un valor promedio de 1140 ppm. En lo que respecta al flujo, este presentó fluctuaciones en valores de $10 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ a $52 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ y un promedio de $16 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

La red de estaciones sismológicas del volcán, adicionalmente, a la actividad sísmica de origen volcánico registró señales sísmicas asociadas a la dinámica del glaciar y a pequeñas avalanchas de hielo y roca. Por segundo año consecutivo este tipo de señales disminuyó, respecto al año anterior, posiblemente debido a la disminución del área del casquete glaciar, el cual ha mostrado un acelerado retroceso.

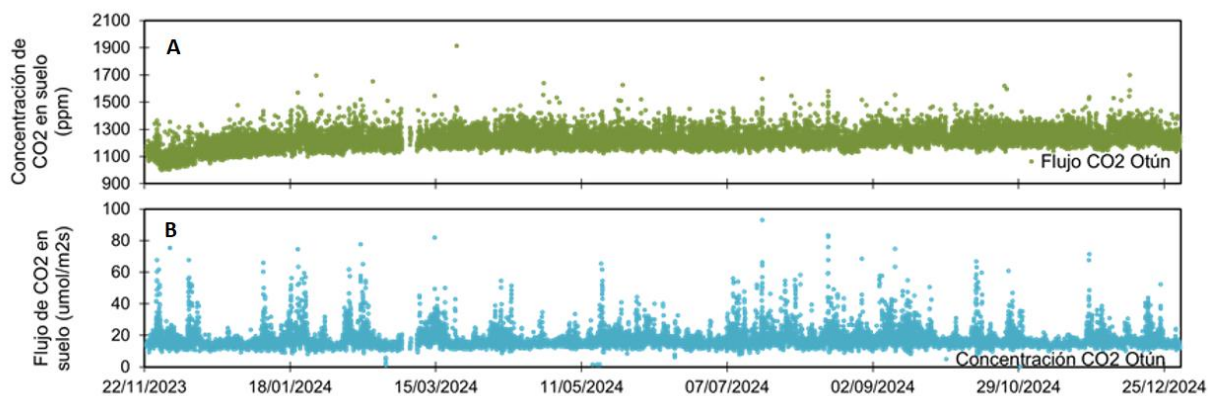


Figura 33. Series de tiempo que muestran la variación del flujo y de la concentración de CO₂ en suelo, en el volcán Nevado de Santa Isabel, estación Otún, noviembre de 2023 a diciembre de 2024.

El seguimiento de temperatura y composición química del campo fumarólico La Azufrera presentó estabilidad respecto a sus valores base, en la figura 34 se aprecia el aspecto físico y las características químicas de los gases emitidos. El carácter hidrotermal sigue predominando en este campo fumarólico siendo el CO₂ el gas con mayor abundancia alcanzando el 97 %.

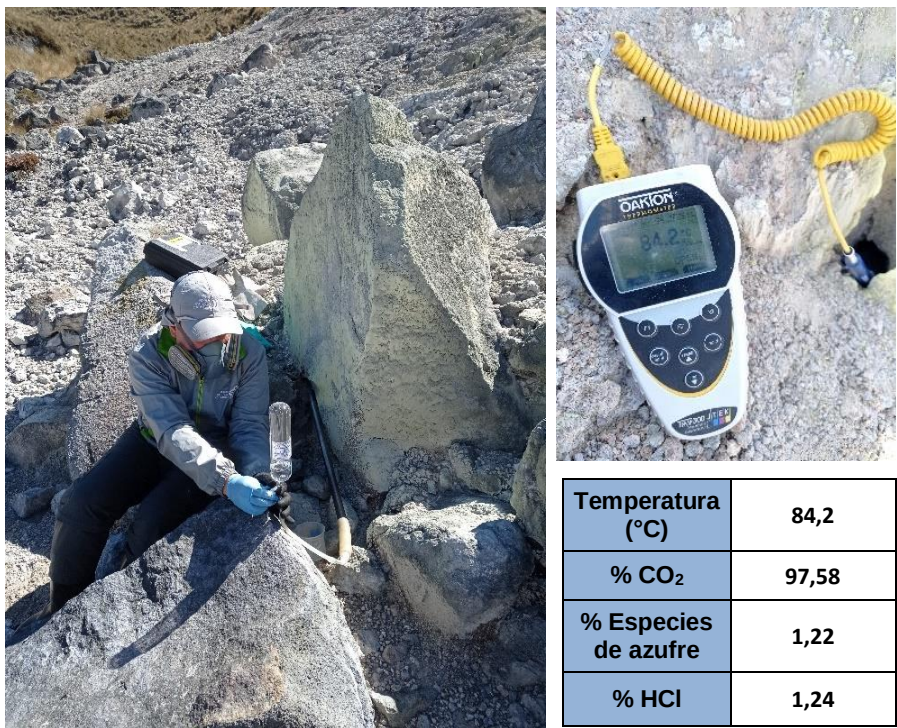


Figura 34. Monitoreo de gases en el campo fumarólico, La Azufrera.

2.3.4. Análisis y discusión

Durante el 2024, la actividad sísmica del VNSI mostró una disminución con respecto a los dos años inmediatamente anteriores, aun así, sigue siendo uno de los parámetros de mayor variabilidad en el volcán y para el período evaluado se registraron valores importantes en el número de sismos y en la energía sísmica liberada como los observados el 25 de mayo.

Con relación a las mediciones de deformación de la superficie volcánica, como se mencionó en el análisis del volcán Nevado del Ruiz, se identificó una fuente de deformación profunda hacia el sector noroccidental del VNSI y la deformación registrada en los GNSS del VNSI podría estar relacionada con esta fuente; sin embargo, no se observan manifestaciones superficiales que indiquen cambios en el comportamiento del volcán. Adicionalmente, no se evidencia relación entre esta deformación y la actividad sísmica del volcán.

Dado que en 2024 continuaron registrándose cambios en algunos parámetros monitoreados, particularmente, en la sismicidad del volcán, éste permaneció durante el período de tiempo evaluado en estado de alerta amarilla.

2.4. Complejo volcánico Cerro Bravo

2.4.1. Generalidades

El complejo volcánico Cerro Bravo (CVCB) con una altura de 4050 m s.n.m. se localiza (5° 05' 24" N y a 75° 17' 24" W) en la cordillera Central de Colombia, en inmediaciones del municipio de Herveo (departamento de Tolima), a 72 km al nororiente de la ciudad de Ibagué, 25 km al oriente de la ciudad de Manizales (departamento de Caldas) y 150 km al nororiente de la ciudad de Bogotá D.C.

El CVCB es un complejo volcánico (figura 35) activo en estado de reposo conformado por remanentes de domos y dos edificios volcánicos: sur y norte (donde se localizan los domos y cráteres más recientes). Su actividad eruptiva, desde finales del Pleistoceno y Holoceno, ha sido explosiva de tipo pliniano a subpliniano, acompañada por ascenso y destrucción de domos. (Martínez *et al.*, 2022; Valencia *et al.*, 2022).

En el CVCB se evidencia un registro geológico de por lo menos 22 erupciones generadas durante los últimos 14000 años, en las cuales se generaron columnas eruptivas, con alturas de hasta 24 km de altura y VEI entre 3 y 5. Por sus características eruptivas, la actividad de este complejo ha sido catalogada de tipo Pliniano a subpliniano y los productos generados son de composición andesítica a dacítica (Lescinsky, 1990; Monsalve, 1991; Martínez *et al.*, 2022).

De acuerdo con Thouret *et al.* (1985), la actividad del volcán Cerro Bravo comenzó hace 1 m. a., con la formación de un antiguo volcán en el Plioceno temprano y un volcán moderno en el Pleistoceno tardío y Holoceno. Lescinsky (1990) determinó una edad de 50 ka para la estructura volcánica.

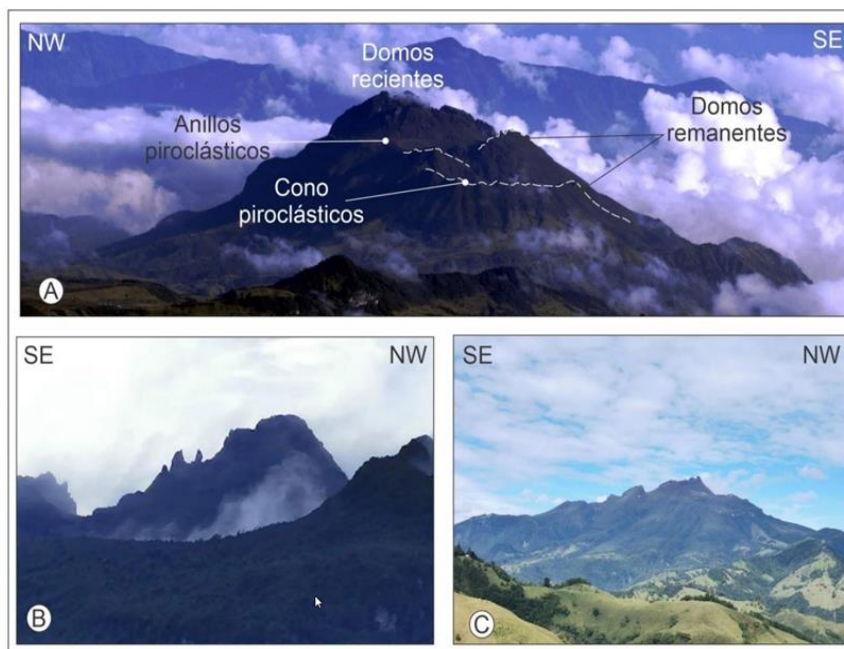


Figura 35. Complejo volcánico Cerro Bravo A). Vista del sector sur de la estructura volcánica B). Domos con estructura en espina al norte del complejo. C). Flanco oriental donde se observan las cuencas de las quebradas el Jordán, Los Micos. Tomado de Valencia *et al.* (2022).

La actividad explosiva del CVCB ha generado depósitos de corrientes de densidad piroclástica tanto concentradas (flujos de bloques y flujos de pómez) como diluidas (oleadas), caídas piroclásticas y lahares. Los focos de emisión de las erupciones estarían localizados en los edificios sur y norte y adicionalmente, se considera un tercer foco intermedio entre estos dos centros de emisión (Martínez *et al.*, 2022; Valencia *et al.*, 2022).

El mapa de amenaza del CVCB del año 2022 puede consultarse en el siguiente enlace:

https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanCerroBravo/PDF/Mapa_AmenVolcCVCB_2daVer.pdf

2.4.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Cerro Bravo (VCB) por estar en estado de reposo, es una red básica conformada por una estación multiparámetro, cuatro estaciones sismológicas y una estación GNSS (ver figura 36 y tabla 5).

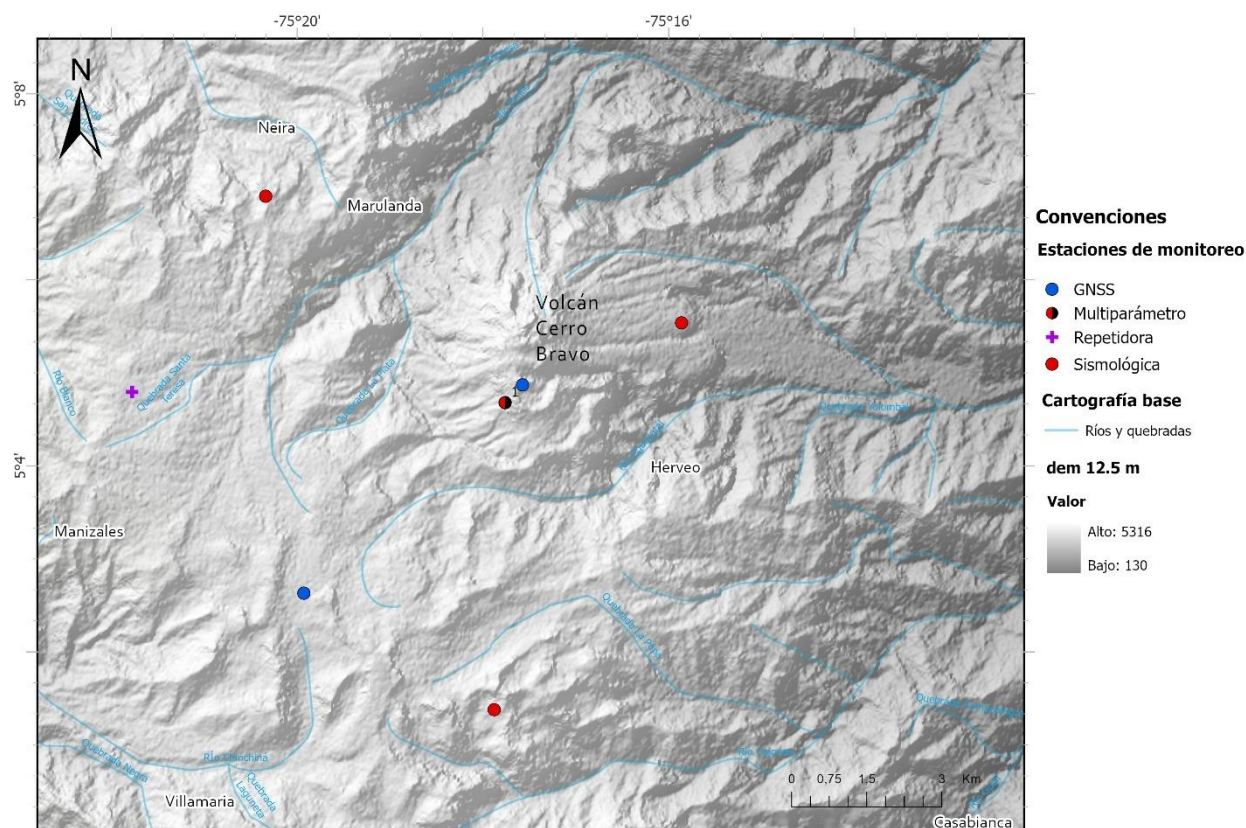


Figura 36. Mapa de estaciones instaladas en el VCB.

Tabla 5. Estaciones de monitoreo multiparámetro con cada uno de los sensores instalados en ella

No. ESTACIONES	ESTACIÓN	TIPO	SENSORES INSTALADOS	SENSORES INSTALADOS	TOTAL DE SENSORES POR ESTACIÓN
1	SIBERIA	Simple	Sísmica corto período	1	1
2	CERRO BRAVO	Multiparamétrico	Inclinómetro electrónico, magnetómetro, sísmica corto período	3	2
3	BRASIL	Simple	Sísmica corto período	1	1
4	CAJONES	Simple	Sísmica corto período	1	1
5	AGUACATAL	Simple	Sísmica banda ancha	1	1
6	CERRO BRAVO 2	Simple	GNSS	1	1
Total				8	7

2.4.3. Actividad volcánica

El monitoreo volcánico en el VCB inició en 1995, desde entonces, ha mostrado niveles de actividad bajos, característicos de un volcán en estado de reposo. La actividad sísmica registrada durante el 2024 estuvo asociada al fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, en comparación con años anteriores no hubo variaciones importantes en el número de sismos registrados o en la energía sísmica liberada.

Respecto al 2023, esta sismicidad incrementó en el número de eventos registrados y en la energía sísmica liberada (figura 37). Los sismos se localizaron al sursuroriente de la estructura volcánica (figura 38). El evento de mayor magnitud, 2,2 ML, se registró el 27 de diciembre a las 02:04 UTC, a 9,3 km al sursuroriente de la estructura volcánica, a una profundidad de 2,5 km.

Las estaciones GNSS de la red de deformación del VCB no registraron procesos deformativos. La componente vertical de la estación GNSS Cerro Bravo muestra estabilidad de la superficie volcánica (figura 37). A partir de octubre de 2024 la estación tuvo problemas en su telemetría por lo cual la serie se observa incompleta.

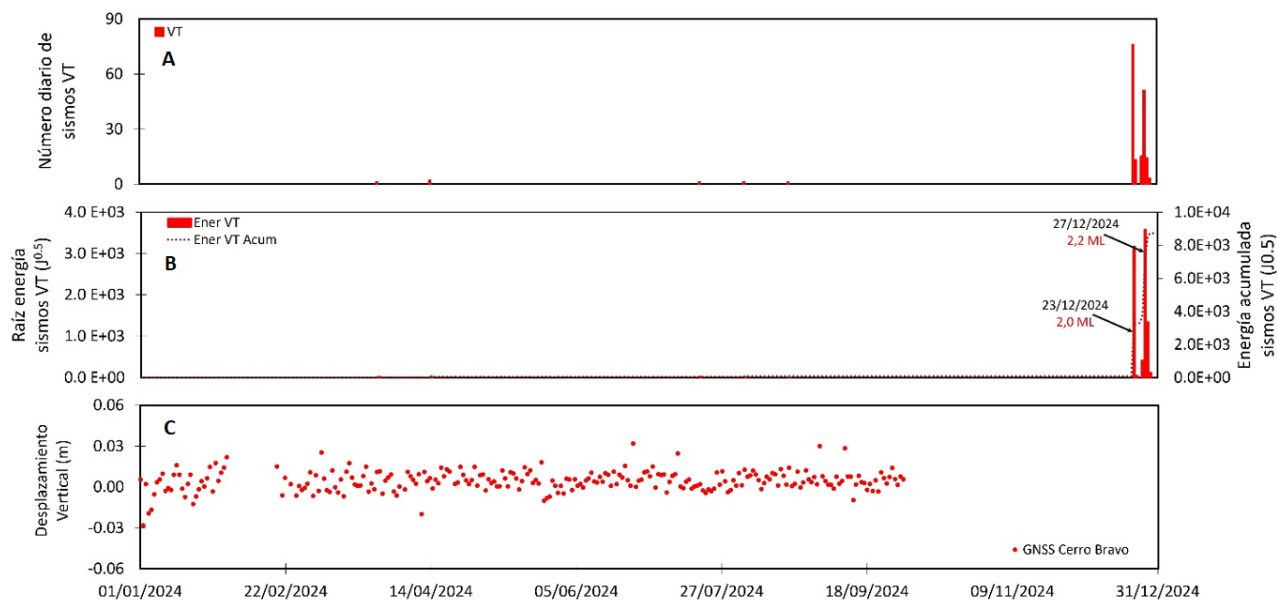


Figura 37. Número diario (A) y raíz de la energía sísmica liberada en Julios (B) de sismos VT registrados en el VCB durante 2024. Componente vertical de la estación GNSS Cerro Bravo (C) de la red de deformación del VCB, 2024.

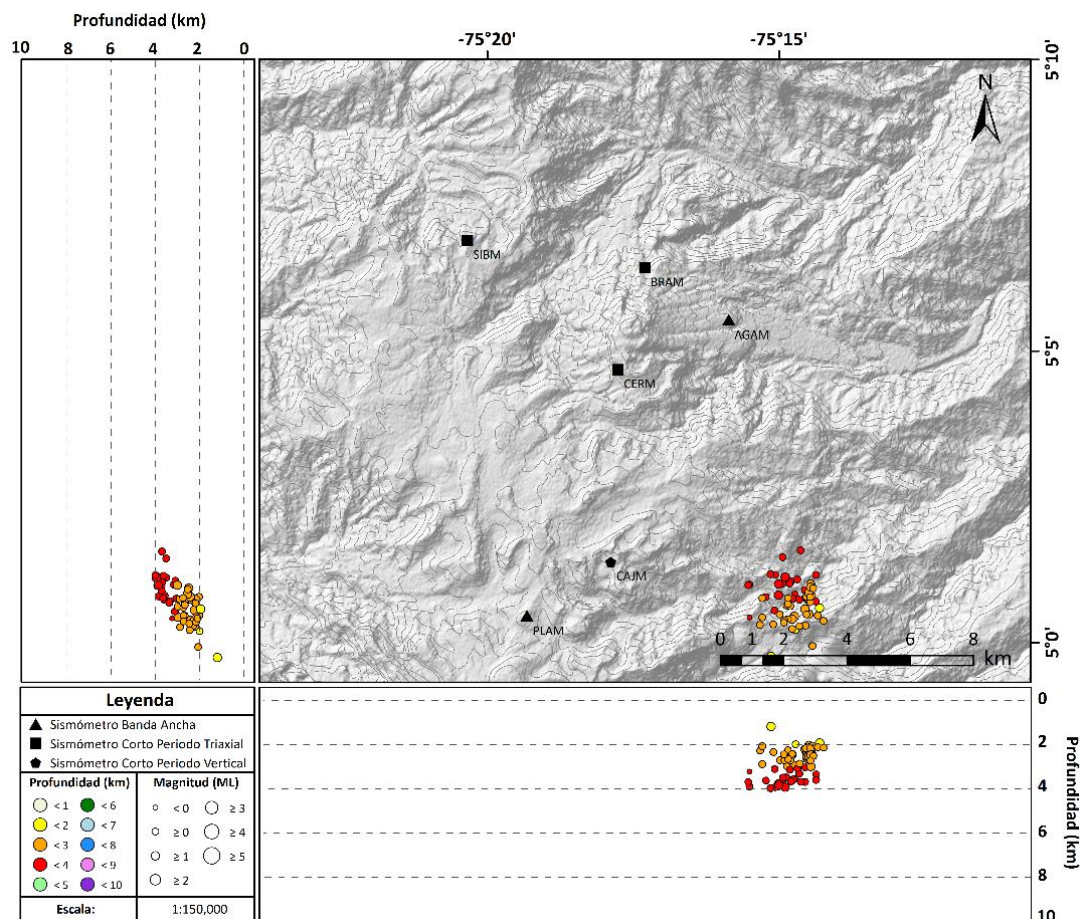


Figura 38. Mapa de localización de sismos VT en el VCB, 2024.

2.4.4. Análisis y discusión

La información recopilada a través del monitoreo sismológico y de deformación ha permitido establecer bajos niveles en la actividad del volcán y no evidencia variaciones importantes que puedan implicar un cambio en su comportamiento y, en consecuencia, en su estado de alerta volcánica. Por tanto, el volcán mantiene su nivel base de actividad, característico de un volcán en reposo, sin mostrar cambios que sugieran inestabilidad.

2.5. Complejo de Domos Cisne - Morro Negro

2.5.1. Generalidades

El Complejo de Domos Cisne - Morro Negro (CDCM) (4° 50' 35" N, 75° 21' 08" W) con una altura máxima altitud 4600 m s.n.m. se ubica en el eje de la cordillera Central, entre los volcanes Nevados del Ruiz y Santa Isabel.

De acuerdo con Monsalve-Bustamante (2020) esta estructura volcánica es denominada como complejo de domos Cisne-Morro Negro (figura 39) y fue definida por la Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. (CHEC, 1983) como un complejo volcánico pequeño con indicios de actividad reciente. En particular, la morfología de Morro Negro está caracterizada por una morfología conservada y coladas de lava poco erosionadas. El Cisne presenta una morfología relativamente más antigua que Morro Negro, sin embargo, al sur de este edificio se ha identificado un flujo de lava con poca erosión.

Los pocos estudios realizados en el área sugieren un complejo formado por una serie de pequeños estratovolcanes. Cinco centros de emisión han sido identificados como generadores de flujos de lava. Los flujos de lava son de tipo andesítico y presentan volúmenes notoriamente menores con respecto a los observados en los complejos volcánicos vecinos del Ruiz y Santa Isabel (Monsalve-Bustamante, 2020).

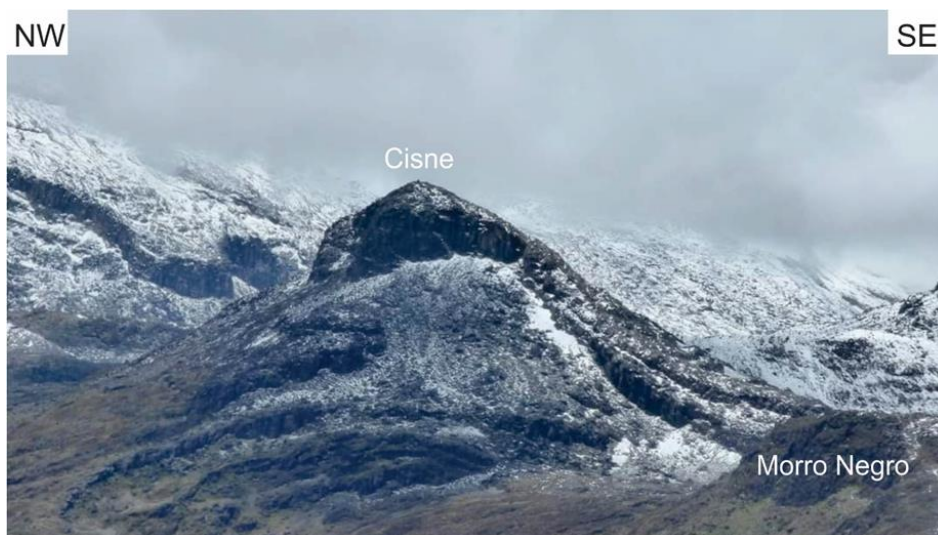


Figura 39. Vista panorámica del domo colada Paramillo del Cisne y el domo Morro Negro. Tomada por Julián Andrés Ceballos.

2.5.2. Red de vigilancia

El Complejo de Domos Cisne - Morro Negro (CDCM) es monitoreado de manera indirecta a través de las estaciones instaladas en las estructuras volcánicas vecinas, en especial, de las que conforman las redes de monitoreo de los volcanes Nevados del Ruiz y Santa Isabel (figura 40).

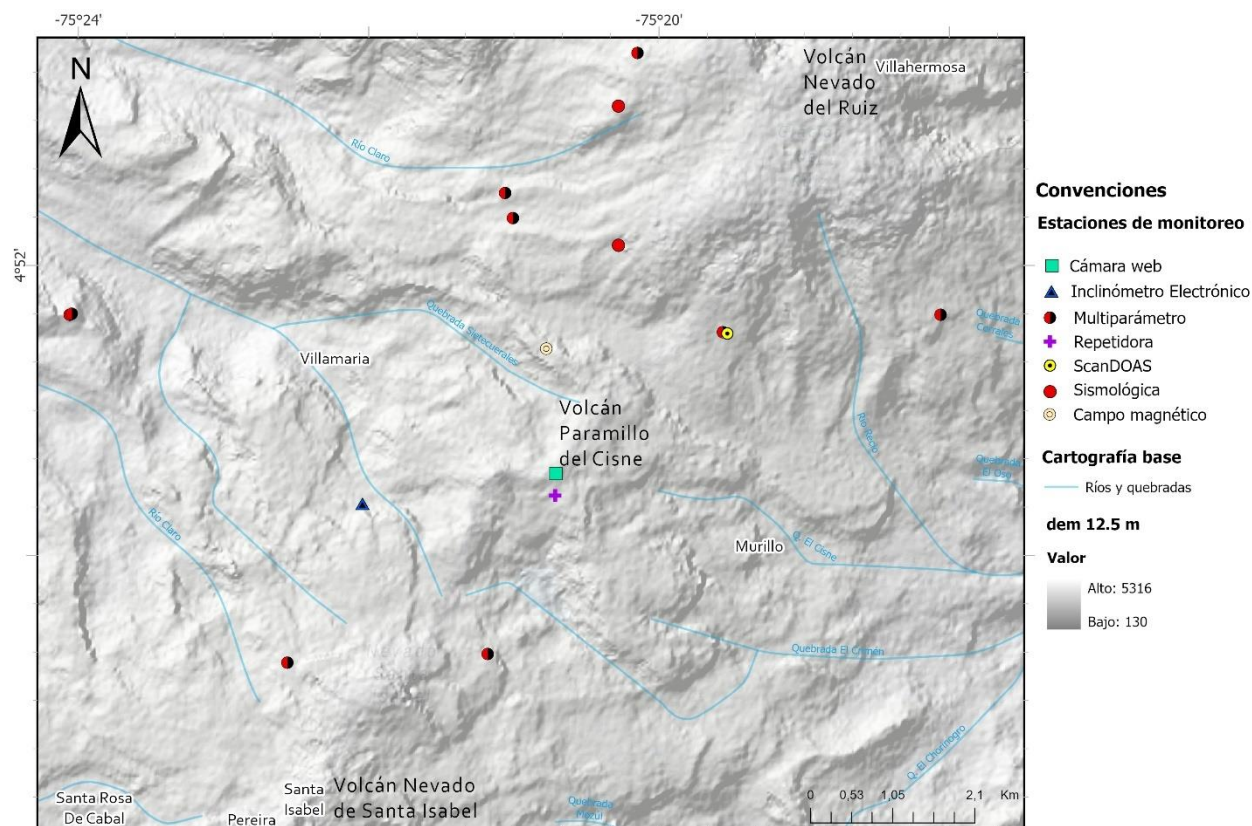


Figura 40. Mapa de estaciones cercanas al Complejo volcánico Cisne - Morro Negro.

2.5.3. Actividad volcánica

El CDCM es monitoreado desde 1986. A partir de esa fecha, se ha evidenciado que la única manifestación de actividad volcánica es la actividad sísmica. El tipo de sismicidad predominantemente ha sido la volcano-tectónica (VT) y, en menor proporción, la híbrida (HB). En el 2024, la sismicidad VT disminuyó en número de sismos registrados y en energía sísmica liberada, en comparación al 2023 (figura 41). Los sismos fueron localizados en la parte central de la estructura volcánica y sus alrededores, a profundidades entre 1 km y 6 km (figura 42). El sismo de mayor magnitud, 1,6, ocurrió el 7 de marzo a las 17:55 UTC y fue localizado a 1,7 km al occidentesuroccidente de la parte central de la estructura volcánica, a una profundidad de 4,5 km.

La estación GNSS Laguna Verde de la red de deformación del CDCM registró una deformación lenta y constante (inflación) durante 2024 (figura 41) con un acumulado de 1,3 cm. Para años anteriores (2019-2023), esta estación ha registrado el mismo proceso inflacionario asociado con la fuente de deformación profunda ubicada debajo del VNSI.

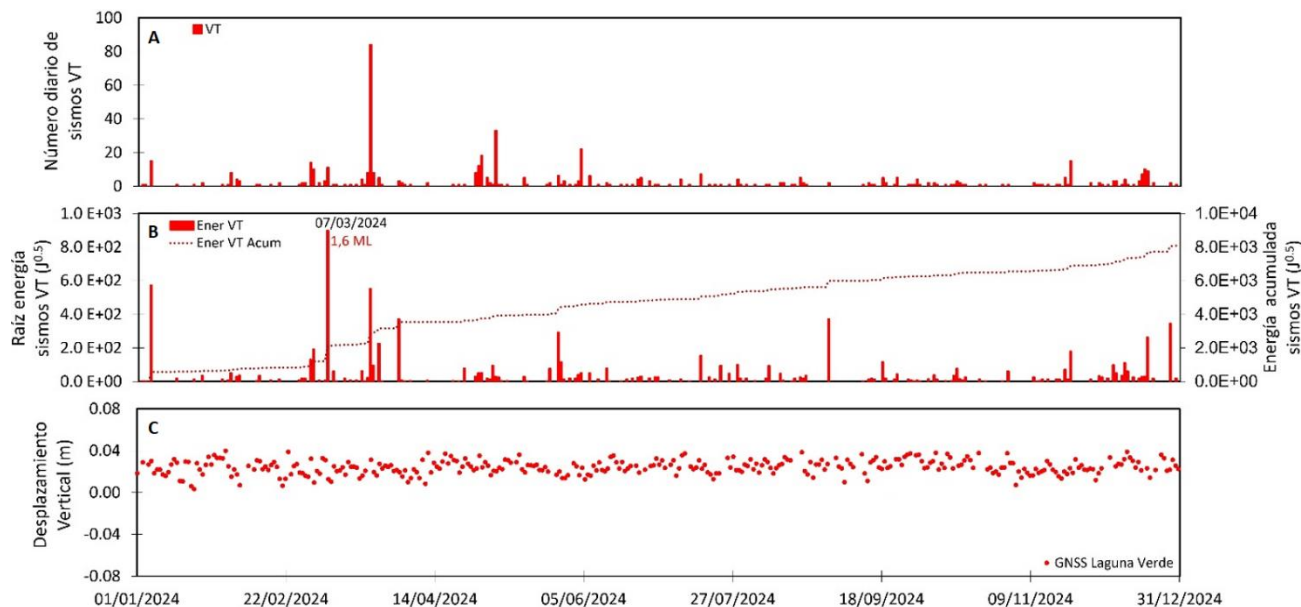


Figura 41. Número diario (A) y raíz de la energía en Julios (B) de sismos VT registrados en el CVCM. Componente vertical de la estación GNSS Laguna Verde (C) de la red de deformación del CDCM, 2024.

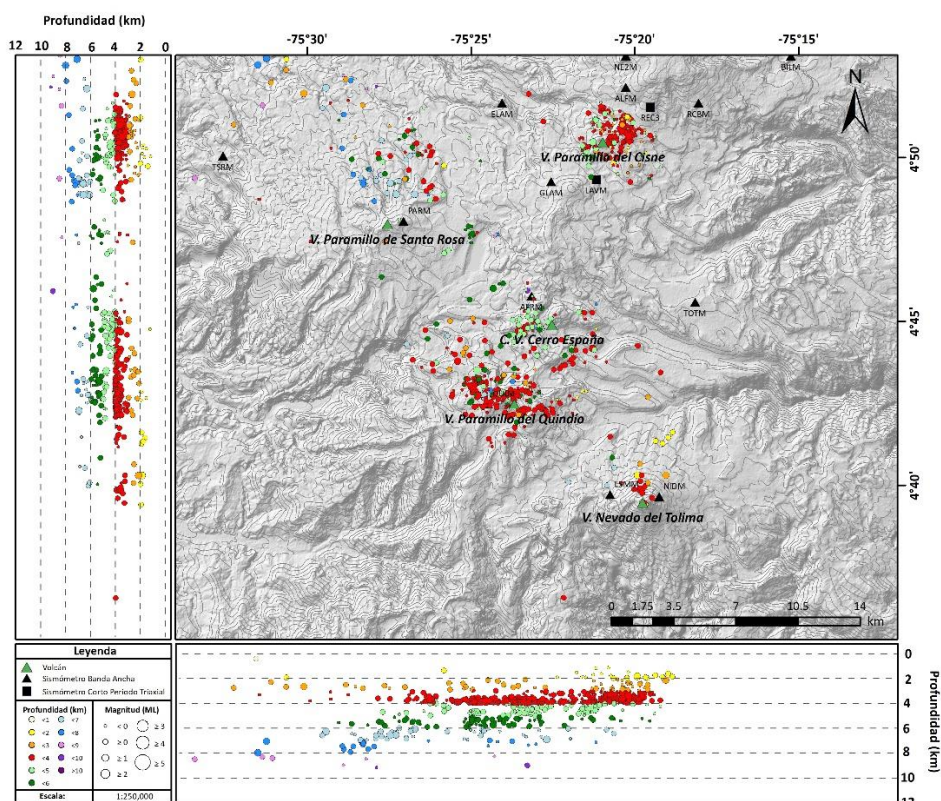


Figura 42. Mapa de localización de sismicidad tipo VT registrada en los volcanes Paramillo del Cisne, Nevado de Santa Isabel, Paramillo de Santa Rosa, complejo volcánico Cerro España, Paramillo del Quindío y Nevado del Tolima, durante el 2024.

2.5.4. Análisis y discusión

La actividad sísmica registrada en el VPC durante el 2024 fue baja y se mantiene dentro del rango considerado como normal para un volcán en estado de reposo. En cuanto a la deformación, el GNSS Laguna Verde registró una deformación lenta y constante la cual podría estar relacionada con la fuente de deformación profunda localizada en el sector noroccidental del volcán Nevado de Santa Isabel. Sin embargo, la ausencia de manifestaciones superficiales que involucren cambios en el comportamiento volcánico podría indicar que dicha deformación estaría relacionada con la actividad del VNR, tal como se mencionó en el análisis de la actividad de este volcán.

Los bajos niveles de actividad sísmica y el lento proceso inflacionario que se aprecia a través del GNSS Laguna Verde, el cual se atribuye a la actividad del VNR, permiten determinar que el sistema volcánico continúa dentro de los niveles estándares establecidos para un volcán en estado de alerta verde.

2.6. Complejo volcánico Cerro España

2.6.1. Generalidades

El complejo volcánico Cerro España (CVCE) (4° 45' N y 75° 22' W) con una altura máxima de 4450 m s.n.m. se localiza entre el volcán Paramillo del Quindío y complejo de domos de Santa Isabel, a 35 km al nororiente de Pereira.

El complejo Cerro España fue descrito por primera vez por la Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. (1983) como una caldera de 2,5 km de diámetro que contiene domos que conforman el Cerro España y varios centros volcánicos ubicados en el borde occidental de la caldera, identificados como Cerro Arenero, Cerros de Alsacia, y otros volcanes más al norte, situados fuera del borde de la caldera. En general, Ingeominas (1992) y Errázuriz et al. (2017) se refieren al conjunto de estos pequeños volcanes como Cerros de Alsacia. El SGC Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales asignó nombres a cada uno de estos volcanes (figura 43), *Monsalve-Bustamante, 2020*.

Los productos que ha generado este complejo son principalmente lavas. La lava emitida por el volcán Otún, por ejemplo, alcanza una longitud de 12 km y encierra un valle glaciar y forma la Laguna del Otún. A este flujo de lava se le atribuye una edad de 5400 años A. P. determinada por la datación de un paleosuelo sobre morrenas que son disectadas por la lava y la presencia, al tope de este flujo, de una caída de lapilli procedente del volcán Nevado del Tolima datada en 3600 años A. P. (Ingeominas, 1992).

Las lavas emitidas por este grupo de volcanes corresponden a andesitas de dos piroxenos con olivino y andesitas olivínicas, que geoquímicamente se clasifican como andesitas basálticas con alto contenido de MgO (cf. Central Hidroeléctrica de Caldas S.A., 1983).

El CVCE es considerado activo basado en edades del Holoceno y asociado a la actividad sísmica registrada en la estructura volcánica y a la actividad fumarólica existente al sur de la Laguna del Otún (*Monsalve-Bustamante, 2020*).

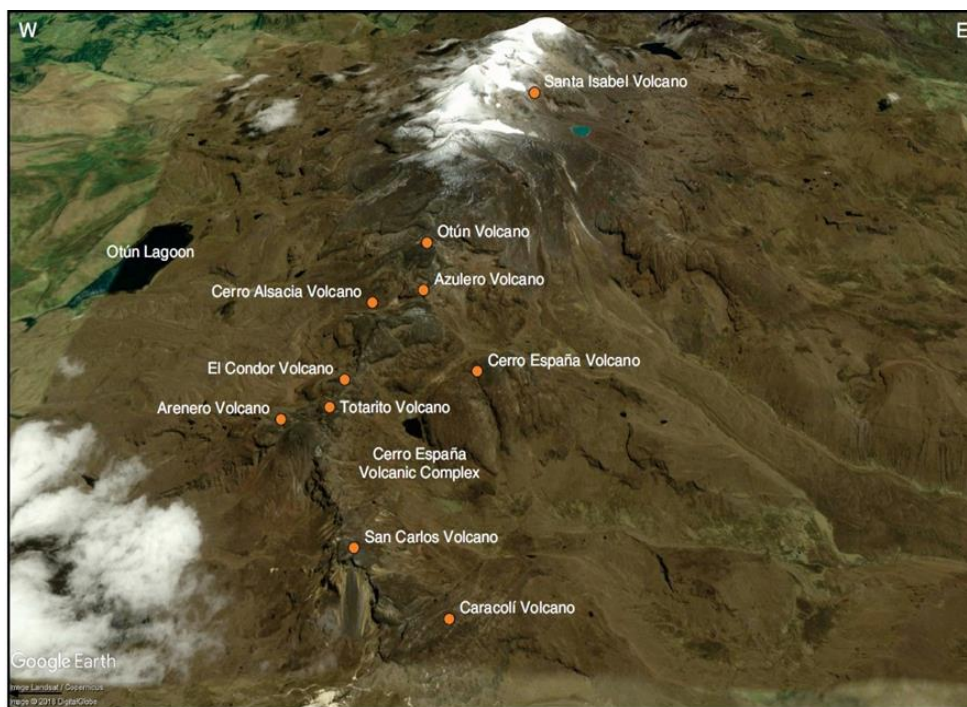


Figura 43. Vista del CVCE y los cerros de Alsacia y Arenero, localizados al sur del Complejo de Domos de Santa Isabel. Fuente de la imagen: Google Earth. Tomado de Monsalve-Bustamante (2020).

2.6.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Cerro España está conformada por una única estación multiparámetro, la cual cuenta con tres sensores (tabla 6). Adicionalmente, es monitoreado de manera indirecta a través de las estaciones instaladas en las estructuras volcánicas vecinas.

Tabla 6. Estación multiparámetro de monitoreo instalada en el CVCE.

No. ESTACIONES	ESTACIÓN	TIPO	SENSORES INSTALADOS	SENSORES INSTALADOS	TOTAL DE SENSORES POR ESTACIÓN
1	TOTARITO	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, cámara web, GNSS	3	3

2.6.3. Actividad volcánica

El CVCE es monitoreado de manera directa a partir de 2018, y previamente, a través de las estaciones instaladas en las estructuras volcánicas vecinas. Durante este tiempo, solo se ha evidenciado, como actividad volcánica, la sismicidad asociada a fracturamiento de roca (VT). En el 2024, este tipo de actividad sísmica disminuyó en el número de sismos registrados y en la energía sísmica liberada, con relación al 2023 (figura 44). Los eventos sísmicos estuvieron localizados, principalmente, en los sectores noroccidente, occidentesuroccidente, suroriente y suroccidente del edificio volcánico, a distancias máximas de aproximadamente 7 km y en un rango de profundidad de 1 km a 9 km (figura 42). El sismo de

mayor magnitud, 1,3 ML, se registró el 1 de octubre a las 20:44 UTC y se localizó a 2,8 km al suroriente de la parte central de la estructura volcánica, a una profundidad de 3,6 km.

La estación GNSS África, perteneciente a la red de deformación del CVCE, se encuentra fuera de operación desde 2023; por esta razón, no se dispone de datos para presentar en este informe.

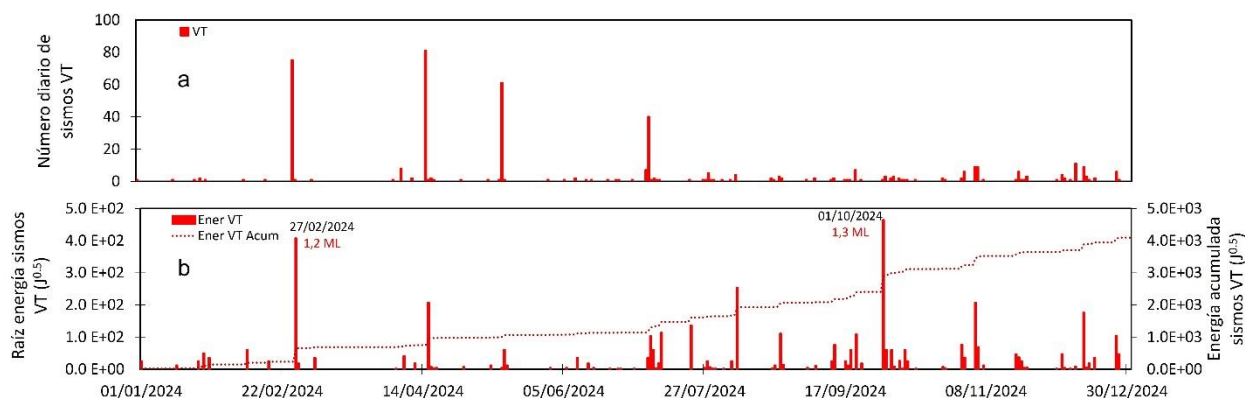


Figura 44. Número diario y raíz de la energía en Julios de los sismos VT registrados en el CVCE en el 2024.

2.6.4. Análisis y discusión

La actividad sísmica registrada en el CVCE durante el 2024 mostró una disminución en la energía sísmica liberada y en el número de sismos registrados. Esta disminución hace parte de las variaciones que se aprecian regularmente en la dinámica del complejo volcánico y está dentro de los límites establecidos como normales para un volcán en estado de alerta verde.

2.7. Volcán Paramillo de Santa Rosa

2.7.1. Generalidades

El complejo volcánico Paramillo de Santa Rosa (CVPSR) ($4^{\circ} 47' 58''$ N y $75^{\circ} 27' 28''$ W) con una altura de 4602 m s.n.m.), se ubica en el flanco occidental de la cordillera Central, a 10 km al occidente del eje de la cordillera y a 28 km al nororiente de la ciudad de Pereira (departamento de Risaralda). La estructura volcánica se encuentra contigua a la Laguna del Otún y a la parte meridional del complejo de domos de Santa Isabel.

El CVPSR (figura 45), definido por Pulgarín et al. (2020), comprende remanentes de dos estratovolcanes mayores superpuestos y un domo de lava tipo *coulée* más reciente en la cima del volcán.

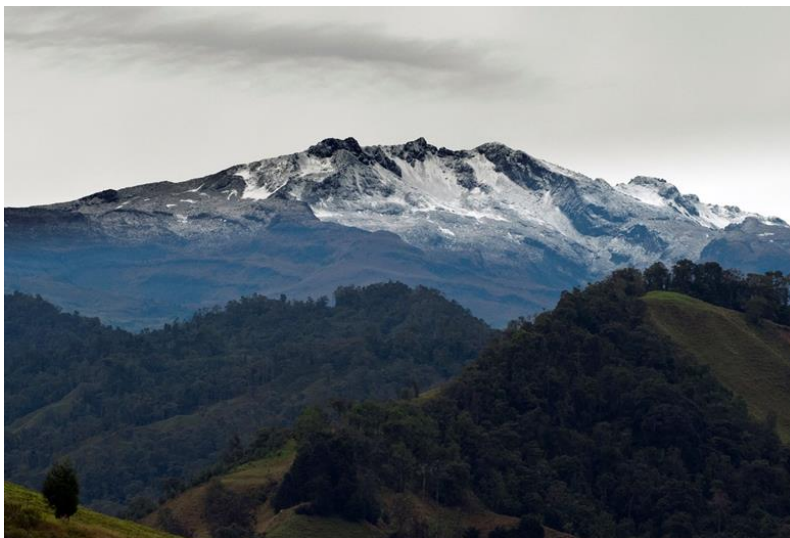


Figura 45. Vista del sector noroccidental del CVPSR. Tomada por Ramiro Ramírez.

La historia eruptiva es caracterizada por dos períodos eruptivos correspondientes a la construcción de los volcanes Pre-Paramillo de Santa Rosa de 2,3 m. a. y Paramillo de Santa Rosa (VPSR) con actividad entre 568 k. a. y el Holoceno. (cf. Pulgarín *et al.*, 2020).

La actividad del volcán Pre-Paramillo comprendió dos épocas eruptivas, incluyendo actividad efusiva y explosiva. La actividad del VPSR se caracterizó por cuatro épocas eruptivas de actividad efusiva predominante y erupciones explosivas menores con episodios de reposo caracterizados por colapsos gravitacionales del edificio volcánico que generaron avalanchas de escombros y depósitos de lahares, así como, el intenso modelado y erosión glaciaria que produjo espesas acumulaciones de depósitos glaciares y fluvioglaciares en las partes altas del complejo volcánico (cf. Pulgarín *et al.*, 2020).

La actividad en el Holoceno del VPSR (7 k. a. - 6 k. a.) fue principalmente explosiva con la generación de sucesivas corrientes de densidad piroclástica asociadas a la explosión de domos preexistentes. Evidencia de actividad efusiva se asocia al emplazamiento de un domo tipo *coulée* en la cumbre del actual edificio volcánico, que junto a la actividad explosiva mencionada representan la actividad más reciente de este volcán (cf. Pulgarín *et al.*, 2020).

Composicionalmente los productos del CVPSR varían entre andesitas y dacitas (59,33 % a 65,52 % en peso de SiO_2) de afinidad calco-alcalina, con contenidos moderados de K_2O (1,47 % - 2,75 % en peso) (cf. Pulgarín *et al.*, 2020).

2.7.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Paramillo de Santa Rosa (VPSR) consta de siete sensores, de los cuales seis están instalados en estaciones multiparámetro (figura 46 y tabla 7).

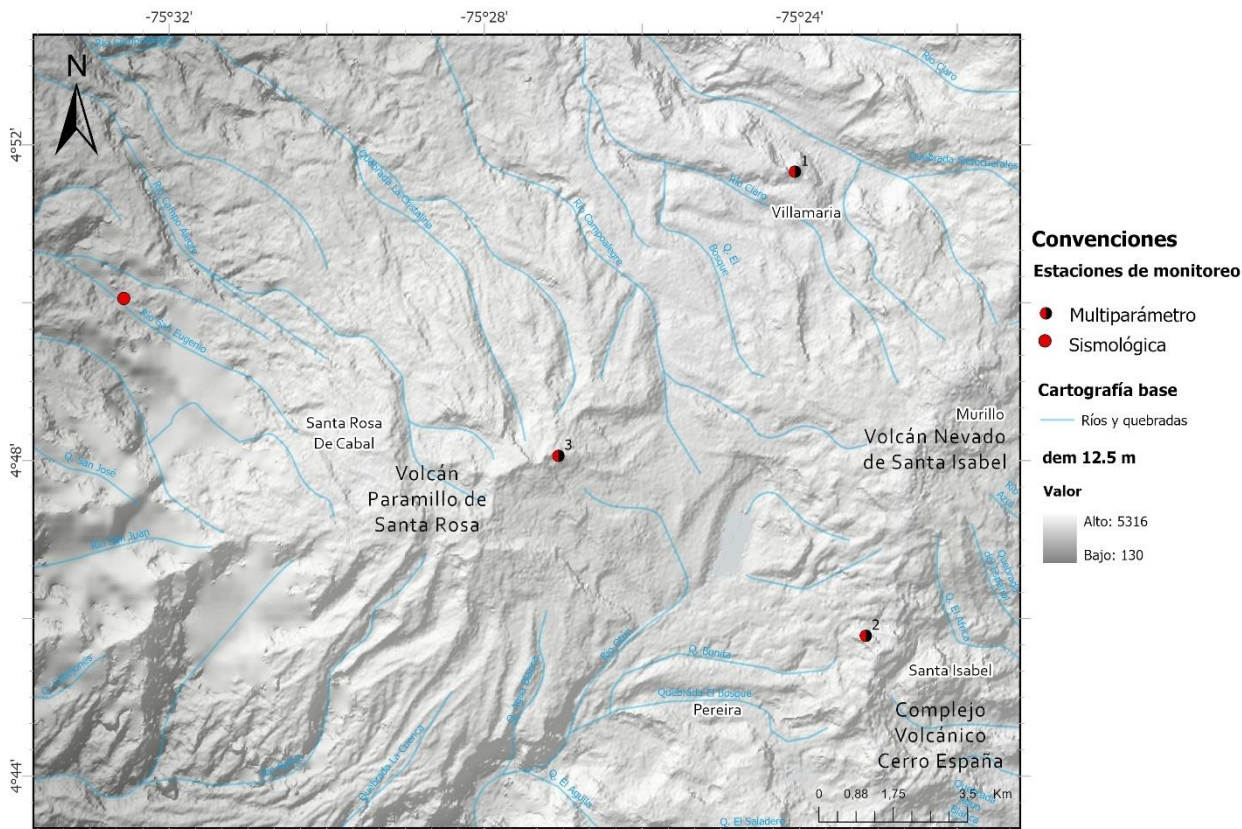


Figura 46. Mapa de estaciones de la red de monitoreo del volcán Paramillo de Santa Rosa.

Tabla 7. Estaciones multiparámetro instaladas en el VPSR.

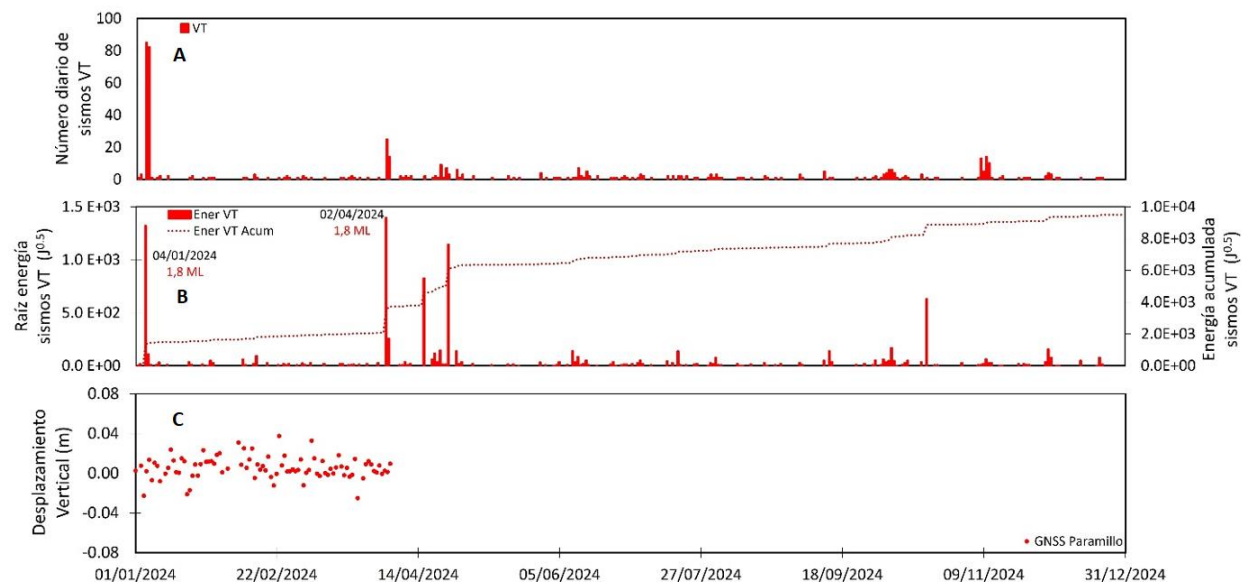
No. ESTACIONES	ESTACIÓN	TIPO	SENSORES INSTALADOS	SENSORES INSTALADOS	TOTAL DE SENSORES POR ESTACIÓN
1	EL AGUILA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, GNSS	2	2
2	AFRICA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, GNSS	2	2
3	PARAMILLO	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, GNSS	2	2
4	TERMALES DE SANTA ROSA	Simple	Sísmica Corto Período	1	No Operativa
Total				7	7

2.7.3. Actividad volcánica

La principal manifestación de actividad del VPSR, observada a través del monitoreo volcánico, ha sido la actividad sísmica del tipo VT (volcano-tectónico), la cual mostró un registro más sostenido desde el 2013, cuando se evidenció el inicio de una actividad sísmica recurrente en el área del volcán. Este tipo de sismicidad, en el 2024, disminuyó en el número de sismos registrados y en la energía sísmica liberada, en comparación con el 2023 (figura 47). Los sismos se localizaron, principalmente, en los sectores nornoroccidente, nororiente y orientesuroriente de la estructura volcánica, a profundidades que variaron entre menos de 1 km y 9 km (figura 42). La máxima magnitud registrada fue de 1,8 ML, correspondiente a dos sismos registrados el 4 de enero a las 21:32 UTC y el 2 de abril a las 22:59 UTC. Estos eventos se

localizaron a 2,1 km al nornororiente de la estructura volcánica, a una profundidad de 6 km, y a 9 km al nornoroccidente del volcán, a una profundidad de 2,6 km.

En relación con los datos de deformación, el VPSR cuenta únicamente con la estación GNSS Paramillo, la cual estuvo fuera de operación a partir del 4 de abril de 2024. No obstante, durante el período en que permaneció operativa, no se registraron indicios de procesos deformativo (figura 47).



2.7.4. Análisis y discusión

Los parámetros monitoreados en el VPSR en el 2024 muestran que el volcán mantiene su estado base de actividad, sin presentar variaciones importantes que conlleven a una inestabilidad del sistema. Este comportamiento sugiere estabilidad en el comportamiento volcánico y, en consecuencia, se mantiene en el nivel de alerta verde.

2.8. Volcán Paramillo del Quindío

2.8.1. Generalidades

El volcán Paramillo del Quindío (VPQ) ($4,42^{\circ} 20''$ N y $75,23^{\circ} 26''$ W), con una altura de 4700 m s.n.m., está localizado sobre el eje de la cordillera Central de Colombia entre los departamentos del Tolima, Quindío y Risaralda. Esta estructura volcánica se encuentra a 38 km al nororiente de la ciudad de Armenia.

El VPQ es un volcán compuesto (figura 48) caracterizado por una morfología con modelado glaciar. Presenta un anfiteatro en el flanco nororiental con una amplitud de 2 km formada por un posible colapso del edificio volcánico en este sector. La parte central de la estructura ha sido afectada por intensa actividad hidrotermal. Este volcán es catalogado por Ceballos *et al.* (1994) como subreciente inactivo y

por Flórez (2003) como un estratovolcán erodado. Thouret *et al.* (1990) obtuvo una edad K-Ar en roca total de 0,33 m. a. $\pm$ 0,04 m. a. para un flujo de lava de este volcán.

EL VPQ ha presentado actividad sísmica desde el 2010 (Londoño 2016) y se ha clasificado como un volcán activo (Monsalve-Bustamante, 2020).



Figura 48. Volcán Paramillo del Quindío. Tomada por Mauricio Tamayo.

2.8.2. Red de vigilancia

El volcán Paramillo del Quindío (VPQ) cuenta con una estación multiparámetro, la cual, en combinación con las estaciones instaladas en las inmediaciones de los volcanes vecinos, permite realizar un monitoreo permanente de su actividad (figura 49 y tabla 8).

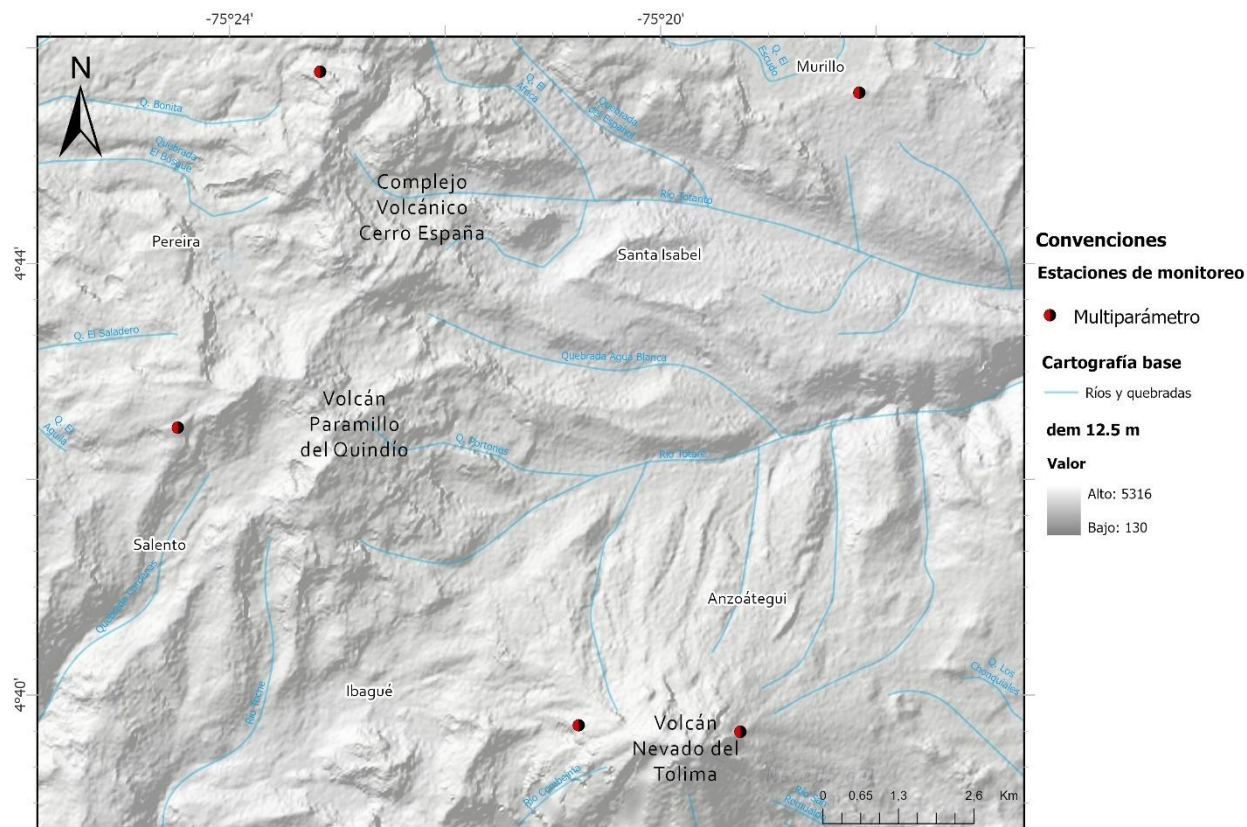


Figura 49. Mapa estaciones en el volcán Paramillo del Quindío y sus alrededores.

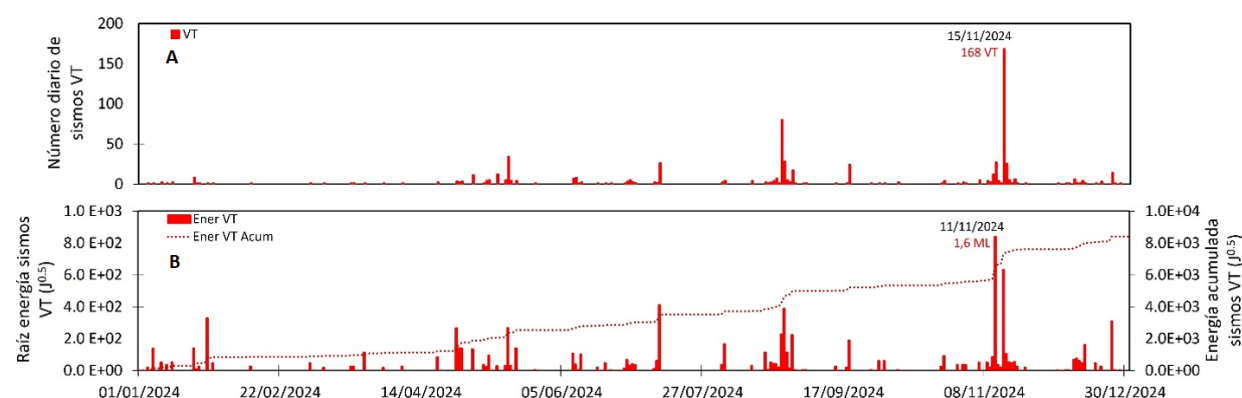
Tabla 8. Estación multiparámetro instalado en el VPQ.

No. ESTACIONES	ESTACIÓN	TIPO	SENSORES INSTALADOS	SENSORES INSTALADOS	TOTAL SENSORES POR ESTACIÓN
1	QUINDIO	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, GNSS	2	2

2.8.3. Actividad volcánica

El monitoreo del VPQ inició en 1993 y solo hasta el 2010 empezó el registro de actividad sísmica asociada a fracturamiento de rocas (VT). Este tipo de sismicidad respecto al 2023 mostró niveles similares en el número de sismos registrados y en la energía sísmica liberada (figura 50), y continúan siendo menores a las tasas máximas registradas en 2019 y 2020. Los sismos se localizaron, principalmente, en los sectores noroccidental, suroriental y nororiental, en menor proporción, en el sector suroccidental de la estructura volcánica. Las profundidades de los sismos variaron entre 1 km y 8 km (figura 42). El 15 de noviembre ocurrió un incremento sísmico con una tasa diaria de 168 eventos, el cual correspondió a la tasa más alta registrada en el 2023. El sismo con mayor magnitud, 1,6 ML, se registró el 12 de noviembre a las 02:20 UTC, y se localizó a 1 km al suroriente del volcán, a una profundidad de 7 km.

En relación con los datos de deformación, el VPQ solo cuenta con la estación GNSS Quindío que durante el 2024 estuvo fuera de funcionamiento.



2.8.4. Análisis y discusión

Los parámetros monitoreados en el VPQ muestran que el volcán conserva su nivel base de actividad, sin presentar variaciones importantes que conlleven a una inestabilidad en el sistema volcánico. Este comportamiento permite establecer que el VPQ permanece en el estado de alerta verde.

2.9. Volcán Nevado del Tolima

2.9.1. 3.9.1 Generalidades

El volcán Nevado del Tolima (VNT) (4° 39' N y 75° 19' W) con una altura de 5215 m s.n.m. está localizado en la cordillera Central, ligeramente desviado del eje de la cordillera y de la tendencia principal del Sistema

de Fallas de Palestina, a 28 km de Ibagué y 20 km al norte del volcán Cerro Machín. El VNT es un volcán compuesto de origen poligenético con dos cráteres ubicados al suroriente de la cumbre y desarrollado sobre sucesivas estructuras de caldera (cf. Cepeda & Murcia, 1988). Los depósitos de lavas basálticas datados en 1,4 m. a. por el método K-Ar de roca total muestran el inicio del vulcanismo de estos edificios (Thouret *et al.*, 1995) (figura 51). El período eruptivo más reciente, que data de 16000 años A. P., corresponde al desarrollo del edificio actual caracterizada por la extrusión y destrucción sucesivas de domos durante, al menos, seis etapas eruptivas que generaron flujos de lava, domos de lava, depósitos de flujos de bloques y ceniza, flujos de escoria e ignimbritas. De igual manera, se generaron flujos de escombros debido a las interacciones con el casquete glaciar del volcán. Al VNT se le asocia una fase Pliniana que ocurrió hace 3600 años y pequeñas erupciones de posible origen freático ocurridas en tiempos históricos (Thouret *et al.*, 1985, 1995).



Figura 51. Volcán compuesto de origen poligenético Nevado del Tolima. Tomada por Milton Iván Ordóñez Villota.

El VNT se considera activo (Monsalve-Bustamante, 2020) debido a la presencia de fumarolas, manantiales termales, sismicidad asociada (Gil-Cruz, 1998), erupciones del Holoceno y reportes de actividad histórica fumarólica y explosiva que Hantke & Parodi (1966) indicaron que ocurrió en noviembre de 1822, marzo de 1825, junio de 1826, mayo de 1926 y marzo de 1943.

El mapa de amenaza del volcán Nevado del Tolima del año 1988 y versión de visualización 2001, puede consultarse en el enlace:

https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoTolima/Documents/MAPA_AMENAZA_NEVADO_TOLIMA.pdf

2.9.2. Red de vigilancia

La red de monitoreo del volcán Nevado del Tolima (VNT) está conformada por dos estaciones multiparámetro, que en conjunto albergan un total de cinco sensores. Esta red se complementa con las estaciones ubicadas en los volcanes vecinos, lo que permite un seguimiento más completo de su actividad. Cabe destacar que la estación Las Marías se encuentra actualmente fuera de operación (figura 52 y tabla 9).

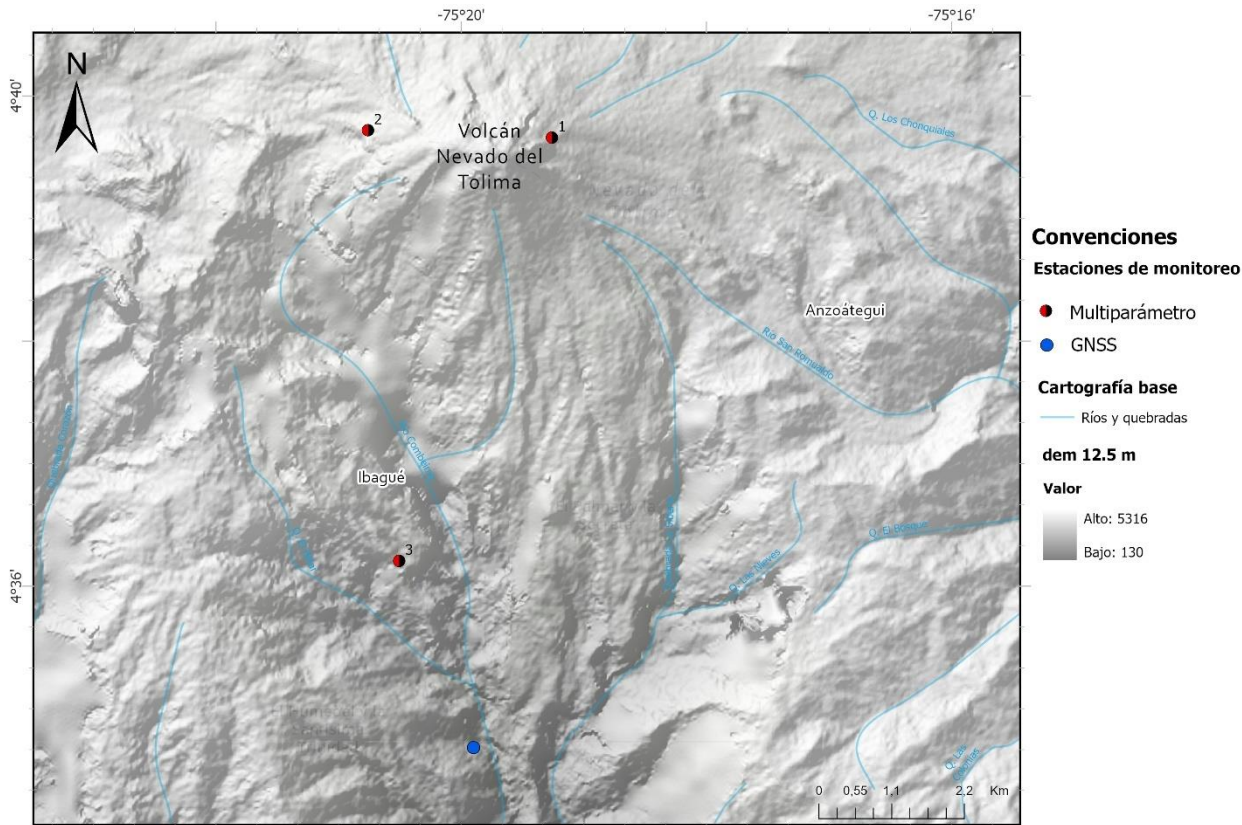


Figura 52. Estaciones de monitoreo instaladas en el volcán Nevado del Tolima.

Tabla 9. Estaciones de monitoreo con cada uno de los sensores instalados en ella.

No. ESTACIONES	ESTACIÓN	TIPO	SENSORES INSTALADOS	SENSORES INSTALADOS	TOTAL DE SENSORES POR ESTACIÓN
1	NIDO AGUILA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, GNSS	2	2
2	ESMERALDA	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, GNSS, Inclínómetro electrónico	3	3
3	LAS MARIAS (no operativa)	Multiparamétrico	Sísmica Banda Ancha, Cámara, Inclínómetro electrónico	3	No funciona
Total				5	5

2.9.3. Actividad volcánica

El monitoreo volcánico en el Nevado del Tolima inició en 1989 de manera indirecta y a partir de 1993 de forma directa. La actividad sísmica que se registra en el VNT está asociada al fracturamiento de roca (volcano-tectónica, VT) y a la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos. Sin embargo, la sismicidad registrada durante el 2024 fue predominantemente del tipo VT. Este tipo de sismicidad disminuyó en el número de sismos registrados y en la energía sísmica liberada (figura 53) respecto al 2023. Los sismos se localizaron en los flancos nororiental y noroccidental y, en menor proporción, en el sector suroccidental del edificio volcánico. Las profundidades de los sismos variaron entre 1 km y 7 km (figura 42). La mayor magnitud registrada en el 2024 fue de 1,9, y corresponde a los eventos ocurridos el 26 de abril a las 20:32 UTC y el 29 de mayo a la 00:33 UTC. Estos eventos se localizaron a 1,4 km al norte del volcán, a una profundidad 1,4 km, y a 0,6 km al norte del edificio volcánico, a una profundidad de 3,8 km, respectivamente.

La sismicidad asociada con la dinámica de fluidos en el 2024 estuvo caracterizada por sismos de largo período (LP) de bajo nivel energético y mantuvo niveles similares a los observados en el 2023.

En cuanto a la deformación de la superficie volcánica, las estaciones GNSS Esmeralda y Nido del VNT se encuentran fuera de operación durante el año 2024, por lo cual, no se tienen datos a mostrar para este informe.

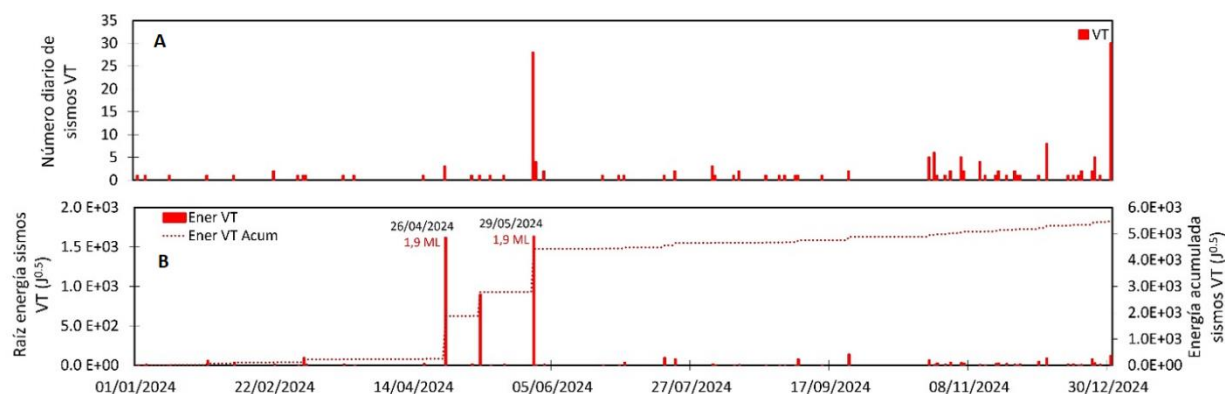


Figura 53. Número diario (A) y raíz de la energía sísmica en Julios (B) de sismos VT registrados en el VNT en el 2024.

La actividad sísmica relacionada con la dinámica del glaciar que cubre la parte alta de la superficie volcánica aumentó en el número de eventos registrados, en comparación con el 2023.

2.9.4. Análisis y discusión

La actividad sísmica registrada en el VNT durante el 2024 mostró bajos niveles en las variables monitoreadas, número de sismos y energía sísmica liberada, sin variaciones significativas respecto a los años anteriores. Este comportamiento indica que el sistema volcánico conserva sus niveles de actividad dentro de los rangos establecidos para un volcán en estado de alerta verde.

2.10. Volcán Romeral

El volcán Romeral (VR) ($5^{\circ} 12' N$ y $75^{\circ} 21' W$), con una altura de 3700 m.s.n.m, está ubicado en la zona central de Colombia en el eje de la cordillera Central y en el departamento de Caldas, en jurisdicción de

los municipios de Neira y Marulanda. Esta estructura volcánica se encuentra a 22 km de distancia al nororiente de la ciudad de Manizales y 150 km al noroccidente de Bogotá D.C.

Geomorfológicamente, este volcán corresponde a una geoforma cónica de base amplia con un patrón de drenaje dendrítico de baja densidad de dispersión radial, donde nacen cuatro cuencas hidrográficas correspondientes a los ríos Chamberí, Tapias, Guacaica y el río Guarinó, los cuales drenan sus aguas hacia los departamentos de Caldas (Chamberí, Tapias y Guacaica) y del Tolima (Guarinó).

Geológicamente, el VR es un volcán compuesto (figura 54) construido sobre rocas del basamento metamórficas del Complejo Cajamarca, definido como un cráter anteglacial y denominado “Volcán Romeral” (Flórez, 1986). A esta estructura volcánica se le han asociado depósitos de caída piroclástica (cf. Pinilla & Ríos, 2005). Las dataciones de paleosuelos entre los depósitos de caída piroclástica presentan edades de 8460 A. P. $\pm$ 200 A. P. y 7340 A.P. $\pm$ 340 A. P. (cf. Pinilla & Ríos, 2005) evidenciando la actividad volcánica Holocénica. Dataciones K-Ar sobre lavas arrojaron edades 3,6 m. a. $\pm$ 0,36 m. a. y 2,7 m. a. $\pm$ 0,1 m. a (cf. Flórez 1986).



Figura 54. Vista panorámica del flanco oriental del volcán Romeral. La línea punteada de color amarillo indica el límite aproximado del borde del centro de emisión. Tomada por Julián Andrés Ceballos.

2.10.1. Red de vigilancia

El volcán Romeral es monitoreado de manera indirecta por ser un volcán en estado de reposo. La estación sismológica Siberia es la más cercana a la estructura volcánica y se encuentra aproximadamente a 12 km de distancia de su parte central (figura 55).

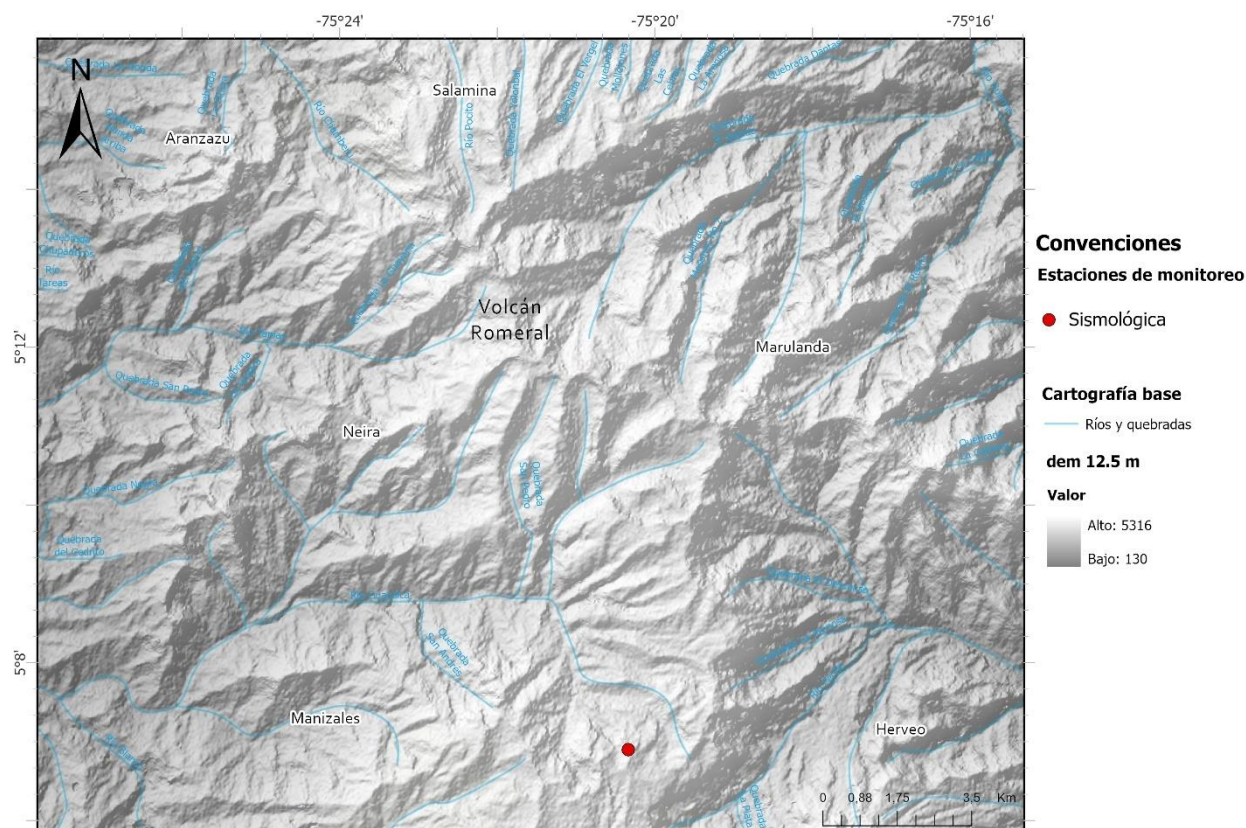


Figura 55. Mapa de estaciones volcán Romeral.

2.10.2. Actividad volcánica

El VR durante el 2024 no presentó ningún tipo de manifestación volcánica al interior del edificio volcánico o de carácter superficial.

2.10.3. Análisis y discusión

Los bajos niveles de actividad observados en el VR durante el 2024 permiten establecer que su nivel de alerta volcánica continúa en verde.

2.11. Volcanes del campo volcánico del Nororiente de Caldas

2.11.1. Volcán San Diego

El volcán de San Diego ($5^{\circ} 39' N$ y $74^{\circ} 57' 38'' W$) (figura 56), con una altura de 850 m s.n.m., es una estructura volcánica localizada al nororiente del departamento de Caldas, en el flanco oriental de la cordillera Central de Colombia, en el corregimiento de San Diego, municipio de Samaná, a 89 km al nororiente de la ciudad de Manizales y 145 km al noroccidente de Bogotá D. C.

La estructura volcánica de San Diego corresponde a un maar-anillo piroclástico de composición silícea formada por dos estructuras concatenadas, que se encuentran levemente desplazadas entre sí en

dirección nororiente-suroccidente y, un cono de toba emplazado en el interior del maar nororiental (el más antiguo). Las dimensiones de esta estructura son 4 km x 2,4 km. En el interior del maar suroccidental (el más reciente) se aloja un lago cratérico de forma semicircular, con dimensiones de 1,5 km x 1 km y, una profundidad de 50 m. (Monsalve *et al.*, 2023). Las estructuras que conforman el maar de San Diego se encuentran parcialmente erosionadas debido a la actividad eruptiva sucesiva del volcán. El basamento pre-eruptivo se encuentra expuesto en el interior del cráter y forma paredes subverticales. Sobre este afloran depósitos que forman los anillos piroclásticos, con espesores irregulares que se distribuyen alrededor de la estructura y que alcanzan distancias entre 2 km y 6,5 km a partir del borde de los cráteres. El cono de toba, llamado El Morro, tiene asociados depósitos de espesor considerable, que alcanzan distancias de hasta 6 km, y un *plug* dacítico-riolítico (Monsalve *et al.*, 2023).

Petrográficamente, los productos asociados corresponden a dacitas con una asociación mineralógica de plagioclasa, cuarzo, biotita. La composición geoquímica de estas rocas corresponde a andesitas y dacitas de origen calco-alcalino y afinidad adakítica (Monsalve *et al.*, 2023).

La actividad eruptiva ha ocurrido al menos en tres períodos eruptivos de 40000, 22000 y 16000 mil años A. P. (Monsalve *et al.*, 2023).



Figura 56. Vista de la estructura volcánica del Maar de San Diego desde el sector SW. En línea punteada de color amarillo el borde del anillo de tefra de la estructura nororiental, en rojo el borde del anillo de tefra de la estructura SW. Al interior el cono de toba El Morro y la laguna cratérica. Tomado de Monsalve *et al.* (2023).

2.11.2. Volcán El Escondido

El volcán el Escondido (Monsalve *et al.*, 2014) (5° 31' N, 75° 03' W) con una altura de 1650 m.s.n.m. se localiza en el flanco oriental de la cordillera central de Colombia en el corregimiento de Florencia, municipio de Samaná, al oriente del departamento de Caldas. El volcán corresponde a una estructura poligenética de complejo de domos-anillo piroclástico con un cráter de forma semi-circular (figura 57) de 1,7 km de diámetro (Monsalve *et al.*, 2019).

Los productos volcánicos son asociados con una alternancia silíceo (más dacítica) de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, oleadas piroclásticas, caídas piroclásticas, proyectiles balísticos y domos que sugieren alta explosividad. La composición geoquímica de los productos emitidos corresponde a andesitas-dacitas medias en potasio de la serie calco-alcalina con tendencia adakítica y, petrográficamente, clasificadas como andesitas anfibólicas. En los sectores occidental y oriental se presentan aguas termales de composición clorurada con temperaturas por encima de los 45 °C. Las edades radiogénicas ¹⁴C obtenidas en fragmentos de madera carbonizada, de la parte media de la secuencia eruptiva, indican edades de 36030 A. P. ± 380 A. P. y 33550 A. P. ± 280 A. P. que sugieren dos grandes períodos eruptivos. La actividad

volcánica más reciente se asocia al emplazamiento de domos de lava al sur de la estructura en forma de cráter, la cual es responsable de la destrucción parcial del anillo piroclástico en el sector (Monsalve *et al.*, 2019).

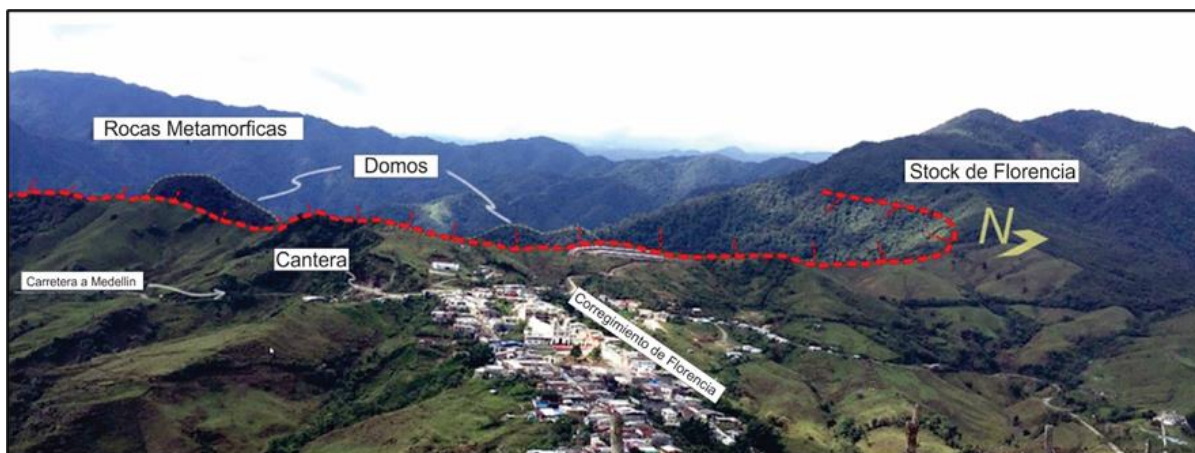


Figura 57. Foto del volcán El Escondido desde la cima del cerro La Cruz. Fuente de la imagen: María Luisa Monsalve Bustamante. El borde del cráter está delimitado por la línea roja discontinua. Tomado y modificado de Monsalve *et al.* (2019).

2.11.3. Volcán Guadalupe

El volcán Guadalupe hace parte del complejo de domos de Guadalupe (CDG) ($5^{\circ} 17' 04''$ N, $75^{\circ} 07' 54''$ W), con una altura de 2565 m s.n.m., se localiza en el flanco oriental de la cordillera Central de Colombia, en el oriente de Caldas (figura 58). Esta estructura volcánica se encuentra a 4,5 km de Manzanares (departamento de Caldas), a 48 km al nororiente de Manizales y 133 km al nororiente de Bogotá D.C. El CDG está conformado por al menos 16 domos de lava con pendientes elevadas, como son el Cerro Guadalupe, La Paila, La Ermita, entre otros. Los domos y la distribución de los depósitos asociados al CDG abarca cerca de 36 Km², con presencia en áreas rurales de los municipios de Manzanares, Pensilvania y Marquetalia del departamento de Caldas.

Geológicamente, la actividad volcánica en el CDG ha sido predominantemente de tipo freatomagmático - magmático, cuya fase inicial está dada por ignimbritas, las cuales afloran hacia el sector oriental del complejo actual, seguido por una actividad explosiva, representada por brechas freáticas e importantes secuencias piroclásticas de corrientes de densidad piroclástica tanto concentradas como diluidas, y actividad efusiva, representada por los domos de lava (Monsalve *et al.*, en preparación).

Actualmente esta estructura volcánica se encuentra en estudio por el Servicio Geológico Colombiano.



Figura 58. Vista panorámica del Complejo de Domos de Guadalupe. Tomada por María Luisa Monsalve.

2.11.4. Red de vigilancia

La red de monitoreo de los volcanes del campo volcánico del noroccidente de Caldas consta de dos estaciones sismológicas instaladas en los volcanes de San Diego y El Escondido. Adicionalmente, de manera periódica se realizan campañas de campo para el monitoreo geoquímico de las fuentes termales asociadas a las tres estructuras volcánicas (San Diego, El Escondido y Guadalupe) (figura 59).

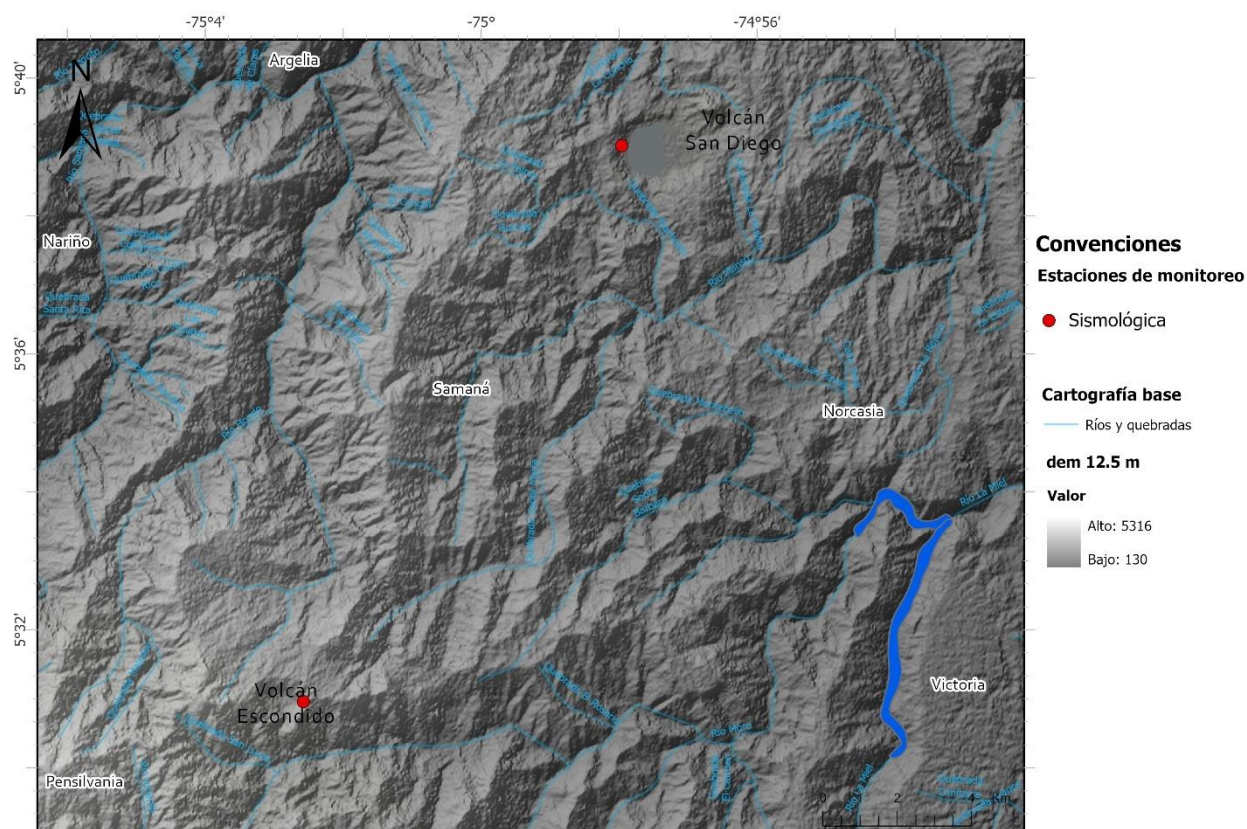


Figura 59. Mapa de estaciones de los volcanes del Campo Volcánico del nororiente de Caldas.

2.11.5. Actividad volcánica

Los volcanes del campo volcánico del nororiente no presentaron cambios superficiales asociados a la actividad volcánica durante el 2024. Y las mediciones obtenidas de los diferentes parámetros fisicoquímicos monitoreados permanecen dentro de los rangos considerados como normales.

2.11.6. Análisis y discusión

Para los volcanes del campo volcánico del nororiente de Caldas no se determinaron cambios asociados con su actividad volcánica durante el 2024. Por esta razón, en conjunto se mantienen en el estado de alerta verde.

REFERENCIAS

- Arcila, M. & Dimaté, C. 2005. Estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali: Caracterización de fuentes sísmicas de subducción. Ingeominas–Dagma, informe 1–6, 49 p. Bogotá.
- Battaglia, M., Cervelli, P. F., & Murray, J. R. (2013). dMODELS: A MATLAB software package for modeling crustal deformation near active faults and volcanic centers. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 254, 1-4.
- Bohórquez, O.P., Monsalve M.L., Velandia, F., Gil, F. & Mora, H. 2005. Marco tectónico de la cadena volcánica más septentrional de la cordillera Central de Colombia. *Boletín de Geología*, 27(1): 55–79.
- Cano, M.C., Cortés, G.P., López, C.E. & Méndez, R.A. 2015. Relación geoarqueológica en depósitos de caída piroclástica del Volcán Cerro Machín en el sector de Chagualá, Calarcá (Quindío, Colombia). In: Rubin de Rubin, J.C., Favier–Dubois, C. & da Silva, R.T. (editors), *Geoarqueologia Na América do Sul*, Editora Pontificia Universidad Católica de Goiás, p. 221–264. Goiânia, Brasil.
- Castaño-López, L.M., et al. 2025. Boletín anual de actividad de los volcanes del Norte de Colombia: enero – diciembre 2023. Servicio Geológico Colombiano, 75 p. Manizales
- Ceballos, J.L., Castañeda, A. & Robertson, K. 1994. Análisis geodinámico de la actividad volcánica en Colombia. III Conferencia Colombiana de Geología Ambiental. *Memoirs*, p. 93–105. Armenia.
- Ceballos, J.A., Martínez, L.M. & Zuluaga, I. 2016. Evaluación de la amenaza de la tercera versión del mapa de amenaza del Volcán Nevado del Ruiz (2015). Servicio Geológico Colombiano, 221 p. Manizales.
- Ceballos–Hernández, J.A., Martínez–Tabares, L.M., Valencia–Ramírez, L.G., Pulgarín–Alzate, B.A., Correa–Tamayo, A.M. & Narváez–Marulanda, B.L. 2020. Geological evolution of the Nevado del Ruiz Volcanic Complex. In: Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, p. 267–296. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.07>.
- Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. 1983. Investigación geotérmica Macizo Volcánico del Ruiz: Fase II, Etapa A, I, 228 p. Manizales.
- Cepeda, H. & Murcia, A. 1988. Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Nevado del Tolima, Colombia, S.A. *Boletín Geológico*, 29(3): 33–75.
- Cepeda, H., Murcia, L.A., Monsalve, M.L., Méndez, R.A. & Núñez, A. 1996. Volcán Cerro Machín, departamento del Tolima, Colombia: Pasado, presente y futuro. Ingeominas, Internal report 2305, 48 p. Popayán. Cieza de León, P. 1922. La crónica.
- Cortés, G.P., Calvache, M.L., Monsalve, M.L. & Torres, M.P. 2001. Depósitos de oleadas de piroclastos vs. depósitos de caída piroclástica del estrato Volcán Azufral, Colombia. VIII Congreso Colombiano de Geología. *Memoirs*. Manizales.

Cortés–Jiménez, G.P. 2020. Holocene lahar deposits associated with the eruptive activity of Cerro Machín Volcano, Colombia: Impact on landscape and associated potential hazard. In: Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, p. 297–331. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.08>

Errázuriz, C., Gómez–Tuena, A. & Duque–Trujillo, J. 2017. Variación petrogenética asociada a la fuente en magmas del Complejo Volcánico Cerro Bravo–Cerro Machín. XVI Congreso Colombiano de Geología. *Memoirs*, p. 1955–1958. Santa Marta.

Flórez, A. 1986. Geomorfología del área Manizales–Chinchiná, cordillera Central, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 158 p. Bogotá.

Flórez, A. 2003. Colombia: Evolución de sus relieves y modelados. Universidad Nacional de Colombia, Red de Estudios de Espacio y Territorio–RET, 238 p. Bogotá.

Gil–Cruz, F. 1998. Evaluación sismológica. In: Mora–Páez, H. (compiladores), *Volcán Nevado del Tolima: Evaluación sismológica, glaciológica y geoquímica*, información de abril de 1998. Ingeominas, Internal report, p. 1–27. Manizales.

Gómez, J., Monsalve, M.L., Montes, N.E. & Ortiz, L.S. 2016. Excursión de campo: Historia geológica de los Andes colombianos en los alrededores de Ibagué. Simposio Servicio Geológico Colombiano, 100 años de producción científica al servicio de los colombianos. Servicio Geológico Colombiano, 39 p. Bogotá.

Hall, M.L. & Wood, C.A. 1985. Volcano–tectonic segmentation of the northern Andes. *Geology*, 13(3): 203–207. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1985\)13<203:VSOTNA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1985)13<203:VSOTNA>2.0.CO;2).

Hantke, G. & Parodi, A. 1966. Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields. Part XIX: Colombia, Ecuador and Peru. International Association of Volcanology, 73 p. Rome.

IDEAM 2023. Informe del estado de los glaciares colombianos 2023. 72 p.

Ingeominas. 1992. Amenaza volcánica potencial del sector occidental del Nevado de Santa Isabel. Fase I: Geología–vulcanología. Ingeominas, Internal report 2152, 82 p. Ibagué.

Ingeominas & Corporación Autónoma Regional de Risaralda. 1993. Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial Complejo de Domos Santa Isabel, cordillera Central de Colombia. Ingeominas, Internal report 2162, 53 p. Ibagué.

Lescinsky, D.T. 1990a. Geology, volcanology and petrology of Cerro Bravo, a young dacitic stratovolcano in west–central Colombia. Master thesis, Louisiana State University. 244 p. Baton Rouge, USA.

Londoño, J.M. 2016. Evidence of recent deep magmatic activity at Cerro Bravo–Cerro Machín Volcanic Complex, central Colombia. Implications for future volcanic activity at Nevado del Ruiz, Cerro Machín and other volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 324: 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.06.003>.

Londono, J. M., & Galvis, B. (2018). Seismic data, photographic images and physical modeling of volcanic plumes as a tool for monitoring the activity of Nevado del Ruiz Volcano, Colombia. *Frontiers in Earth Science*, 6, 162.

Lundgren, P., Samsonov, S.V., López-Vélez, C.M. & Ordóñez, M. 2015. Deep source model for Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, constrained by interferometric synthetic aperture radar observations. *Geophysical Research Letters*.

Martínez, L.M., Valencia, L.G., Ceballos, J.A., Narváez, B.L., Pulgarín, B.A., Correa, A.N., Navarro, S, Murcia, H.F., Zuluaga, I., Rueda, J.B. & Pardo, N. 2014. Geología y estratigrafía del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz. Servicio Geológico Colombiano informe interno, 853 p. Bogotá.

Martínez L.M., Monsalve M. L., Valencia L.G., Galarza J.J. 2022. Geología y dinámica eruptiva del Complejo Volcánico Cerro Bravo. Informe técnico, Dirección de Geoamenazas, Servicio Geológico Colombiano, Manizales.

Méndez, R. A. (1995). La erupción del volcán Nevado del Ruiz el primero de septiembre de 1989. Datos geológicos y modelo de la erupción. *Boletín Geológico*, 35(2-3), 22-42.

Méndez, R.A., Cortés, G.P. & Cepeda, H. 2002. Evaluación de la amenaza volcánica potencial del Cerro Machín (departamento del Tolima, Colombia). Ingeominas, informe interno, 65p. Manizales.

Monsalve, M.L. 1991. Mapa preliminar de amenaza volcánica del Volcán Cerro Bravo. Ingeominas, Internal report, 2142, 130 p. Ibagué.

Monsalve, M.L. 2014. Vulcanismo en el área geotérmica de San Diego (Caldas). Servicio Geológico Colombiano, unpublished report, 195 p. Bogotá.

Monsalve, M.L. & Gómez, J. 2015. Visita de reconocimiento al Volcán Guacharacos (Ibagué, Tolima) y otros centros volcánicos del área. Servicio Geológico Colombiano, informe interno, 23p. Bogotá.

Monsalve, M.L., Ortiz, I.D. & Norini, G. 2019. El Escondido, a newly identified silicic Quaternary volcano in the NE region of the northern volcanic segment (Central Cordillera of Colombia). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*,

Monsalve–Bustamante, M.L. 2020. The volcanic front in Colombia: Segmentation and recent and historical activity. In: Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, *Publicaciones Geológicas Especiales* 38, p. 97–159. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.03>

Monsalve–Bustamante, M.L., Gómez, J. & Núñez–Tello, A. 2020. Rear–arc small–volume basaltic volcanism in Colombia: Monogenetic volcanic fields In: Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, *Publicaciones Geológicas Especiales* 38, p. 353–396. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.10>

Monsalve, M. luisa, Ortiz Martin, I. D., & Avila Vallejo, H. (2023). Morphology and general stratigraphy of the maar-type San Diego volcano, NE of Caldas, Colombia. *Boletín Geológico*, 50(1). <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.50.1.2023.684>

Murcia, H.F., Hurtado, B.O., Cortés, G.P., Macías, J.L. & Cepeda, H. 2008. The ~2500 yr B.P. Chicoral non-cohesive debris Flow from Cerro Machín Volcano, Colombia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 171(3–4): 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.11.016>

Murcia, H.F., Sheridan, M.F., Macías, J.L. & Cortés, G.P. 2010. TITAN2D simulations of pyroclastic flow at Cerro Machín Volcano, Colombia: Hazard implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2): 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.09.005>

Murcia, H.F., Borrero, C.A. & Németh, K. 2019. Overview and plumbing system implications of monogenetic volcanism in the northernmost Andes' volcanic province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 383: 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.06.013>

Núñez, A., Gómez, J. & Rodríguez, G.I. 2001. Vulcanismo básico al sureste de la ciudad de Ibagué, departamento del Tolima, Colombia. VIII Congreso Colombiano de Geología. *Memoirs*, 12 p. Manizales.

Ordoñez, M., Laverde, C. & Battaglia, M. 2022. The new lava dome growth of Nevado del Ruiz (2015–2021). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volume 430, October 2022, 107626.

Ordoñez, M., Idárraga, J., Adamo, R. and Battaglia, M. (2024). Geodetic monitoring of the recent activity and the dome forming eruption at Nevado del Ruiz (Colombia), 2010–2023. *Sci Rep* 14, 21441. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72058-y>.

Osorio, J., Montes, N., Velandia, F., Acosta, J., Romero, J., Diederix, H., Audemard, F.A. & Núñez, A. 2008. Estudio Paleosismológico de la Falla de Ibagué.

Pinilla, A. 2005. Cartografía geológica de los depósitos volcánicos y sedimentarios vulcanogénicos a escala 1:25 000 y bosquejo de la amenaza por eventos de caída piroclástica en la parte alta de la cuenca de los ríos Tapias–Tareas. Tesis de Pegrado, Universidad de Caldas, 135 p. Manizales.

Pulgarín–Alzate, B.A., Tamayo–Alzate, M., Correa–Tamayo, A.M., Ceballos–Hernández, J.A., Cruz–Toro, Y.P. & Méndez–Fajury, R. 2020. Stratigraphy and geological evolution of the Paramillo de Santa Rosa Volcanic complex. In: Gómez, J. & Pinilla– Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, p. 197–226. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.05>

Rueda, H. 2005. Erupciones plinianas del Holoceno en el Volcán Cerro Machín, Colombia: Estratigrafía, petrografía y dinámica eruptiva. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 118 p. México D.F.

Thouret, J.C. & van der Hammen, T. 1981. Una secuencia holocénica y tardiglacial en la cordilla Central de Colombia: Aspectos geomorfológicos, pedológicos y paleoecológicos en el área del Parque Nacional de los Nevados, Tolima, Risaralda. *Revista CIAF*. 6 (1–3) p. 609–634. Bogotá.

Thouret, J.C., Murcia, A., Salinas, R. & Vatin–Perignon, N. 1985. Aspectos volcano–estructurales y dinamismo eruptivo reciente de los volcanes Cerro Bravo y Nevado del Tolima, Cordillera Central de Colombia. VI Congreso Latinoamericano de Geología. *Memoirs* I, p. 269–288. Bogotá.

Thouret, J.C., Cantagrel, J.M., Salinas, R. & Murcia, A. 1990. Quaternary eruptive history of Nevado del Ruiz, Colombia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 41(1–4): 225–251. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90090-3](https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90090-3)

Thouret, J.C., Cantagrel, J.M., Robin, C., Murcia, A., Salinas, R. & Cepeda, H. 1995. Quaternary eruptive history and hazard– zone model at Nevado del Tolima and Cerro Machin Volcanoes, Colombia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 66(1–4): 397–426. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(94\)00073-P](https://doi.org/10.1016/0377-0273(94)00073-P)

Valencia G., Martínez L. M., Monsalve M. L. Galarza J. J. (2022). Mapa de amenaza volcánica del complejo volcánico Cerro Bravo segunda versión memoria– junio de 2022. Manizales.