

INFORME TÉCNICO – OPERATIVO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

SEGMENTO VOLCÁNICO NORTE DE COLOMBIA - MAYO DE 2022

Manizales, junio de 2022









Servicio Geológico Colombiano

Oscar Paredes Zapata **Director general**

Marta Lucía Calvache Velasco

Director técnico de Geoamenazas (E)

Gloria Patricia Cortés Jiménez Coordinadora SGC - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales

Cristian Mauricio López Vélez

Coordinador Evaluación y Monitoreo de la Actividad Volcánica

AUTORES

Claudia Patricia Álvarez Juan José Idárraga Milton Ordoñez Nancy Trujillo Zoraida Chacón Álvaro Esteban Acevedo Beatriz Elena Galvis Julián Ramírez Lina Constanza García Lina Marcela Castaño Luis Miguel Cardona Oscar Sanabria John Makario Londoño César Augusto Vega Julián Orlando Peña Ricardo Méndez

Grupo de trabajo de Evaluación y monitoreo de actividad volcánica. SGC - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales.

Contenido

| Resumen Abstract Introducción | | 4 |
|-------------------------------------|---|----|
| | | 5 |
| | | 6 |
| 1. | Red de vigilancia volcánica | 8 |
| 2. | Actividad volcánica | 10 |
| 2.1. | Volcanes en nivel de actividad amarillo | 10 |
| 2.1.1. | Volcán Nevado del Ruiz (VNR) | 10 |
| 2.1.2. | Volcán Cerro Machín (VCM) | 23 |
| 2.2. | Volcanes en nivel de actividad verde | 29 |
| 2.2.1. | Geofísica | 29 |
| 2.2.2. | Geodesia (deformación) | 32 |
| 2.2.3. | Diagnóstico de la actividad volcánica | 41 |
| Conclusiones | | 42 |

Resumen

El monitoreo continuo multi-paramétrico de actividad en los volcanes activos Nevado del Ruiz (VNR) y Cerro Machín (VCM) continuó mostrando cambios que evidencian un comportamiento inestable de estos volcanes durante mayo de 2022. Los demás volcanes activos del Segmento Volcánico Norte de Colombia (SVNC) presentaron un comportamiento estable.

La actividad volcánica en el VNR se caracterizó por presentar sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos, y por la continua desgasificación, expulsando a la atmósfera dióxido de azufre y vapor de agua, principalmente. En mayo los eventos asociados a la sismicidad de fluidos se incrementaron en número y energía en relación con el mes anterior. El registro sísmico se caracterizó por eventos de largo periodo, LP, y de muy largo periodo, VLP, pulsos de tremor, TR, tremor continuo, TC, con niveles energéticos y contenidos espectrales variables. Algunas de estas señales estuvieron asociadas a emisiones de ceniza confirmadas por los habitantes en zonas cercanas al volcán, y además se tuvo reporte de caída de ceniza en varios municipios de Caldas.

La mayoría de estos eventos sísmicos asociados a dinámica de fluidos se localizaron en el cráter Arenas o alrededor de este. En cuanto a deformación, esta no mostró cambios significativos en la superficie volcánica.

La actividad sísmica registrada en el VCM estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en la estructura volcánica y zonas aledañas. Esta actividad disminuyó en número de eventos y en nivel de energía sísmica liberada respecto al mes anterior. Los parámetros geoquímicos y geodésicos monitoreados en el volcán presentaron un comportamiento estable.

Con base en la evaluación integral de los parámetros que se monitorean continuamente, se establece que los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín continúan en "NIVEL AMARILLO (O III): Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica". Los volcanes Nevado del Tolima, Cerro Bravo, Nevado Santa Isabel, Paramillo del Cisne, Paramillo del Quindío, Complejo Volcánico Cerro España, Paramillo de Santa Rosa, San Diego y Romeral continúan en "NIVEL VERDE (O IV): Volcán activo y comportamiento estable".

Abstract

The continuous multi-parametric monitoring of activity in the active volcanoes Nevado del Ruiz (VNR) and Cerro Machín (VCM) continued to show changes that show an unstable behavior of these volcanoes during may 2022. The other active volcanoes of the Northern Volcanic Segmento f Colombia (SVNC) presented a stable behavior.

The volcanic activity in the VNR was characterized by presenting seismicity related to fluis dynamics inside the volcanic conduits, and by continuos degassing, mainly expelling sulfur dioxide and water vapor into the atmosphere. In may, the events associated with fluid seismicity increased in number and energy in relation to the previous month. The seismic record was characterized by events of long period, LP, and very long period, VLP, tremor pulses, TR, continuos tremor, TC, with variable energy levels and spectral contests. Some of these signals were associated with ash emissions confirmed by the inhabitants in áreas near the volcano, and there were also reports of ash fall in several municipalities of Caldas.

Most of these seismic events associated with fluir dynamics were located in or around the Arenas crater. Regarding deformation, this did not show significant changes in the volcanic Surface.

The seismic activity recorded in the VCM was mainly associated with rock fracturing in the volcanic structure and surrounding areas. This activity decreased in the number of events and in the level of seismic energy released compared to the previous month. The geochemical and geodetic parameters monitored in the volcano presented a stable behavior.

Based on the comprehensive evaluation of the parameters that are continuously monitored, it is established that the Nevado del Ruiz and Cerro Machín volcanoes remain at "LEVEL YELLOW (or III): Changes in the behavior of the volcanic activity". The volcanoes Nevado del Tolima, Cerro Bravo, Nevado Santa Isabel, Paramillo del Cisne, Paramillo del Quindío, Paramillo de Santa Rosa, San Diego and Romeral continue in "GREEN LEVEL (or IV): active volcano and stable behavior".

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 investigar eventos 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, ha implementado 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 del país. El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales (OVS-Manizales), creado en abril de 1986, se encarga de realizar el monitoreo continuo de los volcanes pertenecientes al Segmento Volcánico Norte de Colombia (comprendido entre las coordenadas geográficas 4° 22′ 01″ y 5° 44′ 28″ de la latitud Norte y 74° 50′ 42″ y 75° 49′ 26″ de longitud oeste), 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.

En este informe el SGC presenta un compendio de la actividad de dichos volcanes correspondiente a mayo de 2022. El informe compila la información 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 Evaluación y Monitoreo de Actividad Volcánica en Manizales.

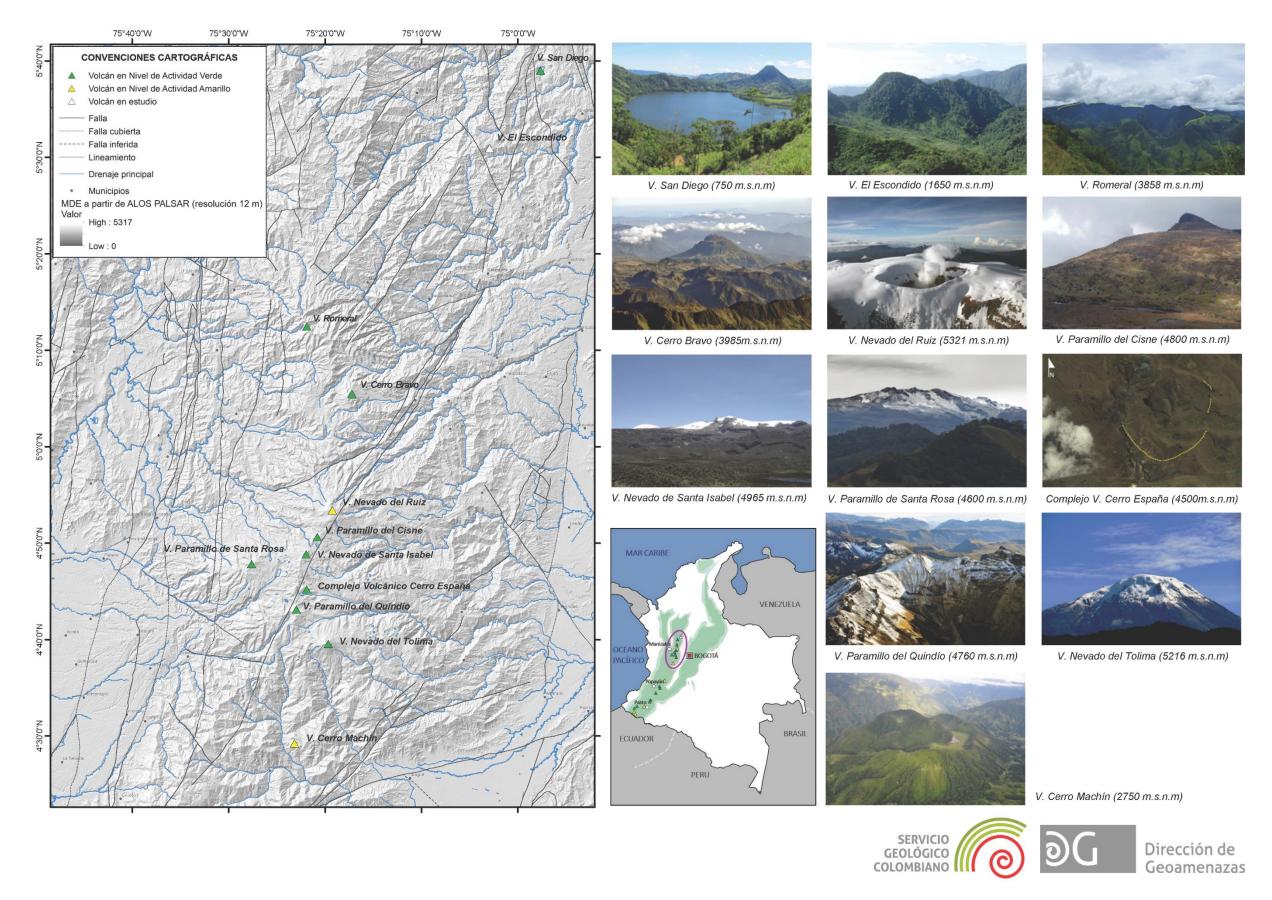


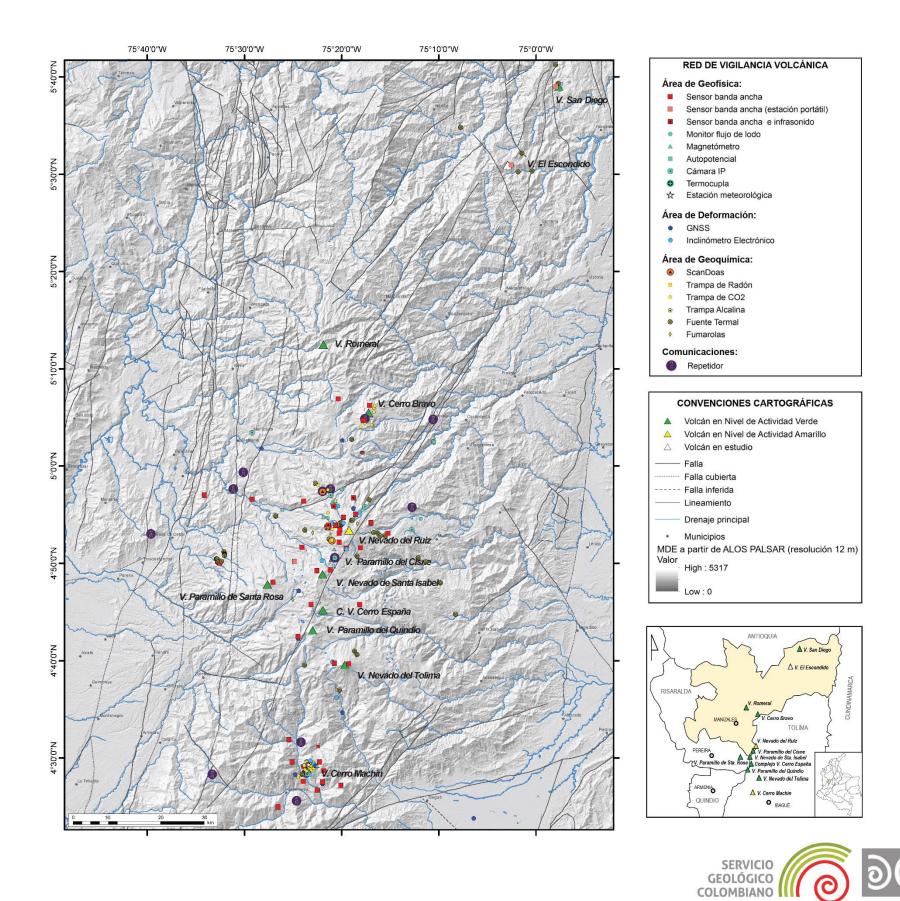
Figura 1. Localización y fotografías de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia. La imagen a la izquierda corresponde a un mapa de sombras realizado a partir de un MDE (o DEM) de 12 m de resolución

1. Red de vigilancia volcánica

La red de vigilancia telemétrica de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia en la actualidad está conformada por 163 estaciones ubicadas en campo (162 telemétricas y 1 portátil), las cuales cuentan con sensores de las distintas áreas del monitoreo (geofísico, geoquímico y geodésico), complementada con repetidores de comunicaciones cuyo propósito es transmitir la información desde cada una de las estaciones hasta la sede del observatorio en la ciudad de Manizales (figura 2).

El porcentaje de funcionamiento de la red telemétrica durante el mes de mayo de 2022 fue del 83,39 %.

Durante este mes se destaca el trabajo de remodelación iniciado en la estación de BIS, donde se está instalando un nuevo sistema eléctrico ubicado a alrededor de 1 km de distancia de los equipos de medición, esto con el objetivo de mitigar la afectación que se tiene sobre los paneles solares cada vez que hay una emisión de ceniza. El sitio elegido para el nuevo sistema eléctrico se encuentra más lejos del cráter Arenas, además de que se encuentra más cerca de la carretera, lo que facilitará en el futuro su limpieza y mantenimiento (figura 3).



Dirección de Geoamenazas

Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia



Figura 3. Instalación del cableado desde el nuevo sistema eléctrico hasta la estación multiparamétrica BIS

2. Actividad volcánica

Con base en los resultados de los datos obtenidos en las diferentes disciplinas de monitoreo volcánico, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) ha definido cuatro niveles para establecer el estado de la actividad de los volcanes en Colombia. Estos niveles son: Nivel Verde (o IV: volcán activo y comportamiento estable), Nivel Amarillo (o III: cambios en el comportamiento de la actividad volcánica), Nivel Naranja (o II: erupción probable en términos de días o semanas) y Nivel Rojo (o I: erupción inminente o en curso).

2.1. Volcanes en nivel de actividad amarillo

Para establecer el Nivel Amarillo o III se deben considerar variaciones en los niveles de los parámetros derivados de la vigilancia que indican que el volcán está por encima del estado base y que el sistema es inestable pudiendo evolucionar aumentando o disminuyendo esos niveles. En los volcanes en nivel amarillo pueden registrarse fenómenos como enjambres de sismos, algunos de ellos sentidos; emisiones de ceniza, lahares, cambios morfológicos, ruidos y olores de gases volcánicos entre otros, que pueden alterar la calidad de vida de las poblaciones en la zona de influencia volcánica. En la actualidad, dos de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia se encuentran en este nivel de actividad, los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín.

2.1.1. Volcán Nevado del Ruiz (VNR)

El volcán Nevado del Ruiz se encuentra en nivel de actividad amarillo desde mediados de 2012. Para realizar el diagnóstico de la actividad volcánica en el VNR, el SGC lleva a cabo un monitoreo continuo y permanente del volcán basado en la observación visual y la aplicación de diferentes técnicas

especializadas (geofísica, geodesia, geoquímica y geovulcanología) que le permite estar atento a la evolución del fenómeno volcánico.

A continuación, se presentan los datos de los parámetros monitoreados en el VNR durante mayo de 2022:

2.1.1.1. **Geofísica**

Los datos del monitoreo sismológico registrados en el VNR, durante el mes de mayo, muestran que la actividad sísmica estuvo asociada principalmente a movimiento de fluidos dentro de los conductos volcánicos y en menor proporción a fracturamiento de rocas en el interior del volcán y zonas de debilidad aledañas. También se presentaron señales sísmicas relacionadas con la dinámica del glaciar que cubre la parte alta del edificio volcánico.

La actividad sísmica asociada a fracturamiento de rocas incrementó tanto en número de sismos registrados (figura 4) como en energía sísmica liberada con respecto al mes de abril (figura 5).

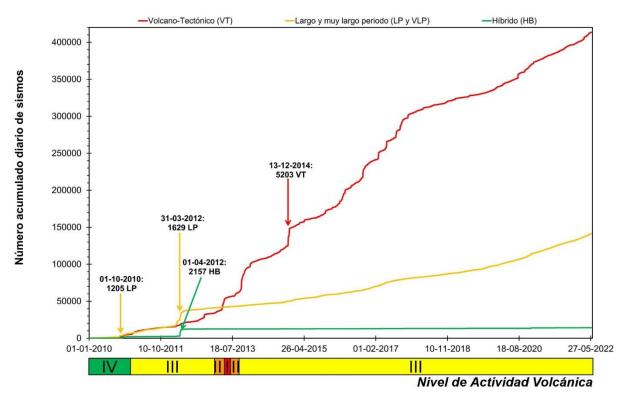


Figura 4. Número acumulado de la sismicidad tipo VT, LP-VLP, e HB registrada diariamente en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días con mayor registro de eventos sísmicos

La localización epicentral de la sismicidad VT se dio principalmente en los sectores noroccidental, nororiental y cráter Arenas y en menor proporción en los sectores suroriental y suroccidental del volcán. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 0,2 y 9,6 km (figura 6). Se destaca el incremento que ocurrió el 9 de mayo, los eventos sísmicos fueron localizados a 2,0 km (en promedio) al nororiente del cráter Arenas, a profundidades de entre 2,0 y 6,0 km. La mayor magnitud registrada en el incremento, que a su vez corresponde con la mayor magnitud registrada durante el mes, fue de 3,0 ML (magnitud

local) y fue asociada al evento que ocurrió a las 10:05, hora local, que se localizó a 2,0 km al nororiente del cráter Arenas, a una profundidad de 4,0 km.

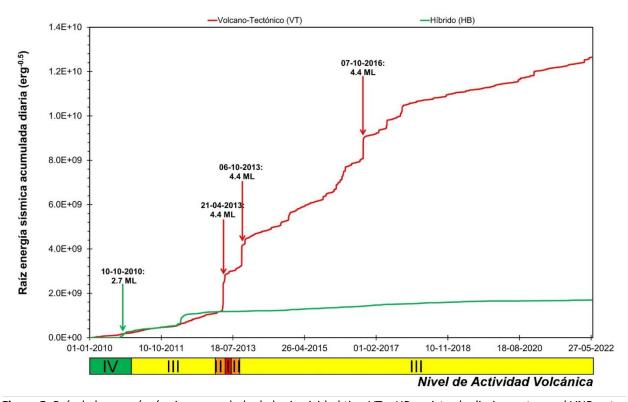


Figura 5. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad tipo VT e HB registrada diariamente en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

La sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos en el interior de los conductos volcánicos incrementó en número de eventos registrados (figura 4) y en energía sísmica liberada con relación al mes de abril. Esta actividad sísmica estuvo caracterizada por eventos de largo periodo, LP, y de muy largo periodo, VLP, pulsos de tremor, TR, tremor continuo, TC, con niveles energéticos y contenidos espectrales variables. La mayoría de estos eventos sísmicos asociados a dinámica de fluidos se localizaron en el cráter Arenas o alrededor de este, en un radio de 1 km. Algunas de estas señales estuvieron asociadas a emisiones de ceniza confirmadas a través de las cámaras instaladas en el área del volcán y/o personal del SGC en campo, personal del PNN Los Nevados y habitantes en zonas cercanas al volcán. Durante el mes, 101 emisiones de ceniza fueron confirmadas y se tuvo reporte de caída de ceniza en varios municipios de Caldas localizados al noroccidente del volcán.

El valor máximo de Dr promedio calculado durante el mes fue de 14,6 cm² y corresponde a un pulso de tremor, TR, registrado el 02 de mayo a las 21:38, hora local. En cuanto a los eventos tipo LP y VLP los valores máximos de Dr promedio fueron de 12 cm² el 25 de mayo a las 22:45, hora local, y 9,1 cm² el 21 de mayo a las 08:31, hora local, respectivamente (figura 7).

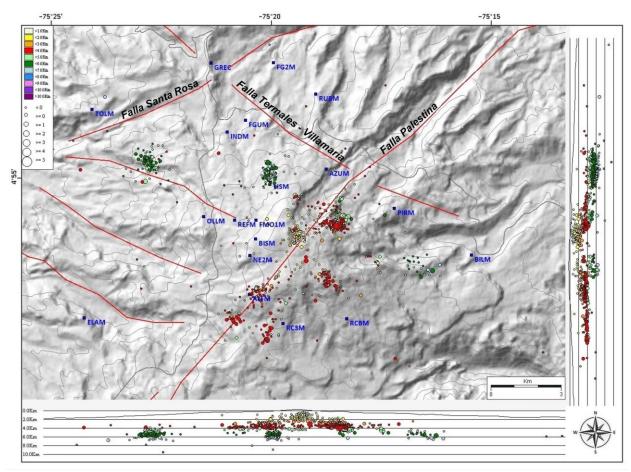


Figura 6. Mapa de localización de los eventos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante el mes de mayo de 2022. Los cuadros de color azul representan las estaciones sismológicas. La escala de colores de los círculos representa la profundidad de los sismos y el tamaño, la magnitud

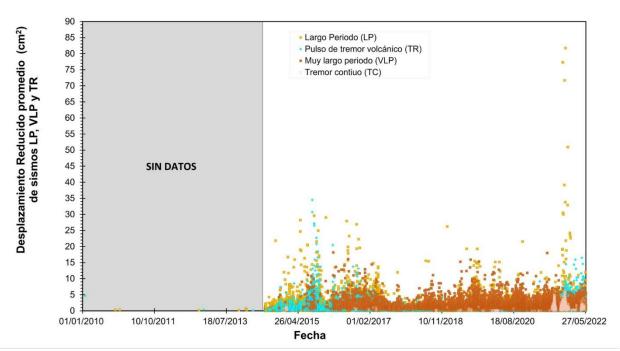


Figura 7. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP, TR y TC registrados en el VNR entre agosto de 2014 y el 31 de mayo de 2022

El TC registrado durante el mes de mayo en el VNR presentó características de tremor bandeado con duraciones que oscilaron entre minutos y horas, y niveles energéticos bajos, Dr promedio menor a 3,2 cm².

La gráfica de RSAM (*Real-time Seismic-Amplitud Measurement*) muestra el comportamiento de la amplitud sísmica, en una estación determinada, tomando, en forma periódica, datos promedio de amplitud para evaluar el comportamiento de señales sísmicas de larga duración como el TC. En la figura 8 se observa el RSAM para la estación BIS componente vertical y se aprecian las variaciones en la amplitud del TC, que para el mes de mayo correspondió a una disminución en la magnitud de este parámetro.

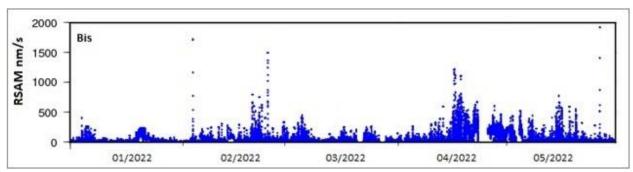


Figura 8. Gráfica RSAM de la estación sismológica BIS, componente vertical, entre el 01 de enero y el 30 de mayo de 2022

Los datos SSAM (Seismic Spectral-Amplitude Measurement) relacionan la energía sísmica en diferentes bandas de frecuencia para conocer el comportamiento frecuencial de señales como el TC. Para el caso del

VNR, durante el mes de mayo, la energía del TC se concentró, principalmente, en el rango entre 1 y 6 Hz. El rango de frecuencias dominante estuvo alrededor de 3,4 Hz (figura 9).

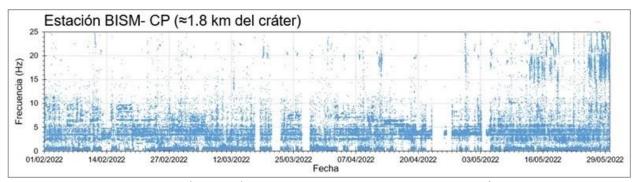


Figura 9. Datos SSAM de la estación sismológica BIS, componente vertical, entre el 01 de febrero y el 30 de mayo de 2022

Los días 05, 08, 12, 24, 25 y 26 de mayo se presentaron episodios de sismicidad tipo "drumbeat". Estos episodios estuvieron relacionados, principalmente, con eventos sísmicos asociados a fracturamiento de roca, y en menor proporción, a la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos, y se caracterizaron por ser eventos de corta duración y bajo nivel energético.

Finalmente, la sismicidad asociada a la dinámica glaciar y/o procesos de movimientos en masa disminuyó respecto al mes anterior. La mayoría de estas señales sísmicas estuvieron asociadas a procesos de fracturamiento del casquete glaciar, caídas de roca, pequeñas avalanchas generadas por deshielo o fuertes precipitaciones

2.1.1.2. Geodesia (deformación)

2.1.1.2.1. Inclinometría electrónica

Durante mayo estuvieron operativos los 10 inclinómetros de la red. La tendencia de las componentes Este - δ E y Norte - δ N para los inclinómetros BIS y REFUGIO presentó un comportamiento estable. En la figura 10 y figura 11 se presentan la serie temporal de estos inclinómetros sin el efecto de temperatura y deriva.

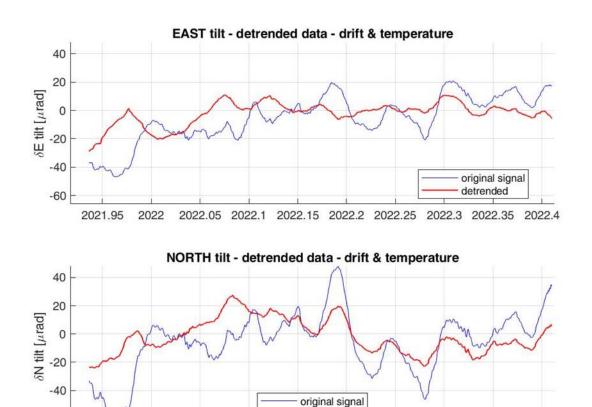


Figura 10. Comportamiento del inclinómetro electrónico Bis2 para el periodo 1 de diciembre de 2021 a 31 de mayo de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento

detrended

2022.05 2022.1 2022.15 2022.2 2022.25 2022.3 2022.35 2022.4

-60

2021.95

2022

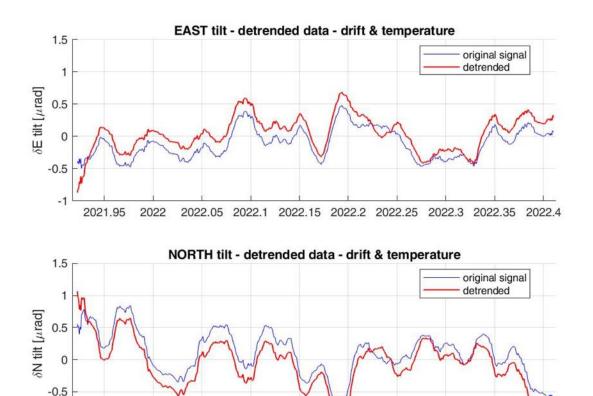


Figura 11. Comportamiento del inclinómetro electrónico Refugio para el periodo 1 de diciembre de 2021 a 31 de mayo de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento

2022.05 2022.1 2022.15 2022.2 2022.25 2022.3 2022.35 2022.4

2.1.1.2.2. Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Se realizó el procesamiento de las estaciones GNSS permanentes del Volcán Nevado del Ruiz usando el software GAMIT/GLOBK 10.71 con órbitas finales. Los resultados del procesamiento para las componentes Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS muestran estabilidad para los últimos años. En la figura 12 se presenta la serie temporal del GNSS GUAL para el último año, como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.

-1

2021.95

2022

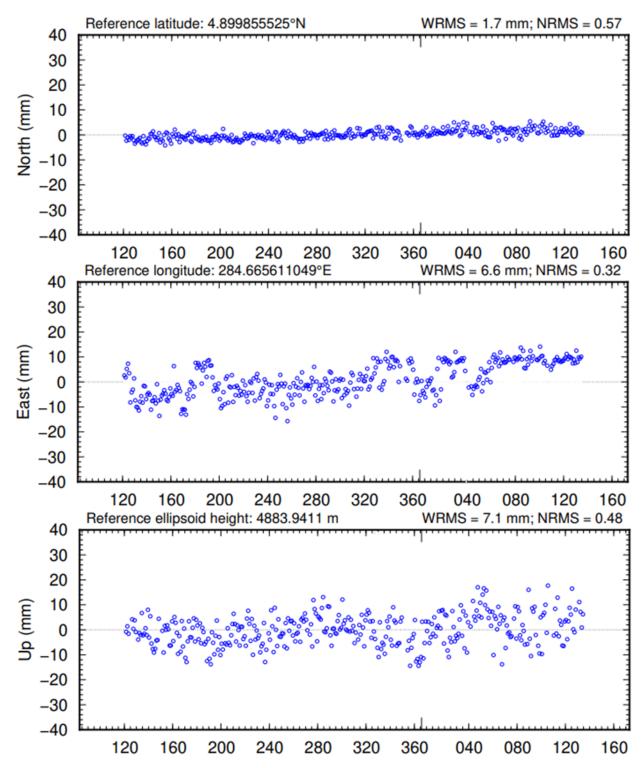


Figura 12. Serie temporal para la estación GNSS permanente GUAL, mayo de 2021 a mayo de 2022

2.1.1.2.3. Procesamiento de líneas base GNSS

Para el Volcán Nevado del Ruiz se han definido 2 líneas base entre las estaciones GNSS BILL, OLLE, INDE, SINN (figura 13) (Se cuenta con más de 50 líneas base para monitorear la deformación del VNR). En la figura 14 se muestra el resultado de los datos procesados para los últimos seis meses. Las líneas base OLLE-BLLR y INDE-SINN muestran estabilidad.



Figura 13. Localización de líneas base GNSS en el Volcán Nevado del Ruiz

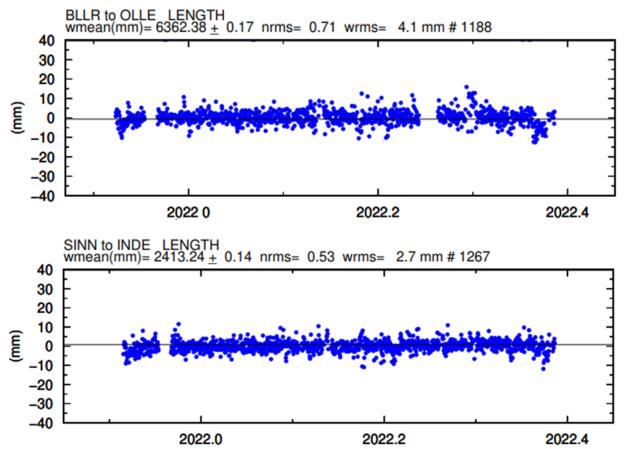


Figura 14. Resultados de las líneas base del Volcán Nevado del Ruiz. BLLR-OLLE y INDE-SINN. Diciembre 2021 a mayo de 2022

2.1.1.2.4. Interferometría diferencial de radar (D-insar)

Para el área del Volcán Nevado del Ruiz se procesó el par interferométrico del 24-04-2022 y 30-05-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Los resultados se muestran en la figura 15, en la cual se detalla que para el periodo evaluado no se han registrado procesos deformativos. Las variaciones observadas corresponden a efectos de estratificación atmosférica.

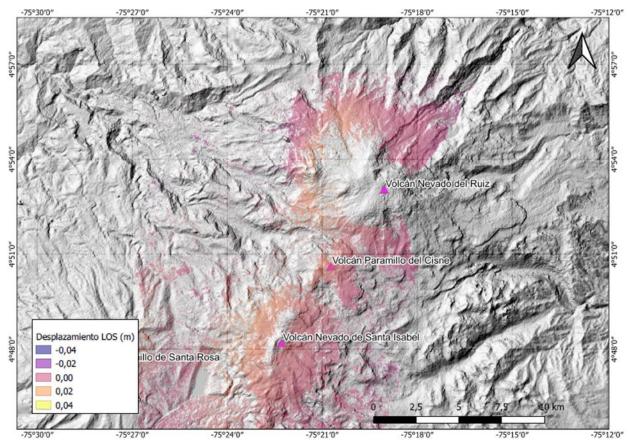


Figura 15. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 24-04-2022 y 30-05-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del Volcán Nevado del Ruiz

2.1.1.3. Geoquímica

En mayo, los procesos de desgasificación en el volcán fueron registrados por medio de las estaciones telemétricas ScanDOAS: ALFOMBRALES, EL CAMIÓN, OLLETA, BRUMA y AZUFRADO. La estimación del flujo diario de SO_2 se realizó teniendo en cuenta la velocidad y dirección del viento, datos que fueron proporcionados por la estación meteorológica OLLETA, el anemómetro de la estación GUALI y el IDEAM a través del modelo WRF (*Weather Research and Forescast*). Durante el mes, la velocidad promedio del viento fue de 5,41 m/s, y su dispersión hacia los flancos occidental y noroccidental principalmente. Se estimó un valor máximo de flujo de SO_2 de 7651 T/d, y un promedio de 1600 T/d (figura 16).

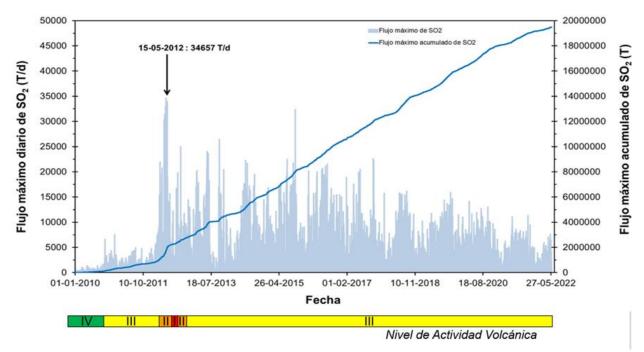


Figura 16. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO₂ Volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de mayo de 2022. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO₂

Respecto a las estaciones de monitoreo de gas radón AZUFRADO y ALFOMBRALES registraron datos promedios de 7876 y 938 Bq/m³ respectivamente, valores que se encuentran dentro de las variaciones normales de sus líneas base.

El monitoreo fisicoquímico de variables como pH, conductividad eléctrica, concentración de aniones y cationes mayoritarios de las fuentes termales aledañas al volcán mostraron estabilidad en sus valores.

2.1.1.4. Actividad superficial y anomalías térmicas

A partir de las mediciones realizadas mediante la triangulación de las estaciones ScanDoas, se calculó una altura promedio mensual de la columna de gases de 768 m (figura 17).

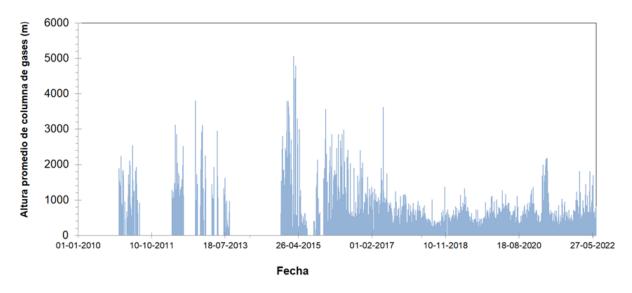


Figura 17. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDoas

2.1.1.5. Diagnóstico de la actividad del volcán Nevado del Ruiz

El VNR continúa presentando inestabilidad y cambios en su comportamiento volcánico. Respecto a la actividad sísmica, se observó que continúa el predominio de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos al interior de la estructura volcánica, esta sismicidad presentó incremento tanto en número de eventos como en energía sísmica liberada respecto al mes de abril. Algunas de estas señales estuvieron relacionadas con emisiones de ceniza. La actividad sísmica asociada a fracturamiento de roca también mostró incrementó en el número de eventos registrados y en la energía sísmica liberada, respecto al mes anterior. La sismicidad asociada a la dinámica glaciar disminuyó durante el mes de mayo. Como consecuencia de la actividad sísmica que continúa registrando el volcán, sus niveles energéticos se mantienen por encima de su estado base.

El SGC establece que el VNR continúa presentando un comportamiento inestable y por lo tanto se considera que permanece en NIVEL DE ACTIVIDAD AMARILLO (o III).

2.1.2. Volcán Cerro Machín (VCM)

El volcán Cerro Machín se encuentra en Nivel de Actividad Amarillo desde el mes de agosto de 2006. El diagnóstico de la actividad volcánica que realiza el SGC se hace a partir del monitoreo continuo y permanente basado en la observación visual y la aplicación de diferentes técnicas especializadas tales como: geofísica, geodesia, geoquímica y geovulcanología, que permiten seguir la evolución del fenómeno volcánico.

A continuación, se presentan los datos de los parámetros monitoreados en el VCM durante mayo de 2022.

2.1.2.1. **Geofísica**

La actividad sísmica registrada en el VCM estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en la estructura volcánica y zonas aledañas. Esta actividad disminuyó en número de eventos (figura 18) y en nivel de energía sísmica liberada (figura 19), con respecto al mes de abril.

Los eventos sísmicos fueron localizados en el sector suroccidental del edificio volcánico, principalmente, a profundidades entre 1,4 y 7,0 km (figura 20). La mayor magnitud registrada, durante el mes, fue de 2,1 ML (magnitud local) y corresponde al evento ocurrido el 17 de mayo a las 01:42, hora local, evento localizado a 1,65 km al suroccidente del domo principal, a una profundidad de 2,6 km.

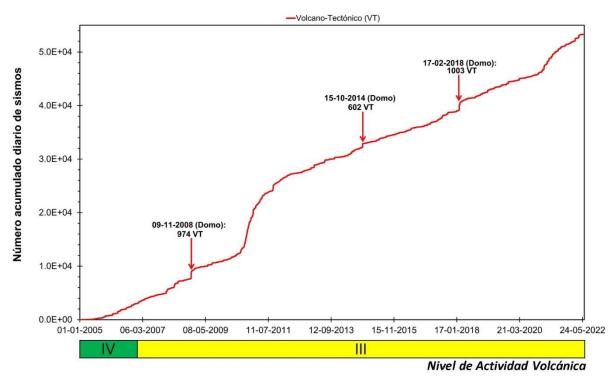


Figura 18. Número acumulado de eventos VT registrados diariamente en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se relaciona el número de eventos y el sector de localización

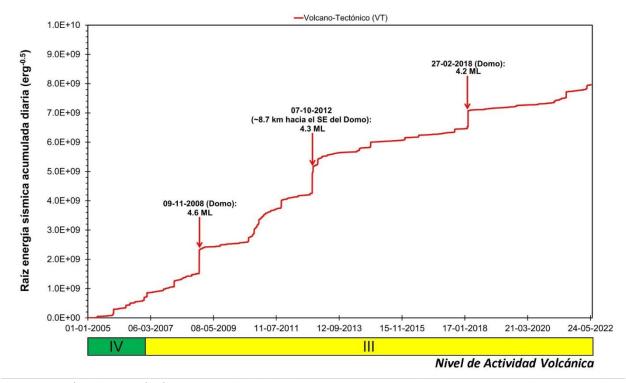


Figura 19. Raíz de la energía sísmica acumulada de de los eventos VT registrados diariamente en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se relaciona la magnitud local (ML) máxima registrada y el sector de localización

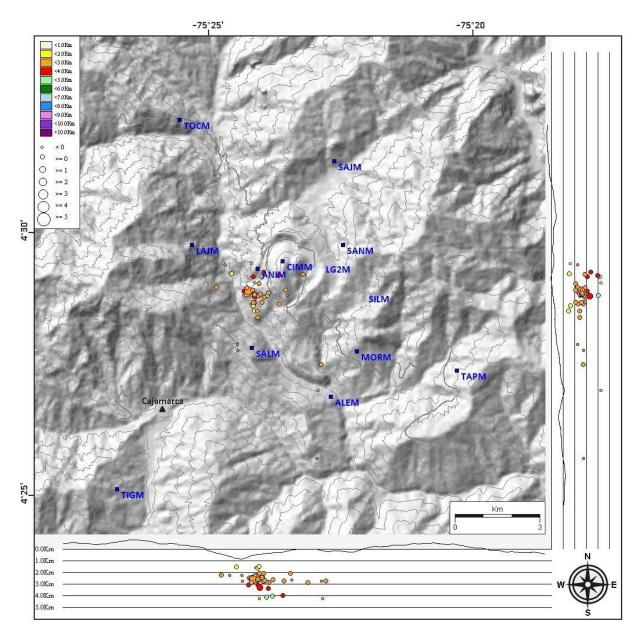


Figura 20. Mapa de localización de los eventos VT (círculos de colores) registrados en el VCM durante el mes de mayo. Los cuadros de color azul representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos la magnitud de los sismos

2.1.2.2. Geodesia (deformación)

2.1.2.2.1. Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Se realizó el procesamiento de las estaciones GNSS permanentes del Volcán CERRO MACHÍN usando el software GAMIT/GLOBK 10.71 con órbitas finales. Los resultados del procesamiento para las componentes Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS muestran estabilidad para los últimos años. En la figura 21 se

presenta la serie temporal del GNSS MRAL para el último año como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.

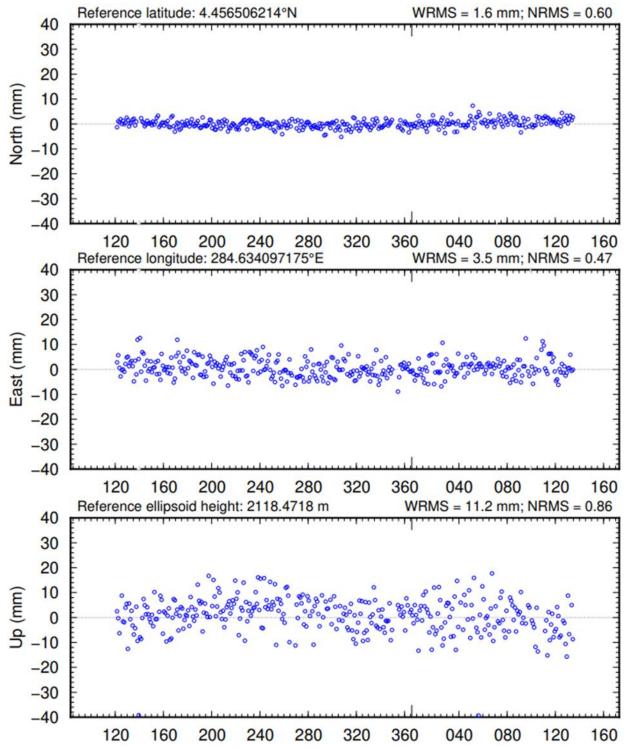


Figura 21. Serie temporal para la estación GNSS permanente MRAL, mayo de 2021 a mayo de 2022

2.1.2.2.2. Procesamiento de líneas base GNSS

Para el Volcán Cerro Machín se ha definido una línea base entre las estaciones GNSS LAGU y MRAL (figura 22) (Se cuenta con más de 10 líneas base para monitorear la deformación del VCM). En la figura 23 se muestra el resultado de los datos procesados para los últimos seis meses. Los resultados observados en la línea base muestran un comportamiento estable entre las estaciones evaluadas. Los espacios sin datos en la línea base corresponden a problemas relacionados con la telemetría de la estación GNSS LAGU.



Figura 22. Localización de línea base GNSS en el Volcán Cerro Machín

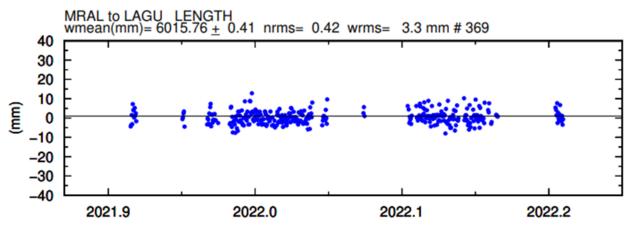


Figura 23. Resultados de la línea base del Volcán Cerro Machín. MRAL-LAGU. Diciembre 2021 a mayo de 2022

2.1.2.3. Geoquímica

El monitoreo continuo de la temperatura en la Fuente Termal ESTATUAS mostró estabilidad respecto a las medidas observadas en meses anteriores. El valor promedio de la temperatura fue de 87 °C.

2.1.2.4. Diagnóstico de la actividad del volcán Cerro Machín

La actividad sísmica en comparación a años anteriores continúa baja en número de eventos sísmicos y en energía sísmica liberada. No se registraron cambios significativos en los parámetros monitoreados de geodesia y geoquímica. El Servicio Geológico Colombiano establece que el VCM sigue presentando un comportamiento inestable y considera que continúa en NIVEL DE ACTIVIDAD AMARILLO (o III).

2.2. Volcanes en nivel de actividad verde

El Servicio Geológico Colombiano considera como volcanes en Nivel de Actividad Verde (o IV) aquellos volcanes activos que presentan un comportamiento estable. Los volcanes en este nivel de actividad pueden mostrar un umbral base que caracteriza el estado de reposo o quietud, así como actividad sísmica, fumarólica u otras manifestaciones de actividad en superficie que afectan fundamentalmente la zona más inmediata o próxima al centro de emisión, sin representar riesgo para las poblaciones y actividades económicas de su zona de influencia. Los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia SNVC que se encuentran en este nivel son: San Diego, Romeral, Cerro Bravo, Paramillo del Cisne, Nevado de Santa Isabel, Complejo Volcánico Cerro España, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío y Nevado del Tolima.

A continuación, se describen las principales observaciones realizadas en el mes de mayo a partir de los diferentes parámetros monitoreados en los volcanes antes mencionados.

2.2.1. Geofísica

La actividad sísmica registrada durante el mes de mayo en los volcanes del segmento norte, en Nivel de Actividad Verde, estuvo asociada principalmente a procesos de fracturamiento de roca en los edificios volcánicos y zonas de debilidad aledañas a estos (figura 24, figura 25 y figura 26).

Los volcanes Nevado de Santa Isabel, VNSI, y Paramillo del Cisne, VPC, presentaron el siguiente comportamiento sísmico, disminución en número de sismos y en energía sísmica liberada en el VNSI, e incremento en los mismos parámetros en el VPC, respecto al mes de abril. La mayor magnitud registrada en el VNSI fue de 0,5 ML (magnitud local) y corresponde al evento sísmico registrado el 21 de mayo a las 10:26, hora local, que se localizó en la parte alta del volcán, sector nor-noroccidental, a una profundidad de 4,6 km. Así mismo, la máxima magnitud registrada en el VPC fue de 1,7 ML (magnitud local) y corresponde al evento ocurrido el 01 de mayo a las 11:42, hora local, este evento fue localizado a 1,6 km al norte de la estructura volcánica, a una profundidad de 3,37 km. La actividad sísmica asociada a la dinámica del glaciar en el VNSI mostró una disminución con respecto al mes anterior.

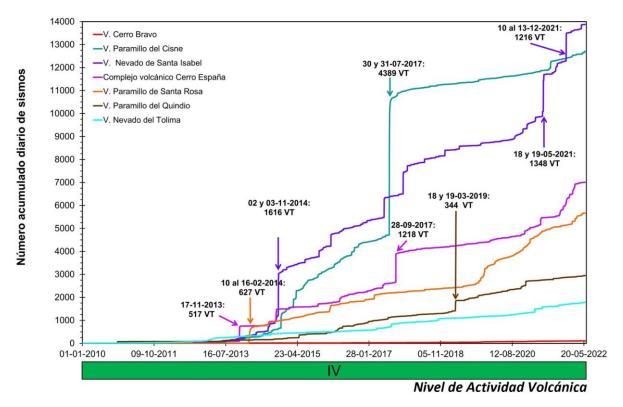


Figura 24. Número acumulado de eventos VT registrados diariamente en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días en los que se registró el mayor número de eventos. Para cada fecha se relaciona el número de eventos registrados

En el Complejo Volcánico Cerro España, CVCE, la actividad sísmica asociada a fracturamiento de roca disminuyó en número de eventos y en energía sísmica liberada con relación al mes anterior. La máxima magnitud registrada durante el mes fue de 0,0 ML (magnitud local).

Los volcanes Paramillo de Santa Rosa, VPSR, y Paramillo del Quindío, VPQ, presentaron incremento tanto en número de sismos como en energía sísmica liberada. La máxima magnitud registrada en el VPSR fue de 0,3 ML (magnitud local) y en el VPQ fue de 0,56 ML (magnitud local).

El Volcán Nevado del Tolima (VNT), presentó incremento en número de sismos y en energía sísmica liberada, respecto al mes de abril. La máxima magnitud registrada fue de 0,4 ML (magnitud local). La tasa

de señales sísmicas generadas por la dinámica del glaciar disminuyó en relación con la actividad registrada el mes anterior.

En el Volcán Cerro Bravo (VCB) se registraron algunas señales asociadas a la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos. Así mismo, hubo registró de actividad superficial en forma de pequeñas avalanchas o desprendimientos de rocas en el edificio volcánico.

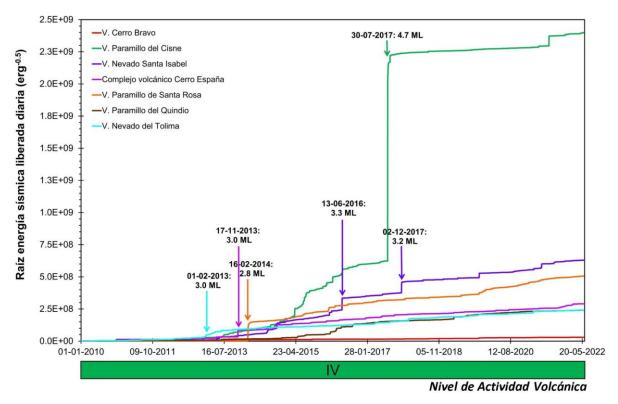


Figura 25. Raíz de la energía sísmica acumulada de los eventos VT registrados diariamente en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero de 2010 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se relaciona la magnitud local (ML) máxima registrada

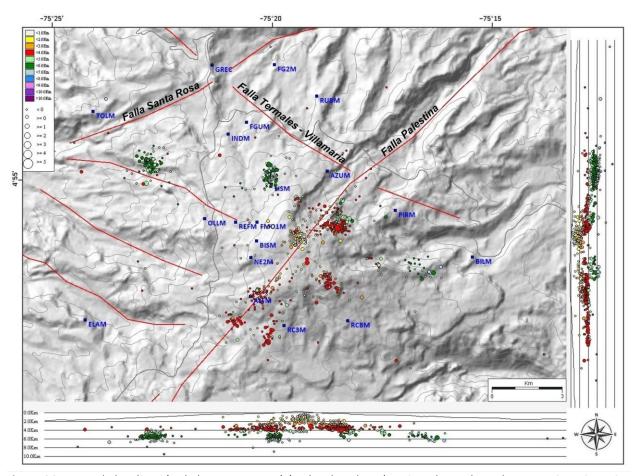
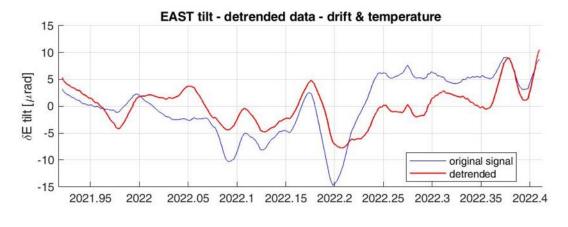


Figura 26. Mapa de localización de los eventos VT (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, durante mayo de 2022. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos la magnitud de los sismos. Los volcanes San Diego (VSD) y Romeral (VR) no presentaron actividad sísmica

2.2.2. Geodesia (deformación)

2.2.2.1. Inclinometría electrónica

Durante mayo estuvieron operativos los 4 inclinómetros de las redes de los volcanes CB, NS y NT. La tendencia de las componentes Este - δ E y Norte - δ N para los inclinómetros de CHAVA y ESME, presentó un comportamiento estable. En la figura 27 y figura 28 se presentan las series temporales de estos inclinómetros sin el efecto de temperatura y deriva.



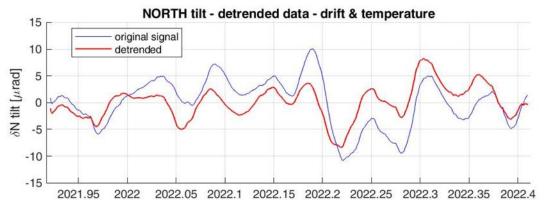
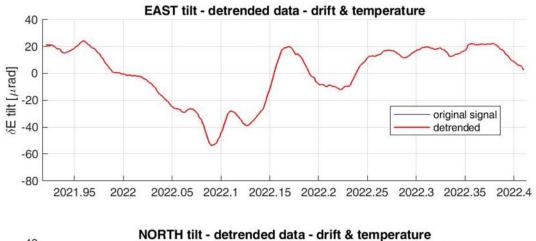


Figura 27. Comportamiento del inclinómetro electrónico Chava para el periodo 1 de diciembre de 2021 a 31 de mayo de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento



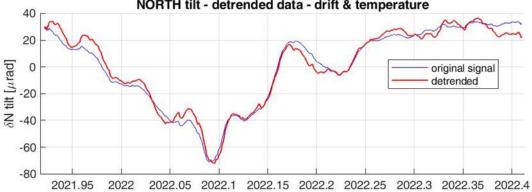


Figura 28. Comportamiento del inclinómetro electrónico Esmeralda para el periodo 1 de diciembre de 2021 a 31 de mayo de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento

2.2.2.2. Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Se realizó el procesamiento de las estaciones GNSS permanentes de los volcanes CB, NSI, NT, PSR, CVCE y PQ usando el software GAMIT/GLOBK 10.71 con órbitas finales. Los resultados del procesamiento para las componentes Norte, Este y Altura de las estaciones GNSS muestran, en general, estabilidad para los últimos meses. En la figura 29, figura 30 y figura 31 se presentan las series temporales de los GNSS OTUN, QUIM y ESME para el último año, como estaciones representativas de la red GNSS de monitoreo.

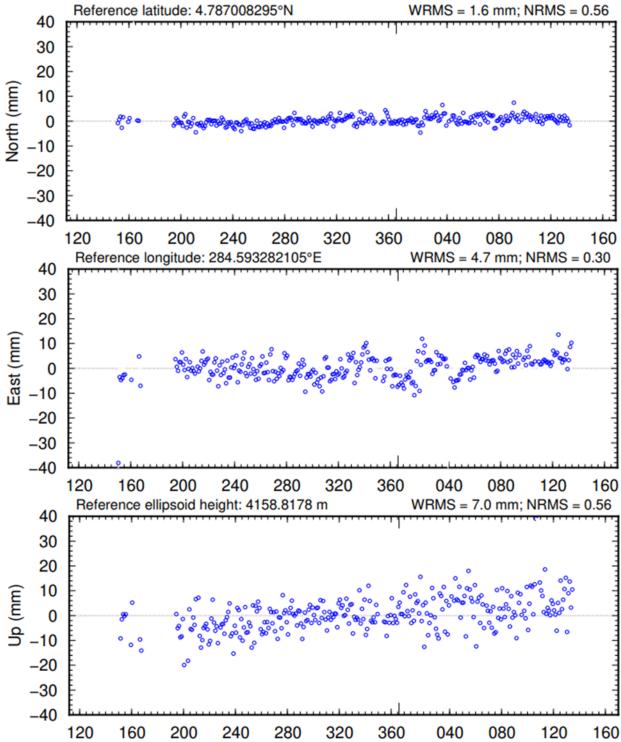


Figura 29. Serie temporal para la estación GNSS permanente OTUN, mayo de 2021 a mayo de 2022

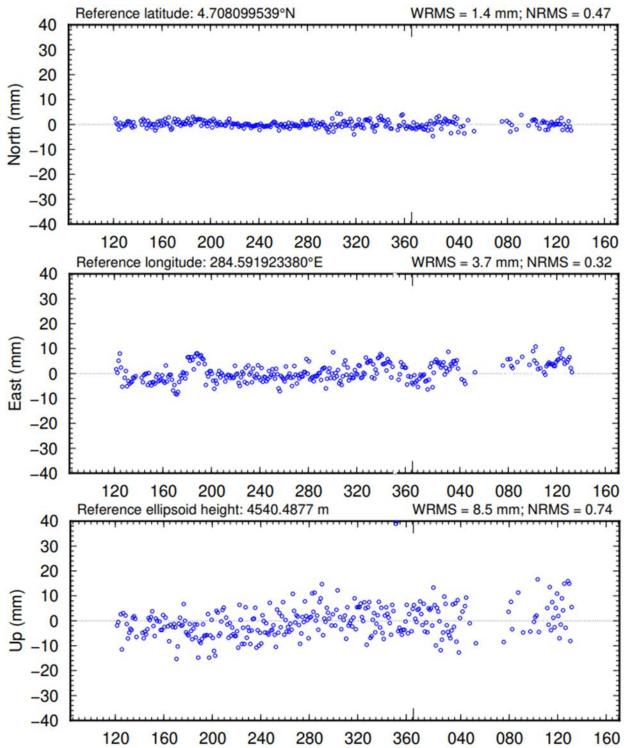


Figura 30. Serie temporal para la estación GNSS permanente QUIM, mayo de 2021 a mayo de 2022

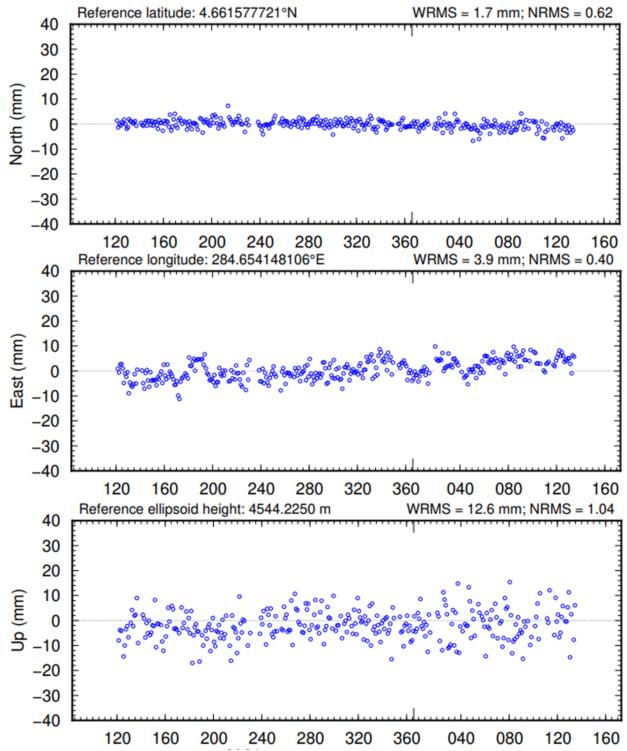


Figura 31. Serie temporal para la estación GNSS permanente ESME, mayo de 2021 a mayo de 2022

2.2.2.3. Procesamiento de líneas base GNSS

Para los volcanes en nivel de actividad verde se han definido 2 líneas base entre las estaciones GNSS LVER-QUIM y GNSS ESME-QUIM (figura 32) (Se cuenta con más de 10 líneas base para monitorear la deformación de estos volcanes). En la figura 33 se muestra el resultado de los datos procesados para los últimos seis meses. Los resultados observados en las líneas base muestran un comportamiento estable entre las estaciones evaluadas. Los espacios sin datos en las líneas base corresponden a problemas relacionados con la telemetría de las estaciones.

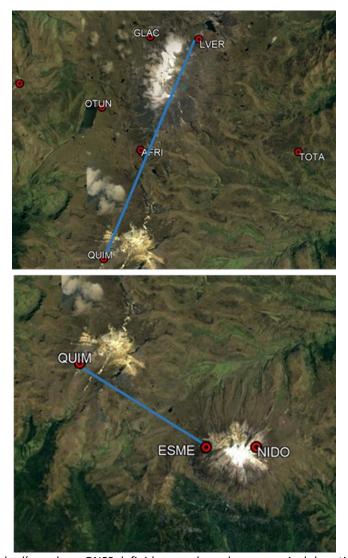


Figura 32. Localización de las líneas base GNSS definidas para los volcanes en nivel de actividad verde

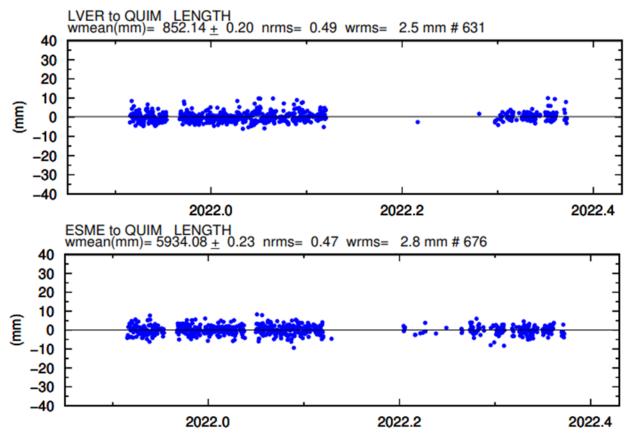


Figura 33. Resultados de las líneas base. LVER-QUIM y ESME-QUIM. Diciembre 2021 a mayo de 2022

2.2.2.4. Interferometría diferencial de radar (D-insar)

Para el área de los volcanes en Nivel de Actividad Verde se procesó el par interferométrico del 24-04-2022 y 30-05-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Los resultados se muestran en la figura 34 y figura 35, en las cuales se detalla que para el periodo evaluado no se han registrado procesos deformativos. Las variaciones observadas corresponden a efectos de estratificación atmosférica.

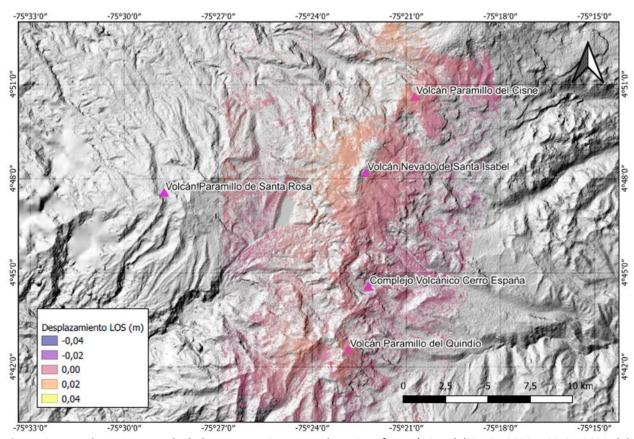


Figura 34. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 24-04-2022 y 30-05-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del Volcán Nevado de Santa Isabel

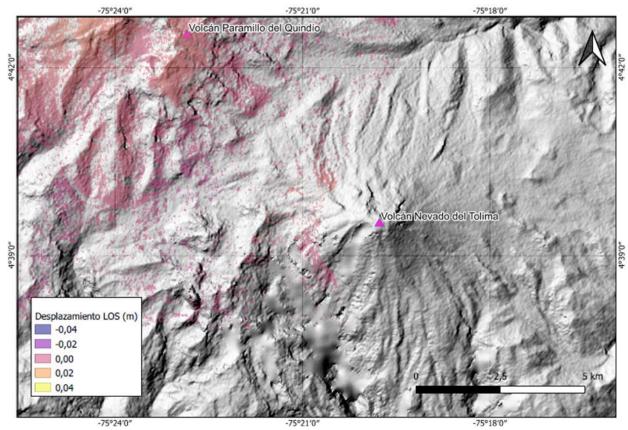


Figura 35. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del del 24-04-2022 y 30-05-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del Volcán Nevado del Tolima

2.2.3. Diagnóstico de la actividad volcánica

A partir de los datos recopilados en las diversas técnicas del monitoreo multiparamétrico realizado para los volcanes San Diego, Romeral, Cerro Bravo, Nevado de Santa Isabel, Paramillo del Cisne, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío, Complejo Volcánico Cerro España y Nevado del Tolima se diagnostica que la actividad sísmica no sobrepasa el umbral base considerado para los volcanes en nivel verde. Adicionalmente no se registraron cambios significativos en geodesia y geoquímica.

De acuerdo con el análisis de los parámetros monitoreados, el SGC determina que estos volcanes continúan en NIVEL DE ACTIVIDAD VERDE (o IV): volcán activo y comportamiento estable.

Conclusiones

- A partir del análisis de la información recopilada en las diversas técnicas de monitoreo empleadas por el Servicio Geológico Colombiano, SGC, a través del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, OVSM, en el seguimiento de la actividad de los volcanes pertenecientes al Segmento Volcánico Norte de Colombia, se diagnostica que el Nevado del Ruiz y Cerro Machín continúan en "NIVEL AMARILLO (o III): Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica". Los volcanes Nevado del Tolima, Cerro Bravo, Nevado Santa Isabel, Paramillo del Cisne, Paramillo del Quindío, Complejo Volcánico Cerro España, Paramillo de Santa Rosa, San Diego y Romeral continúan en "NIVEL VERDE (o IV): Volcán activo y comportamiento estable".
- La actividad sísmica en el VNR durante el mes de mayo mostró un marcado dominio de la sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos al interior de la estructura volcánica. Este tipo de sismicidad estuvo caracterizada por sismos de largo periodo y muy largo periodo, pulsos de tremor y tremor continuo con niveles energéticos y contenidos espectrales variables, y presentó un incremento en el número de señales y en la energía sísmica liberada, sin que este incremento superara la línea base establecida para el Nivel Amarillo. Algunas de estas señales estuvieron asociadas a emisiones de ceniza. En cuanto a la actividad sísmica asociada a fracturamiento de rocas, eventos VT, incrementó tanto en número como en energía sísmica liberada en comparación al mes anterior. También se registraron algunos episodios de sismicidad tipo drumbeat, de bajo nivel energético, asociados principalmente a fracturamiento de roca.
- En el VCM la actividad sísmica relacionada a fracturamiento de roca continua baja en número y energía en comparación con el mes anterior. El volcán continúa manteniendo estabilidad en los parámetros monitoreados de geodesia y geoquímica.
- Las otras estructuras volcánicas consideradas como activas por el SGC en el Segmento Volcánico Norte de Colombia continúan mostrando comportamiento estable de acuerdo con los parámetros establecidos para evaluar los niveles de actividad y determinar el diagnóstico de actividad de cada uno de estos complejos volcánicos.

Índice de figuras

| Figura 1. Localización y fotografías de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia. La imagen a la izquierda corresponde a un mapa de sombras realizado a partir de un MDE (o DEM) de | |
|--|-----|
| 12 m de resolución | 7 |
| Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia | 9 |
| Figura 3. Instalación del cableado desde el nuevo sistema eléctrico hasta la estación multiparamétrica BIS Figura 4. Número acumulado de la sismicidad tipo VT, LP-VLP, e HB registrada diariamente en el VNR entre el | 10 |
| 01 de enero 2010 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días con mayor registro de eventos | |
| sísmicos | 11 |
| Figura 5. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad tipo VT e HB registrada diariamente en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días de mayor liberación de | |
| energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada | 12 |
| Figura 6. Mapa de localización de los eventos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante el mes de | 12 |
| mayo de 2022. Los cuadros de color azul representan las estaciones sismológicas. La escala de colores | 4.2 |
| de los círculos representa la profundidad de los sismos y el tamaño, la magnitud | 13 |
| Figura 7. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP, TR y TC registrados en el VNR entre agosto de 2014 y el 31 de mayo de 2022 | 14 |
| Figura 8. Gráfica RSAM de la estación sismológica BIS, componente vertical, entre el 01 de enero y el 30 de mayo de 2022 | 14 |
| Figura 9. Datos SSAM de la estación sismológica BIS, componente vertical, entre el 01 de febrero y el 30 de | |
| mayo de 2022 | 15 |
| Figura 10. Comportamiento del inclinómetro electrónico Bis2 para el periodo 1 de diciembre de 2021 a 31 de | |
| mayo de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie | |
| original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento | 16 |
| Figura 11. Comportamiento del inclinómetro electrónico Refugio para el periodo 1 de diciembre de 2021 a 31 | |
| de mayo de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la | |
| serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento | 17 |
| Figura 12. Serie temporal para la estación GNSS permanente GUAL, mayo de 2021 a mayo de 2022 | 18 |
| Figura 13. Localización de líneas base GNSS en el Volcán Nevado del Ruiz | 19 |
| Figura 14. Resultados de las líneas base del Volcán Nevado del Ruiz. BLLR-OLLE y INDE-SINN. Diciembre 2021 a | |
| mayo de 2022 | 20 |
| Figura 15. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 24-04-2022 y 30-05-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del Volcán Nevado del Ruiz | 21 |
| Figura 16. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO ₂ Volcán Nevado | |
| del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de mayo de 2022. La flecha indica el día que se estimó el | |
| mayor flujo de SO ₂ | 22 |
| Figura 17. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDoas | 23 |
| Figura 18. Número acumulado de eventos VT registrados diariamente en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para | |
| cada fecha se relaciona el número de eventos y el sector de localización | 24 |
| Figura 19. Raíz de la energía sísmica acumulada de de los eventos VT registrados diariamente en el VCM entre | |
| el 01 de enero de 2005 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se relaciona la magnitud local (ML) máxima registrada y el sector de | |
| localización | 25 |
| Figura 20. Mapa de localización de los eventos VT (círculos de colores) registrados en el VCM durante el mes | |
| de mayo. Los cuadros de color azul representan las estaciones sismológicas. La escala de colores | |
| representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos la magnitud de los sismos | 26 |
| Figura 21. Serie temporal para la estación GNSS permanente MRAL, mayo de 2021 a mayo de 2022 | 27 |
| | |

| Figura 22. Localización de línea base GNSS en el Volcán Cerro Machín | 28 |
|---|----|
| Figura 23. Resultados de la línea base del Volcán Cerro Machín. MRAL-LAGU. Diciembre 2021 a mayo de 2022 | 29 |
| Figura 24. Número acumulado de eventos VT registrados diariamente en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR | , |
| VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas señalan los días en lo | S |
| que se registró el mayor número de eventos. Para cada fecha se relaciona el número de eventos | 5 |
| registrados | 30 |
| Figura 25. Raíz de la energía sísmica acumulada de los eventos VT registrados diariamente en los volcanes VCB | , |
| VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero de 2010 y el 31 de mayo de 2022. Las flechas | 5 |
| señalan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se relaciona la magnitud loca | |
| (ML) máxima registrada | 31 |
| Figura 26. Mapa de localización de los eventos VT (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI | , |
| VPSR, VPQ, VNT y CVCE, durante mayo de 2022. La escala de colores representa la profundidad de los | 5 |
| sismos y el tamaño de los círculos la magnitud de los sismos. Los volcanes San Diego (VSD) y Romera | l |
| (VR) no presentaron actividad sísmica | 32 |
| Figura 27. Comportamiento del inclinómetro electrónico Chava para el periodo 1 de diciembre de 2021 a 33 | |
| de mayo de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la | ì |
| serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento | 33 |
| Figura 28. Comportamiento del inclinómetro electrónico Esmeralda para el periodo 1 de diciembre de 2021 a | |
| 31 de mayo de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta | |
| la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento | 34 |
| Figura 29. Serie temporal para la estación GNSS permanente OTUN, mayo de 2021 a mayo de 2022 | 35 |
| Figura 30. Serie temporal para la estación GNSS permanente QUIM, mayo de 2021 a mayo de 2022 | 36 |
| Figura 31. Serie temporal para la estación GNSS permanente ESME, mayo de 2021 a mayo de 2022 | 37 |
| Figura 32. Localización de las líneas base GNSS definidas para los volcanes en nivel de actividad verde | 38 |
| Figura 33. Resultados de las líneas base. LVER-QUIM y ESME-QUIM. Diciembre 2021 a mayo de 2022 | 39 |
| Figura 34. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 24-04-2022 y 30-05-2022 | |
| del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del Volcán Nevado de Santa Isabel | 40 |
| Figura 35. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del del 24-04-2022 y 30-05 | |
| 2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del Volcán Nevado del Tolima | 41 |