



INFORME TÉCNICO – OPERATIVO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

SEGMENTO VOLCÁNICO NORTE DE COLOMBIA – FEBRERO DE 2022

Manizales, marzo de 2022



**El futuro
es de todos**

Minenergía



Servicio Geológico Colombiano

Oscar Paredes Zapata
Director general

Marta Calvache
Directora técnica de Geoamenazas

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

Juan José Idárraga
Milton Ordoñez
Oscar Sanabria
Zoraida Chacón
Álvaro Esteban Acevedo
Beatriz Elena Galvis
Claudia Patricia Álvarez
Julián Ramírez
Lina Constanza García
Lina Marcela Castaño
Luis Miguel Cardona
Nancy Trujillo
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	4
Abstract	5
Introducción	6
1. Red de vigilancia volcánica	8
2. Actividad volcánica	11
2.1. Volcanes en nivel de actividad amarillo	11
2.1.1. Volcán Nevado del Ruiz (VNR)	11
2.1.2. Volcán Cerro Machín (VCM)	23
2.2. Volcanes en nivel de actividad verde	27
2.2.1. Geofísica	28
2.2.2. Geodesia (deformación)	31
2.2.3. Diagnóstico de la actividad volcánica	39
Conclusiones	40



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 los mismos durante febrero 2022. Los demás volcanes activos del Segmento Volcánico Norte de Colombia (SVNC) presentaron un comportamiento estable.

La actividad volcánica en el VNR se caracterizó principalmente por mostrar variaciones en la sismicidad y por la emisión a la atmósfera de cantidades significativas de gases, principalmente dióxido de azufre y vapor de agua. Durante febrero predominó la actividad sísmica relacionada con la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos. Este tipo de sismicidad disminuyó en número y en la energía sísmica liberada respecto a enero. El registro sísmico estuvo caracterizado, principalmente, por sismos de largo periodo y/o muy largo periodo seguidos de pulsos de temblor, temblor volcánico continuo (con variaciones en su nivel de energía y frecuencia dominante). Algunas de estas señales estuvieron asociadas a cambios en la columna de gases y emisiones de ceniza. La sismicidad asociada a fracturamiento de roca, disminuyó en el número de sismos registrados y presentó un leve incremento en la energía sísmica liberada con respecto a enero. En cuanto a deformación, esta no mostró cambios significativos en la superficie volcánica.

El VCM registró, durante febrero, señales sísmicas asociadas principalmente al fracturamiento de roca en las inmediaciones del volcán. Esta actividad sísmica presentó un incremento en las tasas diarias de sismicidad y niveles energéticos, con respecto a enero. Los sismos se localizaron principalmente en el sector suroccidente del volcán. Los parámetros geoquímicos y geodésicos monitoreados en el volcán mostraron un comportamiento estable.

Los demás volcanes del SVNC presentaron variaciones menores en la sismicidad y estabilidad en los otros parámetros geofísicos, geodésicos, geoquímicos y geológicos monitoreados.

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  (ó 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  (ó IV): Volcán activo y comportamiento estable”.

Abstract

Continuous multi-parameter monitoring in Nevado del Ruiz and Cerro Machín active volcanoes continued to show changes which evidence its unstable behavior during January. The other volcanoes belonging to the Colombian Volcanic North Segment (CVNS) showed stable behavior.

The volcanic activity in the Nevado del Ruiz volcano showed variations in the seismicity, also, released significant quantities of magmatic gases like SO₂ and water vapor into the atmosphere.

During February, the seismicity related to fluid dynamics predominated (long period, very long period, and continuous tremor) inside the volcanic structure. This kind of seismicity decrease in the number of earthquakes and decreases in seismic energy released with respect to January. Some signals were associated with changes in the gas column and ash emissions.

Rock fracture seismicity (VT) decrease in number of earthquakes and show increase the level in seismic energy released respect to January. Geodesic monitoring didn't show significant deformation on the volcanic surface.

In Cerro Machín volcano, during February, activity was characterized by seismicity associated with fracturing rock in volcano environs. This seismic activity increase both number and energy levels, compared to January. This seismicity was mainly located at the southwest of the volcano. The other monitored geophysical, geodetic and geochemical parameters showed 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 febrero 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.

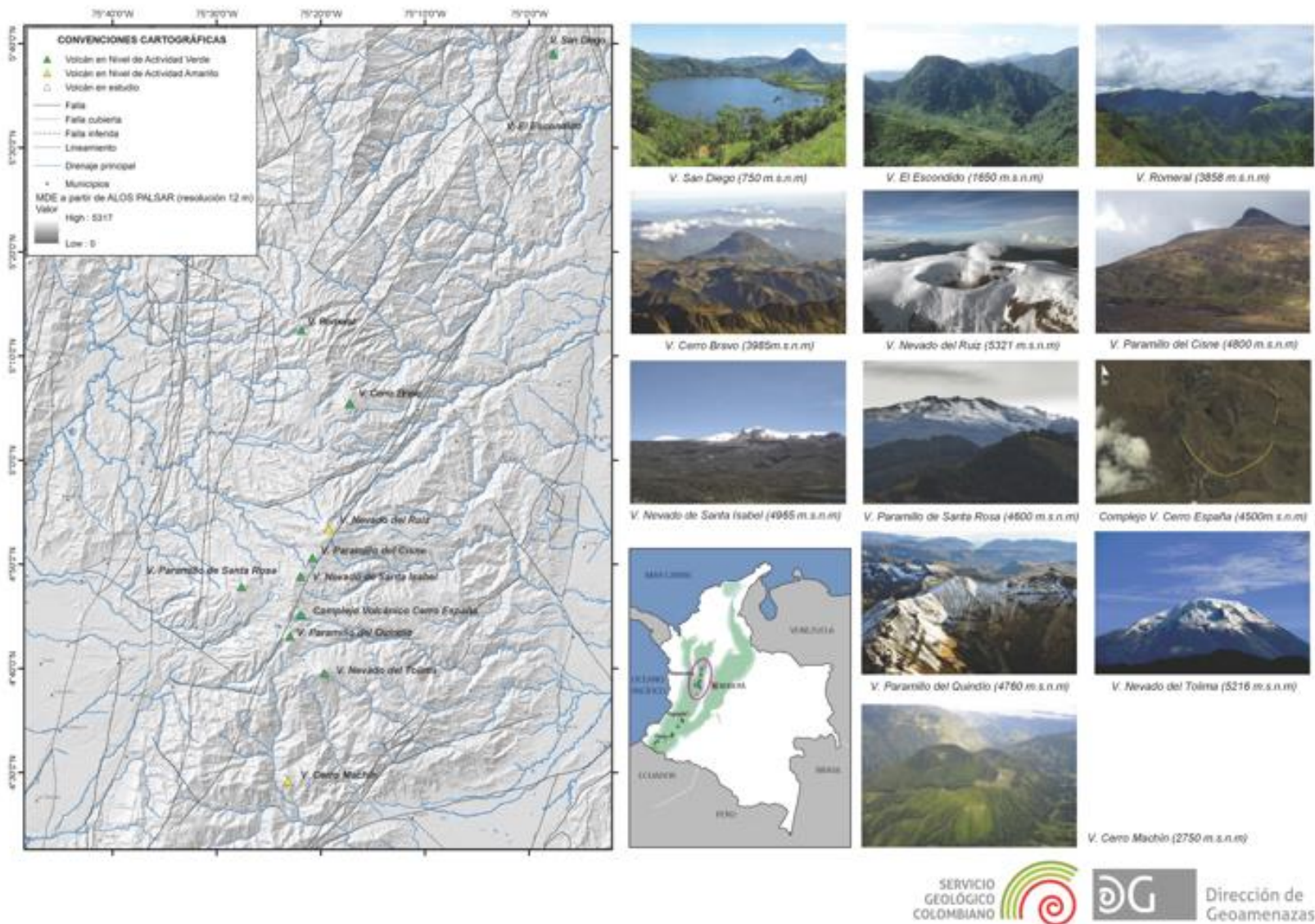


Figura 1. Localización y fotografías de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia. La imagen a la izquierda corresponde a un mapa de sombras realizado a partir de un MDE (o DEM) de 12 m de resolución

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 162 estaciones ubicadas en campo (161 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 febrero de 2022 fue del 87,7%.

En el mes de febrero de 2022 se realizaron 9 visitas de mantenimiento, de las cuales la mayoría fueron de mantenimiento preventivo y algunas de mantenimiento correctivo debido a afectaciones por la acumulación de ceniza en los paneles de algunas estaciones como Piraña en el volcán Nevado del Ruiz (figura 3). También se destaca el trabajo iniciado para la reubicación del repetidor de comunicaciones El Alguacil (figura 4) y que dentro de poco estará enlazado con el repetidor de comunicaciones El Camión.

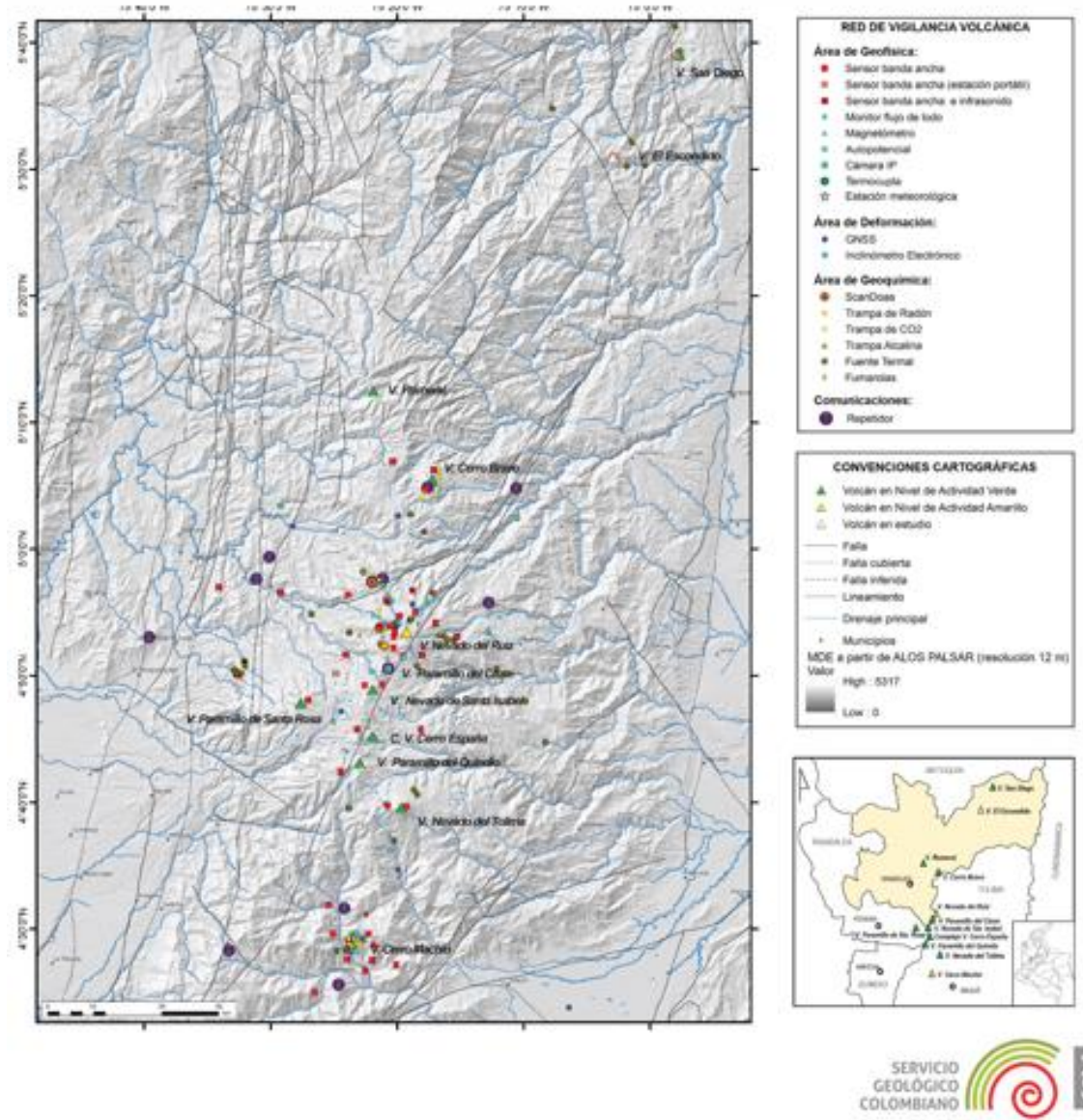


Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia

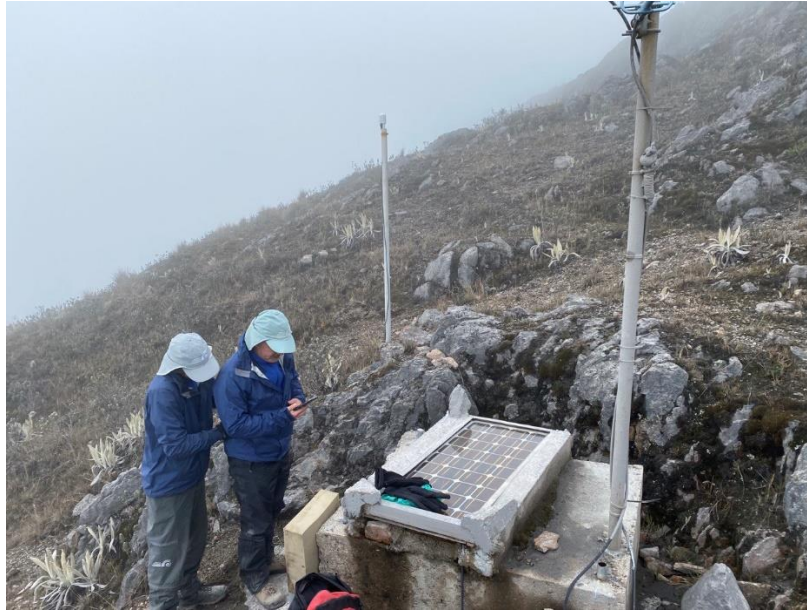


Figura 3. Estación multiparamétrica Piraña en el volcán Nevado del Ruiz




Figura 4. Nuevo sitio del repetidor de comunicaciones El Alguacil

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 establecido cuatro niveles para determinar la intensidad de la actividad volcánica. 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 (nivel en que está la actividad de varios volcanes en Colombia) se debe 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. 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, los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín permanecen en este nivel de actividad volcánica.

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 febrero de 2022:

2.1.1.1. Geofísica

Los datos del monitoreo sismológico obtenidos en febrero muestran que la sismicidad registrada en el VNR estuvo asociada principalmente al movimiento de fluidos dentro de los conductos volcánicos y, en menor proporción, a fracturamiento de rocas en las inmediaciones del volcán. También se presentaron señales sísmicas relacionadas con la dinámica del glaciar que cubre la cima del volcán.

La actividad sísmica asociada a fracturamiento de rocas disminuyó en el número de sismos registrados (figura 5) y aumentó levemente en la energía sísmica liberada con respecto a enero (figura 6). Los sismos se localizaron principalmente en los sectores sur-suroriente, cráter Arenas, nororiente y sur-suroccidente; en menor proporción en los sectores noroccidente y oriente del volcán. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 0,3 y 8,0 km (figura 7). La mayor magnitud registrada durante el mes fue de 2,0 ML (magnitud Local), correspondiente a un sismo ocurrido el 07 de febrero a las 12:38 (hora local), localizado 2,9 km al sur-suroriente del cráter Arenas, a 3,8 km de profundidad.

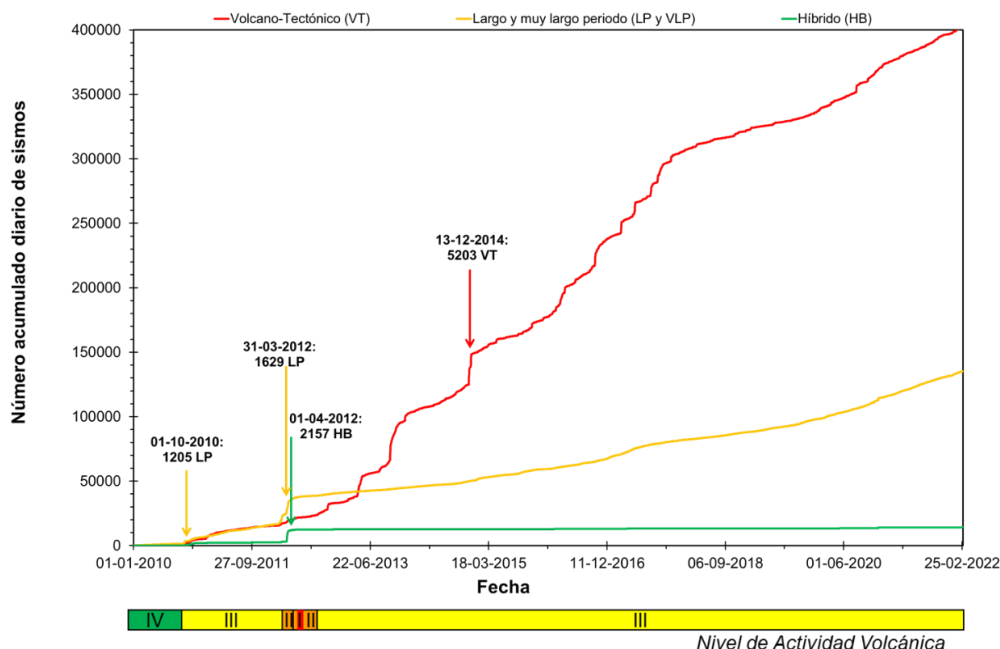


Figura 5. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, LP-VLP, TR y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días con mayor número de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica la tasa máxima de registro diario

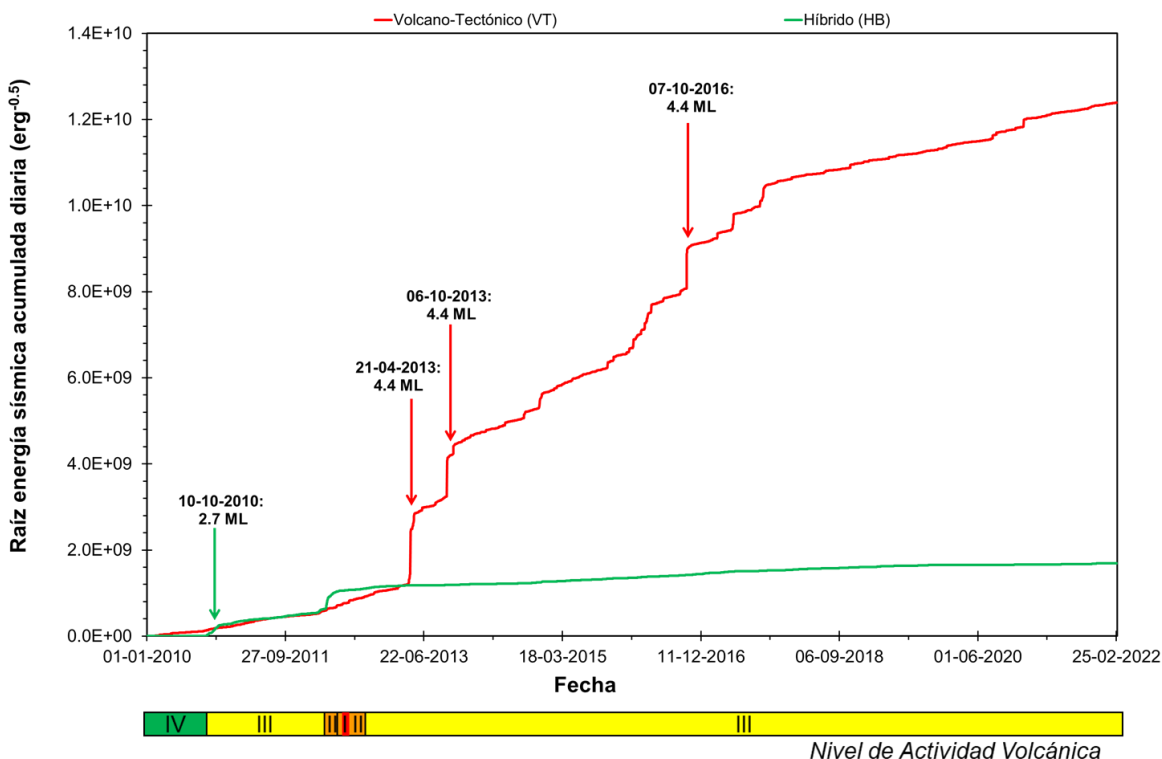


Figura 6. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

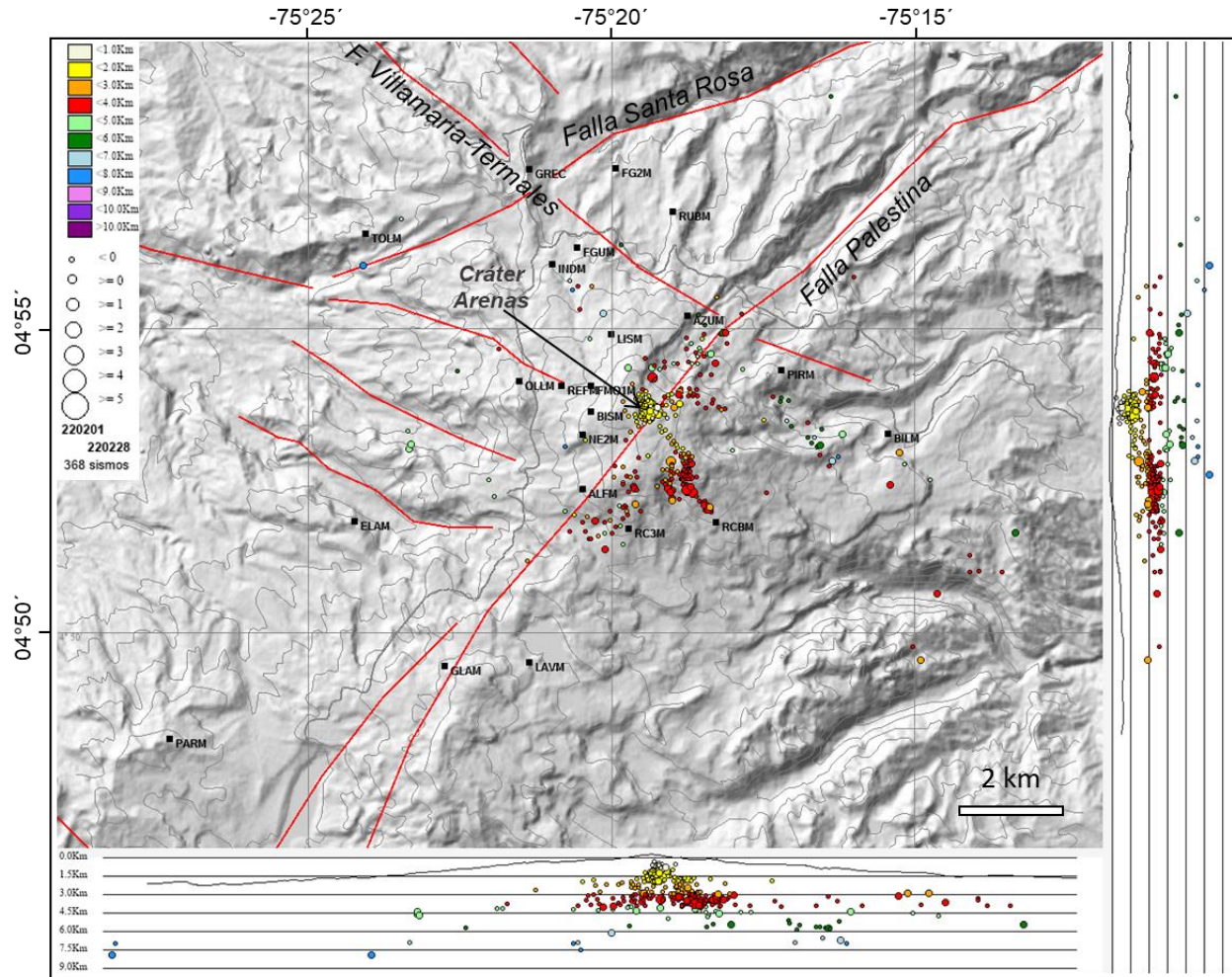


Figura 7. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante febrero de 2022. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores de los círculos representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

La sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos en el interior de los conductos volcánicos disminuyó levemente en el número de eventos registrados (figura 5) y en la energía sísmica liberada comparada con la presentada en enero (figura 8). Esta actividad sísmica estuvo caracterizada por sismos de largo periodo (LP) y de muy largo periodo (VLP), pulsos de tremor (TR), tremor continuo (TC), tremor armónico, pulsos de tremor algunos con características espasmódicas, 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 2 km. Algunas de estas señales estuvieron asociadas a emisiones de ceniza y pequeñas explosiones, algunas de las cuales fueron confirmadas a través de las cámaras instaladas en el área del volcán, así mismo, a través de las cámaras FLIR de la red de monitoreo volcánico en donde se apreciaron cambios importantes en la temperatura relativa del material emitido, por personal del SGC en campo, personal del PNN, habitantes y visitantes a la zona cercana al volcán.

El valor máximo de D_r promedio calculado durante el mes fue de $8,6 \text{ cm}^2$, correspondiente al sismo de tipo LP registrado el 09 de febrero a las 23:35 (hora local), el cual disminuyó en comparación al registrado en enero. En cuanto a los sismos tipo TR y TC los máximos valores de D_r promedio fueron de $14,95 \text{ cm}^2$ el 24 de febrero y $0,5 \text{ cm}^2$ el 05 de febrero a las 17:14, respectivamente (figura 8).

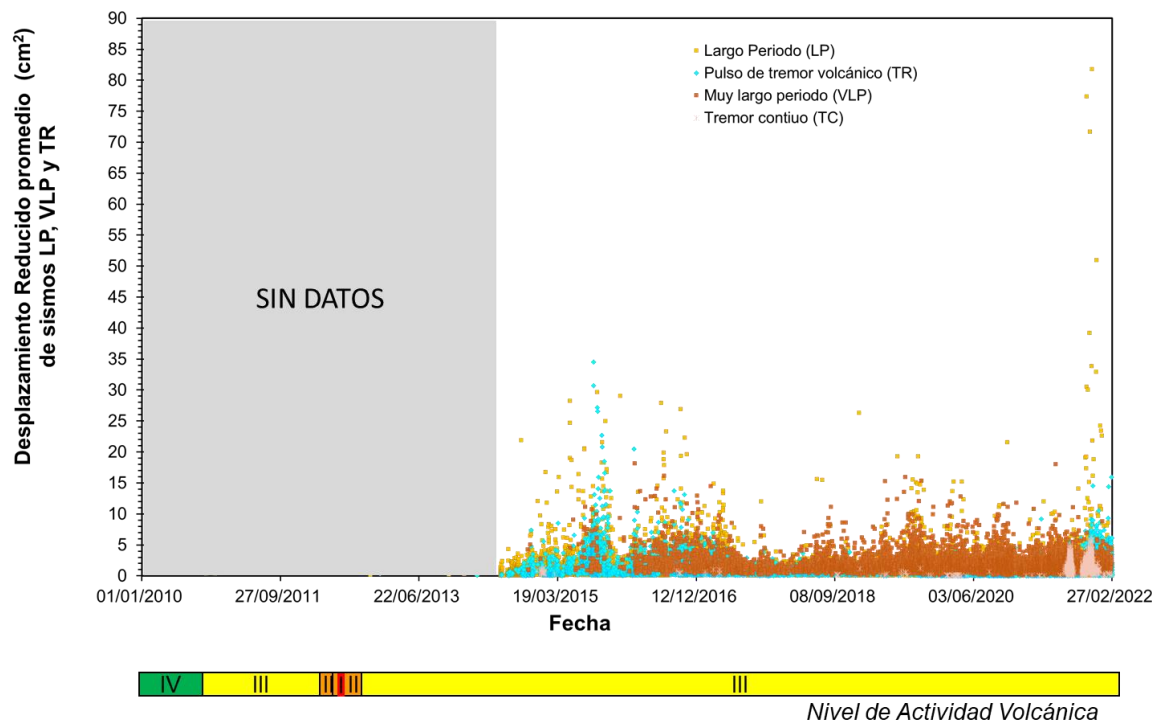


Figura 8. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP, TR y TC registrados en el VNR entre julio de 2014 y el 28 de febrero de 2022

Durante febrero, el tremor volcánico continuo (TC) en el VNR se registró de manera ininterrumpida, presentando variaciones a episodios de tremor volcánico levemente espasmódicos. La duración de estos episodios de tremor espasmódico fue de unos cuantos minutos. Los niveles energéticos del tremor volcánico continuo (TC) fueron menores a los registrados en enero y presentaron variaciones entre $0,02 \text{ cm}^2$ y hasta $0,5 \text{ cm}^2$. Los mayores valores de desplazamiento reducido (DR) alcanzados por el tremor continuo estuvieron asociados a los momentos donde el tremor presentó características tipo espasmódico.

La gráfica de RSAM (*Real-time Seismic-Amplitud Measurement*) muestra el comportamiento de la amplitud sísmica de una estación tomando datos promedio de amplitud cada determinado tiempo, lo que permite apreciar el comportamiento de señales sísmicas de larga duración como lo es el tremor volcánico continuo (TC). En la figura 9 se observa el RSAM para la estación RC3 componente vertical y muestra las variaciones en la amplitud del TC donde se alcanzaron máximos valores en agosto y noviembre del 2021.

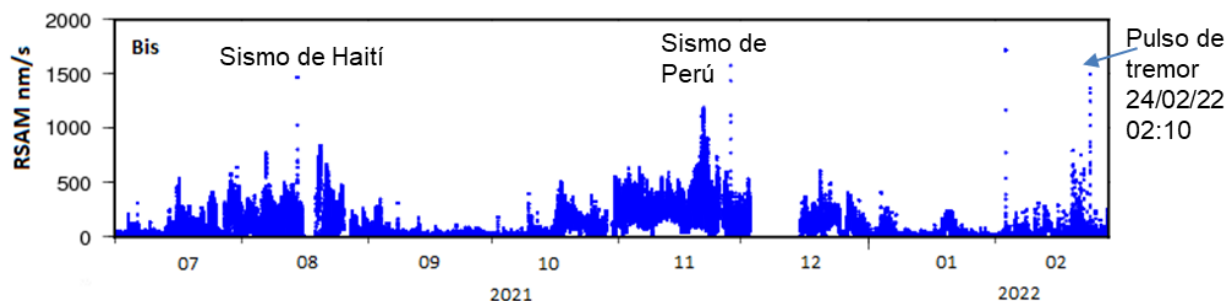


Figura 9. Gráfica RSAM de estación sismológica RC3, componente vertical entre el 01 de julio de 2021 y 28 de febrero de 2022

Los datos SSAM (*Seismic Spectral-Amplitude Measurement*) muestran la cantidad de señal sísmica en diferentes bandas de frecuencia lo que permite conocer el comportamiento frecuencial de señales como el TC. Para el caso del VNR, durante febrero, la energía del TC estuvo concentrada principalmente en un rango entre 1 y 5 Hz. El rango de frecuencias que más dominó se presentó entre 3,2 y 3,8 Hz. La frecuencia subdominante más marcada se observó entre 1,6 y 1,8 Hz (figura 10).

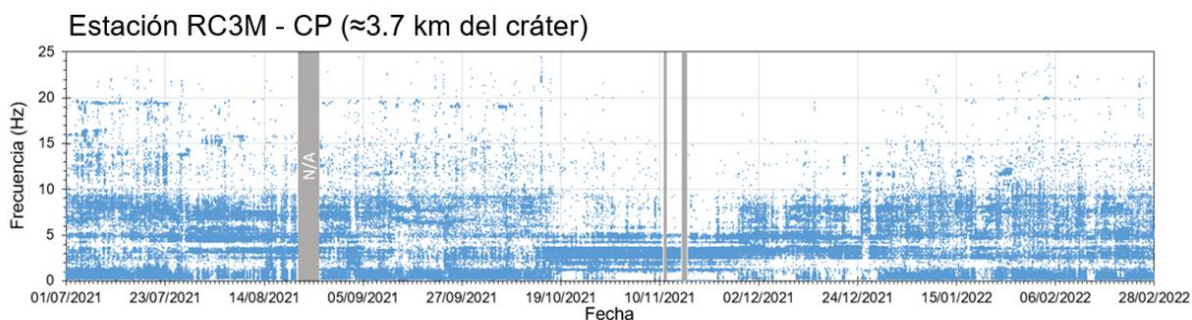


Figura 10. Datos SSAM de estación sismológica RC3, componente vertical entre el 01 de julio de 2021 y el 28 de febrero de 2022

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. Inclínometría electrónica

Durante febrero estuvieron operativos los 10 inclinómetros de la red. La tendencia de las componentes Este - δE y Norte - δN para los inclinómetros BIS y REFUGIO presentó un comportamiento estable. En la figura 11 y figura 12 se presentan la serie temporal de estos inclinómetros sin el efecto de temperatura y deriva.

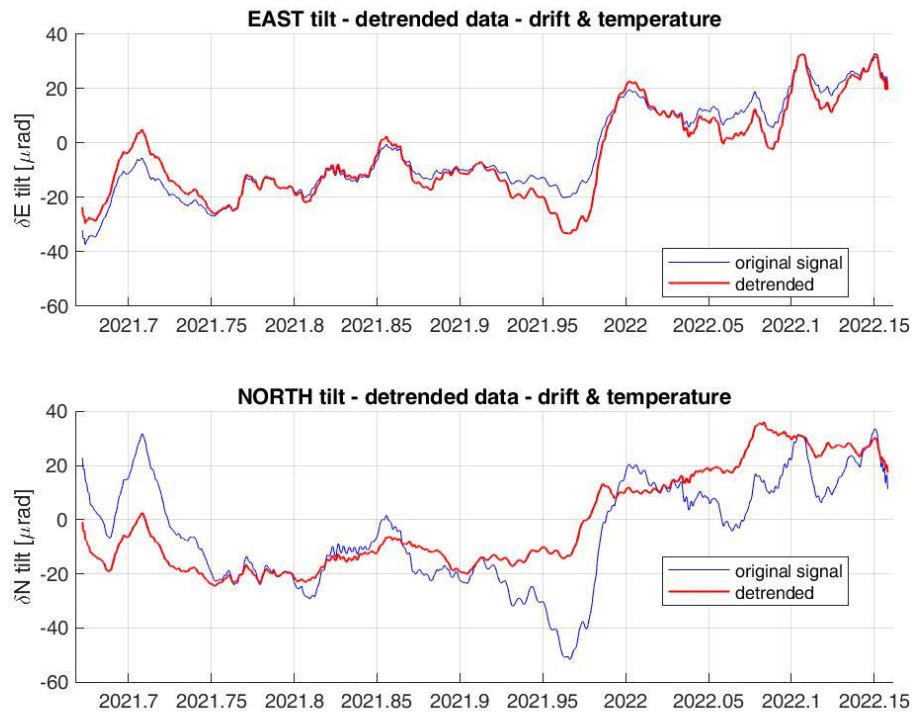


Figura 11. Comportamiento del inclinómetro electrónico Bis2 para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento

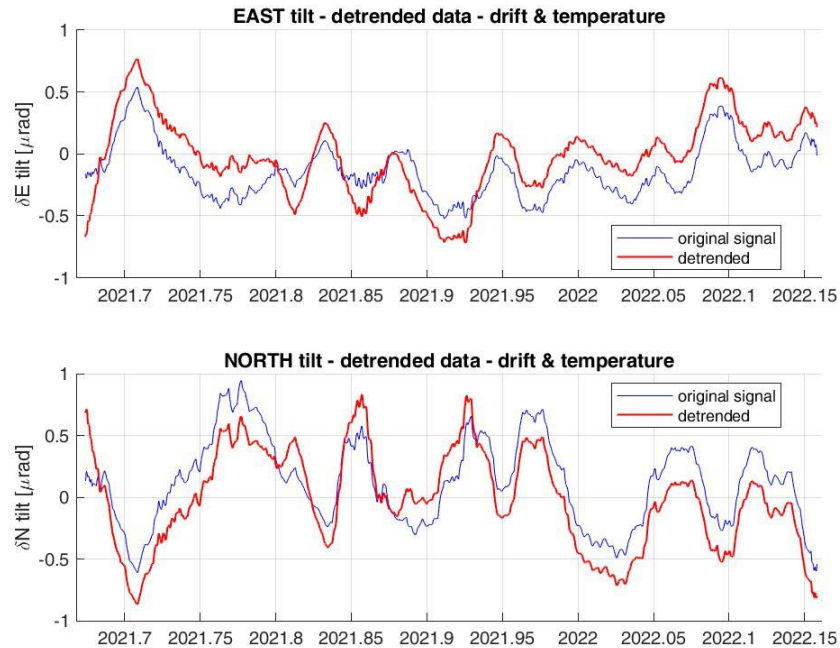


Figura 12. Comportamiento del inclinómetro electrónico Refugio para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. Superior componente Este, inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento

2.1.1.2.2. 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 orbitas 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 13 se presenta la serie temporal del GNSS GUAL para el último año, como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.

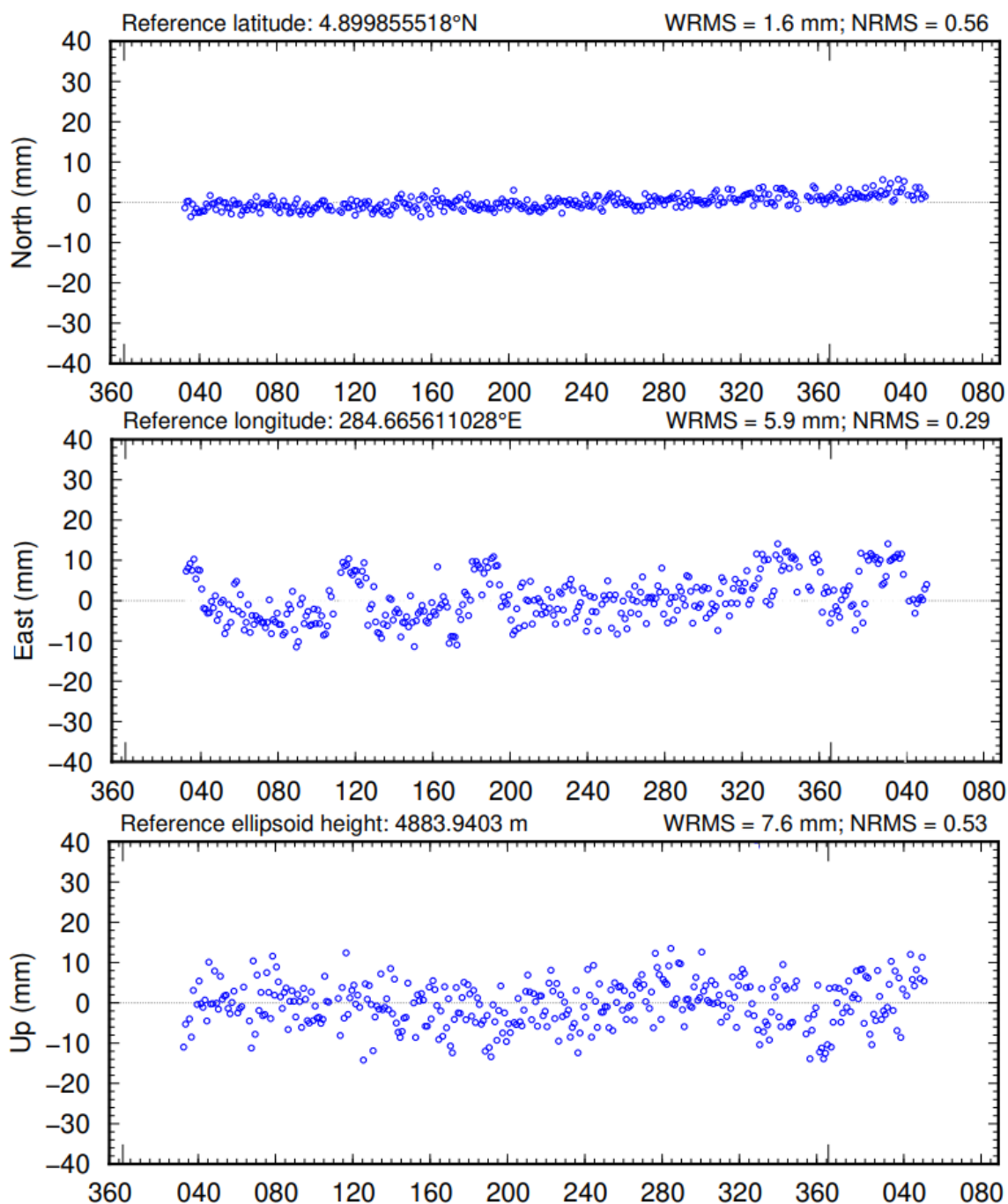


Figura 13. Serie temporal para la estación GNSS permanente GUAL, febrero de 2021 a febrero de 2022

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, RUBI, SINN (figura 14) (Se cuenta con más de 50 líneas base para monitorear la deformación del VNR). En la figura 15 se muestra el resultado de los datos procesados para los últimos seis meses. Las líneas base OLLE-BLLR y RUBI-SINN muestran estabilidad.

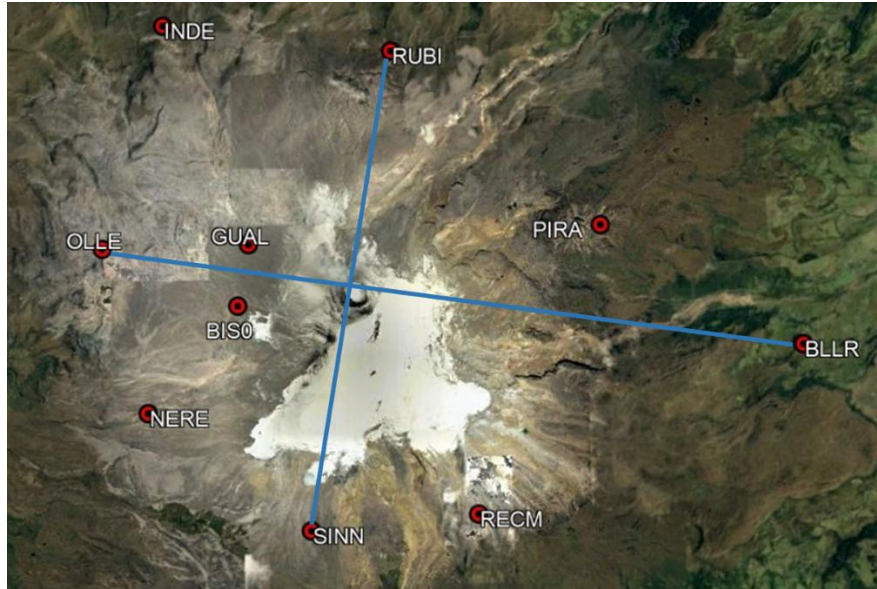


Figura 14. Localización de líneas base GNSS en el volcán Nevado del Ruiz

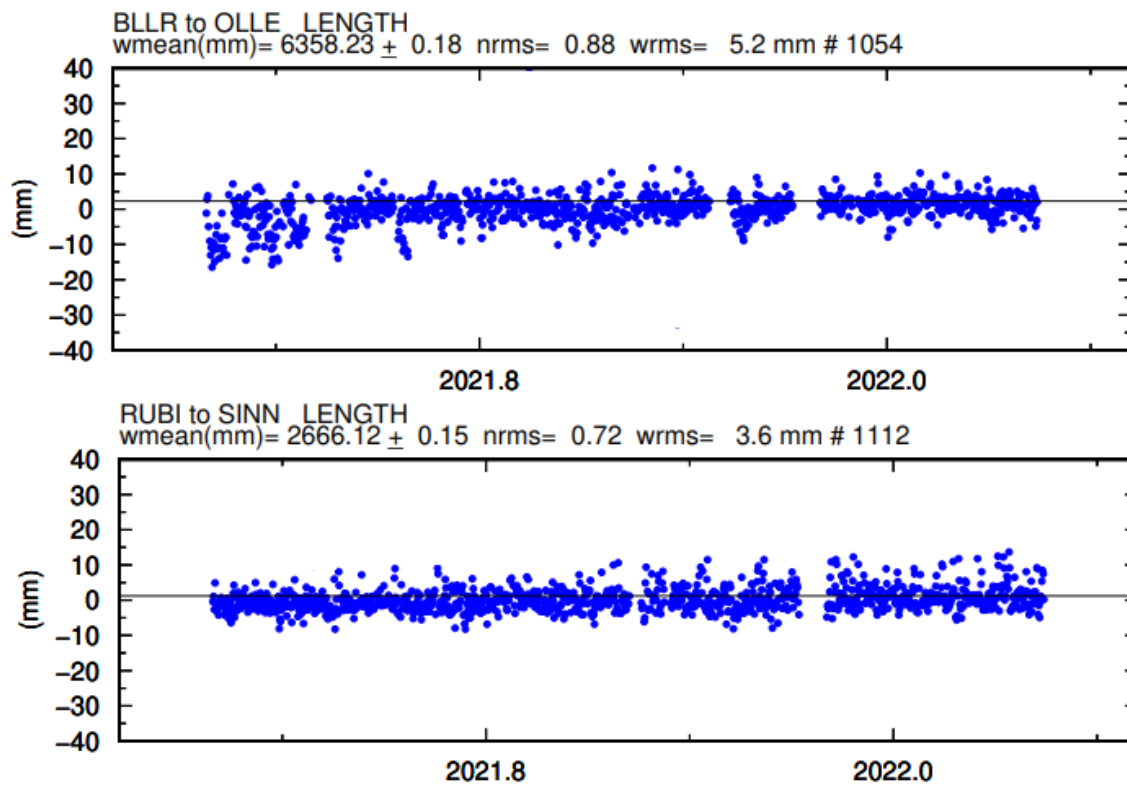


Figura 15. Resultados de las líneas base del volcán Nevado del Ruiz. BLLR-OLLE y RUBI-SINN. Septiembre 2021 a febrero de 2022

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 30-01-2022 y 11-02-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita ascendente. Los resultados se muestran en la figura 16, 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.

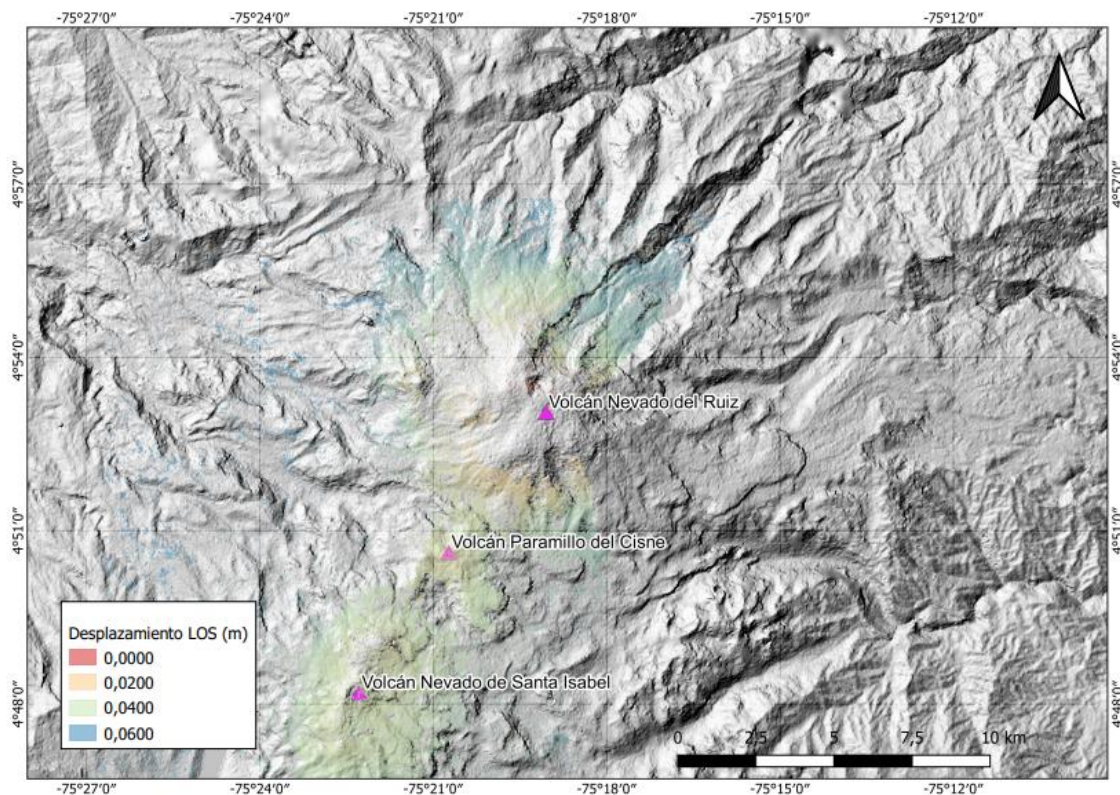


Figura 16. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 30-01-2022 y 11-02-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Ruiz

2.1.1.3. Geoquímica

Durante el mes, los flujos de SO_2 se estimaron mediante cinco estaciones telemétricas ScanDOAS: ALFOMBRALES, EL CAMIÓN, OLLETA, BRUMA y AZUFRADO. Los cálculos del flujo de SO_2 se realizaron teniendo en cuenta las condiciones de dirección y velocidad del viento, las cuales se obtuvieron mediante la estación meteorológica OLLETA, el anemómetro de la estación GUALI y los datos del IDEAM a través del modelo WRF (*Weather Research and Forecast*). La velocidad del viento utilizada para estimar los flujos fluctuó entre 1,5 y 6,6 m/s, y la dirección del viento predominó al nororiente. Los flujos máximos estimados de SO_2 alcanzaron las 2880 T/d, y la media de los promedios mensuales fue de 461 T/d (figura 17).

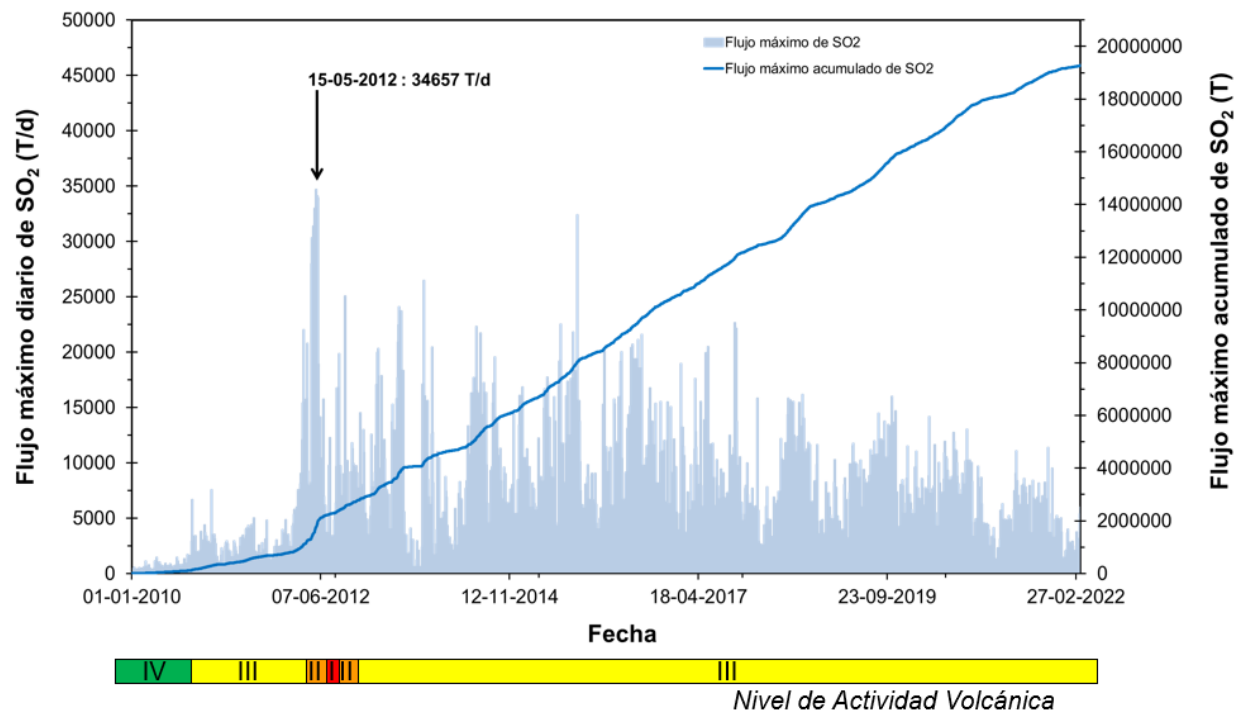


Figura 17. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO₂ volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 28 de febrero de 2022. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO₂

Las estaciones de monitoreo de gas radón AZUFRADO, ALFOMBRALES y OLLETA registraron datos promedios de 10444, 1667 y 14562 Bq/m³ respectivamente, valores que se encuentran dentro de las variaciones normales de sus líneas base.

2.1.1.4. Actividad superficial y anomalías térmicas

A partir de las observaciones visuales realizadas desde el SGC - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales- y a través de las cámaras instaladas en el VNR, se realizó el seguimiento de la columna de gases relacionada con la actividad fumarólica del cráter Arenas. La columna de gases alcanzó una altura máxima aproximada de 2900 m (medidos desde la cima del cráter) el 23 de febrero. La dirección de dispersión de esta fue muy variable, sin embargo, se observaron tendencias hacia el suroccidente, nororiente, noroccidente y suroriente, permitiendo caída de ceniza en varios de los sectores mencionados alrededor del volcán. En general, la columna de gases se observó principalmente de tonos grises debido a las emisiones de ceniza, de color blanco debido al vapor de agua, ocasionalmente con matices azules por la presencia de aerosoles y tonalidades naranjas causadas por la reflexión solar, especialmente en las primeras horas de la mañana, al final de la tarde y en la noche en las cámaras FLIR (figura 18).

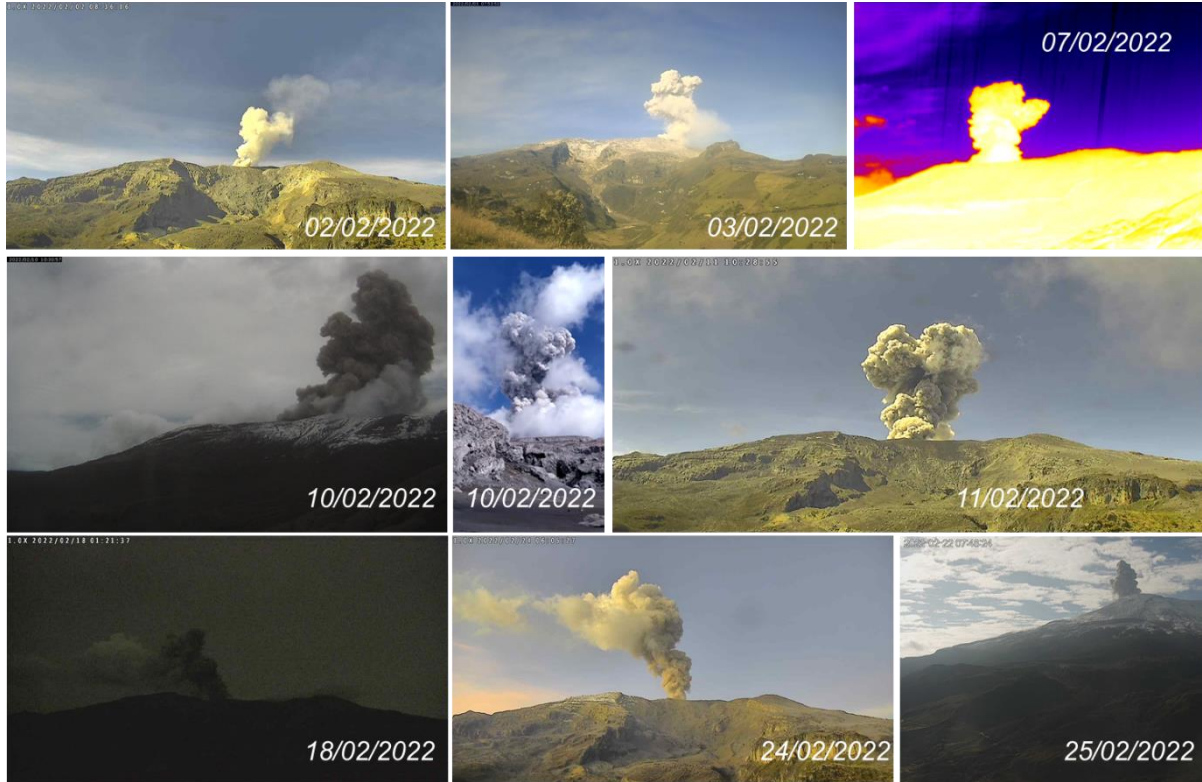


Figura 18. Fotografías de la columna de gases y ceniza en el cráter Arenas capturadas durante el mes por las cámaras instaladas en los sectores cañón de río Azufrado (fotos del 02, 11, 18 y 24 de febrero), Gualí (foto del 25 de febrero), cañón del río Lagunilla (foto del 03 de febrero), Cámara FLIR de Olleta (foto del 07 de febrero), Valle de las Tumbas PPNN (foto del 10 de febrero) y Olleta (foto del 10 de febrero)

Es importante mencionar que la confirmación visual depende en gran medida de las condiciones climáticas en el sector y es posible que otras señales sísmicas relacionadas al movimiento de fluidos hayan estado asociadas a emisiones de ceniza, dadas sus características espectrales y forma de onda, y no hayan sido confirmadas.

Respecto a anomalías térmicas, los portales Mirova, MOUNTS y NASA FIRMS reportaron algunas de baja energía.

A partir de las mediciones realizadas mediante la triangulación de las estaciones ScanDoas, se calculó una altura promedio diaria de la columna de gases de 629 m (figura 19).

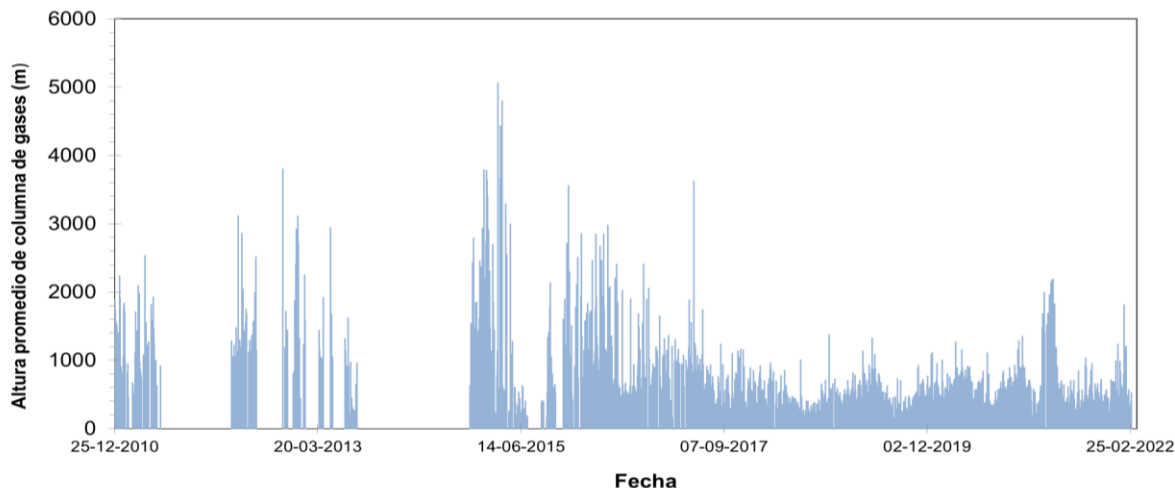


Figura 19. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDoas

2.1.1.5. Diagnóstico de la actividad del volcán Nevado del Ruiz

A partir del análisis de datos obtenidos de diferentes técnicas especializadas de monitoreo que evidencian variaciones en la actividad volcánica, como el aumento en el número de sismos asociados a fracturamiento de roca, continua sismicidad de fluidos al interior del volcán (LP, VLP, TR, TC), además de las fluctuaciones en la desgasificación, cambios locales y menores de deformación de la superficie del volcán, 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 agosto de 2006. Para realizar el diagnóstico de la actividad volcánica en el VCM, 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 permiten estar atento a la evolución del fenómeno volcánico.

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

2.1.2.1. Geofísica

En el VCM, la sismicidad registrada estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en las inmediaciones del volcán. Esta actividad sísmica aumentó en el número de sismos (figura 20) y en la energía sísmica liberada (figura 21), con respecto a enero. Los sismos se localizaron principalmente en el sector suroccidente, y en menor proporción en los sectores suroriente del volcán, a profundidades entre 1,1 y 7,1 km (figura 22). Se destaca la ocurrencia de un incremento en este tipo de sismicidad el 21 de febrero, en el sector suroccidente del volcán, a aproximadamente 1,1 km del domo principal. La mayor magnitud registrada durante dicho incremento y, a su vez, durante el mes fue de 2,4 ML (Magnitud Local), correspondiente al sismo registrado a las 11:40 (hora local), localizado a 3,1 km de profundidad. Este sismo fue reportado como sentido por habitantes en inmediaciones del volcán.

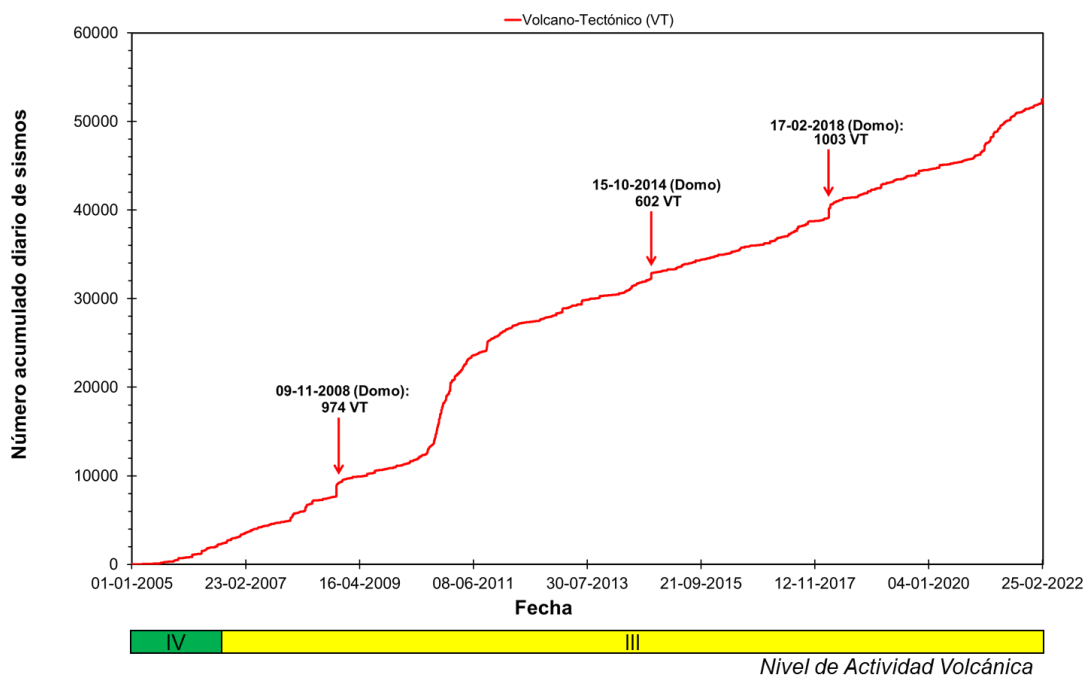


Figura 20. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número y sector de localización de los eventos

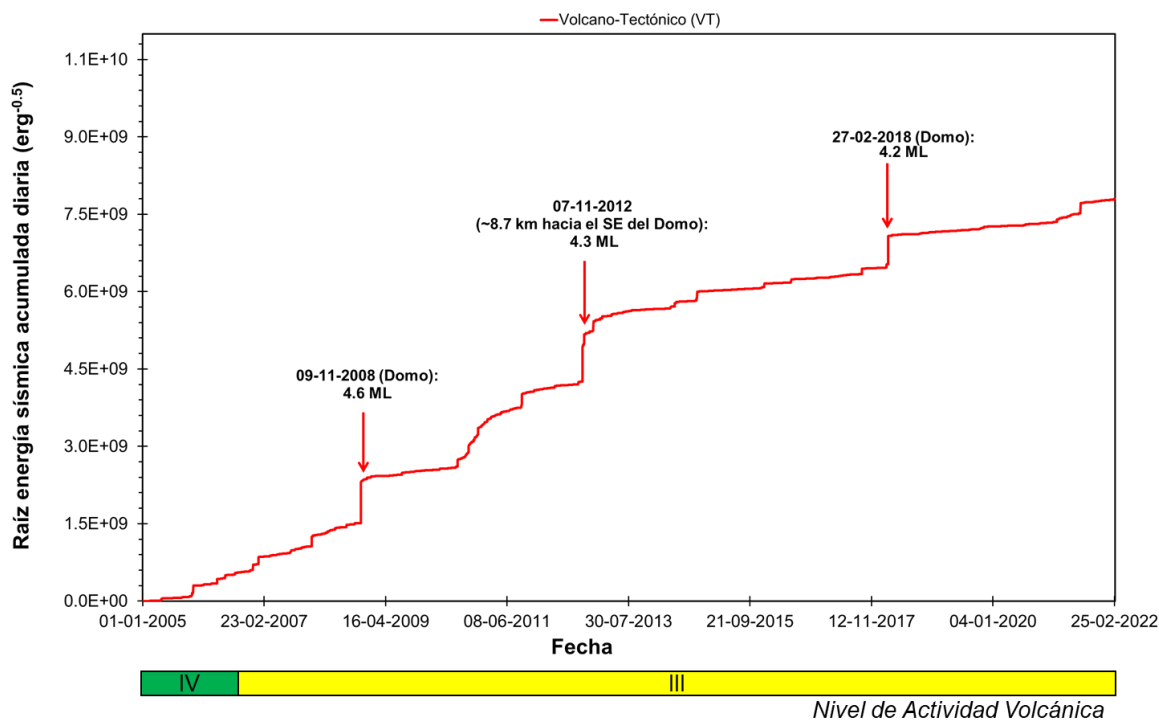


Figura 21. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada y el sector de localización de ésta

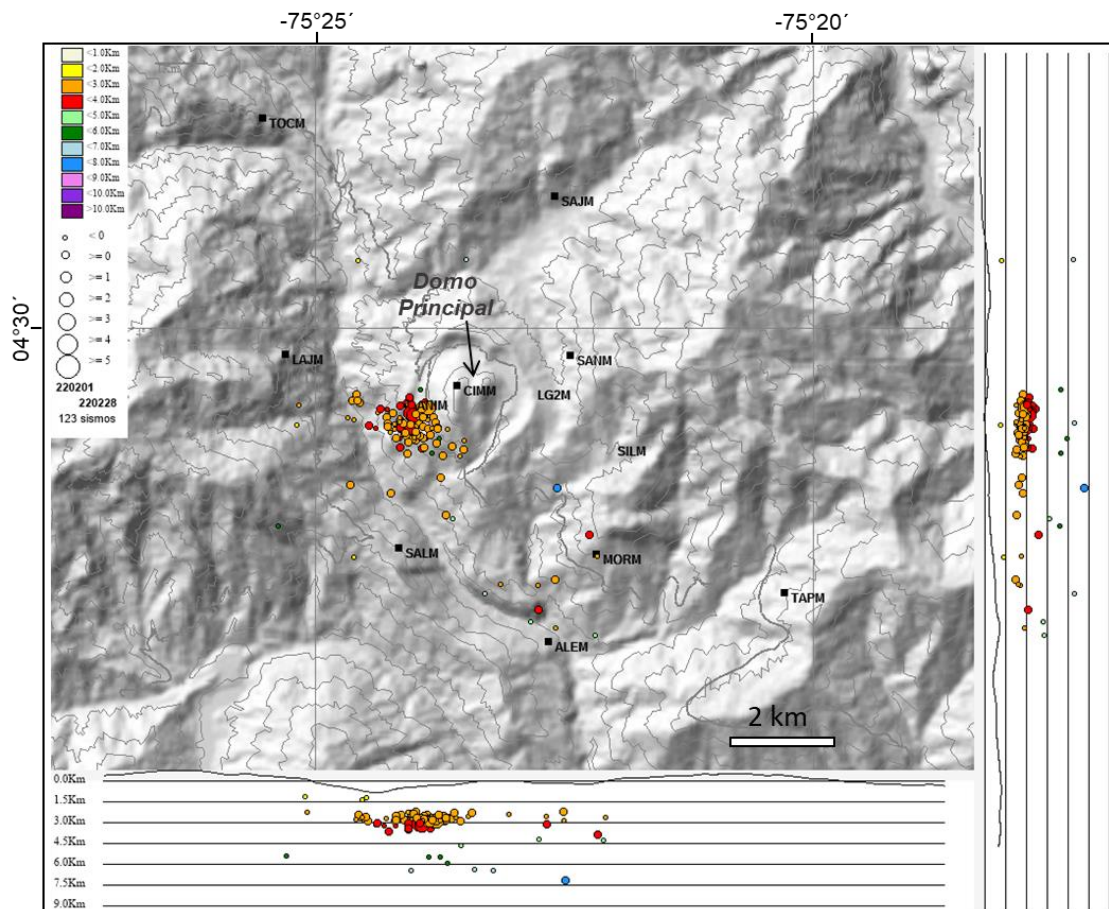


Figura 22. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante febrero de 2022. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

Durante febrero continuó el registro de sismicidad en el sector conocido como La Tigra–Cielo Roto, aproximadamente a 10 km al suroccidente del volcán. La profundidad de los sismos en este sector osciló entre 9,7 y 12,5 km. La máxima magnitud registrada fue de 0,7 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 02 de febrero a las 04:16 (hora local), localizado al suroccidente del domo principal, a 12,6 km de profundidad.

Como se mencionó en el informe técnico-operativo de enero de 2022 la sismicidad que se está registrando en el sector de La Tigra es materia de estudio y por el momento no ha sido incluida en las gráficas de número de sismos ni de energía liberada de la línea base del volcán. Los cambios en la evolución de esta sismicidad y los resultados de los análisis serán informados.

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 orbitas 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 23 se

presenta la serie temporal del GNSS LAGU para los últimos seis meses como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.

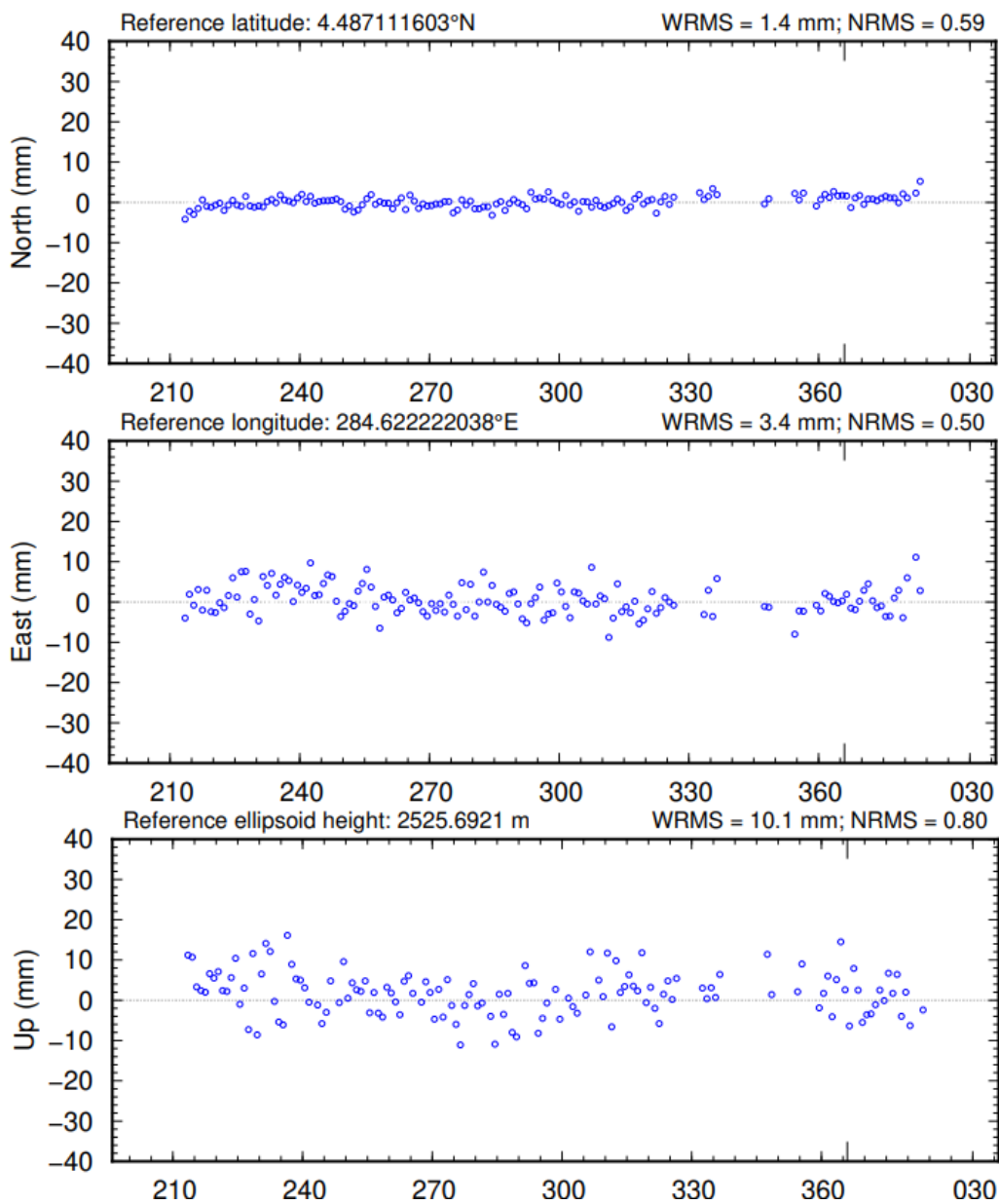


Figura 23. Serie temporal para la estación GNSS permanente LAGU, septiembre de 2021 a febrero de 2022

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 24) (Se cuenta con más de 10 líneas base para monitorear la deformación del VCM). En la figura 25 se muestra el resultado de los datos procesados para los último seis meses. Los resultados observados en la línea base muestran un comportamiento estable entre las estaciones evaluadas.



Figura 24. Localización de línea base GNSS en el volcán Cerro Machín

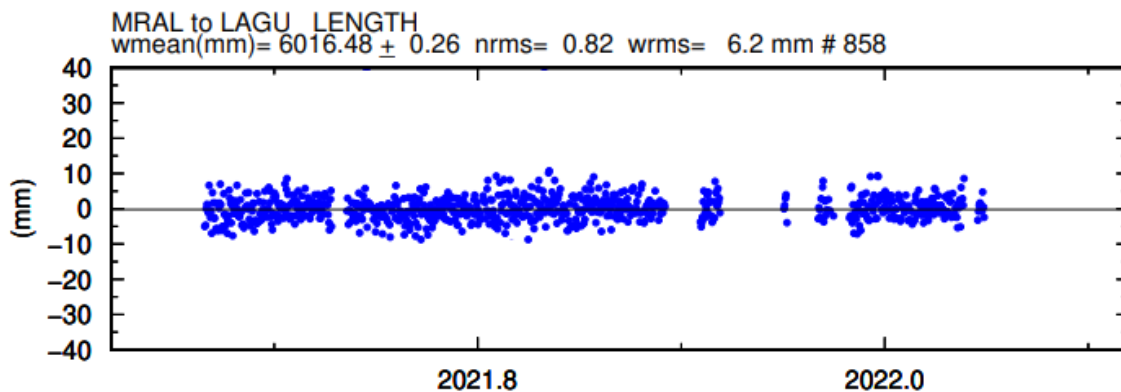


Figura 25. Resultados de la línea base del volcán Cerro Machín. MRAL-LAGU. Septiembre 2021 a febrero de 2022

2.1.2.3. Geoquímica

Los datos obtenidos de la estación telemétrica de temperatura ubicada en la fuente termal ESTATUAS presentaron un promedio de 87,25°C, el valor obtenido es similar a los reportados en meses anteriores.

2.1.2.4. Diagnóstico de la actividad del volcán Cerro Machín

A partir del análisis de la información obtenida a partir monitoreo sismológico, geodésico y geoquímico realizado en el volcán, se evidencia que el VCM continuó mostrando cambios en su comportamiento. Aunque la sismicidad presentó una disminución en el número de eventos y en la energía liberada, el SGC continúa atento a la evolución de la misma. 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 presentar 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 SVNC 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 febrero de 2022 de los diferentes parámetros monitoreados en los volcanes que se encuentran en este nivel.

2.2.1. Geofísica

Durante febrero, los volcanes en Nivel de Actividad Verde registraron principalmente sismicidad de tipo volcano-tectónica (figura 26, figura 27 y figura 28).

En los volcanes Nevado de Santa Isabel (VNSI) presentó sismicidad relacionada con fracturamiento de rocas y mostró disminución en el número de sismos y aumento en la energía sísmica liberada con respecto a enero. La mayor magnitud registrada durante el mes fue de 1,3 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 21 de febrero a las 16:24 (hora local), localizado a 2,9 km al nor-nororiente del volcán, a 3,9 km de profundidad. La actividad sísmica asociada a la dinámica del glaciar aumentó en el número de eventos registrados, con respecto al mes anterior. Los demás parámetros monitoreados no presentaron cambios.

El volcán Paramillo del Cisne (VPC), registró sismicidad asociada a fracturamiento de rocas. Esta sismicidad presentó un aumento en el número de sismos registrados y disminución en la energía sísmica liberada con respecto al mes anterior. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 2,0 y 4,5 km. La máxima magnitud registrada fue de 0,5 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 06 de febrero a las 05:40 (hora local), localizado a 1,3 km al nororiente de la estructura volcánica, a 3,2 km de profundidad.

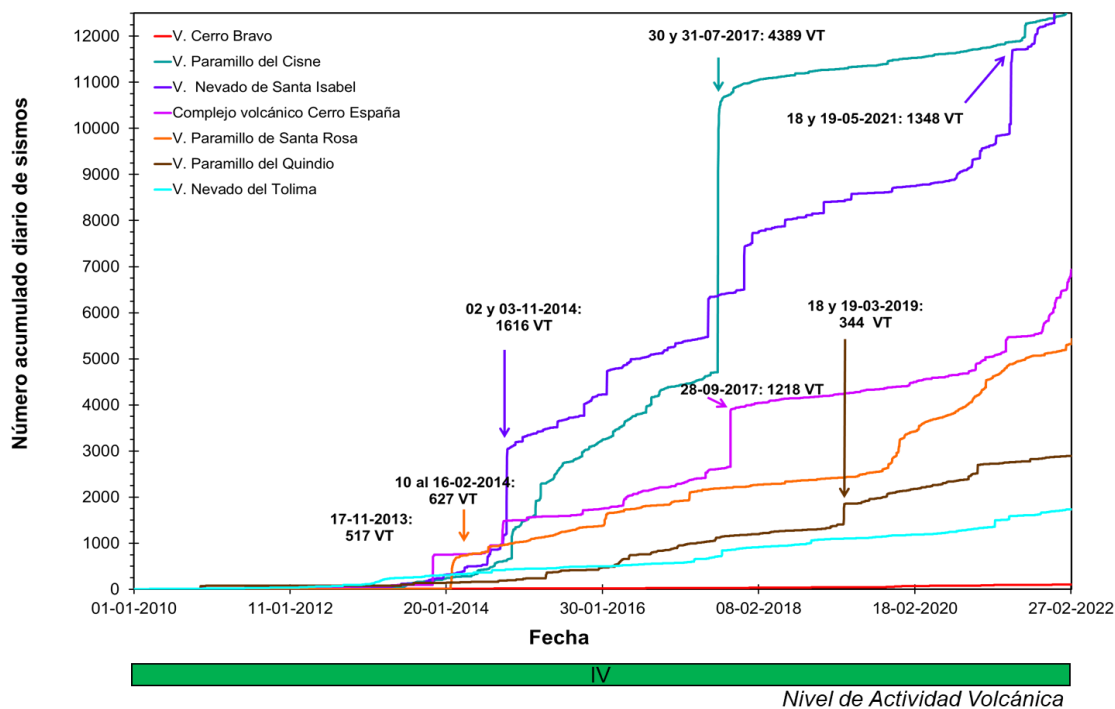


Figura 26. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero 2010 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado

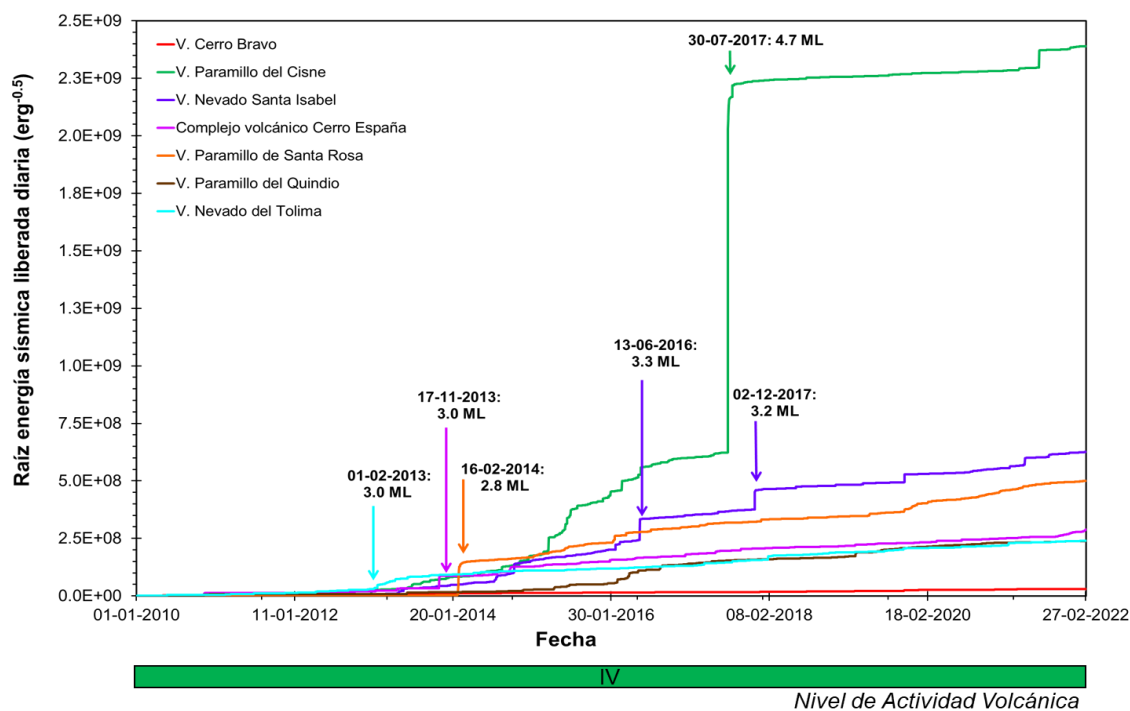


Figura 27. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero de 2010 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

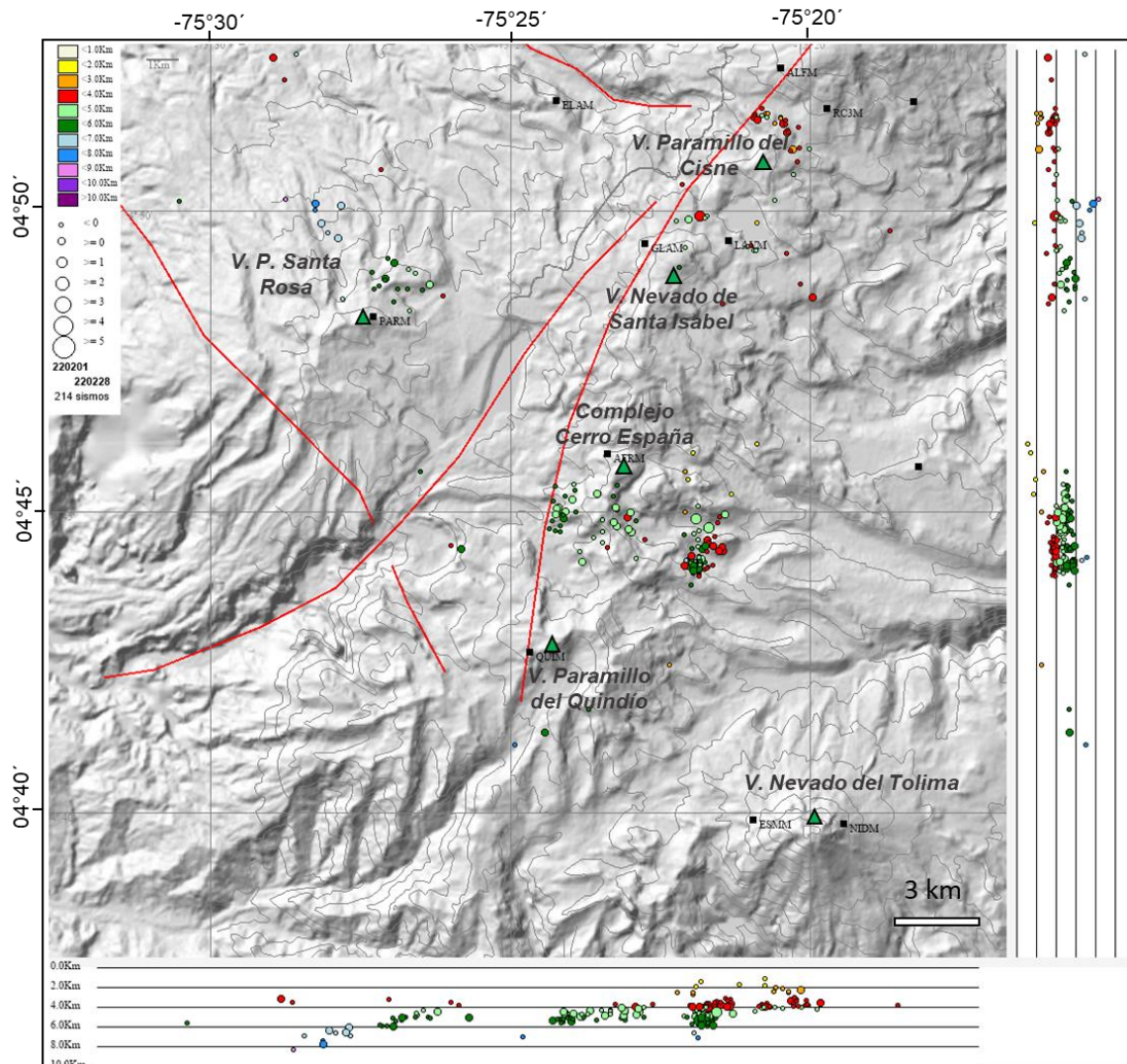


Figura 28. Mapa de localización de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE durante febrero de 2022. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

En el Complejo Volcánico Cerro España (CVCE), la sismicidad volcano-tectónica aumentó en el número de eventos registrados y en la energía sísmica liberada con relación al mes anterior. Se destaca el registro de dos incrementos sísmicos en este tipo de actividad el 09 y 26 de febrero. Los sismos se localizaron a 1,7 y 2,0 km al suroccidente y suroriente del domo principal a profundidades entre 1,1 y 7,1 km. La mayor magnitud registrada durante dichos incrementos y, a su vez, durante el mes fue de 1,6 ML (Magnitud Local), correspondiente al sismo registrado a las 20:41 (hora local), localizado a 4,6 km de profundidad.

En el volcán Paramillo de Santa Rosa (VPSR), Esta actividad sísmica aumentó en el número de sismos y disminuyó la energía sísmica liberada en comparación a enero. La máxima magnitud registrada fue de 0,8 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 14 de febrero a las 00:44 (hora local), localizado a 3,3 km al nor-noroccidente de la estructura volcánica, a 6,4 km de profundidad.

En el Paramillo del Quindío (VPQ), Esta sismicidad aumentó tanto en el número de sismos como en la energía sísmica liberada, con respecto a enero. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 2,6 y

7,0 km. La máxima magnitud registrada fue de 0,8 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 04 de febrero a las 04:27 (hora local), localizado a 5,5 km al occidente-noroccidente de la estructura volcánica a 5,0 km de profundidad.

El volcán Nevado del Tolima (VNT), mostró disminución en el número de sismos registrados y en la energía sísmica liberada, respecto a enero. Los sismos registrados fueron de muy bajo nivel energético. La tasa de señales sísmicas generadas por la dinámica del glaciar en el VNT aumentó en relación con las registradas el mes anterior.

En el volcán Cerro Bravo (VCB) se registraron algunas señales asociadas con pequeñas avalanchas o desprendimientos de rocas en el edificio volcánico.

Los volcanes San Diego (VSD) y Romeral (VR) no presentaron actividad sísmica.

2.2.2. Geodesia (deformación)

2.2.2.1. Inclínometría electrónica

Durante febrero estuvieron operativos los 4 inclinómetros de las redes de los volcanes CB, NS y NT. La tendencia de las componentes Este - δE y Norte - δN para los inclinómetros de CHAVA y ESME, presentó un comportamiento estable. En la figura 29 y figura 30 se presentan las series temporales de estos inclinómetros sin el efecto de temperatura y deriva.

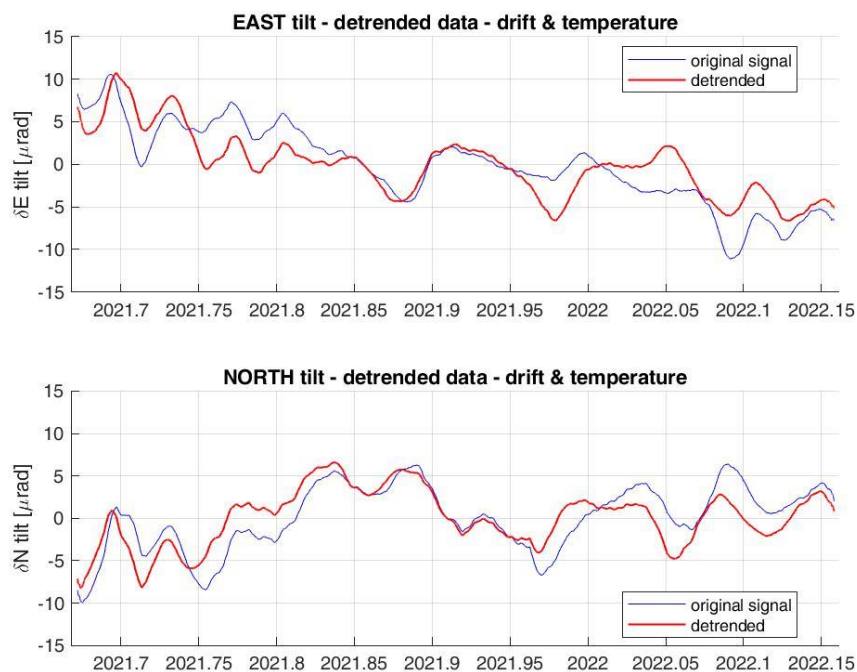


Figura 29. Comportamiento del inclinómetro electrónico Chava para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. En la gráfica superior componente Este, en la inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento

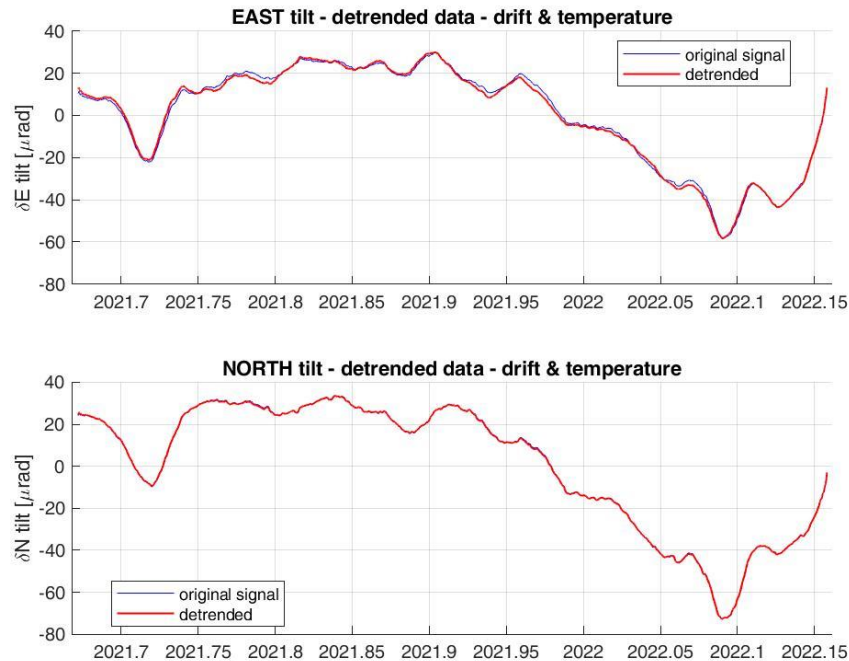


Figura 30. Comportamiento del inclinómetro electrónico Esmeralda para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. En la gráfica superior componente Este, en la inferior componente Norte. En color azul se presenta la serie original de datos y en color rojo los datos filtrados por temperatura 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 orbitas 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 31, figura 32 y figura 33 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.

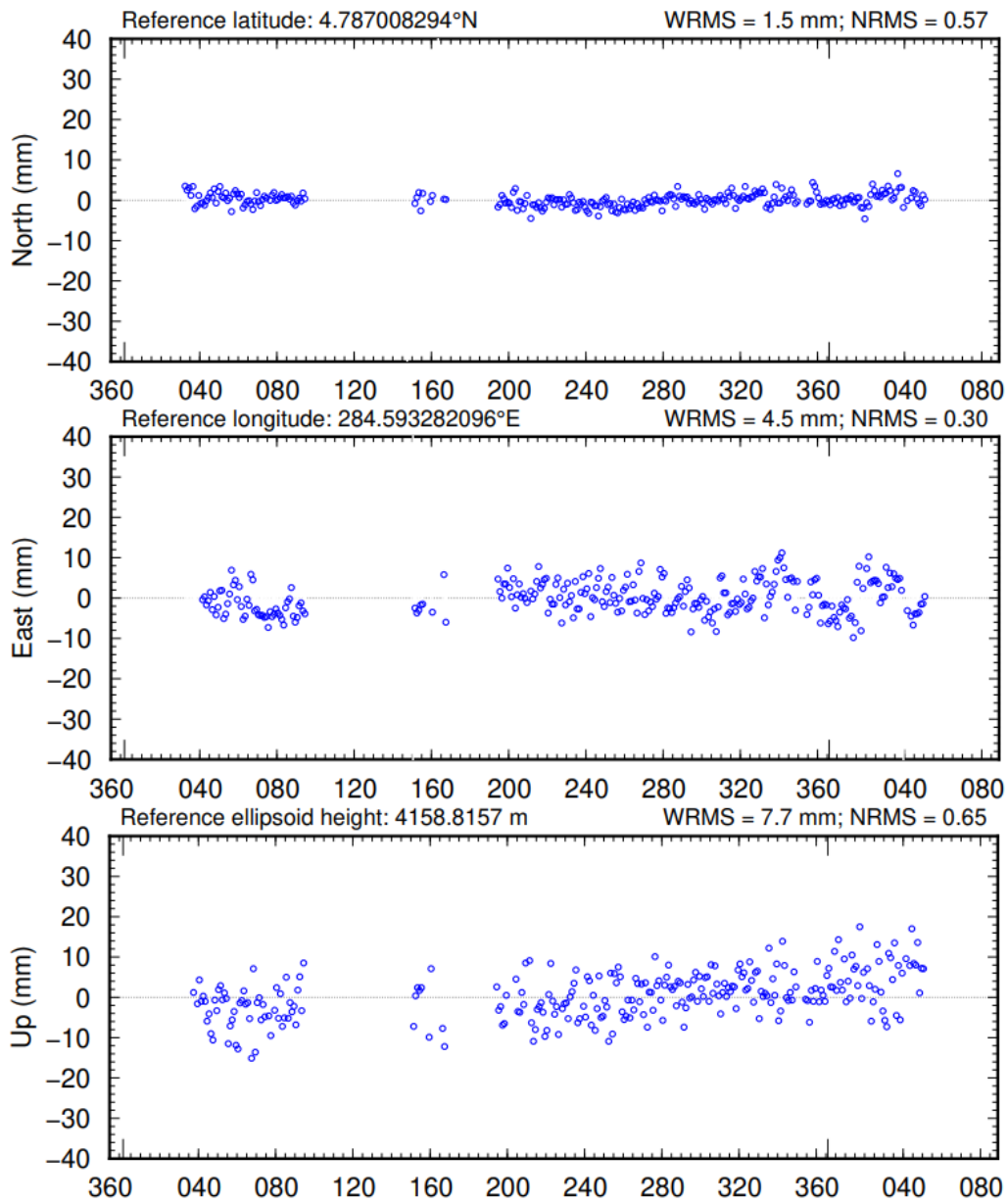


Figura 31. Serie temporal para la estación GNSS permanente OTUN, febrero de 2021 a febrero de 2022

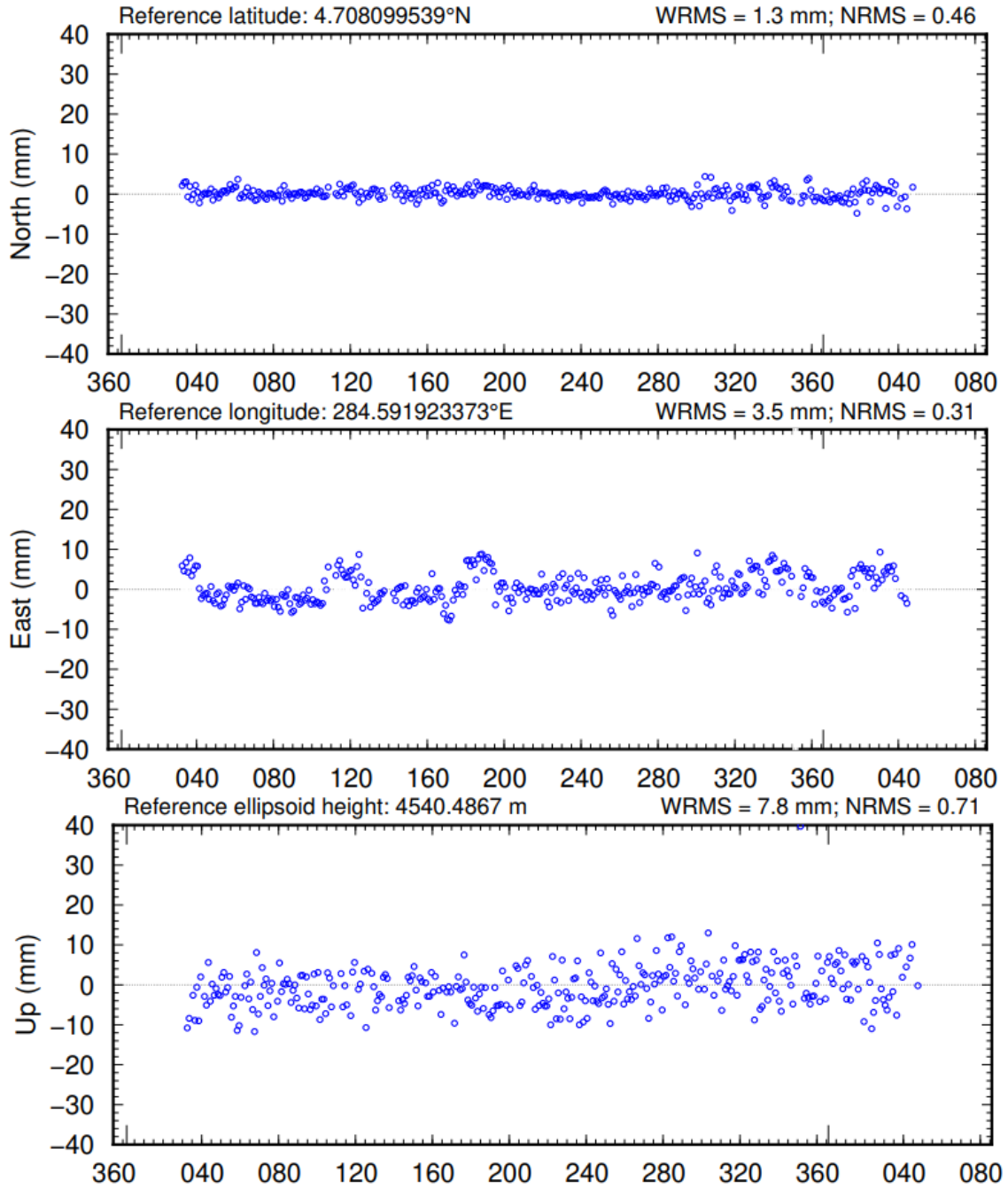


Figura 32. Serie temporal para la estación GNSS permanente QUIM, febrero de 2021 a febrero de 2022

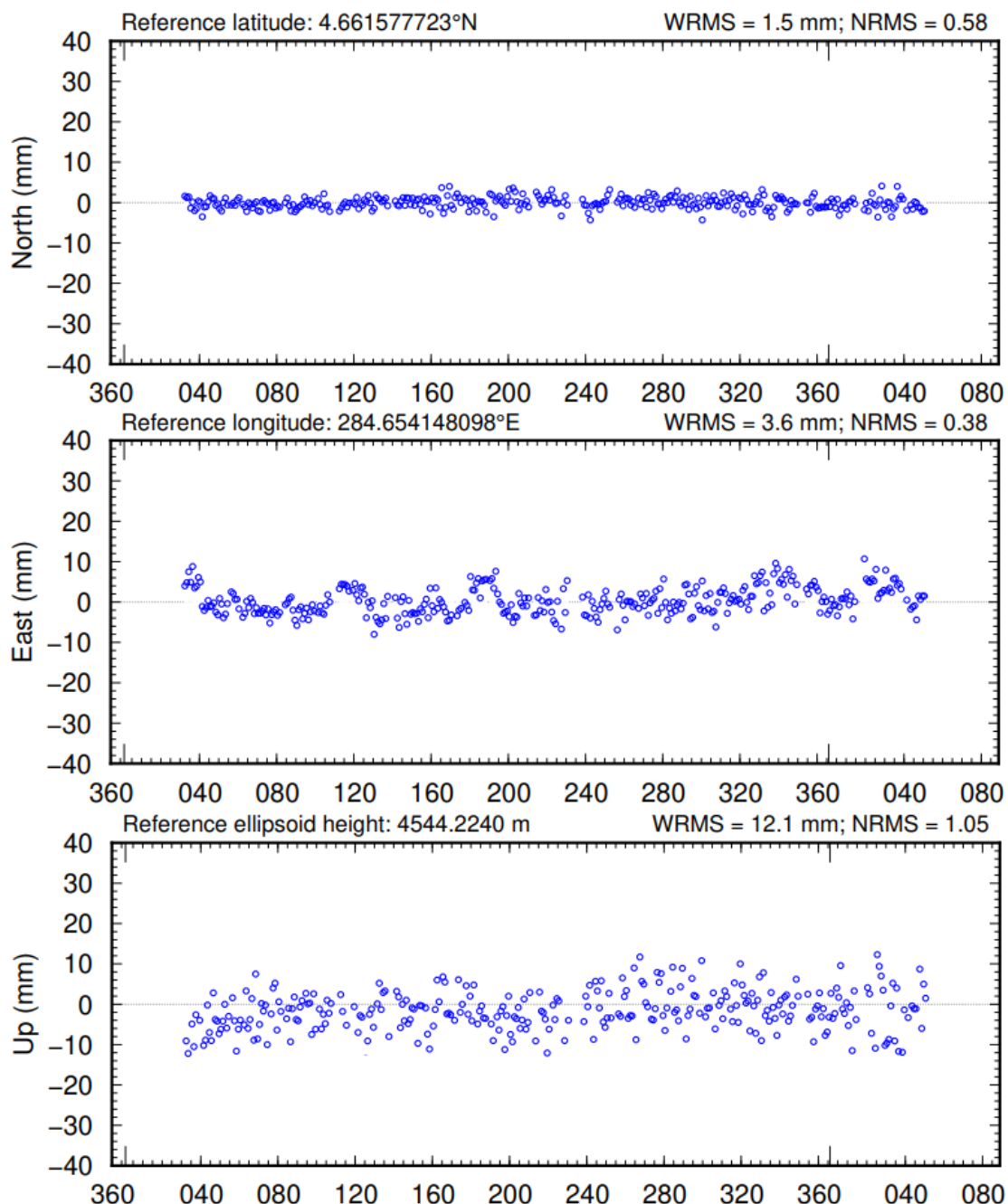


Figura 33. Serie temporal para la estación GNSS permanente ESME, febrero de 2021 a febrero de 2022

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 34) (Se cuenta con más de 10 líneas base para monitorear la deformación de estos volcanes). En la figura 35 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.

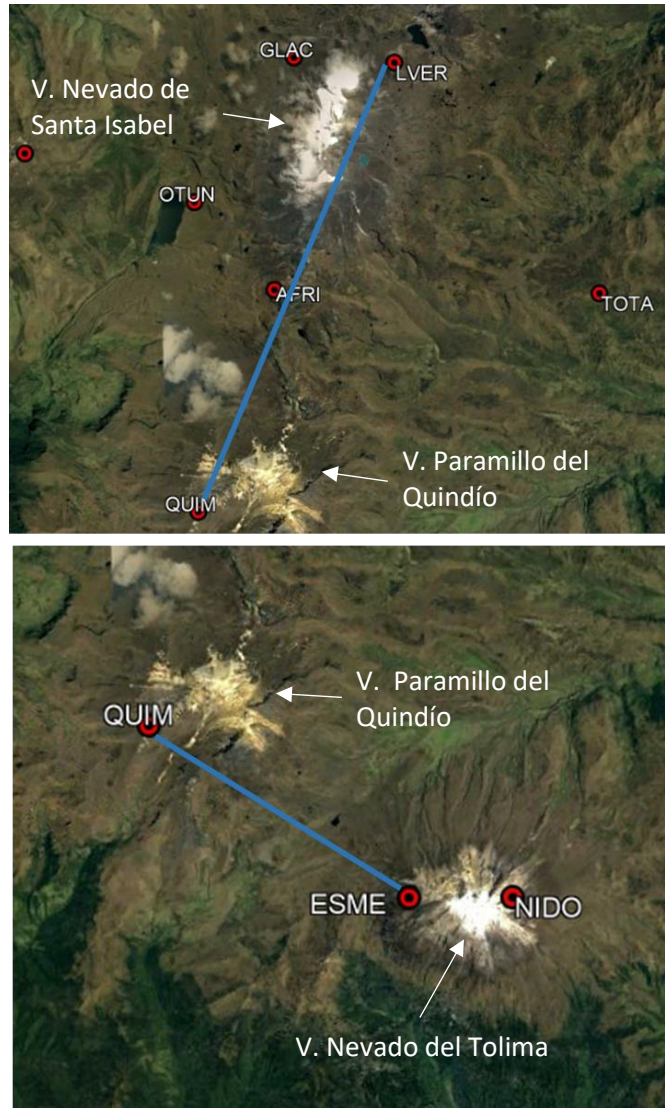


Figura 34. Localización de las líneas base GNSS definidas para los volcanes en nivel verde

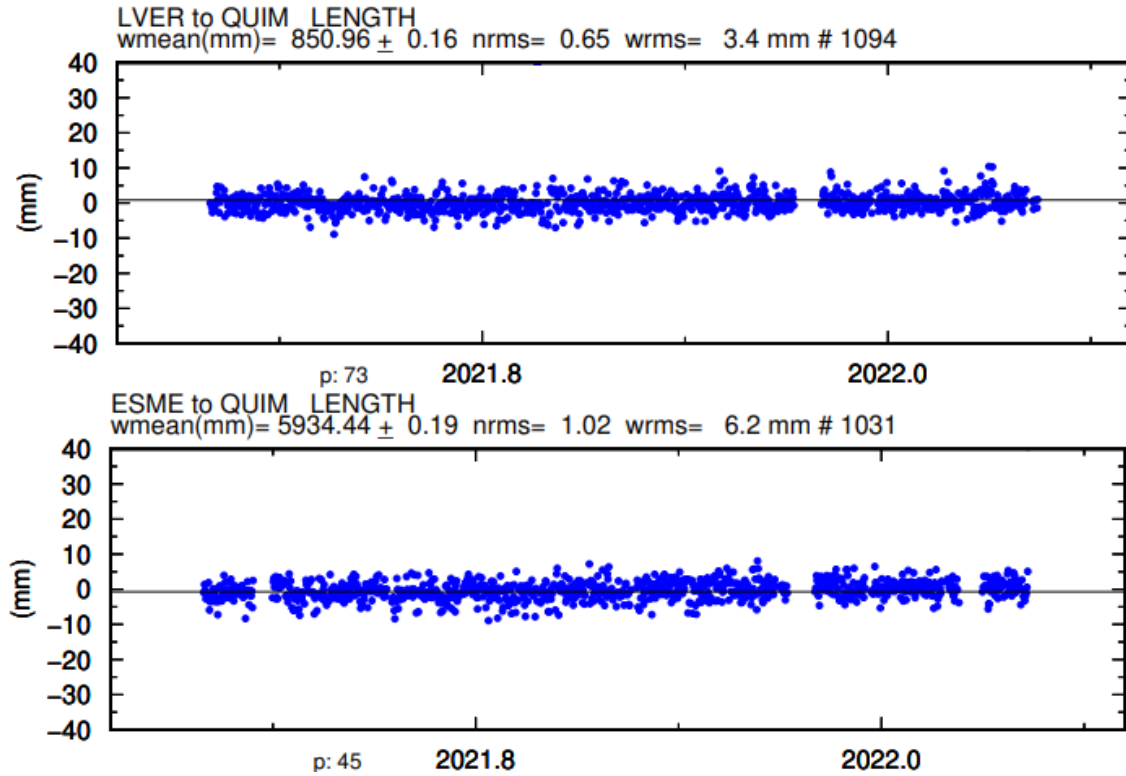


Figura 35. Resultados de las líneas base. LVER-QUIM y ESME-QUIM. Septiembre 2021 a febrero de 2022

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 30-01-2021 y 11-02-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita ascendente. Los resultados se muestran en la figura 36 y figura 37, 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.

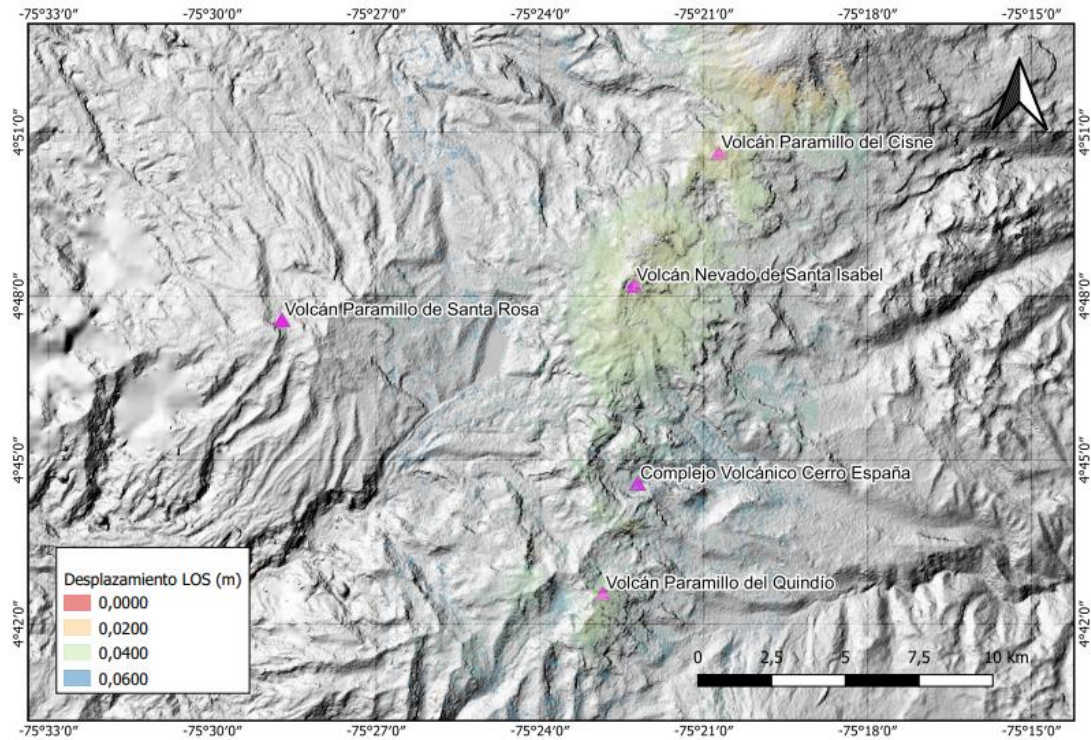


Figura 36. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 30-01-2022 y 11-02-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado de Santa Isabel

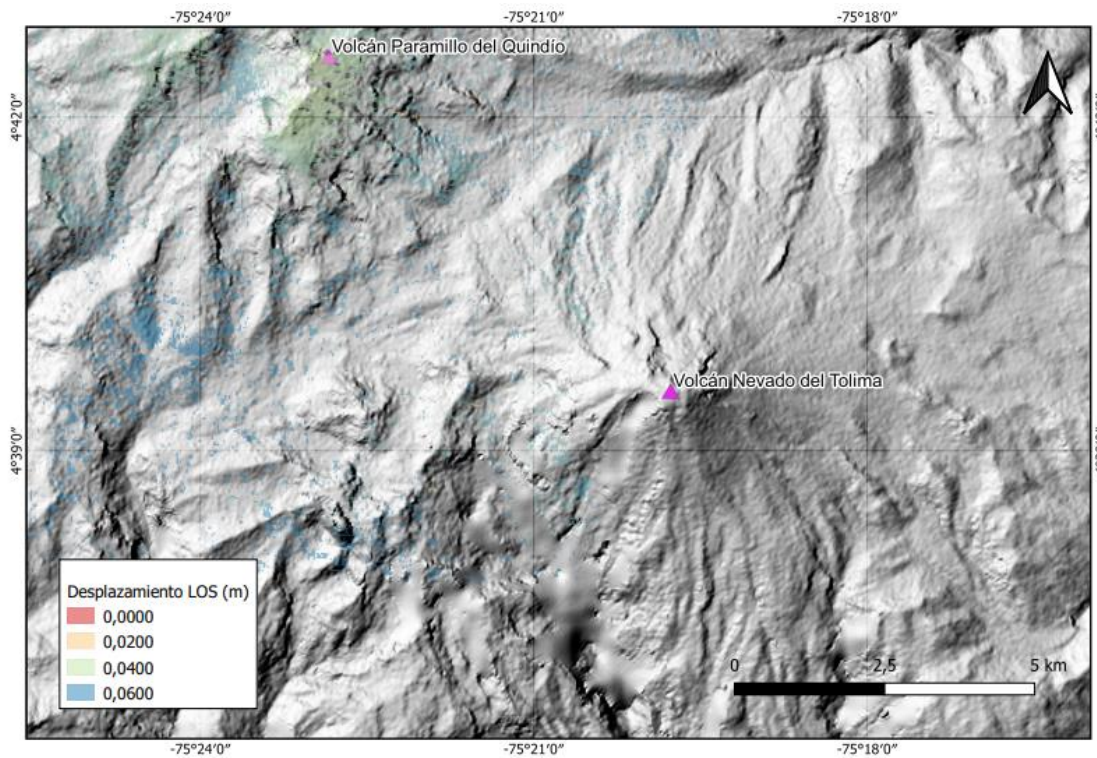



Figura 37. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 30-01-2022 y 11-02-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Tolima

2.2.3. Diagnóstico de la actividad volcánica

Con base en la evaluación de la información obtenida en el monitoreo continuo de los volcanes Nevado del Tolima, Nevado de Santa Isabel, Paramillo del Cisne, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío, Complejo Volcánico Cerro España, Cerro Bravo, San Diego y Romeral, ha registrado valores normales de la actividad sísmica con respecto a su línea base, además las redes de deformación, durante el mes de febrero no detectaron cambios significativos. El SGC determina que estos volcanes continúan en NIVEL DE ACTIVIDAD VERDE  (o IV): volcán activo y comportamiento estable.

Conclusiones

- Con base en el análisis y evaluación de la información obtenida, a partir de los parámetros geofísicos, geodésicos y geoquímicos monitoreados en los volcanes del SVNC, se evidenció que los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín continuaron presentando cambios e inestabilidad en su comportamiento, mientras que los demás volcanes mantuvieron sus niveles base de actividad mostrando estabilidad.
- Los datos sismológicos registrados en febrero, indican que el VNR continúa con un proceso de inestabilidad, el cual viene ocurriendo en el sistema volcánico desde 2010. La sismicidad relacionada tanto con la dinámica de fluidos como de fractura dentro de los conductos volcánicos continuó registrándose y aunque mostró una disminución en el número de sismos y niveles energéticos respecto al mes anterior, siguen presentándose sismos de largo periodo (LP) y de muy largo periodo (VLP), pulsos de tremor (TR), tremor continuo (TC), tremor armónico.
- A partir de los datos geoquímicos se evidenció que el VNR continuó emitiendo cantidades importantes de vapor de agua y gases volcánicos a la atmósfera principalmente flujos de dióxido de azufre.
- En el volcán Cerro Machín continuó el registro de la sismicidad asociada a fracturamiento de roca. Durante febrero, este tipo de actividad sísmica mostró incremento tanto en el número de sismos como en la energía sísmica liberada. La localización de los sismos estuvo principalmente en el flanco suroccidente, y en menor proporción en el sector suroriente del volcán, fuentes que se han considerado como las más activas a través del tiempo.
- Los demás volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia como lo son el VNT, VNSI, CVCE, VPC, VPSR, VCB y VPQ se caracterizaron por registrar cambios leves en la sismicidad VT, sus niveles fueron bajos o similares tanto en la sismicidad como energía sísmica liberada respecto a enero.
- En los volcanes del SVNC cubiertos en su parte superior por masa glaciaria (VNR, VNSI y VNT) continuó el registro de señales sísmicas relacionadas con la dinámica del glaciario. En febrero, las tasas diarias de este tipo de sismicidad disminuyeron en comparación con las registradas en enero.
- Durante febrero, las estaciones de las redes de deformación y geoquímica de los volcanes VNR, VCM, VCB, VNSI, VNT y VPSR no detectaron cambios significativos, evidenciando estabilidad en las superficies volcánicas.

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. Estación multiparamétrica Piraña en el volcán Nevado del Ruiz	10
Figura 4. Nuevo sitio del repetidor de comunicaciones El Alguacil	10
Figura 5. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, LP-VLP, TR y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días con mayor número de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica la tasa máxima de registro diario	12
Figura 6. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	12
Figura 7. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante febrero de 2022. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores de los círculos representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos	13
Figura 8. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP, TR y TC registrados en el VNR entre julio de 2014 y el 28 de febrero de 2022	14
Figura 9. Gráfica RSAM de estación sismológica RC3, componente vertical entre el 01 de julio de 2021 y 28 de febrero de 2022	15
Figura 10. Datos SSAM de estación sismológica RC3, componente vertical entre el 01 de julio de 2021 y el 28 de febrero de 2022	15
Figura 11. Comportamiento del inclinómetro electrónico Bis2 para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero 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 12. Comportamiento del inclinómetro electrónico Refugio para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero 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 13. Serie temporal para la estación GNSS permanente GUAL, febrero de 2021 a febrero de 2022	18
Figura 14. Localización de líneas base GNSS en el volcán Nevado del Ruiz	19
Figura 15. Resultados de las líneas base del volcán Nevado del Ruiz. BLLR-OLLE y RUBI-SINN. Septiembre 2021 a febrero de 2022	19
Figura 16. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 30-01-2022 y 11-02-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Ruiz	20
Figura 17. 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 28 de febrero de 2022. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO ₂	21
Figura 18. Fotografías de la columna de gases y ceniza en el cráter Arenas capturadas durante el mes por las cámaras instaladas en los sectores cañón de río Azufrado (fotos del 02, 11, 18 y 24 de febrero), Gualí (foto del 25 de febrero), cañón del río Lagunilla (foto del 03 de febrero), Cámara FLIR de Olleta (foto del 07 de febrero), Valle de las Tumbas PPNN (foto del 10 de febrero) y Olleta (foto del 10 de febrero)	22
Figura 19. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDoas	23
Figura 20. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número y sector de localización de los eventos	24
Figura 21. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada y el sector de localización de ésta	24
Figura 22. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante	

febrero de 2022. 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, la magnitud de los sismos	25
Figura 23. Serie temporal para la estación GNSS permanente LAGU, septiembre de 2021 a febrero de 2022	26
Figura 24. Localización de línea base GNSS en el volcán Cerro Machín	27
Figura 25. Resultados de la línea base del volcán Cerro Machín. MRAL-LAGU. Septiembre 2021 a febrero de 2022	27
Figura 26. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero 2010 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado	29
Figura 27. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero de 2010 y el 28 de febrero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	29
Figura 28. Mapa de localización de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE durante febrero de 2022. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos	30
Figura 29. Comportamiento del inclinómetro electrónico Chava para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. En la gráfica superior componente Este, en la 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	31
Figura 30. Comportamiento del inclinómetro electrónico Esmeralda para el periodo 1 de septiembre de 2021 a 28 de febrero de 2022. En la gráfica superior componente Este, en la 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	32
Figura 31. Serie temporal para la estación GNSS permanente OTUN, febrero de 2021 a febrero de 2022	33
Figura 32. Serie temporal para la estación GNSS permanente QUIM, febrero de 2021 a febrero de 2022	34
Figura 33. Serie temporal para la estación GNSS permanente ESME, febrero de 2021 a febrero de 2022	35
Figura 34. Localización de las líneas base GNSS definidas para los volcanes en nivel verde	36
Figura 35. Resultados de las líneas base. LVER-QUIM y ESME-QUIM. Septiembre 2021 a febrero de 2022	37
Figura 36. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 30-01-2022 y 11-02-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado de Santa Isabel	38
Figura 37. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 30-01-2022 y 11-02-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Tolima	38