



## **INFORME TÉCNICO – OPERATIVO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA**

**SEGMENTO VOLCÁNICO NORTE DE COLOMBIA – ENERO DE 2022**

**Manizales, febrero 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**

Beatriz Elena Galvis

Claudia Patricia Álvarez

Juan José Idárraga

Milton Ordoñez

Álvaro Esteban Acevedo

Julián Ramírez

Lina Constanza García

Lina Marcela Castaño

Nancy Trujillo

Oscar Sanabria

Zoraida Chacón

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	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)	21
2.2. Volcanes en nivel de actividad verde	27
2.2.1. Geofísica	27
2.2.2. Geodesia (deformación)	29
2.2.3. Diagnóstico de la actividad volcánica	38
Conclusiones	39



## 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 enero 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 enero predominó la actividad sísmica relacionada con la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos. Este tipo de sismicidad aumentó en el número de sismos y disminuyó en la energía sísmica liberada respecto diciembre. El registro sísmico estuvo caracterizado, principalmente, por sismos de largo periodo y/o muy largo periodo seguidos de pulsos de tremor volcánico de baja energía, tremor 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, aumentó en el número de sismos registrados y mantuvo un nivel similar en la energía sísmica liberada con respecto a diciembre. En cuanto a deformación, esta no mostró cambios significativos en la superficie volcánica.

El VCM registró, durante enero, señales sísmicas asociadas principalmente al fracturamiento de roca en las inmediaciones del volcán. Esta actividad sísmica presentó bajas tasas diarias de sismicidad y niveles energéticos bajos, con respecto a diciembre. Los sismos se localizaron principalmente en el sector suroccidente, y en menor proporción en los sectores sur y suroriente 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 SO<sub>2</sub> and water vapor into the atmosphere.

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

Rock fracture seismicity (VT) increased in number of earthquakes and maintained a similar level in seismic energy released respect to december. Geodesic monitoring didn't show significant deformation on the volcanic surface.

In Cerro Machín volcano, during January, activity was characterized by seismicity associated with fracturing rock in volcano environs. This seismic activity decreases both number and energy levels, compared to december. This seismicity was mainly located at the southwest, south and southeast sectors 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 enero 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.

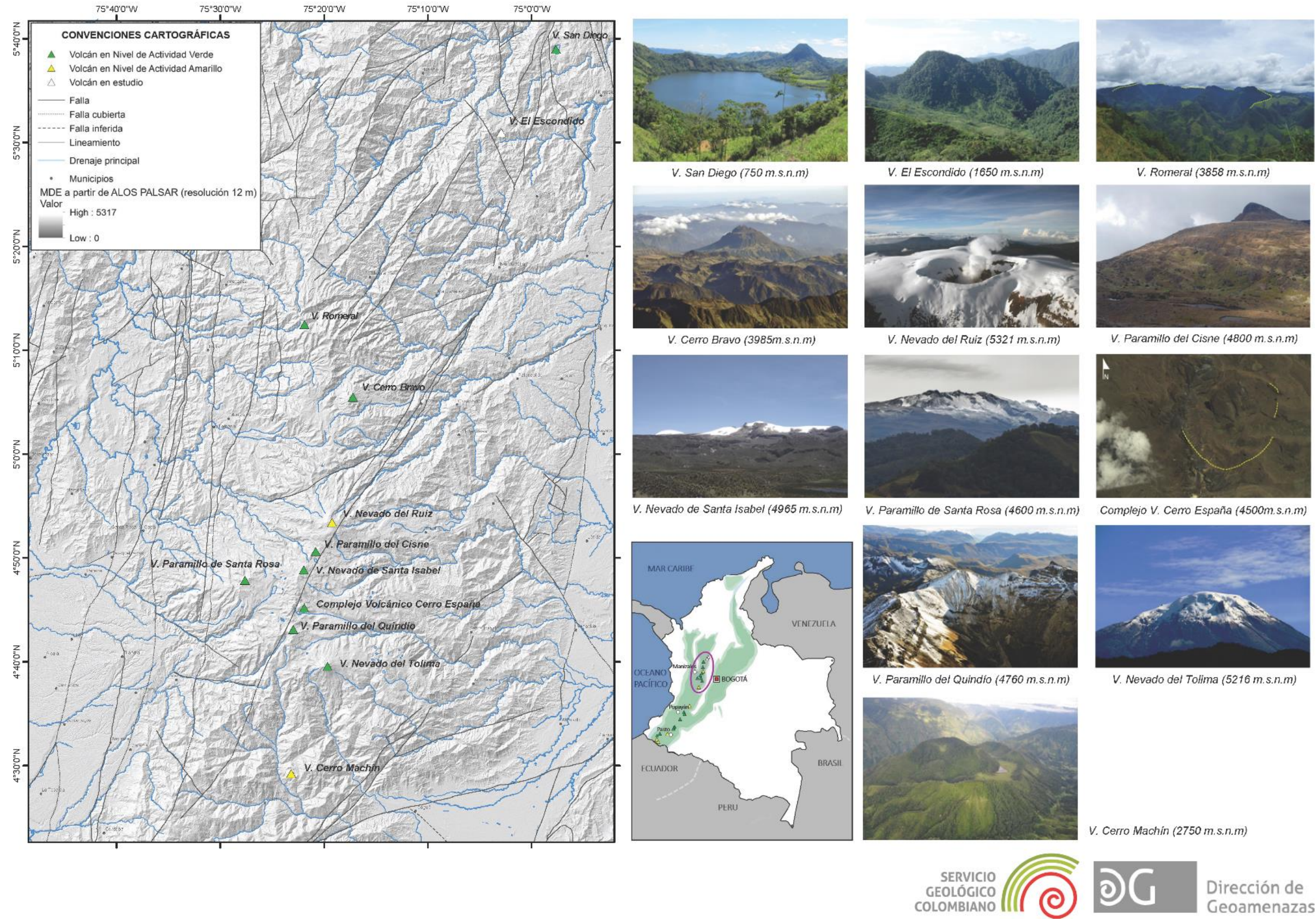
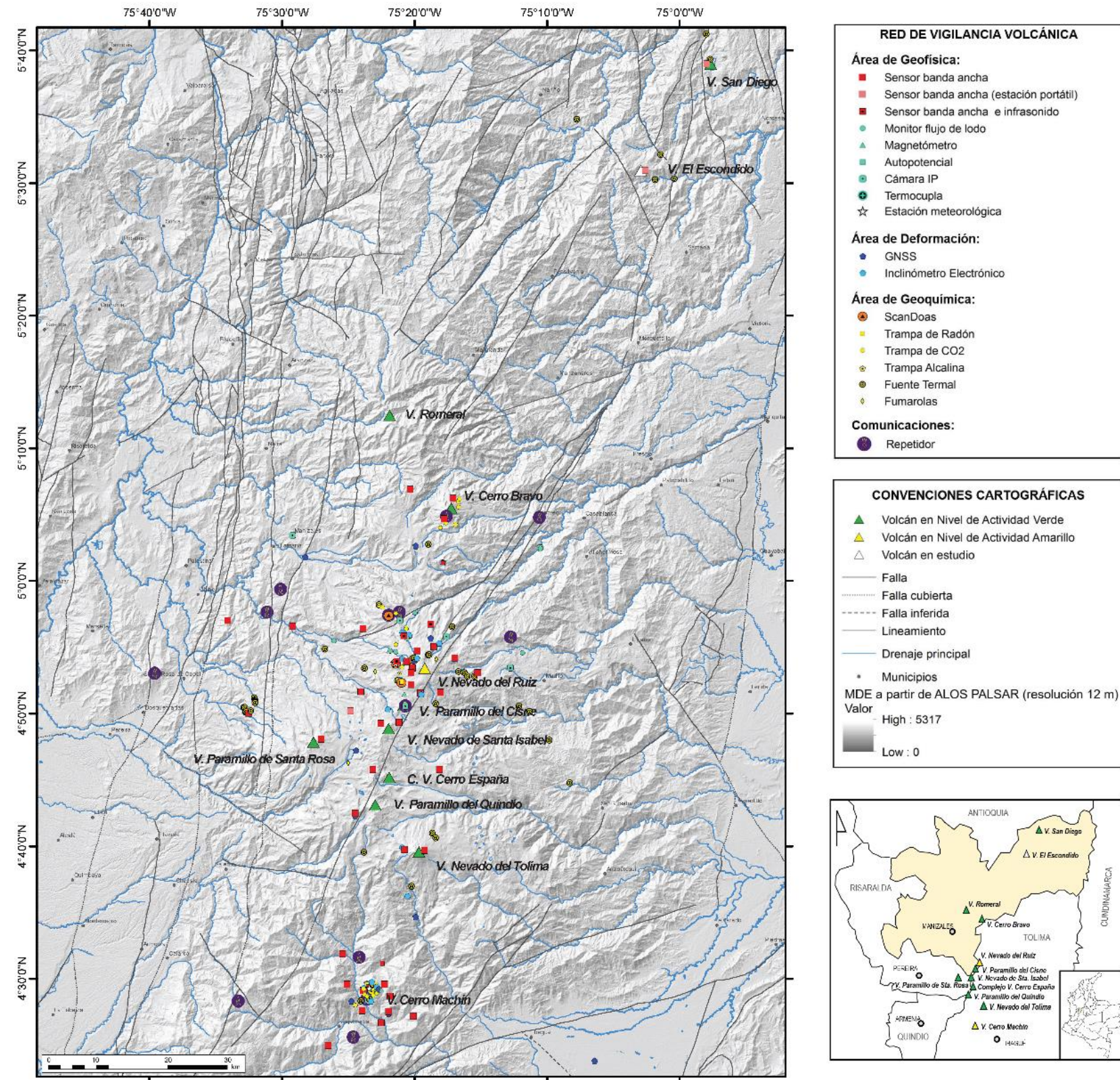


Figura 1. Localización y fotografías de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia. La imagen a la izquierda corresponde a un mapa de sombras realizado a partir de un MDE (o DEM) de 12 m de resolución

## **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 161 estaciones ubicadas en campo (160 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).






## 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.

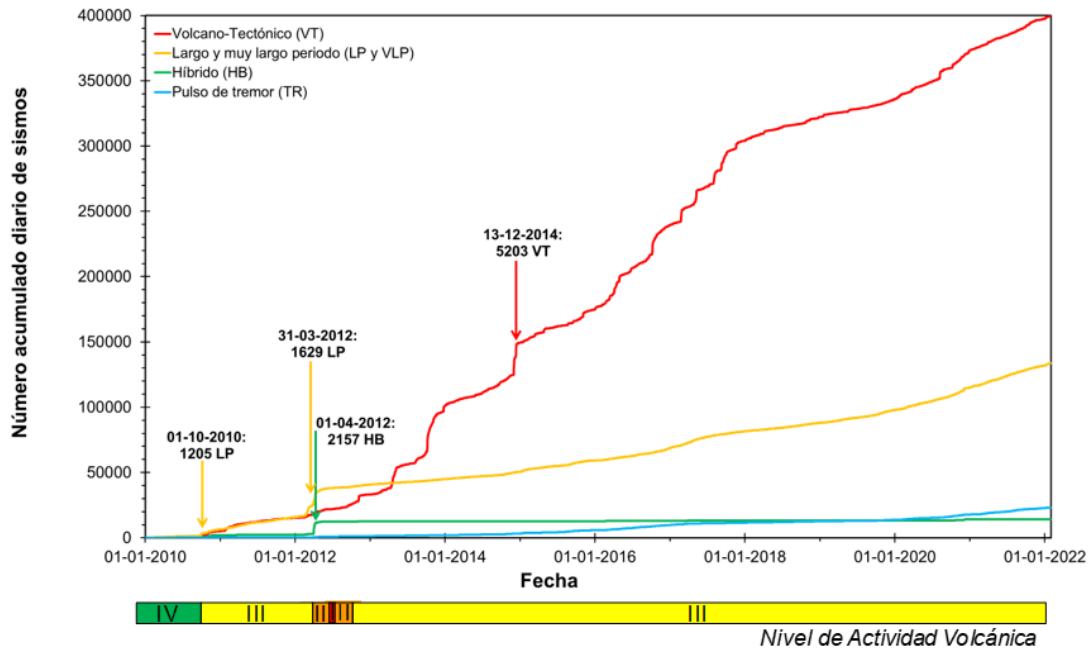
A continuación, se presentan los datos de los parámetros monitoreados en el VNR durante enero de 2022:

##### 2.1.1.1. Geofísica

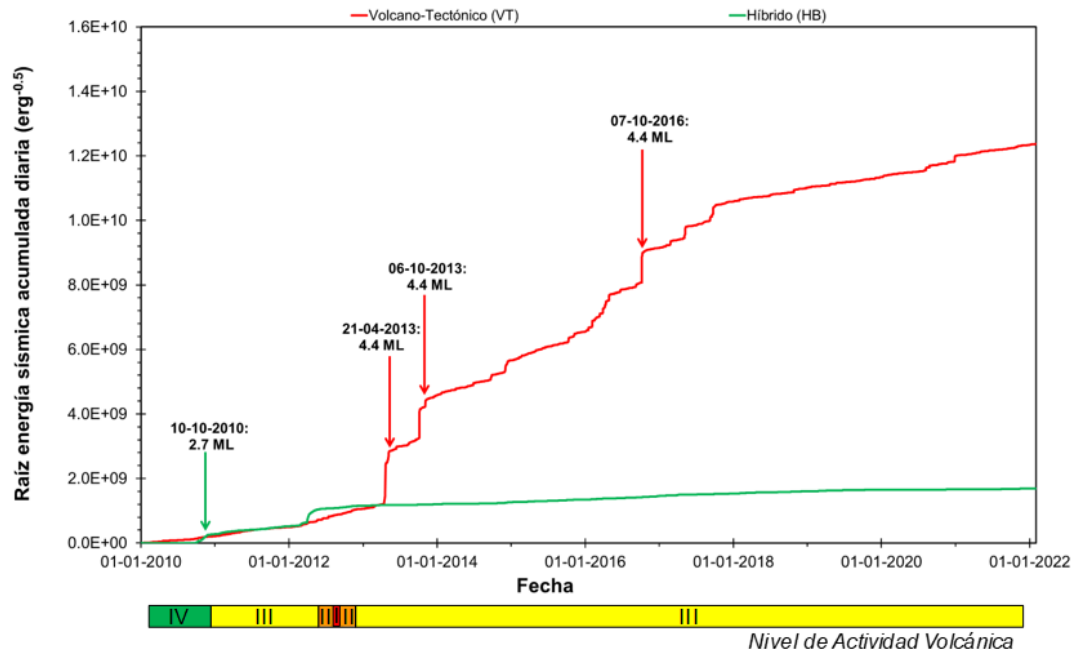
Los datos del monitoreo sismológico obtenidos en enero muestran que la sismicidad registrada en el VNR estuvo asociada principalmente al movimiento de fluidos dentro de los conductos volcánicos y a fracturamiento de rocas en las inmediaciones del volcán. También se presentaron señales sísmicas relacionadas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

La actividad sísmica asociada a fracturamiento de rocas aumentó en el número de sismos registrados (figura 3) y mantuvo un nivel similar en la energía sísmica liberada con respecto a diciembre (figura 4). Los sismos se localizaron principalmente en los sectores noroccidente, suroccidente, sur, suroriente, oriente, nororiente y cráter Arenas; en menor proporción en los sectores occidente y norte distal del volcán. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 0,1 y 8,6 km (figura 5). Se destaca la ocurrencia de tres incrementos en este tipo de sismicidad durante los días 07, 17 y 28 de enero; este último asociado a sismicidad de tipo *drumbeat*, localizado en el cráter Arenas. Las otras dos fuentes se localizaron al suroriente y oriente del volcán. La mayor magnitud registrada durante estos incrementos, y a su vez la mayor del mes fue de 1,8 ML (magnitud Local), correspondiente a dos sismos ocurridos el 07 de enero a las 08:16 y 08:17 (hora local), localizados 2,5 km al suroriente del cráter Arenas, a 3,6 y 3,8 km de profundidad, respectivamente.

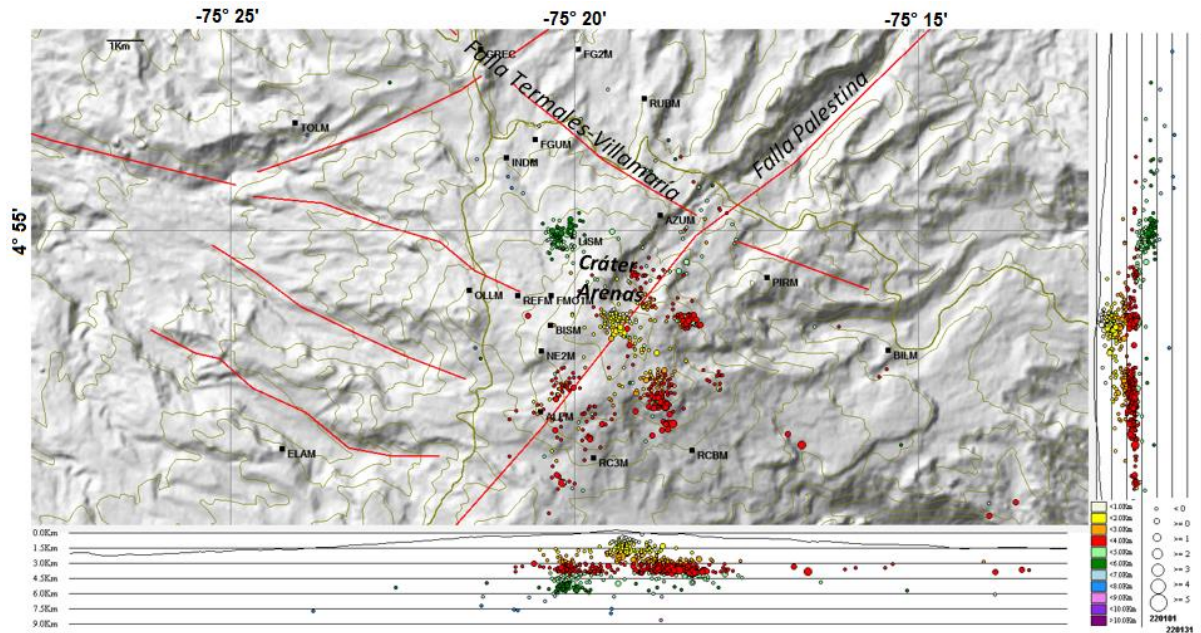
Los días 03, 13, 25, 28 y 30 de enero se presentaron varios episodios de sismicidad tipo *drumbeat*. Estos eventos fueron de bajo nivel energético y se asociaron a fracturamiento de roca. Las duraciones estuvieron en rangos de tiempo entre 2 y 40 minutos y la periodicidad (tiempo entre sismo y sismo) de los episodios fue muy variable, desde 11 hasta 70 s. Esta sismicidad ha estado relacionada con los procesos de ascenso, emplazamiento-crecimiento y evolución de un domo de lava en el fondo del cráter Arenas y con respecto a su evolución éste ha seguido perdiendo volumen.



**Figura 3.** 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 31 de enero 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 4.** 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 31 de enero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

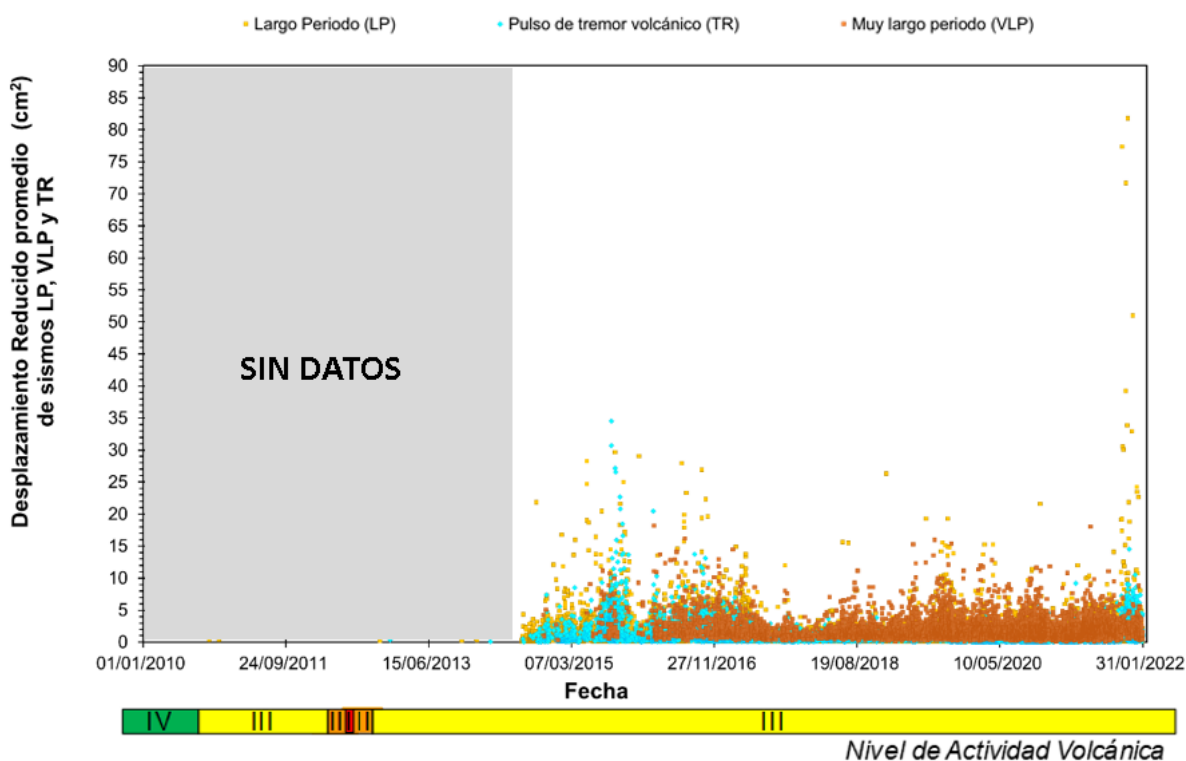


**Figura 5.** Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante enero de 2022. Los cuadros de color negro representan las estaciones sísmológicas. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

La sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos en el interior de los conductos volcánicos aumentó en el número de eventos registrados (figura 3) y disminuyó en la energía sísmica liberada con relación al mes de diciembre (figura 6). Esta actividad sísmica estuvo caracterizada por sismos de largo periodo (LP) y de muy largo periodo (VLP), pulsos de tremor (TR), tremor continuo (TC) con niveles energéticos y

contenidos espectrales variables y se localizó en el cráter Arenas o alrededor de este, en un radio de 2 km. Algunas de estas señales estuvieron asociadas a emisiones de ceniza, algunas de las cuales fueron confirmadas a través de las cámaras instaladas en el área del volcán, personal del SGC en campo, personal del PNNN Los Nevados y habitantes en la zona cercana al volcán.

El valor máximo de  $D_r$  promedio calculado durante el mes fue de  $24,2 \text{ cm}^2$ , correspondiente al sismo de tipo LP registrado el 5 de enero a las 16:06 (hora local). En cuanto a los sismos tipo TR y TC los máximos valores de  $D_r$  promedio fueron de  $8,6 \text{ cm}^2$  el 03 de enero y  $0,34 \text{ cm}^2$  el 19 de enero, respectivamente (figura 6).



**Figura 6.** Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP y TR registrados en el VNR entre noviembre de 2014 y el 31 de enero de 2022

A través de la red de estaciones de infrasonido, se identificaron varias señales que por sus características acústicas se pudieron asociar a emisiones de ceniza, desgasificación y algunas señales clasificadas como explosiones en el área del cráter.

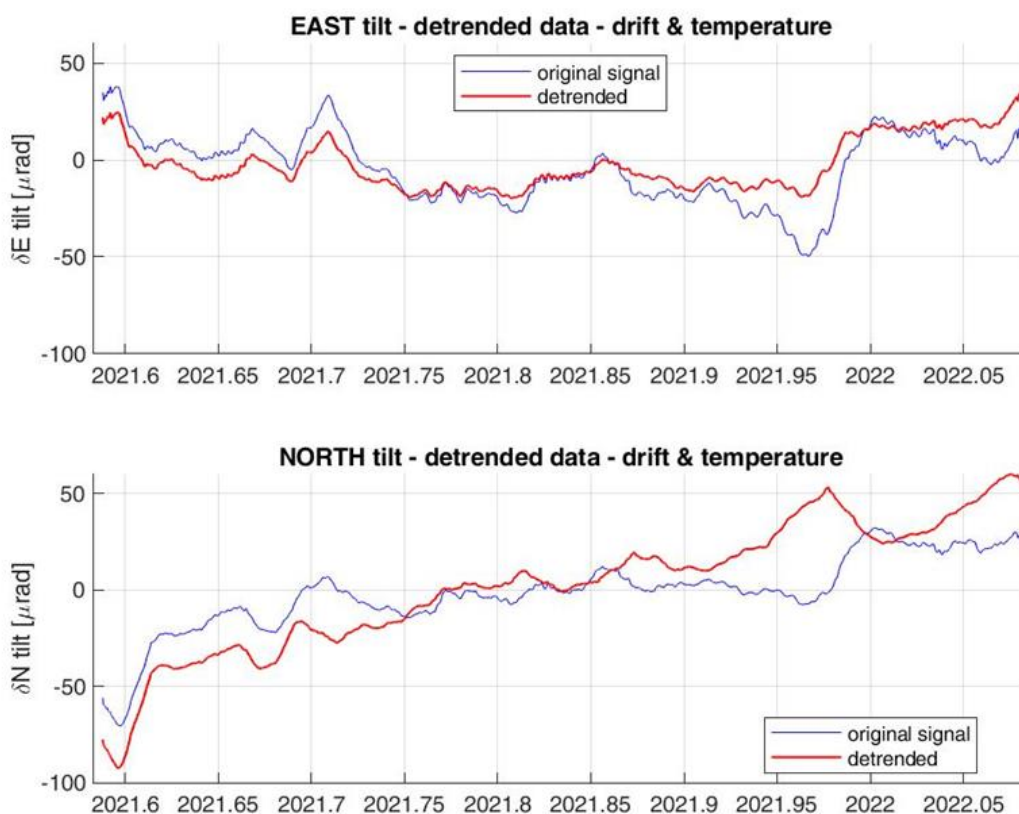
Durante enero, el tremor volcánico continuo (TC) en el VNR fue persistente y se registró de manera ininterrumpida. Los niveles energéticos fueron bajos, desde  $0,12 \text{ cm}^2$  hasta  $0,34 \text{ cm}^2$ , menores a los registrados en diciembre. El rango espectral varió entre 2,3 y 6,4 Hz. Una de las características observadas fue el “bandedado irregular” en el registro de esta señal sísmica de tremor, como consecuencia de las variaciones temporales del nivel de energía (cambios graduales) o por el registro súbito de pulsos de tremor precedidos por sismos LP y/o VLP, que generan ocasionalmente el aumento de su energía.

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

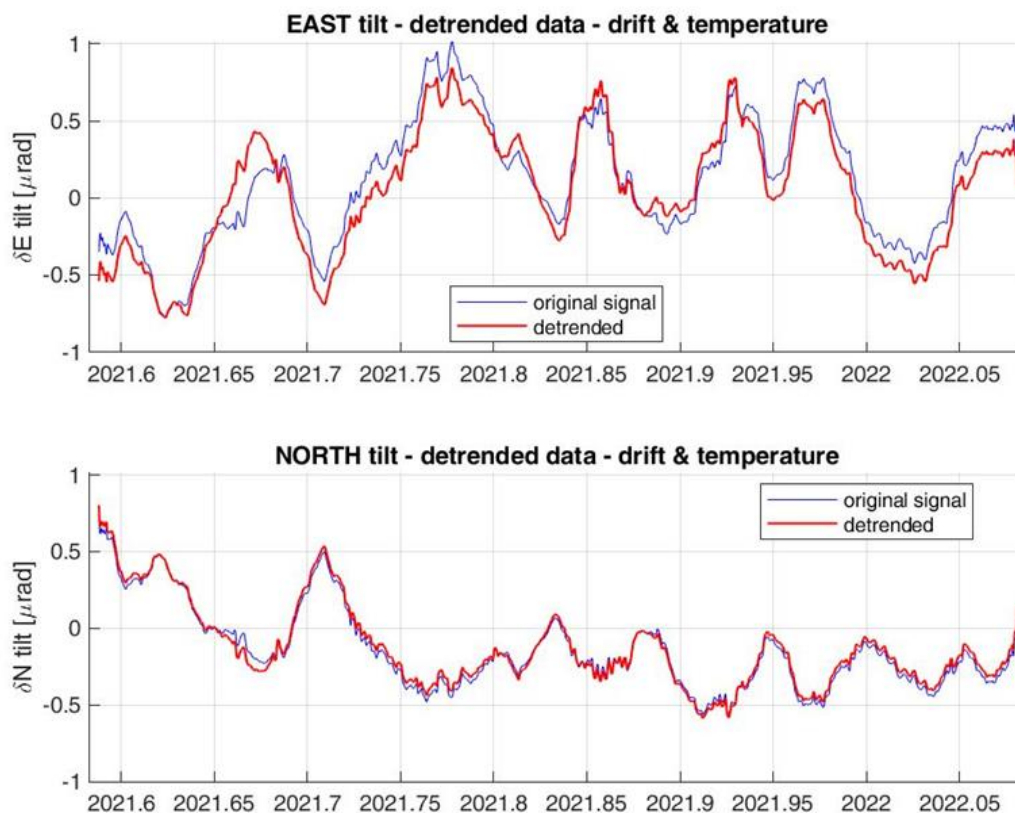
## 2.1.1.2. Geodesia (deformación)

### 2.1.1.2.1. Inclímetro electrónica

Durante enero estuvieron operativos los 10 inclinómetros de la red. La tendencia de las componentes Este -  $\delta E$  y Norte -  $\delta N$  para los inclinómetros BIS y REFUGIO presentó un comportamiento estable. En la figura 7 y figura 8 se presentan la serie temporal de estos inclinómetros sin el efecto de temperatura y deriva.



**Figura 7.** Comportamiento del inclinómetro electrónico Bis2 para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al 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 8.** Comportamiento del inclinómetro electrónico Refugio para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al 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 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 9 se presenta la serie temporal del GNSS GUAL para los últimos seis meses, como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.

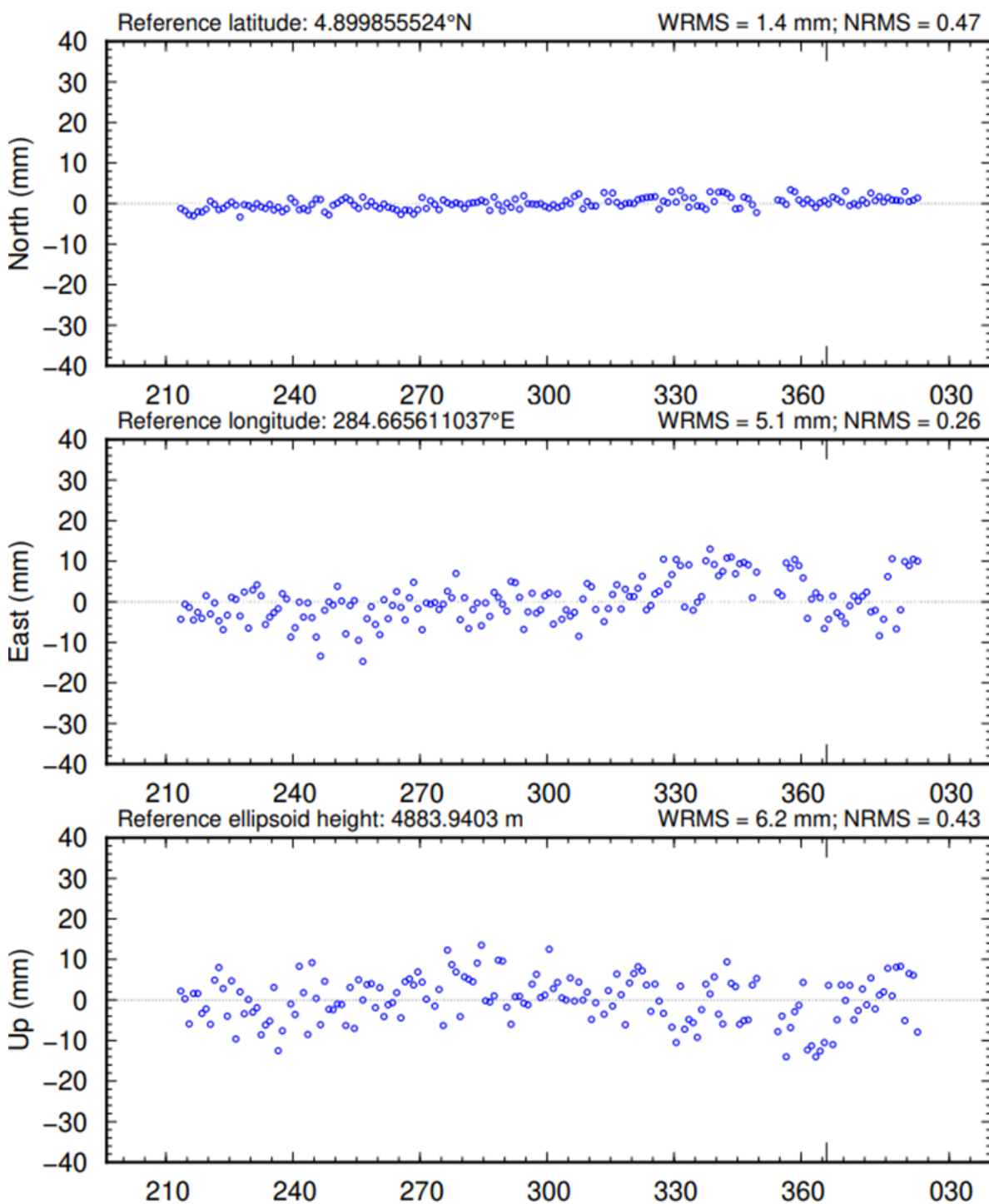


Figura 9. Serie temporal para la estación GNSS permanente GUAL, agosto de 2021 a enero de 2022

### 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 10) (Se cuenta con más de 50 líneas base para monitorear la deformación del VNR). En la



figura 11 se muestra el resultado de los datos procesados para el mes de enero. Las líneas base OLLE-BLLR y RUBI-SINN muestran estabilidad.



Figura 10. Localización de líneas base GNSS en el Volcán Nevado del Ruiz

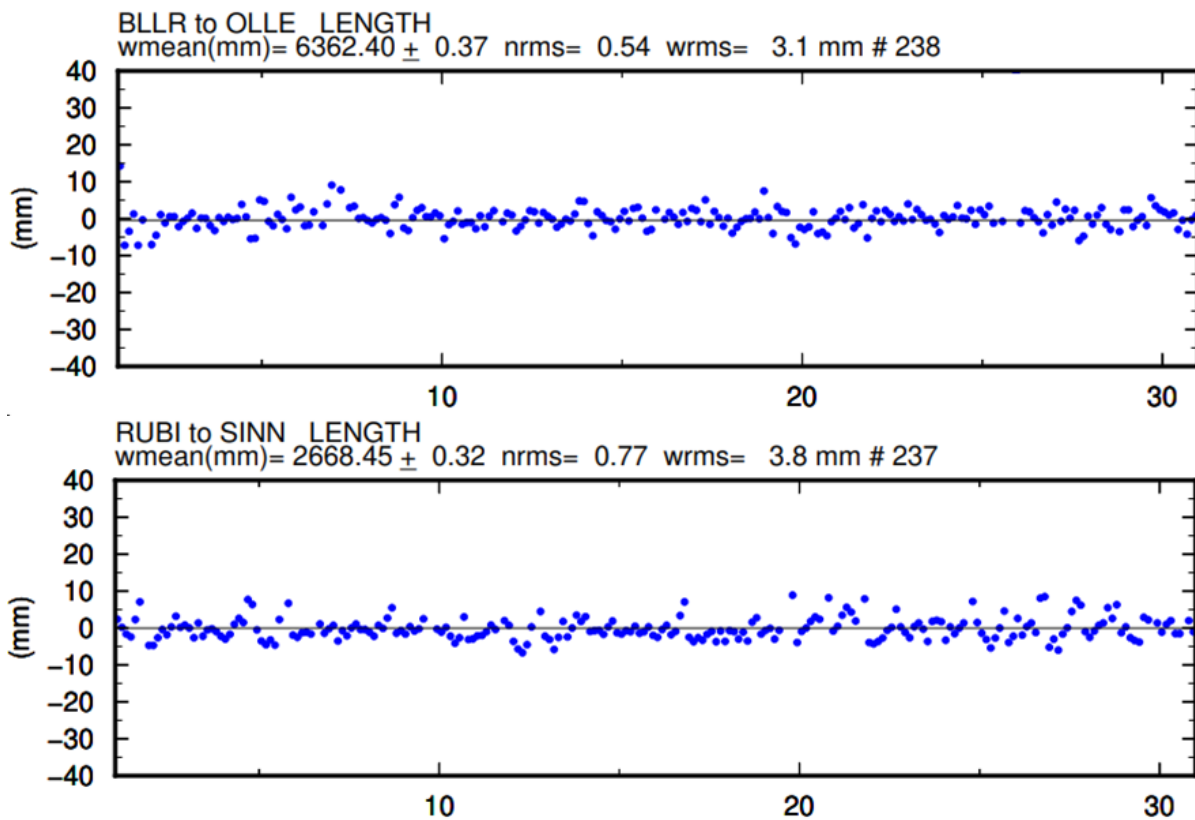
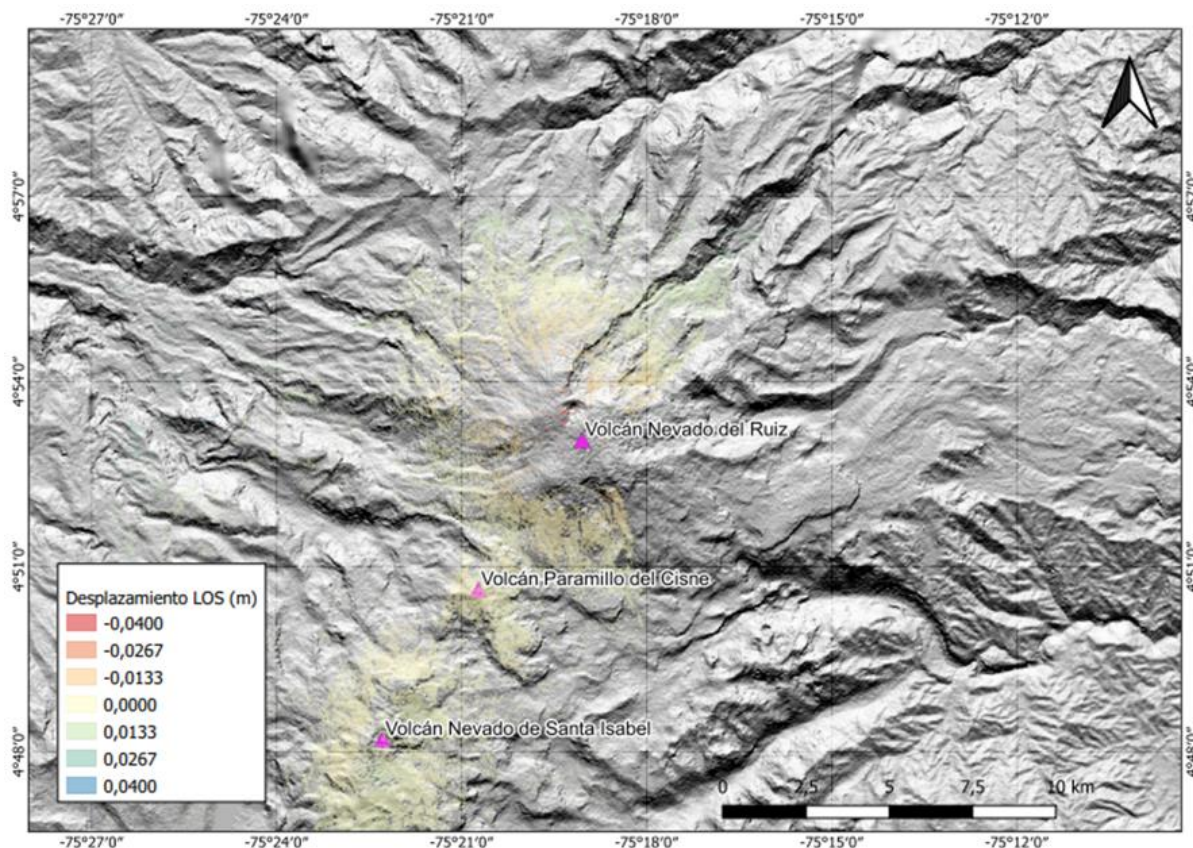


Figura 11. Resultados de las líneas base del volcán Nevado del Ruiz. BLLR-OLLE y RUBI-SINN. Enero de 2022

#### 2.1.1.2.4. Interferometría diferencial de radar (D-insar)

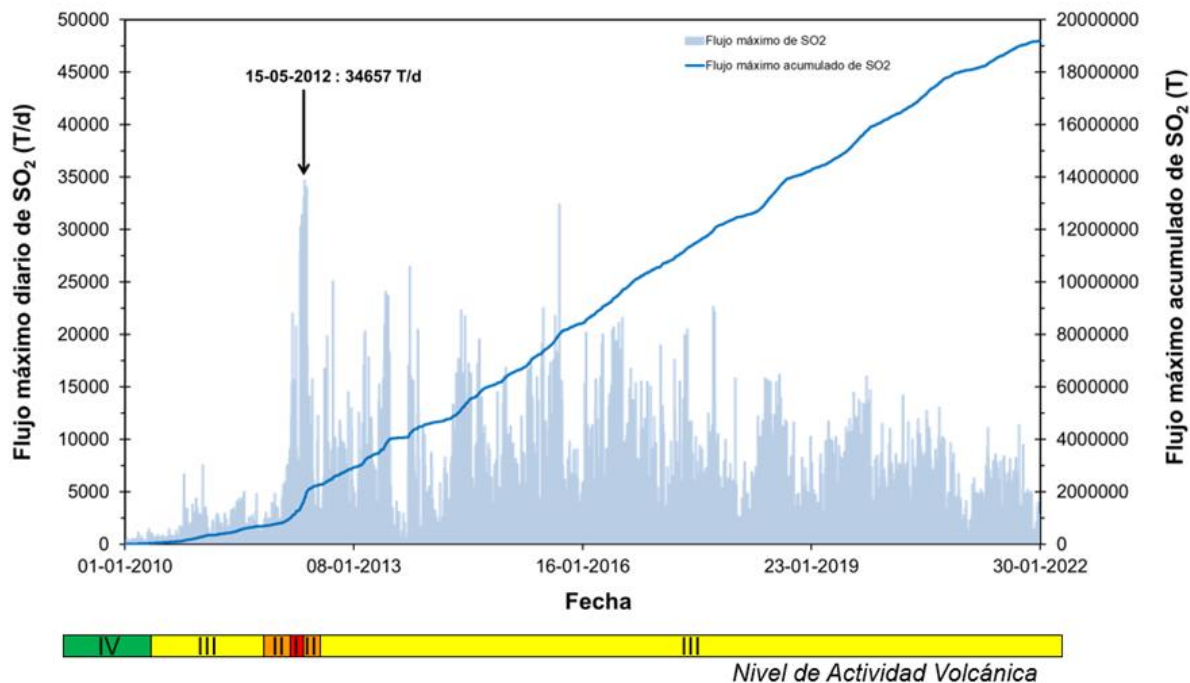
Para el área del volcán Nevado del Ruiz se procesó el par interferométrico del 06-01-2022 y 30-01-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita ascendente. Los resultados se muestran en la figura 12, en la cual se detalla que para el periodo evaluado no se han registrado procesos deformativos. Las variaciones observadas corresponden a efectos de estratificación atmosférica.



**Figura 12.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 06-01-2022 y 30-01-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Ruiz

#### 2.1.1.3. Geoquímica

Durante el mes, los flujos de  $\text{SO}_2$  se estimaron mediante cuatro estaciones telemétricas ScanDOAS: ALFOMBRALES, EL CAMIÓN, OLLETA, BRUMA y AZUFRADO. Los cálculos del flujo de  $\text{SO}_2$  se realizaron teniendo en cuenta las condiciones de dirección y velocidad del viento suministradas por 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 la desgasificación presentó valores que fluctuaron entre 1,7 y 7,4 m/s, y la dirección del viento predominó al nororiente. Para las descargas de  $\text{SO}_2$ , se estimó un valor máximo de 3986 T/d, y la media de los promedios mensuales fue de 536 T/d (figura 13).



**Figura 13.** Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO<sub>2</sub> volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de enero de 2022. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO<sub>2</sub>

Las estaciones de monitoreo de gas radón AZUFRADO, ALFOMBRALES y OLLETA registraron datos promedios de 8951, 1454 y 15.486 Bq/m<sup>3</sup> 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- a través de las cámaras instaladas en el VNR, se realizó el seguimiento de la columna de gases relacionada con la actividad fumarólica en el cráter Arenas. La columna de gases alcanzó una altura máxima aproximada de 2196 m (medidos desde la cima del cráter) el 24 de enero. La dirección de dispersión de esta fue muy variable, sin embargo, se observaron tendencias hacia el flanco oriental del volcán durante las primeras dos semanas y hacia el flanco occidental las últimas dos semanas del mes. En general, la columna de gases se observó principalmente de tonos grises debido a la emisión constante 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 y al final de la tarde (figura 14).

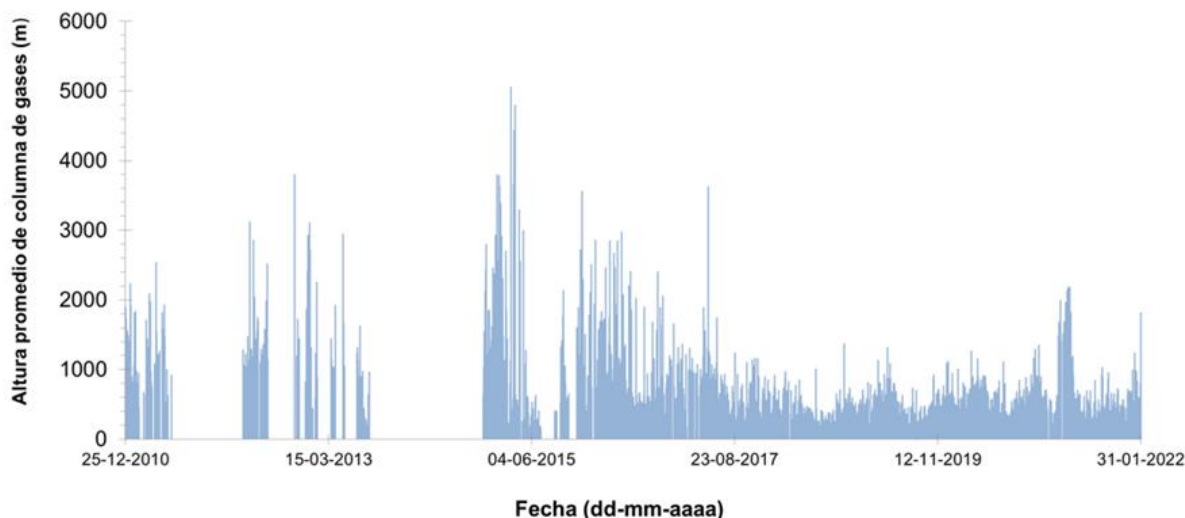


**Figura 14.** Fotografías de la columna de gases y ceniza en el cráter Arenas capturadas durante el mes por las cámaras instaladas en los sectores Paramillo del Cisne, Cañón del Azufrado y Olleta

Algunas de las señales sísmicas relacionadas al movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos estuvieron asociadas con emisiones de gases y ceniza. Visualmente se confirmaron emisiones de ceniza durante varios días del mes. Es importante mencionar que esta 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, que no pudieron ser observadas directamente, pero dado a sus características espectrales y forma de onda se pueden relacionar con salida de ceniza.

En enero, los portales web Mirova, NASA FIRMS y MOUNTS reportaron algunas anomalías térmicas en el área del cráter Arenas.

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 546 m (figura 15).



**Figura 15.** 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, la continuidad en la dinámica de fluido al interior del volcán, sismicidad tipo *drumbeat*, 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).

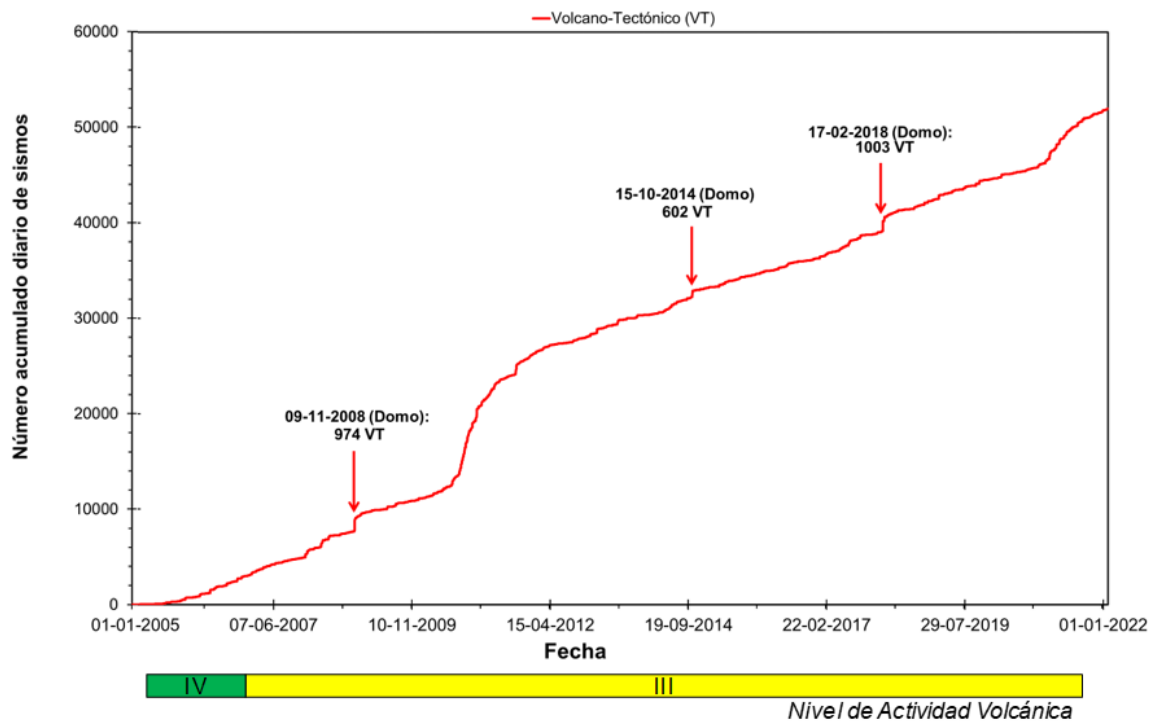
#### 2.1.2. Volcán Cerro Machín (VCM)

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.

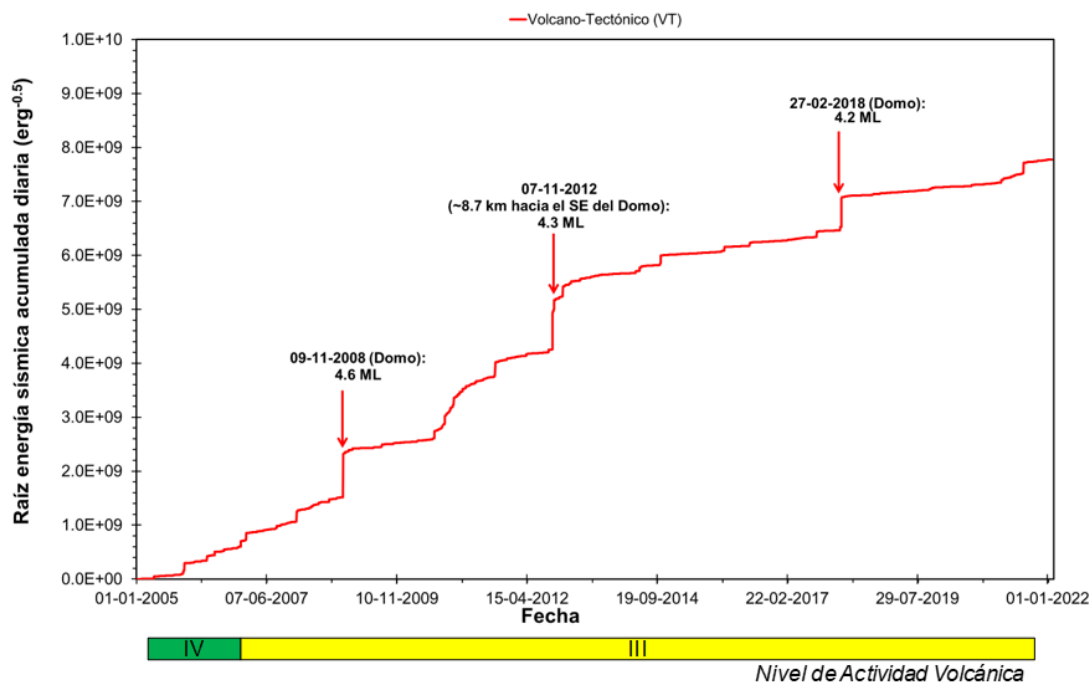
A continuación, se presentan los datos de los parámetros monitoreados en el VCM durante enero de 2022.

##### 2.1.2.1. Geofísica

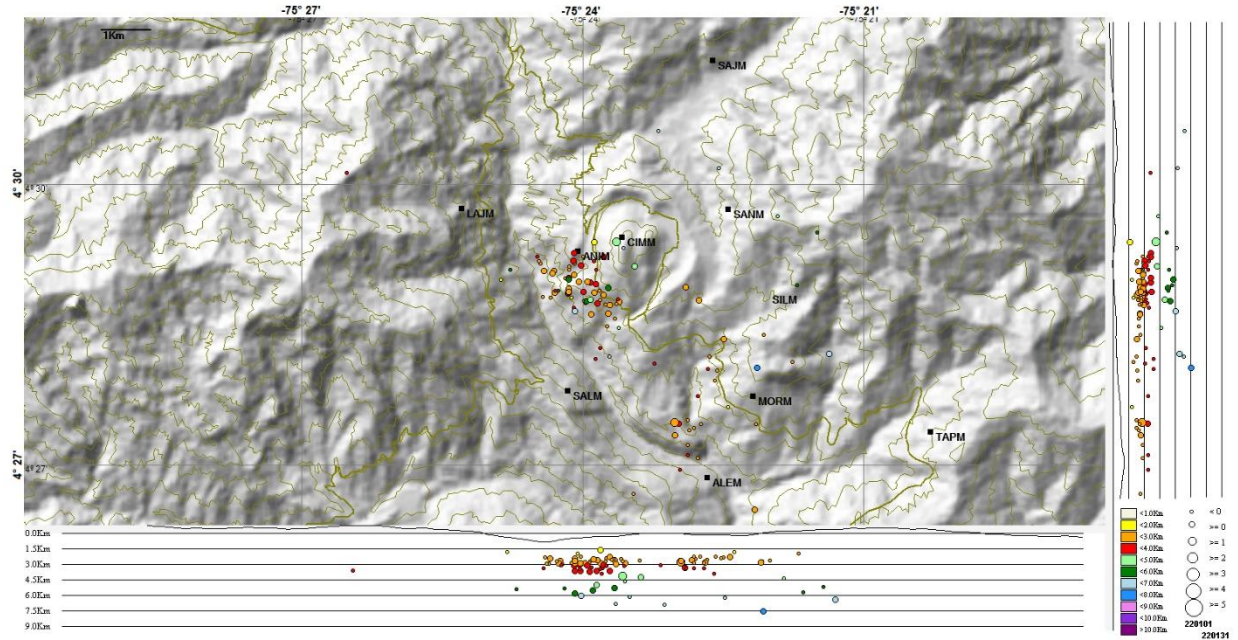
En el VCM, la sismicidad registrada estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en las inmediaciones y en sectores distales del volcán. Esta actividad sísmica disminuyó en el número de sismos (Figura 16) y en la energía sísmica liberada (figura 17), con respecto a diciembre. Los sismos se localizaron principalmente en el sector suroccidente, y en menor proporción en los sectores sur y suroriente del volcán, a profundidades entre 1,6 y 7,5 km (figura 18). La mayor magnitud registrada en el mes fue de 1,1 ML (magnitud local), correspondiente al sismo ocurrido el 04 de enero a las 23:11 (hora local), localizado 3,4 km al suroriente del domo principal a 2,8 km de profundidad.



**Figura 16.** Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de enero 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 17.** 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 31 de enero 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



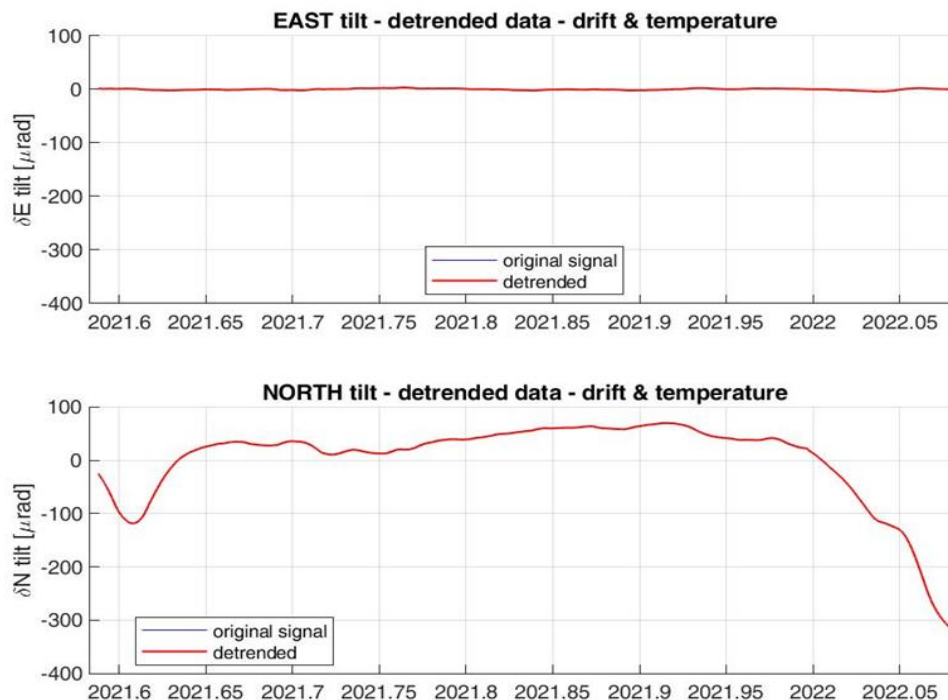
**Figura 18.** Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante enero de 2022. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

Durante enero, continuó el registro de sismicidad en el sector conocido como La Tigrera–Cielo Roto, aproximadamente a 10,0 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 09 de enero a las 07:58 (hora local), localizado al suroccidente del domo principal, a 11 km de profundidad. Esta sismicidad es materia de estudio y por el momento no ha sido incluida en las gráficas de número de sismos ni de energía liberada que se presenta a través del informe técnico – operativo de la actividad volcánica, Segmento Volcánico Norte de Colombia – enero de 2022. Los cambios en la evolución de esta sismicidad y los resultados de los análisis serán informados oportunamente.

## 2.1.2.2. Geodesia (deformación)

### 2.1.2.2.1. Inclínometría electrónica

Durante enero estuvo operativo un inclinómetro de la red, los 4 restantes no operaron por problemas electrónicos. La tendencia de la componente Este –  $\delta E$  para el inclinómetro AGUAS CALIENTES está afectada por problemas electrónicos y la componente Norte -  $\delta N$  presentó un comportamiento estable. En la figura 19 se presenta la serie temporal de este inclinómetro sin el efecto de temperatura y deriva.



**Figura 19.** Comportamiento del inclinómetro electrónico Aguas Calientes para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al componente Norte. En color rojo se presentan los datos los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento. La componente Este ha presentado problemas electrónicos

#### 2.1.2.2.2. 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 20 se presenta la serie temporal del GNSS LAGU para los últimos seis meses, como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.



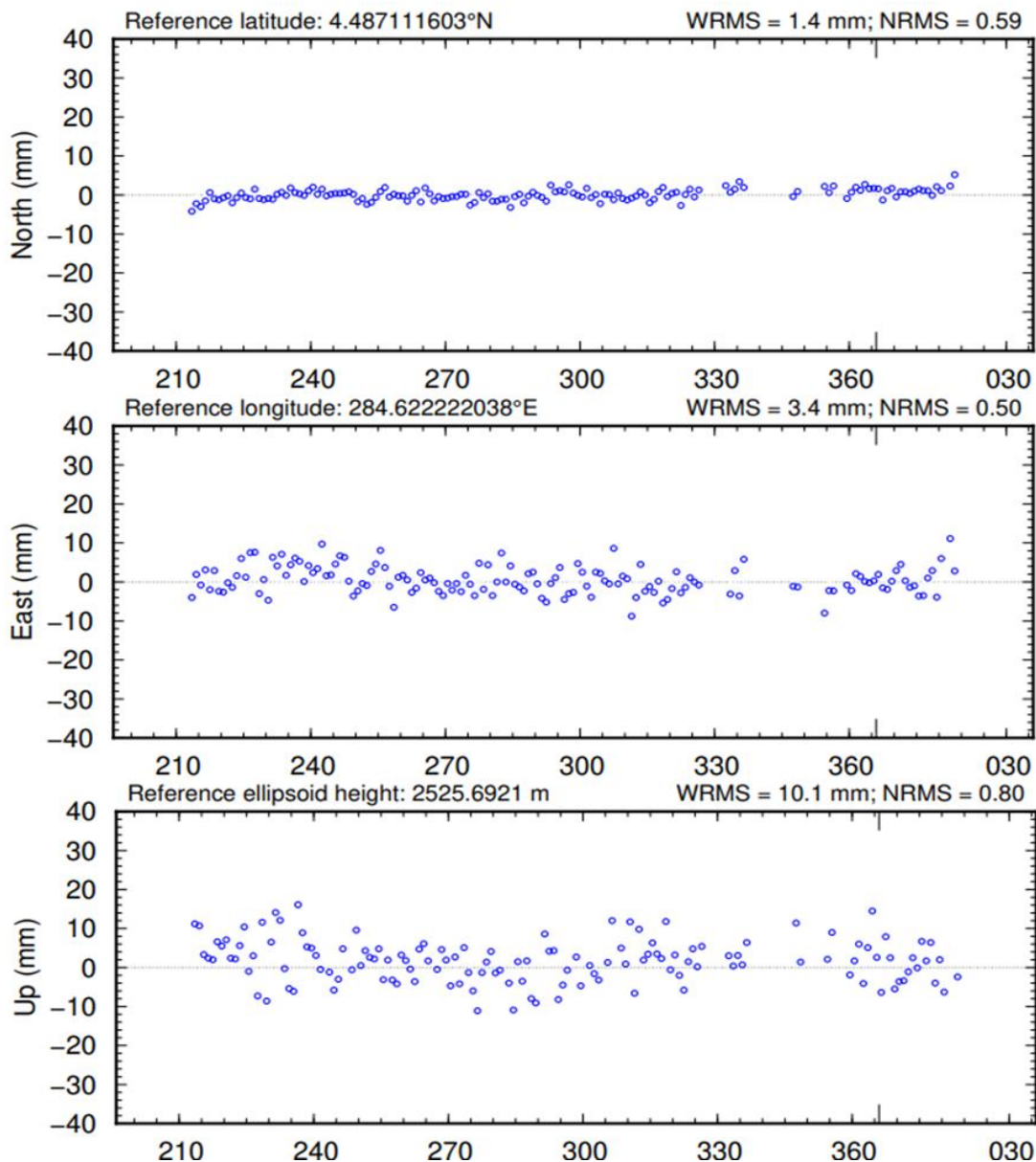


Figura 20. Serie temporal para la estación GNSS permanente LAGU, agosto de 2021 a enero de 2022

### 2.1.2.2.3. Procesamiento de líneas base GNSS

Para el volcán Cerro Machín se ha definido una línea base entre las estaciones GNSS LAGU y MRAL (figura 21) (Se cuenta con más de 10 líneas base para monitorear la deformación del VCM). En la Figura 22 se muestra el resultado de los datos procesados para el mes de enero. Los resultados observados en la línea base muestran un comportamiento estable entre las estaciones evaluadas.



Figura 21. Localización de línea base GNSS en el volcán Cerro Machín

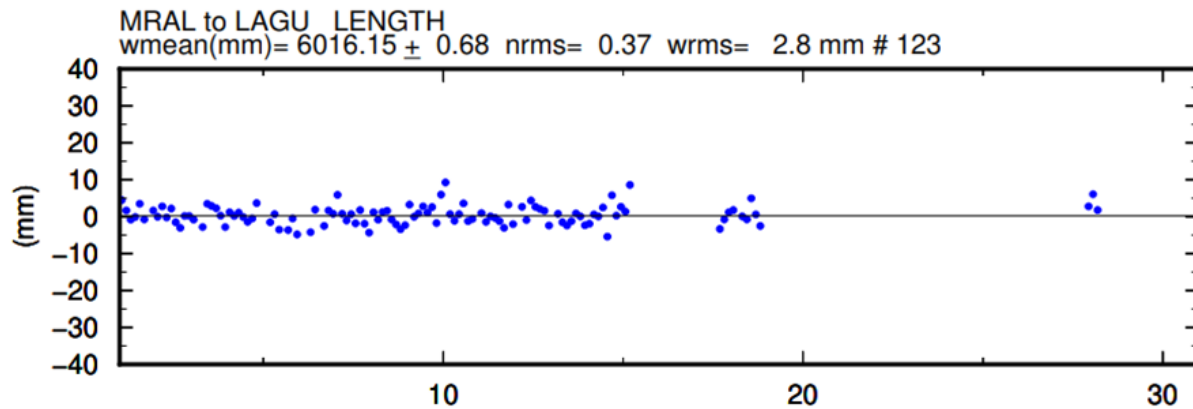


Figura 22. Resultados de la línea base del volcán Cerro Machín. MRAL-LAGU. Enero de 2022

### 2.1.2.3. Geoquímica

Los datos obtenidos de la estación telemétrica de temperatura ubicada en la fuente termal ESTATUAS presentaron un promedio de 87,18°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 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 enero de 2022 de los diferentes parámetros monitoreados en los volcanes que se encuentran en este nivel.

### **2.2.1. Geofísica**

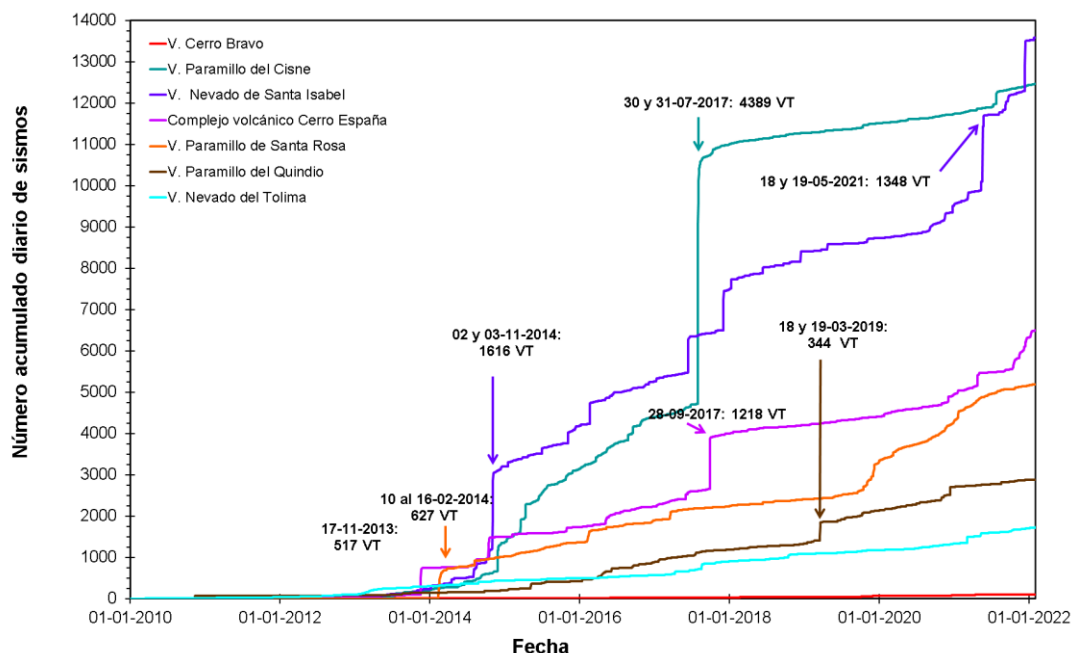
Durante enero, los volcanes en Nivel de Actividad Verde registraron principalmente sismicidad de tipo volcano-tectónica de baja energía (figura 23, figura 24 y figura 25).

En los volcanes Nevado del Tolima (VNT), Nevado de Santa Isabel (VNSI), Complejo Volcánico Cerro España (CVCE), Paramillo del Cisne (VPC) y Paramillo de Santa Rosa (VPSR), la sismicidad volcano-tectónica disminuyó en el número de eventos registrados y mantuvo niveles similares o más bajos en la energía sísmica liberada en relación con el mes anterior.

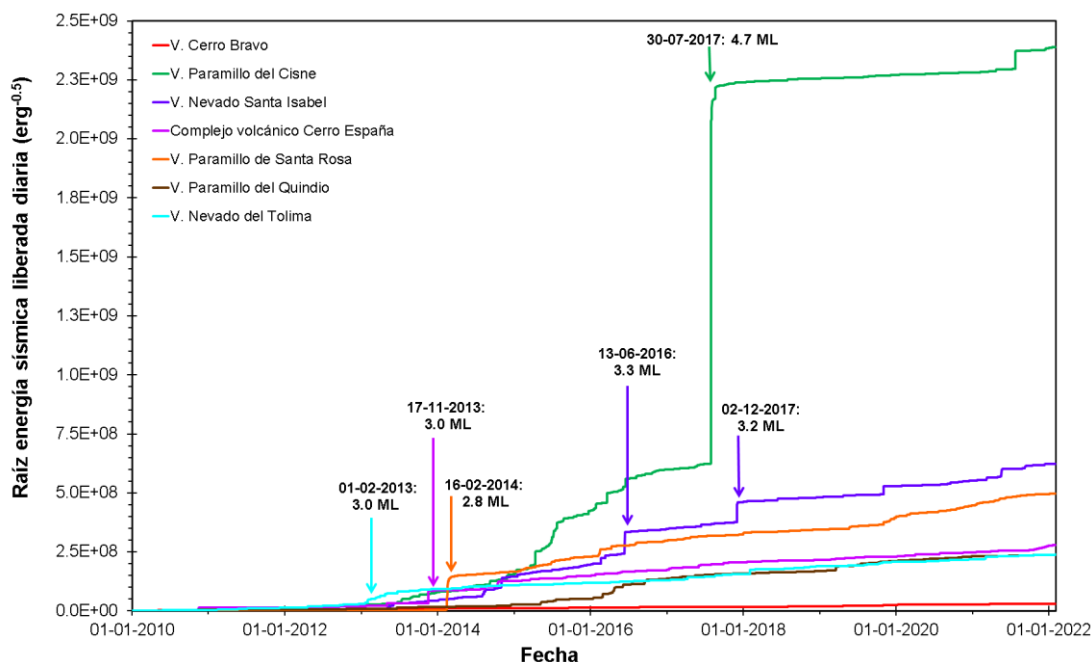
La máxima magnitud local (ML) registrada durante el mes en el VNT fue de 1,1 ML, en el VNSI de 1,0 ML, el CVCE de 0,4 ML, en el VPC de 1,5 ML, en el VPSR de 1,2 ML. La tasa de señales sísmicas generadas por la dinámica del glaciar en el VNT se mantuvo similar en relación con la registrada el mes anterior y en el VNSI aumentó en el número de este tipo de eventos.

Los volcanes Cerro Bravo (VCB) y Paramillo del Quindío (VPQ) se caracterizaron por registrar niveles bajos tanto en la sismicidad como energía sísmica liberada respecto a diciembre. Adicionalmente, en el VCB se registraron algunas señales asociadas con pequeñas avalanchas o desprendimientos de rocas en el edificio volcánico.

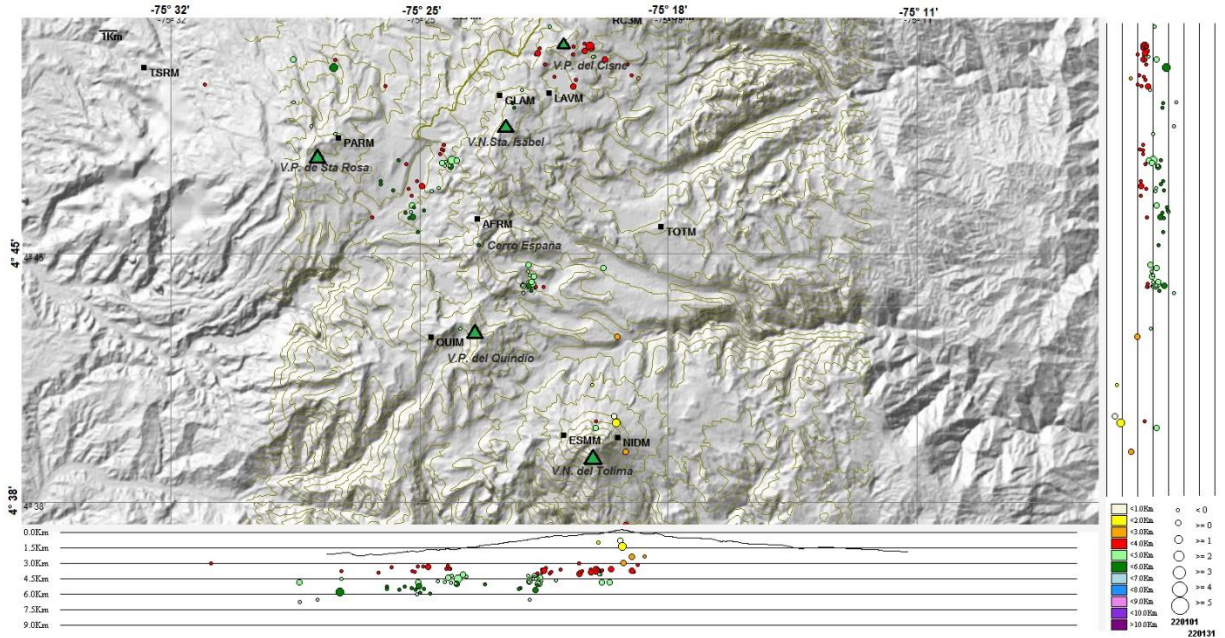
Los volcanes San Diego (VSD) y Romeral (VR) no presentaron actividad sísmica.



**Figura 23.** 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 de 2010 y el 31 de enero 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 24.** 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 31 de enero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

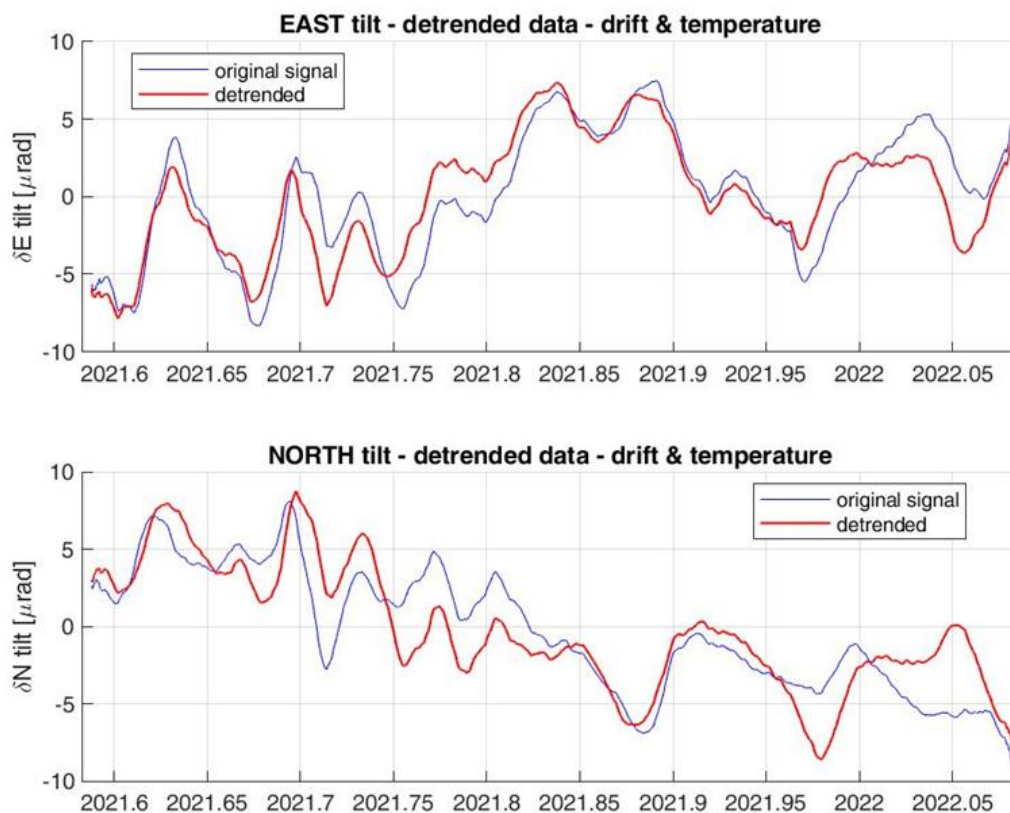


**Figura 25.** Mapa de localización de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE durante enero de 2022. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

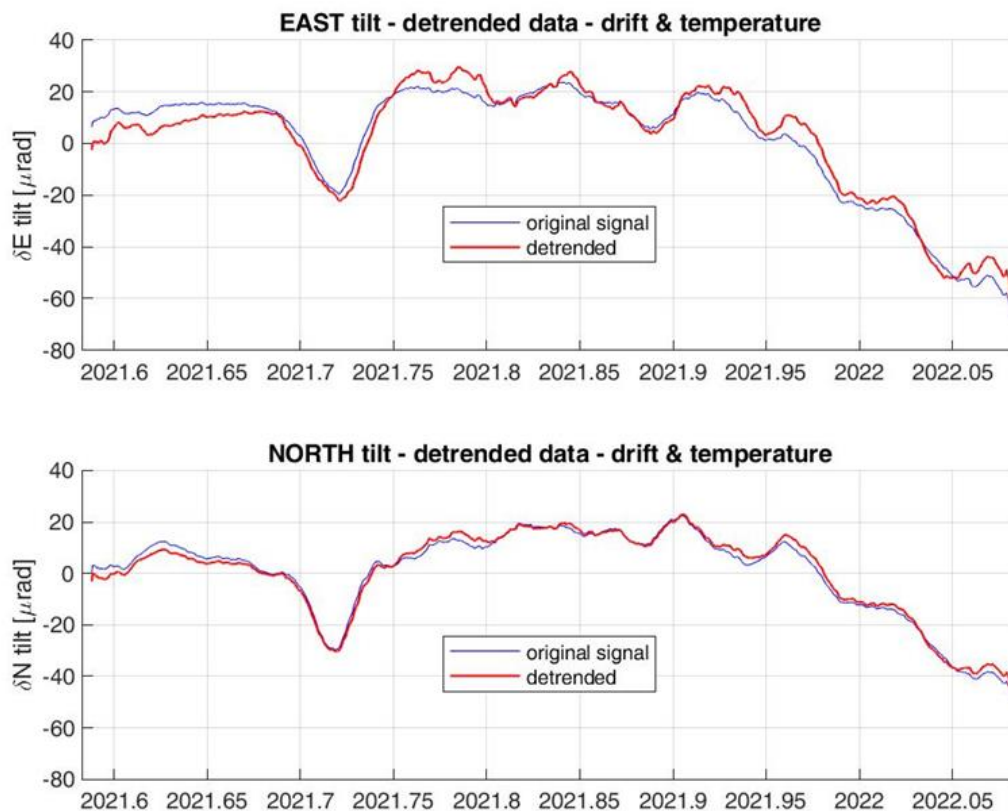
## 2.2.2. Geodesia (deformación)

### 2.2.2.1. Inclínometría electrónica

Durante enero estuvieron operativos los 4 inclinómetros de las redes de los volcanes CB, NS y NT. La tendencia de las componentes Este -  $\delta E$  y Norte -  $\delta N$  para los inclinómetros de CHAVA y ESME, presentó un comportamiento estable. En la figura 26 y figura 27 se presentan las series temporales de estos inclinómetros sin el efecto de temperatura y deriva.



**Figura 26.** Comportamiento del inclinómetro electrónico Chava para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al 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 27.** Comportamiento del inclinómetro electrónico Esmeralda para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al 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 28, figura 29 y figura 30 se presentan las series temporales de los GNSS OTUN, QUIM y ESME para los últimos seis meses, como estaciones representativas de la red GNSS de monitoreo.

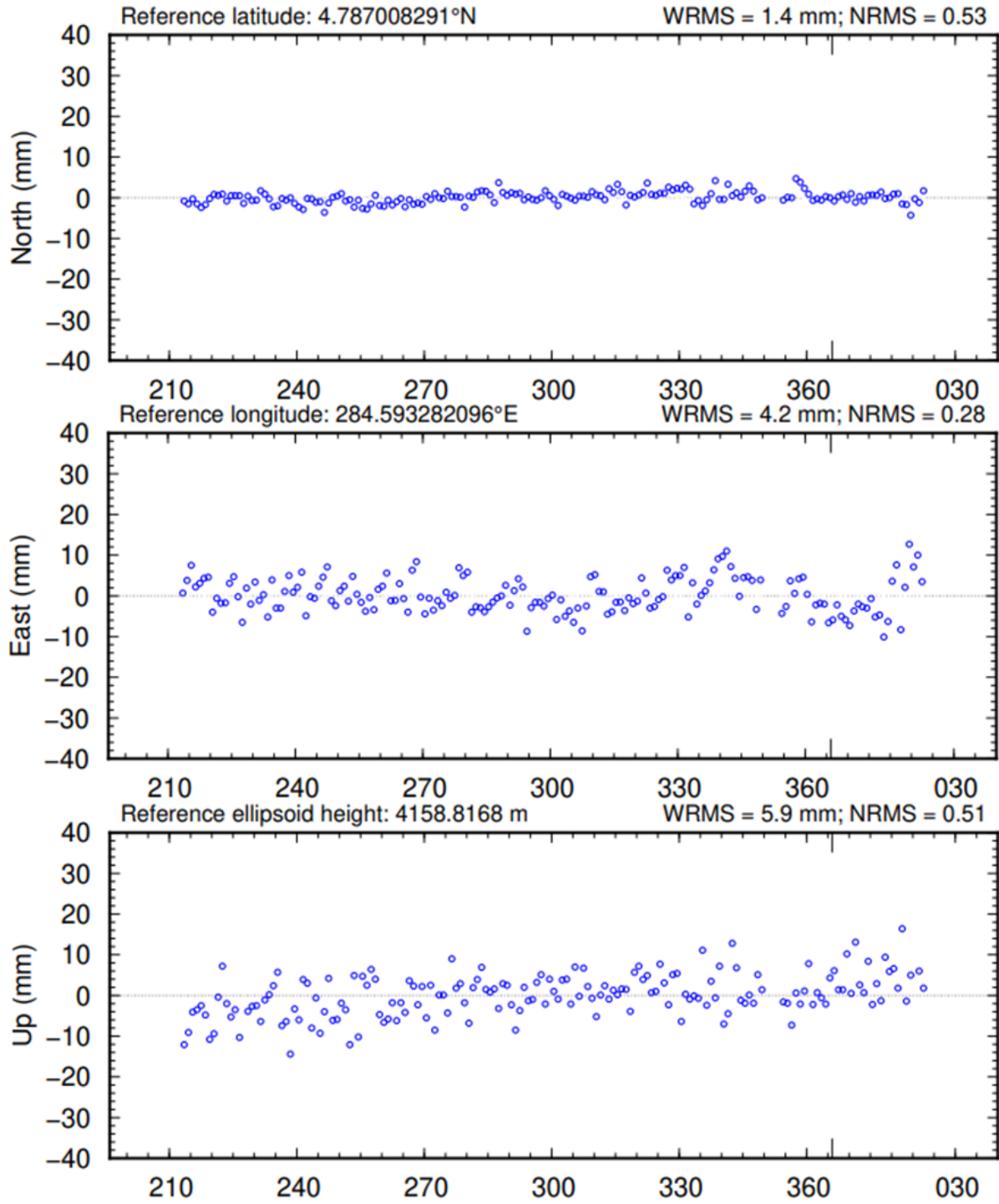


Figura 28. Serie temporal para la estación GNSS permanente OTUN, agosto de 2021 a enero de 2022



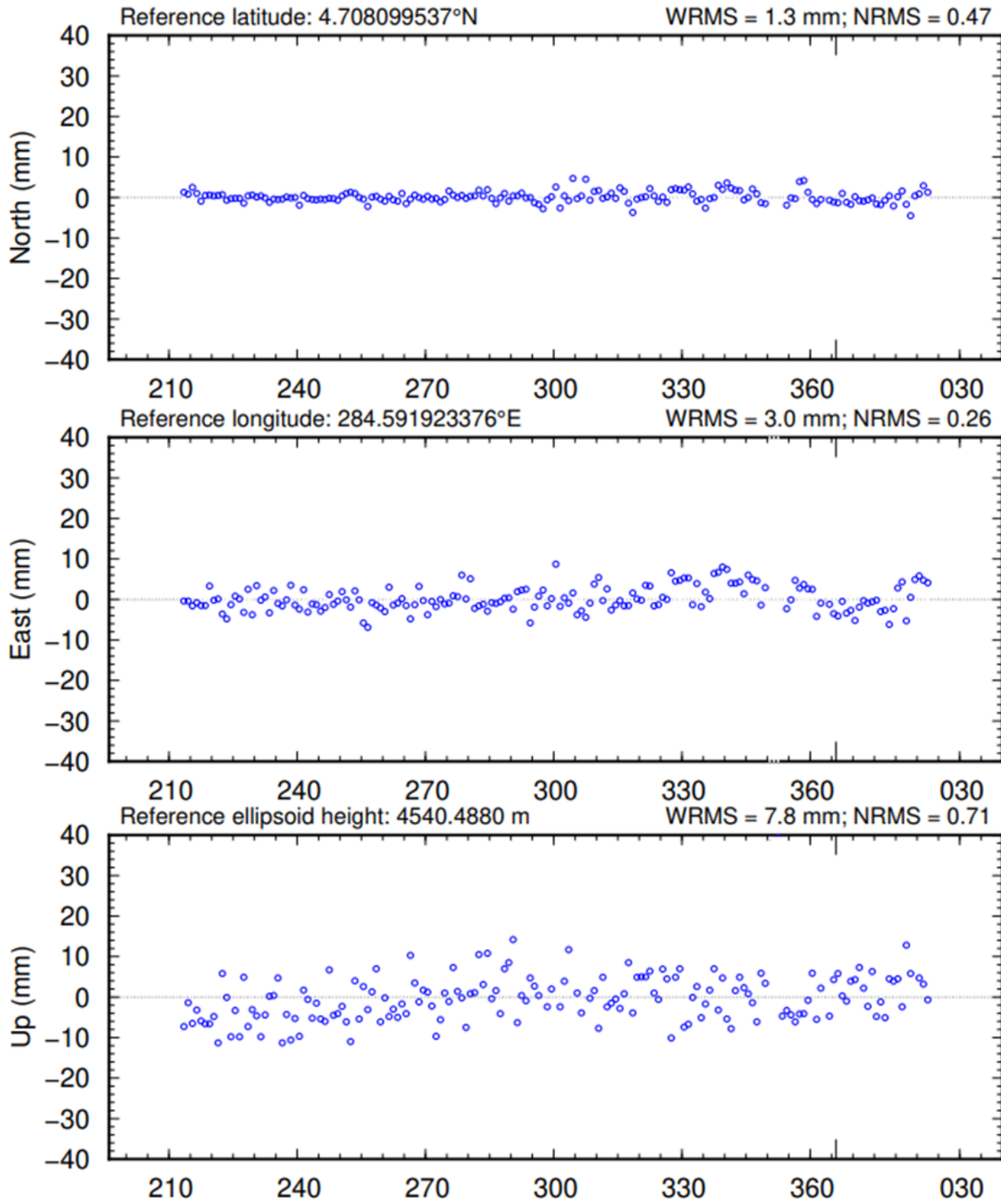


Figura 29. Serie temporal para la estación GNSS permanente QUIM, agosto de 2021 a enero de 2022

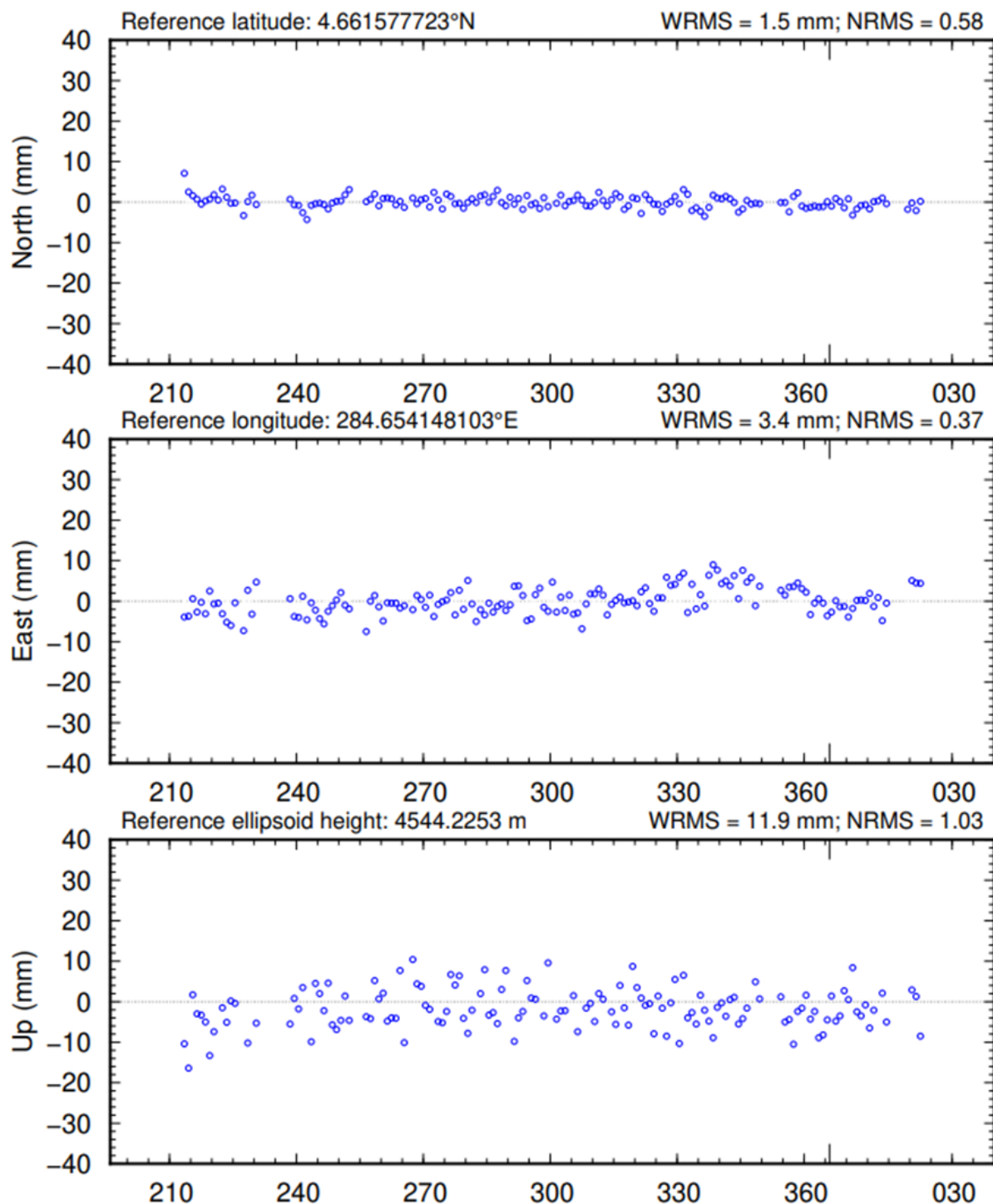


Figura 30. Serie temporal para la estación GNSS permanente ESME, agosto de 2021 a enero de 2022

### 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 31) (Se cuenta con más de 10 líneas base para monitorear la deformación de estos volcanes). En la figura 32 se muestra el resultado de los datos procesados para el

mes de enero. Los resultados observados en las líneas base muestran un comportamiento estable entre las estaciones evaluadas.



**Figura 31.** Localización de las líneas base GNSS definidas para los volcanes en nivel verde

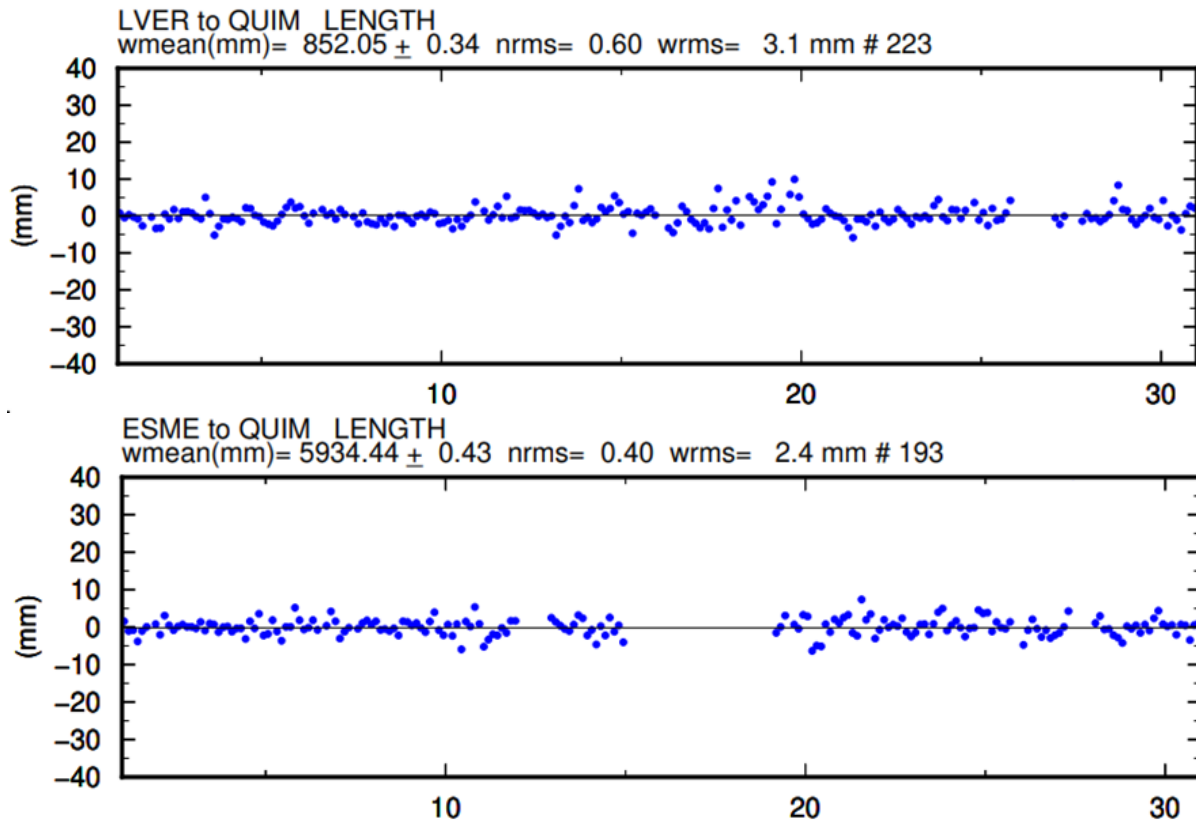
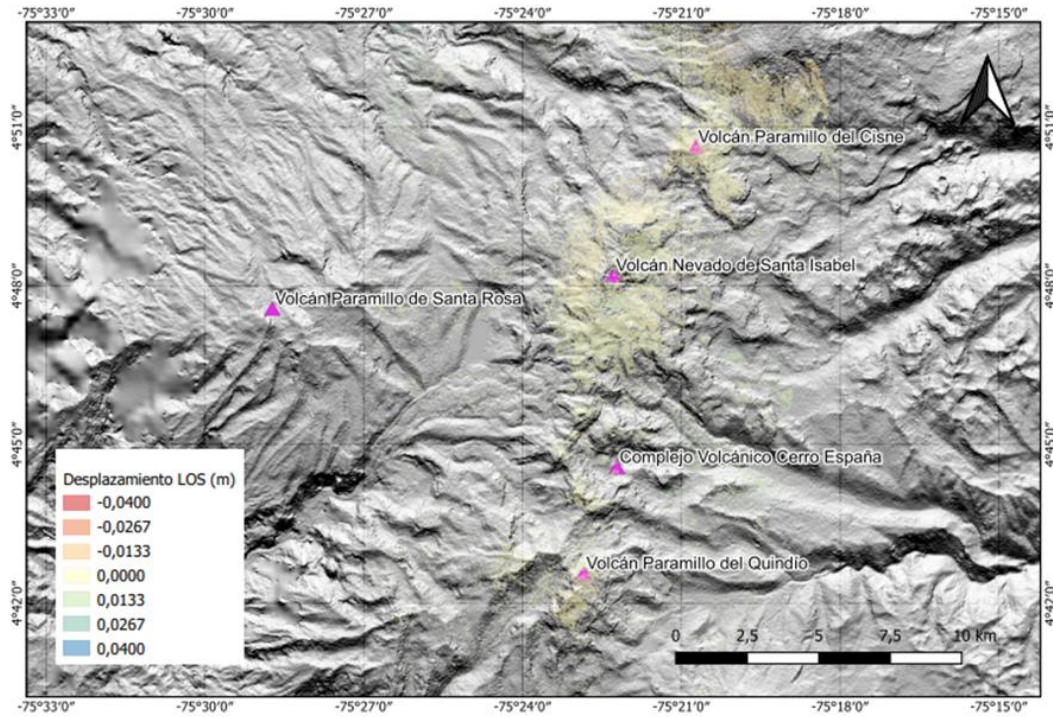


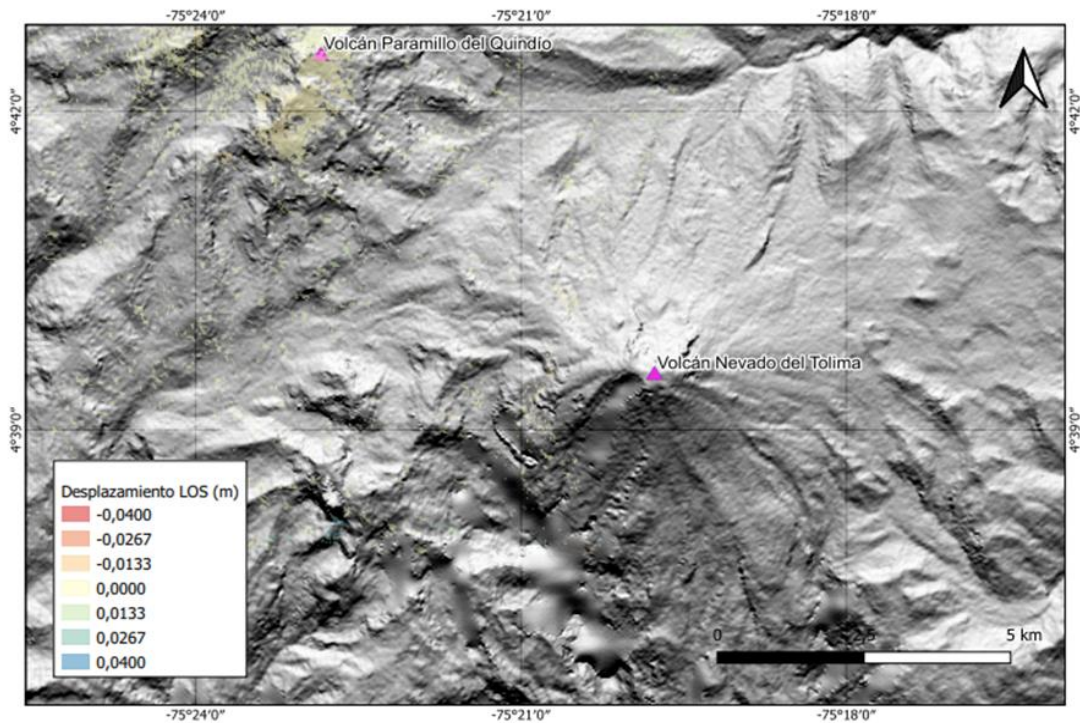
Figura 32. Resultados de las líneas base. LVER-QUIM y ESME-QUIM. Enero de 2021

#### 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 06-01-2021 y 30-01-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita ascendente. Los resultados se muestran en la figura 33 y figura 34, 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 33.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 06-01-2022 y 30-01-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado de Santa Isabel



**Figura 34.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 06-01-2022 y 30-01-2022 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 enero 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.
- Las variaciones en los datos sismológicos obtenidos en enero, indican que en el VNR continua 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 un aumento en el número de sismos respecto a diciembre, mantuvo niveles energéticos bajos o similares al mes anterior. Respecto al tremor volcánico continuo, este se registró de manera ininterrumpida y mostró variaciones en la frecuencia dominante y en la energía respecto a diciembre. La localización de la sismicidad continúa registrándose principalmente dentro de un radio de 5 km respecto al volcán, especialmente en el cráter Arenas, para la sismicidad asociada a movimiento de fluidos y, en los sectores noroccidente, suroccidente, sur, suroriente, oriente, nororiente y cráter Arenas para la actividad volcano tectónica. La sismicidad de tipo *drumbeat* registrada en el mes fue de baja energía y asociada a fracturamiento.
- 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 enero, este tipo de actividad sísmica mostró disminución 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 los sectores sur y 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 diciembre. Adicionalmente, en el VCB se registraron algunas señales asociadas con pequeñas avalanchas o desprendimientos de rocas en el edificio volcánico.
- 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 glaciar. En enero, las tasas diarias de este tipo sismicidad aumentaron en comparación con las registradas en diciembre.
- Durante enero, 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. 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 31 de enero de 2022. Las flechas destacan los días con mayor número de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica la tasa máxima de registro diario	11
Figura 4. 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 31 de enero 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 5. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante enero 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	12
Figura 6. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP y TR registrados en el VNR entre noviembre de 2014 y el 31 de enero de 2022	13
Figura 7. Comportamiento del inclinómetro electrónico Bis2 para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al 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	14
Figura 8. Comportamiento del inclinómetro electrónico Refugio para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al 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	15
Figura 9. Serie temporal para la estación GNSS permanente GUAL, agosto de 2021 a enero de 2022	16
Figura 10. Localización de líneas base GNSS en el Volcán Nevado del Ruiz	17
Figura 11. Resultados de las líneas base del volcán Nevado del Ruiz. BLLR-OLLE y RUBI-SINN. Enero de 2022	17
Figura 12. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 06-01-2022 y 30-01-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Ruiz	18
Figura 13. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO <sub>2</sub> volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de enero de 2022. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO <sub>2</sub>	19
Figura 14. Fotografías de la columna de gases y ceniza en el cráter Arenas capturadas durante el mes por las cámaras instaladas en los sectores Paramillo del Cisne, Cañón del Azufrado y Olleta	20
Figura 15. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDoas	21
Figura 16. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de enero 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	22
Figura 17. 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 31 de enero 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	22
Figura 18. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante enero 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	23
Figura 19. Comportamiento del inclinómetro electrónico Aguas Calientes para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al componente Norte. En color rojo se presentan los datos los datos filtrados por temperatura y deriva del instrumento. La componente Este ha presentado problemas electrónicos	24
Figura 20. Serie temporal para la estación GNSS permanente LAGU, agosto de 2021 a enero de 2022	25



Figura 21. Localización de línea base GNSS en el volcán Cerro Machín	26
Figura 22. Resultados de la línea base del volcán Cerro Machín. MRAL-LAGU. Enero de 2022	26
Figura 23. 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 31 de enero de 2022. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado	28
Figura 24. 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 31 de enero de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	28
Figura 25. Mapa de localización de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE durante enero de 2022. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos	29
Figura 26. Comportamiento del inclinómetro electrónico Chava para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al 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	30
Figura 27. Comportamiento del inclinómetro electrónico Esmeralda para el periodo 1 de agosto de 2021 a 31 de enero de 2022. La gráfica superior corresponde al componente Este, la inferior al 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 28. Serie temporal para la estación GNSS permanente OTUN, agosto de 2021 a enero de 2022	32
Figura 29. Serie temporal para la estación GNSS permanente QUIM, agosto de 2021 a enero de 2022	33
Figura 30. Serie temporal para la estación GNSS permanente ESME, agosto de 2021 a enero de 2022	34
Figura 31. Localización de las líneas base GNSS definidas para los volcanes en nivel verde	35
Figura 32. Resultados de las líneas base. LVER-QUIM y ESME-QUIM. Enero de 2021	36
Figura 33. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 06-01-2022 y 30-01-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado de Santa Isabel	37
Figura 34. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 06-01-2022 y 30-01-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Tolima	37