



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

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

**Manizales, mayo de 2022**



**El futuro  
es de todos**

**Minenergía**



## **Servicio Geológico Colombiano**

Oscar Paredes Zapata  
**Director general**

Marta Lucía Calvache Velasco  
**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**

Álvaro Esteban Acevedo  
Juan José Idárraga  
Julián Ramírez  
Milton Ordoñez  
Beatriz Elena Galvis  
Claudia Patricia Álvarez  
Lina Constanza García  
Lina Marcela Castaño  
Luis Miguel Cardona  
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	12
2.1. Volcanes en nivel de actividad amarillo	12
2.1.1. Volcán Nevado del Ruiz (VNR)	12
2.1.2. Volcán Cerro Machín (VCM)	25
2.2. Volcanes en nivel de actividad verde	30
2.2.1. Geofísica	30
2.2.2. Geodesia (deformación)	34
2.2.3. Diagnóstico de la actividad volcánica	42
Conclusiones	43

## Resumen

La actividad volcánica durante marzo de 2022 predominó en el volcán Nevado del Ruiz (VNR). A partir del monitoreo multiparamétrico de la actividad se observó que continua con un comportamiento inestable, permanece la desgasificación importante de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y la sismicidad asociada a fluidos y fractura de roca.

El VNR permanece con una sismicidad frecuente asociada a fractura y a fluidos dentro de los conductos volcánicos. Se destaca la presencia de tremor continuo con energía importante, incrementos de sismicidad de fractura y episodios de sismicidad tipo *drumbeat*.

Respecto al proceso de desgasificación del VNR continúa presentando la emisión a la atmósfera de cantidades significativas de dióxido de azufre y vapor de agua principalmente.

El volcán Cerro Machín (VCM) continuó mostrando cambios que evidencian un comportamiento inestable. Los demás volcanes activos del Segmento Volcánico Norte de Colombia (SVNC) presentaron un comportamiento estable.

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

## **Abstract**

Volcanic activity during March 2022 focused on the Nevado del Ruiz volcano (VNR). From the multiparametric monitoring of the activity, it was observed that it continues with an unstable behavior, significant degassing of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and seismicity associated with fluids and rock fracture remain. The VNR continues with frequent seismicity associated with fracture and fluids within the volcanic conduits. The presence of continuous tremor with important energy, increases in fracture seismicity and episodes of drumbeat-type seismicity stand out.

Regarding the degassing process of the VNR, it continues presenting the emission to the atmosphere of significant amounts of sulfur dioxide and water vapor mainly.

The Cerro Machín volcano (VCM) continued to show changes that evidence an unstable behavior. The other active volcanoes of the North Volcanic Segment of Colombia (SVNC) presented a 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 marzo 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.

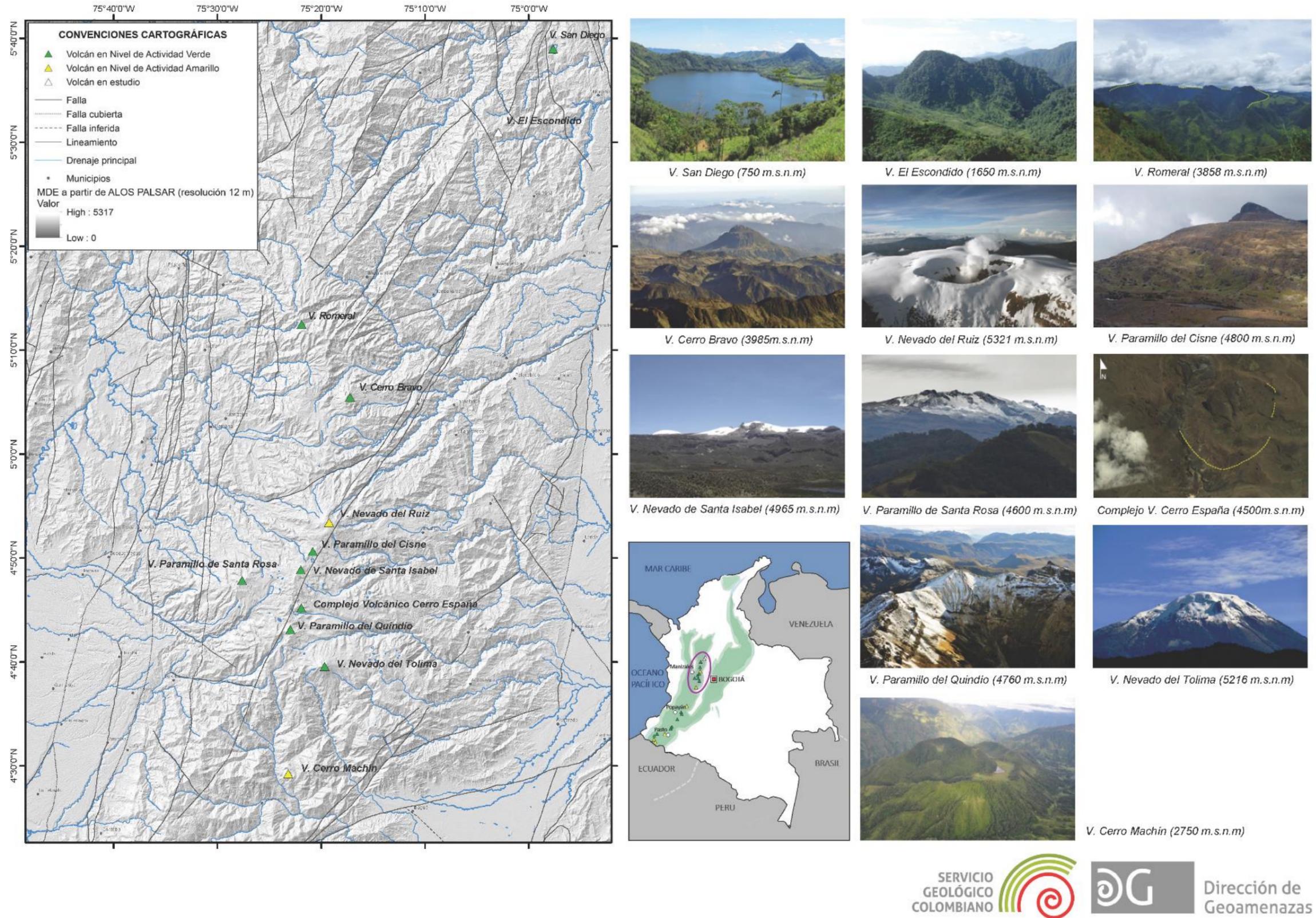


Figura 1. Localización y fotografías de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia. La imagen a la izquierda corresponde a un mapa de sombras realizado a partir de un MDE (o DEM) de 12 m de resolución

## **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 marzo de 2022 fue del 85,95 %.

Se realizaron 11 visitas de mantenimiento preventivo y correctivo en la red de monitoreo del OVSM. Se destacan los trabajos realizados en el repetidor de comunicaciones “Cielo Roto” (figura 3) del volcán Cerro Machín, donde se recuperó el sistema eléctrico de paneles solares y de baterías. En el volcán Nevado del Ruiz, se destacan los trabajos adelantados en las estaciones del flanco noroccidental del volcán: Bruma (figura 4), Olleta, Refugio, y Molinos 1, donde la ceniza acumulada en los paneles solares estaba ocasionando intermitencias en el suministro eléctrico.

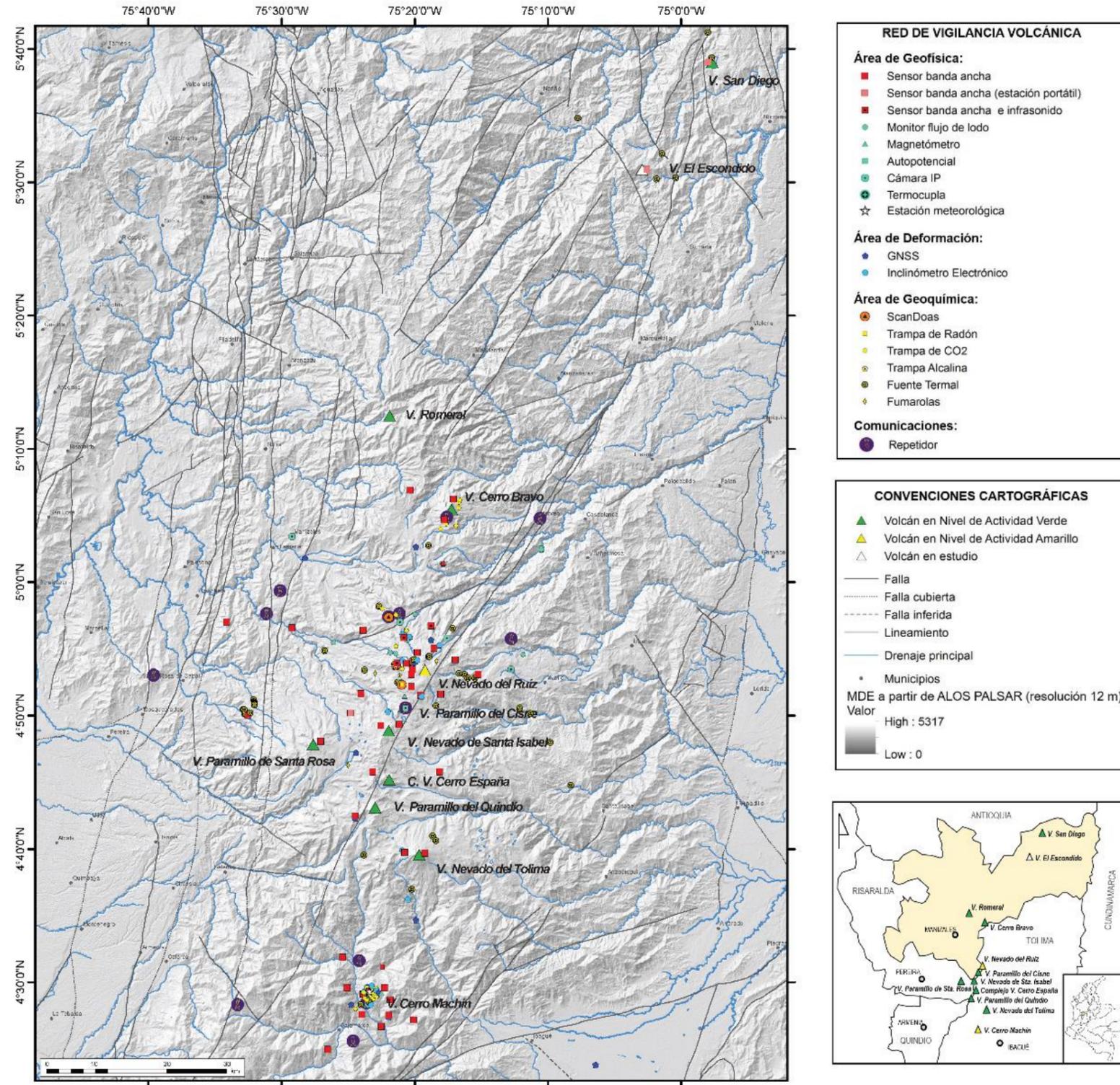


Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia



**Figura 3.** Nuevos paneles solares en el repetidor de comunicaciones “Cielo Roto”



**Figura 4.** Ceniza acumulada en la estación multiparamétrica “Bruma” en el volcán Nevado del Ruiz

## 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 deben considerar las 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 marzo de 2022:

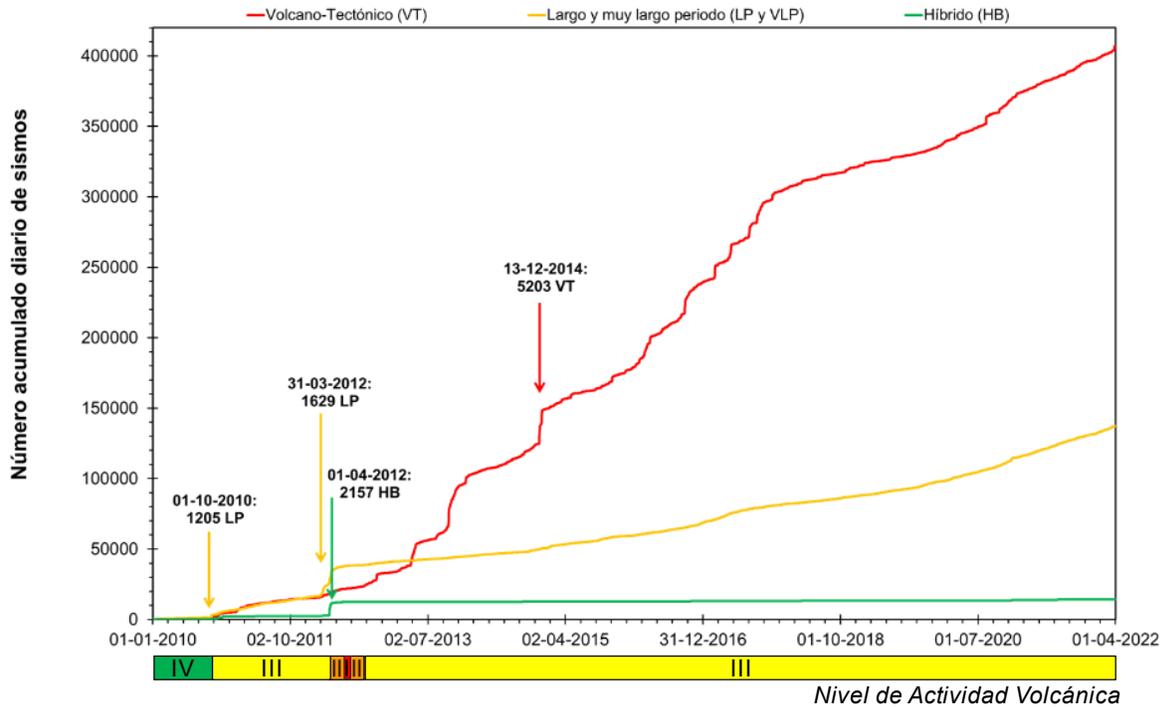
##### 2.1.1.1. Geofísica

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

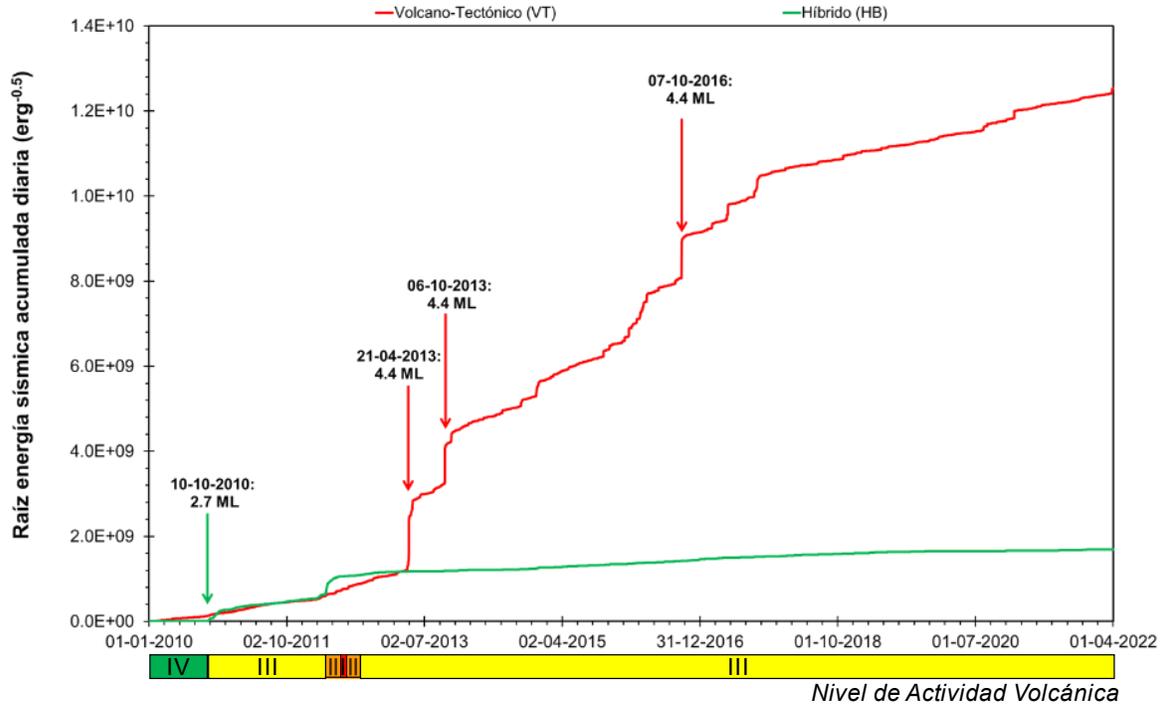
La actividad sísmica asociada a fracturamiento de rocas aumentó en el número de sismos registrados (figura 5) y en la energía sísmica liberada con respecto a febrero (figura 6). Los sismos se localizaron principalmente en los sectores nor-noroccidental, sur-suroccidental y cráter Arenas; en menor proporción en los sectores oriental-nororiental, suroriental, noroccidental y suroccidental del volcán. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 0,4 y 7,8 km (figura 7).

Entre el 27 y 28 de marzo se presentó un incremento de esta sismicidad en el sector nor-noroccidental, aproximadamente 2500 sismos clasificados y siete con magnitud mayor a 1,5 ML. (tabla 1). La mayor magnitud registrada durante el mes y también del incremento fue de 3,4 ML (magnitud Local),

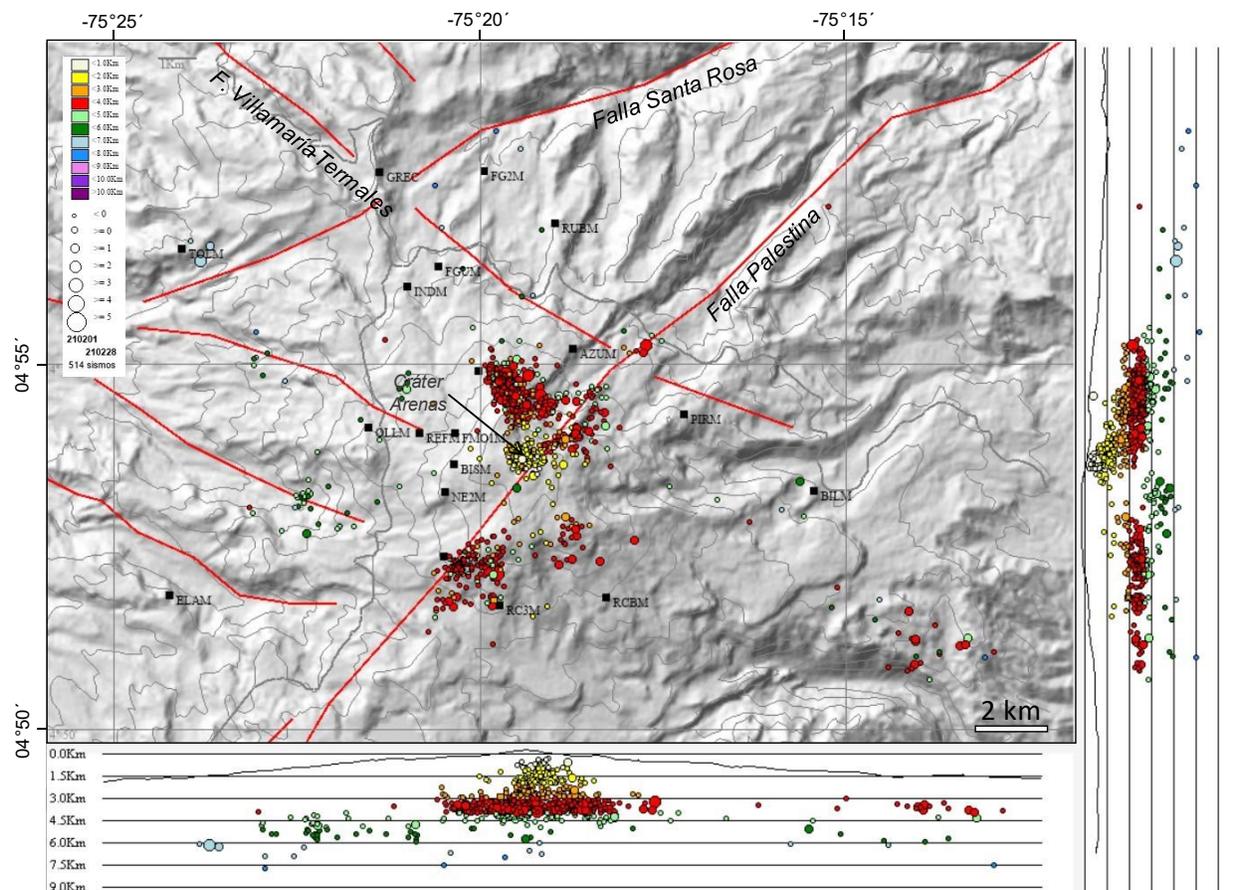
correspondiente a un sismo ocurrido el 27 de marzo a las 17:24 (hora local), localizado 1,9 km al noro occidente del cráter Arenas, a 3,8 km de profundidad.



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

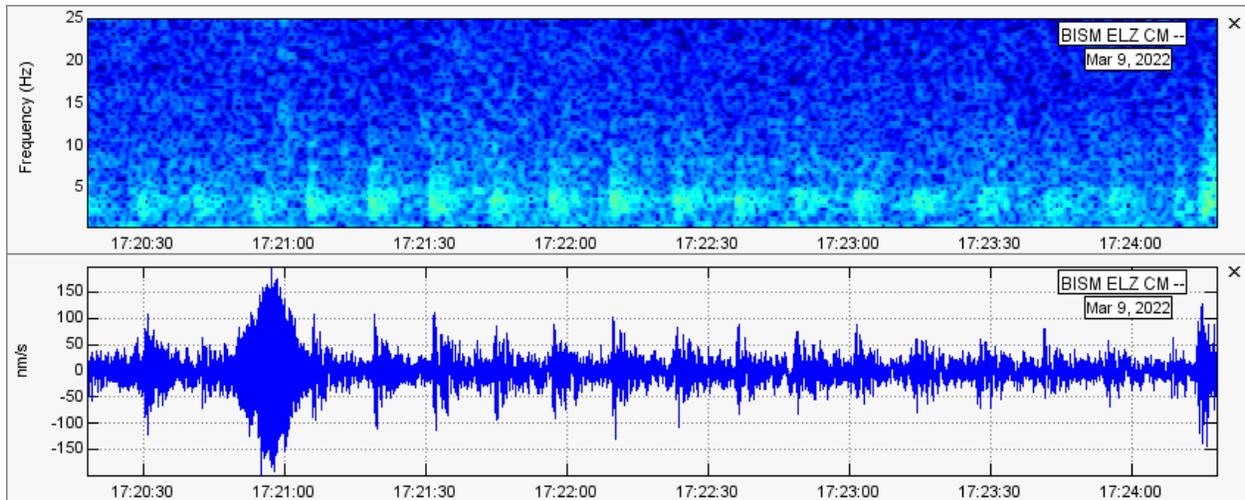


**Figura 7.** Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante marzo de 2022. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores de los círculos representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud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

**Tabla 1.** Sismos con magnitud mayor a 1,5 ML (magnitud local) del incremento de sismicidad entre el 27 y 28 de marzo en el sector nor-noroccidental del VNR

Fecha	Magnitud Local (ML)	Profundidad (km)
27/03 17:24	3,4	3,8
27/03 17:30	2,5	3,7
27/03 17:32	2,0	3,8
27/03 21:01	1,5	3,9
28/03 00:05	1,5	3,8
28/03 00:06	1,7	3,7
28/03 00:12	1,7	3,7

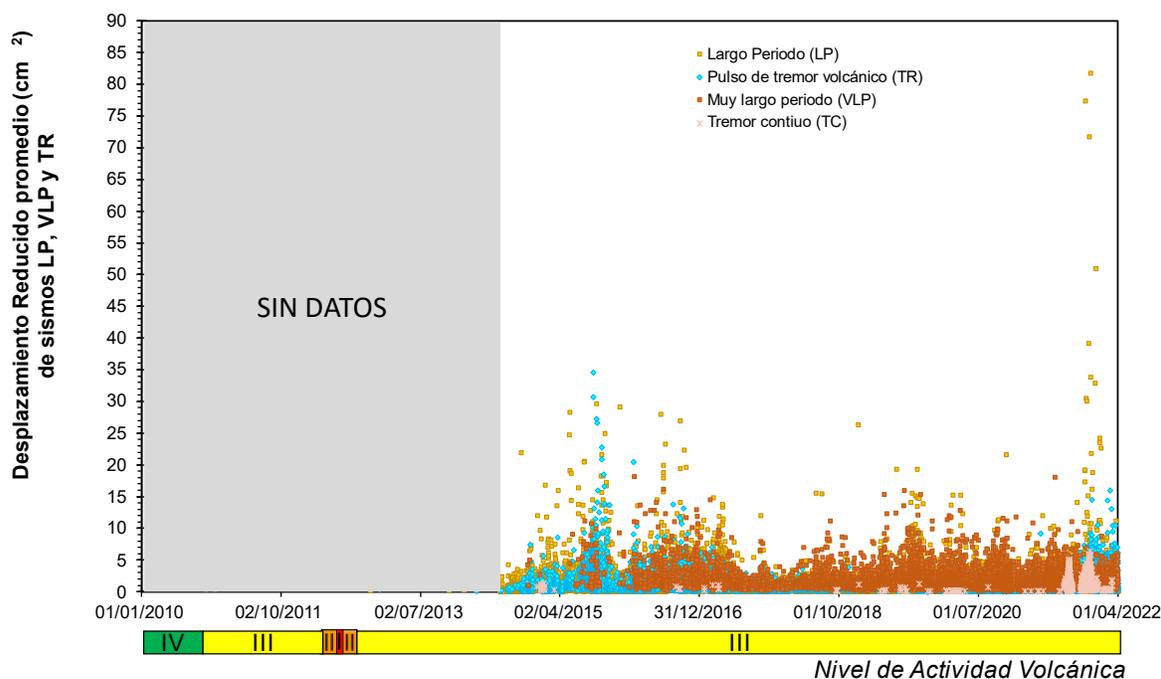
Se registraron episodios de sismicidad *drumbeat* los días 01, 08, 09, 11, 12, 13, 16, 17 y 22 de marzo, (figura 8) asociados a sismos de largo periodo y a fracturamiento de roca. Todos los episodios estuvieron compuestos por sismos de muy baja energía. Este tipo de actividad sísmica ha sido relacionada con el ascenso, emplazamiento-crecimiento y evolución de domos de lava, como el observado en el fondo del cráter Arenas del VNR desde finales de octubre de 2015.



**Figura 8.** Episodio de sismicidad tipo *drumbeat* del 09 de marzo a las 12:21 (hora local) en espectrograma y sismograma de la estación sismológica Bis, componente vertical

La sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos en el interior de los conductos volcánicos aumentó levemente en el número de eventos registrados (figura 5) y disminuyó levemente en la energía sísmica liberada con relación a febrero (figura 9). Esta actividad sísmica estuvo caracterizada por sismos de largo periodo (LP) y de muy largo periodo (VLP), pulsos de tremor (TR), tremor continuo (TC), en ocasiones como tremor armónico y 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, por personal del SGC en campo, personal del PNNN Los Nevados, habitantes y visitantes a la zona cercana al volcán.

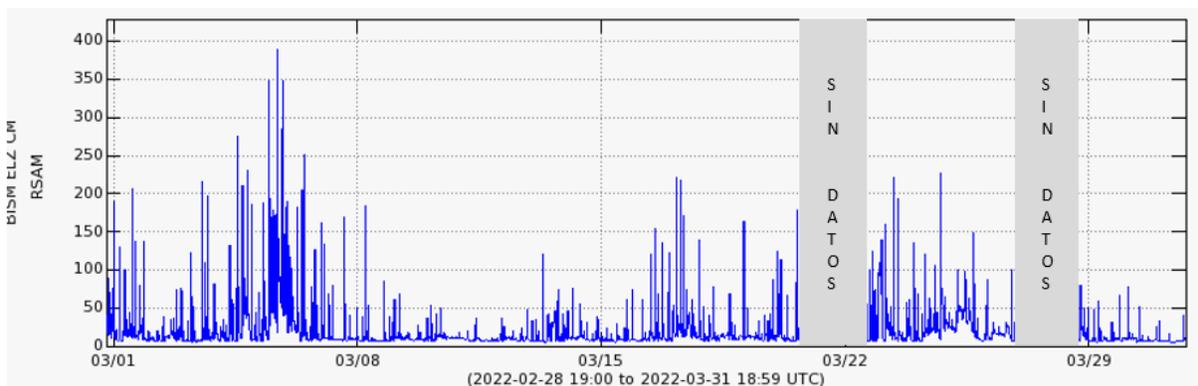
El valor máximo de Desplazamiento reducido ( $D_r$ ) promedio calculado durante el mes fue de 13,0  $\text{cm}^2$ , correspondiente al sismo tipo TR registrado el 01 de marzo las 15:04 (hora local), el cual aumentó en comparación al registrado en febrero.



**Figura 9.** Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP, TR y TC registrados en el VNR entre julio de 2014 y el 31 de marzo de 2022

Durante marzo, siguió el registro de tremor volcánico continuo (TC) en el VNR. Los niveles energéticos del TC fueron variables y menores a los registrados en febrero.

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 TC. En la figura 10 se observa el RSAM para la estación BIS componente vertical y muestra las variaciones en la amplitud del TC para marzo.



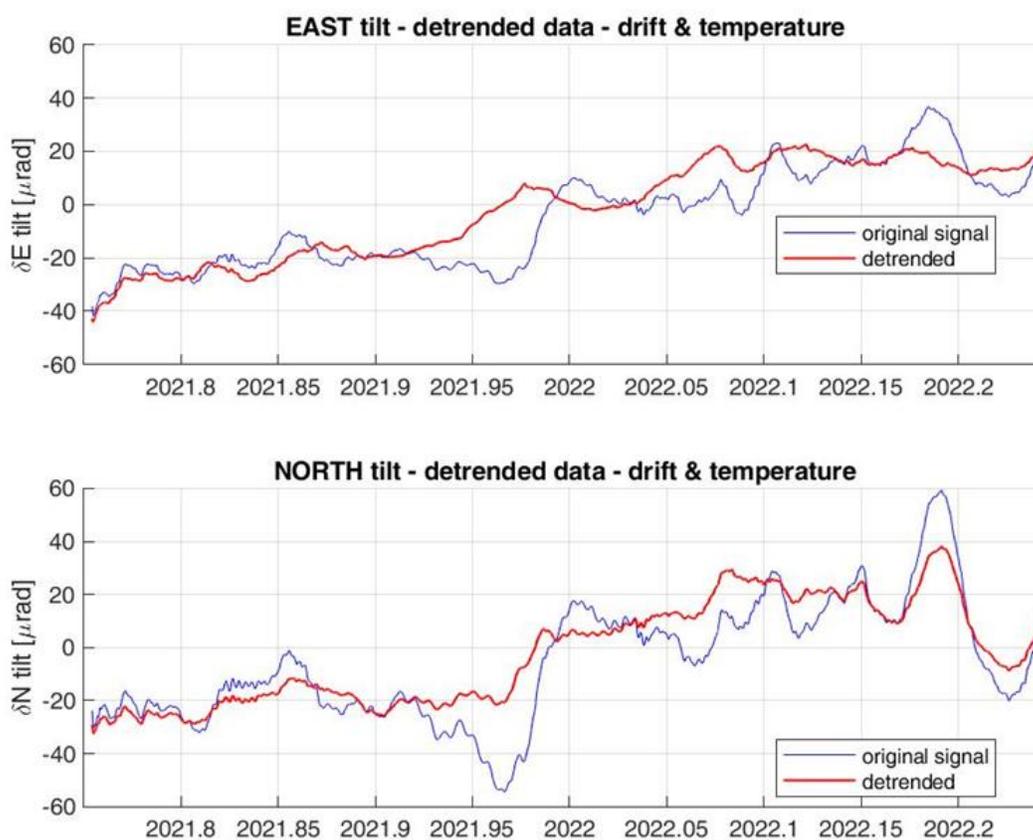
**Figura 10.** Gráfica RSAM de estación sísmológica BIS, componente vertical entre el 01 y 31 de marzo de 2022

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 fractura del casquete glaciario, caídas de roca, pequeñas avalanchas generadas por deshielo o fuertes precipitaciones.

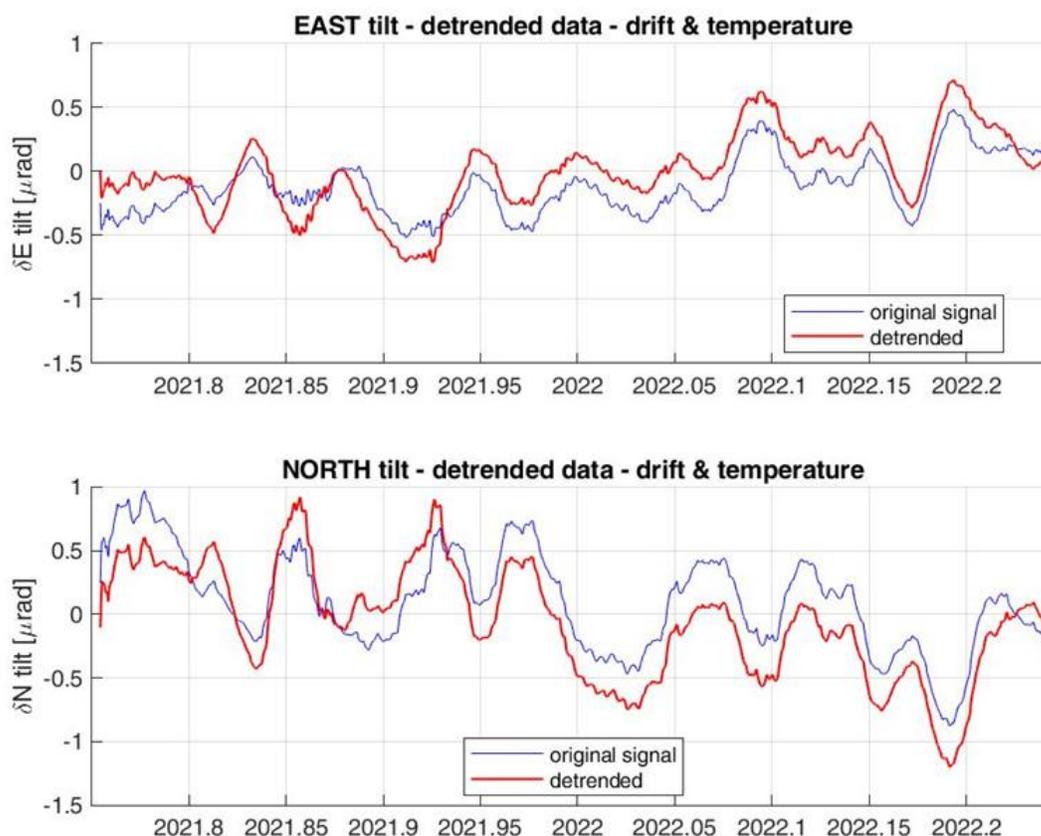
## 2.1.1.2. Geodesia (deformación)

### 2.1.1.2.1. Inclímetro electrónica

Durante marzo 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 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 entre el 01 de octubre de 2021 a 31 de marzo 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 12.** Comportamiento del inclinómetro electrónico Refugio para el periodo entre el 01 de octubre de 2021 a 31 de marzo 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 13 se presenta la serie temporal del GNSS GUAL para el último año, como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.

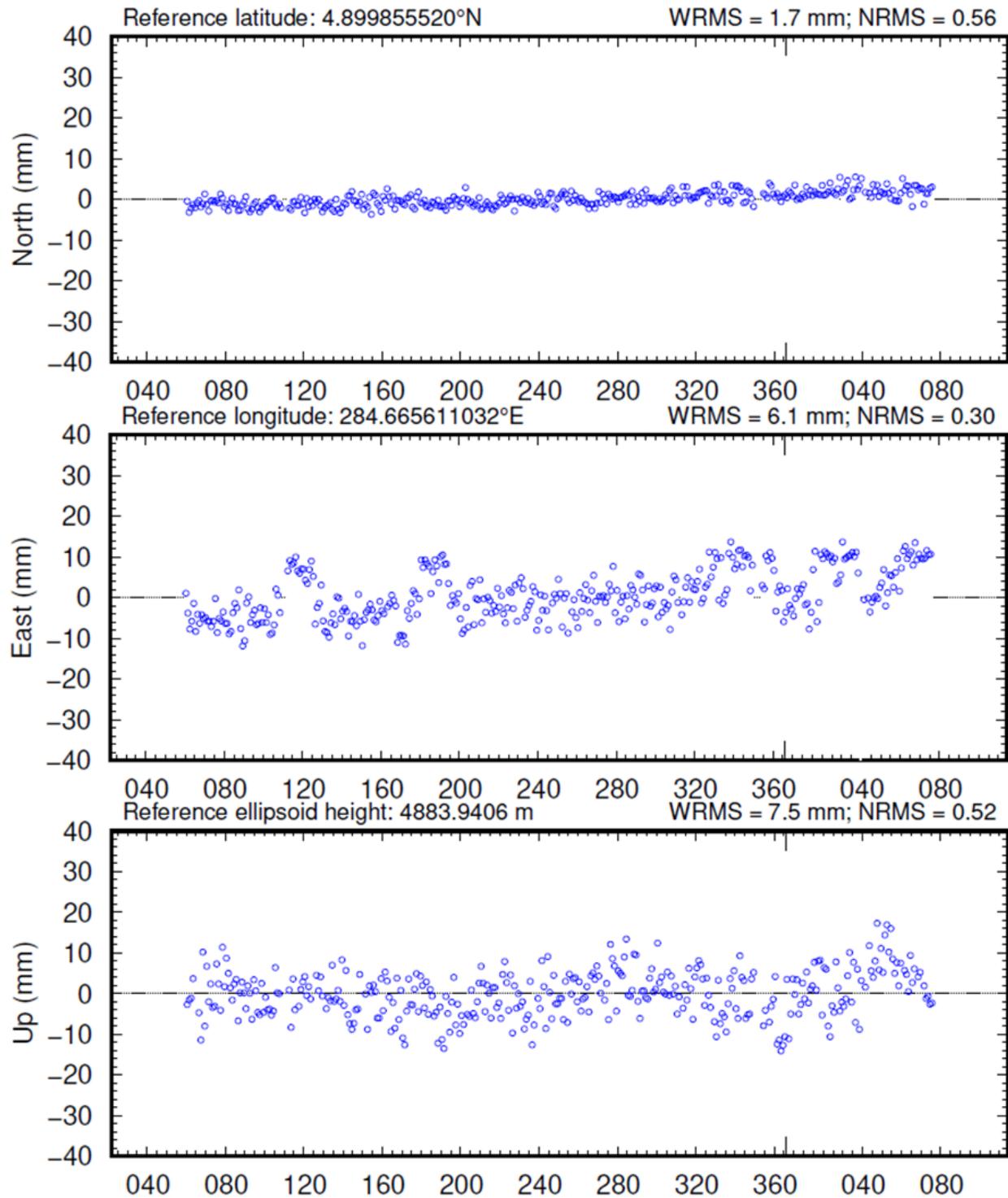


Figura 13. Serie temporal para la estación GNSS permanente GUAL, marzo de 2021 a marzo de 2022

### 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

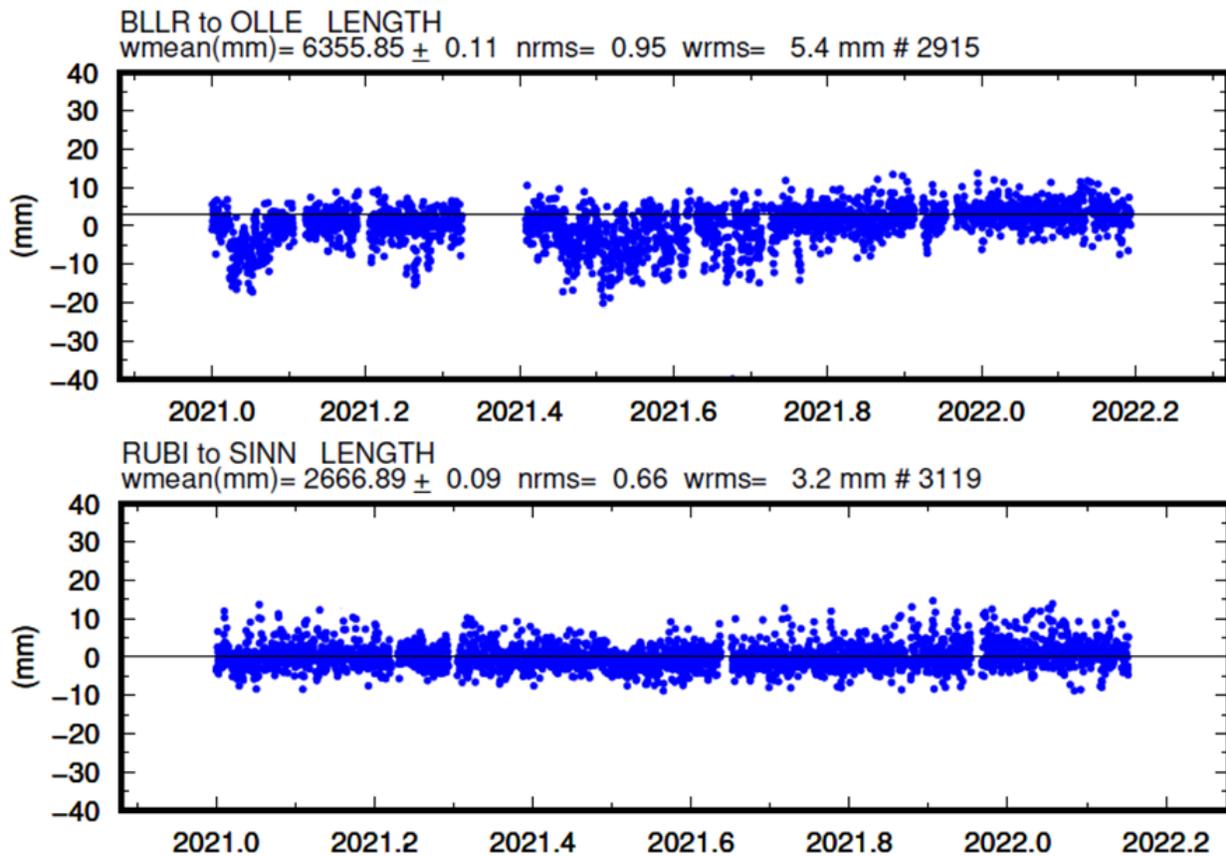
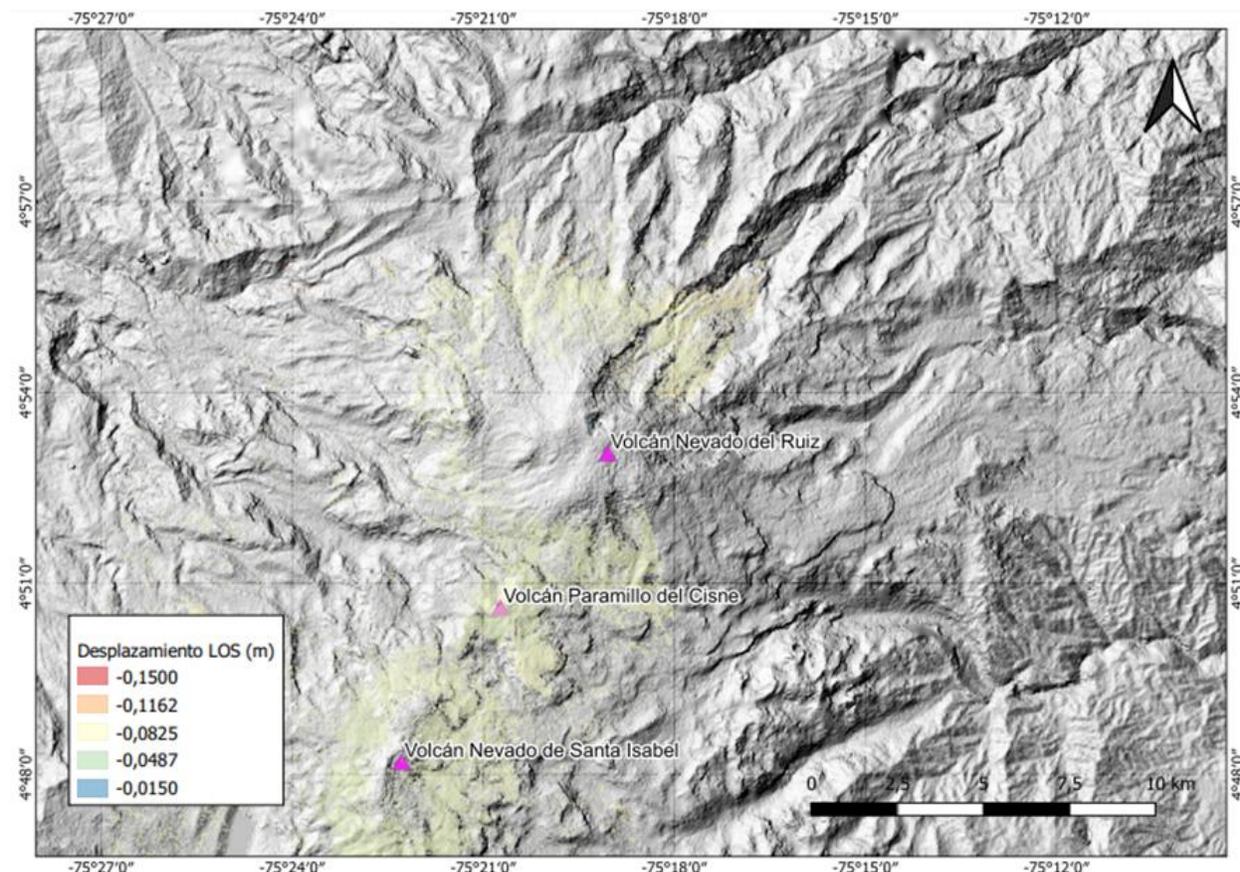


Figura 15. Resultados de las líneas base del volcán Nevado del Ruiz. BLLR-OLLE y RUBI-SINN. Octubre 2021 a marzo de 2022

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

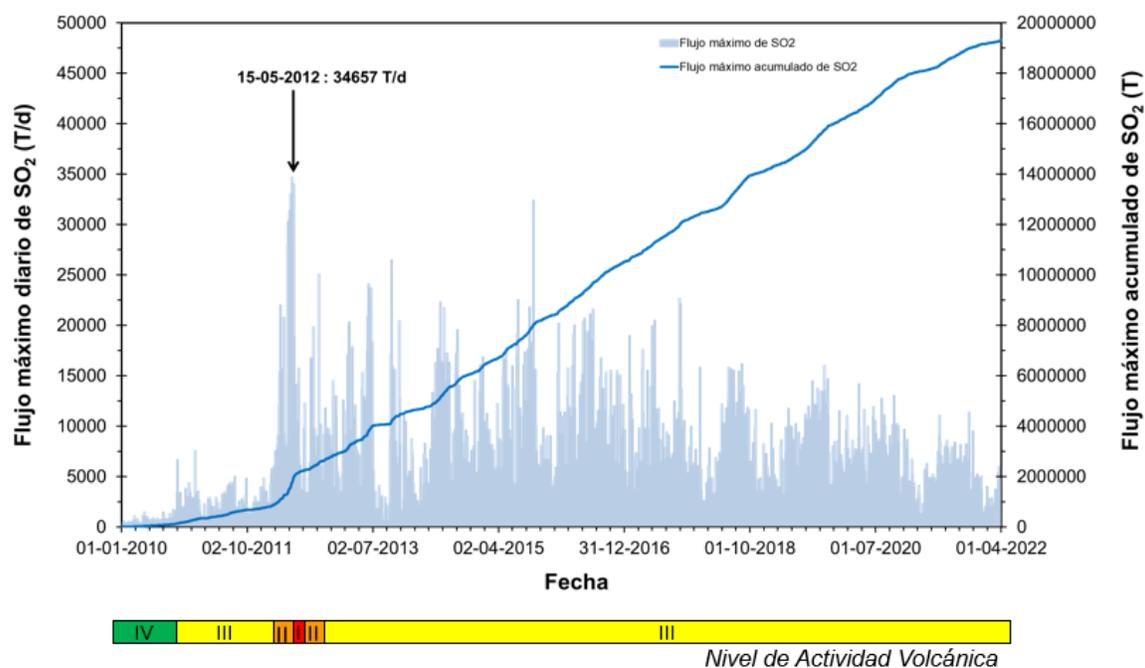
Para el área del volcán Nevado del Ruiz se procesó el par interferométrico del 23-02-2022 y 31-03-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Los resultados se muestran en la figura 16, en la cual se detalla que para el periodo evaluado no se han registrado procesos deformativos. Las variaciones observadas corresponden a efectos de estratificación atmosférica.



**Figura 16.** Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 23-02-2022 y 31-03-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Ruiz

#### 2.1.1.3. Geoquímica

En marzo se realizaron las estimaciones de flujos de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) por medio de las siguientes cinco estaciones telemétricas ScanDOAS: ALFOMBRALES, EL CAMIÓN, OLLETA, BRUMA y AZUFRADO. Para los cálculos del flujo de  $\text{SO}_2$  realizados se tomaron en consideración las características de velocidad y dirección del viento proporcionadas por la estación meteorológica OLLETA, el anemómetro de la estación GUALI y los datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) a través del modelo WRF (*Weather Research and Forecast*). Durante el mes la velocidad del viento utilizada para estimar la desgasificación presentó valores que fluctuaron entre 1,5 y 7,4 m/s, y la dirección del viento predominó principalmente al noroccidente y algunos días al nororiente. En cuanto a la desgasificación del  $\text{SO}_2$ , se estimó un valor máximo de 5976 T/d, y una media mensual de los promedios diarios de 1092 T/d (figura 17), valores que presentan un leve aumento con respecto a lo reportado el mes anterior.



**Figura 17.** 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 marzo de 2022. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO<sub>2</sub>

Respecto a las estaciones de monitoreo de gas radón AZUFRADO y ALFOMBRALES registraron datos promedios de 9970 Y 1498 Bq/m<sup>3</sup> respectivamente, valores que se encuentran dentro de las variaciones normales de sus líneas base.

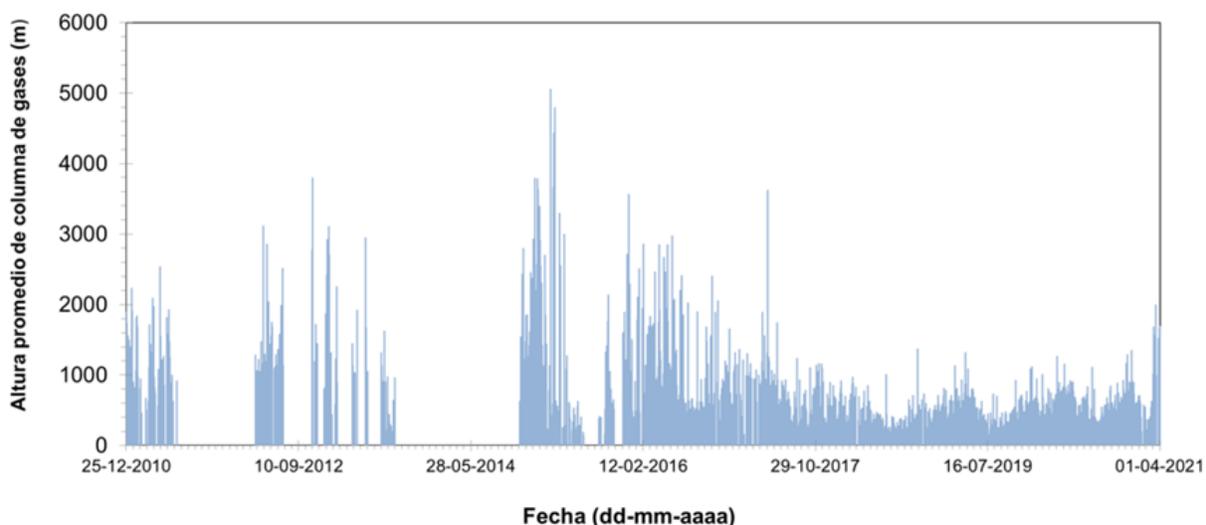
### 2.1.1.3.1. Actividad superficial y anomalías térmicas

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 2230 m (medidos desde la cima del cráter) el 13 de marzo. La dirección de dispersión de esta tuvo tendencia hacia el suroccidente, occidente y noroccidente, permitiendo caída de ceniza en varios de los sectores mencionados 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 y al final de la tarde) (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 del Rio Azufrado (fotos del 13 y 20 de marzo), Gualí (foto del 15 de marzo), Olleta (foto del 01 de marzo) y Pitayó (fotos del 19 y 24 de marzo)

A partir de las mediciones realizadas mediante la triangulación de las estaciones ScanDoas, se calculó una altura promedio mensual de la columna de gases de 647 m (figura 19).



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

#### 2.1.1.4. 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, 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).

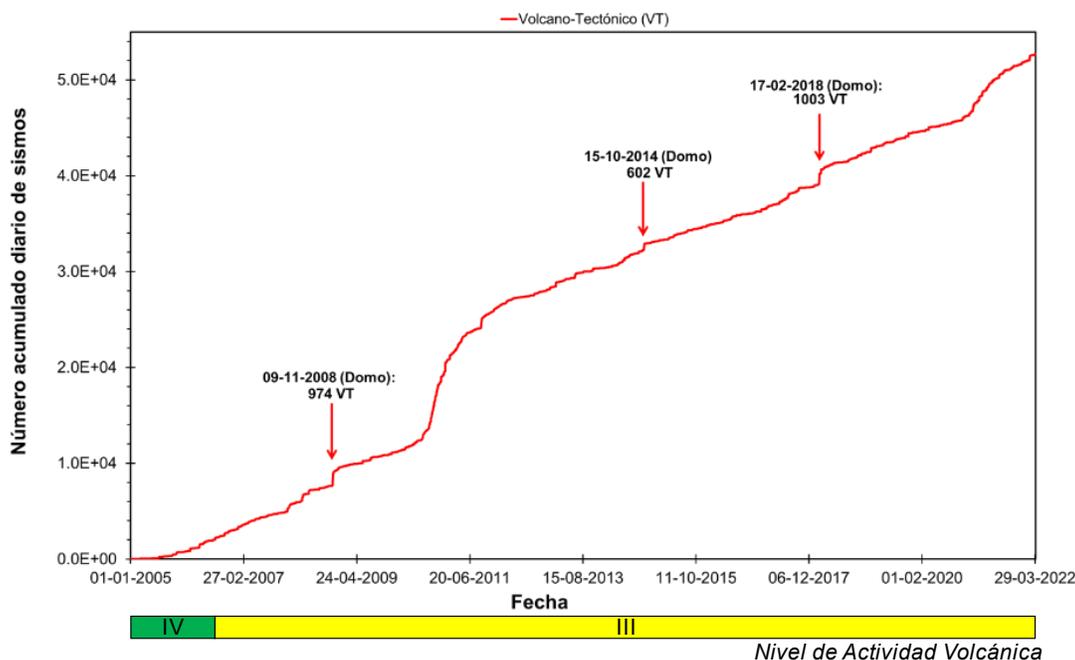
## 2.1.2. Volcán Cerro Machín (VCM)

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.

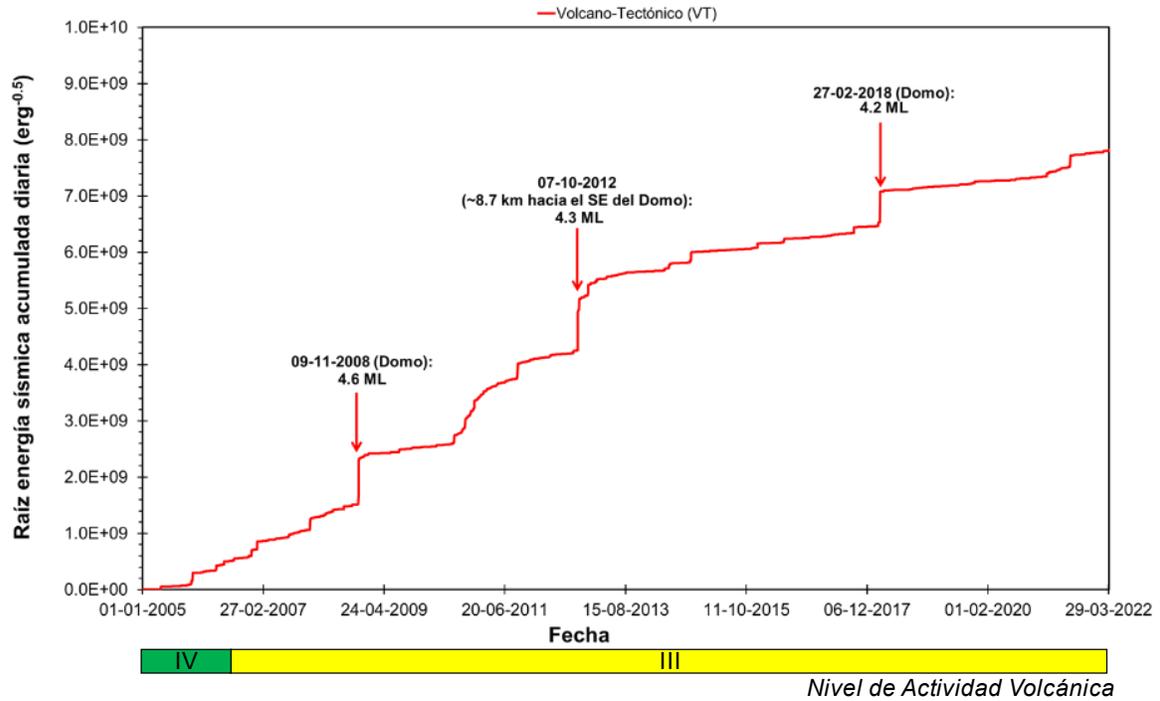
A continuación, se presentan los datos de los parámetros monitoreados en el VCM durante marzo de 2022.

### 2.1.2.1. Geofísica

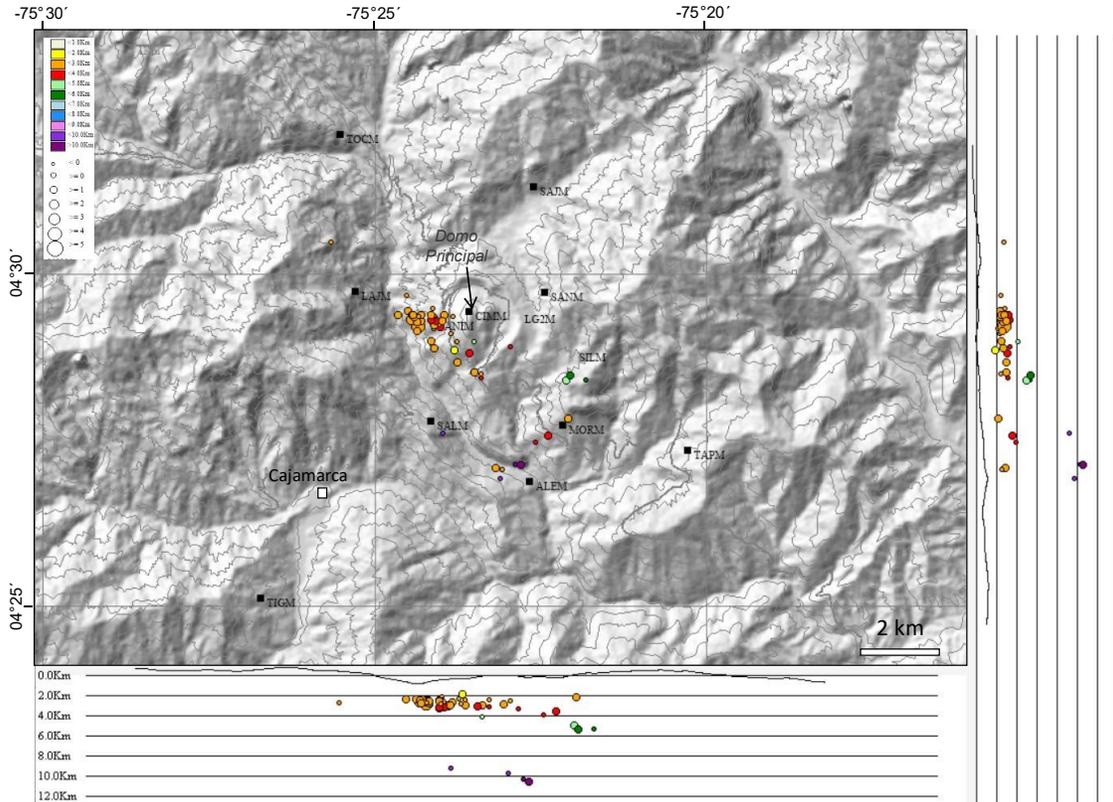
La sismicidad registrada estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en las inmediaciones del volcán. Esta actividad sísmica disminuyó en el número de sismos (figura 20) y aumentó en la energía sísmica liberada (figura 21), con respecto a febrero. Los sismos se localizaron principalmente en el sector occidental, y en menor proporción en los sectores suroriente y sur del volcán, a profundidades entre 1,8 y 10,5 km (figura 22). Se destaca el registro de un incremento sísmico en este tipo de actividad el 29 de marzo, con 82 sismos clasificados y localizados aproximadamente a 1,5 km al occidente del domo principal a profundidades entre 1,8 y 3,2 km. La mayor magnitud registrada en el incremento y a su vez durante el mes fue de 2,6 ML (Magnitud Local), correspondiente al sismo registrado a las 16:07 (hora local), localizado a 2,7 km de profundidad.



**Figura 20.** Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de marzo 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 31 de marzo 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 marzo 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

## 2.1.2.2. Geodesia (deformación)

### 2.1.2.2.1. Procesamiento diferencial GNSS software GAMIT/GLOBK

Se realizó el procesamiento de las estaciones GNSS permanentes del volcán Cerro Machín usando el software GAMIT/GLOBK 10.71 con órbitas finales. Los resultados del procesamiento para las componentes Norte, Este y altura de las estaciones GNSS muestran estabilidad para los últimos años. En la figura 23 se presenta la serie temporal del GNSS LAGU para el último año como una estación representativa de la red GNSS de monitoreo.

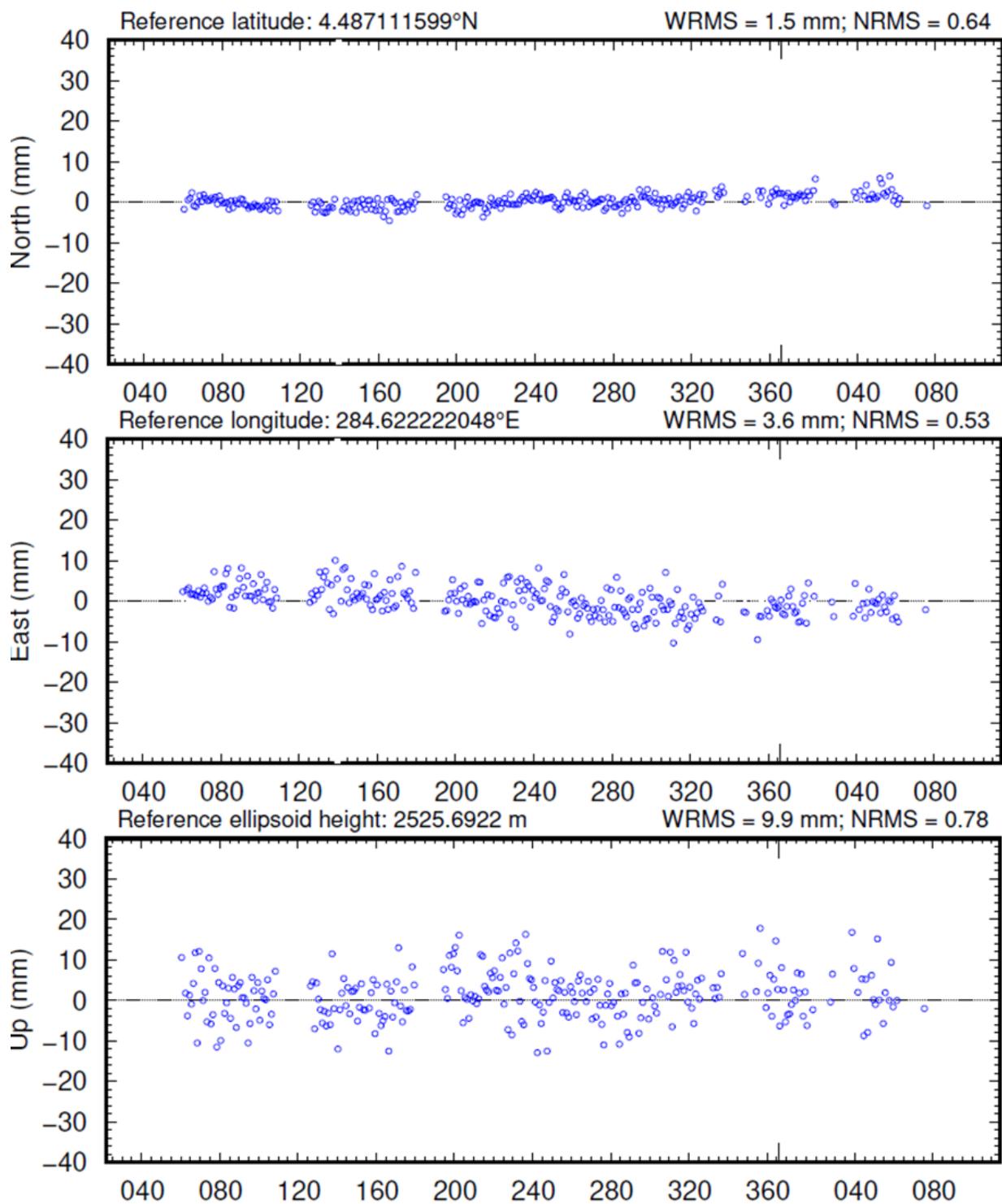


Figura 23. Serie temporal para la estación GNSS permanente LAGU, marzo de 2021 a marzo de 2022

### 2.1.2.2. 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 últimos 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

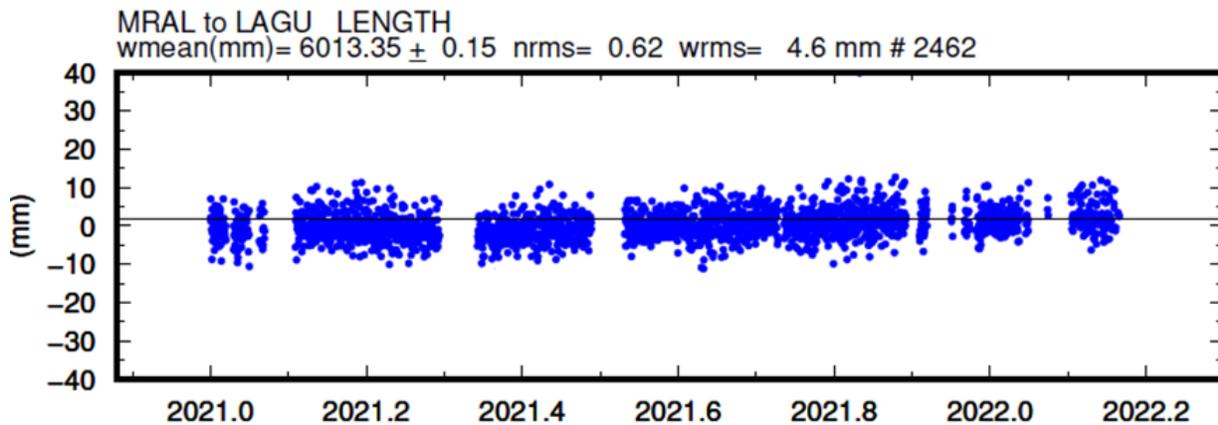


Figura 25. Resultados de la línea base del volcán Cerro Machín. MRAL-LAGU. Octubre 2021 a marzo de 2022

### 2.1.2.3. Geoquímica

En la estación telemétrica de temperatura ubicada en la fuente termal ESTATUAS se obtuvo un dato promedio mensual de 87,31°C, el cual es consistente a los valores reportados en los últimos meses.

#### **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. 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 marzo de 2022 de los diferentes parámetros monitoreados en los volcanes que se encuentran en este nivel.

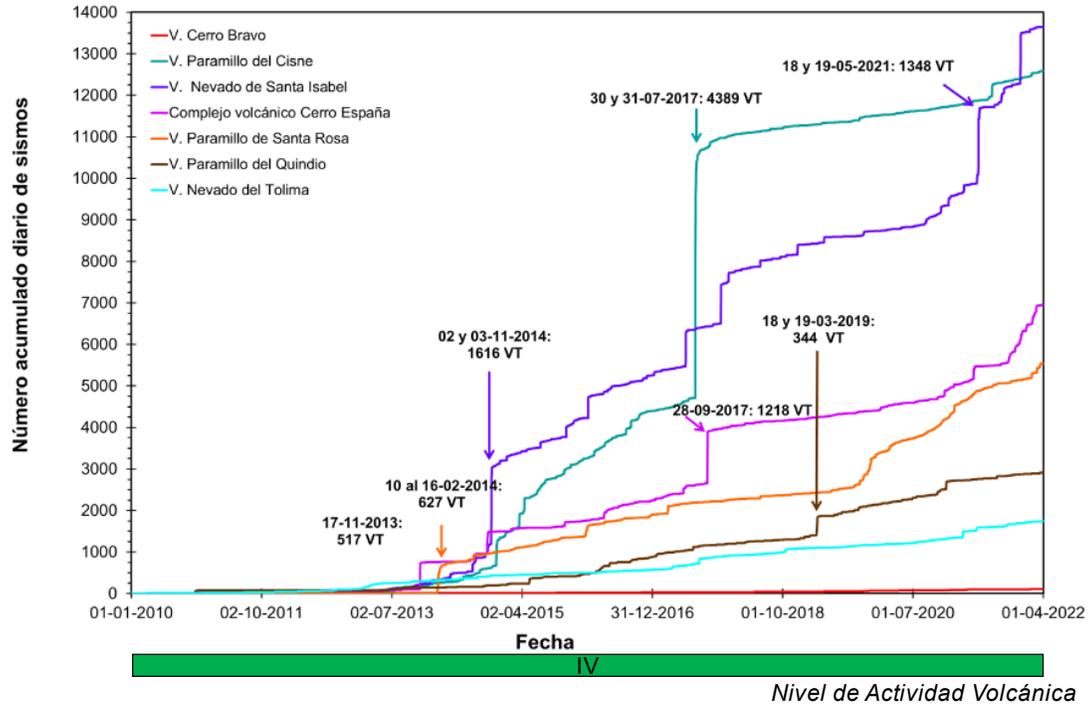
#### **2.2.1. Geofísica**

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

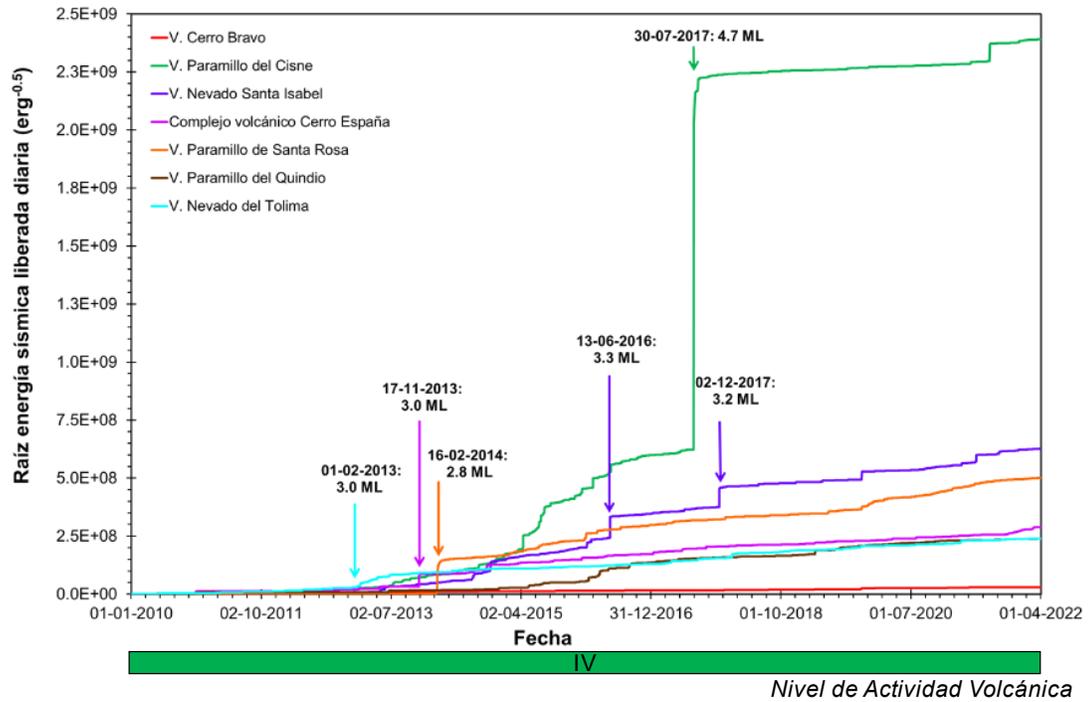
En el volcán Nevado de Santa Isabel (VNSI) y en el Complejo Volcánico Cerro España (CVCE) se presentó disminución en el número de sismos y en la energía sísmica liberada con respecto a febrero, destacándose de forma importante en el CVCE.

La actividad sísmica asociada a la dinámica del glaciar en el VNSI disminuyó significativamente en el número de eventos registrados, con respecto al mes anterior. Los demás parámetros monitoreados no presentaron cambios.

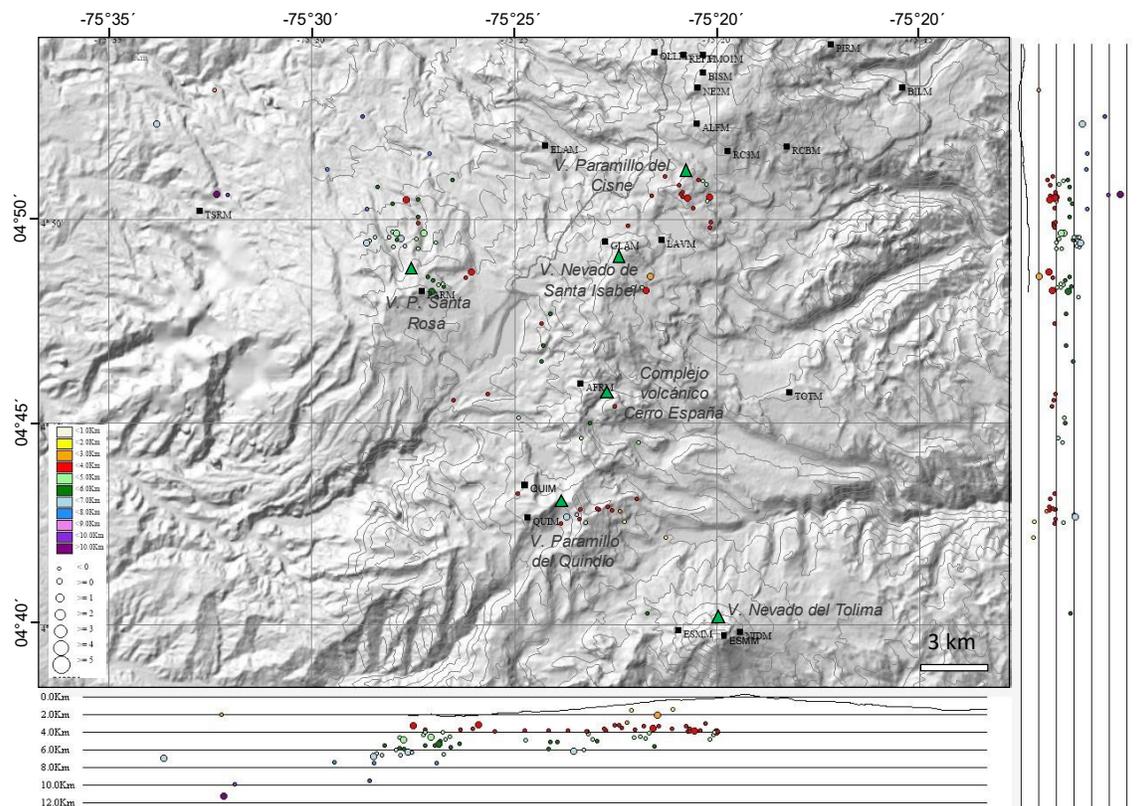
El Volcán Paramillo del Cisne (VPC) registró disminución en el número de sismos registrados y una energía sísmica liberada similar con respecto al mes anterior. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 3,4 y 4,9 km. La máxima magnitud registrada fue de 0,6 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 11 de marzo a las 22:12 (hora local), localizado a 1,1 km al nororiente de la estructura volcánica, a 3,9 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 31 de marzo 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 31 de marzo 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 marzo de 2022. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

El volcán Paramillo de Santa Rosa (VPSR) registró aumento en el número de sismos y un nivel similar en la energía sísmica liberada en comparación a febrero. La máxima magnitud registrada fue de 0,9 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 26 de marzo a las 09:35 (hora local), localizado 13,9 km al noroccidente de la estructura volcánica, a 6,9 km de profundidad.

En el volcán Paramillo del Quindío (VPQ) esta sismicidad aumentó en el número de sismos y disminuyó en la energía sísmica liberada, con respecto a febrero.

El volcán Nevado del Tolima (VNT), mostró un nivel similar en el número de sismos registrados y en la energía sísmica liberada, respecto a febrero. 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.

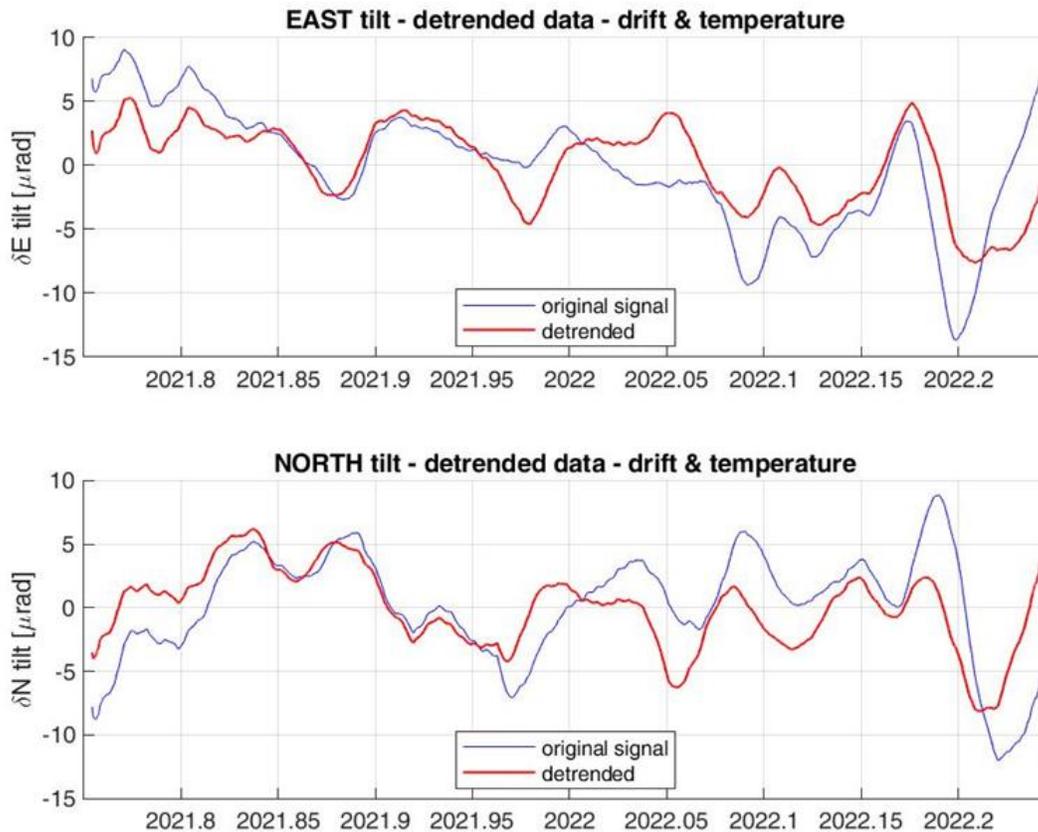
En el volcán Cerro Bravo (VCB) se registraron algunas señales asociadas con pequeñas avalanchas o desprendimientos de rocas en el edificio volcánico.

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

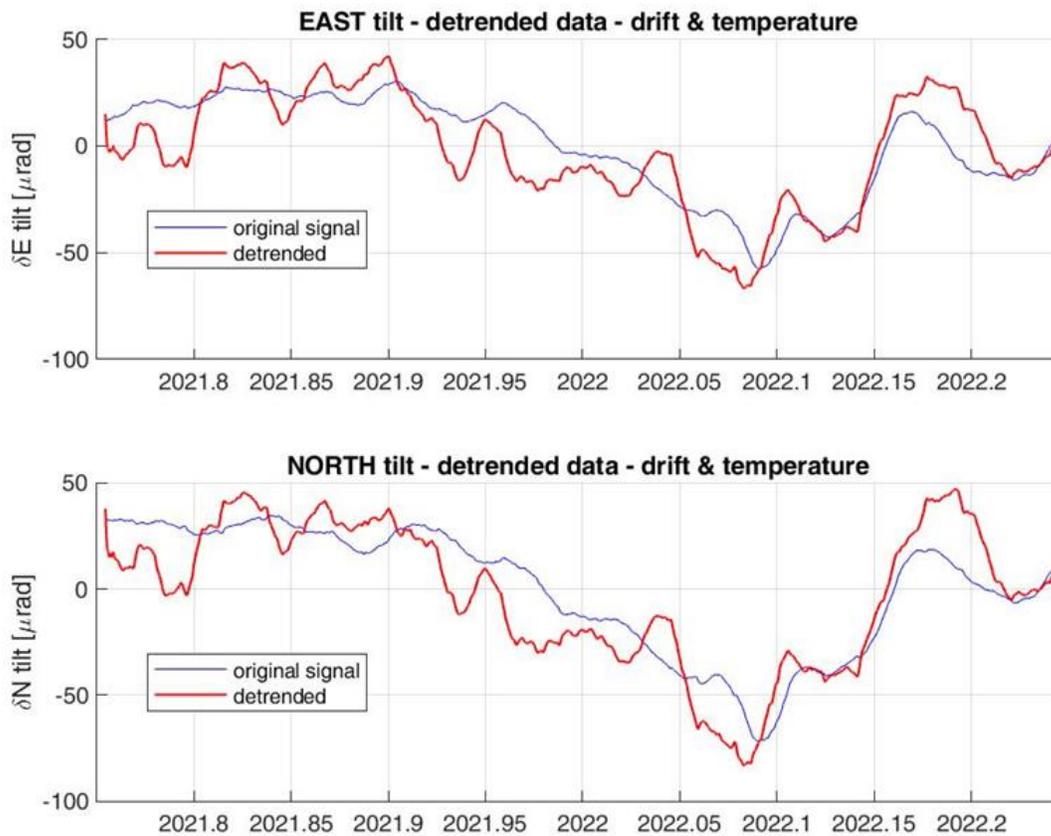
## 2.2.2. Geodesia (deformación)

### 2.2.2.1. Inclínometría electrónica

Durante marzo 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 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 octubre de 2021 a 31 de marzo 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 30.** Comportamiento del inclinómetro electrónico Esmeralda para el periodo 1 de octubre de 2021 a 31 de marzo 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 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.

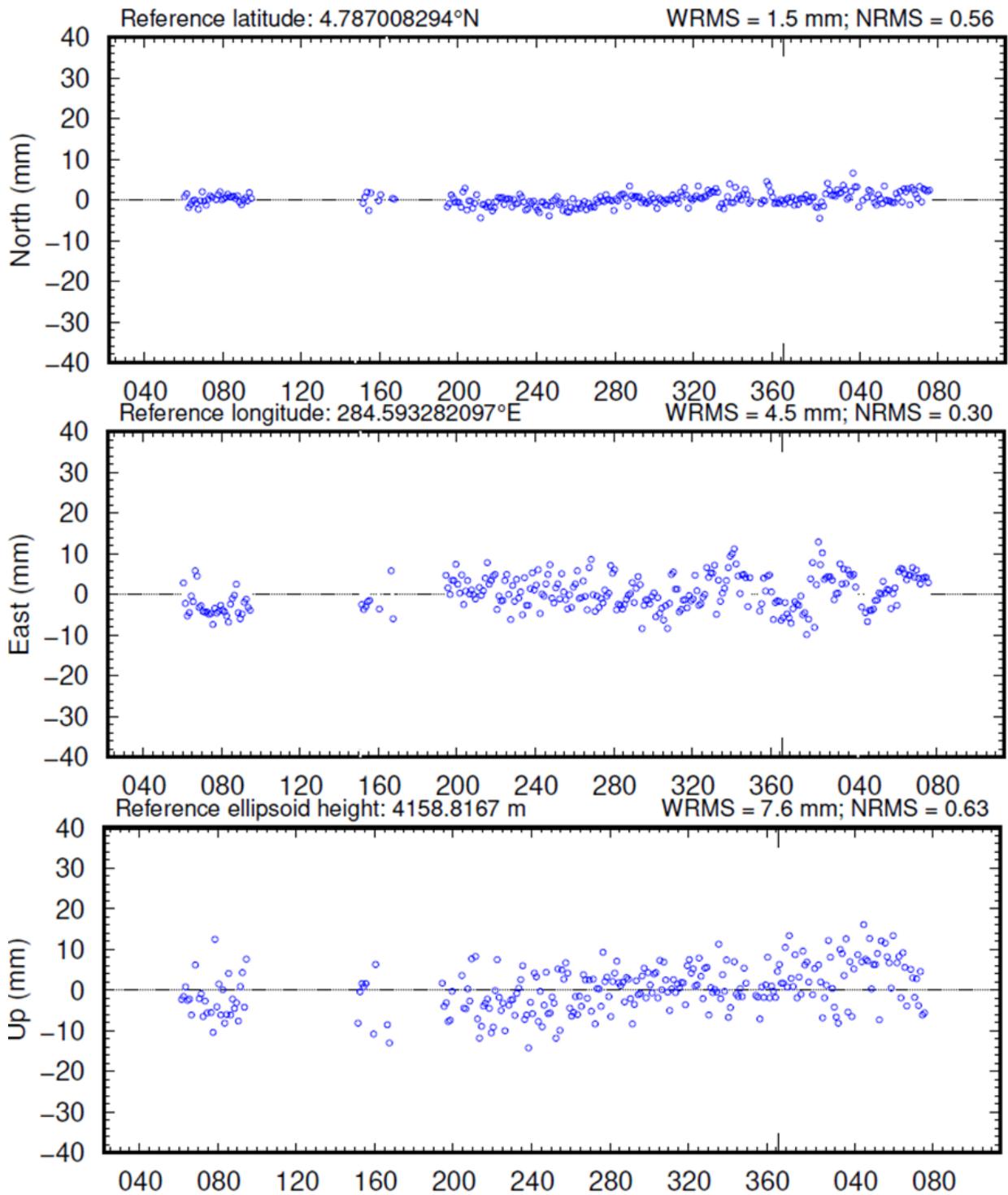


Figura 31. Serie temporal para la estación GNSS permanente OTUN, marzo de 2021 a marzo de 2022

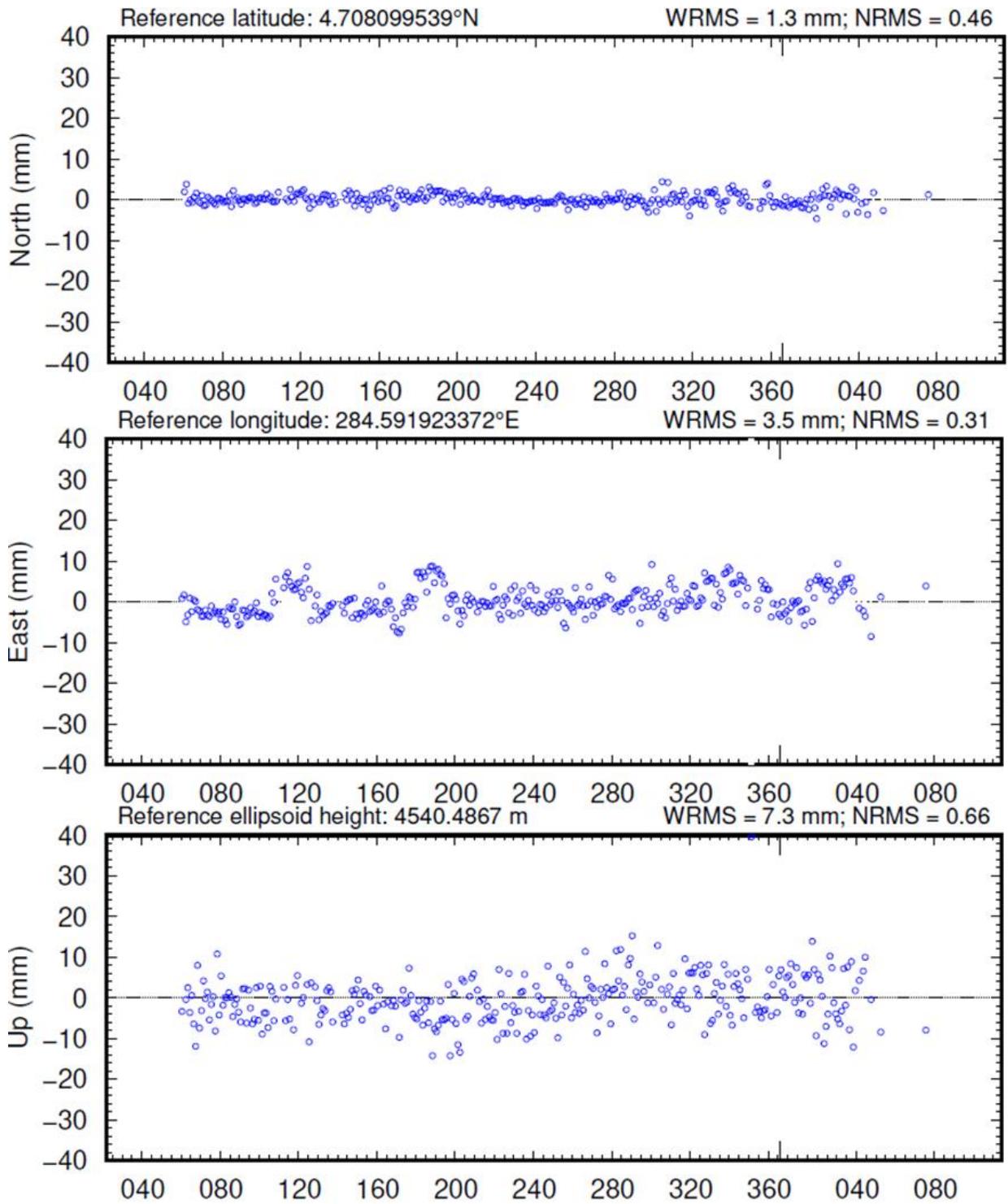


Figura 32. Serie temporal para la estación GNSS permanente QUIM, marzo de 2021 a marzo de 2022

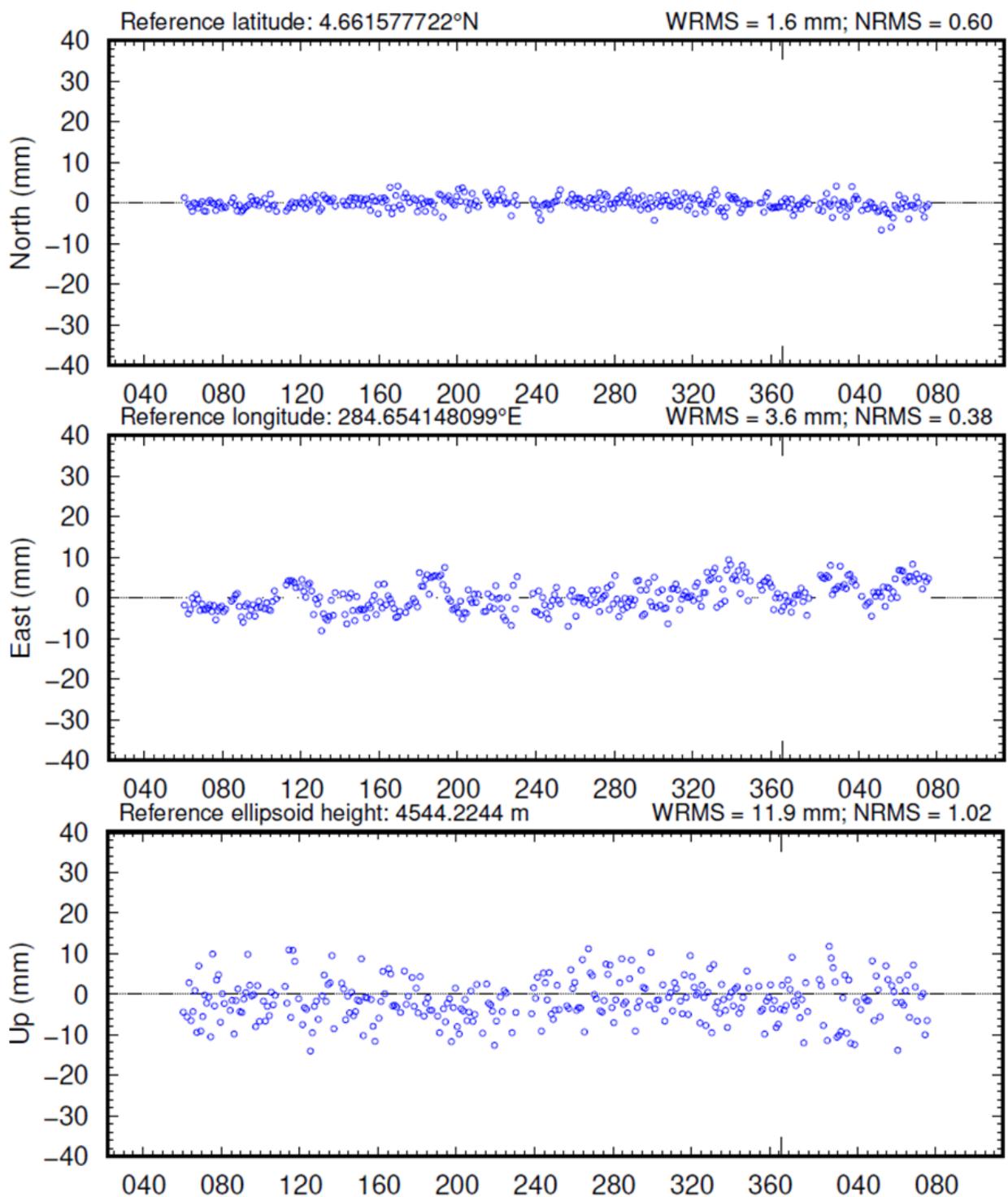
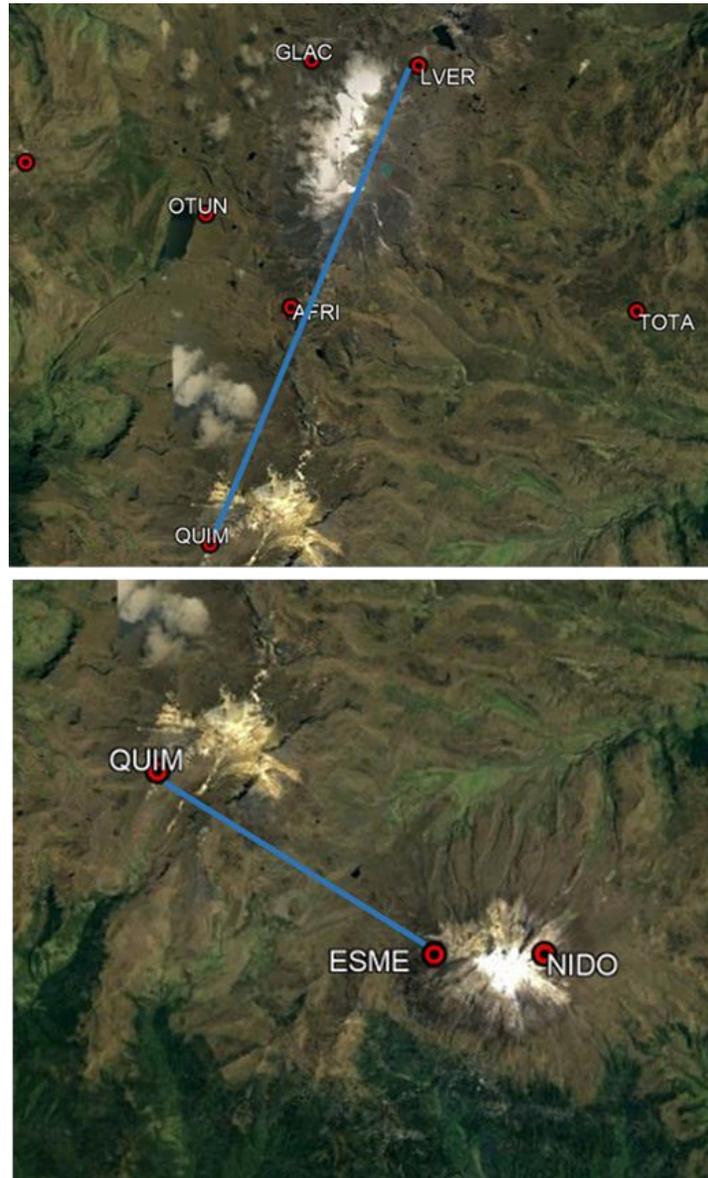


Figura 33. Serie temporal para la estación GNSS permanente ESME, marzo de 2021 a marzo de 2022

### 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 de actividad verde

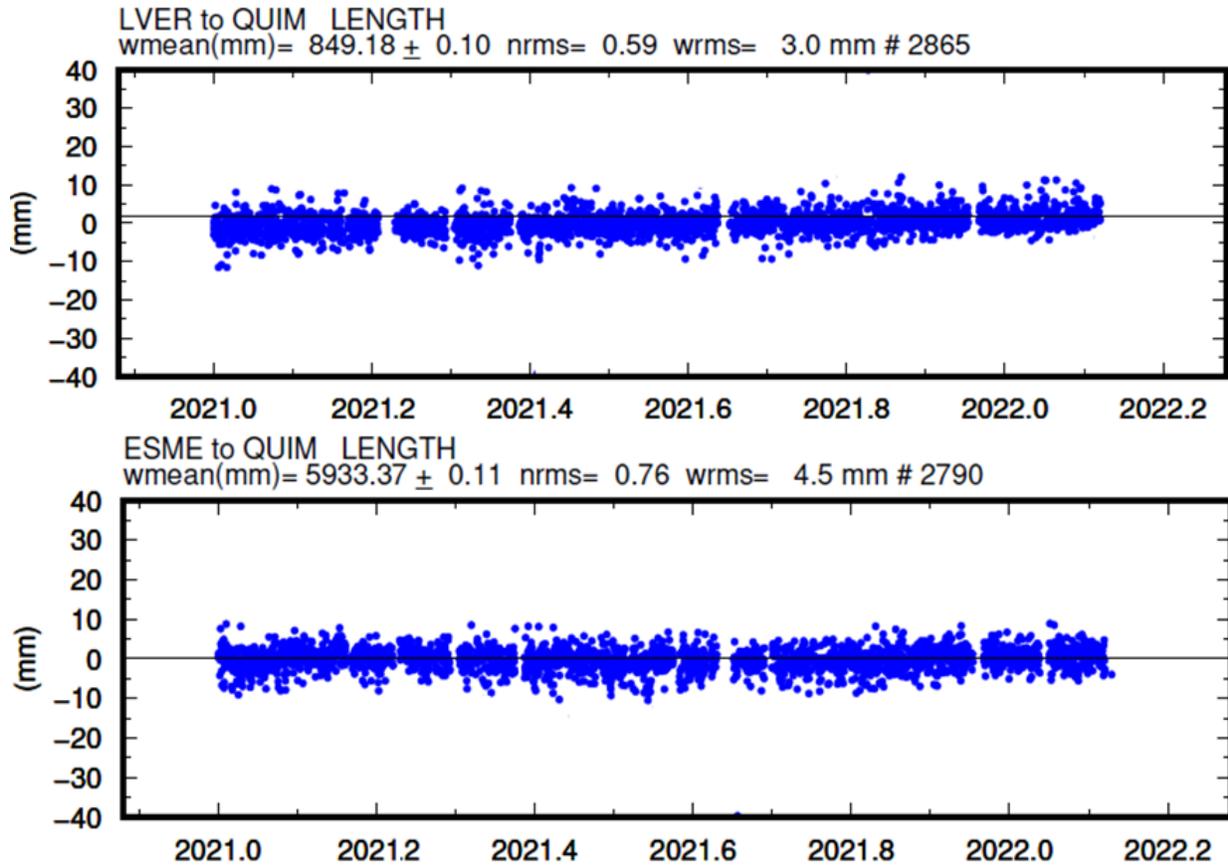
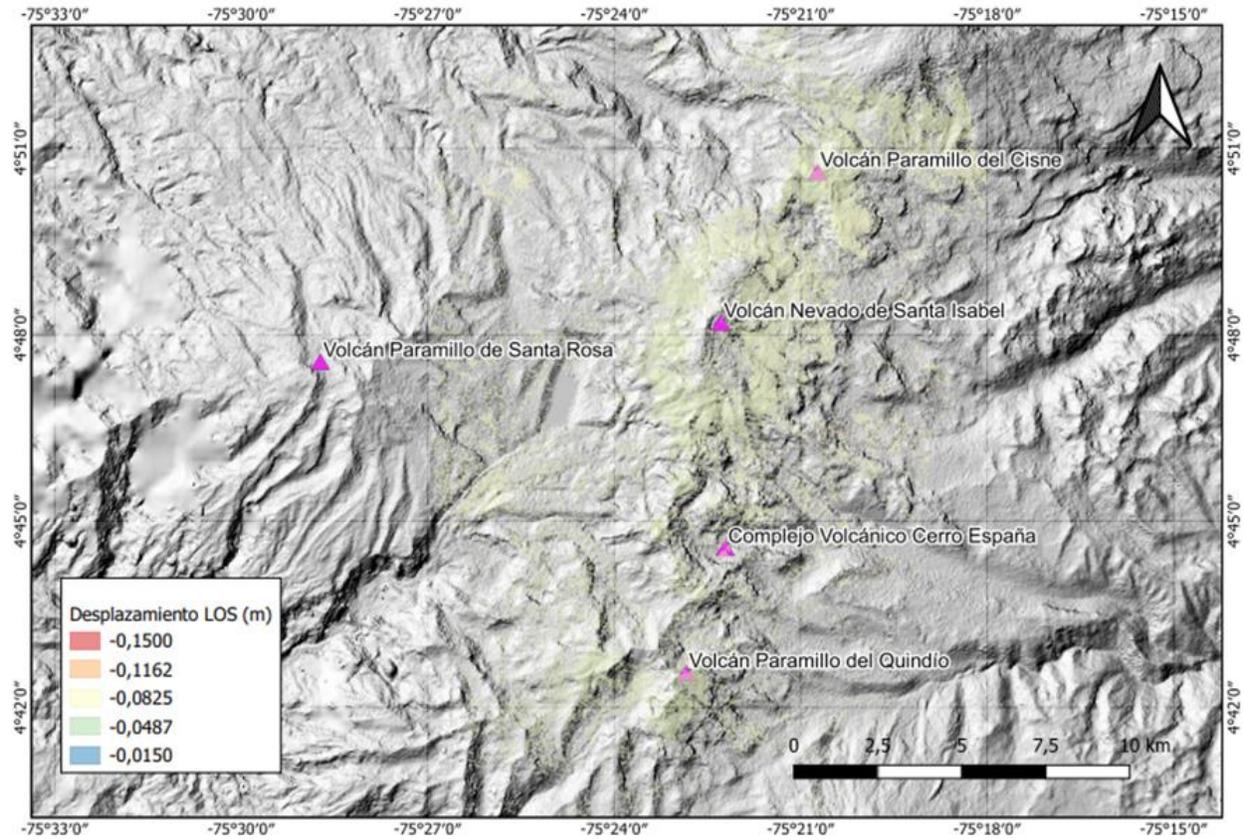


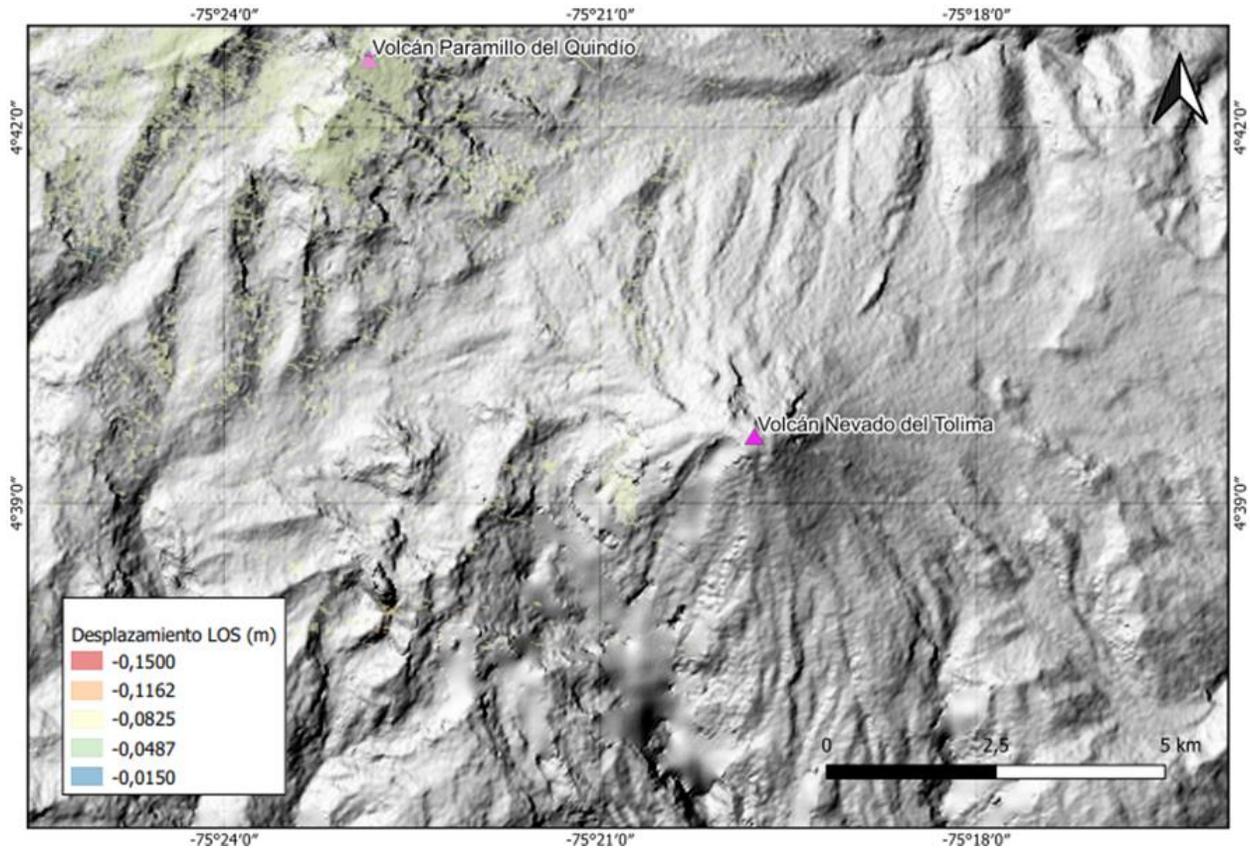
Figura 35. Resultados de las líneas base. LVER-QUIM y ESME-QUIM. Octubre 2021 a marzo de 2022

#### 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 23-02-2021 y 31-03-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. 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 23-02-2022 y 31-03-2022 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 23-02-2022 y 31-03-2022 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, el SGC determina que estos volcanes continúan en NIVEL DE ACTIVIDAD VERDE ● (o IV): volcán activo y comportamiento estable.

## Conclusiones

- El volcán Nevado del Ruiz persiste en la inestabilidad de su actividad, manifestado principalmente por la sismicidad y la desgasificación de SO<sub>2</sub>. La sismicidad estuvo asociada a fractura de roca, que aumentó en número y energía respecto al mes anterior, y a dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos, la cual disminuyó levemente en la energía; resalta la ocurrencia de episodios de sismicidad tipo *drumbeat* y un incremento de sismicidad de fractura al nor-noroccidente del volcán. El SO<sub>2</sub> aumentó levemente respecto el mes anterior y la deformación no mostró cambios importantes.
- Durante marzo, en el volcán Cerro Machín se presentaron cambios principalmente en el área de sismología. Se destaca un incremento de la energía de la sismicidad de fractura respecto al mes anterior. Los demás parámetros no tuvieron cambios significativos.
- Los volcanes en nivel de actividad verde presentaron en ocasiones incrementos menores de sismicidad de fractura y/o sismos aislados sin cambios en las otras áreas de monitoreo.

## 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. Nuevos paneles solares en el repetidor de comunicaciones “Cielo Roto”	10
Figura 4. Ceniza acumulada en la estación multiparamétrica “Bruma” en el volcán Nevado del Ruiz	11
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 31 de marzo de 2022. Las flechas destacan los días con mayor número de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica la tasa máxima de registro diario	13
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 31 de marzo de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	14
Figura 7. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante marzo 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	15
Figura 8. Episodio de sismicidad tipo <i>drumbeat</i> del 09 de marzo a las 12:21 (hora local) en espectrograma y sismograma de la estación sismológica Bis, componente vertical	16
Figura 9. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP, TR y TC registrados en el VNR entre julio de 2014 y el 31 de marzo de 2022	17
Figura 10. Gráfica RSAM de estación sismológica BIS, componente vertical entre el 01 y 31 de marzo de 2022	17
Figura 11. Comportamiento del inclinómetro electrónico Bis2 para el periodo entre el 01 de octubre de 2021 a 31 de marzo 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	18
Figura 12. Comportamiento del inclinómetro electrónico Refugio para el periodo entre el 01 de octubre de 2021 a 31 de marzo 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	19
Figura 13. Serie temporal para la estación GNSS permanente GUAL, marzo de 2021 a marzo de 2022	20
Figura 14. Localización de líneas base GNSS en el volcán Nevado del Ruiz	21
Figura 15. Resultados de las líneas base del volcán Nevado del Ruiz. BLLR-OLLE y RUBI-SINN. Octubre 2021 a marzo de 2022	21
Figura 16. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 23-02-2022 y 31-03-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Ruiz	22
Figura 17. 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 marzo de 2022. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO <sub>2</sub>	23
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 del Rio Azufrado (fotos del 13 y 20 de marzo), Gualí (foto del 15 de marzo), Olleta (foto del 01 de marzo) y Pitayó (fotos del 19 y 24 de marzo)	24
Figura 19. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDoas	24
Figura 20. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de marzo 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	25
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 31 de marzo 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	26
Figura 22. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante marzo 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	27
Figura 23. Serie temporal para la estación GNSS permanente LAGU, marzo de 2021 a marzo de 2022	28
Figura 24. Localización de línea base GNSS en el volcán Cerro Machín	29
Figura 25. Resultados de la línea base del volcán Cerro Machín. MRAL-LAGU. Octubre 2021 a marzo de 2022	29
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 31 de marzo de 2022. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado	31
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 31 de marzo de 2022. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	32
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 marzo de 2022. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos	33
Figura 29. Comportamiento del inclinómetro electrónico Chava para el periodo 1 de octubre de 2021 a 31 de marzo 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	34
Figura 30. Comportamiento del inclinómetro electrónico Esmeralda para el periodo 1 de octubre de 2021 a 31 de marzo 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	35
Figura 31. Serie temporal para la estación GNSS permanente OTUN, marzo de 2021 a marzo de 2022	36
Figura 32. Serie temporal para la estación GNSS permanente QUIM, marzo de 2021 a marzo de 2022	37
Figura 33. Serie temporal para la estación GNSS permanente ESME, marzo de 2021 a marzo de 2022	38
Figura 34. Localización de las líneas base GNSS definidas para los volcanes en nivel de actividad verde	39
Figura 35. Resultados de las líneas base. LVER-QUIM y ESME-QUIM. Octubre 2021 a marzo de 2022	40
Figura 36. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 23-02-2022 y 31-03-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado de Santa Isabel	41
Figura 37. Desplazamientos calculados con D-InSAR para el par interferométrico del 23-02-2022 y 31-03-2022 del satélite Sentinel-1B, órbita descendente. Área del volcán Nevado del Tolima	42

## Índice de tablas

Tabla 1. Sismos con magnitud mayor a 1,5 ML (magnitud local) del incremento de sismicidad entre el 27 y 28 de marzo en el sector nor-noroccidental del VNR

15