



Dirección de
Geoamenazas

INFORME TÉCNICO – OPERATIVO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

SEGMENTO VOLCANICO NORTE DE COLOMBIA - DICIEMBRE DE 2020

Manizales, enero de 2021



SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©



**Dirección de
Geoamenazas**

Oscar Paredes Zapata

Director General

Marta Lucia Calvache Velasco

Director Técnico de Geoamenazas

Maria Luisa Monsalve Bustamente

Coordinadora del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales

Cristian Mauricio López Vélez

Coordinador Evaluación y Monitoreo de la Actividad Volcánica

AUTORES

Juan José Idárraga

Milton Ordoñez

Oscar Sanabria

Zoraida Chacón

Álvaro Esteban Acevedo

Beatriz Elena Galvis

Claudia Patricia Álvarez

Julián Ramírez

Lina Constanza García

Lina Marcela Castaño

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	6
INTRODUCCIÓN	7
1 RED DE VIGILANCIA VOLCÁNICA	3
2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA	5
2.1 Volcanes en nivel de actividad amarillo	5
2.1.1 Volcán Nevado del Ruiz (VNR)	5
2.1.1.1 Geofísica	5
2.1.1.2 Geodesia (Deformación)	10
2.1.1.3 Geoquímica	13
2.1.1.4 Actividad superficial y anomalías térmicas	14
2.1.1.5 Diagnóstico de la actividad del volcán Nevado del Ruiz	16
2.1.2 Volcán Cerro Machín (VCM)	17
2.1.2.1 Geofísica	17
2.1.2.2 Geodesia (Deformación)	20
2.1.2.3 Geoquímica	23
2.1.2.4 Diagnóstico de la actividad volcánica del Volcán Cerro Machín	23
2.2 Volcanes en nivel de actividad verde	24
2.2.1 Geofísica	24
2.2.2 Geodesia (Deformación)	27
2.2.3 Diagnóstico de la actividad volcánica	31
CONCLUSIONES	32

RESUMEN

Los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia (SVNC), durante diciembre, según el análisis y la evaluación del monitoreo multiparamétrico, continuaron registrando cambios en el comportamiento de la actividad, principalmente en los volcanes Nevado del Ruiz (VNR) y Cerro Machín (VCM). Los demás volcanes presentaron un comportamiento estable con variaciones menores en los parámetros monitoreados.

En el VNR, la actividad volcánica estuvo caracterizada, principalmente, por variaciones en la sismicidad y la desgasificación de SO_2 . Los datos del monitoreo sismológico mostraron que la sismicidad estuvo principalmente asociada al fracturamiento de rocas (volcano-tectónica, VT) en las inmediaciones del volcán y a la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos. La sismicidad volcano-tectónica aumentó en el número de sismos y en la energía sísmica liberada con respecto a noviembre. Adicionalmente, se registró un aumento en la actividad sísmica tipo “*drumbeat*”. Estos episodios se caracterizaron por ser de corta a moderada duración, estar compuestos por sismos VT y presentar niveles de energía muy bajos. La actividad sísmica relacionada con el movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos, se caracterizó por la ocurrencia de tremor volcánico continuo (TC), de sismos de largo periodo (LP), de sismos de muy largo periodo (VLP) y pulsos de tremor volcánico (TR). En general, los sismos de fluidos mostraron niveles energéticos y contenidos espectrales variables. Respecto a la desgasificación, el volcán continúa emitiendo a la atmósfera cantidades importantes de dióxido de azufre (SO_2) y vapor de agua. Con relación al monitoreo geodésico de la superficie del volcán, predomina la estabilidad y no se evidenciaron deformaciones en la estructura volcánica.

En cuanto a actividad registrada en el VCM, la sismicidad estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en las inmediaciones del volcán. Esta actividad disminuyó en los eventos registrados y mantuvo niveles similares en la energía sísmica liberada, con respecto a noviembre. Los parámetros geoquímicos y geodésicos monitoreados en el volcán mostraron un comportamiento estable.

Los demás volcanes del SVNC presentaron bajos niveles de sismicidad y mostraron 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

The Northern Volcanic Segment of Colombia (SVNC), during December, according to the analysis and evaluation of the multiparametric monitoring, continued to register changes in the behavior of the activity, mainly in the Nevado del Ruiz (VNR) and Cerro Machín (VCM) volcanoes. The other volcanoes presented a stable behavior with minor variations in the monitored parameters.

In the VNR, volcanic activity was characterized mainly by variations in seismicity and SO₂ degassing. Seismological monitoring data showed that seismicity was mainly associated with rock fracturing (volcano-tectonics, VT) in the environs of the volcano and with fluid dynamics within the volcanic conduits. Volcano-tectonic seismicity increased in the number of earthquakes and in the seismic energy released compared to November. Additionally, there was an increase in drumbeat-type seismic activity. These episodes were characterized by being short to moderate duration, being composed of VT earthquakes and presenting very low energy levels. The seismic activity related to the movement of fluids inside the volcanic conduits was characterized by the occurrence of continuous volcanic tremor (TC), long-period earthquakes (LP), very long period (VLP), and volcanic tremor pulses (TR). In general, fluid earthquakes show variable energy levels and spectral contents. Regarding degassing, the volcano continues to emit significant amounts of sulfur dioxide (SO₂) and water vapor into the atmosphere. In relation to the geodetic monitoring of the volcano's surface, stability predominates and no deformations were evidenced in the volcanic structure.

Regarding the activity recorded in the VCM, seismicity was mainly associated with rock fracturing in the environs of the volcano. This activity decreased in the recorded events and maintained similar levels in the released seismic energy, with respect to November. The geochemical and geodetic parameters monitored in the volcano showed a stable behavior.

The other SVNC volcanoes presented low levels of seismicity and showed stability in the other geophysical, geodetic, geochemical and geological parameters monitored.

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

INTRODUCCIÓN

De conformidad con las disposiciones del Decreto 4131 de 2011, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), como instituto científico y técnico adscrito al Ministerio de Minas y Energía, reconocido por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS como centro de investigación (Resolución No. 1057 del 02 de diciembre de 2014), le corresponde investigar eventos de origen geológico generadores de amenazas y evaluar su impacto en el ámbito regional y nacional, así como proponer, evaluar y difundir metodologías de evaluación de amenazas con afectaciones departamentales y municipales.

Es así como el SGC, a través de la dirección de Geoamenazas, ha implementado una red de tres Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos (en las ciudades de Manizales, Popayán y Pasto) con el fin de monitorear los volcanes considerados como activos del país. El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales (OVS-Manizales), creado en abril de 1986, se encarga de realizar monitoreo continuo de los volcanes pertenecientes al Segmento Volcánico Norte de Colombia (comprendido entre las coordenadas geográficas $4^{\circ} 22' 01''$ y $5^{\circ} 44' 28''$ de la latitud Norte y $74^{\circ} 50' 42''$ y $75^{\circ} 49' 26''$ 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). Mapa de sombras donde se observa la localización de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia). 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 diciembre de 2020, en el cual se 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.

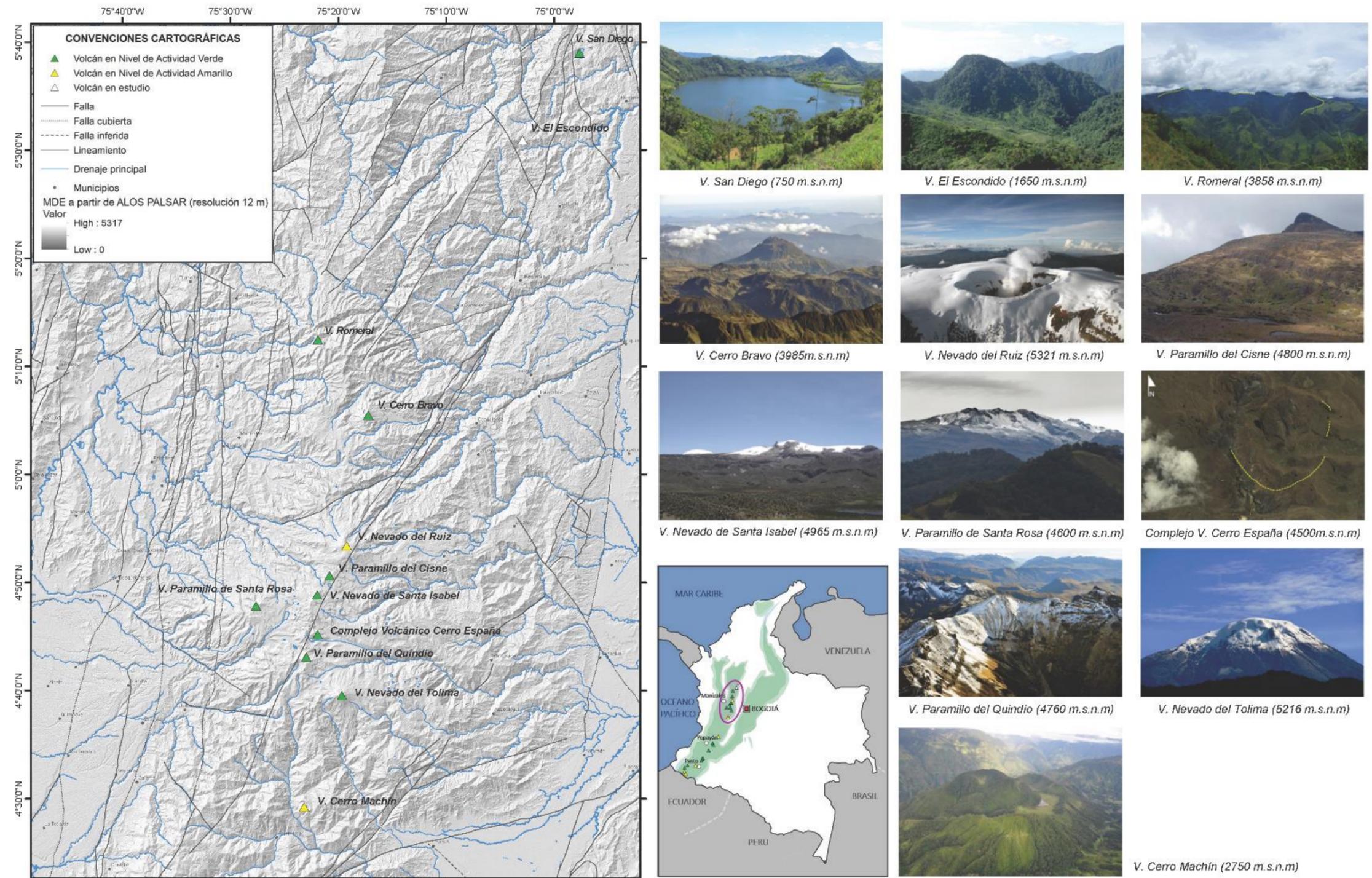


Figura 1. Mapa de sombras donde se observa la localización de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia

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 158 estaciones ubicadas en campo (157 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 diciembre de 2020 fue del 84%.

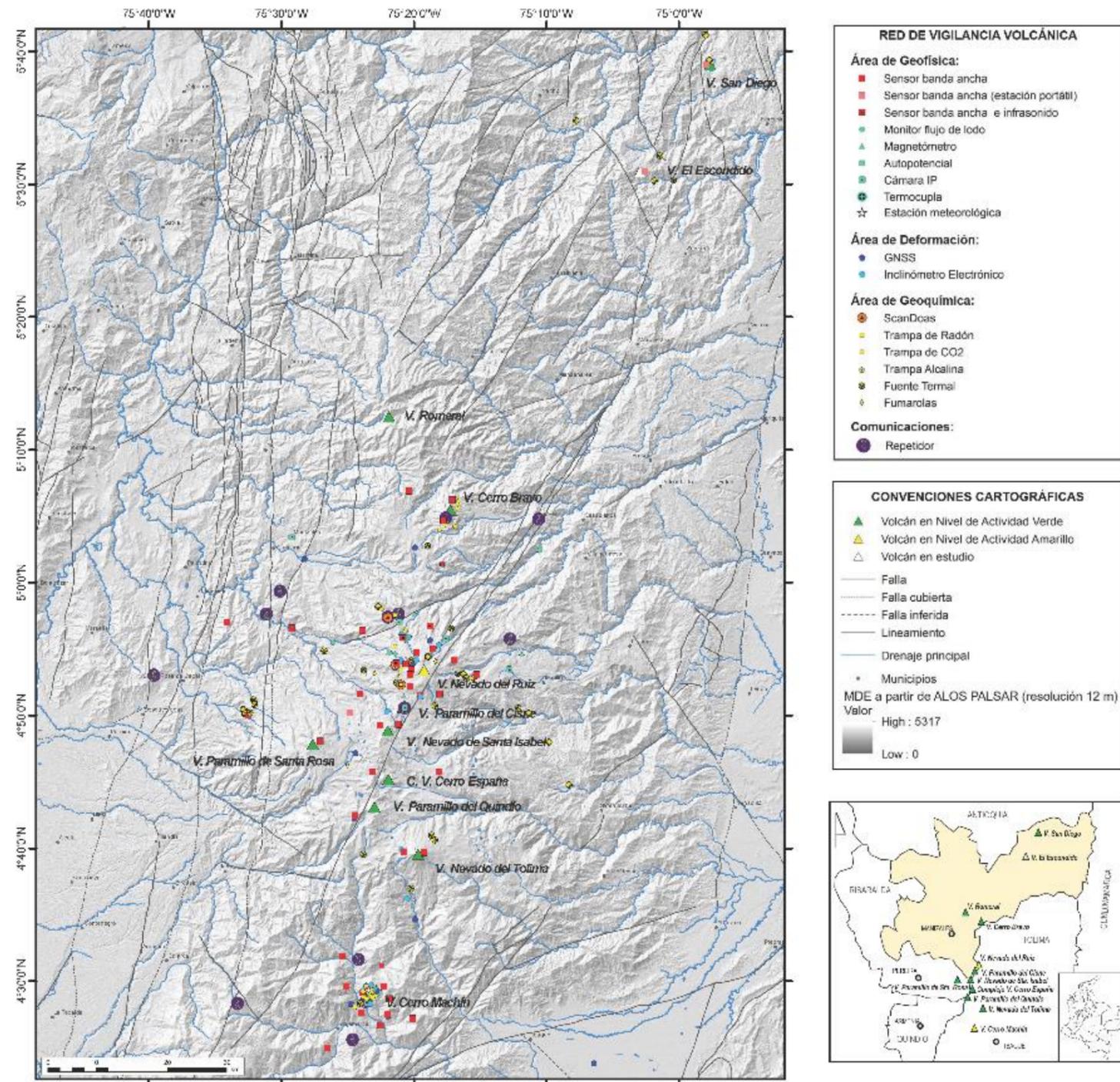


Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia.

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

Durante este mes se realizaron trabajos generales de mantenimiento sobre la red de monitoreo del volcán Nevado del Ruiz, los cuales están relacionados en la Tabla 1.

Tabla 1. Trabajos realizados sobre la red de vigilancia telemétrica de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia

Volcán	Estación	Tipo de Estación	Tipo de Trabajo
Volcán Nevado del Ruiz	BIS	Multiparamétrica	Mantenimiento
Volcán Nevado del Ruiz	Nereidas	Multiparamétrica	Mantenimiento
Volcán Nevado del Ruiz	Camión	Repetidor	Mantenimiento
Volcán Nevado del Ruiz	Cisne	Repetidor	Mantenimiento

En las estaciones BIS (Figura 3) y Cisne se realizaron mantenimientos de tipo preventivo en los bancos de baterías, esto debido a que los bancos anteriores se estaban acercando al fin de su vida útil. En la estación multiparamétrica Nereidas se reparó la telemetría que había sido afectada por un daño en un radio transmisor, y en el repetidor de comunicaciones El Camión se repararon algunos equipos de comunicaciones que fueron alcanzados por una descarga eléctrica.



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

2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA

Basados 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 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.

2.1.1 Volcán Nevado del Ruiz (VNR)

Para realizar el diagnóstico de la actividad volcánica en el VNR, el SGC lleva a cabo un monitoreo continuo y permanente del volcán, con base en la observación visual y la aplicación de diferentes técnicas especializadas (geofísica, geodesia, geoquímica y geovulcanología). A continuación, se presentan los datos de los parámetros monitoreados en el VNR durante diciembre de 2020:

2.1.1.1 Geofísica

Los datos del monitoreo sismológico obtenidos en diciembre muestran que la sismicidad registrada en el VNR estuvo principalmente asociada al fracturamiento de rocas (volcano-tectónica, VT) en las inmediaciones del volcán y a la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos. También se presentaron señales sísmicas relacionadas con la dinámica del glaciar que cubre la parte superior del volcán.

La sismicidad volcano-tectónica aumentó en el número de sismos (Figura 4) y en la energía sísmica liberada con respecto a noviembre (Figura 5). Estos eventos sísmicos se localizaron principalmente en los sectores occidente-suroccidente, nor-nororiente, sur-suroccidente y cráter Arenas, y en menor proporción en los sectores sur-suroccidente y

oriente de la estructura volcánica (Figura 6). Las profundidades de los eventos oscilaron entre 0.1 y 8.8 km. Se destacan los incrementos sísmicos registrados el 24 de diciembre en el sector occidente-suroccidente y el 28 de diciembre en el sector nor-nororiente, caracterizados por ser de baja y alta de energía respectivamente. La mayor magnitud registrada durante el mes fue de 3.6 ML (Magnitud Local), correspondiente al sismo ocurrido durante el incremento del 28 de diciembre a las 09:42 (hora local), localizado a 0.6 km al norte del cráter Arenas, a 3.0 km de profundidad. Este sismo fue reportado como sentido por funcionarios del PNNN y habitantes de los municipios de Manizales y Villamaría.

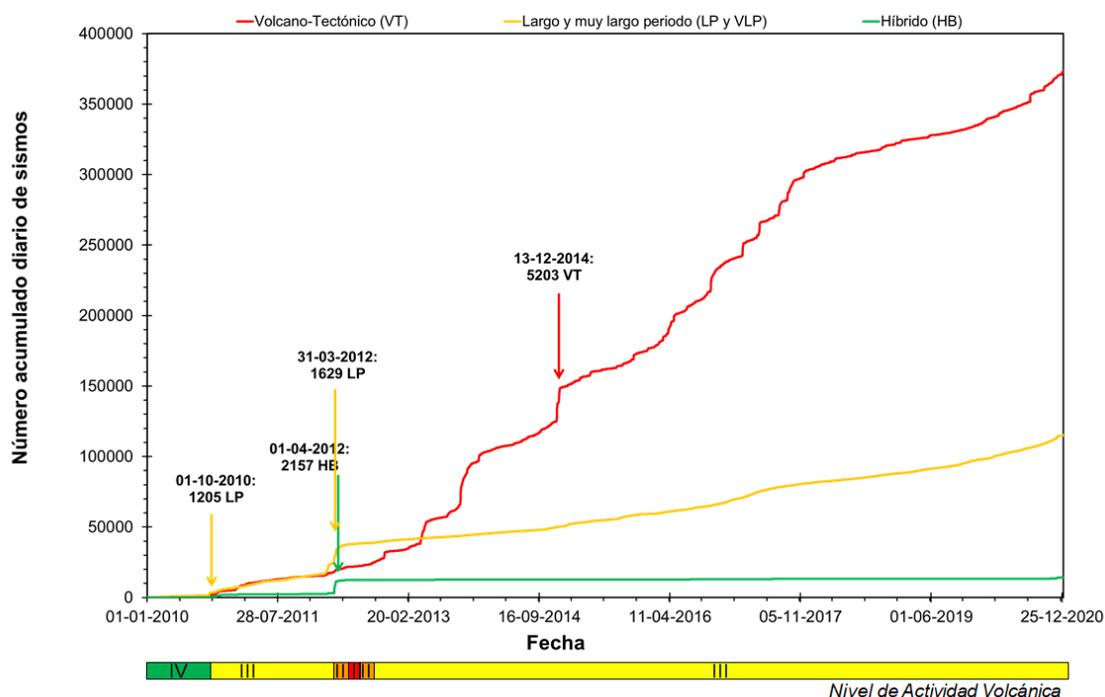


Figura 4. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, LP-VLP, TR y HB, registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 31 de diciembre de 2020. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado

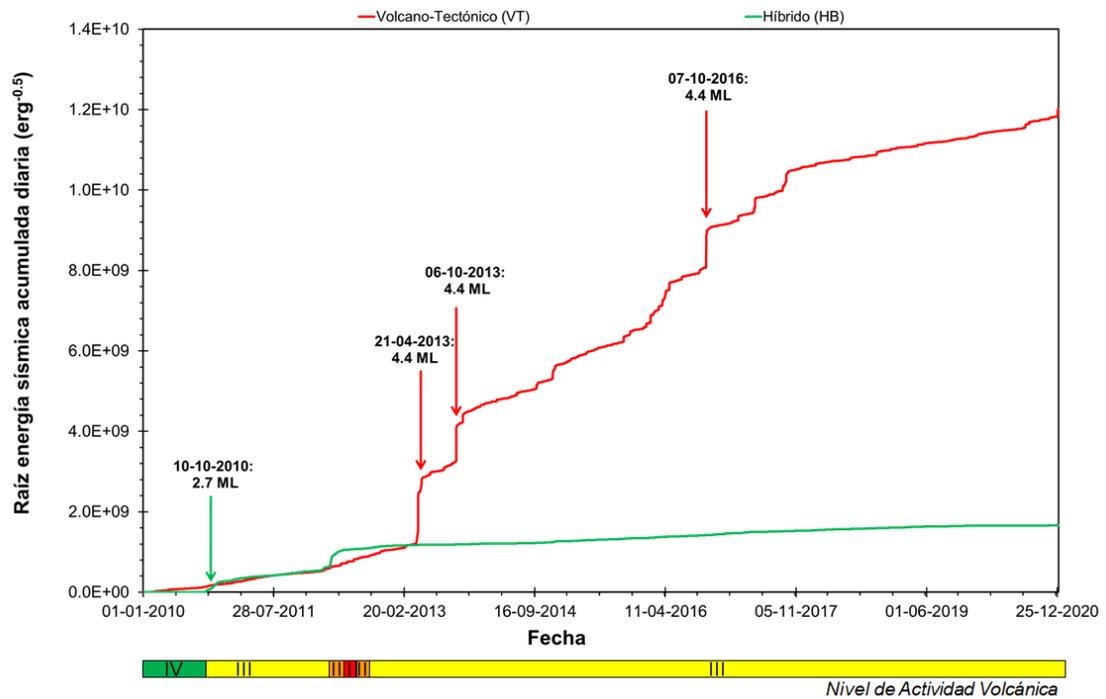


Figura 5. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT y HB, registrada en el VNR entre el 01 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2020. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la Magnitud Local (ML) máxima registrada

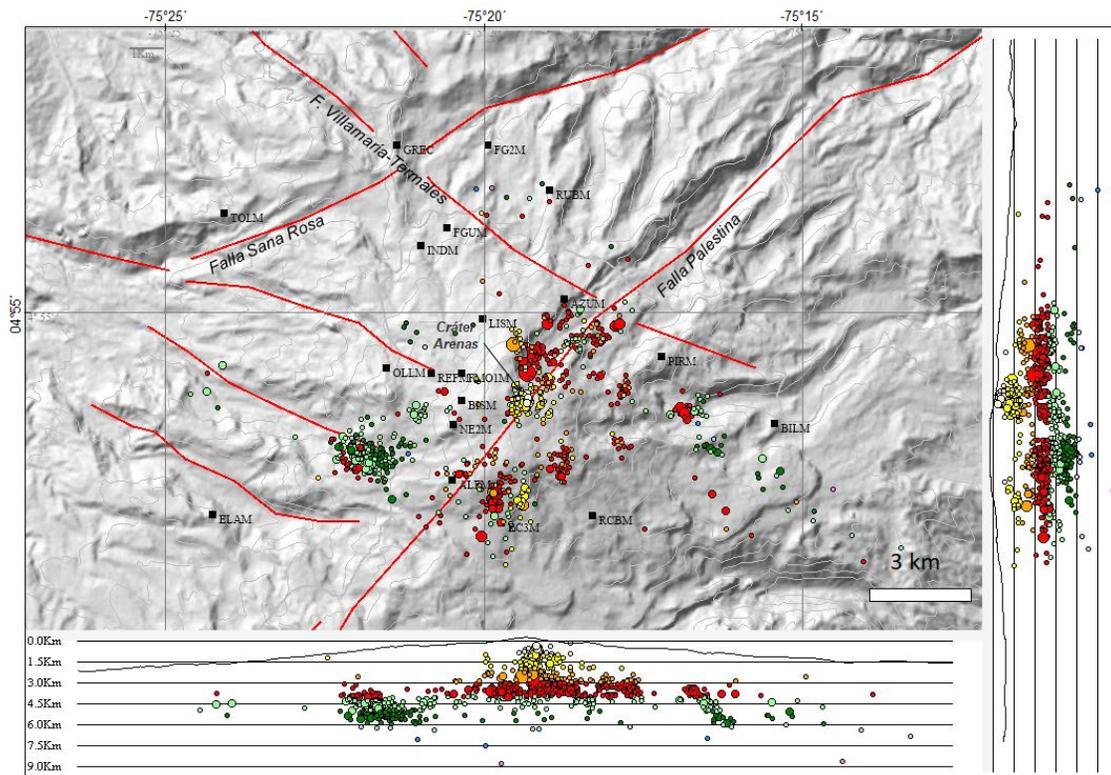


Figura 6. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR, durante diciembre de 2020. Los cuadros de color negro representan las estaciones

Durante diciembre se registró un aumento en la actividad sísmica tipo “drumbeat”. Estos episodios se caracterizaron por ser de corta a moderada duración, estar compuestos de sismos asociados a fracturamiento de roca (VT) y presentar niveles de energía muy bajos. La actividad sísmica tipo “drumbeat” está relacionada con el ascenso, emplazamiento-crecimiento y evolución de un domo de lava¹ observado en el fondo del cráter Arenas desde octubre de 2015.

La actividad sísmica relacionada con el movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos se caracterizó por la ocurrencia de tremor volcánico continuo (TC), sismos de largo periodo (LP), muy largo periodo (VLP), y pulsos de tremor volcánico (TR). Estos sismos mostraron niveles energéticos y contenidos espectrales variables; esta sismicidad se localizó en el cráter Arenas y en sus alrededores. Con respecto a noviembre, este tipo de sismicidad presentó disminución en el número de eventos registrados (Figura 4) y en

¹ Domo de lava: es un montículo de lava (roca fundida) viscosa que se emplaza a través del conducto de emisión de un volcán hacia la superficie. La tasa de crecimiento de los domos puede variar de horas a días, años o cientos de años, y estos pueden alcanzar volúmenes de decenas de metros hasta varios kilómetros cúbicos. (Calder, et al., 2015)

los desplazamientos reducidos (DR), estos últimos alcanzaron en diciembre valores de hasta 11.8 cm^2 (Figura 7).

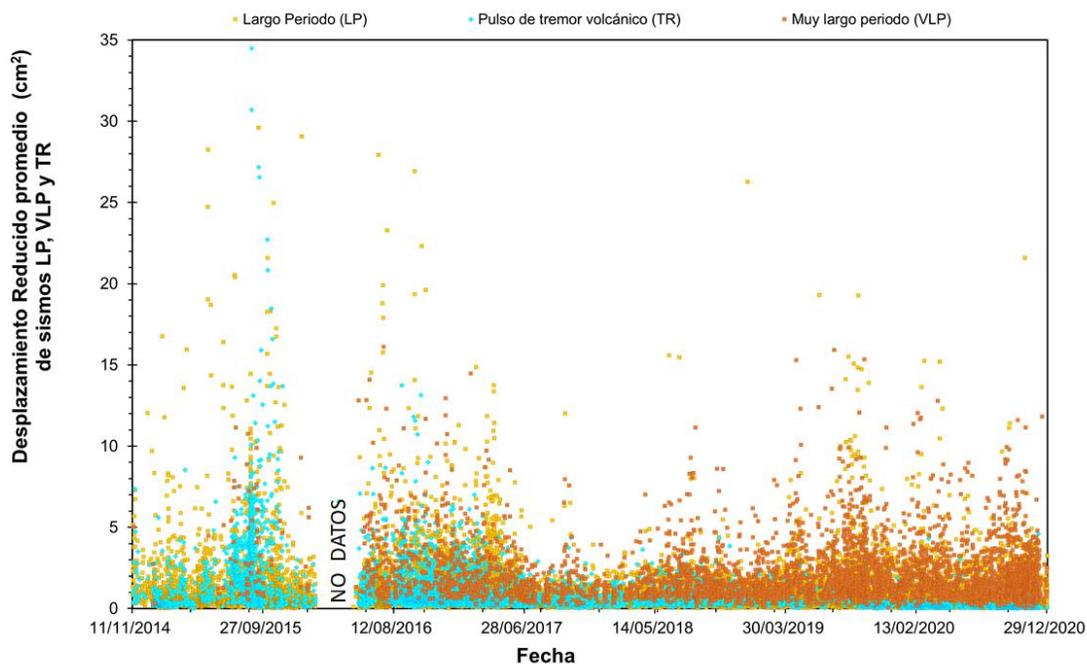


Figura 7. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP y TR, registrados en el VNR entre noviembre de 2014 y diciembre de 2020

Se destaca el 03 de diciembre la ocurrencia del episodio caracterizado por sismos relacionados con dinámica de fluidos en el interior de los conductos volcánicos, en general, estos episodios se caracterizaron por ser de corta a moderada duración, algunos episodios por estar compuestos de sismos tipo Híbrido asociados a fracturamiento de roca y movimiento de fluidos, presentaron niveles de energía muy bajos.

El tremor volcánico continuo (TC) se registró durante diciembre de forma ininterrumpida. En general, este presentó bajos niveles energéticos y rango espectral amplio (ancho de banda entre 1.0 a 15 Hz) y de mayor energía entre 2.0 – 6.0 Hz.

En cuanto a la sismicidad asociada a la dinámica glaciaria y/o procesos de movimientos en masa, las tasas diarias de sismicidad aumentaron en diciembre en comparación con las registradas en noviembre. La mayoría de estas señales sísmicas estuvieron asociadas a procesos de fracturamiento del casquete glaciario, caídas de roca o pequeñas avalanchas generadas por deshielo o fuertes precipitaciones.

2.1.1.2 Geodesia (Deformación)

En diciembre de 2020 el VNR no registró grandes deformaciones evidenciadas mediante los datos obtenidos de la posición de las estaciones GNSS permanentes, el monitoreo de la longitud de líneas base de las estaciones GNSS y los inclinómetros electrónicos.

Las estaciones GNSS mantienen estabilidad y no registran deformaciones como lo evidencian las estaciones GUALI y OLLETA (Figura 8 y Figura 9). La longitud de las líneas base GNSS también mantienen estabilidad como lo evidencian las líneas GUALI-OLLETA y RECIO-GUALI (Figura 10 y Figura 11).

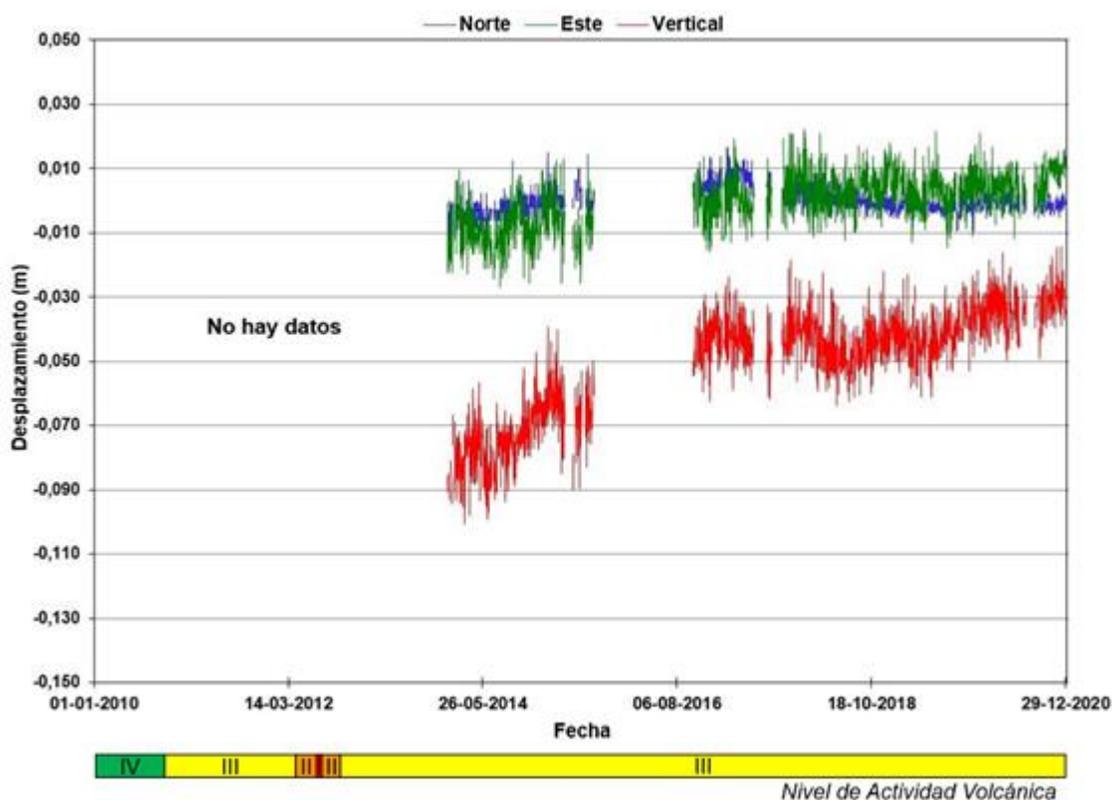


Figura 8. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS GUALI desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020

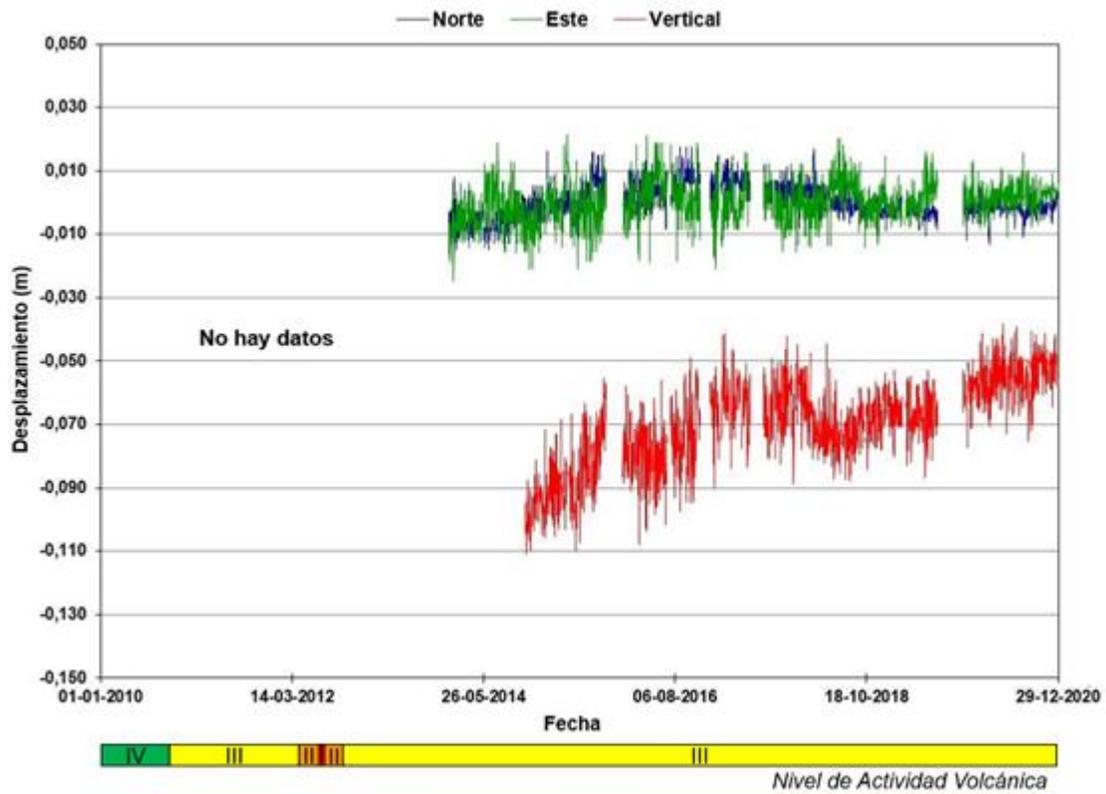


Figura 9. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS OLLETA desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020

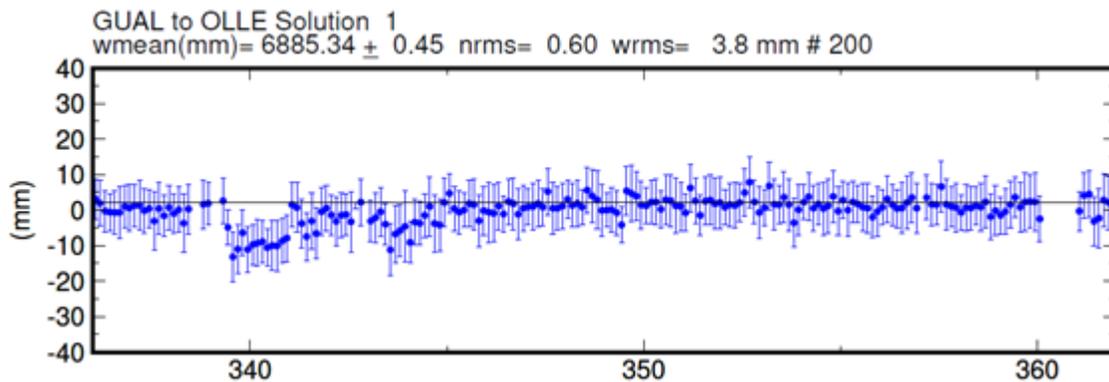


Figura 10. Comportamiento de la línea base GNSS GUALI-OLLETA durante diciembre de 2020

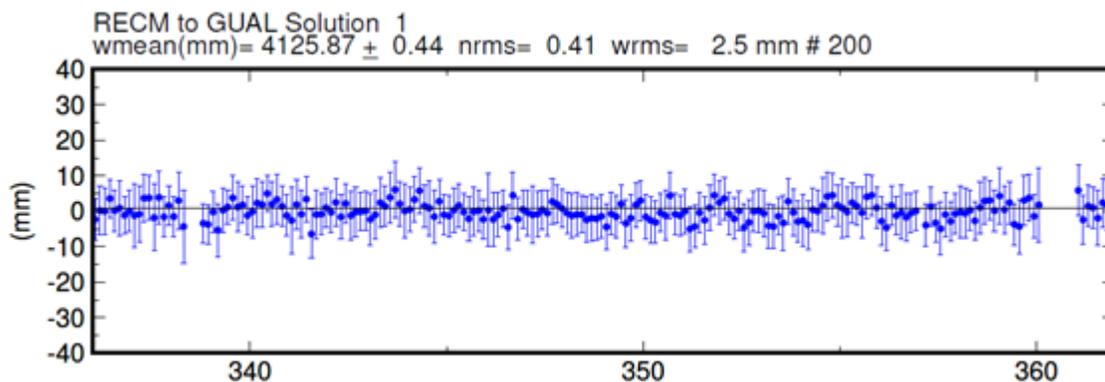


Figura 11. Comportamiento de la línea base GNSS RECIO-GUALI durante diciembre de 2020

Los inclinómetros electrónicos BIS2 y REFUGIO (Figura 12 y Figura 13) continúan presentado oscilaciones en las componentes Norte y Este debido al efecto de la temperatura, sin embargo, registra estabilidad en las dos componentes.

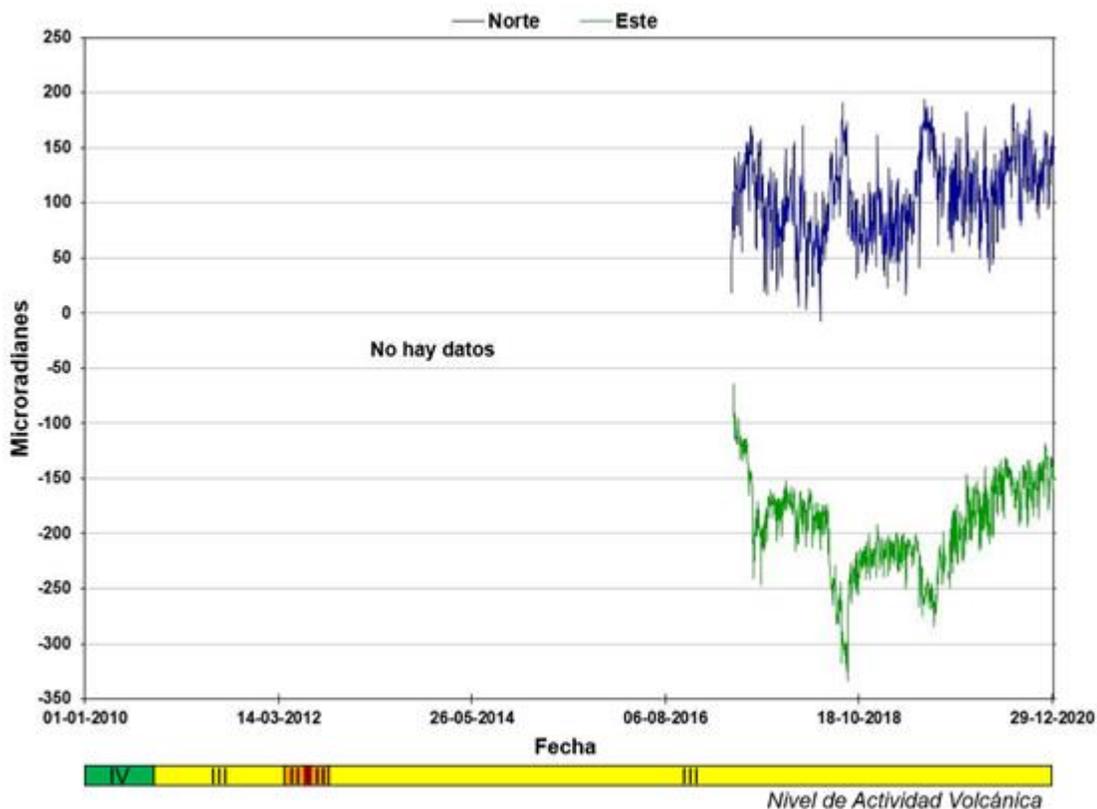


Figura 12. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico BIS2 desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020

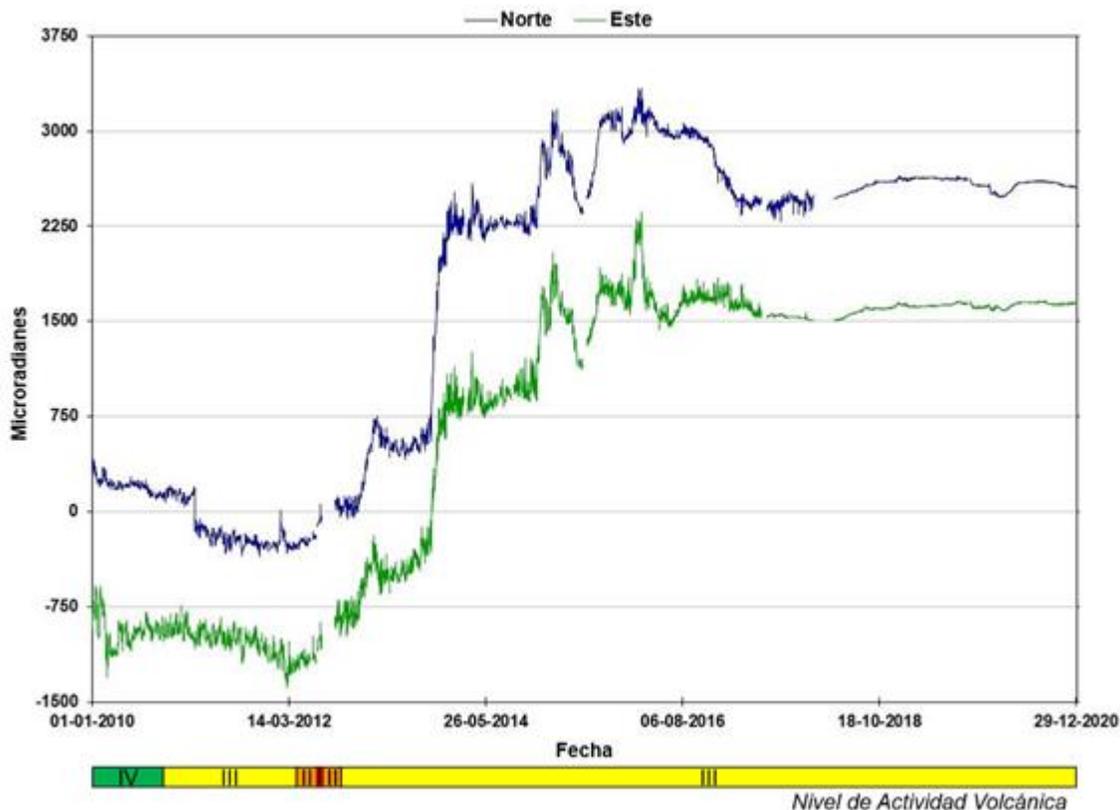


Figura 13. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico REFUGIO desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020

2.1.1.3 Geoquímica

Durante el mes las cantidades emitidas de dióxido de azufre se estimaron por medio de los datos obtenidos de las estaciones telemétricas ScanDOAS: ALFOMBRALES, EL CAMIÓN, OLLETA, BRUMA, RECIO y BILLAR. Los datos del flujo de SO_2 se calcularon 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*). Para la estimación de la desgasificación se utilizaron velocidades de viento que oscilaron entre 2.7 m/s y 5.7 m/s y dirección del viento al occidente - noroccidente. Los flujos máximos estimados de SO_2 variaron entre 340 y 7500 T/d aproximadamente, la media de los promedios fue de 1491 T/d (Figura 14).

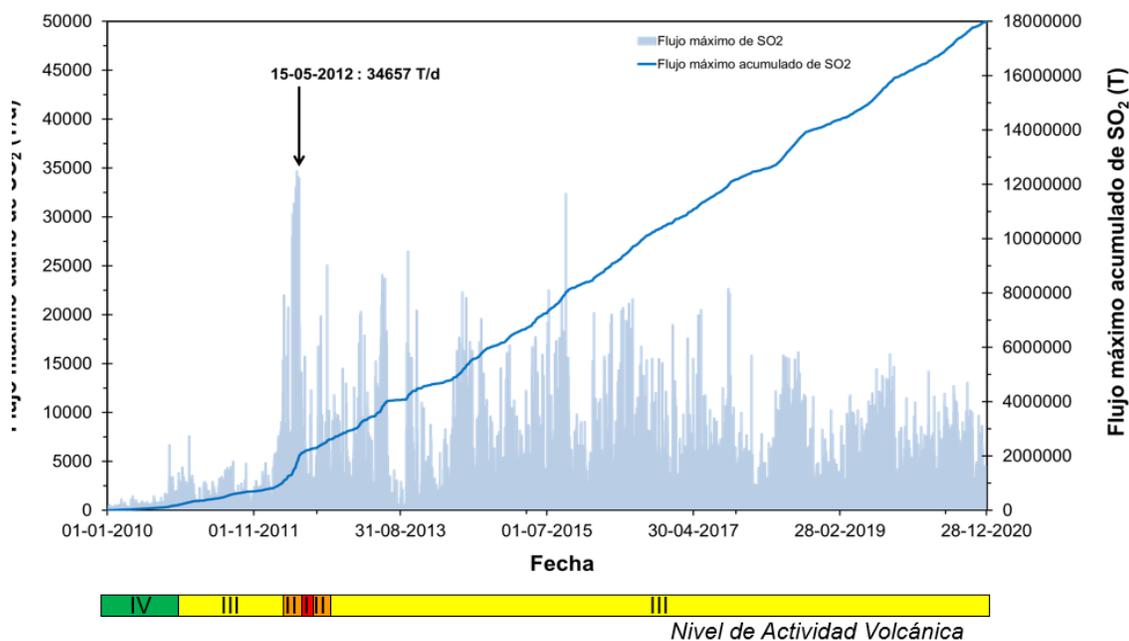


Figura 14. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO₂ Volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de diciembre de 2020. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO₂

Las estaciones de monitoreo de gas radón AZUFRAADO, OLLETA y ALFOMBRALES registraron datos promedios de 9210, 15180 y 1325 Bq/m³ respectivamente, valores que se encuentran dentro de la variación de sus líneas base.

2.1.1.4 Actividad superficial y anomalías térmicas

A partir de las observaciones visuales realizadas desde las instalaciones del SGC en Manizales y de las imágenes tomadas por las cámaras instaladas en el área del VNR, se realizó el seguimiento de la columna de gases relacionada con la actividad fumarólica del volcán en el cráter Arenas. La columna de gases alcanzó una altura máxima aproximada de 1700 m, medidos desde la cima del cráter el 20 de diciembre. La dirección de dispersión que predominó fue hacia el noroccidente. En general, la columna de gases se observó de color blanco debido al vapor de agua, ocasionalmente con matices azules por la presencia de aerosoles o tonalidades naranjas causados por la reflexión solar, especialmente en las primeras horas de la mañana y al final de la tarde (Figura 15).

El 05 de diciembre un sismo tipo pulso de tremor estuvo asociado a una emisión de gases y ceniza, confirmada a través de las cámaras instaladas en el área del volcán, fotografía de las 8:22 adjunta en la parte superior izquierda de la Figura 15. Adicionalmente, los

portales web MIROVA y NASA FIRMS reportaron anomalías térmicas de niveles energéticos bajos. El valor máximo para el mes fue de 3 Mw el 21 de diciembre a las 03:45 UTC.



Figura 15. Fotografías de la columna de gases en el cráter Arenas capturadas por las cámaras instaladas en el VNR, sectores Cañón del Azufrado (fotografías del 19 y 23 de diciembre), Olleta (fotografía del 05 de diciembre y Pitayó (fotografía del 31 de diciembre)

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 392 m (Figura 16).

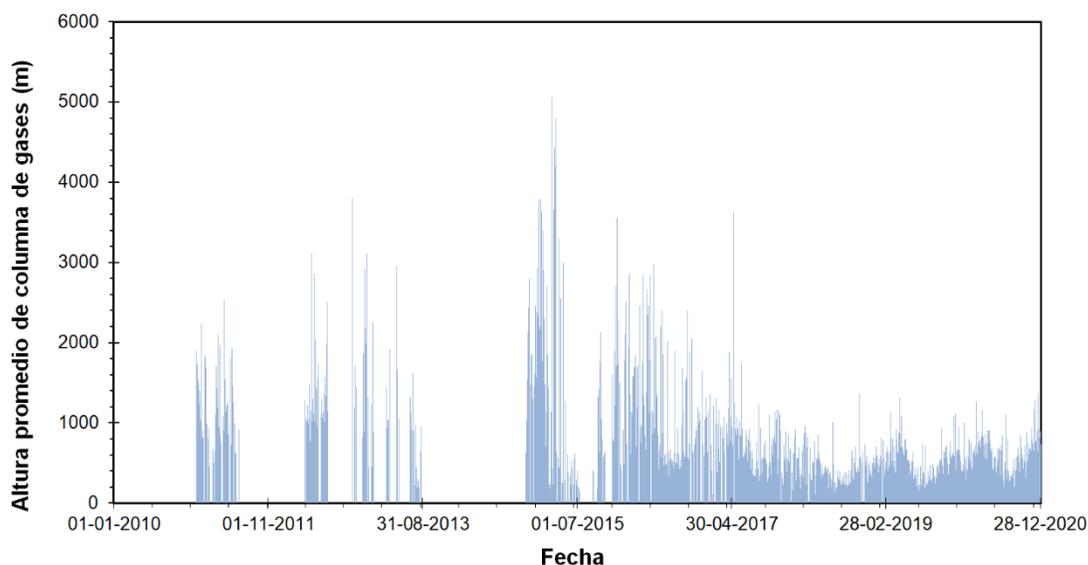


Figura 16. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDOAS

2.1.1.5 Diagnóstico de la actividad del volcán Nevado del Ruiz

A partir del análisis de los datos obtenidos en las diferentes técnicas especializadas utilizadas para el monitoreo del volcán, se evidencia que el VNR se encuentra en una etapa de mayor inestabilidad. Desde mediados de 2019 se han observado variaciones en la actividad volcánica, principalmente, a partir de los datos sismológicos (sus características y variabilidad), las fluctuaciones en la desgasificación (aumentos y disminuciones en el flujo o descarga de SO_2), cambios en la superficie del volcán registrados por las anomalías térmicas detectadas en el cráter Arenas, disminución en el registro de emisiones de ceniza y, en menor grado, en la deformación leve y local de la estructura volcánica evidenciada por las estaciones de la red de deformación del VNR durante diciembre de 2020. De acuerdo con los parámetros evaluados, 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)

Los principales datos de monitoreo volcánico multiparamétrico obtenidos durante diciembre para el VCM, a partir de los cuales el SGC realizó el diagnóstico de la actividad del volcán, son descritos a continuación:

2.1.2.1 Geofísica

La sismicidad registrada en el VCM durante diciembre estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en las inmediaciones del volcán. Esta actividad disminuyó en los eventos registrados y mantuvo niveles similares en la energía sísmica liberada (Figura 17 y Figura 18), con respecto a noviembre. Los sismos se localizaron principalmente en los sectores suroccidente, sur del domo principal y, en menor proporción, al occidente de la estructura volcánica, a profundidades entre 1.8 y 15.3 km (Figura 19). Se destaca el incremento sísmico de baja energía en el sector suroccidental registrado el 27 de diciembre. La mayor magnitud registrada durante el mes fue 1.8 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 13 de diciembre a las 03:31 (hora local), localizado a 9.0 km al suroccidente del domo principal, a una profundidad de 7.3 km.

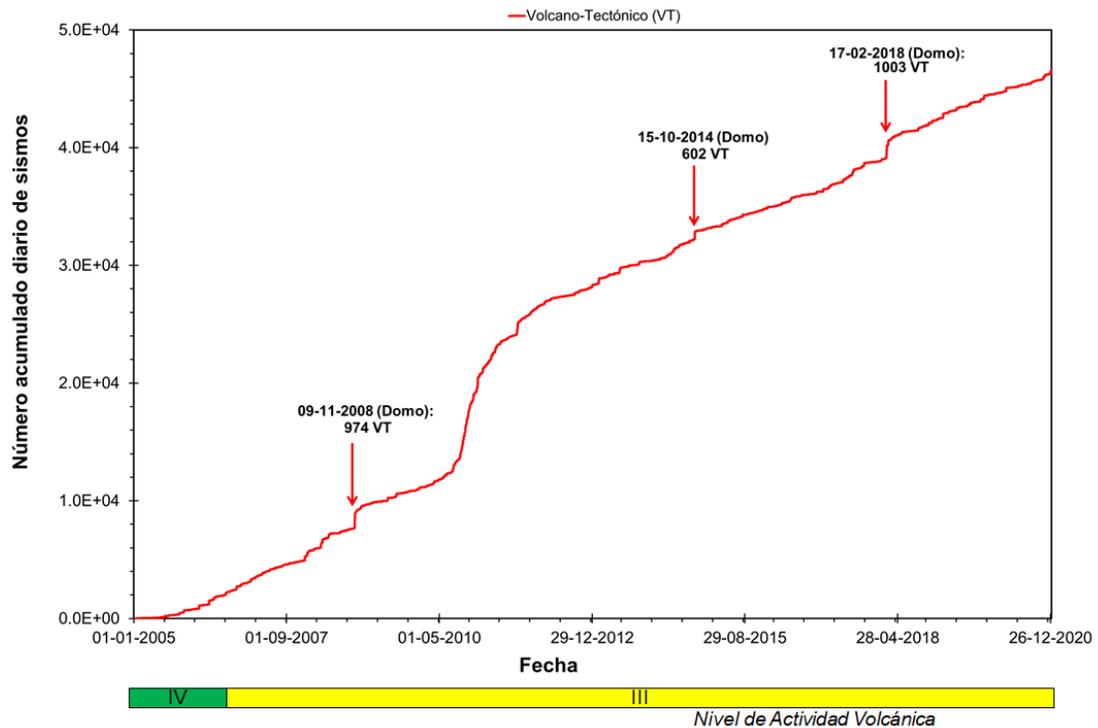


Figura 17. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de diciembre de 2020. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número y sector de localización de los eventos

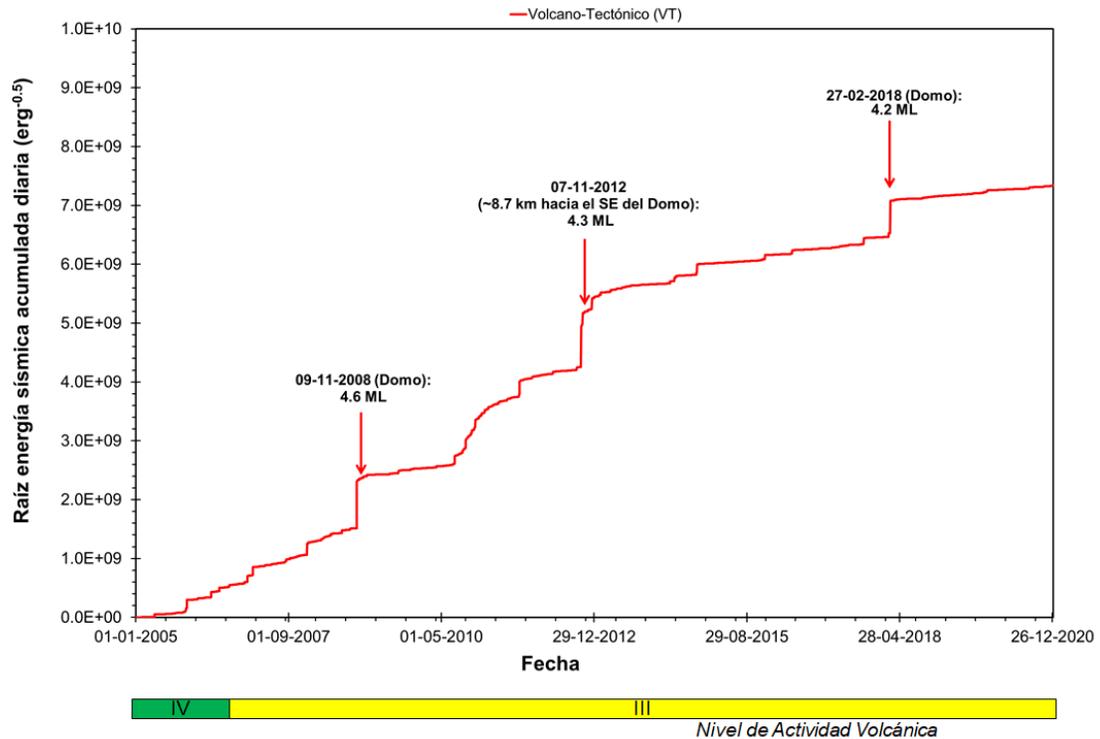


Figura 18. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de diciembre de 2020. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la Magnitud Local (ML) máxima registrada y el sector de localización de ésta

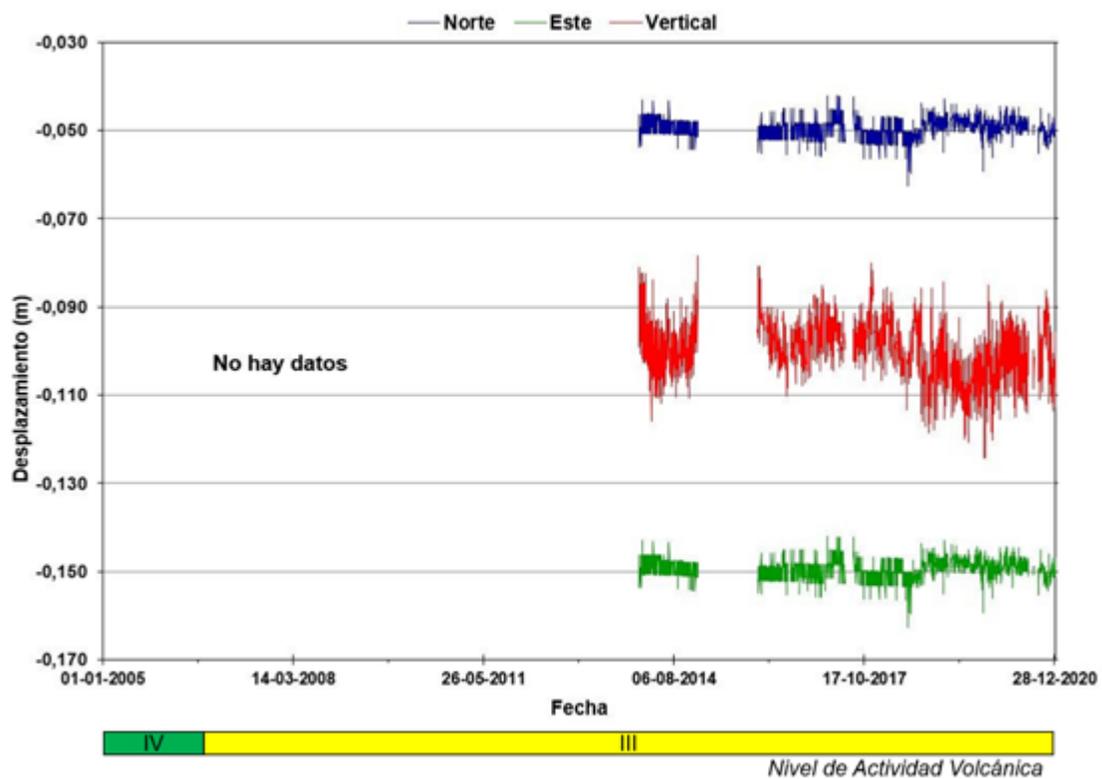


Figura 20. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS MORAL desde enero de 2005 hasta diciembre de 2020

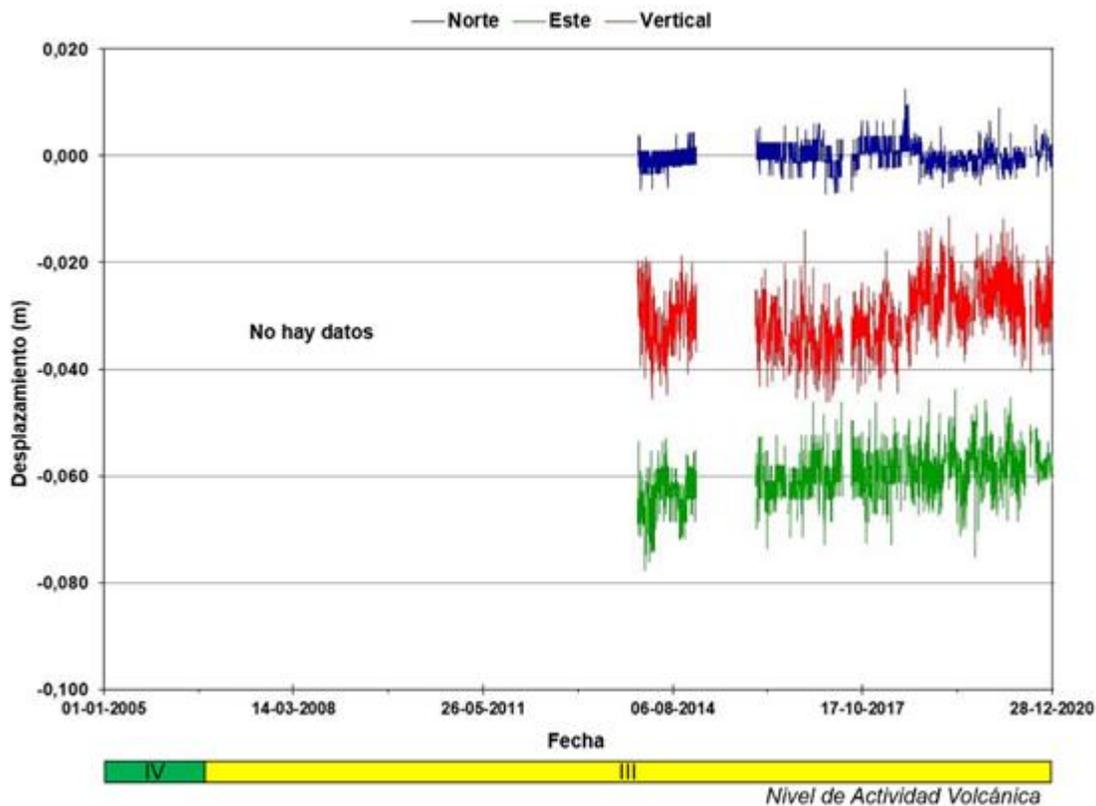


Figura 21. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS SECRETA desde enero de 2005 hasta diciembre de 2020

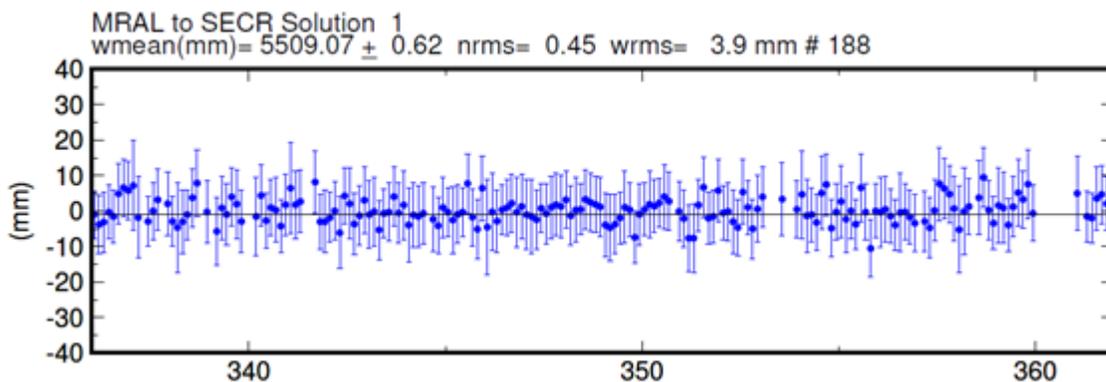


Figura 22. Comportamiento de la línea base GNSS MORAL-SECRETA durante diciembre de 2020

El inclinómetro electrónico CIMA (Figura 23) presenta pequeñas oscilaciones generadas por el efecto de la temperatura y reducidas por el sistema de protección y continúa registrando estabilidad.

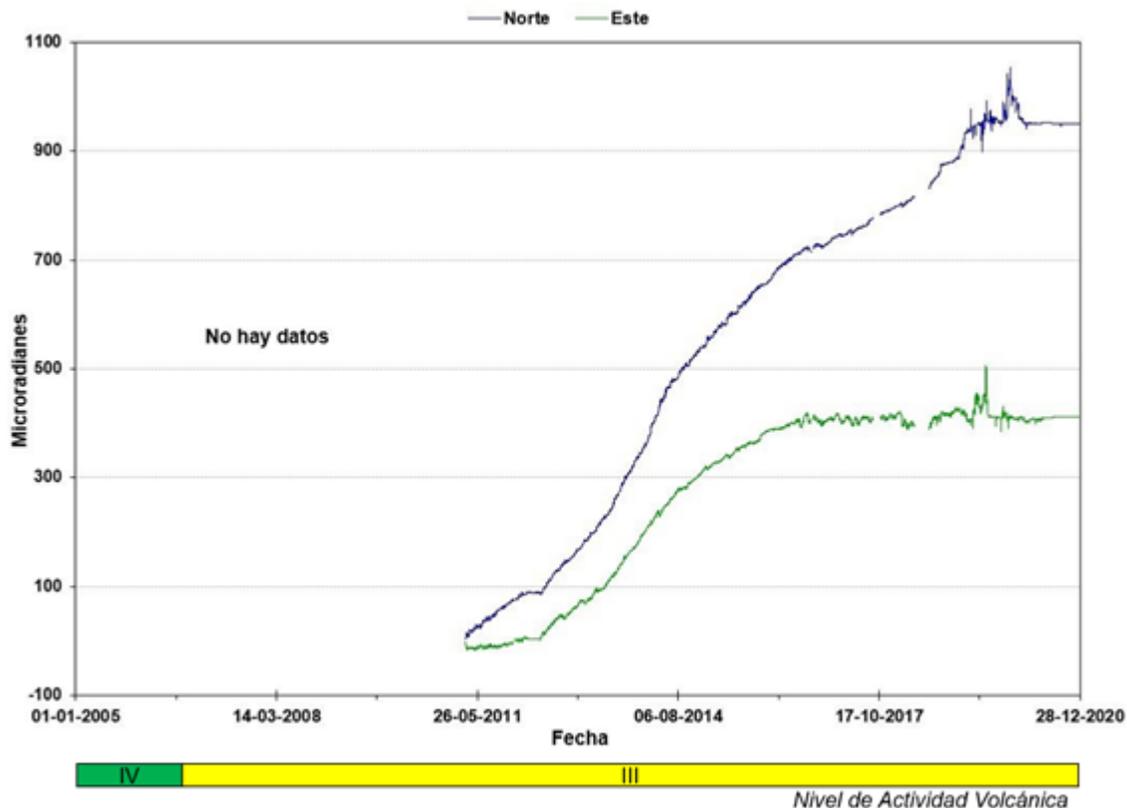


Figura 23. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CIMA desde enero de 2005 hasta diciembre de 2020

2.1.2.3 Geoquímica

El monitoreo geoquímico telemétrico de la estación telemétrica de temperatura ubicada en la fuente termal ESTATUAS, luego del cambio en la tarjeta electrónica, está registrando un valor promedio de 87.3°C, valor que se encuentra entre 3 y 4 grados centígrados más que los valores que ha venido registrando en los meses anteriores.

2.1.2.4 Diagnóstico de la actividad volcánica del Volcán Cerro Machín

A partir del monitoreo multiparamétrico realizado en el volcán se evidencia que el VCM continuó mostrando cambios leves en su comportamiento a partir de los datos sismológicos, mientras que los parámetros geoquímicos y geodésicos monitoreados presentaron estabilidad, por lo tanto, en base al análisis de la información registrada en diciembre, el SGC 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, o presentar 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.

2.2.1 Geofísica

A continuación, se describen las principales observaciones realizadas en diciembre de los diferentes parámetros monitoreados en los volcanes que se encuentran en este nivel.

Los volcanes en Nivel de Actividad Verde registraron principalmente sismicidad de tipo volcano-tectónica (Figura 24, Figura 25 y Figura 26). En comparación a noviembre de 2020, el comportamiento de la sismicidad en estos volcanes fue el siguiente:

El volcán Cerro Bravo (VCB) presentó actividad sísmica de baja energía relacionada con actividad de fracturamiento, actividad superficial caracterizada por pequeñas avalanchas y desprendimientos de rocas en la estructura volcánica.

El Complejo Volcánico Cerro España (CVCE) aumentó levemente en el número de sismos registrados y disminuyó en la energía sísmica liberada con relación a noviembre.

El volcán Nevado de Santa Isabel (VNSI) aumentó en el número de sismos y en la energía sísmica liberada con respecto a noviembre. Se destaca el incremento sísmico de baja energía en el sector suroccidental registrado el 23 de diciembre.

El volcán Paramillo de Santa Rosa (VPSR) aumentó en el número de sismos y mantuvo niveles similares en la energía sísmica liberada en comparación a la registrada en noviembre.

El volcán Paramillo del Cisne (VPC) presentó niveles similares en el número de sismos y aumentó la energía sísmica liberada con respecto al mes anterior.

El volcán Paramillo del Quindío (VPQ) presentó disminución en la energía sísmica liberada y un aumento en el número de sismos registrados.

El volcán Nevado del Tolima (VNT) presentó disminución en el número de sismos y aumento en la energía sísmica liberada.

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

La sismicidad asociada a la actividad del glaciar en la superficie del VNSI y VNT presentó aumento en las tasas diarias.

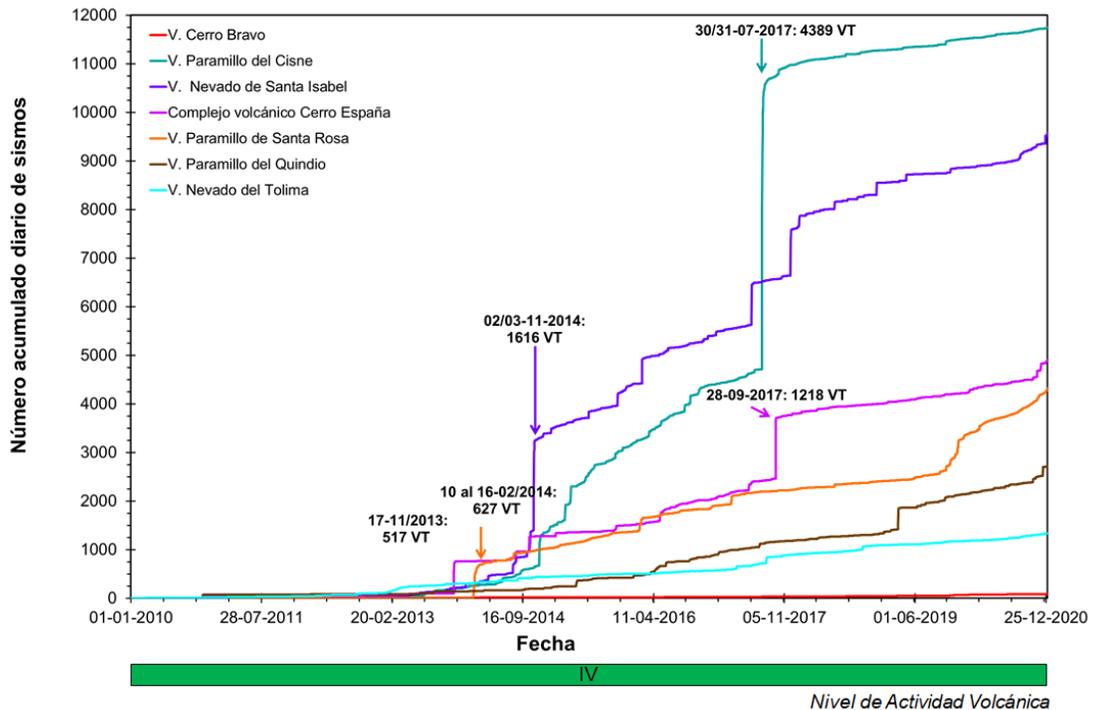


Figura 24. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero 2010 y el 31 diciembre de 2020. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado

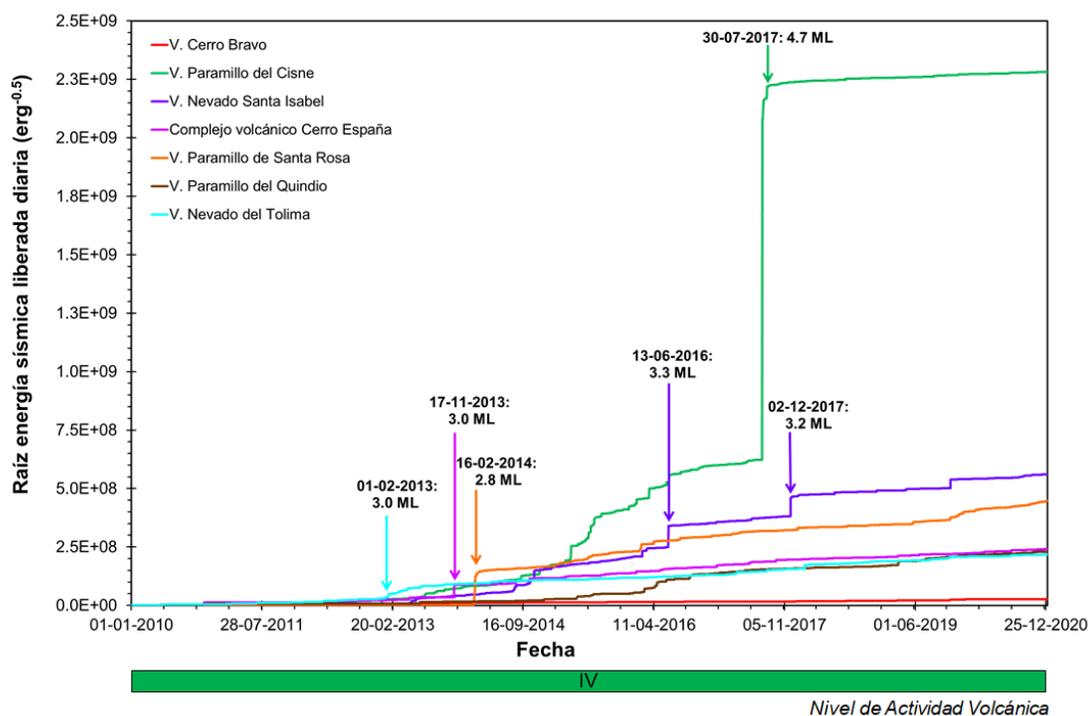


Figura 25. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2020. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la Magnitud Local (ML) máxima registrada

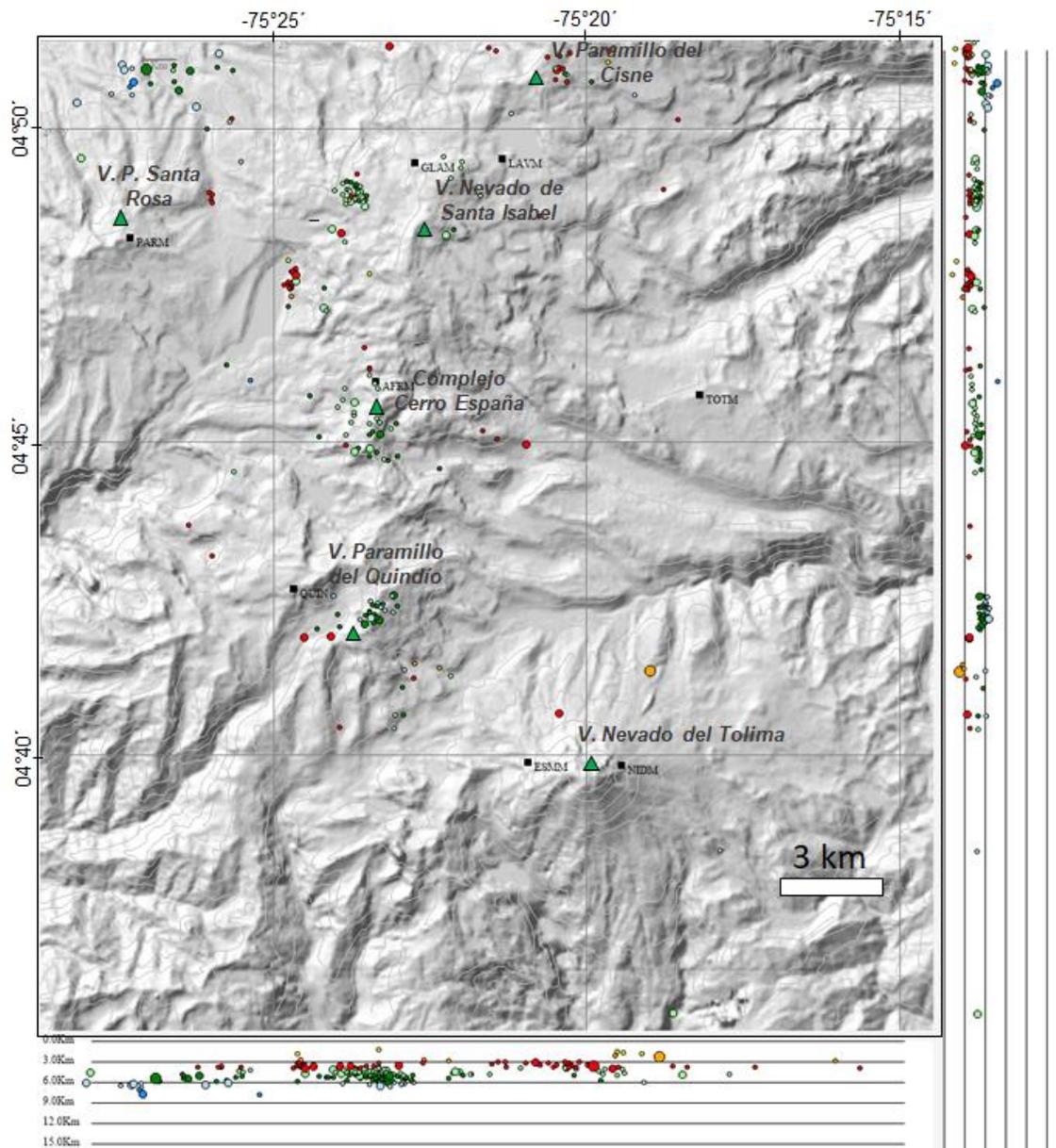


Figura 26. Mapa de localización de los sismos volcánico-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VCB, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, durante diciembre de 2020. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas

2.2.2 Geodesia (Deformación)

Durante diciembre de 2020, las estaciones GNSS permanentes, la longitud de líneas base de las estaciones GNSS y los inclinómetros electrónicos instalados en los volcanes CB,

PQ, PSR, NSI y NT no detectaron deformaciones significativas, manteniendo estabilidad en la superficie volcánica.

La estación GNSS AFRICA continúa mostrando estabilidad (Figura 27), al igual que la longitud de las líneas base GNSS AFRICA-OTUN y ESMERALDA-QUINDIO (Figura 28 y Figura 29) de los volcanes NSI, PQ, PSR y NT. Las figuras 30 y 31 muestran el comportamiento de los inclinómetros CHAVA y ESMERALDA de los volcanes NSI y NT respectivamente, los cuales mantienen estabilidad.

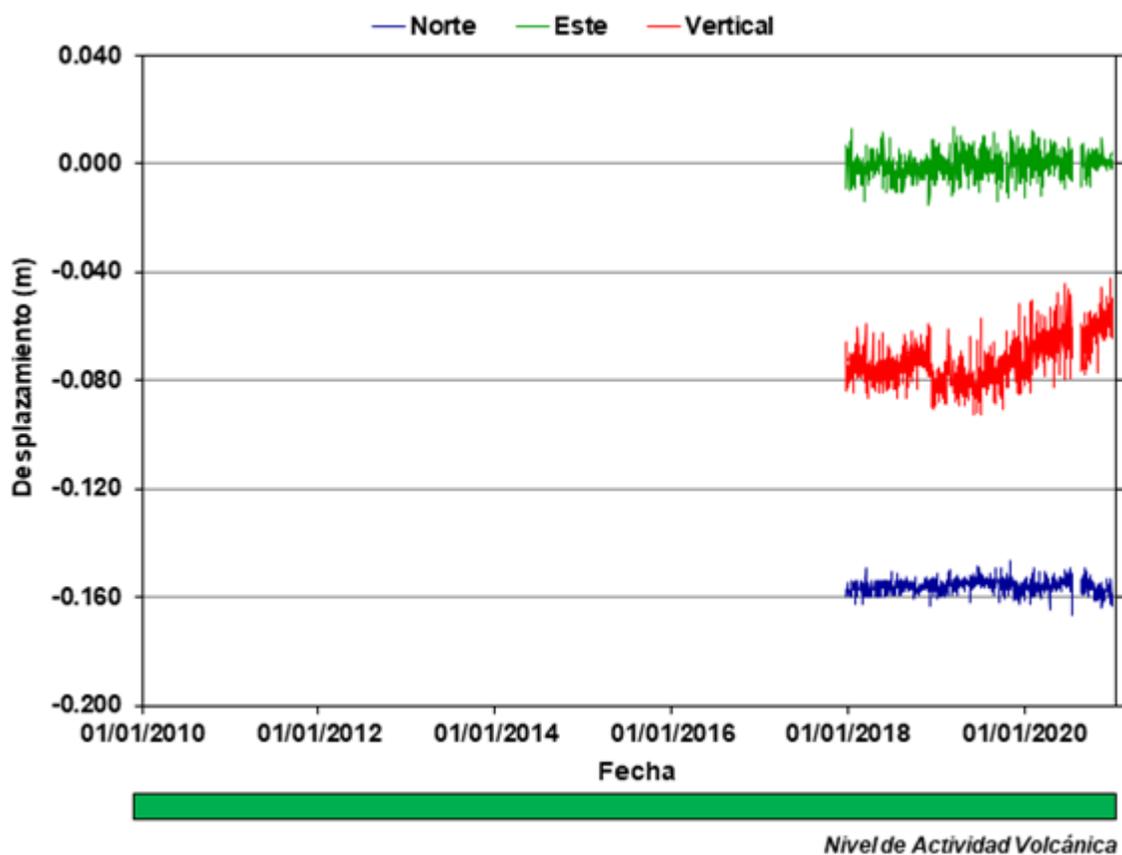


Figura 27. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS AFRICA desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020

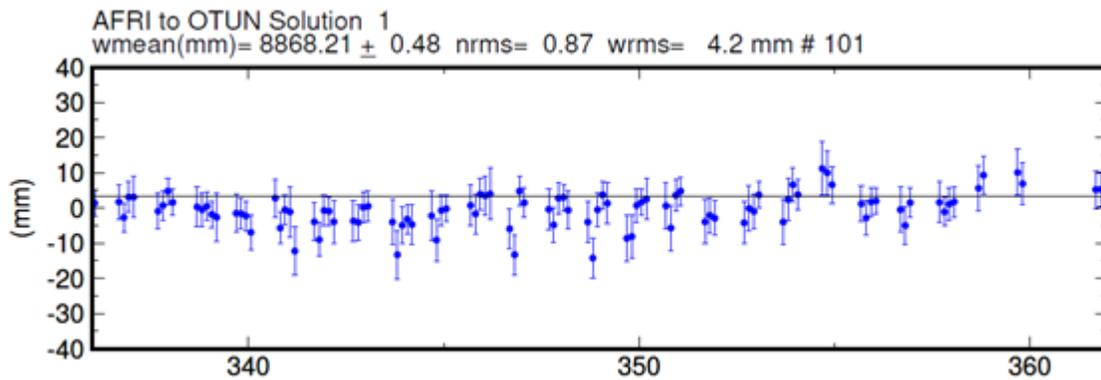


Figura 28. Comportamiento de la línea base GNSS AFRICA-OTUN durante diciembre de 2020

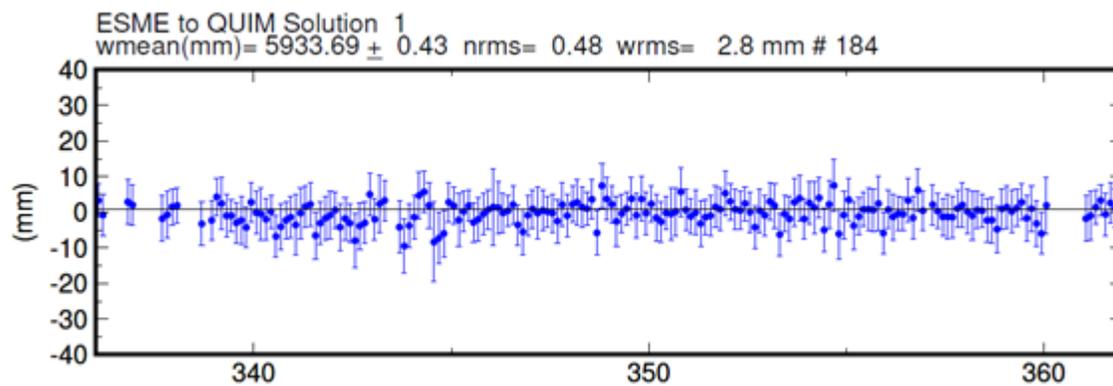


Figura 29. Comportamiento de la línea base GNSS ESMERALDA-QUINDIO durante diciembre de 2020

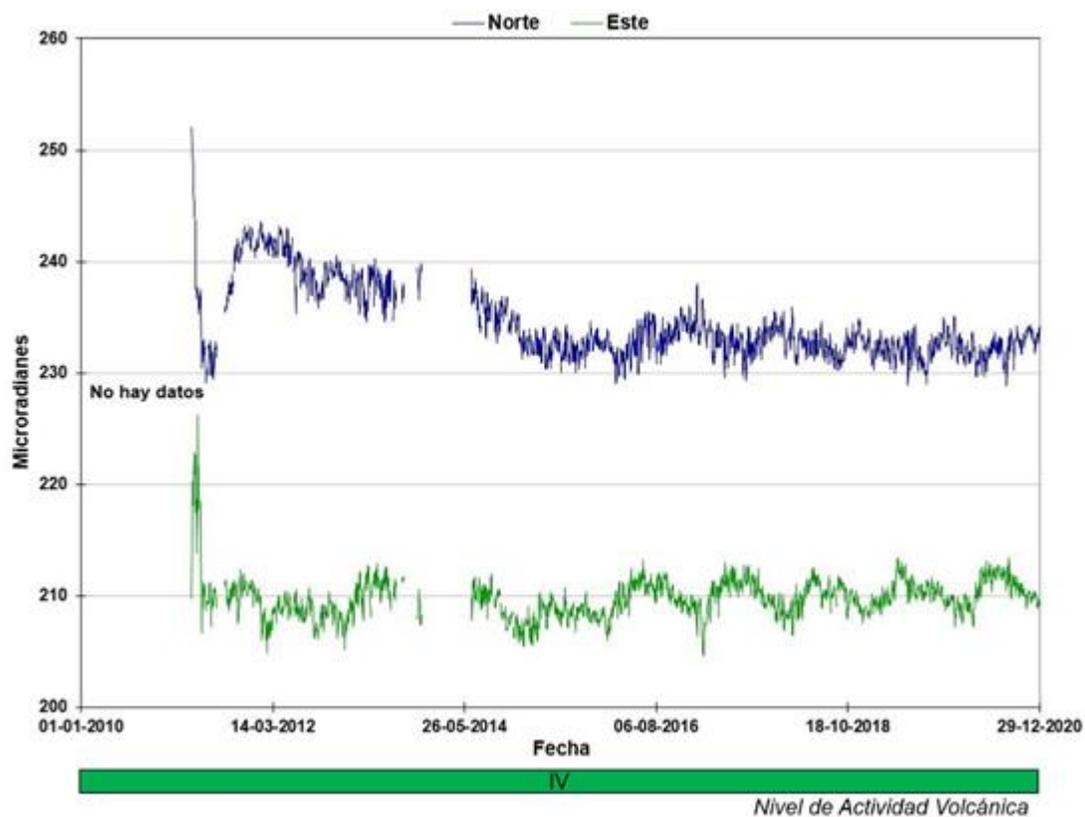


Figura 30. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CHAVA (VNSI) desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020

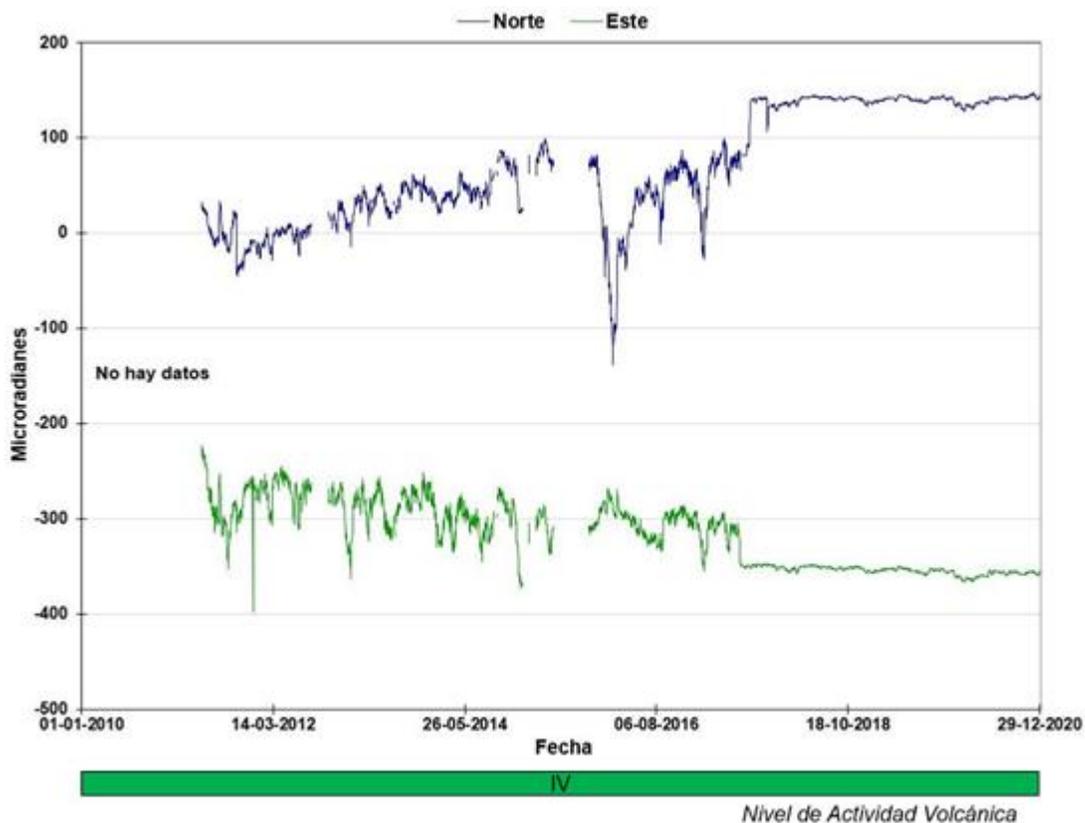


Figura 31. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico ESME (VNT) desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020

2.2.3 Diagnóstico de la actividad volcánica

A partir de los principales datos obtenidos del monitoreo permanente y continuo realizado en los volcanes Cerro Bravo, Nevado de Santa Isabel, Complejo Volcánico Cerro España, Paramillo del Cisne, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío, Nevado del Tolima, San Diego y Romeral, se evidencia que estos volcanes presentaron estabilidad durante diciembre. Los niveles de sismicidad permanecieron bajos, tanto en número y energía sísmica. Adicionalmente, las estaciones de las redes de deformación de los volcanes CB, PQ, PRS, NSI y NT no detectaron deformaciones significativas evidenciando estabilidad en la superficie. Con base en la evaluación de la información obtenida, el SGC determina que estos volcanes continúan en NIVEL DE ACTIVIDAD VERDE ● (o IV): volcán activo y comportamiento estable.

CONCLUSIONES

- La información obtenida del monitoreo y evaluación de parámetros geofísicos, geodésicos y geoquímicos de los volcanes Nevado del Ruiz (VNR) y Cerro Machín (VCM) ubicados en el Segmento Volcánico Norte de Colombia permite evidenciar que continúan mostrando cambios en el comportamiento de la actividad (Nivel Amarillo); mientras que las demás estructuras volcánicas monitoreadas del segmento mantienen su nivel de estabilidad (Nivel Verde).
- Los datos del monitoreo sismológico obtenidos en diciembre muestran que la sismicidad registrada en el VNR estuvo asociada tanto al fracturamiento de rocas (volcano-tectónica - VT) en inmediaciones de la estructura volcánica como a la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos. También se presentaron señales sísmicas relacionadas con la dinámica del glaciar que cubre la parte superior del volcán. La sismicidad VT aumento en el número de sismos y en la energía sísmica liberada con respecto a noviembre. Estos eventos se localizaron principalmente en el cráter Arenas y los sectores occidente-suroccidente, nor-nororiental, sur-suroccidente de la estructura volcánica. Se evidenció un aumento en la actividad sísmica tipo “*drumbeat*”, compuesta de sismos VT, la cual se caracterizó por ser de corta a moderada duración y presentar niveles de energía muy bajos. La sismicidad asociada a la dinámica de fluidos estuvo caracterizada principalmente por episodios de tremor volcánico continuo durante todo el mes, también se registraron sismos de baja y muy baja frecuencia, con niveles de energía y contenidos espectrales variables, y pulsos de tremor volcánico, uno de los cuales estuvo asociado a una pequeña emisión de gases y ceniza. Las tasas diarias de señales sísmicas relacionadas con la dinámica del glaciar aumentaron en diciembre en comparación con las registradas en noviembre.
- Las estaciones de la red geodésica del VNR evidenciaron, en general, estabilidad en la superficie volcánica. Respecto al monitoreo geoquímico se evidenció la continua emisión de gases magmáticos a la atmósfera principalmente dióxido de azufre (SO₂).
- En el volcán Cerro Machín continuó el registro de la sismicidad asociada a fracturamiento de roca, la cual se localizó principalmente en los sectores suroccidente y sur del domo principal, mostrando una disminución en los eventos sísmicos y manteniendo niveles de energía sísmica liberada similares al mes anterior. Los demás parámetros geofísicos y geoquímicos monitoreados no mostraron cambios significativos.

- Los demás volcanes monitoreados del Segmento Volcánico Norte de Colombia presentaron variaciones menores en la sismicidad relacionada con fractura de roca y no mostraron cambios en los demás parámetros geofísicos, geoquímicos y geológicos monitoreados
- Las estaciones de las redes de deformación de los volcanes CB, PQ, PRS, NR, NSI y NT no detectaron deformaciones significativas hasta diciembre de 2020 evidenciando estabilidad en la superficie.
- Con base en la evaluación integral de los parámetros que se monitorean continuamente, se establece para septiembre 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”.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de sombras donde se observa la localización de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia	3
Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia	3
Figura 3. Estación multiparamétrica BIS en el volcán Nevado del Ruiz	4
Figura 4. 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 diciembre de 2020. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado	6
Figura 5. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT y HB, registrada en el VNR entre el 01 de enero de 2010 y el 31 de diciembre de 2020. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la Magnitud Local (ML) máxima registrada	7
Figura 6. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR, durante diciembre de 2020. Los cuadros de color negro representan las estaciones	8
Figura 7. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP y TR, registrados en el VNR entre noviembre de 2014 y diciembre de 2020	9
Figura 8. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS GUALI desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020	10
Figura 9. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS OLLETA desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020	11
Figura 10. Comportamiento de la línea base GNSS GUALI-OLLETA durante diciembre de 2020	11
Figura 11. Comportamiento de la línea base GNSS RECIO-GUALI durante diciembre de 2020	12
Figura 12. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico BIS2 desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020	12
Figura 13. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico REFUGIO desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020	13
Figura 14. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO ₂ Volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de diciembre de 2020. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO ₂	14
Figura 15. Fotografías de la columna de gases en el cráter Arenas capturadas por las cámaras instaladas en el VNR, sectores Cañón del Azufrado (fotografías del 19 y 23 de diciembre), Olleta (fotografía del 05 de diciembre y Pitayó (fotografía del 31 de diciembre)	15

Figura 16. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDOAS	16
Figura 17. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de diciembre de 2020. 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	18
Figura 18. 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 diciembre de 2020. 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	19
Figura 19. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante diciembre de 2020. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas	20
Figura 20. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS MORAL desde enero de 2005 hasta diciembre de 2020	21
Figura 21. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS SECRETA desde enero de 2005 hasta diciembre de 2020	22
Figura 22. Comportamiento de la línea base GNSS MORAL-SECRETA durante diciembre de 2020	22
Figura 23. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CIMA desde enero de 2005 hasta diciembre de 2020	23
Figura 24. 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 diciembre de 2020. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado	25
Figura 25. 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 diciembre de 2020. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la Magnitud Local (ML) máxima registrada	26
Figura 26. Mapa de localización de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VCB, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, durante diciembre de 2020. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas	27
Figura 27. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS AFRICA desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020	28
Figura 28. Comportamiento de la línea base GNSS AFRICA-OTUN durante diciembre de 2020	29

Figura 29. Comportamiento de la línea base GNSS ESMERALDA-QUINDIO durante diciembre de 2020	29
Figura 30. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CHAVA (VNSI) desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020	30
Figura 31. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico ESME (VNT) desde enero de 2010 hasta diciembre de 2020	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Trabajos realizados sobre la red de vigilancia telemétrica de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia	3
---	---