



Dirección de
Geoamenazas

INFORME TÉCNICO – OPERATIVO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

SEGMENTO VOLCANICO NORTE DE COLOMBIA - ABRIL DE 2021

Manizales, mayo de 2021



SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©



**Dirección de
Geoamenazas**

Oscar Paredes Zapata

Director General

Marta Lucía Calvache Velasco

Director Técnico de Geoamenazas

María Luisa Monsalve Bustamente

Coordinadora SGC - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales

Cristian Mauricio López Vélez

Coordinador Evaluación y Monitoreo de la Actividad Volcánica

AUTORES

Álvaro Esteban Acevedo

Claudia Patricia Álvarez

Juan José Idárraga

Milton Ordóñez

Beatriz Elena Galvis

Julián Ramírez

Lina Constanza García

Lina Marcela Castaño

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	3
2 ACTIVIDAD VOLCÁNICA	6
2.1 Volcanes en nivel de actividad amarillo	6
2.1.1 Volcán Nevado del Ruiz (VNR)	6
2.1.1.1 Geofísica	6
2.1.1.2 Geodesia (Deformación)	12
2.1.1.3 Geoquímica	15
2.1.1.4 Actividad superficial y anomalías térmicas	16
2.1.1.5 Diagnóstico de la actividad del volcán Nevado del Ruiz	18
2.1.2 Volcán Cerro Machín (VCM)	19
2.1.2.1 Geofísica	19
2.1.2.2 Geodesia (Deformación)	21
2.1.2.3 Geoquímica	24
2.1.2.4 Diagnóstico de la actividad volcánica del Volcán Cerro Machín	24
2.2 Volcanes en nivel de actividad verde	26
2.2.1 Geofísica	26
2.2.2 Geodesia (Deformación)	29
2.2.3 Diagnóstico de la actividad volcánica	31
CONCLUSIONES	32

RESUMEN

Los volcanes Nevado del Ruiz (VNR) y Cerro Machín (VCM), durante abril de 2021 siguieron con un comportamiento acorde al nivel de actividad establecido para ellos.

El VNR continúa con su proceso de desgasificación emitiendo a la atmósfera columnas de vapor de agua y dióxido de azufre (SO₂), principalmente.

Respecto a la sismicidad, el comportamiento del VNR tuvo comportamiento similar al presentado en meses anteriores: incrementos relacionados con fractura, señales asociadas a fluidos al interior de los conductos volcánicos, sismicidad tipo *drumbeat* y tremor volcánico continuo permanente. Se tuvieron pequeñas emisiones de ceniza y anomalías térmicas de baja energía reportadas.

Aunque en general hubo estabilidad en la superficie del volcán a partir de los datos de deformación, se evidencia un comportamiento inestable del volcán.

En el VCM el comportamiento durante abril fue parecido al reportado el mes pasado. Incrementos de sismicidad al sur y sur-occidente del domo principal con magnitud importante de 2.5 ML (magnitud local) registrada. Continúa un comportamiento inestable.

Los demás volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia (SVNC) presentaron bajos niveles de actividad sísmica, principalmente relacionada con fracturamiento de roca, sin cambios en la estabilidad en la superficie volcánica y en los demás parámetros geofísicos, 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  (o III): Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”. Los volcanes Nevado del Tolima, Cerro Bravo, Nevado Santa Isabel, Paramillo del Cisne, Paramillo del Quindío, Complejo volcánico Cerro España, Paramillo de Santa Rosa, San Diego y Romeral continúan en “NIVEL VERDE  (o IV): Volcán activo y comportamiento estable”.

ABSTRACT

The volcanoes Nevado del Ruiz (VNR) and Cerro Machín (VCM), during April 2021 continued with a behavior according to the level of activity established for them.

The VNR continues its degassing process, emitting columns of water vapor and sulfur dioxide (SO₂), into the atmosphere.

Regarding seismicity, the behavior of the VNR had a behavior like that presented in previous months: increases related to fracture, signals associated with fluids inside the volcanic conduits, drumbeat-type seismicity and permanent continuous volcanic tremor. There were small ash emissions and low energy thermal anomalies reported.

Although in general there was stability on the surface of the volcano from the deformation data, an unstable behavior of the volcano is evidenced.

In the VCM, the comportment during April was similar to that reported last month. Increases in seismicity to the south and south-west of the main dome with a significant magnitude of 2.5 ML (local magnitude) recorded. Unstable behavior continues.

The other volcanoes of the Northern Volcanic Segment of Colombia (SVNC) presented low levels of seismic activity, mainly related to rock fracturing, no changes in the stability of the volcanic surface and in the other geophysical, geochemical and geological parameters monitored.

Based on the integral evaluation of the parameters that are continuously monitored by the SGC, the Nevado del Ruiz and Cerro Machín volcanoes 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). 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 abril de 2021. 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.

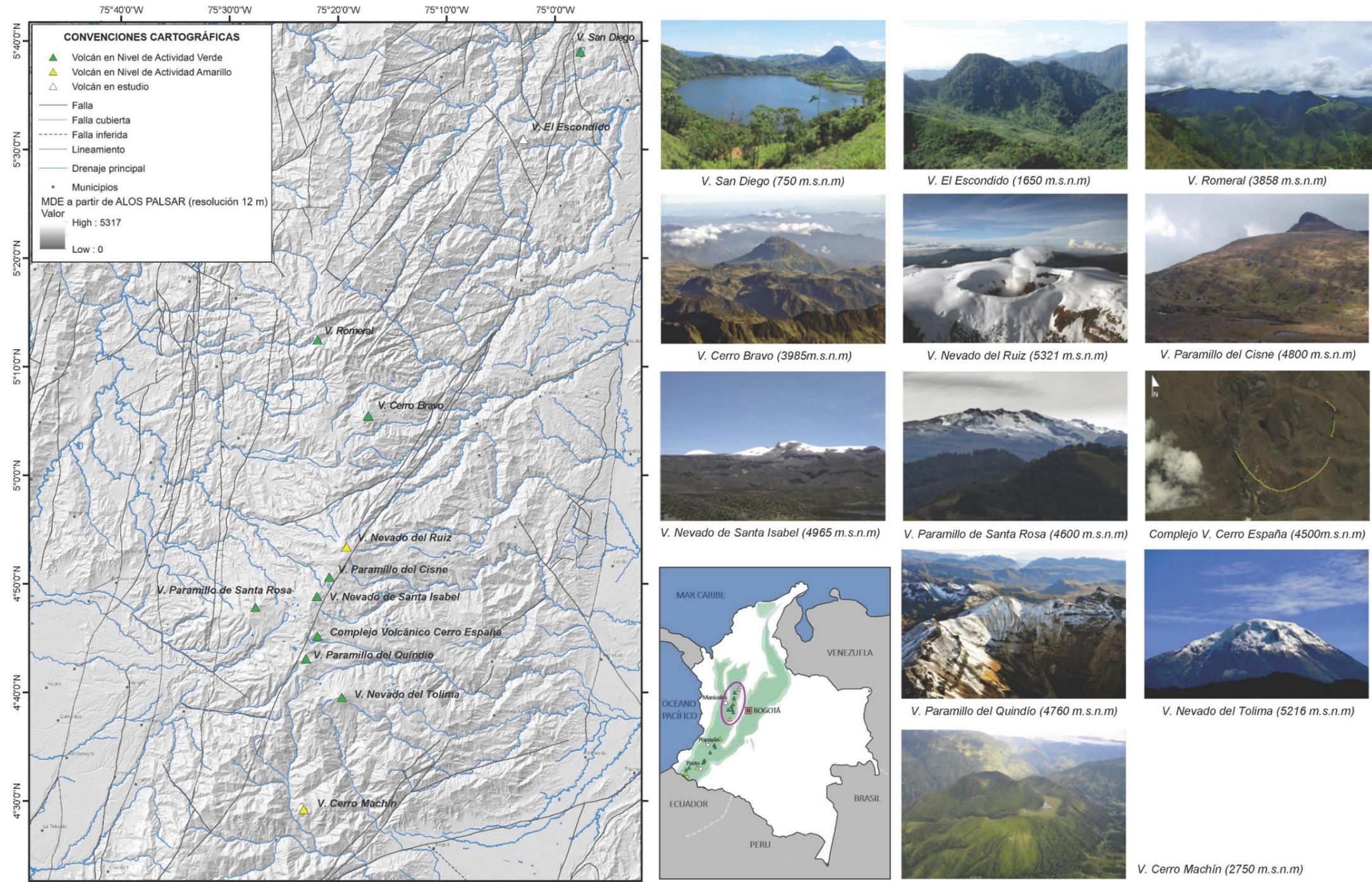


Figura 1. Localización y fotografías de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia. La imagen a la izquierda corresponde a un mapa de sombras realizado a partir de un MDE (o DEM) de 12 m de resolución

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 156 estaciones ubicadas en campo (155 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 abril de 2021 fue del 83.9%.

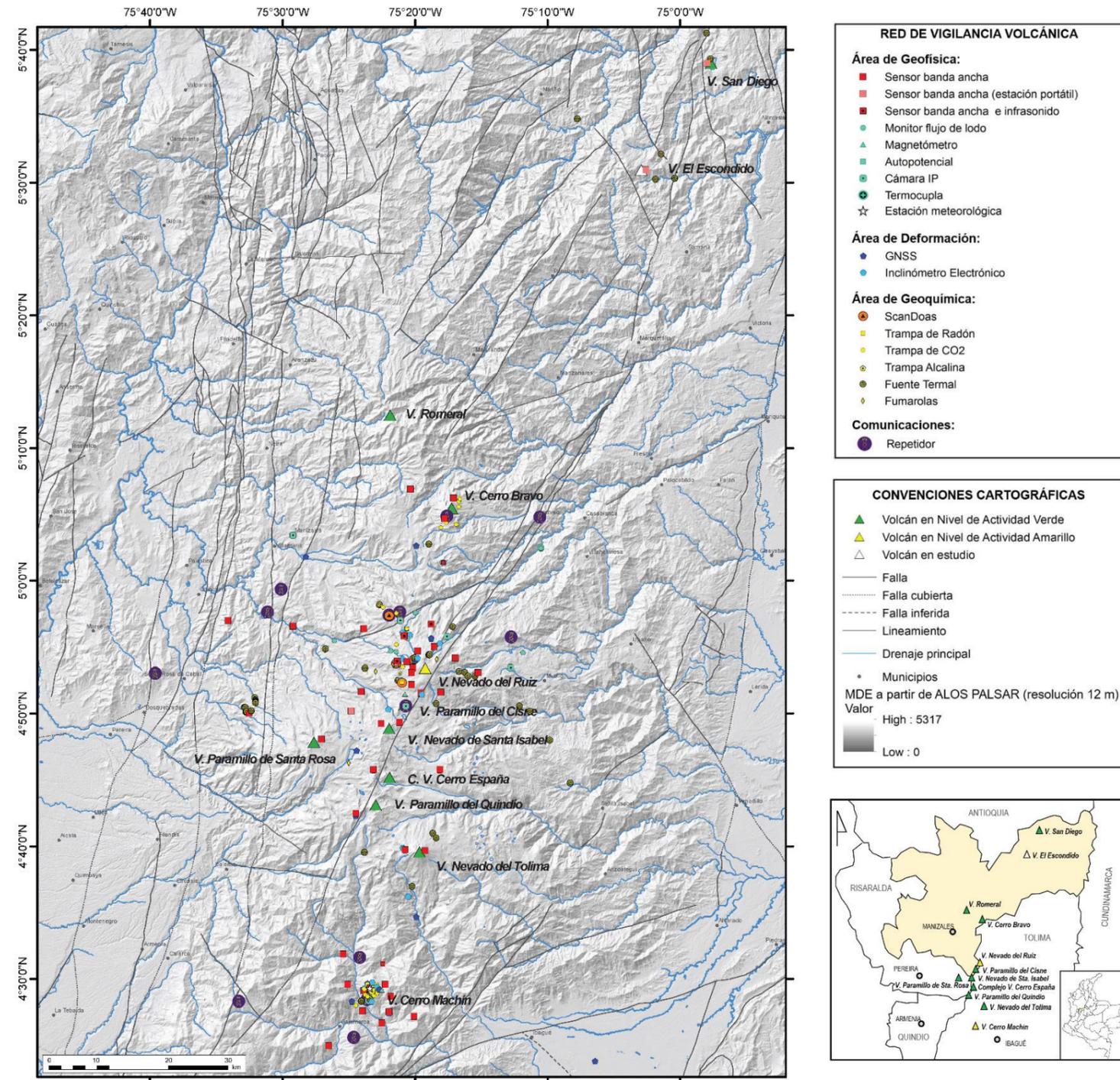


Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia

En la Tabla 1 se consolidan los trabajos realizados en la red durante abril:

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	Olleta 2	Multiparamétrica	Mantenimiento
	Refugio	Multiparamétrica	Mantenimiento
	Bruma	Multiparamétrica	Mantenimiento
	Celandia	Repetidor	Mantenimiento
	Santo Domingo	Repetidor	Mantenimiento
	Guali 3	Cámara Web	Mantenimiento
Volcán Cerro Machín	La Secreta	GNSS	Mantenimiento
	Cima	Multiparamétrica	Mantenimiento
	Toche	Multiparamétrica	Mantenimiento
	Moral	Sismológica	Desinstalación
	Aerocivil	Repetidor	Mantenimiento

En el volcán Nevado del Ruiz se destaca la recuperación de la telemetría de la estación Guali 3 (Figura 3). En las demás estaciones se realizaron trabajos de mantenimiento correctivo menores. Se considera desinstalado el sensor de concentración de CO₂ Olleta, pues será trasladado próximamente al volcán Cerro Machín.

En el volcán Cerro Machín se destacan los trabajos donde se recuperaron las telemetrías de las estaciones Santa Marta, Santa Ana y Anillo, las cuales dependen de la estación GNSS La Secreta (Figura 4) donde se había presentado un fallo en el radio transmisor principal. En la estación sismológica de Moral se desinstaló el segundo sismómetro (óptico de banda ancha) y se dejó en funcionamiento solo el sismómetro de corto periodo. Se recuperó la telemetría del sismómetro de la estación multiparamétrica Toche. En las demás estaciones se realizaron trabajos de mantenimiento correctivo menores.



Figura 3. Estación Guali 3



Figura 4. Estación La Secreta

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 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 aplicación de diferentes técnicas especializadas (geofísica, geodesia, geoquímica y geovulcanología) y en la observación visual que le permite estar atento a la evolución del fenómeno volcánico.

A continuación, se presentan los datos de los principales parámetros monitoreados en el VNR durante abril de 2021.

2.1.1.1 Geofísica

Los datos del monitoreo sismológico obtenidos en abril 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 sismicidad asociada a fracturamiento de rocas o volcano-tectónica (VT) con respecto a marzo disminuyó en el número de sismos registrados (Figura 5) y aumentó en la energía sísmica liberada (Figura 6). Los eventos sísmicos se localizaron principalmente en los sectores suroriente, norte distal, nororiente del volcán y, en el cráter Arenas (Figura 7). En menor proporción, en los sectores sur-suroccidente y noroccidente distal de la estructura volcánica. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 0.3 y 8.0 km.

En abril se registraron varios incrementos sísmicos de baja energía, se destacan dos incrementos sísmicos los días 12 y 15 de abril. En el primero los sismos se localizaron aproximadamente a 3.2 km al sur-suroriente del cráter Arenas, a profundidades entre 1.7 y 3.6 km, cuyo sismo más energético fue a su vez el mayor del mes, registrado el 12 de abril a las 20:09 (hora local), con una magnitud de 2.6 ML (magnitud local), localizado 3.1 km al sur-suroriente del cráter Arenas, a 3.6 km de profundidad.

En el segundo incremento los sismos se localizaron aproximadamente a 3.2 km al nororiente del cráter Arenas, a profundidades entre 3.9 y 6.6 km. El sismo de mayor magnitud fue el ocurrido a las 09:29 (hora local) del 15 de abril, con 0.7 ML (magnitud local).

En abril, se registraron episodios de sismicidad *drumbeat* asociada a fracturamiento de roca los días 02, 05, 14, 17, 19, 22, 23, 26 y 27 de abril y a fluidos los días 16 y 18 de abril. En general, los episodios de sismicidad *drumbeat* fueron de muy baja energía y algunos tuvieron duraciones mayores de los presentados anteriormente en el año (29 – 50 minutos). La periodicidad (tiempo entre sismo y sismo) de los episodios fue muy variable, desde 3-4 s hasta 50-60 s. Debido a la baja magnitud de los eventos sísmicos no fue posible su localización. Este tipo de actividad sísmica ha sido relacionado 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.

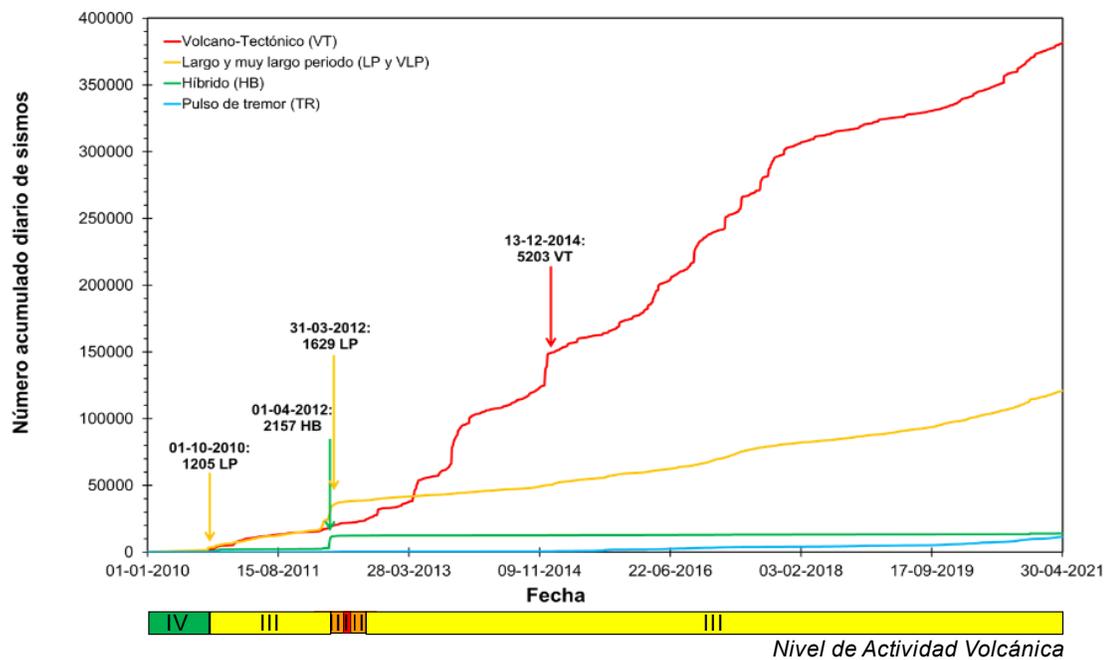


Figura 5. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, LP-VLP, TR y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días con mayor número de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica la tasa máxima de registro diario

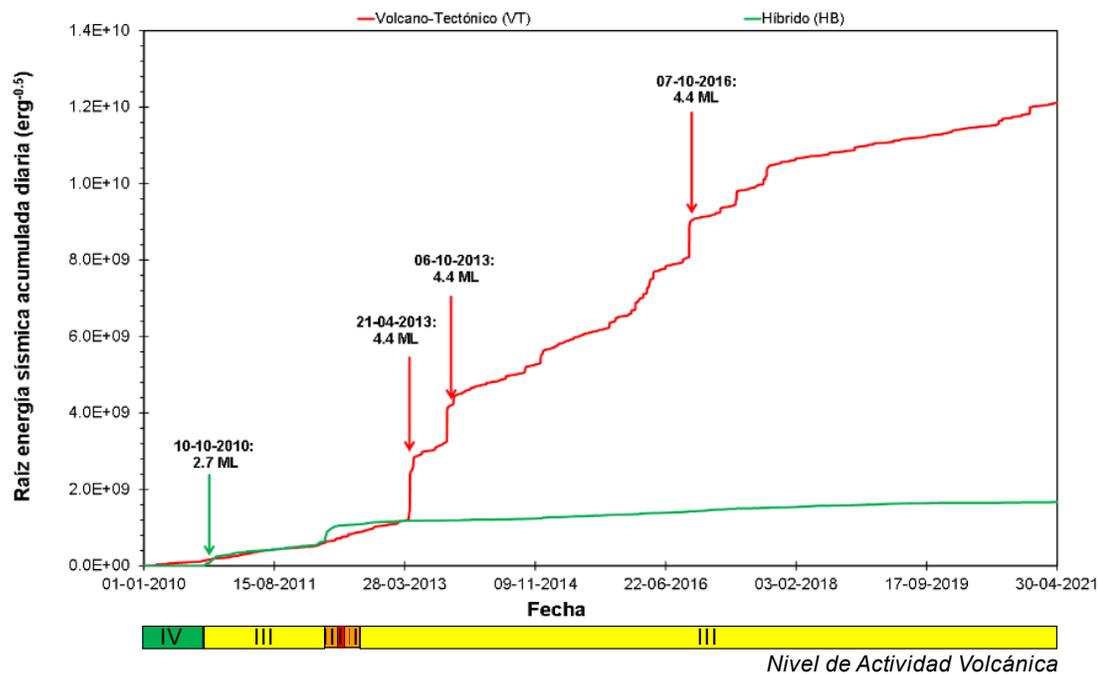


Figura 6. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

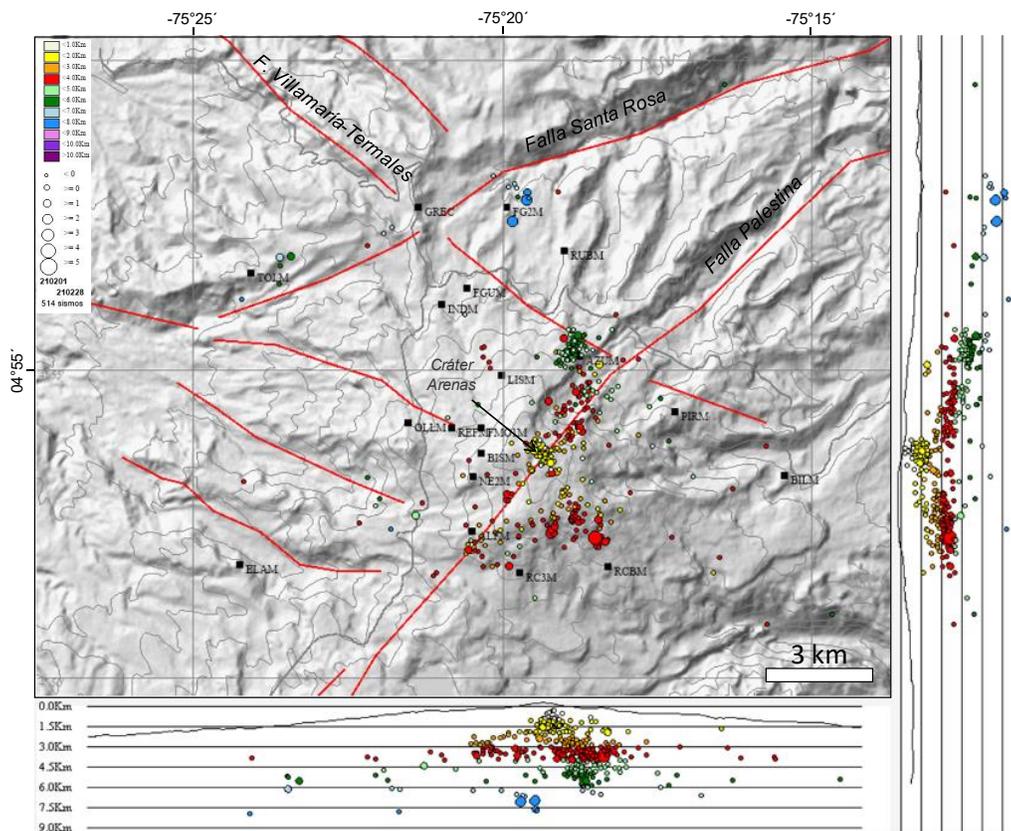


Figura 7. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante abril de 2021. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores de los círculos representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

La sismicidad relacionada con el movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos se caracterizó por la ocurrencia de tremor volcánico continuo (TC), pulsos de tremor (TR), episodios de tremor armónico, sismos de largo periodo (LP) y de muy largo periodo (VLP). En menor proporción, se registraron algunos sismos de tipo híbrido (HB). Este tipo de sismicidad mostró disminución en el número de eventos y en la energía o desplazamiento reducido (Dr) (Figura 8). Algunos de estos sismos presentaron valores de Dr promedio mayores a 5 cm^2 . Los valores máximos de Dr promedio calculados fueron de 9.2 y 12.0 cm^2 , correspondientes a sismos de tipo TR y LP registrados el 10 de abril a las 03:35 (hora local) y el 21 de abril a las 00:22 (hora local), respectivamente. La mayoría de estos eventos sísmicos asociados a dinámica de fluidos se localizaron en el cráter Arenas o alrededor de este, en un radio hasta de 2 km.

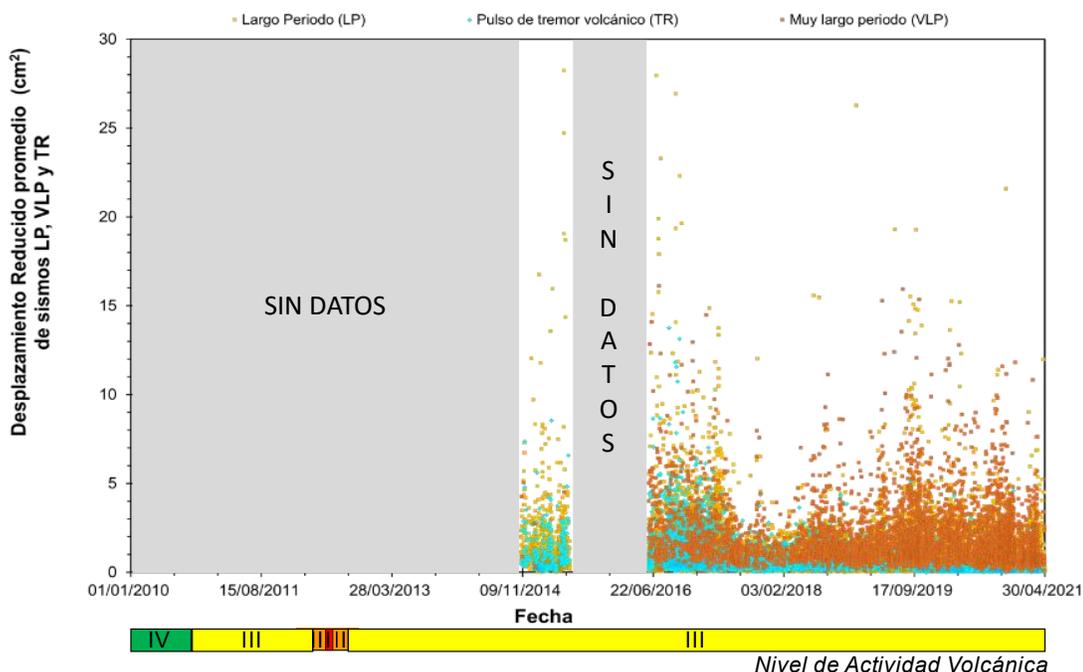


Figura 8. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP y TR registrados en el VNR entre noviembre de 2014 y el 30 de abril de 2021

Durante abril, el tremor volcánico continuo (TC) en el VNR se registró de manera ininterrumpida. Los niveles energéticos fueron bajos (D_r en la estación de BISM y LISM $\leq 0.10 \text{ cm}^2$) y levemente menores a los registrados en marzo. La frecuencia dominante, la mayor parte del tiempo, fue alrededor de 5.2 Hz y alternó con una frecuencia alrededor de 2.7 Hz.

El tremor armónico en el VNR se registró los días 12, 13 y 19 de abril. Todos los episodios fueron de muy baja energía y su rango frecuencial estuvo entre 0.3 y 2.5 Hz. A lo largo del mes también se presentaron varios episodios de tremor con deslizamiento de frecuencias (*gliding*) tanto ascendente como descendente, con duraciones variables.

La sismicidad asociada a la dinámica glaciaria y/o procesos de movimientos en masa mostró una disminución con respecto a marzo. La mayoría de estas señales sísmicas estuvieron asociadas a procesos de fracturamiento del casquete glaciario, caídas de roca, pequeñas avalanchas generadas por deshielo o fuertes precipitaciones

2.1.1.2 Geodesia (Deformación)

En abril, 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 mantuvieron estabilidad y no registraron deformaciones como lo evidencian las estaciones GUALI y OLLETA (Figura 9 y Figura 10).

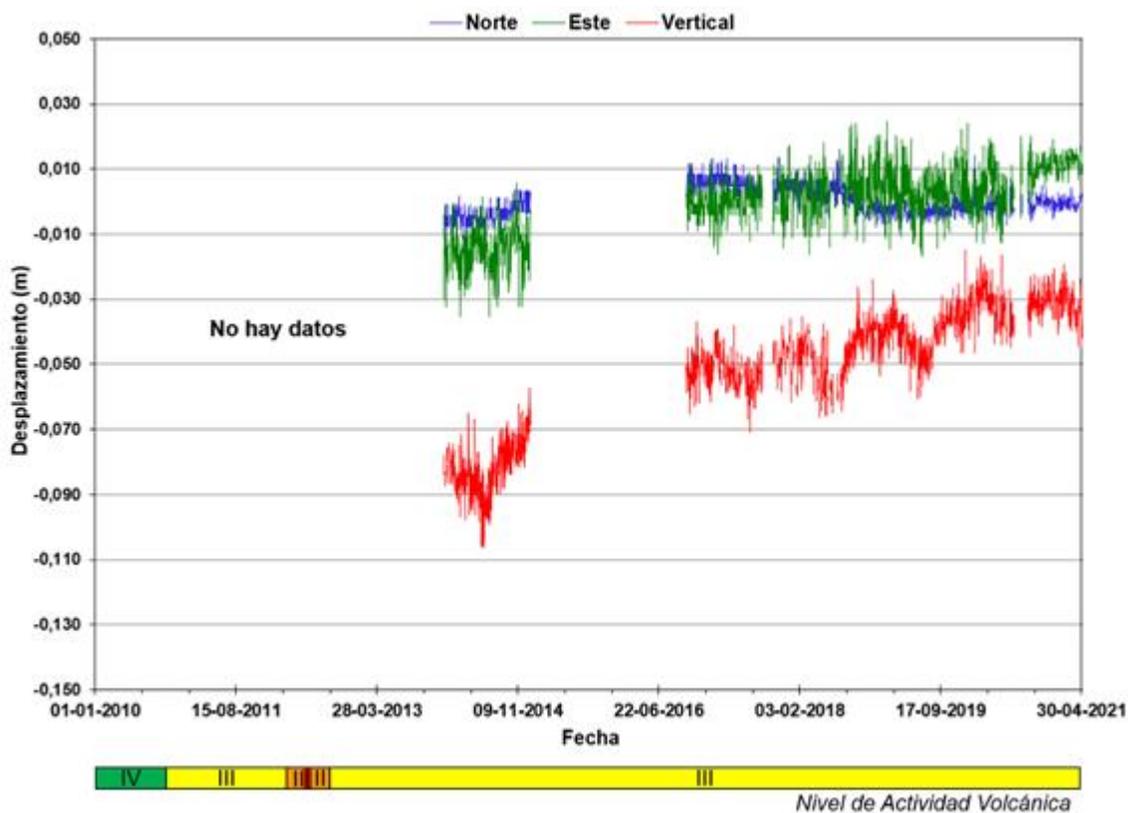


Figura 9. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS GUALI desde enero de 2010 hasta abril de 2021

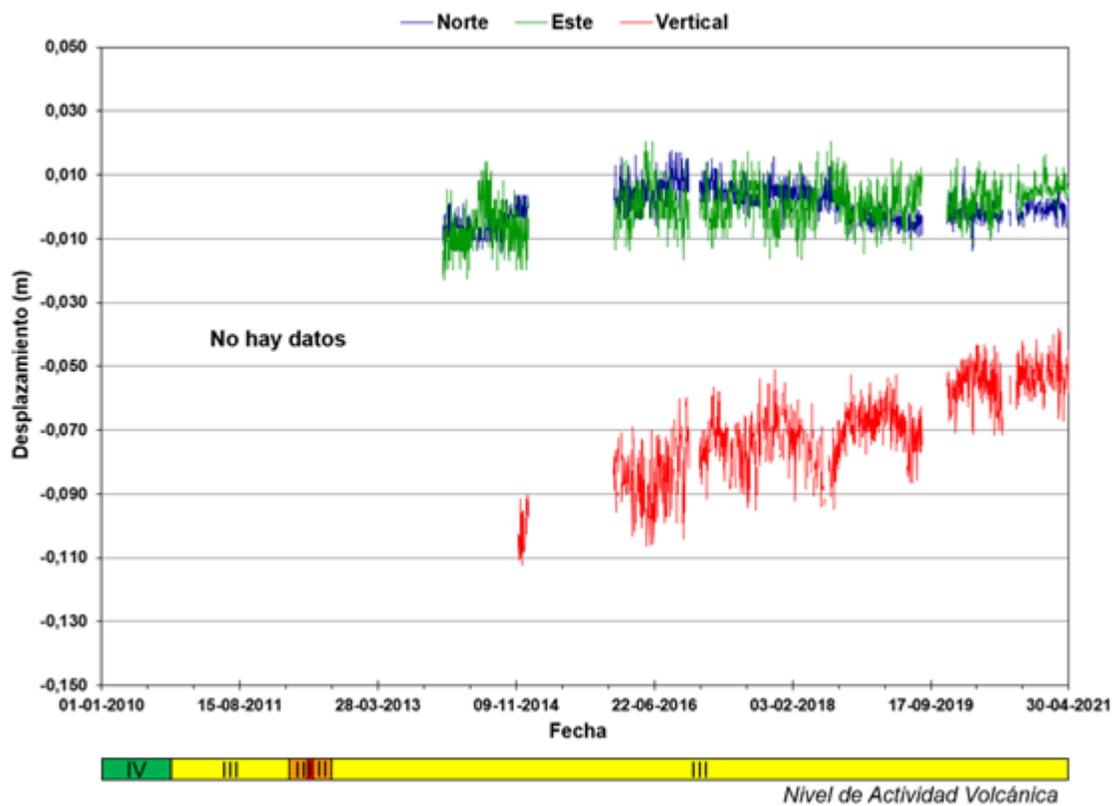


Figura 10. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS OLLETA desde enero de 2010 hasta abril de 2021

El inclinómetro electrónico REFUGIO (Figura 11) continuó presentado oscilaciones en las componentes Norte y Este debido al efecto de la temperatura; sin embargo, registró estabilidad en las dos componentes.

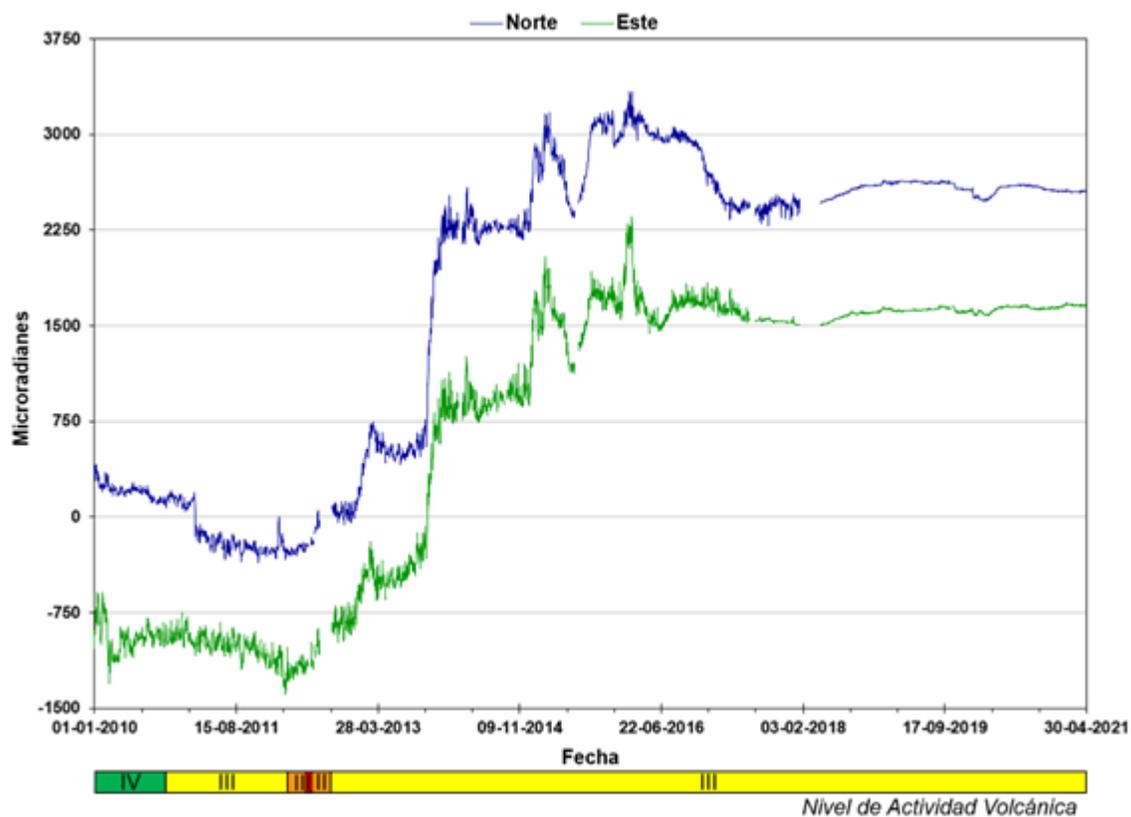


Figura 11. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico REFUGIO desde enero de 2010 hasta abril de 2021

El inclinómetro electrónico BIS2 (Figura 12) presentó estabilidad en la componente Norte, mientras que en la componente Este mostró un incremento de 105 μ rad desde agosto de 2019 hasta junio de 2020, momento en el cual se estabilizó.

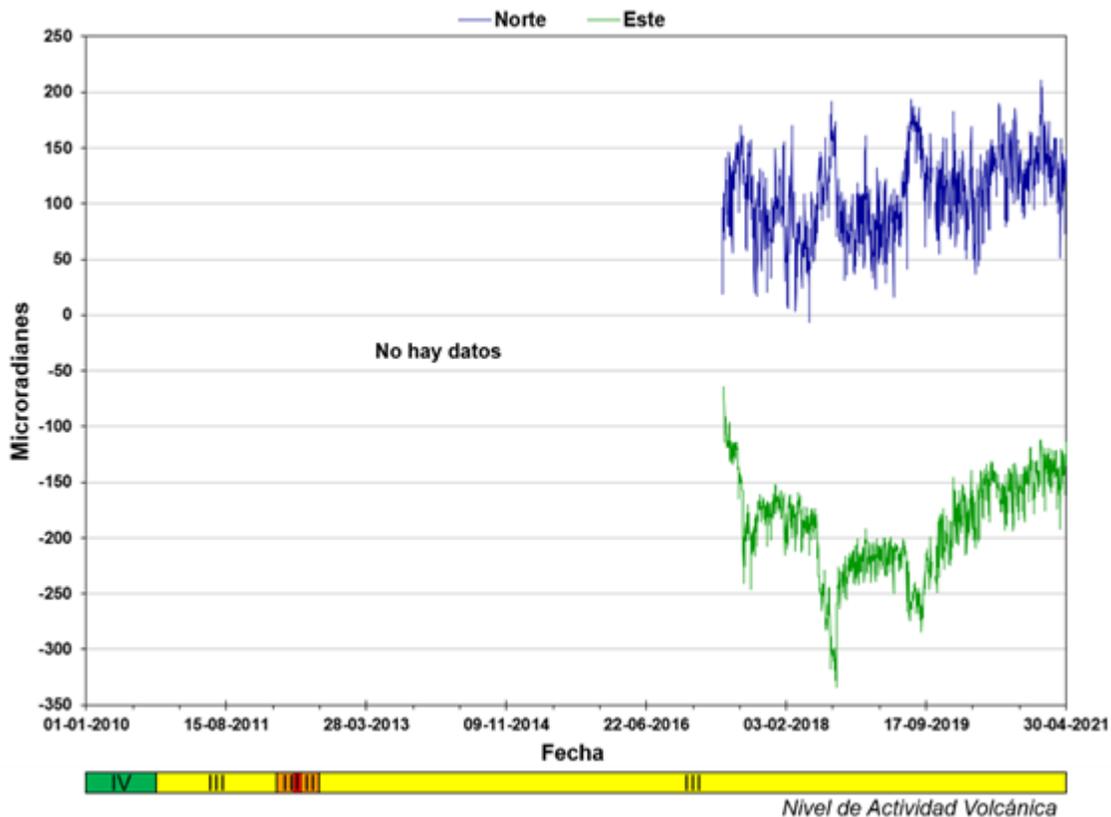


Figura 12. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico BIS2 desde enero de 2010 hasta abril de 2021

2.1.1.3 Geoquímica

Durante el mes, los flujos de SO_2 se estimaron mediante cinco estaciones telemétricas ScanDOAS: ALFOMBRALES, EL CAMIÓN, OLLETA, BILLAR y BRUMA, esta última reinició operación desde el 15 de abril. Los cálculos del flujo de SO_2 se realizaron teniendo en cuenta las condiciones de dirección y velocidad del viento suministradas por la estación meteorológica OLLETA, el anemómetro de la estación GUALI y los datos del IDEAM a través del modelo WRF (*Weather Research and Forecast*). La velocidad del viento utilizada para estimar la desgasificación presentó valores que fluctuaron entre 1.5 y 6.9 m/s, y la dirección del viento predominó al noroccidente. Para las descargas de SO_2 , se estimaron valores máximos entre 600 y 5100 T/d, y la media de los promedios fue de 1006 T/d (Figura 13).

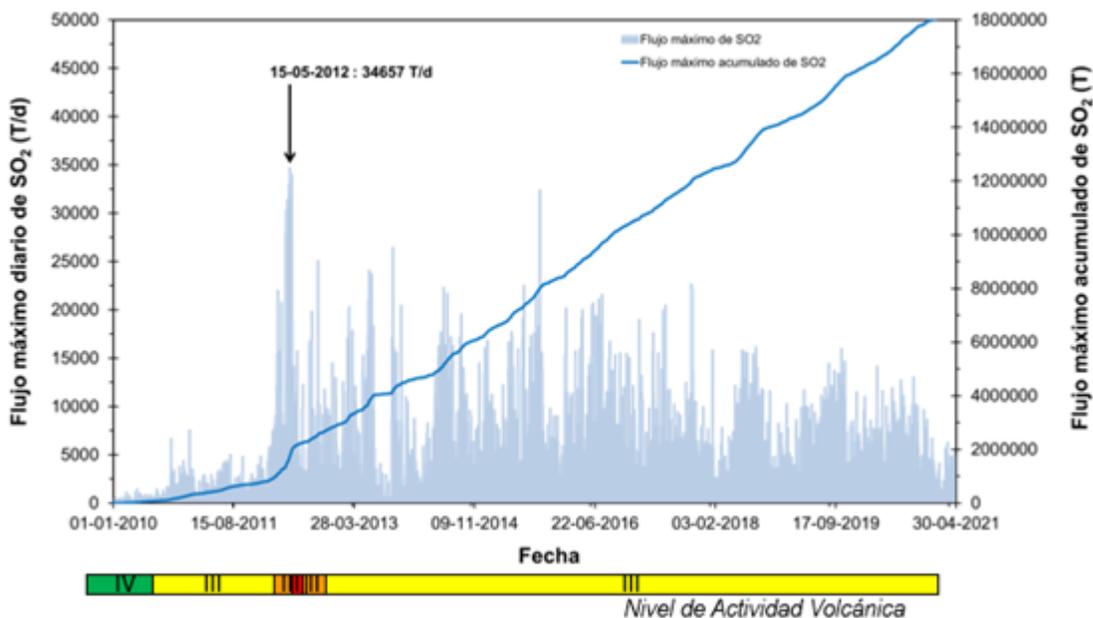


Figura 13. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO₂ Volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 30 de abril de 2021. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO₂

Las estaciones de monitoreo de gas radón AZUFRADO, ALFOMBRALES y OLLETA registraron datos promedios de 8240, 1051 y 14774 Bq/m³ respectivamente, valores que se encuentran dentro de las variaciones normales de sus líneas base.

2.1.1.4 Actividad superficial y anomalías térmicas

A partir de las observaciones visuales realizadas desde el SGC -Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales- y a través de las cámaras instaladas en el VNR, se realizó el seguimiento de la columna de gases relacionada con la actividad fumarólica en el cráter Arenas. Durante la mayor parte del mes no se tuvo visual hacia el volcán debido a la alta nubosidad y a las fuertes precipitaciones en la zona. El 20 de abril, la columna de gases alcanzó una altura máxima aproximada de 2150 m medidos desde la cima del cráter (Figura 14). La dirección de dispersión de esta fue variable, sin embargo, se observó preferencialmente hacia el noroccidente, occidente y suroccidente de la estructura volcánica. 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 causadas por la reflexión solar, especialmente en las primeras horas de la mañana y al final de la tarde.



Figura 14. Fotografías de la columna de gases y vapor en el cráter Arenas capturadas durante el mes por las cámaras instaladas en los sectores Cañón del río Azufrado (fotos del 01 y 20 de abril), Gualí (foto del 06 de abril), Paramillo del Cisne (fotos del 11 y 20 de abril - mayor del mes) y Olleta (foto del 01 de abril)

Es importante mencionar, que algunas de las señales sísmicas relacionadas al movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos estuvieron asociadas con emisiones de gases y ceniza los días 01, 16, 26 y 30 de abril, confirmadas por las cámaras instaladas en el área del volcán y por personal del SGC en labores de campo.

En abril, los portales web Mirova, NASA FIRMS y MOUNTS reportaron en el área del cráter Arenas varias anomalías térmicas de bajo nivel energético.

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 470 m (Figura 15).

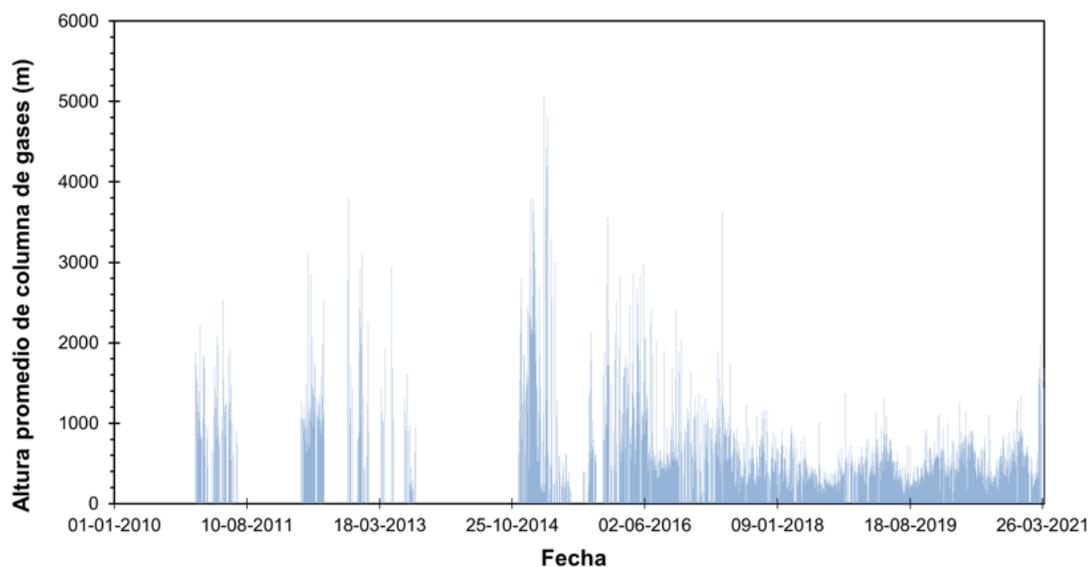


Figura 15. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDoas

2.1.1.5 Diagnóstico de la actividad del volcán Nevado del Ruiz

A partir del análisis de datos obtenidos de diferentes técnicas especializadas de monitoreo que evidencian variaciones en la actividad volcánica, como el aumento en la energía de sismos asociados a fractura, sismicidad tipo *drumbeat*, fluctuaciones en la desgasificación, en general estabilidad en la superficie volcán, el SGC establece que el VNR continúa presentando un comportamiento inestable y por lo tanto se considera que permanece en NIVEL DE ACTIVIDAD AMARILLO (o III).

2.1.2 Volcán Cerro Machín (VCM)

El volcán Cerro Machín se encuentra en nivel de actividad Amarillo desde agosto de 2006. Para realizar el diagnóstico de la actividad volcánica en el VCM, el SGC lleva a cabo un monitoreo continuo y permanente del volcán basado en la observación visual y la aplicación de diferentes técnicas especializadas (geofísica, geodesia, geoquímica y geovulcanología) que le permiten estar atento a la evolución del fenómeno volcánico.

A continuación, se presentan los datos de los parámetros monitoreados en el VCM durante abril de 2021.

2.1.2.1 Geofísica

La sismicidad registrada estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en las inmediaciones y en sectores distales del volcán. Esta actividad sísmica disminuyó en el número de eventos registrados (Figura 16) y en la energía sísmica liberada respecto a marzo (Figura 17). Los sismos se localizaron principalmente en los sectores sur y sur-suroccidente del domo principal y, en menor proporción, al sur-suroccidente de la estructura volcánica, a profundidades entre 1.2 y 8.5 km (Figura 18).

Durante el mes se presentaron dos incrementos en la actividad sísmica los días 18 y 25 de abril. Se destaca el del 25 de abril por ser el de mayor energía y número de sismos, localizado al sur y al sur-suroccidente del domo principal, a profundidades entre 1.3 y 4.0 km. El sismo de mayor magnitud fue de 2.5 ML (magnitud local), registrado a las 20:05, localizado 0.4 km al sur del domo principal, a 4.0 km de profundidad; este evento sísmico es además el de mayor magnitud durante el mes.

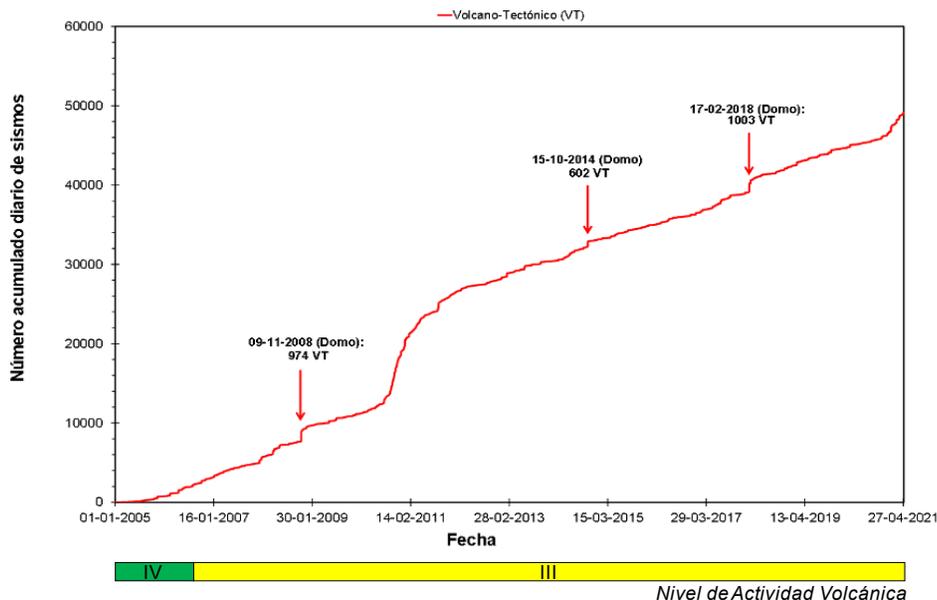


Figura 16. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número y sector de localización de los eventos

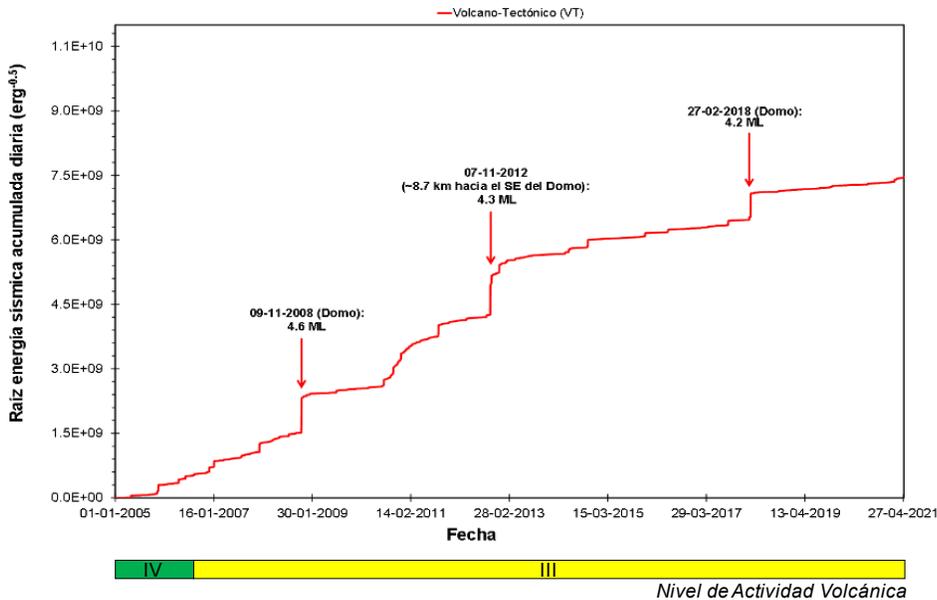


Figura 17. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada y el sector de localización de ésta

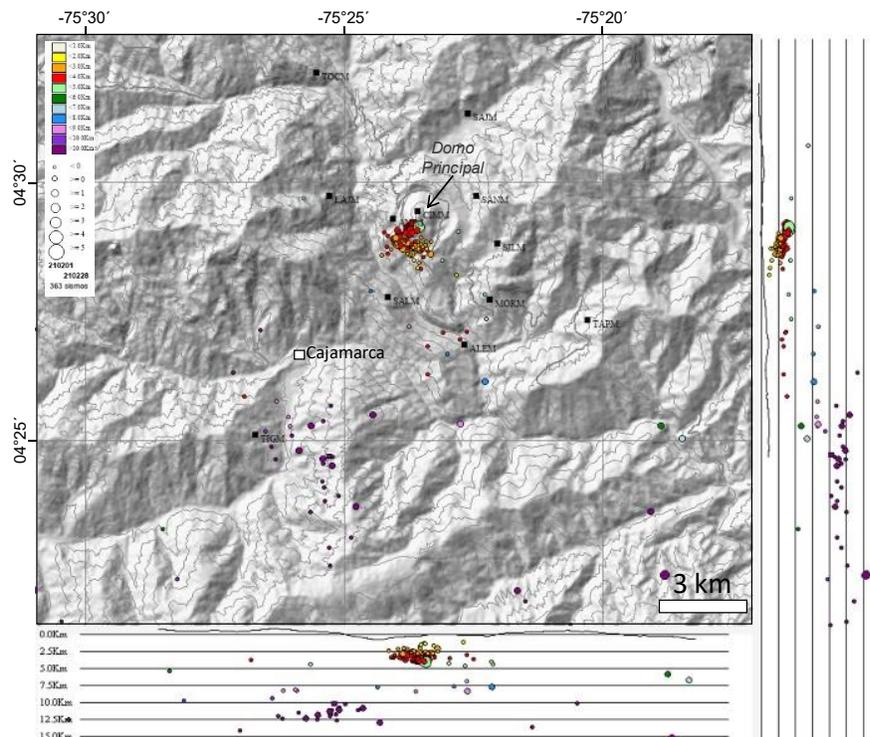


Figura 18. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante abril de 2021. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

También este mes continuó el registro de sismicidad asociada a fracturamiento en el sector conocido como La Tigrera, a 11.2 km al suroccidente del volcán, con profundidad de los sismos entre 8.2 y 18 km. La máxima magnitud registrada fue de 0.8 ML (magnitud local), correspondiente al sismo registrado el 21 de abril a las 06:44 (hora local), localizado a 8.2 km al suroccidente del domo principal, a 11.9 km de profundidad.

2.1.2.2 Geodesia (Deformación)

Durante abril de 2021 el VCM no registró 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.

Las estaciones GNSS LAGUNA y MORAL continuaron mostrando estabilidad (Figura 19 y Figura 20).

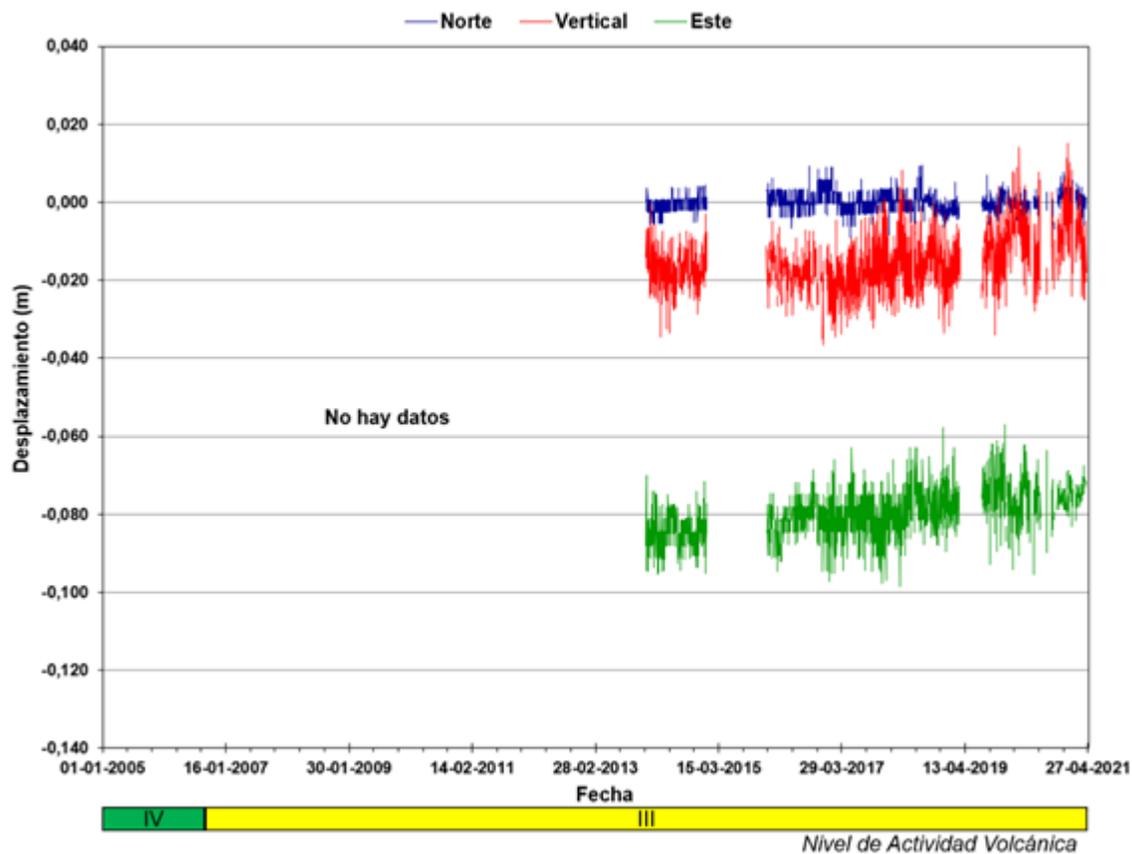


Figura 19. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNS LAGUNA desde enero de 2005 hasta abril de 2021

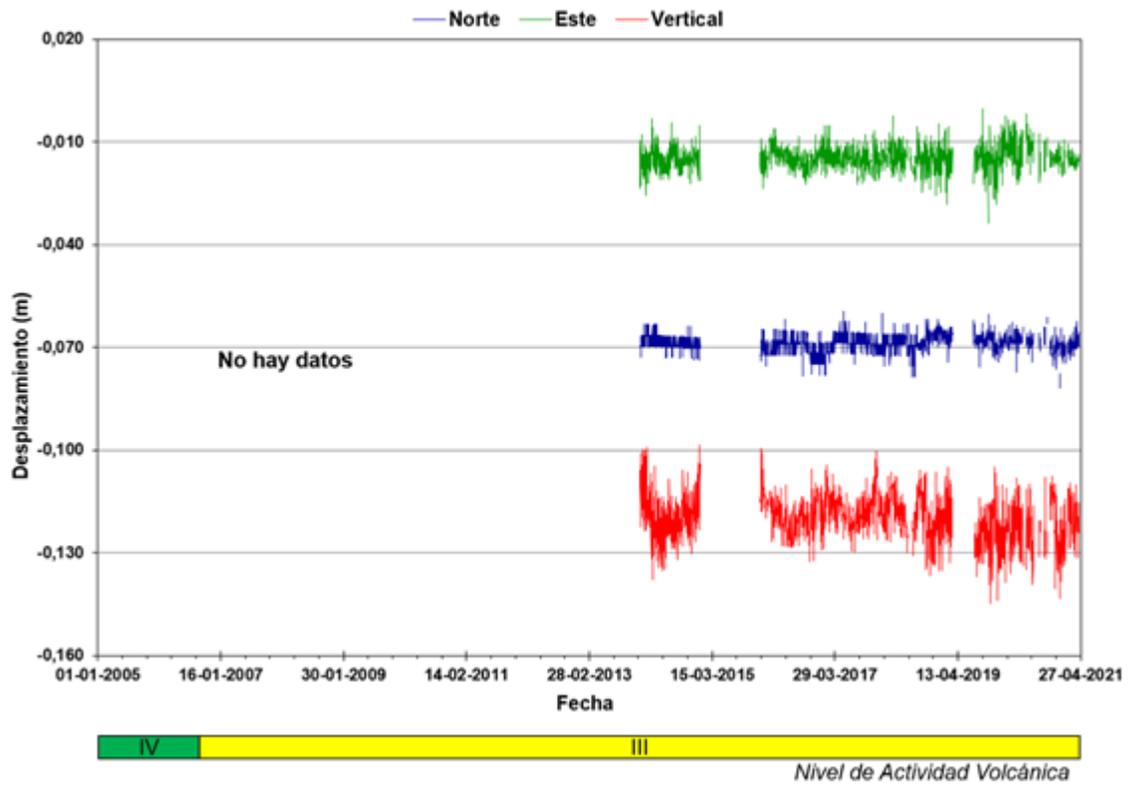


Figura 20. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS MORAL desde enero de 2005 hasta abril de 2021

El inclinómetro electrónico CIMA (Figura 21) continuó registrando estabilidad.

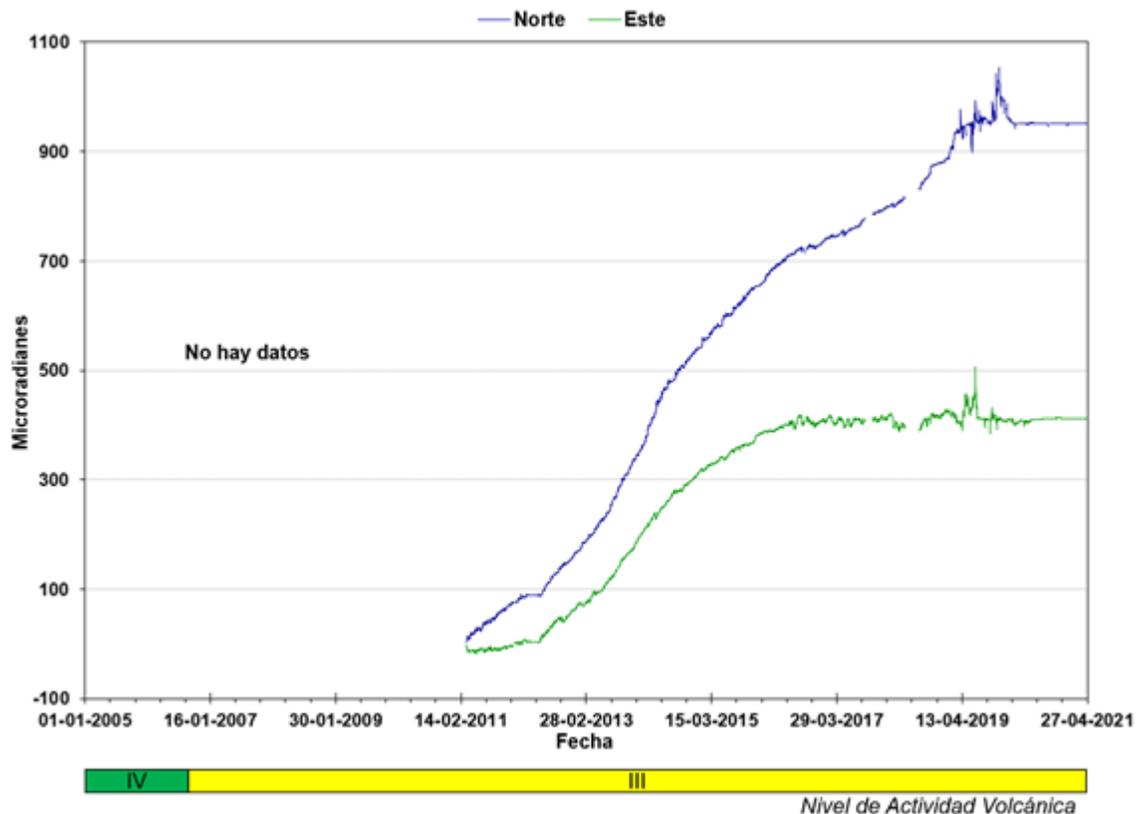


Figura 21. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CIMA desde enero de 2005 hasta abril de 2021

2.1.2.3 Geoquímica

Los datos obtenidos de la estación telemétrica de temperatura ubicada en la fuente termal ESTATUAS presentaron un promedio de 87.54°C, el valor obtenido es similar a los meses anteriores.

2.1.2.4 Diagnóstico de la actividad volcánica del Volcán Cerro Machín

Con base en el análisis de la información obtenida a partir del monitoreo sismológico realizado en el volcán, se evidencia que el VCM continuó mostrando cambios en su comportamiento. La sismicidad disminuyó levemente en el número de eventos y la energía liberada. Se registraron varios incrementos de sismicidad tipo VT, que se localizaron como en meses anteriores en los flancos sur-suroccidental, sur y suroriental del domo, principalmente. En los dos últimos meses se han reportado, por habitantes en

inmediaciones del volcán, tres eventos sísmicos sentidos uno en febrero de magnitud 3.0 ML (magnitud local) y dos en marzo con magnitudes 2.3 y 2.0 ML (magnitud local). Este mes, aunque no se reportó como sentido se registró un evento con energía similar, 2.5 ML.

La sismicidad mencionada en el sector de La Tigra continuó registrándose y sigue siendo materia de estudio.

Los parámetros geoquímicos y geodésicos monitoreados presentaron estabilidad.

De acuerdo con los parámetros evaluados en abril y su relación con los demás datos obtenidos hasta el momento en el monitoreo continuo del volcán, 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, así como actividad sísmica, fumarólica u otras manifestaciones de actividad en superficie que afectan fundamentalmente la zona más inmediata o próxima al centro de emisión, sin representar riesgo para las poblaciones y actividades económicas de su zona de influencia. Los volcanes del SNVC que se encuentran en este nivel son: San Diego, Romeral, Cerro Bravo, Paramillo del Cisne, Nevado de Santa Isabel, Complejo Volcánico Cerro España, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío y Nevado del Tolima.

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

2.2.1 Geofísica

En abril, los volcanes en Nivel de Actividad Verde registraron principalmente sismicidad de tipo volcano-tectónica (Figura 22, Figura 23 y Figura 24).

El volcán Cerro Bravo (VCB) mantuvo niveles similares en el número de sismos tipo VT y en la energía sísmica liberada, respecto a marzo.

El volcán Nevado del Tolima (VNT) presentó disminución en la actividad sísmica relacionada con fracturamiento de rocas tanto en el número de eventos como en la energía sísmica liberada con relación a marzo.

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

Los demás volcanes del SVNC catalogados en este nivel, en cuanto a la sismicidad volcano-tectónica, mostraron un aumento tanto en el número de eventos como en la energía sísmica liberada con relación a marzo.

En el Complejo Volcánico Cerro España (CVCE) se presentó un incremento de esta sismicidad el 25 de abril en el sector occidente-suroccidente de la estructura volcánica, con magnitud máxima registrada de 0.8 ML (magnitud local).

El volcán Paramillo de Santa Rosa (VPSR) tuvo un incremento de sismos VT el 18 de abril al norte de la estructura volcánica, con máxima magnitud de 1.5 ML.

El volcán Paramillo del Cisne (VPC) tuvo un sismo destacado el 22 de abril con magnitud de 2.0 ML, registrado a las 7:00 con localización a 1.6 km al suroccidente del volcán a 4.7 km de profundidad.

Los volcanes Nevado de Santa Isabel (VNSI) y Paramillo del Quindío (VPQ) tuvieron magnitudes mayores de 1.2 y 0.6ML (magnitud local) respectivamente.

En cuanto a la actividad sísmica asociada a la dinámica del glaciar en los volcanes VNSI y VNT, disminuyó respecto a marzo.

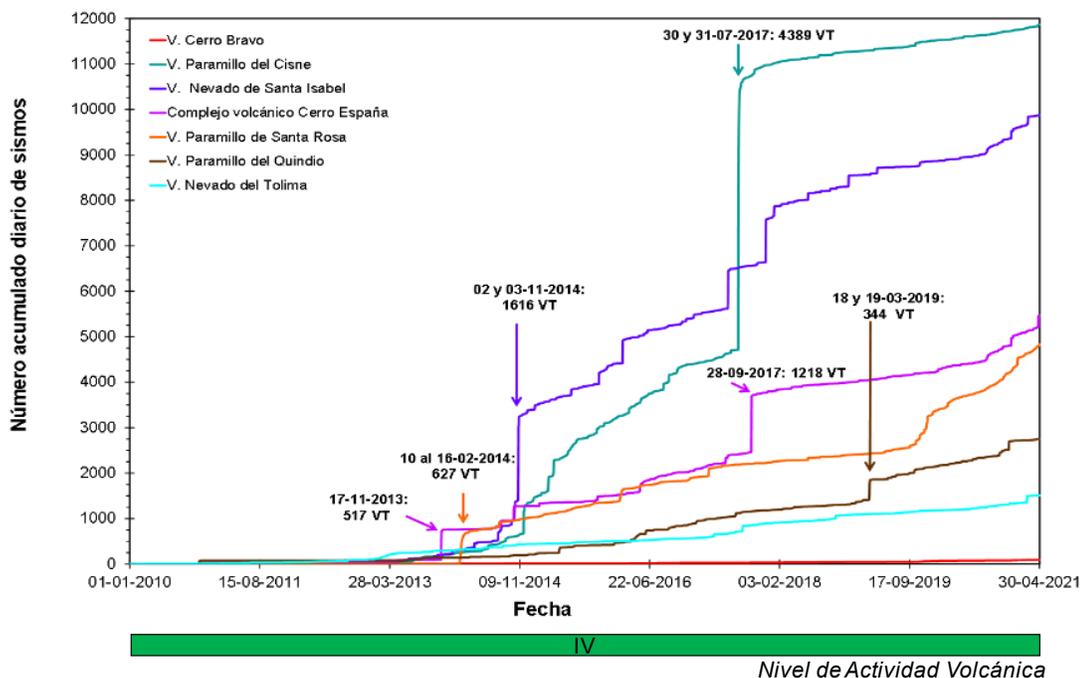


Figura 22. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero 2010 y el 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado

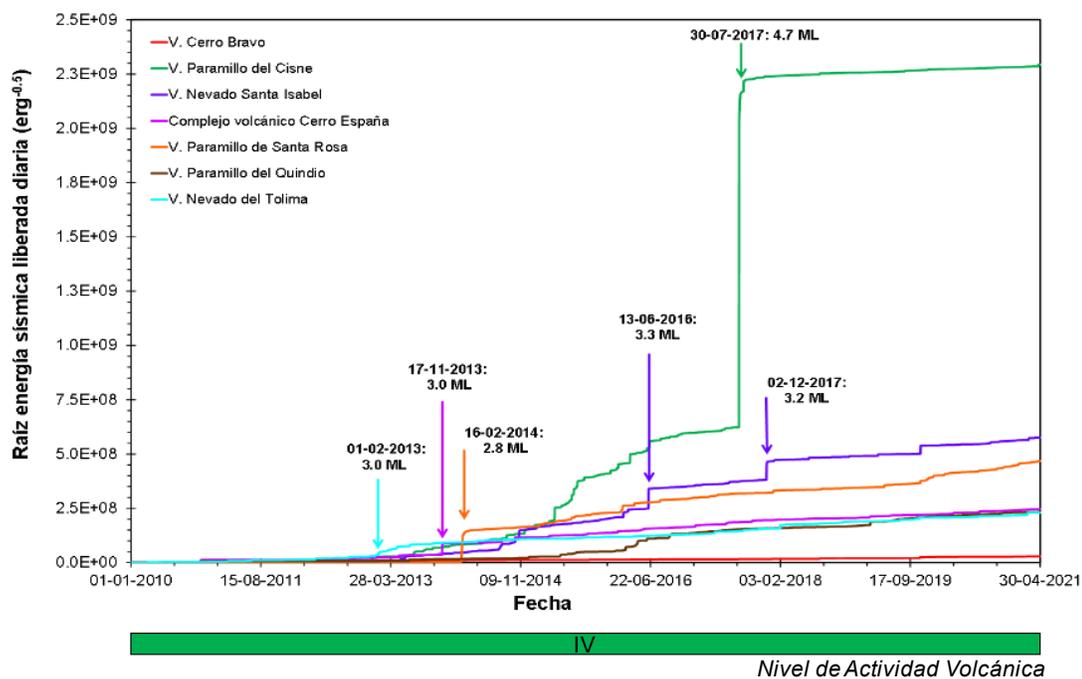


Figura 23. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero de 2010 y el 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

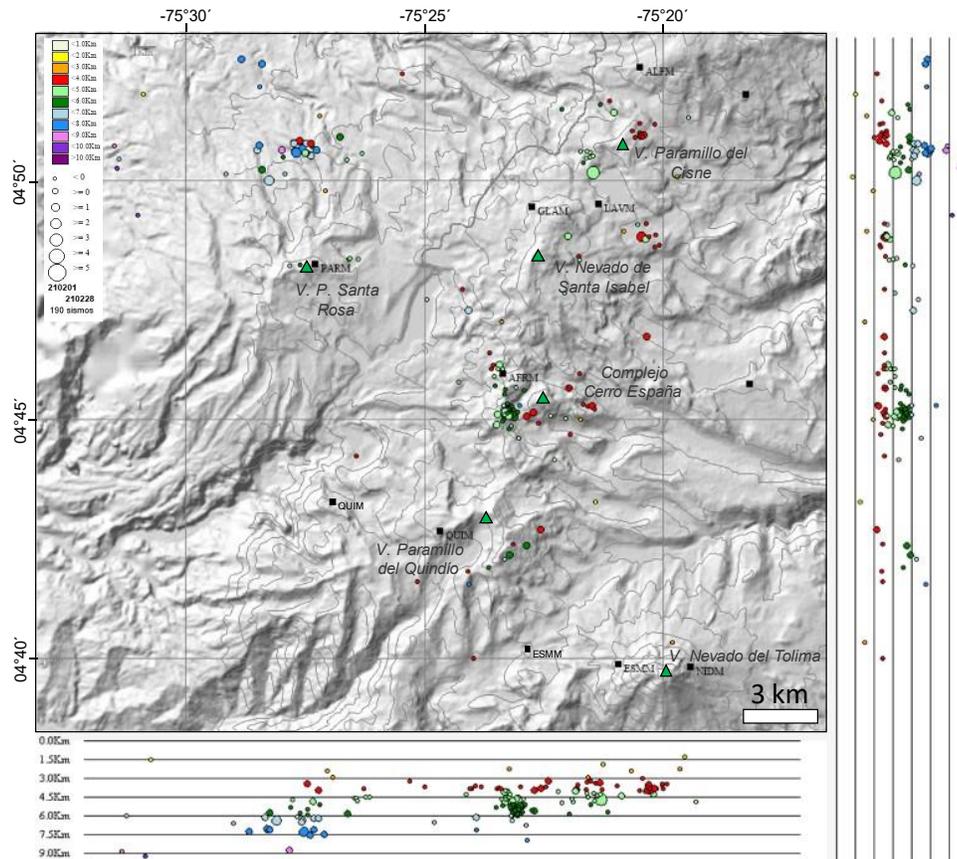


Figura 24. Mapa de localización de los sismos volcánico-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE durante abril de 2021. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

2.2.2 Geodesia (Deformación)

Durante abril de 2021, las estaciones GNSS permanentes y los inclinómetros electrónicos instalados en los volcanes VCB, VNSI, VNT y VPSR no detectaron deformaciones significativas, manteniendo estabilidad en la superficie volcánica. La Figura 25 y Figura 26 muestran el comportamiento de los inclinómetros CHAVA y ESMERALDA de los volcanes VNSI y VNT respectivamente.

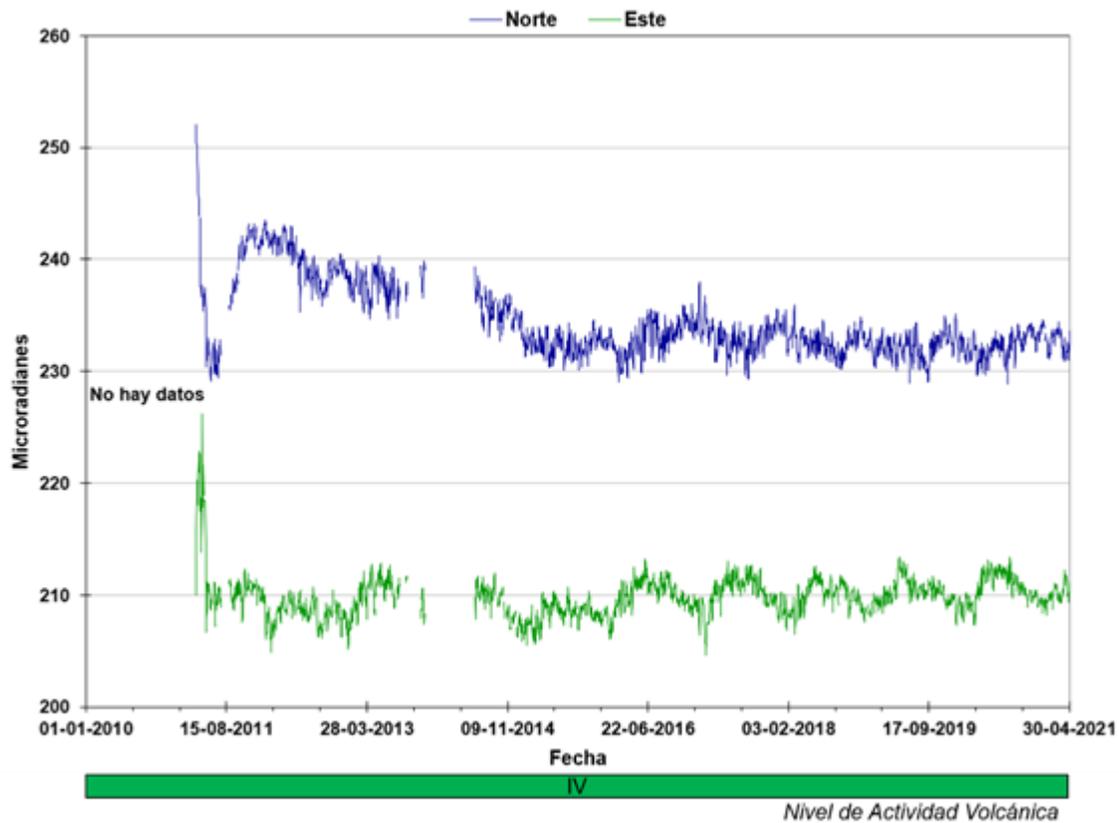


Figura 25. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CHAVA (VNSI) desde enero de 2010 hasta abril de 2021

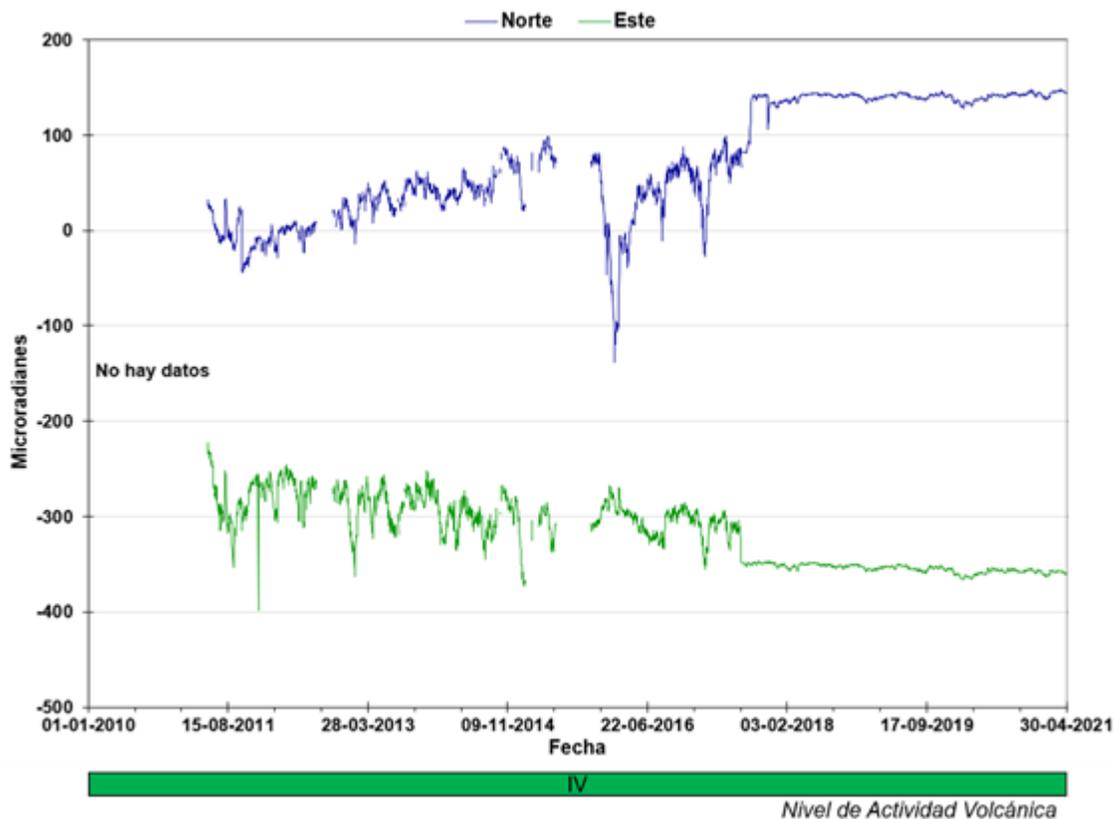


Figura 26. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico ESME (VNT) desde enero de 2010 hasta abril de 2021

2.2.3 Diagnóstico de la actividad volcánica

A partir de los principales datos obtenidos del monitoreo permanente y continuo realizado en los volcanes 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 se evidencia que estos volcanes presentaron estabilidad durante abril. 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

- A partir del monitoreo continuo y del análisis de parámetros geofísicos, geodésicos y geoquímicos de los volcanes del SVNC, se evidenció que los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín continuaron presentando cambios en su comportamiento, mientras que los demás volcanes mantuvieron sus niveles base de actividad mostrando estabilidad.
- El volcán Nevado del Ruiz (VNR) continúa emitiendo vapor de agua y gases hacia la atmósfera, caracterizándose por flujos importantes de dióxido de azufre, mantiene estabilidad en su superficie y conserva actividad sísmica relacionada con fluidos y fractura en su interior.
- En abril el VNR presentó emisiones de cenizas confirmadas debido principalmente a las condiciones climáticas favorables al momento de presentarse, sin embargo, fueron menores en cuanto a la cantidad de ceniza y duración comparadas con las más significativas en este sentido presentadas anteriormente.
- El volcán Cerro Machín (VCM) siguió presentando actividad de fractura, principalmente, al sur y sur-occidente del domo principal y en el sector de la tigra. En deformación y geoquímica se reporta estabilidad, sin embargo, con base en la sismicidad se evidencia una estabilidad que continúa en el volcán y por eso permanece en el nivel de actividad.
- Las estaciones de las redes de deformación de los volcanes VCB, VNSI, VNT y VPSR no detectaron deformaciones significativas hasta abril de 2021 evidenciando estabilidad en la superficie. Adicionalmente, los datos de geofísica y geoquímica no sugieren un comportamiento por encima del nivel base que implique un cambio de nivel en alguno de los volcanes actualmente en nivel de actividad verde.

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	3
Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia	3
Figura 3. Estación Guali 3	4
Figura 4. Estación La Secreta	5
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 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días con mayor número de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica la tasa máxima de registro diario	8
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 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	9
Figura 7. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante abril de 2021. 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	10
Figura 8. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP y TR registrados en el VNR entre noviembre de 2014 y el 30 de abril de 2021	11
Figura 9. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS GUALI desde enero de 2010 hasta abril de 2021	12
Figura 10. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS OLLETA desde enero de 2010 hasta abril de 2021	13
Figura 11. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico REFUGIO desde enero de 2010 hasta abril de 2021	14
Figura 12. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico BIS2 desde enero de 2010 hasta abril de 2021	15
Figura 13. 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 30 de abril de 2021. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO ₂	16
Figura 14. Fotografías de la columna de gases y vapor en el cráter Arenas capturadas durante el mes por las cámaras instaladas en los sectores Cañón del río Azufrado (fotos del 01 y 20 de abril), Gualí (foto del 06 de abril), Paramillo del Cisne (fotos del 11 y 20 de abril - mayor del mes) y Olleta (foto del 01 de abril)	17
Figura 15. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDoas	18

Figura 16. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 30 de abril de 2021. 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	20
Figura 17. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 30 de abril de 2021. 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	20
Figura 18. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante abril de 2021. 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	21
Figura 19. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS LAGUNA desde enero de 2005 hasta abril de 2021	22
Figura 20. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS MORAL desde enero de 2005 hasta abril de 2021	23
Figura 21. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CIMA desde enero de 2005 hasta abril de 2021	24
Figura 22. 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 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado	27
Figura 23. 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 30 de abril de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	28
Figura 24. Mapa de localización de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE durante abril de 2021. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos	29
Figura 25. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CHAVA (VNSI) desde enero de 2010 hasta abril de 2021	30
Figura 26. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico ESME (VNT) desde enero de 2010 hasta abril de 2021	31

ÍNDICE DE TABLAS

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