



Dirección de
Geoamenazas

INFORME TÉCNICO – OPERATIVO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

SEGMENTO VOLCANICO NORTE DE COLOMBIA - MARZO DE 2021

Manizales, abril de 2021



Dirección de
Geoamenazas

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO ©

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

Julián Ramírez

Lina Constanza García

Álvaro Esteban Acevedo

Beatriz Elena Galvis

Claudia Patricia Álvarez

Lina Marcela Castaño

Milton Ordoñez

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	4
2.1 Volcanes en nivel de actividad amarillo	4
2.1.1 Volcán Nevado del Ruiz (VNR)	4
2.1.1.1 Geofísica	4
2.1.1.2 Geodesia (Deformación)	10
2.1.1.3 Geoquímica	14
2.1.1.4 Actividad superficial y anomalías térmicas	15
2.1.1.5 Diagnóstico de la actividad del volcán Nevado del Ruiz	17
2.1.2 Volcán Cerro Machín (VCM)	19
2.1.2.1 Geofísica	19
2.1.2.2 Geodesia (Deformación)	23
2.1.2.3 Geoquímica	26
2.1.2.4 Diagnóstico de la actividad volcánica del Volcán Cerro Machín	26
2.2 Volcanes en nivel de actividad verde	28
2.2.1 Geofísica	28
2.2.2 Geodesia (Deformación)	31
2.2.3 Diagnóstico de la actividad volcánica	33
CONCLUSIONES	34

RESUMEN

El monitoreo continuo multi-disciplinario de la actividad volcánica en los volcanes activos Nevado del Ruiz (VNR) y Cerro Machín (VCM) mostró que algunos parámetros continuaron presentando cambios, los cuales evidencian un comportamiento inestable de estos volcanes durante marzo de 2021. Los demás volcanes activos del Segmento Volcánico Norte de Colombia (SVNC) presentaron un comportamiento estable.

La actividad volcánica en el VNR se caracterizó, principalmente, por un aumento en la sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos y también en la asociada a fracturamiento de roca. La actividad sísmica estuvo localizada en el cráter Arenas y en los flancos del volcán, predominantemente en los sectores suroriental y sur-suroccidental dentro de un radio de 4 km a partir del cráter Arenas. En el mes, se presentaron algunos episodios de sismicidad tipo *drumbeat*. Se registró tremor volcánico continuo de baja energía y ocasionalmente tremor armónico. Algunas señales sísmicas estuvieron asociadas con cambios en la columna de gases y posible emisión de ceniza. El VNR emitió a la atmósfera importantes cantidades de dióxido de azufre (SO₂) y vapor de agua. La superficie volcánica no presentó cambios o deformaciones.

En el VCM, la actividad sísmica asociada a fracturamiento de roca presentó un aumento en el número de sismos y en la energía sísmica. Esta estuvo localizada, principalmente, al sur, sur-suroccidente y suroriente del domo principal. Durante el mes, se reportaron dos sismos como sentidos por los habitantes en inmediaciones al volcán, de magnitud 2.3 ML y 2.0 ML (magnitud local). Los parámetros geoquímicos y geodésicos monitoreados en el volcán mostraron un comportamiento estable.

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

Con base en la evaluación integral de los parámetros que se monitorean continuamente, se establece que los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín continúan en “NIVEL AMARILLO  (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

Continuous multi-disciplinary monitoring of volcanic activity at the Nevado del Ruiz (NRV) and Cerro Machín (CMV) active volcanoes indicated that some parameters continued to show changes, which evidence an unstable behavior of these volcanoes during March 2021. The others Active volcanoes of the Northern Volcanic Segment of Colombia (NVSC) exhibited a stable behavior.

The volcanic activity at the NRV was mainly characterized by an increase in both seismicity related to fluid dynamics inside the volcanic conduits and also associated with rock fracturing. The seismic activity was located in the Arenas crater and on the flanks of the volcano, predominantly in the southeast and south-southwest sectors within a 4 km radius from the Arenas crater. During the month, there were some episodes of drumbeat seismicity. Low-energy continuous volcanic tremor and occasionally harmonic tremor were recorded too. Some seismic signals were associated with changes of steam plume and possible ash emission. NRV emitted significant amounts of sulfur dioxide (SO₂) and water vapor into the atmosphere. The volcanic ground surface did not show changes or deformations.

At the CMV, the seismic activity associated with rock fracturing increased in the number of earthquakes and in seismic energy. This was located mainly to the south, south-southwest and southeast of the main lava dome. During the month, two earthquakes were reported as felt by the inhabitants in the vicinity of the volcano, one of 2.3 ML and other of 2.0 ML (local magnitude). The geochemical and geodetic parameters monitored in the volcano showed a stable behavior.

The remaining NVSC volcanoes showed minors variations in seismicity and stability in the other geophysical, geodetic, geochemical and geological monitored parameters.

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 (SVNC), comprendido entre las coordenadas geográficas 4° 22' 01" y 5° 44' 28" de la latitud Norte y 74° 50' 42" y 75° 49' 26" de longitud Oeste, como son San Diego, Romeral, Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Paramillo del Cisne, Nevado de Santa Isabel, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío, Complejo Volcánico Cerro España, Nevado del Tolima y Cerro Machín, así como los demás centros volcánicos situados dentro del SVNC (**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 en marzo de 2021. 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.

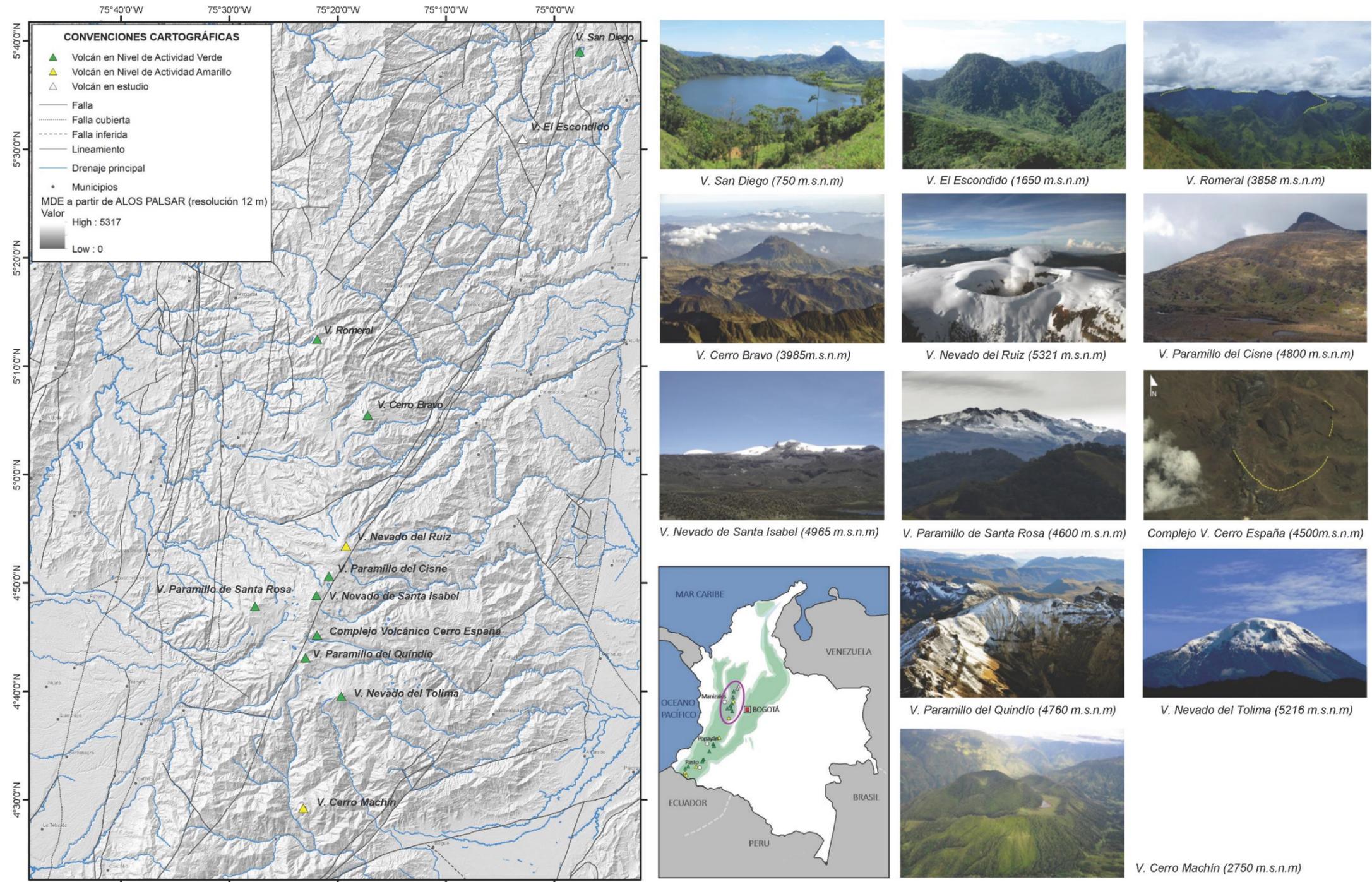


Figura 1. Localización y fotografías de los volcanes que conforman el Segmento Volcánico Norte de Colombia. La imagen a la izquierda corresponde a un mapa de sombras realizado a partir de un MDE (o DEM) de 12 m de resolución

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 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 marzo de 2021 fue del 82%.

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

Tabla 1. Trabajos realizados sobre la red de vigilancia telemétrica de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia, en marzo de 2021

Volcán	Estación	Tipo de Estación	Tipo de Trabajo
Volcán Nevado del Ruiz	BRUMA	Multiparamétrica	Mantenimiento
Volcán Nevado Paramillo del Cisne	EL CISNE	Repetidor	Mantenimiento
Volcán Cerro Machín	AEROCIVIL	Repetidor	Mantenimiento
Volcán Cerro Machín	CIELO ROTO	Repetidor	Mantenimiento

En la estación multiparamétrica de BRUMA se llevó a cabo la revisión y posterior desinstalación del ScanDoas, esto debido a que se encontraron problemas asociados a la óptica del espectrómetro (Figura 3). En el repetidor EL CISNE se amplió el sistema eléctrico, el cual ahora cuenta el 1440 W de potencia en su arreglo de paneles solares (Figura 4). En los repetidores AEROCIVIL y CIELO ROTO se realizaron trabajos para el restablecimiento del enlace de radio entre ambos puntos.

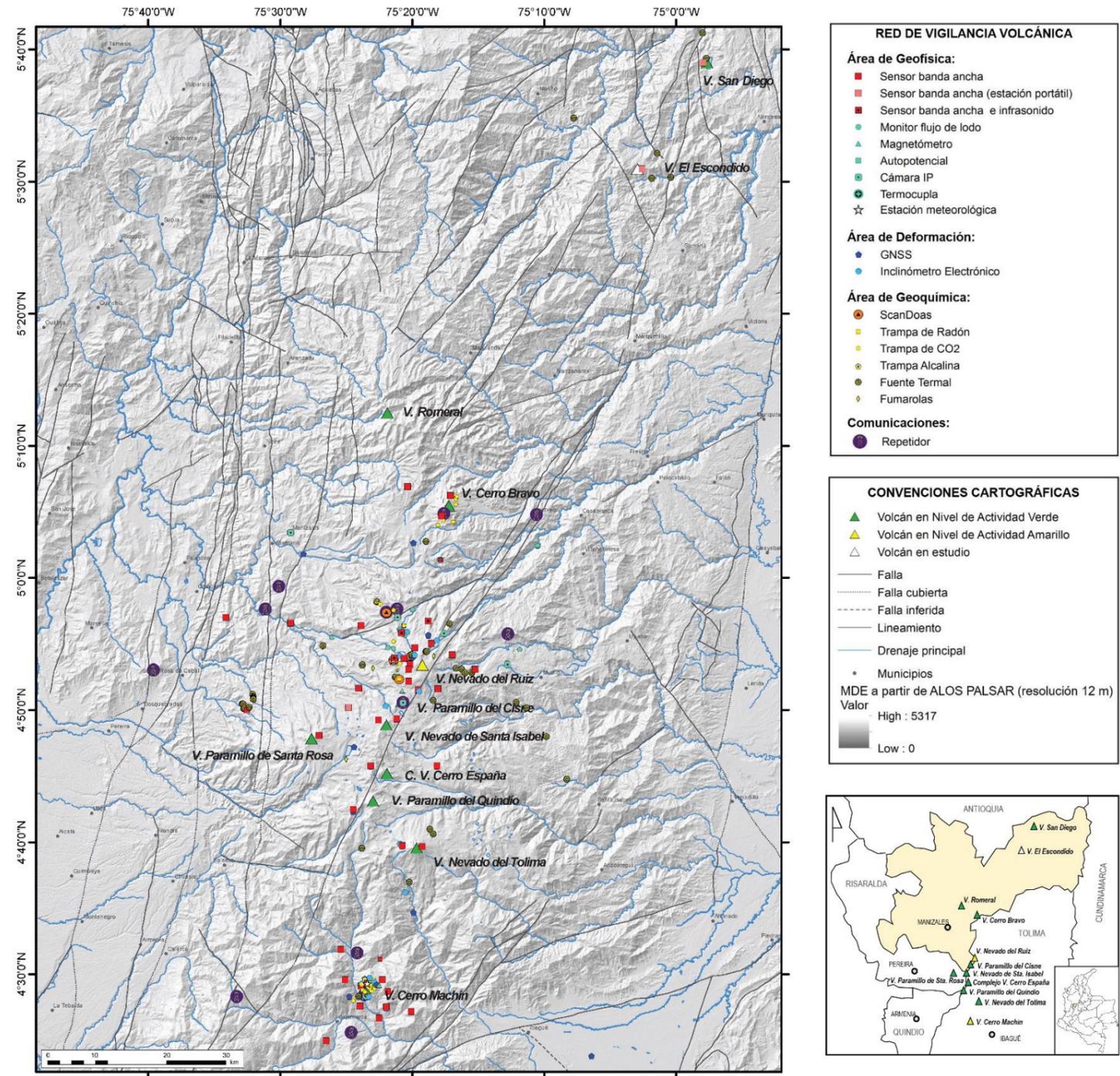


Figura 2. Red de vigilancia de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia



Figura 3. Reflector óptico del espectrómetro del ScanDoas de la estación BRUMA. Se observa la pérdida casi total de su película reflectora debido al efecto de gases volcánicos en la zona



Figura 4. Arreglo de paneles solares en el repetidor EL CISNE

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 marzo de 2021.

2.1.1.1 Geofísica

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

La sismicidad asociada a fracturamiento de rocas o volcano-tectónica (VT) aumentó en el número de sismos registrados (Figura 5) y en la energía sísmica liberada, con respecto a febrero (Figura 6). Los eventos sísmicos se localizaron principalmente en el cráter Arenas y en los sectores suroriental, sur-suroccidental y nororiental del volcán, dentro de un radio de aproximadamente 4 km a partir del cráter Arenas (Figura 7). En menor proporción, se registró actividad sísmica VT en un radio entre 5.5 y 9.5 km a partir del cráter Arenas, en los sectores occidente-noroccidente, suroccidente y suroriente de la estructura volcánica. Las profundidades de los eventos oscilaron entre 0.4 y 8.7 km.

Durante marzo, se registraron varios incrementos sísmicos de muy baja energía, se destaca el ocurrido entre el 29 y el 30 de marzo, por ser el de mayor número de eventos sísmicos. Este incremento estuvo localizado a aproximadamente 2.8 km al suroriente del cráter Arenas, a profundidades entre 1.7 y 3.5 km. En general, los sismos fueron de muy baja energía, la magnitud máxima fue de 1.6 ML (magnitud local).

La máxima liberación de energía sísmica, durante el mes, estuvo asociada al sismo registrado el 02 de marzo a las 14:52 (hora local), con una magnitud de 2.0 ML (magnitud local), localizado en el cráter Arenas, a 1.7 km de profundidad.

En marzo, se registraron episodios de sismicidad *drumbeat* asociada a fracturamiento de roca los días 02, 03, 04, 14, 15, 17, 26, 27 y 28 de marzo. El 26 de marzo se presentó la mayor tasa diaria de este tipo de sismicidad en lo que va corrido del año, en total se registraron 411 sismos VT distribuidos en 14 episodios.

En general, los episodios de sismicidad *drumbeat* fueron de corta duración (entre 1 y 15 min) y de muy baja energía. La periodicidad (tiempo entre sismo y sismo) de los episodios fue muy variable, desde 4-7 s hasta 50-60 s. Debido a la baja magnitud de los eventos sísmicos no fue posible su localización. Este tipo actividad sísmica ha sido relacionado con el ascenso, emplazamiento-crecimiento y evolución de domos de lava¹, como el observado en el fondo del cráter Arenas del VNR desde finales de octubre de 2015.

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)

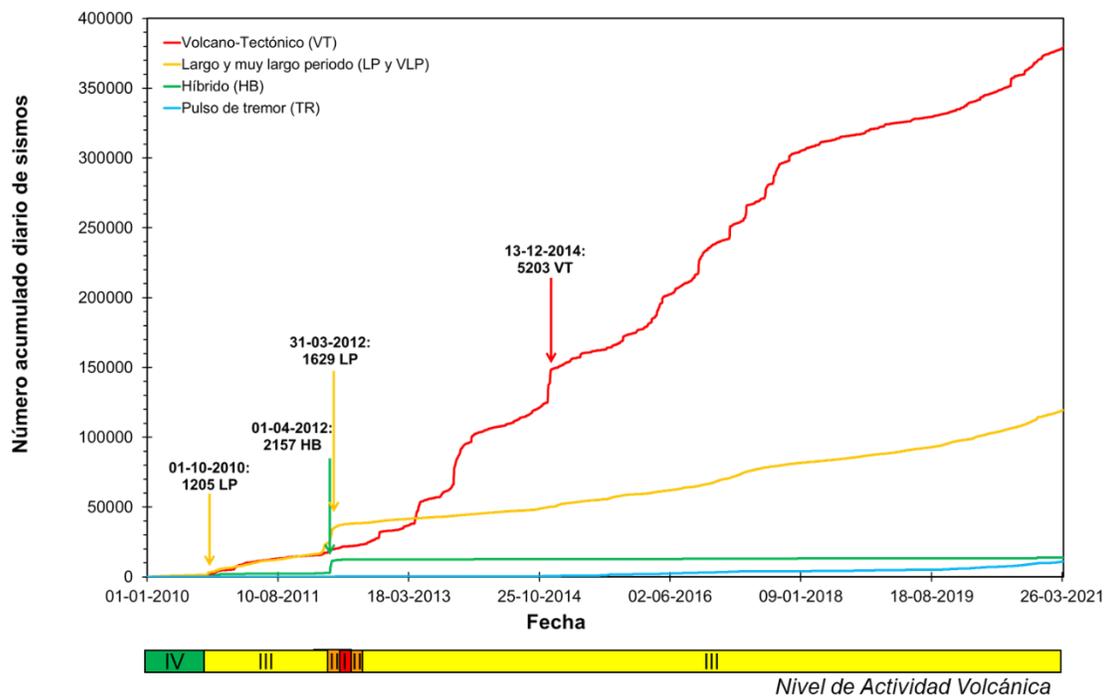


Figura 5. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, LP-VLP, TR y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días con mayor número de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica la tasa máxima de registro diario

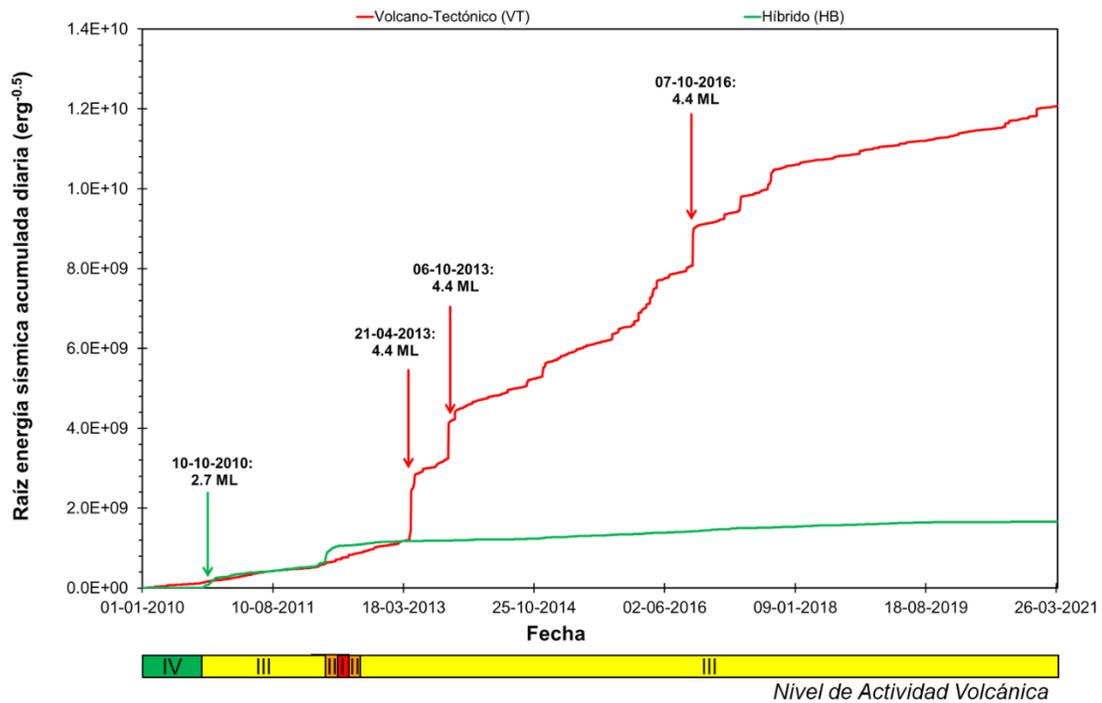


Figura 6. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

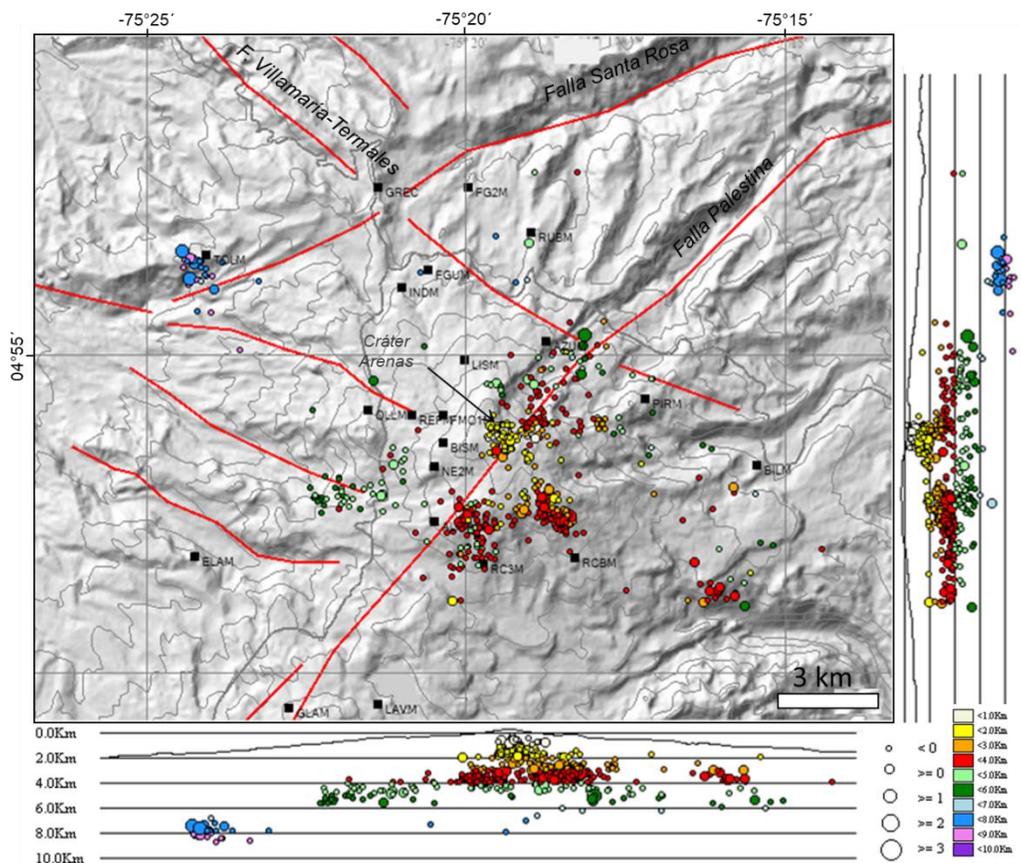


Figura 7. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante marzo de 2021. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores de los círculos representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud 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 un incremento en el número de eventos (Figura 5) 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 10.8 y 7.6 cm^2 , correspondientes a sismos de tipo VLP y LP registrados el 06 de marzo a las 13:39 (hora local) y el 22 de marzo a las 13:28 (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 de 2 km.

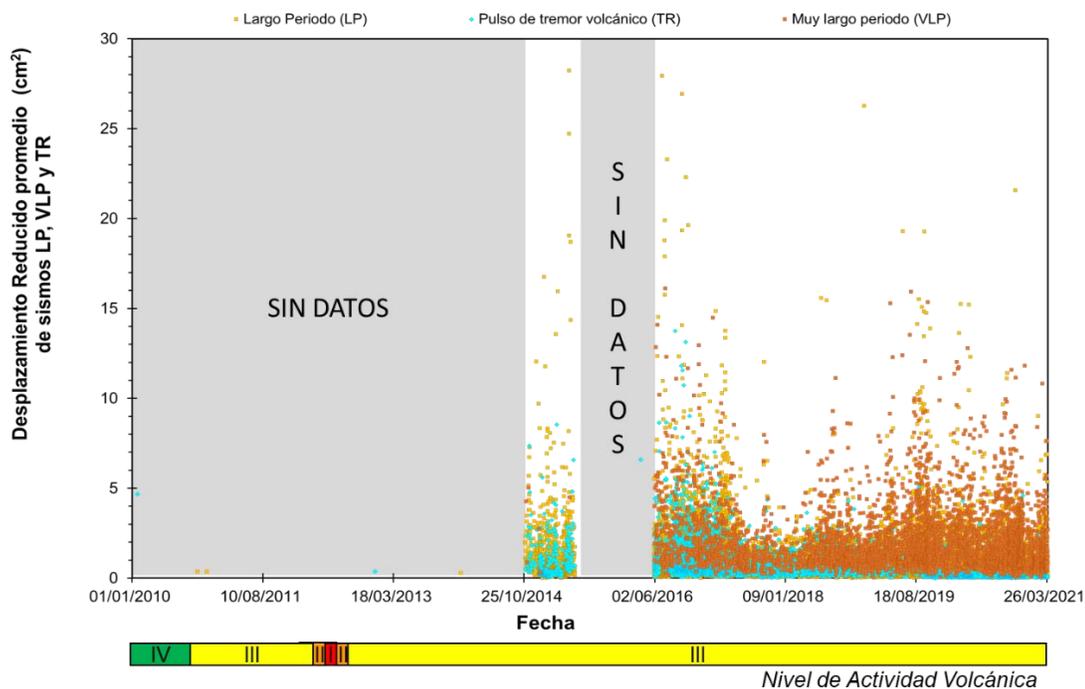


Figura 8. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP y TR registrados en el VNR entre noviembre de 2014 y el 31 de marzo de 2021

Durante marzo, el tremor volcánico continuo (TC) en el VNR se registró de manera ininterrumpida. Los niveles energéticos fueron bajos (Dr en la estación de BISM ≤ 0.10 cm^2) pero levemente mayores a los registrados en febrero. El rango espectral del TC varió entre 2.0 y 17 Hz y 2.0 y 27 Hz para los días de menor y mayor nivel energético respectivamente, sin embargo, la energía estuvo concentrada en el rango espectral entre 2.0 y 9.0 Hz. La frecuencia dominante, la mayor parte del tiempo, fue 4.8-5.6 Hz y alternó con una frecuencia de 2.2-2.7 Hz. Al igual que en febrero el tremor continuó presentando variaciones temporales de su energía, dando como resultado un “bandeado irregular” de este tipo de señal sísmica. Estas bandas en ocasiones fueron antecedidas por pulsos de tremor o por sismos LP y/o VLP.

El tremor armónico en el VNR se registró los días 02, 07, 11, 12 y 13 de marzo con duraciones de 20 a 55 min. 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, de hasta 40 minutos y deslizamiento frecuencial de hasta 10 Hz, predominantemente en un rango de 10 a 30 Hz.

Las señales sísmicas compuestas por un sismo LP/VLP seguidas por un pulso de tremor volcánico (TR) se incrementaron en comparación con las registradas en febrero. Los pulsos de tremor en este tipo de registro (LP/VLP+TR) presentaron duraciones variables entre 60 y 1105 s y Dr máximos medidos en la estación de BISM de hasta 0.8 cm^2 . Los pulsos de tremor que ocurrieron como una señal única presentaron duraciones de hasta 2068 s y Dr máximos de 0.24 cm^2 en la estación de BISM.

Finalmente, la sismicidad asociada a la dinámica glaciar y/o procesos de movimientos en masa mostró una disminución con respecto a febrero, posiblemente debido a que el contraste de temperatura en la madrugada no fue tan marcado como es común en la temporada lluviosa. La mayoría de estas señales sísmicas estuvieron asociadas a procesos de fracturamiento del casquete glaciar, caídas de roca, pequeñas avalanchas generadas por deshielo o fuertes precipitaciones. Adicionalmente, se registraron algunas señales sísmicas debido al aumento del caudal del río Claro, confirmadas por las fotografías tomadas por la cámara web instalada en el sector conocido como “Balcones” donde se encuentra también una estación sismológica.

2.1.1.2 Geodesia (Deformación)

En marzo de 2021, 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 9 y Figura 10).

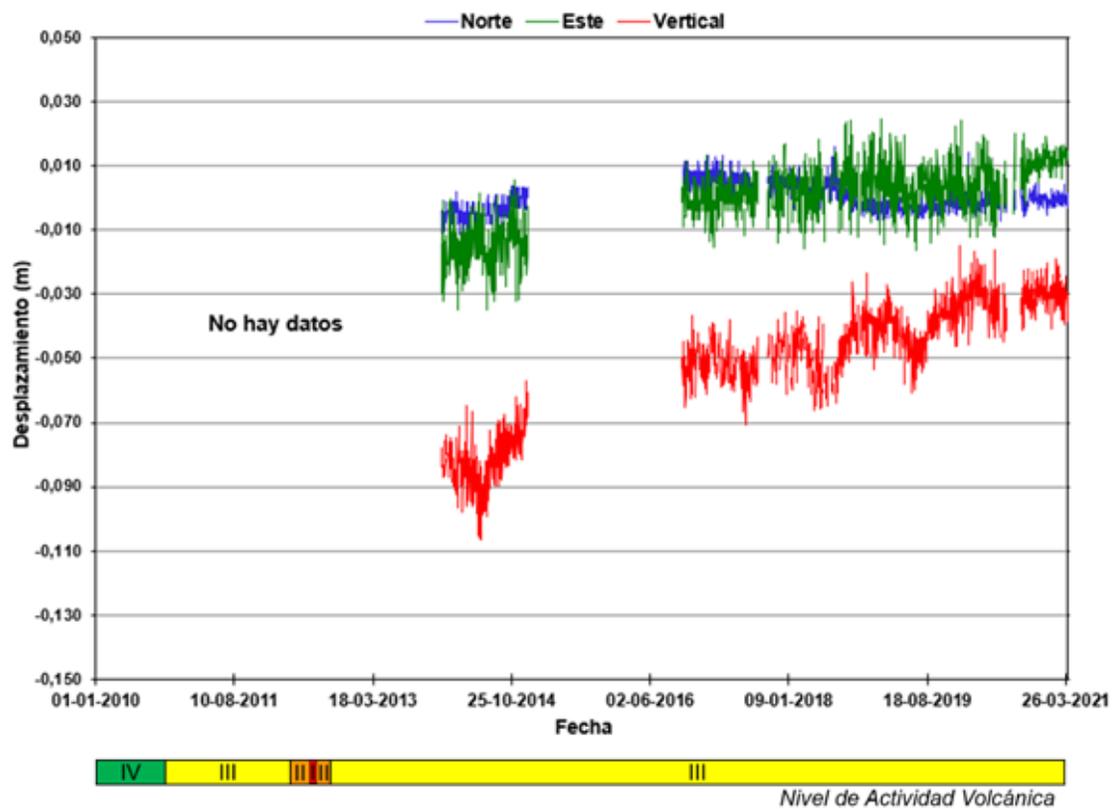


Figura 9. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS GUALI desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021

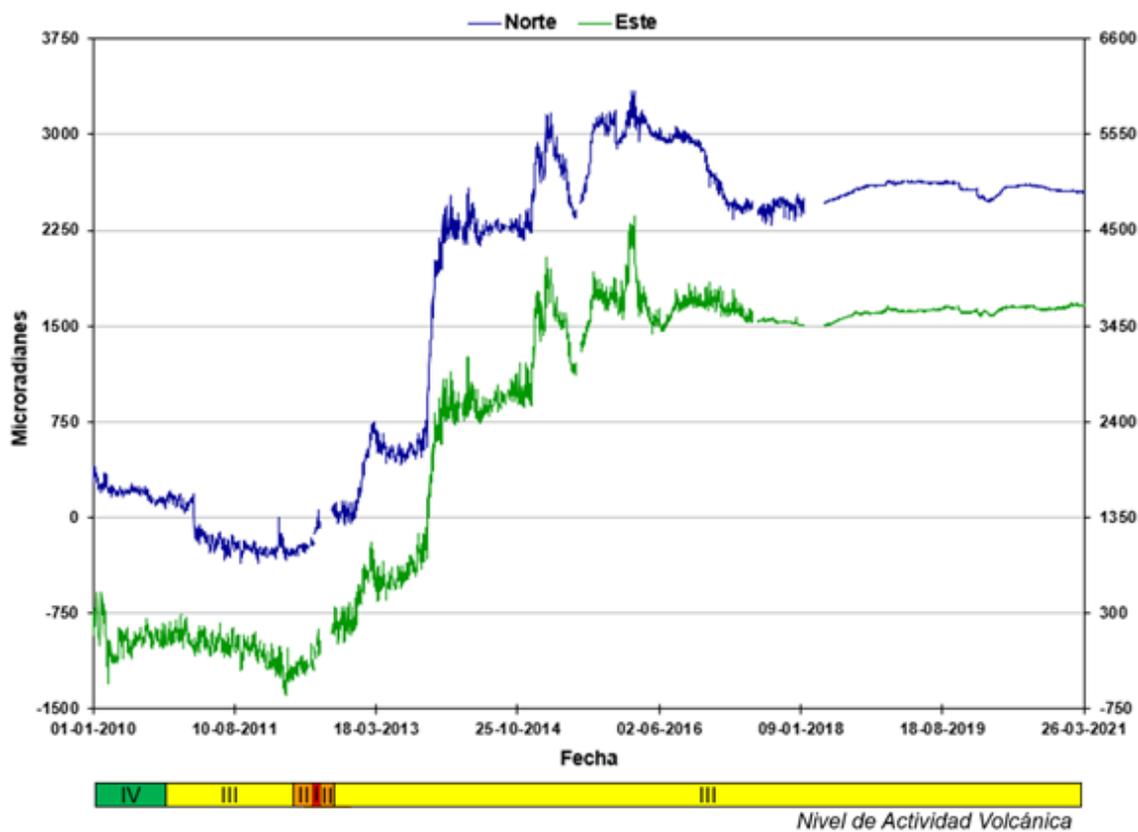


Figura 11. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico REFUGIO desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021

El inclinómetro electrónico BIS2 (Figura 12) continúa presentado grandes oscilaciones en las componentes Norte y Este debido al efecto de la temperatura, sin embargo, registra estabilidad en las dos componentes.

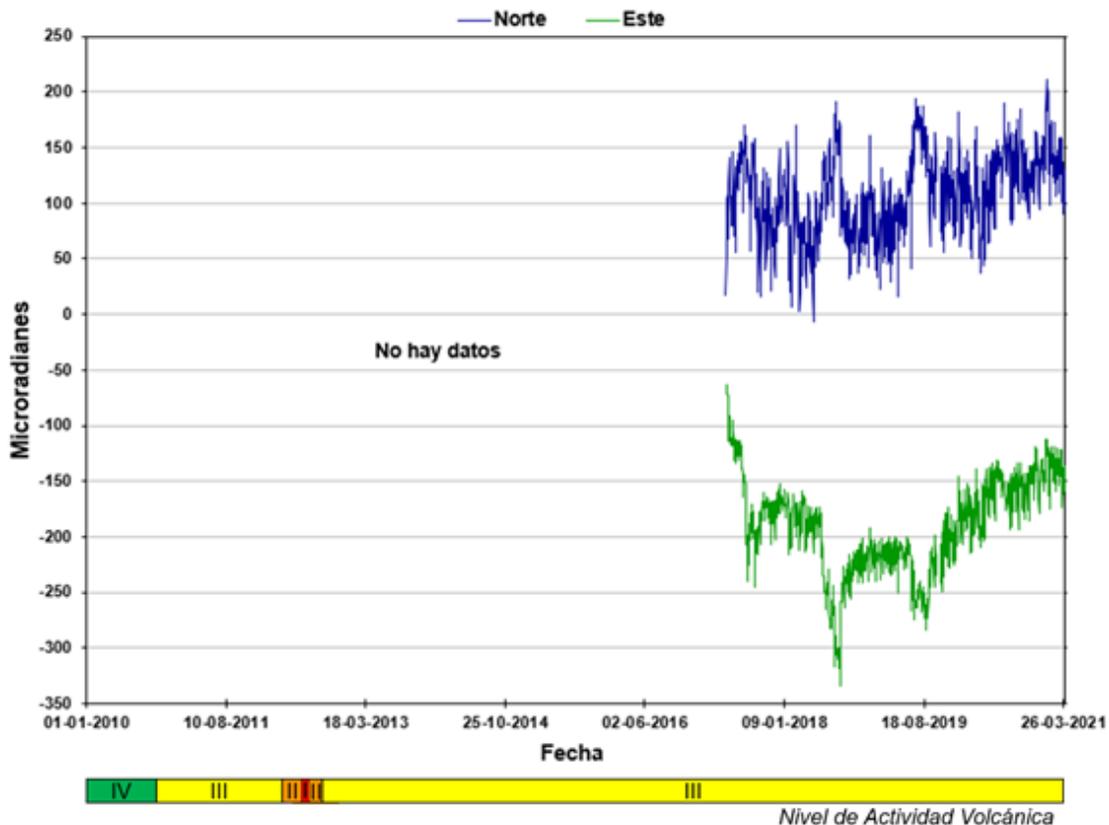


Figura 12. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico BIS2 desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021

2.1.1.3 Geoquímica

Durante el mes los flujos de SO_2 se estimaron mediante cuatro estaciones telemétricas ScanDOAS: ALFOMBRALES, EL CAMIÓN, OLLETA y BILLAR. 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 presentó valores que fluctuaron entre 1.6 y 7.6 m/s, arrojando un promedio en el mes de 4.2 m/s. La dirección del viento fue muy variable, presentando direcciones principalmente hacia el nor-nororiente, nor-noroccidente y sur-suroccidente. En cuanto a la desgasificación de SO_2 , se estimó un valor máximo en el mes de 6200 T/d y una media de los máximos de 2070 T/d (Figura 13). Al igual que en febrero, si bien se observa un leve aumento durante el mes, se siguen presentando valores bajos de flujo debido a las condiciones de viento antes expuestas y a que las estaciones utilizadas se encuentran instaladas en los sectores en donde la dirección del

viento no ha predominado para dispersar la columna de gases, además de presentar velocidades bajas que no permiten que la columna atraviese la trayectoria de acción de las estaciones. Esto impide contar con registros de escaneos diarios apropiados para cuantificar las descargas de SO₂.

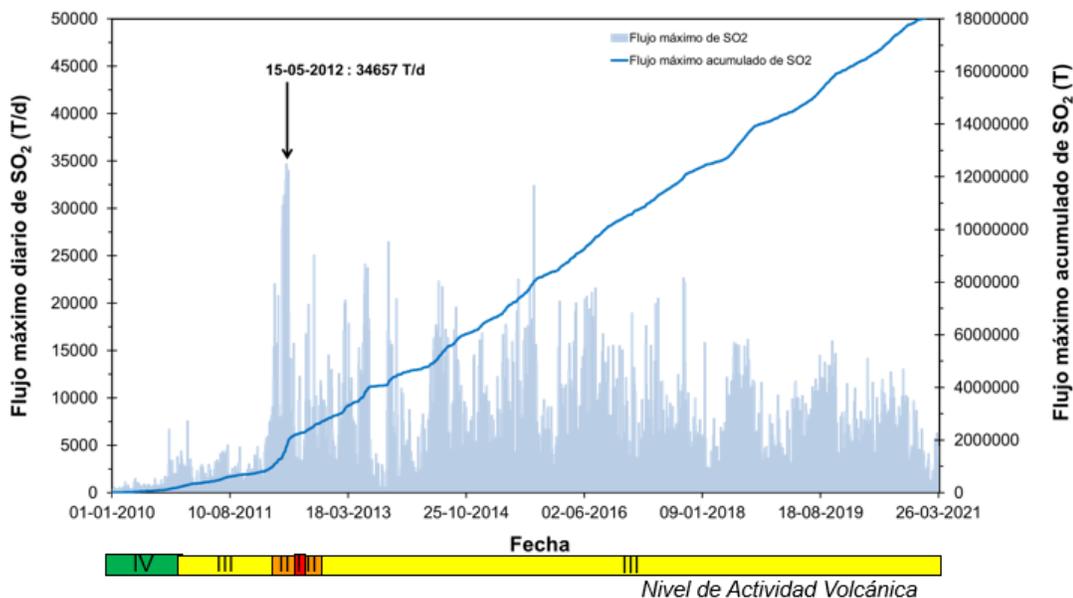


Figura 13. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO₂ del volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de marzo de 2021. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO₂

Las estaciones de monitoreo de gas radón AZUFRAADO, ALFOMBRALES y OLLETA registraron datos promedios de 9450, 1500 y 15.500 Bq/m³ respectivamente, valores que se encuentran dentro de las variaciones normales de sus líneas base.

2.1.1.4 Actividad superficial y anomalías térmicas

A partir de las observaciones visuales realizadas desde el SGC -Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales- y a través de las cámaras instaladas en el VNR, se realizó el seguimiento de la columna de gases relacionada con la actividad fumarólica del cráter Arenas. 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 29 de marzo, la columna de gases alcanzó una altura máxima aproximada de 2572 m medidos desde la cima del cráter (**Figura 14**). La dirección de dispersión de esta fue variable, sin embargo, se observó preferencialmente hacia el occidente-noroccidente, noroccidente o

nororiente del volcán y, en menor proporción hacia el suroccidente, suroriente u occidente-suroccidente de la estructura volcánica. En general, 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).

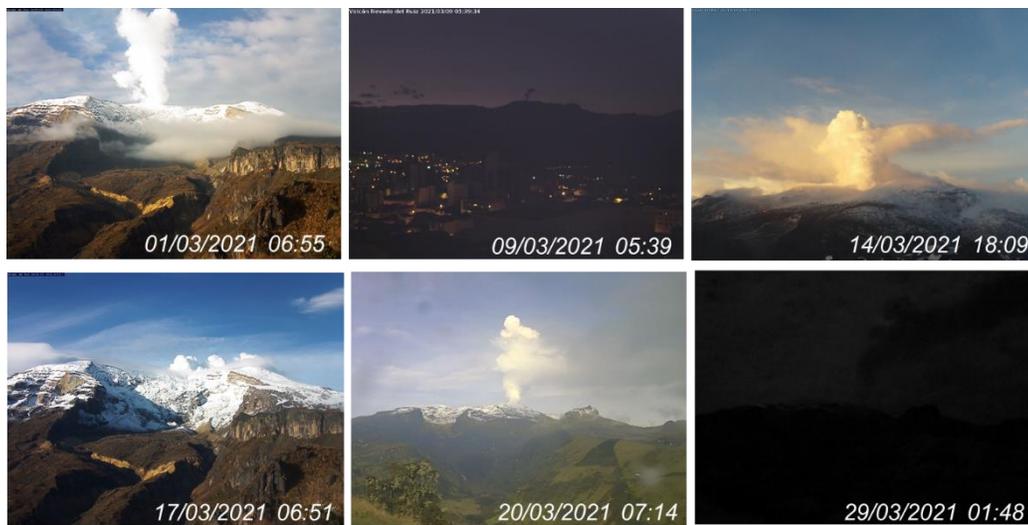


Figura 14. Fotografías de la columna de gases y vapor en el cráter Arenas capturadas durante el mes por las cámaras instaladas en los sectores Cañón del río Azufrado (fotos del 01 y 17 de marzo), SGC-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales (foto del 09 de marzo), Paramillo del Cisne (foto del 14 de marzo) y Pitayó (fotos del 20 y 29 de marzo)

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 posiblemente ceniza, dadas sus características espectrales, forma de onda y energía sísmica, sin embargo, ninguna pudo ser confirmada visualmente debido a la alta nubosidad en el área durante la mayor parte del mes.

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

Con base en las mediciones realizadas mediante la triangulación de las estaciones ScanDOAS, se calculó una altura promedio diaria de la columna de gases de 679 m (Figura 15).

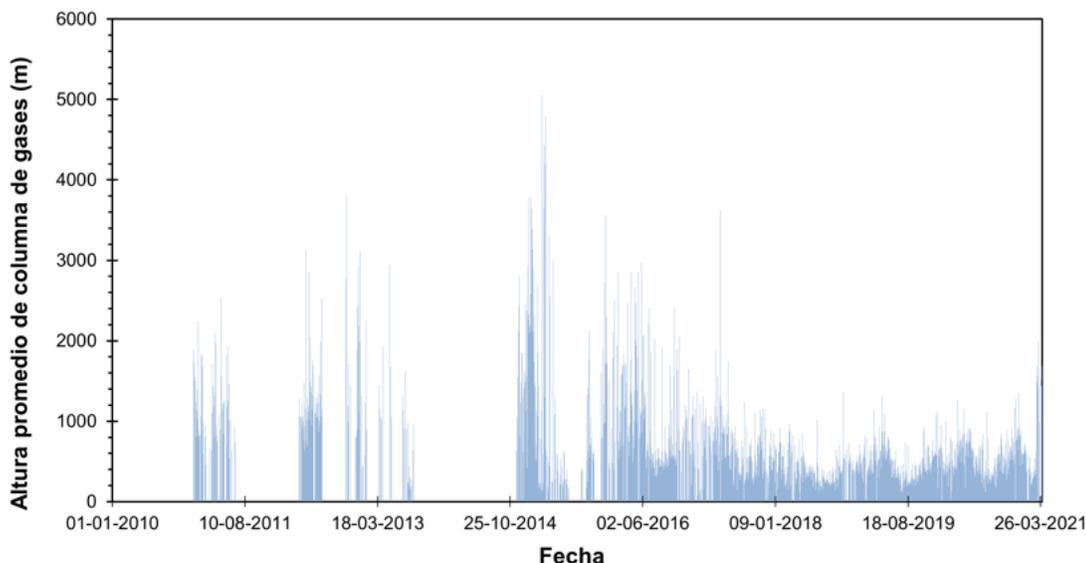


Figura 15. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDOAS

2.1.1.5 Diagnóstico de la actividad del volcán Nevado del Ruiz

A partir del análisis de los datos obtenidos en las diferentes técnicas utilizadas para el monitoreo del volcán, se evidenció que el VNR continúa el proceso asociado a una nueva etapa de mayor inestabilidad iniciada a mediados de 2019. Desde entonces, se han observado constantes 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), el cambio del estado termal de la superficie del volcán evidenciado en las anomalías térmicas detectadas en el cráter Arenas, la recurrencia de períodos de emisiones menores de ceniza y, de menor grado, en la deformación leve y local de la superficie de la estructura volcánica.

Durante marzo, la actividad del VNR estuvo principalmente marcada por un incremento en los dos principales tipos de sismicidad volcánica, la relacionada al fracturamiento de roca y la asociada a la dinámica de fluidos a interior de los conductos. Esta actividad sísmica estuvo concentrada principalmente en el cráter Arenas y en algunas fuentes cercanas a él. También es importante señalar la variabilidad en las características de la sismicidad relacionada con el movimiento de fluidos volcánicos, especialmente del tremor volcánico y el registro de episodios de sismicidad tipo *drumbeat*. Esto podría obedecer a cambios en la interacción del sistema hidrotermal con el magmático, generados posiblemente por movimiento del magma al interior de las cámaras

magmáticas, o por llegada de nuevo material a las mismas, o son el resultado de la evolución del domo de lava emplazado en el cráter Arenas desde finales de octubre de 2015. Hasta el momento no se tiene evidencia para confirmar ninguna de estas hipótesis. Las estaciones de la red de deformación del VNR evidenciaron, en general, estabilidad en la superficie volcánica y las mediciones del flujo del SO₂ fueron, durante el mes, muy limitadas debido a las condiciones meteorológicas adversas en la zona, de manera que no fue posible realizar una valoración de la desgasificación en el volcán.

Finalmente y de acuerdo con los parámetros evaluados en marzo y su relación con los demás datos obtenidos hasta el momento del monitoreo continuo en el 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 marzo de 2021.

2.1.2.1 Geofísica

En el VCM, la sismicidad registrada estuvo principalmente asociada a fracturamiento de roca en las inmediaciones y en sectores distales del volcán. Esta actividad sísmica aumentó en el número de eventos registrados (Figura 16) y en la energía sísmica liberada respecto a febrero (Figura 17). Los sismos se localizaron en el área proximal del volcán en los sectores sur, sur-suroccidente y suroriente del domo principal y, en menor proporción, al oriente del mismo y en el sector suroriental de la estructura volcánica, a profundidades entre 1.7 y 8.2 km (Figura 18).

Durante el mes se presentaron cinco incrementos en la actividad sísmica, en general de baja energía, los días 06-07, 22, 26, 29, 30 de marzo. De estos incrementos se destacan dos, el del 06-07 y el del 26 de marzo por ser los de mayor energía y número de sismos. El primer incremento estuvo localizado al sur y al sur-suroriente del domo principal, a profundidades entre 1.9 y 6.6 km. El sismo de mayor magnitud fue de 2.3 ML (magnitud local), registrado a las 00:15 el 07 de marzo, localizado a 1.1 km al sur-suroriente del domo principal, a 3.8 km de profundidad; este evento sísmico es además el de mayor magnitud durante el mes y fue reportado como sentido por habitantes en inmediaciones del volcán.

El segundo incremento sísmico importante ocurrió el 26 de marzo y estuvo localizado, principalmente, al sur-suroccidente del domo principal, a profundidades que oscilaron entre 1.2 y 4.2 km. La mayor magnitud fue de 2.0 ML (magnitud local) asociada al sismo registrado a las 18:27 (hora local), localizado a 0.9 km al oriente del domo principal, a 4.3 km de profundidad. Este evento sísmico fue sentido por habitantes en inmediaciones al volcán.

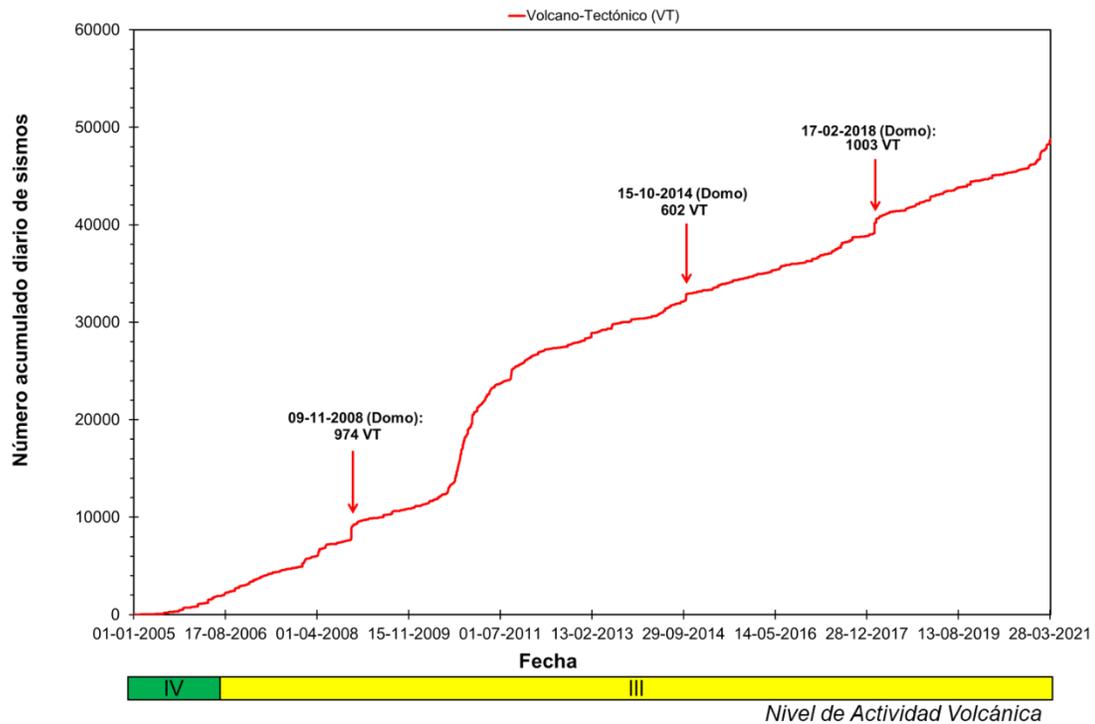


Figura 16. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número y sector de localización de los eventos

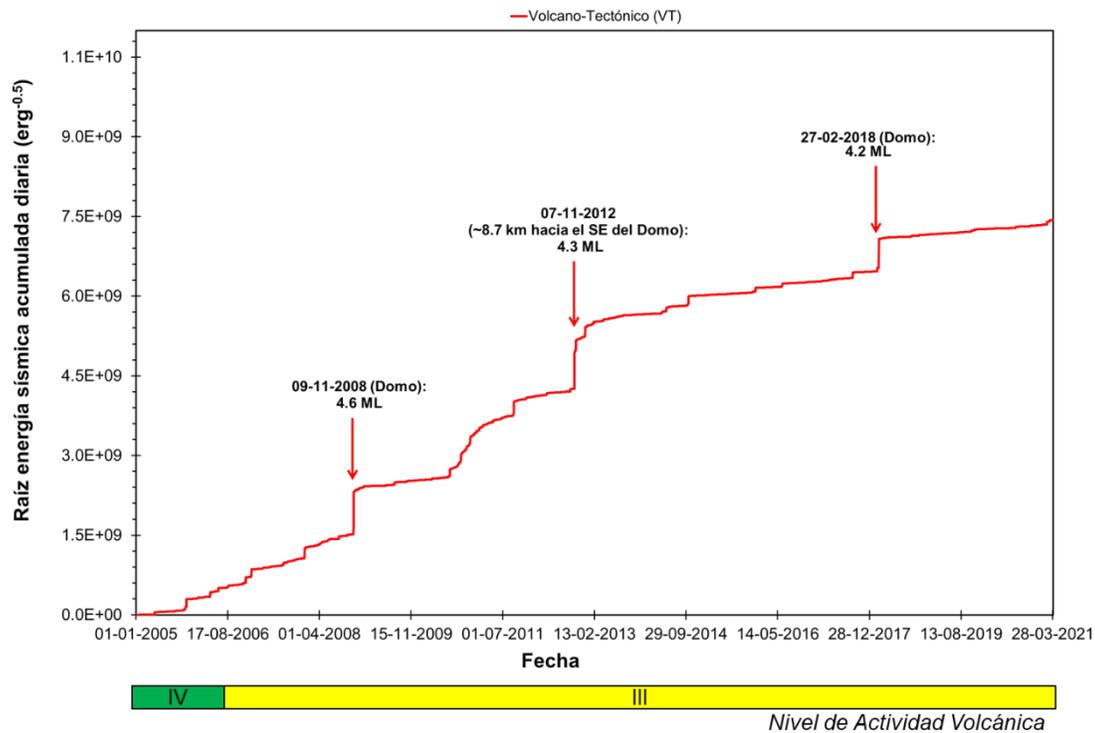


Figura 17. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada y el sector de localización de ésta

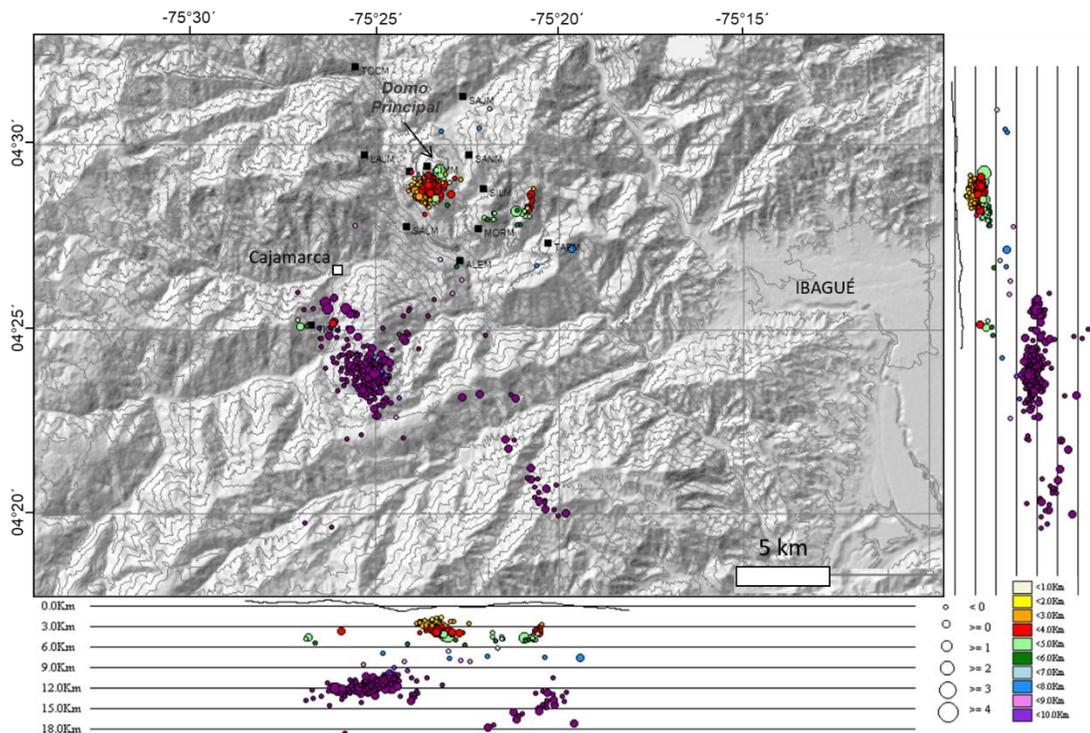


Figura 18. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante marzo de 2021. Los cuadros de color negro representan las estaciones sismológicas. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

Durante marzo, continuó el registro de sismicidad asociada a fracturamiento en el sector conocido como La Tigra, a 11.2 km al suroccidente del volcán. La profundidad de los sismos en este sector osciló principalmente entre 8 y 15 km. La máxima magnitud registrada fue de 1.5 ML (magnitud local), correspondiente a los sismos registrados el 08 de marzo a las 10:29 y a las 17:40 (hora local), localizados a 8.1 y a 10.6 km al suroccidente del domo principal, a 12.0 y 10.8 km de profundidad, respectivamente.

Como se mencionó en el informe técnico-operativo de febrero de 2021 la sismicidad que se está registrando en el sector de La Tigra es materia de estudio y por el momento no ha sido incluida en las gráficas de número de sismos ni de energía liberada de la línea base del volcán. Los cambios en la evolución de esta sismicidad y los resultados de los análisis serán informados oportunamente.

2.1.2.2 Geodesia (Deformación)

Durante marzo 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 electrónicos.

Las estaciones GNSS LAGUNA, MORAL Y SECRETA continúan mostrando estabilidad (Figura 19, Figura 20 y Figura 21).

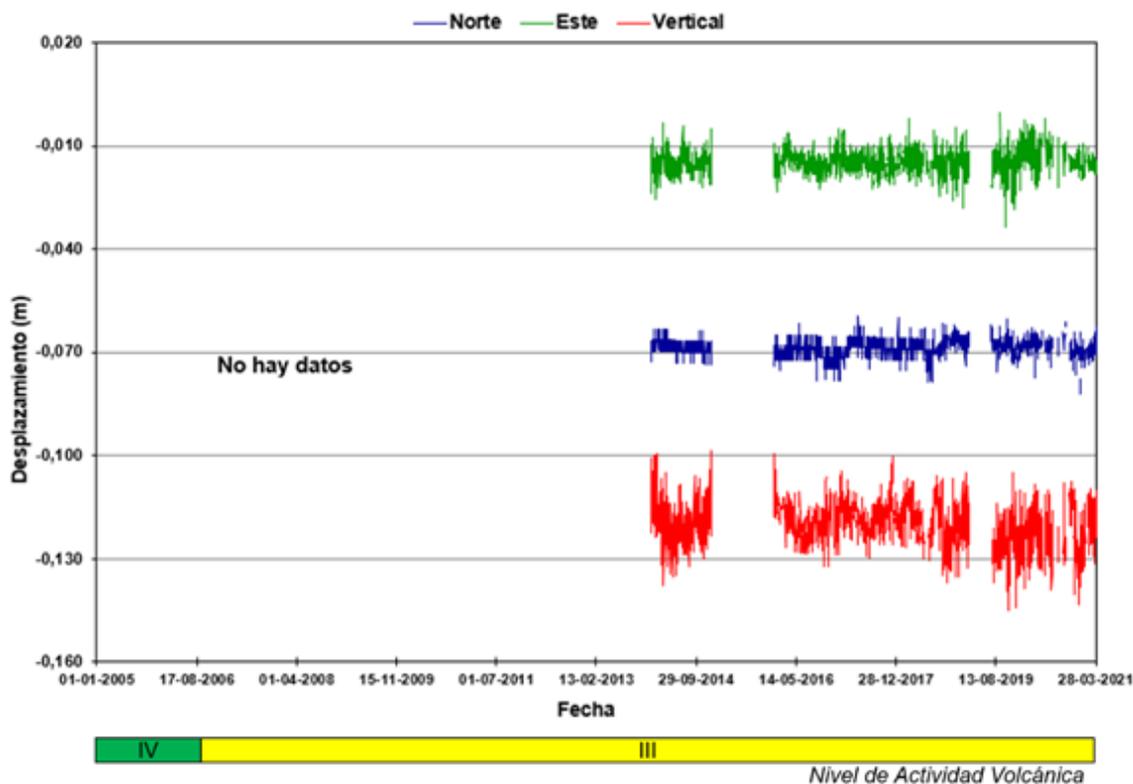


Figura 19. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS LAGUNA desde el 01 enero de 2005 hasta el 31 de marzo de 2021

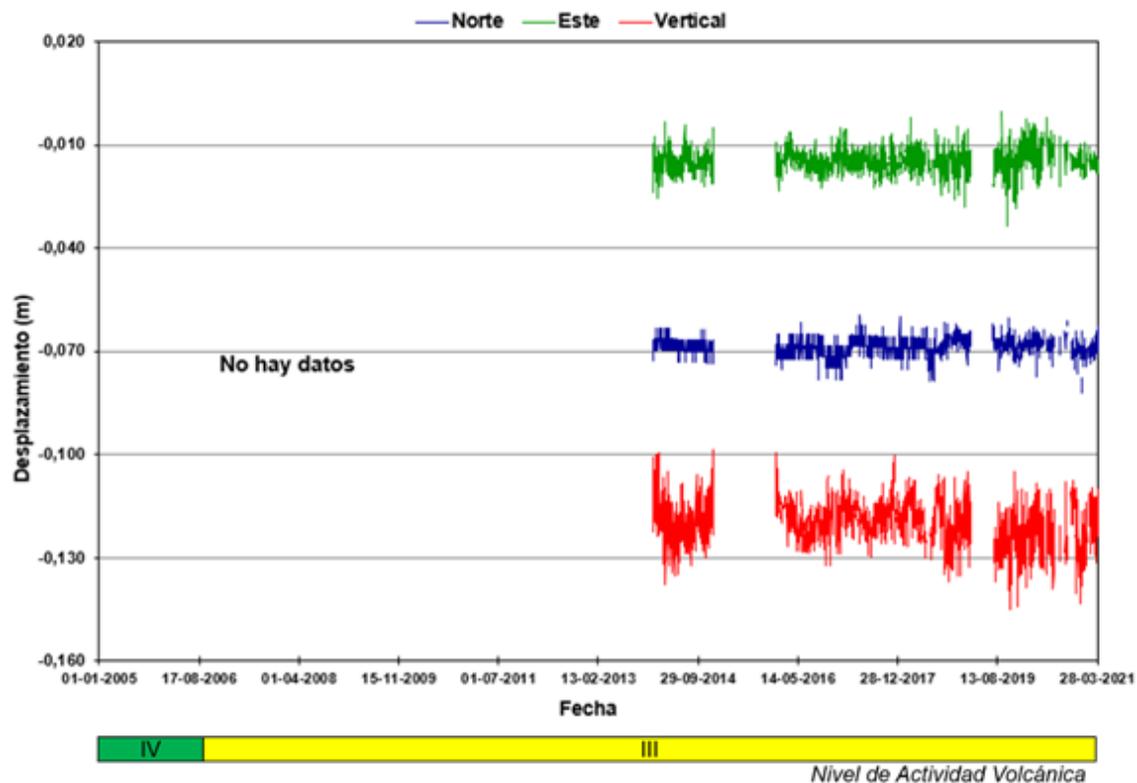


Figura 20. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS MORAL desde el 01 de enero de 2005 hasta el 31 de marzo de 2021

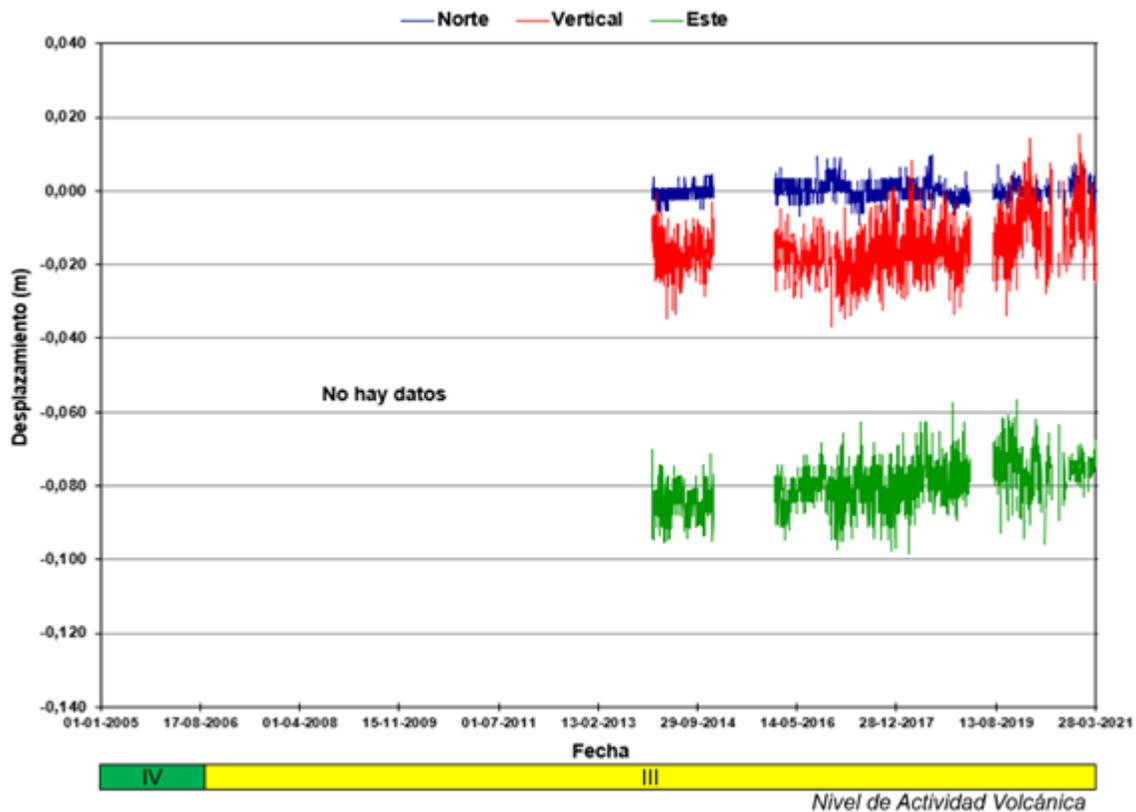


Figura 21. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS SECRETA desde el 01 de enero de 2005 hasta el 31 de marzo de 2021

El inclinómetro electrónico CIMA (Figura 22) continúa registrando estabilidad en sus dos componentes.

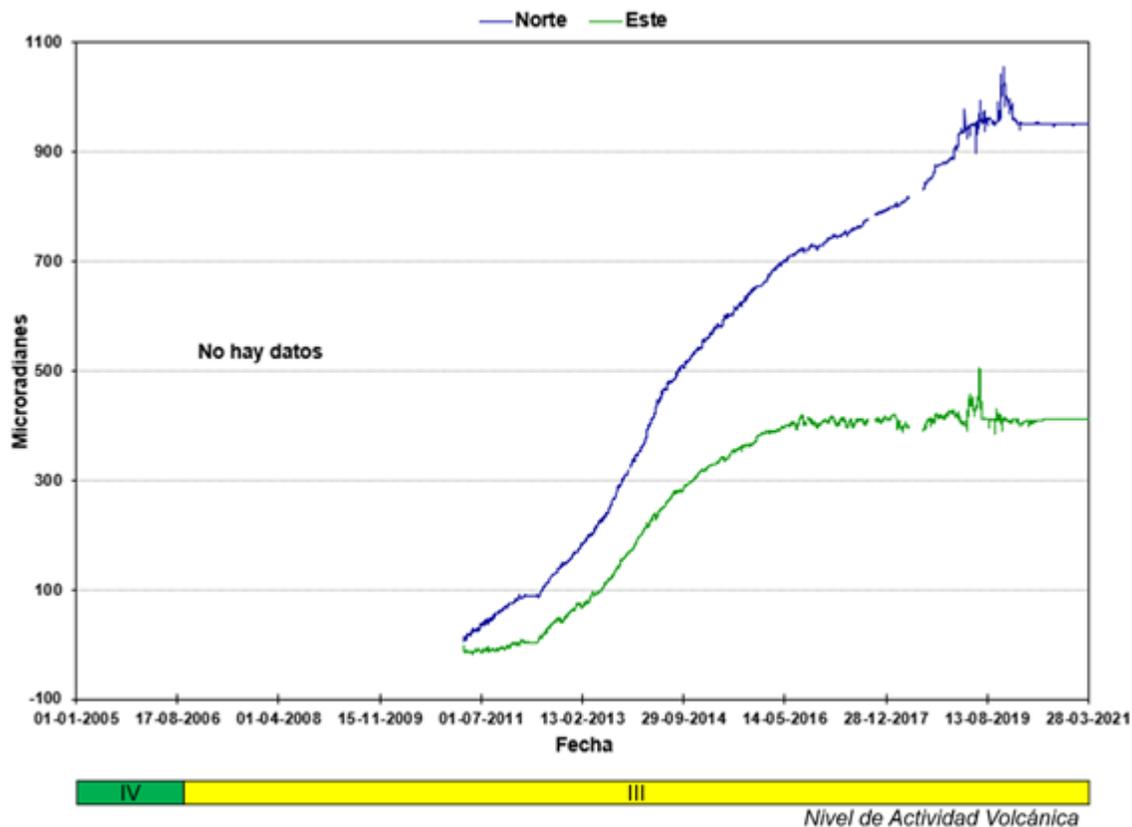


Figura 22. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CIMA desde el 01 de enero de 2005 hasta el 31 de marzo de 2021

2.1.2.3 Geoquímica

El monitoreo geoquímico de la estación telemétrica de temperatura ubicada en la fuente termal ESTATUAS mostró que en promedio la temperatura fue de 87.5°C, valor que se encuentra dentro del rango de variación normal.

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, aunque es de baja energía, presentó un aumento en el número de eventos. 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).

La sismicidad reportada en el sector de La Tigrera continuó registrándose y sigue siendo materia de estudio.

Los parámetros geoquímicos y geodésicos monitoreados presentaron estabilidad.

De acuerdo con los parámetros evaluados en marzo 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

Durante marzo, los volcanes en Nivel de Actividad Verde registraron principalmente sismicidad de tipo volcano-tectónica (Figura 23, Figura 24 y Figura 25).

En los volcanes Nevado del Tolima (VNT) y Nevado de Santa Isabel (VNSI) la sismicidad volcano-tectónica mostró un aumento tanto en el número de eventos como en la energía sísmica liberada en relación a febrero. En el caso del VNT se registró incremento sísmico el 04 de marzo, en el cráter del volcán, la máxima magnitud registrada durante este incremento y en el mes fue de 2.2 ML (magnitud local). En el VNSI, también se registró un incremento de sismicidad entre el 08 y el 09 de marzo, localizado en el sector oriental de la estructura volcánica, la máxima magnitud registrada, durante el incremento y en el mes, fue de 2.0 ML (magnitud local). En ambos volcanes la tasa diaria de señales sísmicas generadas por la dinámica glaciaria disminuyó en relación con las registradas en febrero.

Los volcanes Paramillo del Cisne (VPC) y Paramillo del Quindío (VPQ) mantuvieron niveles similares en el número de sismos tipo VT y en la energía sísmica liberada, respecto a febrero. La máxima magnitud registrada en el VPC fue de 0.4 ML (magnitud local) y en el VPQ de -0.1 ML (magnitud local).

Los volcanes Paramillo de Santa Rosa (VPSR) y Cerro Bravo (VCB) presentaron 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 febrero. En el

VPSR la magnitud máxima fue de 1.1 ML (magnitud local) y en el VCB de 0.6 ML (magnitud local). Adicionalmente, en este último volcán se registraron algunas señales asociadas con pequeñas avalanchas y desprendimientos de rocas en el edificio volcánico.

En el Complejo Volcánico Cerro España (CVCE) la actividad sísmica asociada a fracturamiento de rocas disminuyó en el número de sismos y aumentó en la energía sísmica liberada, en comparación con febrero. La magnitud máxima registrada fue de 0.0 ML (magnitud local).

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

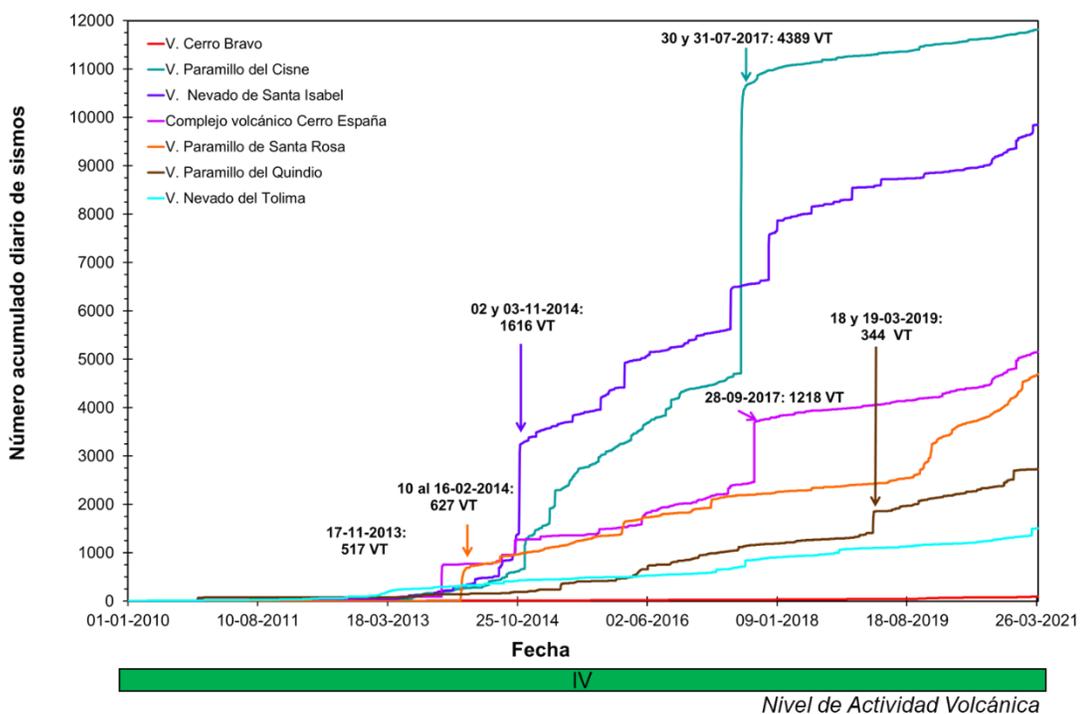


Figura 23. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado

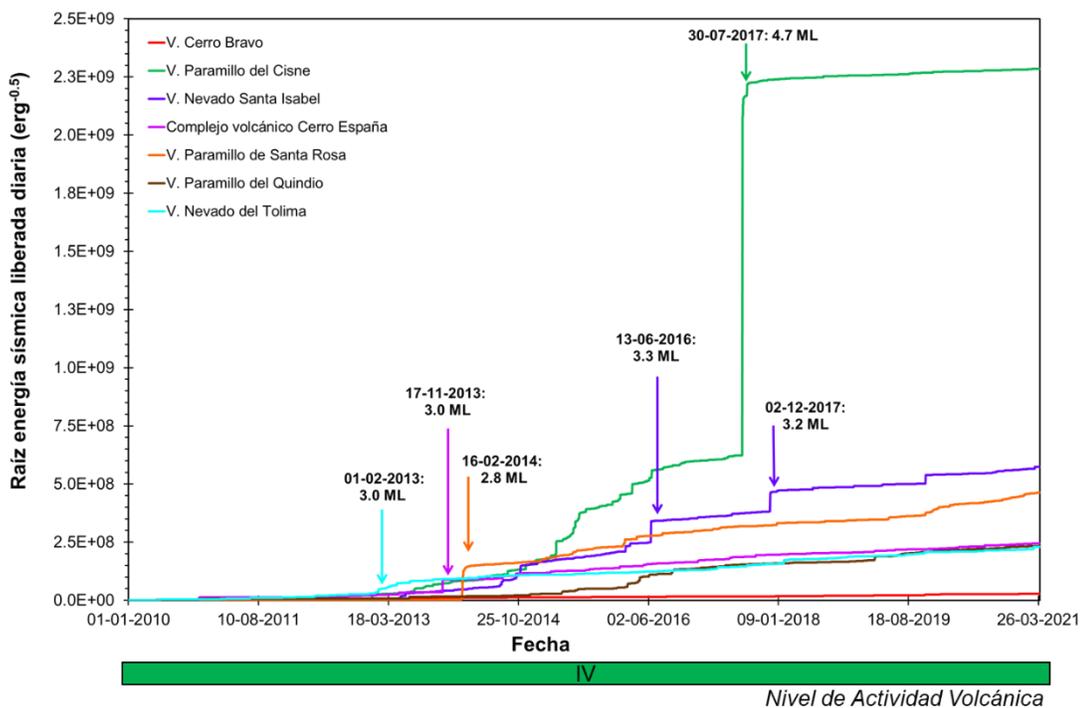


Figura 24. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero de 2010 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada

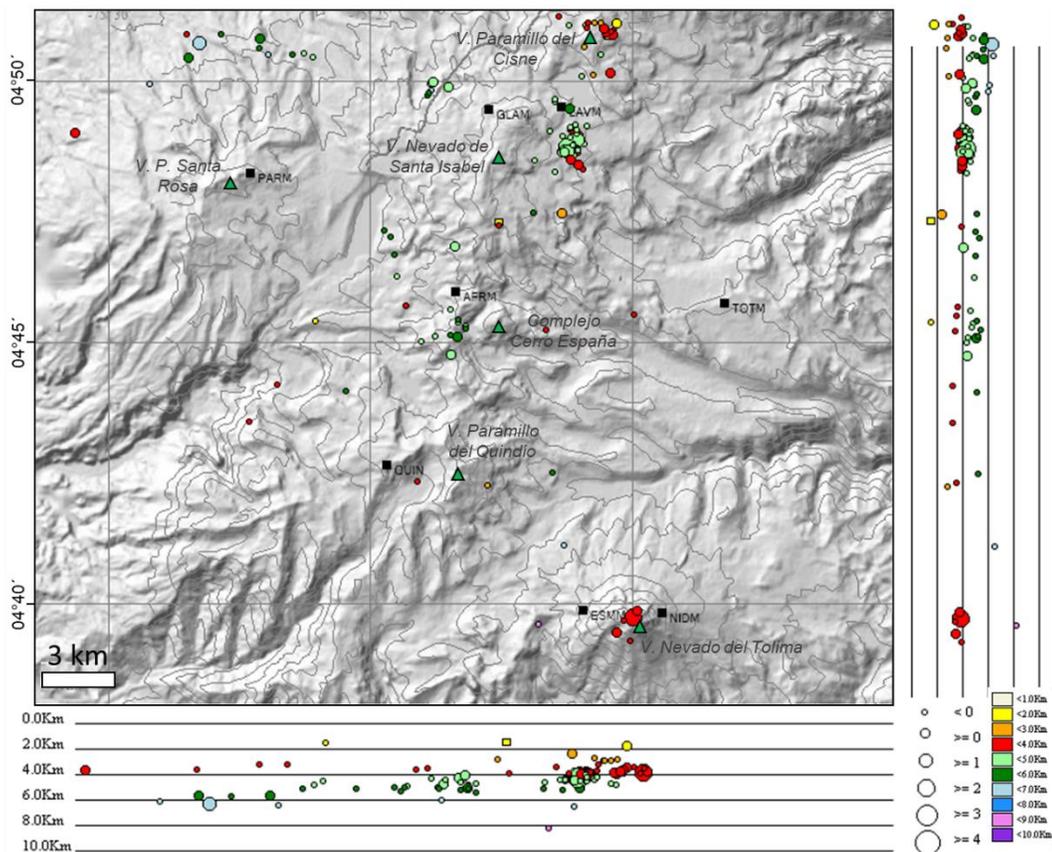


Figura 25. Mapa de localización de los sismos volcánico-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE durante marzo de 2021. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos

2.2.2 Geodesia (Deformación)

Durante marzo 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 26 y Figura 27 muestran el comportamiento de los inclinómetros CHAVA y ESMERALDA de los volcanes VNSI y VNT, respectivamente.

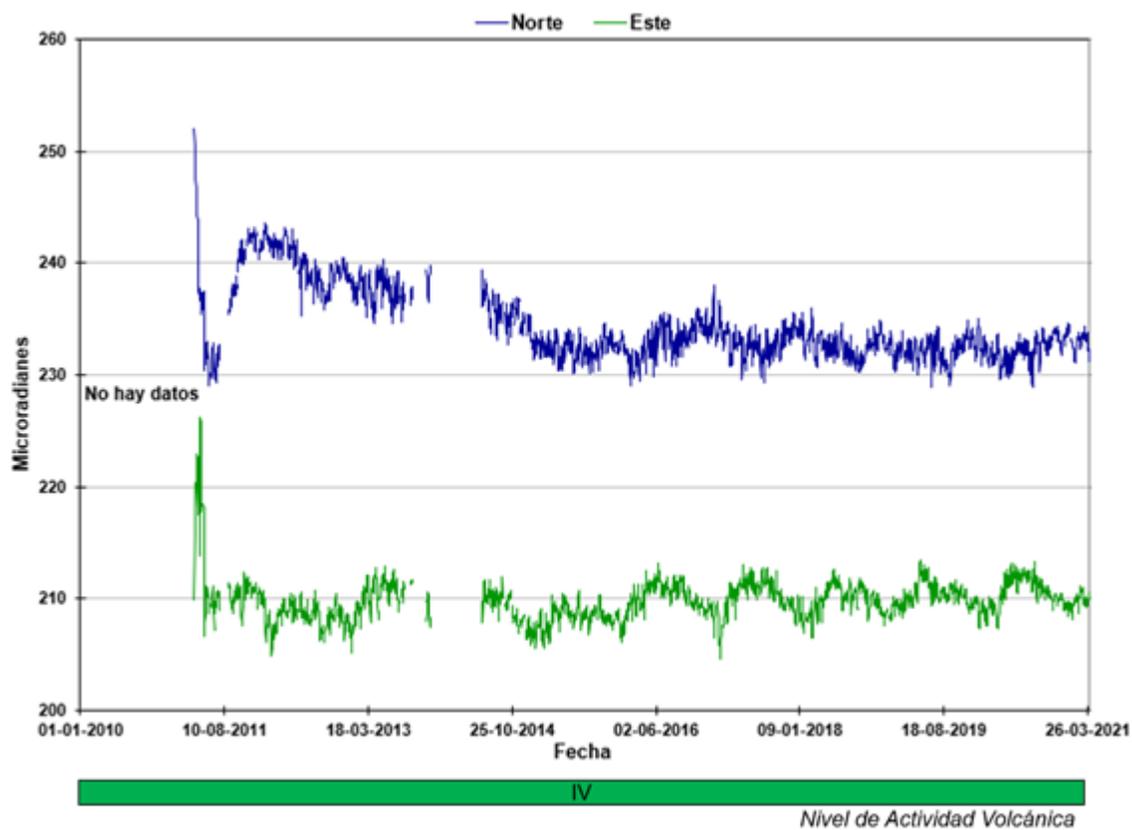


Figura 26. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CHAVA (VNSI) desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021

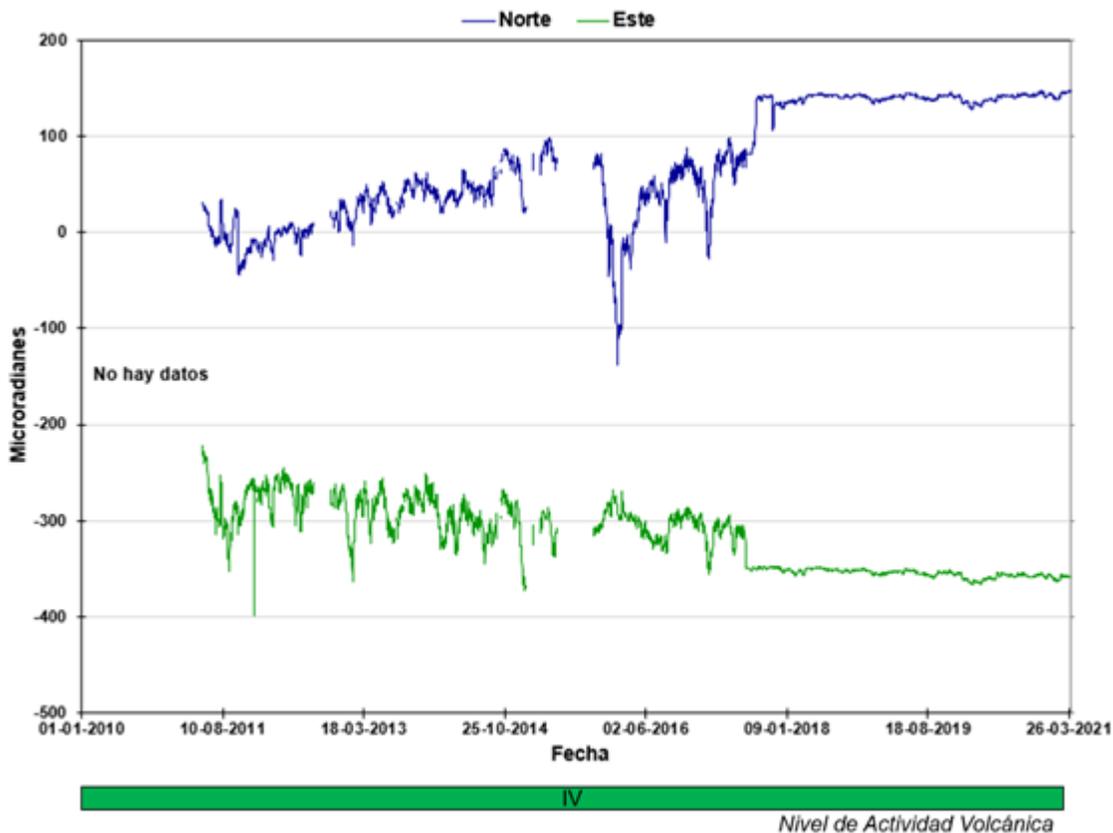


Figura 27. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico ESME (VNT) desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021

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 marzo. 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

- Con base en el análisis y evaluación de la información obtenida, a partir de los parámetros geofísicos, geodésicos y geoquímicos monitoreados en los volcanes del SVNC, se evidenció que los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín continuaron presentando cambios e inestabilidad en su comportamiento, mientras que los demás volcanes mostraron estabilidad.
- En marzo, la actividad sísmica en el VNR presentó variaciones dando continuidad a la etapa de mayor inestabilidad que viene mostrando el sistema volcánico desde mediados de 2019. La sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos y la sismicidad volcano-tectónica aumentaron tanto en número de eventos como en energía sísmica liberada. Esta actividad sísmica estuvo localizada, principalmente, en el cráter Arenas y en fuentes cercanas a este en un radio de 4 km, a profundidades entre 0.4 y 4.0 km. Se registró temblor continuo durante todo el mes, de rango espectral amplio, con frecuencias dominantes entre 2.0 y 9.0 Hz; se destaca la ocurrencia esporádica de temblor armónico de baja frecuencia. Durante el mes se presentaron algunos episodios de sismicidad *drumbeat* de tipo VT, en general, de corta duración y muy baja energía.
- A partir de los datos geoquímicos se evidenció que el VNR continuó emitiendo importantes cantidades de vapor de agua y gases volcánicos a la atmósfera. Infortunadamente, las condiciones meteorológicas (e.g. dirección del viento) no favorecieron las estaciones de medición, por lo que no fue posible determinar si las tasas diarias y en la descarga máxima acumulada en marzo mostró cambios en relación con la tendencia a la disminución que se venía observando en los últimos meses en el volcán. Los datos adquiridos muestran un leve aumento en la desgasificación.
- Las estaciones de las redes de deformación de los volcanes VNR, VCM, VCB, VNSI, VNT y VPSR no detectaron deformaciones significativas en marzo de 2021, evidenciando estabilidad en la superficie volcánica.
- En el volcán Cerro Machín continuó el registro de la sismicidad asociada a fracturamiento de roca, la cual mostró un aumento en el número de sismos y en la energía sísmica. Esta actividad sísmica estuvo localizada muy cerca al domo principal (< 2 km) hacia los flancos sur, sur-suroccidental y sur-suroriental. Se registraron dos eventos sísmicos reportados como sentidos por habitantes en inmediaciones del volcán, con magnitudes de 2.3 ML y 2.0 ML (magnitud local).

Adicionalmente, continuó durante el mes la ocurrencia de sismicidad, de baja energía, en el sector de La Tigra.

- Los demás volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia mostraron cambios leves en los niveles de sismicidad tipo VT. Respecto a febrero, los volcanes VNT y VNSI registraron un aumento en el número de sismos y en energía sísmica, el CVCE presentó incremento en el número de sismos pero disminución en la energía sísmica, los volcanes VPC y VPQ mostraron niveles similares en sismicidad y, los volcanes VPSR y VCV registraron una disminución en el número de sismos y en la energía sísmica. Con relación a los demás parámetros geofísicos, geoquímicos y geológicos monitoreados no se observaron cambios.
- En los volcanes del SVNC cubiertos en su parte superior por casquete glaciar (VNR, VNSI y VNT) continuó el registro de señales sísmicas relacionadas con la dinámica de este. En marzo, las tasas diarias de este tipo sismicidad disminuyeron en los tres volcanes, en comparación con las registradas en febrero.
- El SGC, con base en la evaluación integral de los parámetros monitoreados hasta marzo de 2021, 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 permanecen en “NIVEL VERDE  (o IV): Volcán activo y comportamiento estable”.

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. Reflector óptico del espectrómetro del ScanDoas de la estación BRUMA. Se observa la pérdida casi total de su película reflectora debido al efecto de gases volcánicos en la zona	3
Figura 4. Arreglo de paneles solares en el repetidor EL CISNE	3
Figura 5. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, LP-VLP, TR y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días con mayor número de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica la tasa máxima de registro diario	6
Figura 6. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT y HB registrada en el VNR entre el 01 de enero 2010 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	7
Figura 7. Mapa de localización de los sismos VT (círculos de colores) registrados en el VNR durante marzo 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	8
Figura 8. Desplazamiento reducido promedio de la sismicidad tipo LP, VLP y TR registrados en el VNR entre noviembre de 2014 y el 31 de marzo de 2021	9
Figura 9. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS GUALI desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021	11
Figura 10. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS OLLETA desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021	12
Figura 11. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico REFUGIO desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021	13
Figura 12. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico BIS2 desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021	14
Figura 13. Variación diaria (azul claro) y acumulada (línea de color azul oscuro) del flujo de SO ₂ del volcán Nevado del Ruiz, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de marzo de 2021. La flecha indica el día que se estimó el mayor flujo de SO ₂	15
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 17 de marzo), SGC-Observatorio Vulcanológico y	

Sismológico de Manizales (foto del 09 de marzo), Paramillo del Cisne (foto del 14 de marzo) y Pitayó (fotos del 20 y 29 de marzo)	16
Figura 15. Altura de columna de gases calculada mediante triangulación de las estaciones ScanDOAS	17
Figura 16. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en el VCM entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de marzo 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 31 de marzo 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	21
Figura 18. Mapa de localización de los sismos tipo VT (círculos de colores) registrados en el VCM, durante marzo 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	22
Figura 19. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS LAGUNA desde el 01 enero de 2005 hasta el 31 de marzo de 2021	23
Figura 20. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS MORAL desde el 01 de enero de 2005 hasta el 31 de marzo de 2021	24
Figura 21. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Vertical de la estación GNSS SECRETA desde el 01 de enero de 2005 hasta el 31 de marzo de 2021	25
Figura 22. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CIMA desde el 01 de enero de 2005 hasta el 31 de marzo de 2021	26
Figura 23. Número acumulado de la sismicidad diaria de tipo VT registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero 2010 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días con el mayor registro de eventos sísmicos. Para cada fecha se indica el número de sismos registrado	29
Figura 24. Raíz de la energía sísmica acumulada de la sismicidad diaria de tipo VT, registrada en los volcanes VCB, VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE, entre el 01 de enero de 2010 y el 31 de marzo de 2021. Las flechas destacan los días de mayor liberación de energía sísmica. Para cada fecha se indica la magnitud local (ML) máxima registrada	30
Figura 25. Mapa de localización de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en los volcanes VPC, VNSI, VPSR, VPQ, VNT y CVCE durante marzo de 2021. La escala de colores representa la profundidad de los sismos y el tamaño de los círculos, la magnitud de los sismos	31

Figura 26. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico CHAVA (VNSI) desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021	32
Figura 27. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico ESME (VNT) desde el 01 de enero de 2010 hasta el 31 de marzo de 2021	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Trabajos realizados sobre la red de vigilancia telemétrica de los volcanes del Segmento Volcánico Norte de Colombia, en marzo de 2021	3
---	---