

Análisis de la actividad volcánica tipo VT y LP del volcán Nevado del Ruiz entre 1985-2012*¹

[Analysis of volcanic activity type VT and LP of the Nevado del Ruiz volcano between 1985-2012]

ELSA JULIANA VEGA SALAZAR², JOSÉ ALEJANDRO MUÑOZ MAYA³

Recibo: 20.02.2015 – Aprobación: 13.09.2015

Resumen

En la Cordillera de los Andes existen varios complejos volcánicos, siendo el Complejo volcánico Cerro Bravo – Cerro Machín (CVCBCM), el más septentrional de ellos. El Volcán Nevado del Ruiz (VNR), ubicado en dicho complejo, está activo y su evento más devastador fue el ocurrido en noviembre 13 de 1985, cuando el flujo de lodo originado tras el deshielo parcial del casquete glaciar, producto de una erupción freato-magmática, arrasó la población de Armero (Tolima), con un saldo de 23000 personas muertas. Como respuesta a tal catástrofe, se creó el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, que lleva ya 27 años de constante monitoreo de la actividad de los volcanes del CVCBCM, para lo cual utiliza varias técnicas geofísicas, geodésicas y geoquímicas. Este trabajo tiene como objetivo mostrar la actividad del volcán a partir de la sismicidad, considerando el conteo de eventos sísmicos y la energía liberada por los mismos, diferenciando los sismos fractura y los de movimiento de fluidos. La labor de clasificación y lectura de los sismos, cuenta con la participación activa de estudiantes de pregrado, fungiendo como asistentes de investigación, lo que les

* Modelo para la citación de este artículo:
VEGA SALAZAR, Elsa Juliana & MUÑOZ MAYA, José Alejandro (2015). Análisis de la actividad volcánica tipo VT y LP del volcán Nevado del Ruiz entre 1985-2012. En: Ventana Informática No. 33 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 157-170. ISSN: 0123-9678

1 Artículo de reflexión proveniente de la experiencia como practicantes en el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, OVSM.

2 Geóloga; Estudiante de Especialización en Sistemas de Información Geográfica. Contratista, Grupo Dewhurst (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: ejvs91@gmail.com

3 Estudiante, programa de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas; Practicante, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. (Manizales, Caldas, Colombia). Correo electrónico: aleyus29@gmail.com

permite colaborar en la vigilancia volcánica y adquirir conocimientos dirigidos a su futuro desempeño como vulcanólogos.

Palabras claves: *Monitoreo volcánico, sismicidad, sismos de fractura, sismos de movimiento de fluidos.*

Abstract

In the Andes there are several volcanic complexes, with the Volcanic Complex Cerro Bravo - Cerro Machin (CVCBCM), the northernmost of them. The Nevado del Ruiz volcano (VNR) located in said complex, is active and was the most devastating event occurred in November 13, 1985, when the mudflow caused after partial melting of the ice cap, the result of an eruption freato- magmatic, razed the town of Armero (Tolima), leaving 23,000 people dead. In response to this catastrophe, the Volcanological and Seismological Observatory of Manizales, which has been 27 years of constant monitoring of the activity of the volcanoes of CVCBCM, for which utilizes various geophysical, geodetic and geochemical techniques was created. This work aims to show the volcano seismicity from considering counting seismic events and the energy released by them, differentiating the fracture earthquakes and fluid motion. The work of sorting and reading earthquakes, with the active participation of undergraduates, serving as research assistants, allowing them to collaborate in volcano monitoring and acquire knowledge aimed at their future roles as volcanologists.

Keywords: *Volcanic Monitoring, seismicity, seismic fracture fluid motion earthquakes.*

Introducción

El volcán Nevado del Ruiz (VNR), llamado Cumanday o Tama por los indígenas de la región, que hace parte del Parque Natural de los Nevados⁴ y el Complejo volcánico Cerro Bravo – Cerro Machín,

4 «Creado por el estado Colombiano el 30 de abril de 1974, con el fin de contribuir con la conservación de ecosistemas muy importantes a nivel mundial como: 3 de los glaciares que quedan para el país (Nevados del Ruiz, Nevado del Santa Isabel y Nevado del Tolima), ecosistema de súper-paramo, paramo, humedales alto andinos, bosques alto andinos y andinos. (...)

El Área Protegida se encuentra ubicada en la Cordillera Central en la Región Andina de los Andes en Colombia. Su extensión y superficie hace parte de los departamentos de Tolima (municipios de Ibagué, Santa Isabel, Anzoátegui, Villahermosa, Murillo, Casabianca, Herveo), Risaralda (municipios de Santa Rosa de Cabal y Pereira), Quindío (municipio de Salento) y Caldas (municipio de Villamaría)» (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2009)

«se localiza en la cordillera Central, en límites de los departamentos de Caldas y Tolima, jurisdicciones de los municipios de Villamaría y Murillo, a una distancia de 140 km al NW de Bogotá y a 28 km al SE de Manizales, en las coordenadas 4° 53' 43" y 75° 19' 21"» (SGC-OVSM, 2013). La misma fuente señala que tiene una forma alargada, algo achatada y con 15 Km de diámetro mayor en su base, presentando tres cráteres: Arenas, La Olleta y La Piraña, los dos últimos parásitos o secundarios.

El basamento sobre el que está construido el VNR, según González (2001), lo conforma el Complejo Cajamarca, rocas metamórficas datadas por K/Ar con edad de Carbonífero tardío-Triásico, «en la compleja intersección de cuatro grupos de fallas, donde las más significativas son Palestina y Termales – Villamaría, La Falla Palestina, según señalan Mejía et al. (2012, 30), presenta deslizamiento lateral derecho y dirección general N10°-30°E, cuyo rumbo coincide con la alineación del foco volcánico del Ruiz, así como el Cisne y Santa Isabel; mientras que la Falla Termales-Villamaría, expresan Mejía et al. (2012, 31), es normal con dirección WNW. Han ocurrido tres estadios denominados Ruiz Ancestral, Ruiz Viejo y Ruiz que incluyen la construcción y destrucción alternada de tres edificios, generando lavas, depósitos de flujos piroclásticos, de oleadas piroclásticas, de avalanchas de escombros, de piroclastos de caída y de lahares y domos. Sus productos son fundamentalmente andesitas de dos piroxenos, con variaciones a dacitas y andesitas basálticas» (SGC-OVSM, 2013).

Sobre la actividad volcánica⁵ y sísmica del volcán, la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales (2005), hace una memoria histórica, a saber:

- En 1547, se relata que Cieza de León identifica en lo que él llamó la sierra Nevada, una montaña que en los días despejados, se veía desde la población de Cartago, que emanaba gran cantidad de humo.
- Otro relato indica, sin precisar fecha, que debido a la actividad volcánica, el Cumanday se fue encima a las tribus indígenas de la región, sepultando por lo menos a 636 gualíes.
- El domingo 12 de marzo 1592, hubo una fuerte erupción que generó gran cantidad de ceniza y otros piroclastos de mayor tamaño, que alcanzó la población de Toro (Valle del Cauca), y ocasionó significativas transformaciones morfológicas del edificio volcánico, pues se definieron nuevos nacimientos de los ríos Gualí y Lagunillas.
- En 1695, por su actividad se le conocía como un espantoso volcán de fuego.

⁵ Según SGC-OVSM (2013), inicia en el Plioceno, hace aproximadamente 1.8 millones de años.

- En 1805, una fuerte erupción de ceniza generó la oscuridad absoluta del firmamento llegando a tener un espesor de 25 cm.
- En julio de 1843 se sintieron sismos en Manizales y fuertes bramidos procedentes del interior del macizo.
- En 1845 se presentó otra fuerte erupción volcánica, la cual generó una gran avalancha por el río Lagunillas que sepultó la población de Armero; ocasionando más de mil muertos ahogados por el lodo, encima de los techos de algunas viviendas semi-sepultadas y otros encaramados en los árboles que murieron al parecer por el hambre, deshidratación y enfermedades. Además, se manifestó con una fuerte actividad sísmica que se registró en la región e incluso en Santafé de Bogotá.

Por su parte, SGC-OVSM (2014a, b), presenta la siguiente relación de su actividad volcánica, indicando el Índice de explosividad volcánica, VEI:

- Marzo 12 de 1595: explosión subglacial de cráter parásito con lahares y destrucción de tierras y propiedades (VEI: 4)
- Marzo 14 de 1805: Explosión (VEI: 2)
- Junio de 1828: explosión de cráter parásito (VEI: 2)
- Junio 18 de 1829: Explosión de cráter parásito (VEI: 2)
- Febrero 19 de 1845: Erupción radial subglacial con flujo de lava, flujo de lodo, destrucción de propiedades y tierras y más de 1000 muertos (VEI: 3)
- Diciembre de 1984: Emisión de gases azufrados.
- Septiembre 11 de 1985: Emisión de cenizas con flujo de lodo.
- Noviembre 13 de 1985: erupción freato-magmática con flujos de lodo. Destrucción de tierras y propiedades y más de 25000 muertos (VEI: 3)
- Enero 4-6 de 1986: emisión de cenizas.
- Julio 20 y 29 de 1986: emisión de cenizas.
- Junio 9-11 de 1987: emisión de cenizas.
- Marzo 22-25 de 1988: emisión de cenizas.
- Septiembre 1 de 1989: erupción freato-magmática.
- Marzo a abril de 1994: reactivación sísmica.

El evento más recordado corresponde al sucedido en noviembre 13 de 1985, el cual tras una erupción freato-magmática, que implicó el derretimiento parcial del casquete glaciar y el consecuente lahar, destruyó al municipio de Armero (Tolima), y afectó municipios con afluentes que nacen en sus cercanías. Posterior a este suceso se creó, en Manizales (capital del departamento de Caldas), el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Colombia, a lo que siguió la creación de otros observatorios, señalando en su nombre la ciudad sede. Para el

caso particular, el artículo se fundamenta en el monitoreo del complejo volcánico Cerro Bravo - Cerro Machín, cuya vigilancia corresponde al Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, OVSM.

Dentro del proceso de monitoreo constante del VNR se han obtenido datos como los de energía sísmica liberada y conteo sísmico diario, que son los considerados y procesados para este trabajo con el objetivo de describir la evolución del VNR en el intervalo de tiempo de 1985 al 2012.

1. Acercamiento a aspectos sismológicos

Según SGC-RSNC (2014), un sismo «*corresponde al proceso de liberación de energía y generación como posterior propagación de ondas por el interior de la Tierra. Al llegar a la superficie de la Tierra, estas ondas son percibidas tanto por la población como por estructuras (Dependiendo de la Magnitud, distancia epicentral, geología local, profundidad y otros factores)*».

Las ondas sísmicas u elásticas corresponden a la propagación de las perturbaciones temporales sucedidas, que pueden clasificarse en ondas de cuerpo (llamadas también ondas de volumen) y superficiales (Tabla 1). Debido a su diferencia de velocidad, cuando ocurre un sismo las primeras sacudidas se deben a las ondas P, seguidas por las ondas S y las ondas superficiales finalmente.

La clasificación de los sismos puede realizarse considerando diversos aspectos, como se resume en la Figura 1.

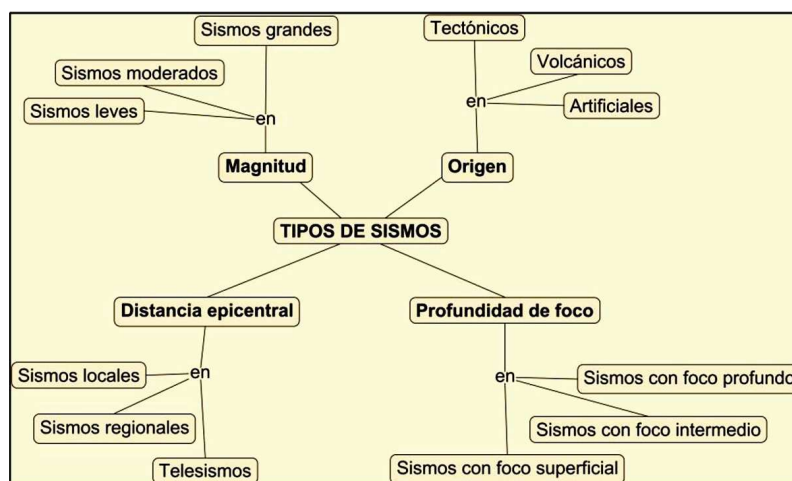


Figura 1. Tipos de sismos (Construida a partir de Herrera, 2007, 28-41)

Tabla 1. Tipos de ondas (Construida a partir de SMIS, s.f.b)

Ondas de cuerpo Viajan siguiendo caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la Tierra. Las ondas de cuerpo transmiten los temblores preliminares de un sismo pero poseen poco poder destructivo.	Ondas primarias (ondas P) Ondas longitudinales o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden propagarse a través de cualquier tipo de material: velocidades típicas son 330m/s en el aire, 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito.
	Ondas secundarias (ondas S) Ondas transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que ésta.
Ondas superficiales Viajan sobre la superficie de la Tierra, a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia provocan resonancia en edificios con mayor facilidad que las ondas de cuerpo siendo más destructivas.	Ondas Rayleigh (ondas R) Ondas superficiales que viajan como ondulaciones similares a aquellas encontradas en la superficie del agua. Su existencia fue predicha por John William Strutt
	Ondas Love (ondas L) Ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra, levemente más lentas que las ondas Rayleigh. Fueron bautizadas por A.E.H. Love, un matemático británico que creó un modelo matemático de las ondas en 1911.

En cuanto a la tipología por origen, es conveniente presentar la diferenciación hecha por SMIS (s.f.a): mientras los sismos tectónicos se originan por ajustes en la litósfera, por el rebote elástico acompañante del desplazamiento de una falla, con hipocentro desde la superficie hasta 70 Km aunque suele ubicarse entre 10 y 25 Km; los volcánicos se relacionan directamente con erupciones volcánicas, presentando poca intensidad (con excepciones en explosiones de caldera, como las de *Santorini* o *Krakatoa*), siendo perceptibles a distancias relativas cortas del volcán.

Los sismos volcánicos se clasifican y procesan según su origen (Figura 2), para así caracterizar las señales. La descripción de sus tipos se hace con base en Londoño (2002, 11-12):

- Sismos VT o Volcano-tectónicos. Se generan por el fracturamiento de las rocas adyacentes a los conductos volcánicos, a este tipo de sismicidad se les puede diferenciar claramente las ondas P y S, tienen frecuencias predominantes entre los 5-15 Hz, aunque presentan en ocasiones frecuencias mayores.

- Sismos LP o de Largo periodo. Se originan por la interacción de material fluido (agua, fluidos hidrotermales o magma) y gases dentro de los conductos volcánicos; en ellos no se diferencia la onda S. Las frecuencias generalmente son inferiores a los 5 Hz. Un tipo especial de sismos LP son los Tornillos (To), señales poco comunes en el VNR, que tienen como característica espectral una frecuencia pico muy marcada, que puede ser en las bajas o en las altas frecuencias.
- Sismos HB o Híbridos. Son señales de poca ocurrencia en el VNR, que tienen características tanto en su forma como en su espectro de sismos de tipo VT y LP.
- TR o Tremor Volcánico. Es una señal característica de erupciones volcánicas, aunque no siempre están asociadas a ellas, que se puede presentar como pulsos o señales de corta duración, aunque también se registran en forma constante durante horas o días, o de forma intermitente, sus frecuencias generalmente son bajas.

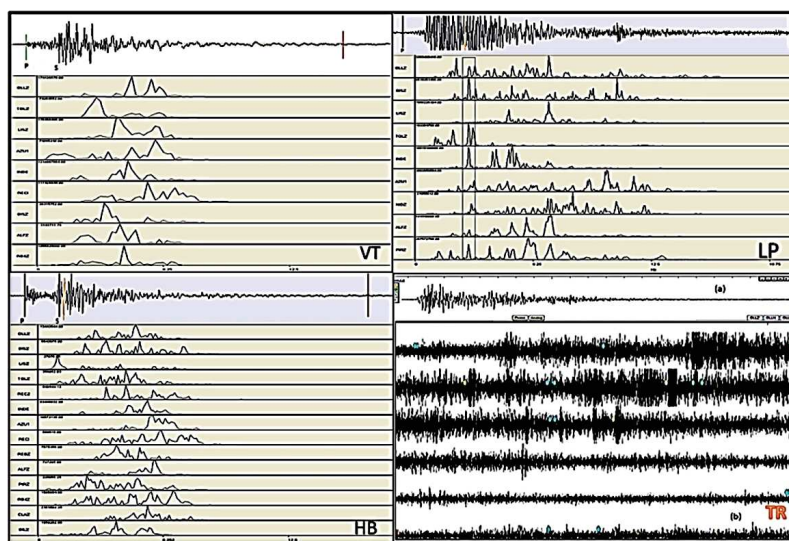


Figura 2. Sismogramas de sismos VT, LP, HB y TR

1.1 Monitoreo volcánico

Para la detección y monitoreo convencional de los sismos, señalan Vargas, Rodríguez & Otero (2013, 47), se utilizan sismógrafos⁶ para medir las perturbaciones ocurridas y sensores que se clasifican de

⁶ De acuerdo con Giner (2015), el sismógrafo produce un registro donde se representa el movimiento del suelo, llamado sismograma, donde la diferencia de velocidad de cada tipo de onda permite determinar la localización del foco del sismo.

acuerdo con su respuesta de frecuencia en corto periodo (tiene una respuesta en velocidad normalmente plana en el rango de frecuencia entre 1 y 50 Hz), banda ancha (se ocupa de señales a menor frecuencia de 1 Hz, asociadas a movimientos generados por cámaras magmáticas o grandes sismos asociados a erupciones) y de movimiento fuerte (aunque detectan movimiento de mediano o fuerte magnitud, no son muy comunes en la sismología volcánica).

En el caso de la red de vigilancia del Volcán del Nevado del Ruiz, del Servicio Geológico Colombiano, está conformada por 109 estaciones distribuidas en cuatro redes específicas: de Deformación, de Geofísica, de Geoquímica y de Sismología (Figura 3). De acuerdo con Londoño (2010, 263-264), se instalaron en 1985, con una red sísmica portátil de corto periodo, a la que se adicionaron estaciones telemétricas, además de una red de deformación de EDM, vectores cortos de nivelación, inclinómetros electrónicos y secos, tomas periódicas de muestras geoquímicas de gases y aguas. Posteriormente se inicia el registro sísmico digital, se amplía la red con estaciones de banda ancha y hacia 1999, se establecen las mediciones de gas radón.

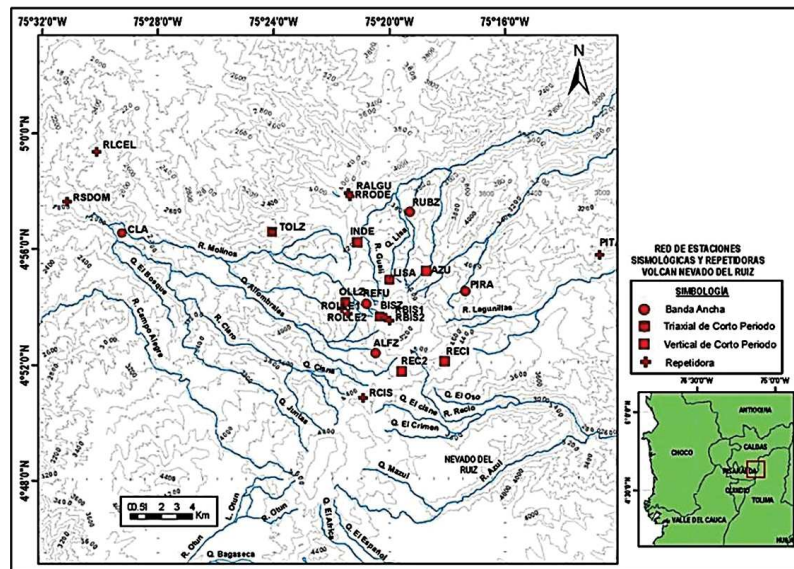


Figura 3. Red de Sismología (SGC-OVSM, 2014b)

Durante el tiempo de monitoreo volcánico, la red de estaciones se ha ampliado y modernizado. Un gran avance en el monitoreo que es a partir del año 2002, se contó con el registro digital continuo de las señales sísmicas, el cual era analógico en modo continuo y digital solo

para eventos de magnitud significativa. Este avance tecnológico mejoró el umbral de registro y eso se ve reflejado en el número de eventos diarios registrados.

En vista de que *«hay fenómenos como el microfracturamiento y el cambio o movimiento de gases que se evidencian en el registro de diferentes tipos de sismos, por eso hablamos de sismos asociados a fractura o movimiento de gases que marcan lo que está pasando dentro de un volcán. También sabemos distinguir cuándo hay liberación de energía mediante pequeñas explosiones, con las que podemos hacerle seguimiento a la actividad, a pesar de que el número de sismos y la energía son fluctuantes»* (Cortés citada por Gómez, 2012), la red de sismología se convierte en eje para el análisis de la actividad del VNR.

En la actualidad no solo el SGC-OVSM monitorea al volcán Nevado del Ruiz. Según información aparecida en Agencia de Noticias UN (2013), la Red Meteorológica Telemétrica de Caldas cuenta con cinco estaciones meteorológicas (tres de ellas miden caudal, temperatura y precipitación) que envían datos cada 15 minutos a la repetidora ubicada en Corpocaldas y luego a la central localizada en la Universidad Nacional sede Manizales.

2. Análisis de sismicidad de tipo VT y LP para el VNR

El comportamiento del VNR, durante su historia no ha sido constante, presentando periodos de alta actividad, *«varias de ellas asociadas al proceso volcánico y otras al proceso glaciario»* (Londoño, 2010, 264), intercalados por épocas de estabilidad sísmica.

Vale señalar que para realizar el análisis, los datos se reciben de la red telemétrica, se procede a la debida clasificación y localización de los sismos, como insumo destinado a obtener la información de energía liberada y conteos utilizando software propietario construido a la medida, y finalmente, con la información organizada se construyen las representaciones necesarias.

2.1 Periodo 1985-1992

Los conteos fueron medianamente homogéneos desde 1985 hasta 1989, año en el cual se presenta un incremento de actividad importante de sismicidad VT y LP, asociada a actividad eruptiva; con disminución progresiva hasta finales de 1992. La sismicidad durante este intervalo de tiempo estuvo localizada mayoritariamente en el cráter y al sur de él, con profundidades que oscilaron entre los 0 a 8 Km. Las localizaciones

se realizaban por lectura con lupa midiendo los milímetros de cada onda, posteriormente manualmente se ingresaban a un sistema almacenador de datos; para este período de tiempo se contaban con seis estaciones permanentes en el VNR.

La energía liberada para este periodo, tuvo altos valores y los picos más pronunciados corresponden a las erupciones de 1985 y 1989, mientras en los años posteriores fue menor. La energía liberada por el evento eruptivo de 1985 fue aportada principalmente por sismicidad de tipo VT, mientras en la erupción de 1989 por sismicidad de tipo VT y LP.

2.2 Periodo 1992-2010

Los conteos desde 1992 a 1993 fueron bajos, aunque en 1994 se presentó un incremento de sismicidad de tipo LP; entre este año y el 2002, los conteos de VT y LP continuaron bajos, con un incremento de sismos LP en 2002 (menor conteo que en 1994), así como un leve incremento de actividad tipo VT y un número inferior a los sismos de tipo LP a finales del 2002 y comienzos del 2003.

La energía liberada tuvo un valor representativo correlacionable con el incremento de actividad de 1994, expresa Londoño (2010, 10). A finales de 1995 y comienzos de 1996, se tuvo una alta liberación de energía relacionada con eventos de magnitud considerable pero que en número no representaron un incremento en los conteos. Hacia el año 2000 hubo una liberación de energía de sismicidad de tipo VT, sin una relación directa con un incremento de actividad volcánica, siendo bajas las energías, tanto en LP y VT, después de estos picos.

Las localizaciones de sismos de tipo VT, para los años entre 1992 y 2010, se concentraron en el cráter, al norte, occidente, noroccidente y sur del cráter, con profundidades que oscilaron entre los 0 y 6 Km.

2.3 Periodo 2010-2012

Los conteos, tanto de VT como LP, fueron altos, mostrando en septiembre del 2010 un incremento de actividad de tipo LP, aunque después de este evento y hasta inicios del 2012 la actividad se mantuvo en niveles mayores a los registrados antes de este incremento de actividad con relación al número de eventos, según señalan Ingeominas (2011) y SGC-OVSM (2012a y 2012b). Las energías para este intervalo no mostraron un aumento significativo.

En el 2012, de acuerdo con SGC-OVSM (2012a y 2012b), hubo incrementos de actividad de tipo LP a comienzos de abril y a finales de junio aumentos en sismicidad de tipo VT, con dos erupciones durante ese año, sin embargo las energías en comparación de la energía liberada en los eventos eruptivos de 1985 y 1989 fueron muy inferiores.

El VNR desde el 2010 se encontraba en Nivel III⁷ y en el 2012 (específicamente el 31 de marzo) debido a la inestabilidad presentada se cambió a Nivel II, informa SGC-OVSM (2012). Según SGC-OVSM (2012a y 2012b), en este tiempo se evidencia actividad superficial con emisiones de ceniza visualizadas por las cámaras web, después de algunas semanas se regresó a Nivel III de actividad aunque el 29 de mayo se volvió a cambiar a Nivel II debido a una pequeña erupción⁸.

SGC-OVSM (2012b) describe que en el mes de junio, la actividad continuó fluctuante y el 30 de junio a las 17:40 (hora local), ocurrió un evento eruptivo⁹, la actividad antecesora se caracterizó por el registro de eventos tipo VT localizados en el cráter, seguidos por LP y la señal de TR al acercarse a la erupción aumentó su amplitud; la señal eruptiva se registró por 30 minutos aproximadamente. La señal de TR, señala SGC-OVSM (2012c), continuó registrándose hasta el 20 de julio del 2012; en los siguientes meses hubo pequeñas emisiones de ceniza evidenciadas por las señales sísmicas y las cámaras web, además se siguió presentando TR a manera de pulsos y pequeños incrementos de actividad, especialmente de tipo VT.

Los registros sísmicos a comienzos del 2013, informa SGC-OVSM (2013a y 2013b), se comportaron de forma muy similar a los del año anterior, con algunas variaciones al registrarse sismos de tipo VT, con magnitudes que alcanzaron a 4 en la escala de Richter, los cuales fueron reportados como sentidos en las inmediaciones del VNR y algunos municipios cercanos a él.

Las localizaciones obtenidas para el periodo 2010-2012, estuvieron fundamentalmente en las fuentes cráter y sur, con profundidades que variaron entre 0 y 7 Km, como se muestra en la Figura 4, donde los recuadros representan las estaciones sismológicas, el diámetro de la circunferencia depende de la magnitud del sismo, el triángulo representa la fuente Norte del volcán, el círculo la fuente cráter, el cuadrado representa la fuente sur. La actividad VT del VNR en el 2012 presentó sismos en las fuentes este, sureste, adicionalmente.

7 El VNR tiene cuatro niveles de actividad volcánica, el Nivel IV que evidencia un comportamiento estable sin cambios, el Nivel III comportamiento estable con cambios significativos, el Nivel II erupción probable en término de días o semanas y Nivel I erupción inminente o en curso.

8 Ocurrió a las 3:10 (hora local), cuya señal asociada duró aproximadamente 20 minutos. Señala SGC (2012d, 17-18), que la columna eruptiva tuvo un eje de dispersión hacia el noroccidente principalmente, la ceniza se dispersó según la dirección del viento alcanzando una distancia de 100km, hacia el occidente y noroccidente del edificio volcánico cubriendo a Risaralda, occidente de Caldas, suroccidente de Antioquia, y parte del norte del Valle del Cauca, donde se reportó caída de ceniza en la tarde del mismo día.

9 La señal eruptiva se registró por 30 minutos aproximadamente, y, según SGC (2012, 19), la columna eruptiva alcanzó 8 Km de altura, con ceniza dispersada menor que la del 29 de mayo, siendo reportada en algunos municipios de Caldas y Risaralda.

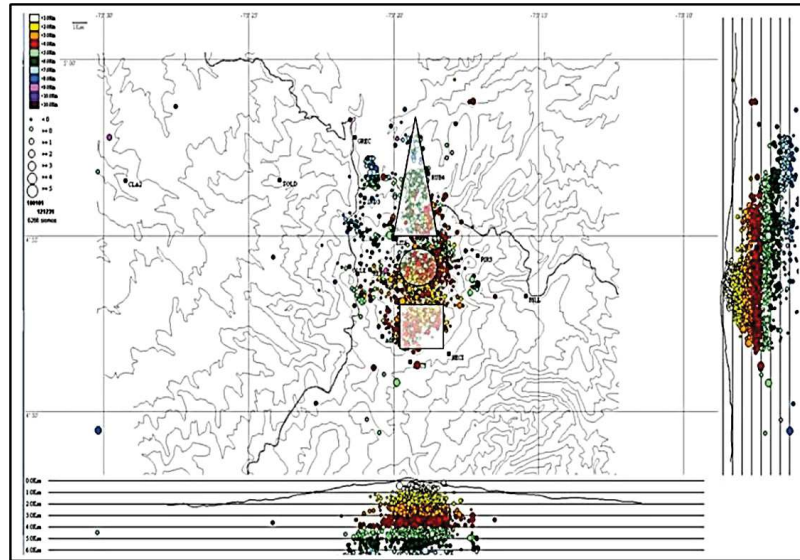


Figura 4. Mapa de localización actividad de tipo VT, en el periodo 2010-2012 (Construida con datos suministrados por SGC-OVSM)

3. Conclusiones

La actividad del VNR durante el periodo de estudio ha sido variable, lo que permite diferenciar tres momentos (1985-1992, 1992-2010 y 2010-2012), con características específicas, lo cual facilita la comprensión de su comportamiento futuro. Sin embargo, en ese comportamiento cambiante, exige un continuo análisis de los datos obtenidos, ya que con ellos puede determinarse la normalidad del comportamiento volcánico, o en su defecto, la aparición de nuevas características, que conllevan condiciones de incertidumbre.

El VNR tiene su propia dinámica, la cual se ha ido entendiendo gracias a su permanente monitoreo desde el OVSM, y la incorporación progresiva de componentes lógicos y físicos que favorecen la obtención y análisis de la información. Esta situación permite, en la actualidad, tener mecanismos de comunicación, entre ellos la emisión de alarmas oportunas, que disminuye los riesgos de afectación por un evento eruptivo sobre la población ubicada en su zona de riesgo.

4. Agradecimientos

Los autores agradecen al Servicio Geológico Colombiano y al Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, y

particularmente al Grupo de Monitoreo Volcánico, por suministrar los datos para realización de este trabajo y por las discusiones acerca de la actividad del volcán.

5. Referencias Bibliográficas

- AGENCIA DE NOTICIAS UN (2013). Glaciares de Colombia en vía de extinción [en línea] Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia (04/04/2013). <<http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/glaciares-de-colombia-en-via-de-extincion.html>> [consulta: 05/10/2013]
- GINER CATURLA, J.J. (2014). Propagación de ondas sísmicas [en línea]. En: Curso Sismicidad y Riesgo Sísmico en la Comunitat Valenciana 2015. Alicante (España): Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Alicante <<http://web.ua.es/es/urs/divulgacion/propagacion-de-ondas-sismicas.html>> [consulta: 12/07/2015]
- GÓMEZ, M.L. (2012). Conozca lo que ocurre con el Volcán Nevado del Ruiz [en línea]. Manizales (Colombia): La Patria (08/08/2012). <<http://www.lapatria.com/manizales/conozca-lo-que-ocurre-con-el-volcan-nevado-del-ruiz-2579>> [consulta: 10/2/2014]
- GONZÁLEZ, H. (2001). Geología de las planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruiz. Memorias explicativas de los mapas. Escala 1:100.000. Manizales (Colombia): Ingeominas. 120 p.
- HERRERA PUMA, D.B. (2007). Características de la sismicidad y estructura interna de la tierra [en línea]. Informe de Prácticas pre-profesionales. Lima (Perú): Instituto Geofísico del Perú, Centro Nacional de Datos Geofísicos. 44 p. <<http://www.igp.gob.pe/heraldo.tavera/documentos/formacion%20profesional/6Herrera,%20B.2007.pdf>> [consulta: 08/09/2015]
- INGEOMINAS (2011). Boletín semestral de actividad registrada por los volcanes activos del Complejo Volcánico Cerro Bravo – Cerro Machín II Semestre de 2010. Manizales (Colombia): Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. 104 p.
- LONDOÑO B., J.M. (2002). Manual de sismología volcánica básica. Manizales (Colombia): Ingeominas. 20 p. (documento interno).
- LONDOÑO B., J.M. (2010). Aspectos relevantes de la actividad del Volcán Nevado del Ruiz, 1985-2008. En: LÓPEZ ARENAS, C.D. & RAMÍREZ CADENA, J. (comp.) (2010). Glaciares, nieves y hielos de América Latina - Cambio climático y amenazas. Bogotá (Colombia): Instituto Colombiano de Geología y Minería. p. 261-277. ISBN: 978-958-97896-9-8.
- MEJÍA, E.L.; VELANDIA, F.; ZULUAGA, C.A.; LÓPEZ, J.A. & CRAMER, T. (2012). Análisis estructural al noreste del Volcán Nevado del Ruiz, Colombia - aporte a la exploración geotérmica [en línea]. En: Boletín de Geología, Vol. 34, No. 1, (ene-jun). Bucaramanga (Colombia): Universidad Industrial de Santander. p. 27-41. ISSN 0120-0283. <<http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/2713>> [consulta: 06/03/2014]
- PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA (2009). Parque Nacional Natural Los Nevados [en línea]. Bogotá (Colombia): Parques Nacionales Naturales de Colombia. <<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/ecoturismo/region-andina/parque-nacional-natural-los-nevados/>> [consulta: 20/01/2015]
- SGC-OVSM (2012). Informe de actividad del Complejo Volcánico Cerro Bravo-Cerro Machín, Marzo de 2012. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. 46 p.
- SGC-OVSM (2012a). Informe de actividad del Complejo Volcánico Cerro Bravo-Cerro Machín, Mayo de 2012. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. 54 p.
- SGC-OVSM (2012b). Informe de actividad del Complejo Volcánico Cerro Bravo-Cerro Machín, Junio de 2012. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. 48 p.
- SGC-OVSM (2012c). Informe de actividad del Complejo Volcánico Cerro Bravo-Cerro Machín, Julio de 2012. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. 63 p.

- SGC-OVSM (2012d). Informe de actividad segmento Norte de Colombia, Complejo Volcánico Cerro Bravo-Cerro Machín, 2012. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. 90 p. <<http://www.sgc.gov.co/getattachment/14f5dc93-5bde-431d-bd3f-5770c0d23a05/Informe-tecnico-anual-de-2012.aspx>> [consulta: 12/02/2015]
- SGC-OVSM (2013). Informe de actividad del Complejo Volcánico Cerro Bravo-Cerro Machín, Abril de 2013. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. 59 p.
- SGC-OVSM (2013a). Informe de actividad del Complejo Volcánico Cerro Bravo-Cerro Machín, Mayo de 2013. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. 62 p.
- SGC-OVSM (2013b). Volcán Nevado del Ruiz: Generalidades [en línea]. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. <<http://www.sgc.gov.co/Manizales/Volcanes/Nevado-del-ruiz/Generalidades.aspx>> [consulta 12/11/2013]
- SGC-OVSM (2014a). Volcán Nevado del Ruiz: Actividad histórica [en línea]. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. <<http://www.sgc.gov.co/Manizales/Volcanes/Nevado-del-ruiz/Videos.aspx>> [consulta 12/12/2014]
- SGC-OVSM (2014b). Red de Sismología [en línea]. Manizales (Colombia): Servicio Geológico Colombiano-Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales. <http://www.sgc.gov.co/Manizales/Imagenes/vnr/red_vigilancia/Sismologia.aspx> [consulta: 20/10/2014]
- SGC-RSNC (2014): Conceptos Básicos [en línea]. Bogotá (Colombia): Servicio Geológico Colombiano – Red Sismológica Nacional de Colombia. <<http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/index.php/material-educativo/conceptos-basicos>> [consulta: 10/05/2015]
- SMIS (s.f.a). Sismos en México: Tipos de ondas [en línea]. México D.F. (México): Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica <<http://www.smis.org.mx/htm/sm4.htm>> [consulta: 18/08/2015]
- SMIS (s.f.b). Sismos en México: Sismos [en línea]. México D.F. (México): Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica <<http://www.smis.org.mx/htm/sm5.htm>> [consulta: 18/12/2014]
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MANIZALES (2005). Gestión de riesgos en Manizales: Memoria histórica [en línea]. Manizales (Colombia): Universidad Nacional de Colombia. <http://idea.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/memoria.php> [consulta: 12/12/2014]
- VARGAS JIMÉNEZ, D.S.; RODRÍGUEZ ESPINOSA, E.V. & OTERO FOLIACO, J.E. (2013). Alternativas para la detección y monitoreo de amenazas sísmicas basadas en Arduino [en línea]. En: Revista de Ingenierías USBMED, Vol. 4, No. 2 (jul-dic). Medellín (Colombia): Universidad de San Buenaventura Medellín, Facultad de Ingenierías. p. 45-54. ISSN: 2027-5846 <<http://web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v4n2/v4n2.pdf#page=45>> [consulta: 13/06/2015]