



***MEMORIA DE LA TERCERA VERSIÓN DEL MAPA DE AMENAZA
DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (2015)***

Manizales, noviembre de 2015



***MEMORIA DE LA TERCERA VERSIÓN DEL MAPA DE AMENAZA
DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (2015)***

Por:

**Julián Andrés Ceballos Hernández
Geólogo**

**Lilly Maritza Martínez Tabares
Geóloga**

**Indira Zuluaga Mazo
Geóloga**

Manizales, noviembre de 2015

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
1. REGISTRO GEOLÓGICO.....	11
2. AMENAZAS VOLCÁNICAS	13
2.1. CAÍDAS PIROCLÁSTICAS	14
2.2. FLUJOS PIROCLÁSTICOS Y OLEADAS	15
2.3. LAHARES	16
2.4. FLUJOS DE LAVA	17
2.5. AVALANCHAS DE ESCOMBROS.....	17
2.6. EXPLOSIÓN LATERAL DIRIGIDA (<i>blast</i>)	18
2.7. GASES VOLCÁNICOS.....	18
2.8. ONDAS DE CHOQUE.....	19
2.9. SIMOS VOLCÁNICOS	19
3. ZONAS DE AMENAZA	20
3.1. ZONA DE AMENAZA ALTA.....	20
3.2. ZONA DE AMENAZA MEDIA	27
3.3. ZONA DE AMENAZA BAJA	27
4. RECOMENDACIONES.....	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización del volcán Nevado del Ruiz (VNR).....	7
Figura 2. Fotografía del volcán Nevado del Ruiz donde se aprecia el cráter activo Arenas y su casquete glaciar.	8
Figura 3. Mapa del área de influencia del volcán Nevado del Ruiz.....	9
Figura 4. Fotografía de la erupción del volcán Nevado del Ruiz del 1 de septiembre de 1989. Fuente: Ricardo Méndez.....	10
Figura 5. Fotografía panorámica del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz CVNR, donde se aprecian los volcanes Nevado del Ruiz, La Olleta y la Piraña.....	12
Figura 6. Fotografías de los volcanes del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz CVNR...	12
Figura 7. Esquema de un volcán con los diferentes fenómenos volcánicos que pueden ocurrir durante una erupción volcánica.	13
Figura 8. Zonas de amenaza para caídas piroclásticas (ceniza y lapilli) del VNR.	21
Figura 9. Zonas de amenaza para proyectiles balísticos del VNR.	22
Figura 10. Área de amenaza alta en color rojo para el fenómeno de flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas del VNR.	23
Figura 11. Área de amenaza alta en color rojo para flujos de lava del VNR.	23
Figura 12. Área de amenaza alta en color rojo para lahares en la parte occidental del VNR.	24
Figura 13. Área de amenaza alta en color rojo para <i>lahares</i> en la parte oriental del VNR.	25
Figura 14. Área de amenaza alta en color rojo para avalanchas de escombros del VNR.	26

RESUMEN

La tercera edición del mapa de amenaza del Volcán Nevado del Ruiz (VNR), versión 2015, se constituye en un aporte técnico del Servicio Geológico Colombiano (SGC) para conmemorar los 30 años del desastre ocurrido en el municipio de Armero (Tolima) del 13 de noviembre de 1985 y actualizar la segunda edición del mapa de amenaza 1986.

El Volcán Nevado del Ruiz (VNR) es un estratovolcán activo de composición andesítica con cobertura glaciaria, de altura 5321 msnm y un cráter denominado Arenas. Perteneció al periodo eruptivo más reciente de evolución del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz (CVNR). Presenta una edad menor a 50-60 mil años A.P. Durante sus últimos 13000 años A.P. la actividad ha sido principalmente explosiva, en donde han ocurrido al menos 14 eventos eruptivos, con un Índice de Explosividad Volcánica (VEI) entre 3-4 y columnas eruptivas que posiblemente alcanzaron hasta 20 km de altura. En la actividad eruptiva histórica del VNR, se han generado grandes volúmenes de *lahar* en los años de 1595 y 1845, en donde perdieron la vida alrededor de 1000 personas en la antigua población de Armero. En el año de 1984 el VNR presentó una reactivación, con la subsecuente erupción del 13 de noviembre de 1985, de VEI 3, y la fusión de la superficie de la capa glaciaria, la cual produjo la generación de *lahares*, que ocasionaron más de 25.000 muertos en los municipios de Armero y Chinchiná, convirtiéndose en el segundo desastre volcánico a nivel mundial ocurrido en el siglo XX.

El mapa de amenaza, contiene tres zonas de amenaza, que se designan como “amenaza alta”, “media” y “baja”. Cada una de estas zonas, pueden ser afectadas por uno o varios fenómenos volcánicos simultáneamente, durante un evento eruptivo. Las líneas punteadas entre las zonas de amenaza indican un cambio transicional y de ningún modo representan límites absolutos. En el mapa de amenaza se catalogan únicamente como amenaza alta por su complejidad y potencialidad de generar pérdida de vidas, daños e impactos a los bienes, la infraestructura y los medios de sustento entre otros, los fenómenos de CDPs, flujos de lodo volcánico (*lahares*), avalanchas de escombros, *Blast* y flujos de lava. Las caídas piroclásticas por transporte eólico o proyección balística, presentan zonificación de la amenaza de acuerdo a su modo de ocurrencia.

La nueva versión del mapa de amenaza se constituye en una herramienta fundamental para la toma de decisiones en el manejo de crisis volcánicas y el ordenamiento del territorio, contribuyendo con ello, a la Gestión Integral del Riesgo Volcánico de Desastres y a la apropiación social del Conocimiento Geocientífico.

ABSTRACT

The third edition of the hazard map of the Nevado del Ruiz Volcano (VNR), version 2015, is a technical contribution from the Colombian Geological Service (SGC) to commemorate the 30th anniversary of the disaster in the municipality of Armero (Tolima). November 1985 and update the second edition of the 1986 hazard map.

Nevado del Ruiz Volcano (NRV) is a composite active volcano, with andesitic composition, glacial cover, 5321 masl altitude and crater called Arenas. It belongs to the most recent eruptive period of evolution of the Volcanic Complex Nevado del Ruiz (NRVC). Presents an age less than 60-50 Ka years B.P and during its last 13 Ka B.P. the activity has been mainly explosive, where there have been at least 14 eruptive events characterized by a subplume-style eruptive dynamics, with a Volcanic Explosivity Index (VEI) between 3-4 and eruptive columns possibly reaching up to 20 km in height. In the historical eruptive activity of the VNR, large volumes of *lahar* have been generated in the years 1595 and 1845, about 1000 people died in the town of San Lorenzo; In 1984 VNR reactivated, with the subsequent phreatomagmatic eruption of November 13th, 1985, VEI 3, and the melting of the surface of the glacier layer, that triggering of *lahars*, which caused more than 25,000 dead in the municipalities of Armero and Chinchiná, becoming the second volcanic disaster worldwide occurred in the twentieth century.

The hazard map of the VNR version 2015 contains three hazard zones, which are designated as "high hazard", "medium hazard" and "low hazard". Each of these zones can be affected by one or several volcanic phenomena simultaneously during an eruptive event. In the hazard map, they are classified only as a high hazard because of their complexity and potential to generate loss of life, damage and impacts to infrastructure and livelihoods among others things, the phenomenas of Pyroclastic Density Currents, volcanic mud flows (*lahares*), avalanches of debris, blast and lava flows. The pyroclastic falls by wind transport or ballistic projection, present zoning of the hazard according to its mode of occurrence.

The new version of the hazard map is a fundamental tool for decision-making in the management of volcanic crises and planing territorial, thus contributing to the integral management of volcanic Disaster Risk and to the social appropriation of Geoscientific Knowledge.

INTRODUCCIÓN

El Volcán Nevado del Ruiz (VNR), está localizado en la parte media de la Cordillera Central colombiana, en las coordenadas 4º 53' 43" Norte y 75º 19' 21" Oeste, entre los departamentos de Caldas y Tolima, hace parte de los volcanes del Segmento Norte de Colombia y se encuentra en el Parque Nacional Natural Los Nevados (PNNN); se ubica a aproximadamente 28 km de Manizales y 140 km de Bogotá D.C.; tiene una altura de 5.321 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).

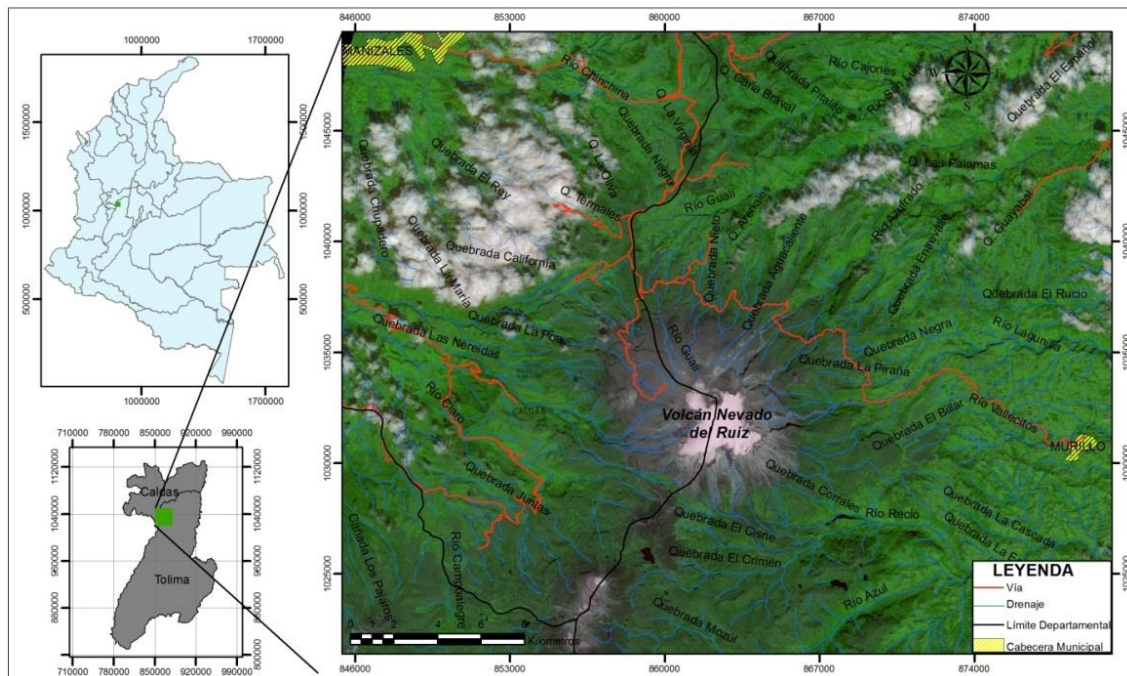


Figura 1. Mapa de localización del volcán Nevado del Ruiz (VNR).

Es un estratovolcán activo que hace parte del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz (CVNR) con una historia que alcanza 1.8 millones de años; su cráter principal se denomina Arenas de 750 m de diámetro y profundidad de 200 m aproximadamente.

El volcán posee un casquete glaciar de 9 km² (IDEAM, 2010) (Figura 2). Sus manifestaciones de actividad están asociadas a registro de sismicidad, emisión de gases volcánicos y aguas termales. Ha presentado actividad eruptiva en tiempos históricos y

durante los últimos 30 años. El VNR es monitoreado desde 1985 por el Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS) a través de su Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales (OVSM). El área de influencia del volcán, corresponde básicamente a los departamentos de Caldas y Tolima. En el primero se encuentran los municipios de Manizales, Villamaría, Chinchiná, Palestina, Neira y Anserma.



Figura 2. Fotografía del volcán Nevado del Ruiz donde se aprecia el cráter activo Arenas y su casquete glaciar.

Imagen tomada desde la parte norte en sobrevuelo del Servicio Geológico Colombiano - Fuerza Aérea Colombiana, el 8 de marzo del 2012.

En el departamento del Tolima son 14 municipios en el área directa de amenaza, correspondientes a: Líbano, Herveo, Fresno, Villahermosa, Casabianca, Murillo, Falan, Palocabildo, Lérída, Armero-Guayabal, Mariquita, Venadillo, Ambalema y Honda.

Los principales drenajes que nacen en las laderas del volcán son los ríos Gualí, Azufrado, Lagunilla, Recio, Molinos y las quebradas Nereidas, Alfombrales, La Lisa, La Marcada y La Hedionda (Figura 3).

MEMORIA DE LA TERCERA VERSIÓN DEL MAPA DE AMENAZA DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (2015)

El volcán Nevado del Ruiz es ampliamente recordado por su reactivación en 1984 y la trágica erupción del 13 de noviembre de 1985, donde perdieron la vida aproximadamente 25.000 personas.

Esta erupción produjo la fusión parcial de la masa glaciaria del volcán, originando *lahares* de gran volumen a través de los cauces y valles de varios de los ríos principales que nacen en su edificio volcánico, como Gualí, Azufrado, Lagunilla, Nereidas y Molinos (estos dos últimos tributan sus aguas a los ríos Claro y Chinchiná).

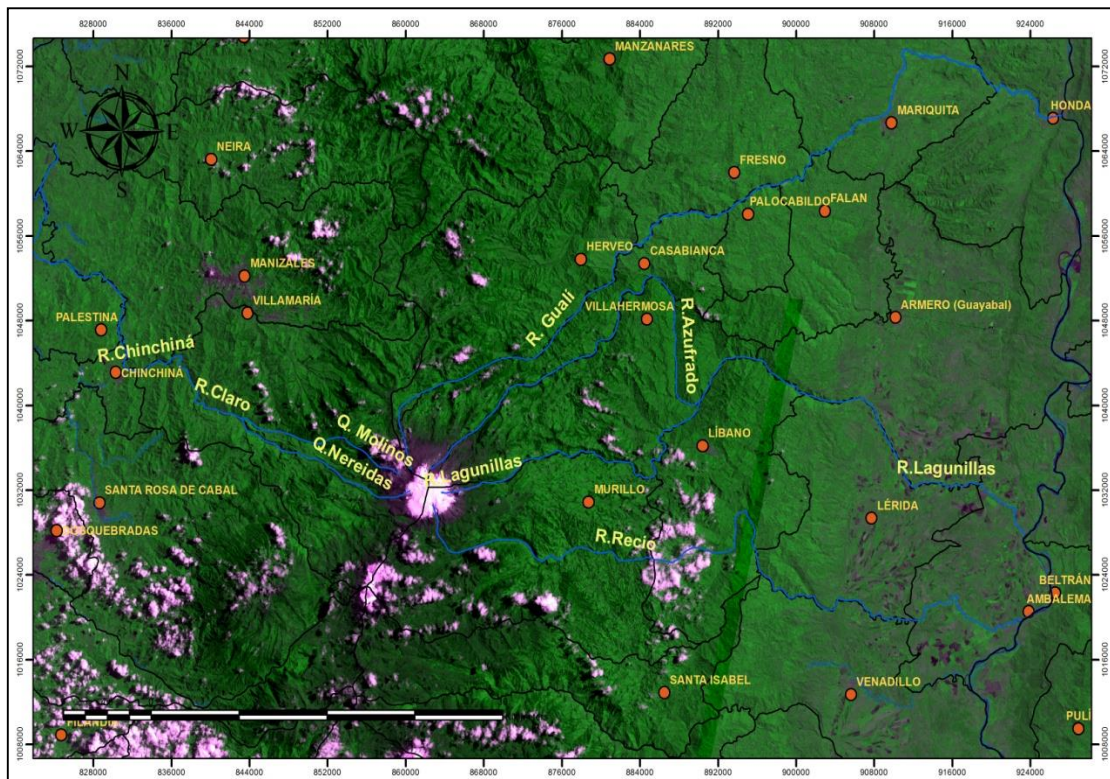


Figura 3. Mapa del área de influencia del volcán Nevado del Ruiz.

Los *lahares* que descendieron por los ríos Azufrado y Lagunilla, destruyeron la población de Armero; mientras que por el río Chinchiná, afectaron poblaciones ribereñas.

La actividad más reciente del VNR, desde el año 2010 hasta la fecha de presentación de la actualización del mapa de amenaza, se ha caracterizado por sismicidad asociada a fracturamiento de roca y movimiento de fluidos en el interior del edificio volcánico, emisión continua de gases a la atmósfera (principalmente SO₂), deformación y emisión de ceniza.



Figura 4. Fotografía de la erupción del volcán Nevado del Ruiz del 1 de septiembre de 1989.
Fuente: Ricardo Méndez.

1. REGISTRO GEOLÓGICO

El volcán Nevado del Ruiz (VNR) constituye el edificio actual del denominado Complejo Volcánico Nevado del Ruiz (CVNR) definido por (Martínez *et al.*, 2014). El CVNR (Figura 5) está conformado por tres edificios principales: Periodo Eruptivo PRE-Ruiz (PRE-Ruiz), Periodo Eruptivo Primer Estadio Ruiz (VNR-PER) y Periodo Eruptivo Segundo Estadio Ruiz (VNR-SER), tres volcanes menores: Piraña, La Olleta y Nereidas (Figura 6); domos (Alfombrales, Arenales y Plazuelas). La actividad volcánica de este complejo ha sido generadora de depósitos efusivos, depósitos volcanoclásticos primarios (corrientes de densidad piroclástica y caídas piroclásticas) secundarios (avalanchas de escombros y *lahares*). El actual volcán Nevado del Ruiz, con su centro de emisión en el cráter Arenas está constituido por una serie de depósitos producidos por actividad tanto efusiva como explosiva; en los últimos 13.000 años la actividad ha sido principalmente explosiva, evidenciando al menos 14 erupciones, con columnas eruptivas que posiblemente alcanzaron hasta 20 km de altura, con un Índice de Explosividad Volcánica VEI entre 3 y 4 (VEI por sus siglas en inglés. El VEI es una escala que permite medir el tamaño o la magnitud de erupciones volcánicas explosivas, dicha escala varía de 0 a 8). Estas erupciones han generado depósitos de corrientes de densidad piroclástica (flujos y oleadas), que se han depositado en los valles de los ríos que nacen en el volcán; además de depósitos de caída piroclástica que cubren la topografía en su área de influencia. Debido a la fusión de su cobertura glaciar durante los eventos eruptivos, el VNR ha generado varios depósitos de *lahar* o flujos de lodo volcánico, los cuales han viajado por las cuencas de los ríos que nacen en el volcán, y se han depositado en las zonas bajas y planas. Además de los eventos mencionados anteriormente, se tienen evidencias de colapsos de flanco del edificio volcánico y los correspondientes depósitos de avalanchas de escombros, los más recientes, se localizan en la cabecera de los ríos Azufrado y lagunilla. En la actividad histórica del VNR, se tiene el registro de las erupciones de 1595 y 1845, en las cuales se generaron *lahares* que afectaron la zona donde se localizaba la antigua población de Armero. El VNR en el año 1984 presentó una reactivación, seguida por la erupción del 13 de noviembre de 1985. El 1 de septiembre de 1989 (Figura 4), ocurrió otra erupción de menor tamaño, la cual produjo caída de ceniza y un pequeño *lahar* en el río Azufrado sin fatalidades asociadas.



Figura 5. Fotografía panorámica del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz CVNR, donde se aprecian los volcanes Nevado del Ruiz, La Olleta y la Piraña.

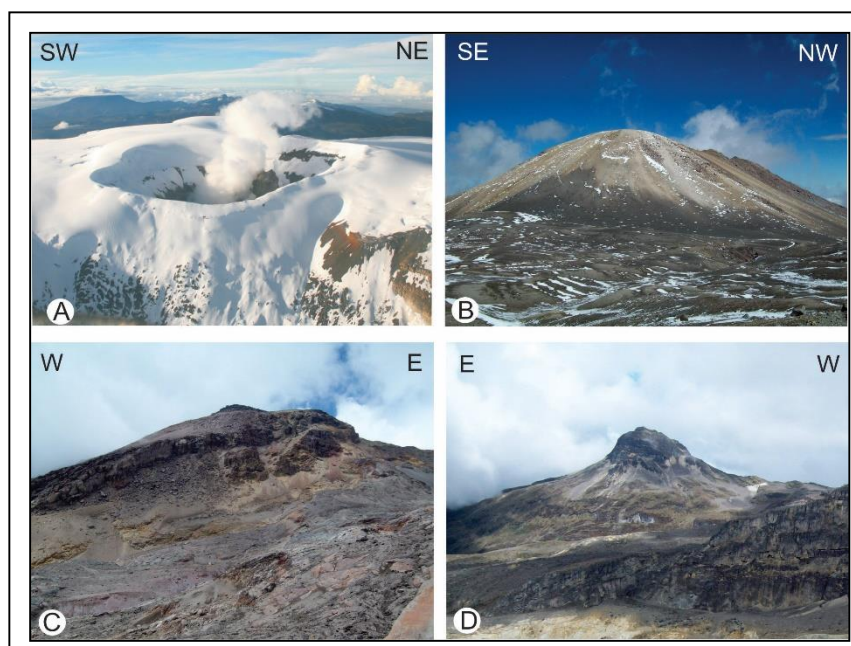


Figura 6. Fotografías de los volcanes del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz CVNR. **A.** Volcán Nevado del Ruiz y su cráter Arenas. **B.** Volcán La Olleta. **C.** Volcán Nereidas. **D.** Volcán La Piraña.

2. AMENAZAS VOLCÁNICAS

La Amenaza volcánica es definida como: “El peligro latente de que un evento de origen volcánico se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales” (Ley 1523 de 2012).

Los fenómenos volcánicos que pueden ocurrir durante una erupción asociados a la actividad volcánica y que se ilustran en la Figura 7, corresponden a corrientes de densidad piroclástica (flujos y oleadas piroclásticas), *lahares* (flujos de lodo volcánico), caídas piroclásticas, flujos de lava, avalanchas de escombros, explosión lateral dirigida (*Blast*), onda de choque, gases volcánicos y sismos volcánicos.

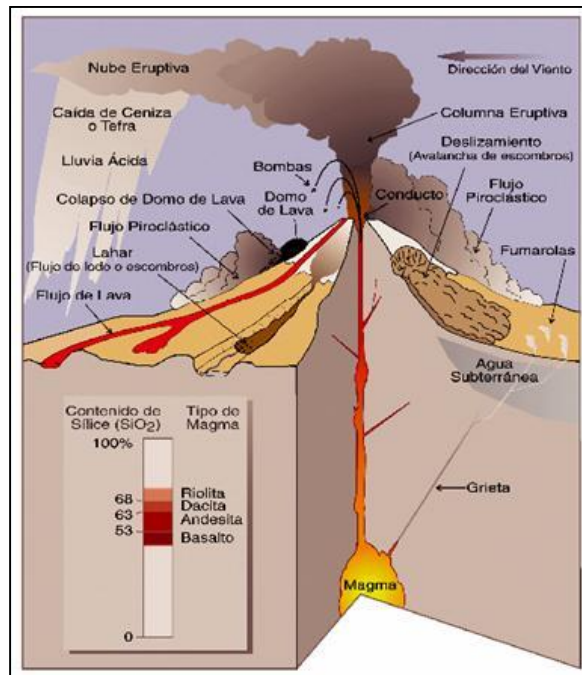


Figura 7. Esquema de un volcán con los diferentes fenómenos volcánicos que pueden ocurrir durante una erupción volcánica.

(Tomado de USGS: <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/index.php>).

A continuación, se describen los fenómenos que se podrían generar en una erupción del Volcán Nevado del Ruiz:

2.1. CAÍDAS PIROCLÁSTICAS

Como consecuencia de erupciones explosivas los volcanes lanzan a la atmósfera fragmentos de roca (piroclastos) que al caer a la superficie se denominan caídas piroclásticas. De acuerdo a su tamaño, se denominan: ceniza (menor de 2 mm); lapilli (2 a 64 mm); bloques y bombas volcánicas (mayor de 64 mm). Los fragmentos mayores son transportados por proyección balística y depositados en las partes cercanas del volcán a distancias menores a 10 km desde el punto de emisión. Los piroclastos menores (ceniza y lapilli) son transportados por el viento y llevados hasta zonas alejadas del volcán (cientos o miles de kilómetros) y depositados por efecto de la gravedad, formando capas que siguen la topografía preexistente, cubriendo en general áreas muy extensas. El espesor de piroclastos y su tamaño de grano disminuyen con la distancia al volcán.

En la mayoría de las erupciones se producen caídas piroclásticas y su distribución dependerá de la dirección de los vientos y la altura de la columna eruptiva al momento de la erupción (<http://volcanoes.usgs.gov/hazards/tephra/index.php>).

Los principales efectos causados por caídas piroclásticas incluyen:

(Blong 1984; Tilling 1993; <http://volcanology.geol.ucsb.edu/hazards.htm>; USGS: [http://volcanoes.usgs.gov/ash/health/VolcanicAsh:Effects & Mitigation Strategies](http://volcanoes.usgs.gov/ash/health/VolcanicAsh:Effects%20&%20Mitigation%20Strategies))

- Oscurecimiento del ambiente y dificultades respiratorias por la presencia de partículas finas suspendidas en el aire. Intoxicaciones.
- Pérdida parcial o total de cultivos y ganado. Cubrimiento y enterramiento de la superficie.
- Incendios forestales o de viviendas.
- Obstrucción de drenajes. Contaminación de fuentes de agua por sólidos y químicos.
- Daños por sobrecarga en estructuras livianas y líneas de conducción eléctrica. Corrosión a elementos metálicos.
- Afectación al transporte aéreo y terrestre.

Los efectos por caída de proyectiles balísticos son:

- Muerte de seres vivos por impacto de fragmentos. Destrucción de infraestructuras.
- Daños en cultivos.
- Obstrucción de drenajes. Contaminación de fuentes de agua.

2.2. FLUJOS PIROCLÁSTICOS Y OLEADAS

Son nubes de material incandescente compuestas por fragmentos densos y/o vesiculados (pómez o escoria), cenizas y gases calientes, con temperaturas entre 300° a más de 800°C, que se mueven a grandes velocidades (de decenas a varios centenares de km/h) desde el centro de emisión, desplazándose por los flancos del volcán tendiendo a seguir los valles y depresiones topográficas, arrasando y sepultando todo lo que encuentra en su trayectoria. Estos fenómenos se pueden originar a partir del colapso gravitacional de columnas eruptivas y por la destrucción gravitacional y/o explosiva de domos y flujos de lava. La mayoría de los flujos piroclásticos tienen dos partes: un flujo basal de fragmentos gruesos que se mueven a lo largo de la superficie del suelo y una nube turbulenta de ceniza que se expande por encima, frontal y lateralmente del flujo basal. La ceniza puede caer desde esta nube en un área más amplia. Las oleadas son flujos piroclásticos turbulentos de baja densidad, que fluyen a grandes velocidades y no están controlados topográficamente.

Los efectos que podrían causar estos fenómenos incluyen:

(<http://volcanology.geol.ucsb.edu/hazards.htm>; <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/pyroclasticflow>; <http://www.sveurop.org/gb/articles/articles/volchazards2.htm>):

- Muerte de seres vivos. Destrucción de infraestructuras.
- Arrasamiento e incendio de los elementos expuestos en su trayectoria.
- Cubrimiento y enterramiento del área expuesta, incluidos obstrucción de cauces, relleno de depresiones topográficas e interrupción de vías.
- Oscurecimiento y dificultades respiratorias por partículas finas suspendidas en el aire, lo que también afectaría el transporte aéreo.

2.3. LAHARES

Los *lahares* o flujos de lodo volcánicos son una mezcla de fragmentos de roca, arena, limo, arcilla y agua que se desplazan por los cauces y valles de las quebradas y ríos. Estos eventos varían en tamaño y velocidad. Un *lahar* en movimiento se comporta como una masa de concreto húmedo que carga fragmentos que varían desde arcilla hasta bloques de más de 10 metros en diámetro; los *lahares* grandes, son de cientos de metros de ancho y decenas de metros de profundidad y pueden fluir a varias decenas de metros por segundo. Los *lahares* pequeños, con pocos metros de ancho y varios centímetros de profundidad, pueden fluir a pocos metros por segundo. Estos tipos de flujos pueden ser primarios, generados durante la erupción volcánica, o secundarios, producidos por diferentes mecanismos que permiten la interacción del agua con materiales volcánicos y no volcánicos. Las fuentes de agua para formar *lahares* pueden provenir de nieve, hielo, lagos cratéricos, lluvias o de corrientes fluviales o reservorios de agua en el interior del volcán. Los principales mecanismos de origen pueden estar asociados con la transición de flujos piroclásticos a *lahares*, erosión - transporte de material piroclástico suelto en laderas por agua lluvia y corrientes fluviales y rotura de presas.

(<http://volcanology.geol.ucsb.edu/hazards.htm>; <http://www.sveurop.org/gb/articles/articles/volchazards2.htm>).

Entre los principales efectos por *lahares* se encuentran:

- Arrasamiento y destrucción de vegetación, cultivos e infraestructura existentes a lo largo de su trayectoria (puentes, caseríos en las orillas de los ríos, carreteras).
- Enterramiento y aislamiento pasivo y tardío de grandes extensiones de terreno (cerca los cauces y por fuera de ellos) incluida la infraestructura ubicada sobre las mismas.
- Relleno de cauces naturales y artificiales.
- Inundación de las regiones planas donde se abren los cañones de los ríos.
- Inundación de áreas aledañas en el caso de presentarse represamiento de los ríos.

2.4. FLUJOS DE LAVA

Son corrientes de roca fundida, relativamente fluidas, emitidas por el cráter o por grietas en los flancos del volcán y pueden canalizarse por los valles; su temperatura varía entre 800° y 1200 °C, su velocidad y alcance dependen de la composición, la morfología del terreno, la pendiente y las barreras topográficas que encuentren a su paso (<http://volcanoes.usgs.gov/hazards/lava/index.php>).

Las lavas más fluidas pueden extenderse decenas de kilómetros desde el foco de emisión, mientras que las lavas viscosas alcanzan unos pocos kilómetros, raras veces se extienden a más de 10 km desde los focos de emisión. En ocasiones las lavas muy viscosas se acumulan en forma de cúpulas o domos de lava, que al enfriarse pueden taponar el conducto volcánico. Estos domos pueden explotar o colapsar, generando flujos piroclásticos y posteriormente *lahares* o flujos de lodo volcánicos.

Los efectos (<http://volcanology.geol.ucsb.edu/hazards.htm>) por flujos de lava pueden incluir:

- Arrasamiento y enterramiento de cultivos y vegetación e infraestructura a lo largo de su trayectoria. Incendios forestales por las altas temperaturas.
- Relleno de cauces.

2.5. AVALANCHAS DE ESCOMBROS

Son grandes deslizamientos que pueden ocurrir en un sector del volcán movilizándose ladera abajo en respuesta a la gravedad; producidos por la inestabilidad y debilitamiento en sus flancos (e.g alteración hidrotermal), inducido por el ascenso de gran cantidad de magma en el edificio volcánico, o por un sismo de gran magnitud en las cercanías del volcán (Siebert, 1984). El colapso del edificio volcánico puede estar acompañado y/o seguido por actividad magmática y generar explosiones de extrema violencia (*Blast*), que generalmente están dirigidas en la misma dirección del deslizamiento, debido a una despresurización súbita del conducto volcánico.

Los efectos producidos por una avalancha de escombros son devastadores debido a su alta movilidad y por las extensas áreas que cubre (cientos de km²) arrasando con todo lo

que se encuentre a su paso. Sin embargo vale notar que estos eventos son muy poco frecuentes en la vida de un volcán.

2.6. EXPLOSIÓN LATERAL DIRIGIDA (BLAST)

Es una forma especial de flujo piroclástico que implica la destrucción parcial del aparato volcánico debido a las altas presiones por los gases de la cámara magmática. En general, estas explosiones están acompañadas por otros flujos piroclásticos y representan los efectos más devastadores de una erupción explosiva, pues pueden alcanzar velocidades de hasta 500 km/h y temperaturas de 1000 °C. Las explosiones dirigidas más peligrosas son las laterales de ángulo bajo, pues no son controladas ni por la topografía, ni por las condiciones atmosféricas imperantes (Fisher *et al.*, 1990; Belousov *et al.*, 2007).

Los efectos por este fenómeno son: grandes áreas devastadas por los flujos piroclásticos, la onda de choque y los gases a altas temperaturas.

2.7. GASES VOLCÁNICOS

Son gases disueltos en el magma que se liberan antes, durante y después de una erupción volcánica. En general constituidos por H₂O, CO₂ y SO₂. Sus efectos incluyen (William & McBirney, 1979, en Tilling, 1993):

- Irritaciones de las vías respiratorias. Intoxicaciones por inhalación.
- Lluvias ácidas cuando se mezclan con las cenizas en la atmósfera, que pueden ser nocivas para las personas, la vegetación y la infraestructura.
- Envenenamiento. Contaminación del aire y agua.

2.8. ONDAS DE CHOQUE

Una explosión volcánica puede producir ondas de presión, entre sus efectos están:

- Ruptura de cristales, paneles, daños a estructuras.
- Afectación auditiva y lesiones por cortaduras a personas expuestas.

2.9. SIMOS VOLCÁNICOS

El volcán puede presentar sismicidad que sólo puede ser sentida en sus inmediaciones.

Sus efectos pueden incluir:

- Colapso del edificio volcánico.
- Deslizamientos y daños a estructuras.

3. ZONAS DE AMENAZA

La evaluación y zonificación de la amenaza volcánica, es el resultado de la integración del registro geológico presente en los depósitos del volcán Nevado del Ruiz (VNR) asociados a su actividad reciente durante los últimos 14 mil años A.P. (Antes del presente) que permite conocer los fenómenos volcánicos y su posibilidad de ocurrencia (flujos de lava, corrientes de densidad piroclástica, proyectiles balísticos, caídas piroclásticas, y *lahares*); la recopilación de información histórica; así como también el resultado de simulaciones computacionales de dichos fenómenos. Los fenómenos se simularon utilizando las herramientas informáticas de *Tephra2* (Bonadonna *et al.*, 2005) para caídas piroclásticas, *Titan2D* (Patra *et al.*, 2005) para flujos piroclásticos y avalanchas de escombros, *LavaPL* (Connor *et al.*, 2012) para flujos de lava, *LaharZ* (Iverson *et al.*, 1998; Schilling, 2014) para *lahares* y *Eject!* Versión 1.4 (Mastín, 2001) para proyectiles balísticos.

Para el desarrollo de este mapa y la delimitación de las zonas de amenaza se ha considerado como punto de emisión el cráter Arenas del volcán Nevado del Ruiz (VNR), en caso de que ocurrieran puntos de emisión fuera de estas zonas, el mapa debe ser actualizado. El mapa incluye las zonas de amenaza para los fenómenos volcánicos para una erupción con un VEI entre 3 - 4; sin embargo, se pueden presentar escenarios eruptivos menores en los que se pueden dar emisiones de gases, cenizas, crecimiento de domos y la generación de pequeños flujos piroclásticos y *lahares*.

A continuación, se describen las zonas de amenaza alta, media y baja del mapa de amenaza para el volcán Nevado del Ruiz.

3.1. ZONA DE AMENAZA ALTA

Si Corresponde al área que se vería potencialmente afectada por caídas de piroclastos, corrientes de densidad piroclástica, flujos de lava, *lahares*, avalanchas de escombros y explosión lateral dirigida (*Blast*):

-Caída de piroclastos (Figura 8) corresponde al área con acumulaciones mayores a 10 cm de espesor (carga sobrepuesta $> 100 \text{ kg/m}^2$), en un radio aproximado de 25 km, dentro de la cual se podrían afectar las zonas rurales de los municipios de Villamaría, Herveo, Casabianca, Villahermosa, Murillo y Santa Rosa de Cabal, acorde a la tendencia de los vientos imperantes en la zona.

-Caída de fragmentos de roca de tamaño métrico expulsados con una trayectoria balística (Figura 9) pueden afectar un radio de hasta aproximadamente 4 km, alrededor del cráter.

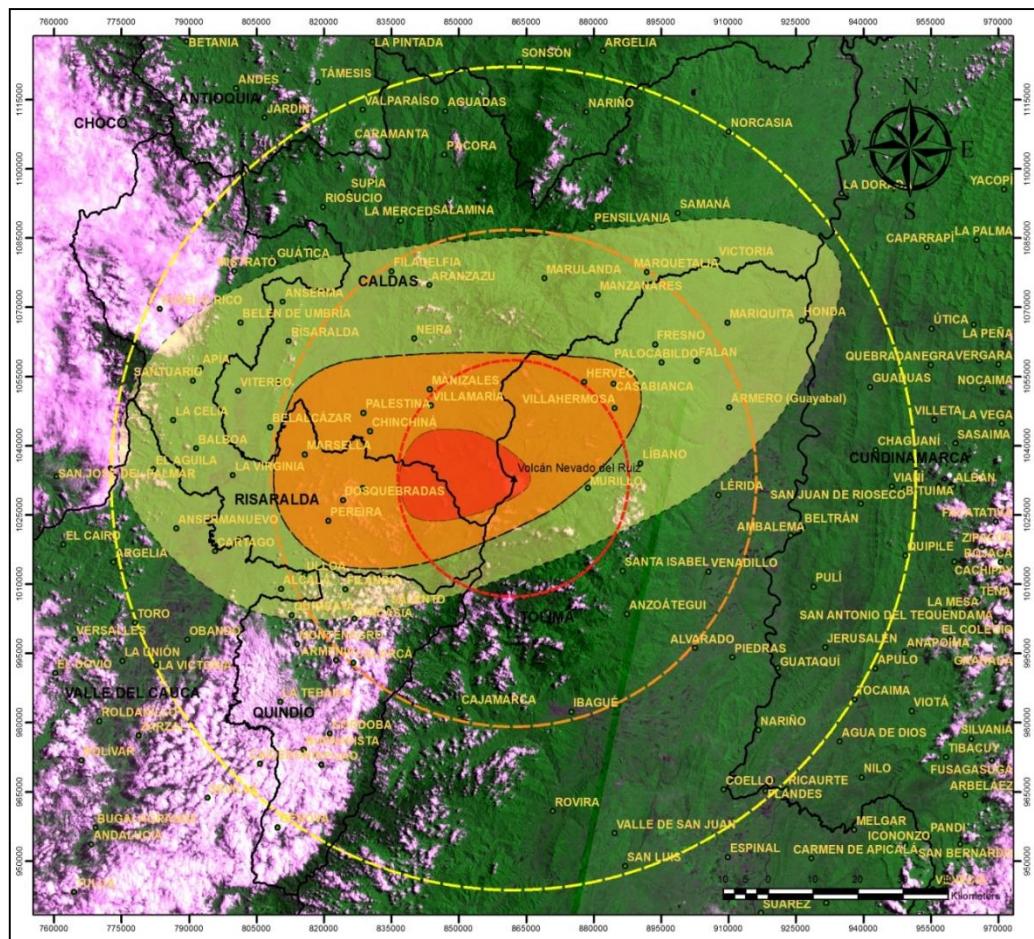


Figura 8. Zonas de amenaza para caídas piroclásticas (ceniza y lapilli) del VNR.

En color rojo amenaza alta para espesores mayores a 10 cm. En color naranja amenaza media para espesores entre 10 y 1cm. En color amarillo amenaza baja para espesores entre 1 cm y 0.5 mm. Los círculos cubren las direcciones alrededor de la cima del volcán no contempladas en la tendencia principal de los vientos.

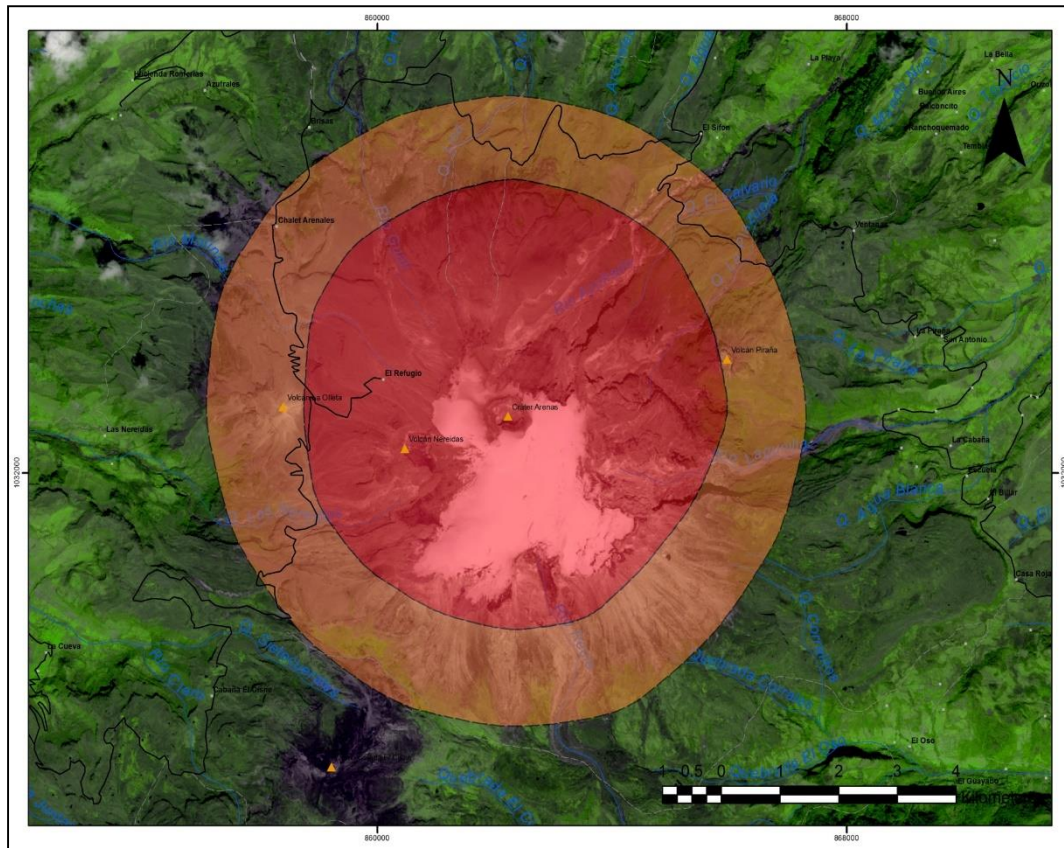


Figura 9. Zonas de amenaza para proyectiles balísticos del VNR.

En rojo amenaza alta para fragmentos de tamaño métrico con alcance hasta de 4 km; en naranja amenaza media para fragmentos de tamaño submétrico con alcance de hasta 5 km.

Flujos piroclásticos (Figura 10) que se pueden componer de: ceniza, escoria, ceniza y pómez, y bloques y ceniza; que afectarían las partes cercanas del edificio volcánico, canalizándose por las cuencas de los ríos Lagunilla, Gualí, Azufrado, Recio, Molinos y las quebradas Nereidas, Alfombrales, La Lisa, La Marcada, La Hedionda, Aguas Calientes, La Plazuela y La Negra; el avance de estos fenómenos puede alcanzar distancias de hasta 18 Km hacia el noroccidente y al suroriente.

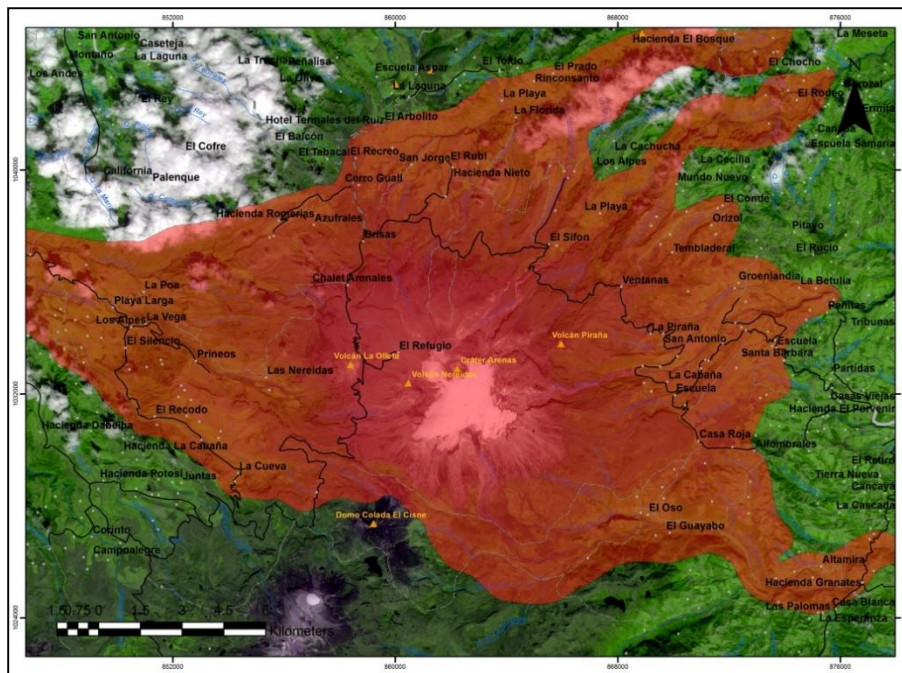


Figura 10. Área de amenaza alta en color rojo para el fenómeno de flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas del VNR.

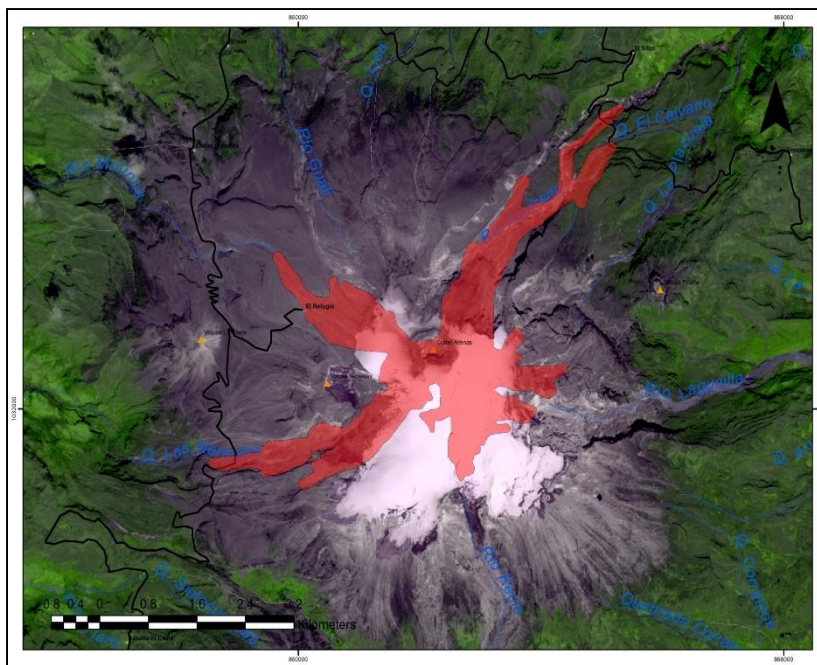


Figura 11. Área de amenaza alta en color rojo para flujos de lava del VNR.

Los flujos de lava (Figura 11) descenderían por las laderas del volcán y se canalizarían hacia los drenajes; este fenómeno se restringe a las partes cercanas al edificio volcánico y podrían tener un alcance de hasta 4.7 km.

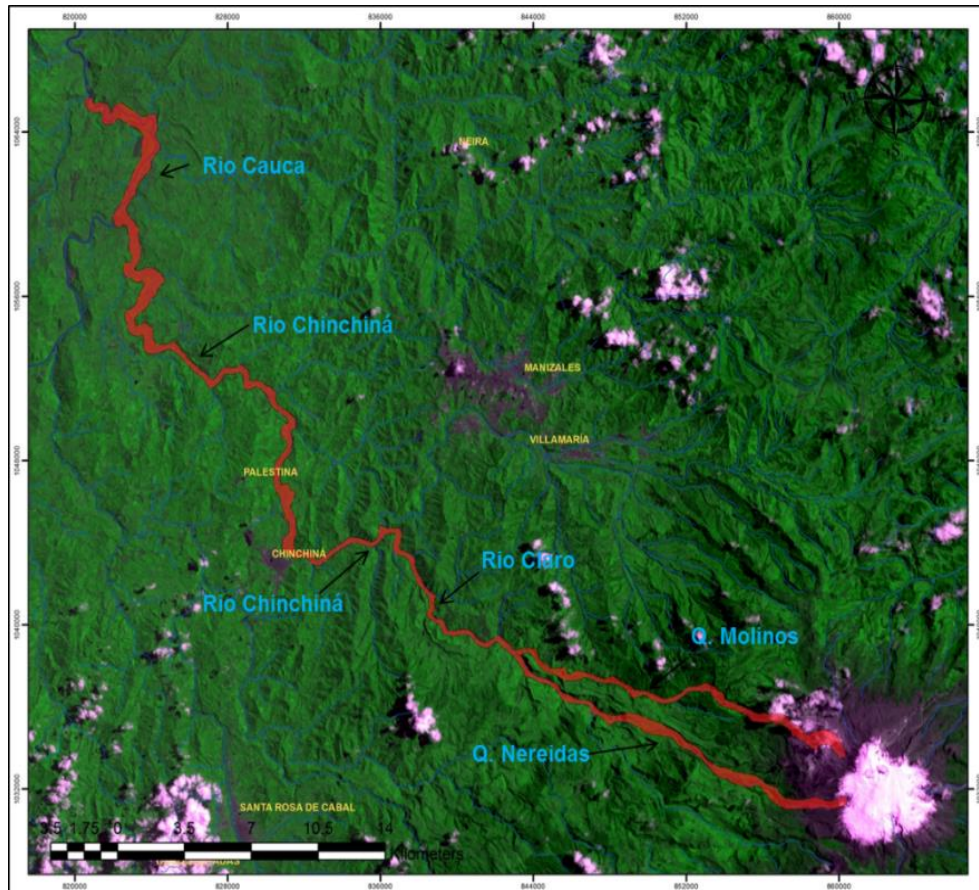


Figura 12. Área de amenaza alta en color rojo para lahares en la parte occidental del VNR. Para las quebradas Nereidas y Molinos, y los ríos Claro, Chinchiná y Cauca en los sectores rurales de los municipios de Manizales, Villamaría, Chinchiná, Palestina, Neira y Anserma.

Los *lahares* (Figuras 12 y 13) que se originan en la parte alta del edificio volcánico, se canalizan por los valles de los ríos y las quebradas que nacen allí. En el sector occidental del volcán, en la zona rural de Villamaría, los flujos descenderían por los valles de las quebradas Nereidas, Alfombrales y el río Molinos, posteriormente alcanzarían a los ríos Claro y Chinchiná, avanzando cerca de 62 Km hasta desembocar en el río Cauca y posiblemente avanzar algunos kilómetros aguas abajo. En este recorrido se afectarían

las zonas rurales de los municipios de Manizales, Villamaría, Chinchiná, Palestina, Neira y Anserma. Hacia el norte y nororiente en la cuenca del río Gualí, los flujos avanzarían cerca de 97 km, hasta desembocar en el río Magdalena, donde podrían recorrer algunos km más aguas abajo. En esta trayectoria, se afectarían las zonas rurales de los municipios de Herveo, Casabianca, Fresno, Palocabildo, Falan, Mariquita y Honda, y las cabeceras municipales de Mariquita y Honda.

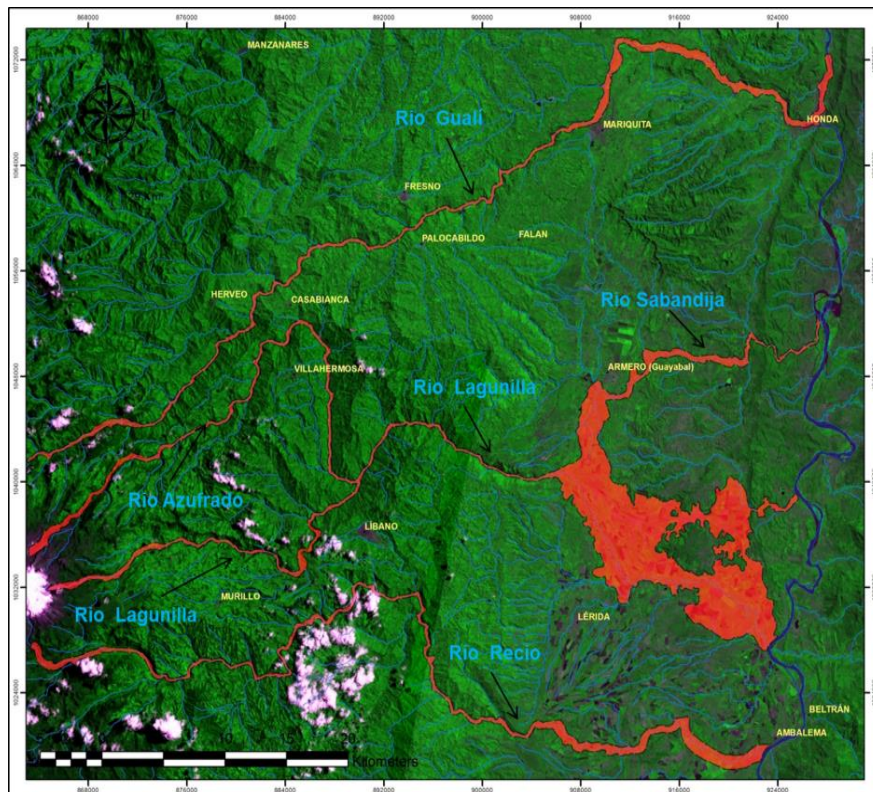


Figura 13. Área de amenaza alta en color rojo para *lahares* en la parte oriental del VNR. Comprende los ríos Gualí, Azufrado, Lagunilla y Recio en el departamento del Tolima. *Lahares* secundarios pueden ocurrir en el río Sabandija; por el río Gualí, los *lahares* pueden afectar la parte norte del centro urbano del municipio de Mariquita y gran parte del municipio de Honda.

Hacia el oriente del volcán los flujos descenderían por las cuencas de los ríos Azufrado y Lagunilla, después de la unión de estos dos ríos, los flujos avanzarían por el río Lagunilla alcanzando las planicies del sector del antiguo Armero, logrando avanzar hasta el río Magdalena a una distancia de 79 km desde el cráter Arenas.

Los *lahares* al descender al valle donde se ubica el antiguo Armero, pueden desviarse hasta alcanzar el cauce del río Sabandija ocasionando el posible represamiento de este. En este recorrido se afectarían las zonas rurales de los municipios de Villahermosa, Murillo, Casabianca, Líbano, Lérída, Falán y Armero Guayabal. Al suroriente del edificio volcánico, sobre la cuenca del río Recio, luego de una trayectoria de aproximadamente 88 Km, los *lahares* llegarían al río Magdalena, pasando por las zonas rurales de los municipios de Murillo, Líbano, Lérída, Venadillo y Ambalema.

- Las Avalanchas de escombros (Figura 14) se pueden generar producto de los colapsos de flanco generados en las cabeceras de los ríos Azufrado y Lagunillas, inducidas por el ascenso de gran cantidad de magma en el edificio volcánico, o por un sismo de gran magnitud en las cercanías del volcán. El colapso del edificio volcánico podría estar acompañado y/o seguido por actividad magmática y generar explosiones de extrema violencia (*Blast*), que generalmente están dirigidas en la misma dirección del deslizamiento, debido a una despresurización súbita del conducto volcánico. Las zonas que pueden estar afectadas son las áreas de influencia en las cuencas de los ríos Azufrado y Lagunilla.

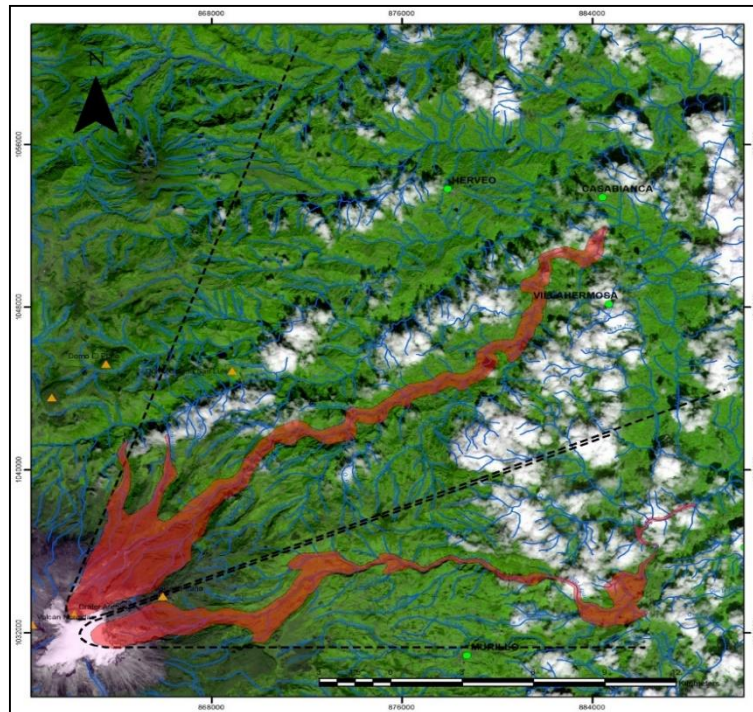


Figura 14. Área de amenaza alta en color rojo para avalanchas de escombros del VNR. Para las cuencas de los ríos Azufrado y Lagunilla. Las líneas punteadas en color negro corresponden a las zonas que podrían ser afectadas por una Explosión Lateral Dirigida (*Blast*).

3.2. ZONA DE AMENAZA MEDIA

Corresponde al área que se vería potencialmente afectada por: caída de piroclastos con acumulaciones entre 1cm y 10 cm de espesor (carga sobreimpuesta entre 10 y 100 kg/m²), acorde a la tendencia de los vientos imperantes en la zona, tiene un radio aproximado de 54 km, dentro del cual se pueden afectar los municipios de Pereira, Dosquebradas, Marsella, Santa Rosa de Cabal, Chinchiná, Belalcazar, Palestina, Risaralda, Villamaría, Manizales, Neira, Marulanda, Herveo, Casabianca, Villahermosa, Murillo y Santa Isabel (Figura 8). Por impacto de proyectiles balísticos de tamaño submétrico y con un alcance de hasta 5 km (Figura 9).

3.3. ZONA DE AMENAZA BAJA

Corresponde al área que se vería potencialmente afectada por: caída de piroclastos con acumulaciones entre 0.5 mm y 1 cm (carga sobreimpuesta entre 0,5 y 10 kg/m²), de espesor acorde a la tendencia de los vientos imperantes en la zona, con un radio aproximado de 88 km, donde podrían ser afectados los municipios tanto en su parte urbana y rural de los departamentos de Caldas, Tolima Risaralda, Quindío, Valle y Cundinamarca, entre otros (Figura 8).

4. RECOMENDACIONES

Los mapas de amenaza volcánica son una herramienta fundamental para el ordenamiento territorial de las áreas de influencia del volcán, el manejo de una crisis volcánica, y un punto de partida para la implementación de estrategias mitigadoras del riesgo, como pueden ser planes de evacuación y contingencia, y demás actividades que permitan la toma de decisiones en un momento de emergencia; por lo tanto, son dinámicos, cambiantes y evolucionan con el avance en el conocimiento del volcán y su dinámica eruptiva. De manera que son susceptibles de ser actualizados y mejorados en el tiempo.

La interpretación de estos mapas ha de ser relativa y no absoluta, esta es la razón por la cual las líneas que delimitan las áreas afectadas son punteadas pues son transicionales mas no son límites netos y los fenómenos antes descritos pueden o no sobrepasarlos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELOUSOV, A., VOIGHT, B., & BELOUSOVA, M. 2007. Directed blasts and blast-generated pyroclastic density currents: a comparison of the Bezymianny 1956, Mount St Helens 1980, and Soufrière Hills, Montserrat 1997 eruptions and deposits. *Bulletin of Volcanology*, 69(7), 701-740.
- BLONG, R.J. 1984. *Volcanic Hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions*, 424 pp. Academic Press Australia.
- BONADONNA, C., CONNOR, L. J., CONNOR, C. B., COURTLAND, L. M. 2010. "Tephra2," <https://vhub.org/resources/tephra2>.
- COURTLAND, L; CONNOR, L., CONNOR, C., MELIKSETIAN. K., & SAVOV, I. 2012. Probabilistic approach to modeling lava flow inundation: a lava flow hazard assessment for a nuclear facility in Armenia. *Journal of Applied Volcanology*, 1:3, 1-19.
- FISHER, R.V. 1990. Transport and deposition of a pyroclastic surge across an area of high relief: the 18 May 1980 eruption of Mount St Helens, Washington. *Geological Society of America Bulletin*, 102, 1038-1054.
- IDEAM. 2010. *Glaciares de Colombia más que Montañas de Hielo*. Bogotá. 344p.
- IVERSON, R.M., SCHILLING, S.P. & VALLANCE, J.W. 1998. Objective delineation of lahar inundation hazard zones. *Geological Society of America Bulletin* 110(8), 972-984.
- MARTÍNEZ L.M., VALENCIA L.G., CEBALLOS J.A., NARVÁEZ B.L., PULGARÍN B.A., CORREA A.M., ZULUAGA I., RUEDA J.B., PARDO N., NAVARRO S. & MURCIA H.F. 2014. *Geología y Estratigrafía del Complejo Volcánico Nevado del Ruiz*. Informe interno, Servicio Geológico Colombiano, Bogotá. 390pp.
- MASTÍN, L. 2003. A simple calculator of ballistic trajectories for blocks ejected during volcanic eruptions. Eject!. Ver 1.1. USGS. En: <http://pubs.usgs.gov/of/2001/0045/>
- PATRA, A., BAUER A., NICHITA, C., PITMAN, E.B., SHERIDAN, M. F. BURSİK, M., RUPP, B., WEBBER, A., NAMIKAWA, L. and RENSCHLER, C. 2005. Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural terrain. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 139:1–21.

SCHILLING, S.P. 2014. Laharz_py—GIS tools for automated mapping of lahar inundation hazard zones: U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1073, 78 p.

SIEBERT, L. 1984. Large volcanic debris avalanches: Characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 22: 163-197.

TILLING, R, I., 1993.apuntes para un curso breve sobre Los Peligros Volcánicos. WOVO, UNESCO, USAID y USGS.

USGS. <http://volcanoes.usgs.gov/ash/health/> Volcanic Ash): Effects & Mitigation Strategies) (consultado en noviembre 2015).

USGS. <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/tephra/index.php> (consultado en: noviembre 2015).

USGS. <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/lava/index.php> (consultado en: noviembre 2015).

USGS. <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/pyroclasticflow> (consultado en: noviembre 2015).

USGS. <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/index.php> (consultado en: noviembre 2015).

VHUB. Collaborative volcano research and risk mitigation: <https://vhub.org/>. (consultado en: noviembre 2015).

VHUB. <https://vhub.org/resources/titan2d>. (consultado en: noviembre 2015).

VHUB. <http://volcanology.geol.ucsb.edu/hazards.htm>. (consultado en: noviembre 2015).

VHUB. <https://vhub.org/resources/titan2d>. (consultado en: noviembre 2015).

VHUB <http://www.sveurop.org/gb/articles/articles/volchazards2.htm>). (consultado en: noviembre 2015).

MAPA DE AMENAZA VOLCÁNICA DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUÍZ