



**Mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila – CVNH,
integración de estudios
Memoria explicativa**

Popayán, diciembre de 2024



Dirección de
Geoamenazas

Servicio Geológico Colombiano

Julio Fierro Morales

Director general

John Makario Londoño Bonilla

Director técnico de Geoamenazas

Nathalia María Contreras Vásquez

Coordinadora grupo evaluación de la amenaza y riesgos geológicos

Autores

Ricardo Arturo Méndez Fajury

Carlos Andrés Laverde Castaño

Bernardo Alonso Pulgarín Alzate

John Jainer Galarza Zambrano

Carlos José Muñoz Montoya

Enif Medina Bello

Grupo de Trabajo: Evaluación de la amenaza y riesgos geológicos

Proyecto: Evaluación de amenazas y riesgos geológicos 2023-2025 (1001651)

Citación: Méndez-Fajury, R., Laverde, C., Pulgarín, B., Galarza, J., Muñoz, C. y Medina, E. (2024). *Mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH, integración de estudios. Memoria explicativa*. Popayán: Servicio Geológico Colombiano.



Contenido

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
1. Localización	9
2. Conceptos	9
3. Metodología	12
4. Trabajos anteriores	13
4.1. Mapa preliminar de riesgos volcánicos potenciales del volcán Nevado del Huila (Cepeda <i>et al.</i> , 1986)	13
4.2. Mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH (Cepeda y Correa, 1996)	14
4.3. Mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH (Cepeda y Correa, 1996). Versión 2007	16
4.4. Actualización del mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del volcán Nevado del Huila (Pulgarín y Laverde, 2014)	16
4.5. Actualización de escenarios de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola (Pulgarín <i>et al.</i> , 2022)	19
5. Registro geológico e histórico del complejo volcánico Nevado del Huila	20
5.1. Registro geológico	20
5.2. Registro histórico	23
6. Evaluación de la amenaza volcánica	33
6.1. Amenaza por Corrientes de Densidad Piroclástica - CDP	33
6.2. Amenaza por flujos de lava	34
6.2.1. Flujos de Lava Nuevos	35
6.2.2. Flujos de Lava Antiguos	35
6.2.3. Flujos de Lava Pre-Huila	35
6.2.4. Domos	35
6.3. Amenaza por Lahares	36
6.4. Amenaza por caída de piroclastos	37
6.5. Otras amenazas	38
6.5.1. Amenaza por sismos	38
6.5.2. Amenaza por gases	38
7. Zonificación de la amenaza volcánica	39
7.1. Zona proximal	39
7.1.1. Zona de amenaza volcánica alta	39
7.1.2. Zona de amenaza volcánica media	40
7.1.3. Zona de amenaza volcánica baja	41
7.1.4. Amenaza volcánica por caída de piroclastos	41
7.1.5. Zona de amenaza alta	42

Mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila – CVNH, integración de estudios – Memoria explicativa

7.1.6. Zona de amenaza media	43
7.1.7. Zona de amenaza baja	43
7.2. Amenaza volcánica por Lahares	44
Conclusiones y recomendaciones	46
Referencias	48

Resumen

El Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH está localizado entre los departamentos del Cauca, Huila y Tolima (Colombia), con una cota máxima de 5364 m s.n.m. en las coordenadas 2° 55' N y 76° 03' W, a una distancia de 285 km al SW de Bogotá, 79 km al SE de Cali, 83 km al NE de Popayán y 82 km al W de Neiva.

Está definido como un complejo y se encuentra ubicado en el Segmento Volcánico Central de Colombia. Presenta una forma elongada en dirección N-S, con longitudes en los ejes de su base de 16 y 11 km, cubriendo un área cercana a 176 km². Su altura máxima, el Pico Central, alcanza los 5364 m s.n.m. Está conformado por siete picos denominados Norte, La Cresta, Central, domo reciente, Sur, domo El Cerrillo y domo Morro Negro, donde cada uno de ellos representa un centro de emisión, todos cubiertos por un glaciar de 7 km².

La evaluación de la amenaza y mapa de amenaza del complejo volcánico se realizó teniendo en cuenta la evaluación y mapas de amenaza realizados en 1986, 1996, 2007, 2014 y 2022, destacándose las evaluaciones de la amenaza volcánica en general, como las particulares de caídas piroclásticas y lahares.

Siguiendo la metodología seguida por el Servicio Geológico Colombiano para la evaluación de la amenaza volcánica y la elaboración de los respectivos mapas de amenaza, se establecieron las respectivas zonas de amenaza alta, media y baja, representadas por los colores rojo, naranja y amarillo, respectivamente.

Abstract

The Nevado del Huila Volcanic Complex - CVNH is located between the departments of Cauca, Huila and Tolima (Colombia), with a maximum elevation of 5364 m above sea level at the coordinates 2° 55' N and 76° 03' W, at a distance of 285 km SW of Bogotá, 79 km SE of Cali, 83 km NE of Popayán and 82 km W of Neiva.

It is defined as a complex and is located in the Central Volcanic Segment of Colombia. It has an elongated shape in a N-S direction, with lengths at the axes of its base of 16 and 11 km, covering an area of close to 176 km². Its maximum height, the Central Peak, reaches 5364 m above sea level. It is made up of seven peaks called North, La Cresta, Central, recent dome, South, El Cerrillo dome and Morro Negro dome, where each of them represents an emission center, all covered by a 7 km² glacier.

The threat assessment and threat map of the volcanic complex was carried out considering the threat assessment and maps carried out in 1986, 1996, 2007, 2014 and 2022, highlighting the assessments of the volcanic threat in general, such as the ones of pyroclastic falls and lahars.

Following the methodology followed by the Colombian Geological Service for the assessment of the volcanic threat and the preparation of the respective threat maps, the respective high, medium and low threat zones were established, represented by the colors red, orange and yellow, respectively.

Introducción

Nota explicativa: este documento está elaborado con copias textuales o paráfrasis de los documentos originales que hacen parte de la integración de estudios de la amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila. Estos estudios son: Mapa preliminar de riesgos volcánicos potenciales del Nevado del Huila (Cepeda *et al.*, 1986), Mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH (Cepeda y Correa, 1996), Mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH (Cepeda y Correa, 1996) Versión 2007, Actualización del mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del volcán Nevado del Huila (Pulgarín y Laverde, 2014), Actualización de escenarios de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola (Pulgarín *et al.*, 2022) y Registro histórico del Complejo Volcánico Nevado del Huila (Laverde y Méndez-Fajury, en preparación). Así mismo, en las transcripciones presentadas sobre la actividad del CVNH en el registro histórico, se preservó la redacción y la ortografía original de los autores.

En el presente mapa, dado que se integran estudios que reflejan la evolución del conocimiento vulcanológico entre 1986 y 2022, se emplea, en general, el término "flujo de lodo" o "flujo de lodo volcánico" como sinónimo para lahar. Consecuentemente, el uso del término lahar en el presente informe corresponde a su definición en el numeral 1.2, abarcando todo el espectro de clasificaciones actualmente admitidas.

El Nevado del Huila, en sentido geológico, fue definido como un "Complejo Volcánico" por Correa y Cepeda (1996). Se encuentra ubicado en el Segmento Volcánico Central de Colombia (Monsalve-Bustamante, 2020). Presenta una forma elongada en dirección N-S, con longitudes en los ejes de su base de 16 y 11 km, cubriendo un área cercana a 176 km². Su altura máxima, el Pico Central, alcanza los 5364 m s.n.m. Está conformado por siete picos denominados Norte, La Cresta, Central, domo reciente, Sur, domo El Cerrillo y domo Morro Negro, donde cada uno de ellos representa un centro de emisión, todos cubiertos por un glaciar de 7 km² (figura 1)

Adicionalmente, presenta un cráter formado durante la erupción del 20 de noviembre de 2008, a través del cual se extruyó un cuerpo dómico (figura 2).

Estudios del retroceso glaciar en este volcán indican que entre 1961 y 1995 perdió 5,5 km² de su área glaciar y 0,27 km³ de su volumen. A este ritmo de pérdida, es posible que hacia mediados del siglo XXI desaparezca su masa glaciar. Todos los drenajes que nacen en el volcán son colectados por los ríos Páez (al W) y Símbola (al E), los cuales se unen unos 31 km al S del volcán, cerca de la población de Belalcázar (municipio de Páez), continuando como río Páez a través de un cañón profundo hasta desembocar en el río Magdalena a unos 132 km al SE de dicha confluencia.

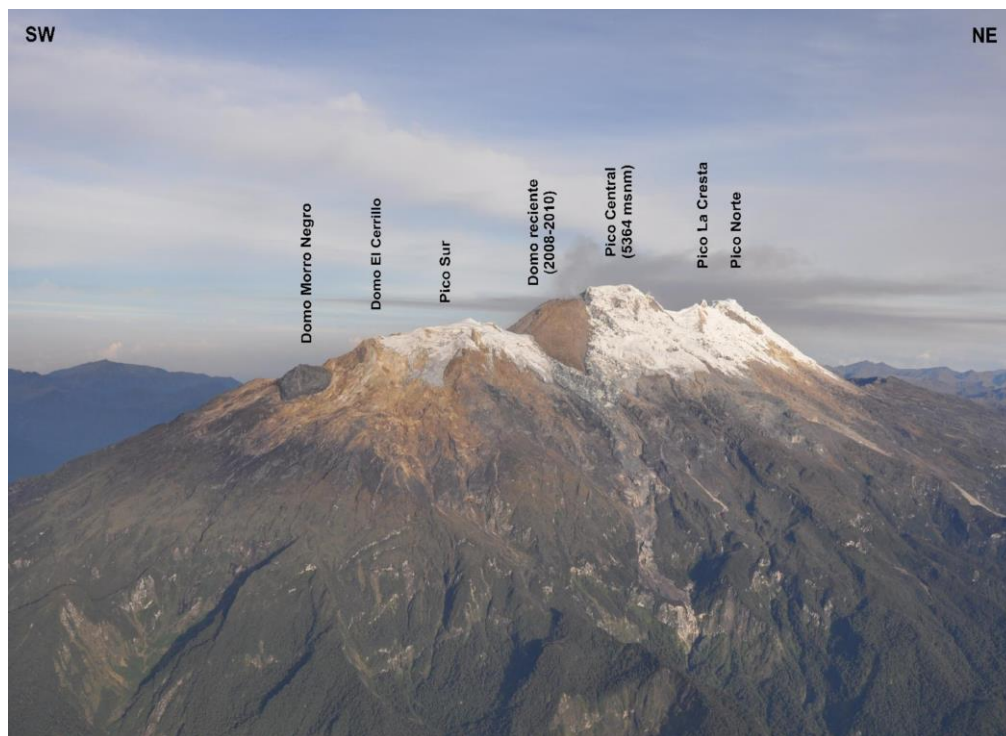


Figura 1. Panorámica del Complejo Volcánico Nevado del Huila – CVNH
Fotografía tomada en sobrevuelo el 25 de enero de 2011, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Fuente: Ingeominas (2011).

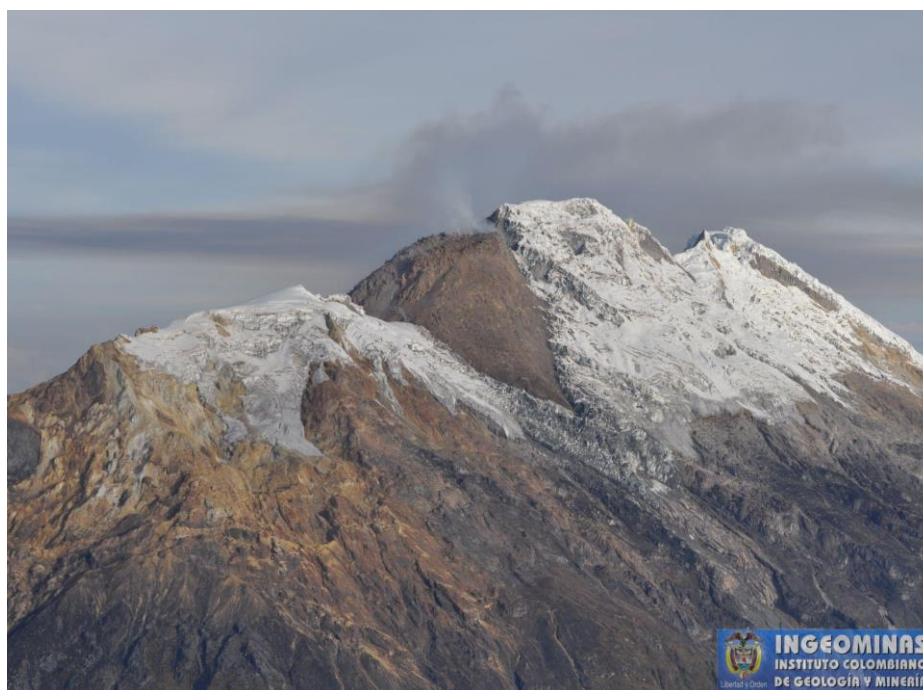


Figura 2. Domo extruido en el Pico Central del CVNH entre 2007 y 2010
Fotografía tomada en sobrevuelo el 25 de enero de 2011, con el apoyo de la FAC. Fuente: Ingeominas (2011).

1. Localización

El Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH está localizado entre los departamentos de Cauca, Huila y Tolima (Colombia), con una cota máxima de 5364 m s.n.m. en las coordenadas 2° 55' N y 76° 03' W, a una distancia de 285 km al SW de Bogotá, 79 km al SE de Cali, 83 km al NE de Popayán y 82 km al W de Neiva (figura 3). Se encuentra ubicado dentro del área del denominada “Parque Nacional Natural Nevado del Huila” (PNNC, 2024).



Figura 3. Localización del Complejo Volcánico Nevado del Huila

2. Conceptos

Amenaza volcánica: tomando como base la definición de amenaza establecida en la ley 1523 de 2012, el SGC define la amenaza volcánica como:

“la ocurrencia de fenómenos volcánicos durante una erupción (flujos de lava, caídas piroclásticas, corrientes de densidad piroclástica, avalanchas de escombros y lahares), que pueden causar pérdida de vidas y afectación a la salud, así como también daños, pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales”.

Erupciones explosivas: son el tipo de actividad volcánica más potente. Se generan debido a la expansión violenta de gases al interior del volcán, produciendo grandes cantidades de material fragmentario proveniente del magma y de las paredes del conducto volcánico (piroclastos) mezclados con vapor de agua y otros gases volcánicos, que son expulsados violentamente y a altas temperaturas a la atmósfera en forma de columnas eruptivas o transportados lateralmente sobre la superficie del volcán. Todos estos

materiales pueden generar caídas de ceniza, emisión de bloques y bombas, así como corrientes de densidad piroclástica.

Erupciones efusivas: son erupciones menos explosivas en las que un magma, con menor contenido de gases, asciende por el conducto volcánico y es emplazado sobre la superficie del volcán. Dependiendo de su composición, temperatura, velocidad de ascenso y tasa de emisión, estas lavas se pueden emplazar en forma coladas de lavas (que cubren la superficie formando lóbulos masivos o en bloques), en forma de domos de lava (magmas más fríos y cristalizados que se emplazan en el cráter, en sus alrededores o debajo de éste) o en forma de fuentes de lava, las cuales no son comunes en nuestro ambiente volcánico y son producto de magmas muy fluidos y calientes.

Caída de piroclastos: como consecuencia de las erupciones explosivas, los volcanes emiten a la atmósfera partículas fragmentadas (piroclastos) que, de acuerdo con su tamaño, se clasifican como: ceniza (menor de 2 mm), *lapilli* (2 a 64 mm), bloques y bombas (mayor de 64 mm).

Piroclastos transportados por el viento: fragmentos de ceniza y *lapilli* son transportados por el viento hasta zonas alejadas del volcán (de decenas hasta cientos de kilómetros) y depositados por efecto de la gravedad, formando capas que siguen la topografía preexistente, cubriendo generalmente un área muy extensa. La cantidad de piroclastos acumulados 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 velocidad y dirección del viento predominante. Las caídas de piroclastos pueden causar: oscurecimiento del ambiente. En la salud humana y animal: infecciones respiratorias, irritación de los ojos y las vías respiratorias, intoxicaciones y alergias. En las infraestructuras y viviendas: cubrimiento y enterramiento, obstrucción de drenajes artificiales, colapso de techos y líneas de conducción eléctrica, corrosión a elementos metálicos. En la agricultura y ganadería: pérdida parcial o total de cultivos y ganado, contaminación de fuentes de agua por sólidos y químicos; tormentas eléctricas y afectación al transporte aéreo y terrestre.

Proyectiles balísticos: las bombas y los bloques volcánicos (diámetro desde 64 mm hasta del orden métrico) son expulsados con trayectorias parabólicas desde el cráter, a velocidades de decenas a centenares de metros por segundo. Por lo general, su distribución está restringida a una distancia menor a 10 km del punto de emisión. Los proyectiles balísticos pueden causar la destrucción parcial o total de infraestructura y muerte o lesiones graves de seres vivos por impacto directo; incendios forestales o de viviendas.

Corrientes de Densidad Piroclástica (CDP): son una mezcla turbulenta de piroclastos y gases calientes, con temperaturas entre 300 y 600 °C. Se desplazan a velocidades de decenas a muy pocos centenares de km/h, desde el centro de emisión, por los flancos del volcán y posteriormente siguiendo los valles de los ríos y quebradas que nacen en él. Se originan a partir del colapso gravitacional de columnas eruptivas, por la destrucción gravitacional y explosiva de domos y flujos de lava o por explosiones laterales. De acuerdo con el contenido de gases y concentración de partículas sólidas, las CDP pueden ser concentradas (flujos piroclásticos) y diluidas (oleadas piroclásticas). Los flujos piroclásticos tienen dos partes: un flujo basal de fragmentos gruesos que se mueve a lo largo de la superficie del suelo y un flujo turbulento de ceniza que se expande por encima, lateral y frontalmente del flujo basal. La ceniza puede caer desde un flujo en un área muy amplia, siguiendo la dirección del viento. Las CDP diluidas presentan un mayor contenido de gases, son más turbulentas, con una mayor distribución lateral, desplazándose a través de valles y colinas, con la capacidad también de superar barreras topográficas. Se pueden generar conjuntamente con las CDP concentradas o independientemente de ellas. Las CDP pueden destruir todo a su paso y,

específicamente, pueden causar: arrasamiento e incendio de los elementos expuestos en su trayectoria, debido a sus altas velocidades y temperaturas; cubrimiento y enterramiento del área expuesta, incluyendo obstrucción de cauces, relleno de depresiones topográficas e interrupción de vías de diferente orden; muerte y graves lesiones a las personas y animales por quemaduras e inhalación de ceniza caliente y gases. La probabilidad de sobrevivir a este fenómeno es muy baja.

Flujos de lava y domos de lava: son corrientes de roca fundida, relativamente fluidas, que son emitidas por el cráter o por grietas en los flancos del cono activo con temperaturas entre 800 °C a 1200 °C. Al salir del cráter forman lenguas que tienden a canalizarse a lo largo de los valles; su velocidad y alcance dependen de su composición, la morfología representada por la pendiente del terreno y las barreras topográficas que encuentren a su paso. Existen lavas fluidas y lavas viscosas: las primeras pueden extenderse hasta decenas de kilómetros desde el foco de emisión; las lavas menos fluidas se mueven solamente a unos pocos kilómetros por hora y raras veces se extienden a más de 8 km desde los focos de emisión. Cuando las lavas son muy viscosas se acumulan en los centros de emisión, formando montículos escarpados, o en forma de cúpula, conocidos como domos de lava, que al enfriarse podrían llegar a taponarlos. Los domos pueden explotar o colapsar, generando flujos piroclásticos. En términos generales los flujos de lava se mueven relativamente lento, de manera que las personas pueden alejarse de su trayectoria; sin embargo, todo en su camino será derribado, rodeado, sepultado y quemado, debido a sus altas temperaturas. Las lavas específicamente pueden causar: destrucción de infraestructura, sepultura, quema de cultivos e incendios forestales. Las muertes atribuidas a los flujos de lava pueden ser debido a causas indirectas, tales como las explosiones cuando la lava interactúa con el agua, asfixia debido a los gases tóxicos acompañantes y flujos piroclásticos por colapso de domos. En caso de que exista una erupción que genere flujos de lava, se debe poner particular atención al avance de estos hacia centros poblados o infraestructuras.

Lahares: son comúnmente conocidos como flujos de lodo volcánico. Corresponden a una mezcla de fragmentos de roca (centimétricos a métricos), arena, limo, arcilla, biomasa y agua que se desplazan por los cauces de las quebradas y ríos; dependiendo de su volumen, un lahar puede variar su tamaño y velocidad de desplazamiento. En áreas de fuertes pendientes, predominará el arrastre e incorporación de material y sus velocidades pueden exceder los 200 km/h, cuando alcanza zonas topográficamente planas, comienza a depositar parte de la carga de sedimentos y su volumen decrece. Estos tipos de flujos se pueden generar durante (primarios) o después (secundarios) de las erupciones volcánicas, por una variedad de mecanismos que permiten la interacción del agua con materiales volcánicos y no volcánicos. Las fuentes de agua para formar lahares pueden provenir por el derretimiento de nieve y hielo, lagos cratéricos, lluvias, corrientes fluviales o reservorios de agua en las inmediaciones y al interior del volcán. Los *lahares* pueden causar: arrasamiento y destrucción de vegetación, cultivos y de las estructuras existentes a lo largo de su trayectoria; enterramiento y aislamiento de terrenos, incluidas las infraestructuras ubicadas sobre las mismas; relleno de cauces naturales y artificiales; inundación de las regiones aledañas en el caso de presentarse represamiento de los ríos y quebradas. Por la velocidad y energía con la cual puede formarse un *lahar*, este es un evento muy peligroso y la probabilidad de sobrevivir a su impacto directo es mínima.

Avalanchas de escombros: son enormes deslizamientos del edificio volcánico que pueden suceder como resultado de la inestabilidad de sus flancos y puede deberse a la intrusión de magma en su interior o a un fuerte sismo cercano. En ocasiones el colapso del edificio es acompañado por actividad eruptiva, caracterizada por explosiones de extrema violencia (*blast* o explosión lateral dirigida) que generalmente están dirigidas en la misma dirección del deslizamiento. Las avalanchas de escombros son muy rápidas y

móviles y arrasan con todo lo que encuentran a su paso. Sin embargo, vale anotar que estos eventos son poco frecuentes en la historia geológica de un volcán.

Gases volcánicos: antes, durante y después de una erupción, los volcanes emiten cantidades importantes de gases, siendo en su mayoría vapor de agua, al cual se suman ciertas concentraciones de CO₂ (dióxido de carbono), SO₂ (dióxido de azufre) y H₂S (sulfuro de hidrógeno) entre otros, los cuales se diluyen rápidamente en la atmósfera, de manera que no representan un peligro mayor para la salud humana. Sin embargo, las concentraciones de CO₂ y SO₂ (gases sin olor) en depresiones topográficas pueden llegar a causar la muerte. Una exposición prolongada a gases volcánicos puede provocar: irritación de los ojos y problemas respiratorios de personas y animales; destrucción de vegetación y cultivos. La mezcla de agua lluvia con estos gases pueden generar "lluvias ácidas", que a su vez pueden provocar acidificación de fuentes de agua y suelos llegando a ser peligrosas en exposiciones prolongadas.

Ondas de choque: son ondas de presión que se propagan a una velocidad mayor que la del sonido, producidas durante la actividad explosiva de un volcán. Este fenómeno puede ser percibido incluso a varios kilómetros del foco eruptivo, con grados de afectación directamente proporcionales a la distancia a la fuente. Las ondas de choque pueden causar: vibración y rompimiento de ventanas, fisuras en paredes y líneas vitales y conmoción en las personas que se vean afectadas por este tipo de fenómeno.

Sismos asociados a actividad volcánica: los sismos generados por la actividad interna de un volcán generalmente son registrados por aparatos de alta precisión y no son perceptibles por el ser humano; sin embargo, se pueden registrar sismos de mayor magnitud, que pueden ser sentidos por las personas alrededor del volcán. La afectación producida por sismos volcánicos depende de la magnitud, la profundidad del foco sísmico y la distancia al epicentro. Pueden ocasionar daños en la infraestructura, viviendas y líneas vitales y también movimientos en masa.

VEI: el Índice de Explosividad Volcánica (VEI por sus siglas en inglés) es una escala que permite medir el tamaño o la magnitud de erupciones volcánicas explosivas. Dicha escala varía de 0 a 8, donde el incremento en un número representa un aumento en la explosividad de diez veces respecto al anterior. El VEI se establece de acuerdo con las características de la erupción, tales como el volumen del material emitido (incluyendo caídas piroclásticas y corrientes de densidad piroclástica, entre otros productos), la altura de la columna eruptiva, la duración y otros parámetros cualitativos del evento eruptivo.

Carga sobrepuesta: es el peso adicional de material volcánico, por unidad de área, sobre un techo o cubierta que hace que este colapse. La afectación va a depender de la cantidad y características de la ceniza volcánica; del diseño y calidad de la construcción y las condiciones ambientales, como la presencia de agua, durante y después de la erupción.

3. Metodología

Para considerar la actualización de los mapas de amenaza volcánica en Colombia se tiene en cuenta el contar con un mayor conocimiento del volcán, tanto en su parte geológica como histórica, aunado al estado de la actividad volcánica actual.

En el momento de considerar la presente actualización del mapa de amenaza se contaba con trabajos como el mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH (Cepeda y Correa, 1996), el mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH (Cepeda y Correa, 1996) Versión 2007, la actualización del mapa de amenaza volcánica por caída de

piroclastos del volcán Nevado del Huila (Pulgarín y Laverde, 2014) y actualización de escenarios de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola (Pulgarín *et al.*, 2022).

Para la elaboración del mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila – integración de estudios (2024) se llevó a cabo la integración de los resultados obtenidos en los trabajos mencionados, sobreponiendo las diferentes áreas de amenaza consideradas en cada uno de ellos, estableciéndose una ponderación de la severidad que pueden representar y la afectación de las áreas expuestas.

Con base en lo anterior, se realizó la zonificación de amenaza alta (color rojo), media (color naranja) y baja (color amarillo).

4. Trabajos anteriores

Luego de la erupción del volcán Nevado del Ruiz en el año 1985, se generó preocupación de autoridades y comunidades que habitaban las áreas de influencia de los volcanes del país. Por esta razón, se dio inicio en el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras - Ingeominas (ahora SGC), a la evaluación y zonificación de amenazas volcánicas en el territorio nacional. Es así como, específicamente para la Complejo Volcánico del Nevado del Huila - CVNH, el primer mapa de amenaza volcánica se elaboró en el año 1986, seguido por las actualizaciones de los años 1996, 2007, 2014 y 2022.

4.1. Mapa preliminar de riesgos volcánicos potenciales del volcán Nevado del Huila (Cepeda *et al.*, 1986)

El primer mapa del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH se elaboró en el año 1986 (figura 4) como “Mapa Preliminar de Riesgos Volcánicos Potenciales del Nevado del Huila” (Cepeda *et al.*, 1986), mediante contrato firmado por el SGC (en su momento Ingeominas) con la Gobernación del Huila y el Instituto de Desarrollo del Huila (Idehuila). La necesidad se originó debido a que la onda de choque (un gran ruido, como una explosión) generada por la erupción del volcán Nevado del Ruiz el 13 de noviembre de 1985 fue sentida en la cuenca del río Páez, por lo que se pensó que era una erupción del volcán Nevado del Huila. Es muy importante tener en cuenta que para esa fecha el concepto de riesgo correspondía a la actual definición de amenaza.

El mapa del año 1986 se elaboró a partir de la exploración del volcán y sus áreas de influencia, reconociendo la distribución espacial de los depósitos de cada tipo de fenómeno, realizando recolección y análisis de muestras de campo y evaluando la actividad sísmica, cuyo monitoreo había iniciado el 18 de marzo de 1986 (con la instalación de un sismógrafo en el sitio de Verdún), no obstante, sin el registro de sismicidad de origen volcánico (Cepeda *et al.*, 1986). Con base en los estudios mencionados se describieron las áreas potencialmente amenazadas por flujos de lava y flujos de lodo en caso de una erupción; en cuanto a amenaza por flujos piroclásticos, se menciona en el informe que es poco probable, porque no se encontraron evidencias geológicas de este tipo de fenómeno durante los trabajos de campo en los sectores visitados.

Respecto a los flujos de lava, las afectaciones que refiere este mapa son en el sector de El Buco y otras fincas situadas dentro del área de influencia de la quebrada Yusayú; y de igual manera en los terrenos situados hacia la margen izquierda del río Páez, entre la desembocadura de la quebrada Yusayú y la quebrada Aguablanca. Los flujos de lodo de origen volcánico pueden ocurrir por todas las corrientes que

nacen en los glaciares del Nevado del Huila como son los ríos Páez y Símbola. Así mismo, se menciona que la única población que puede ser afectada es Páez (Belalcázar), departamento del Cauca.

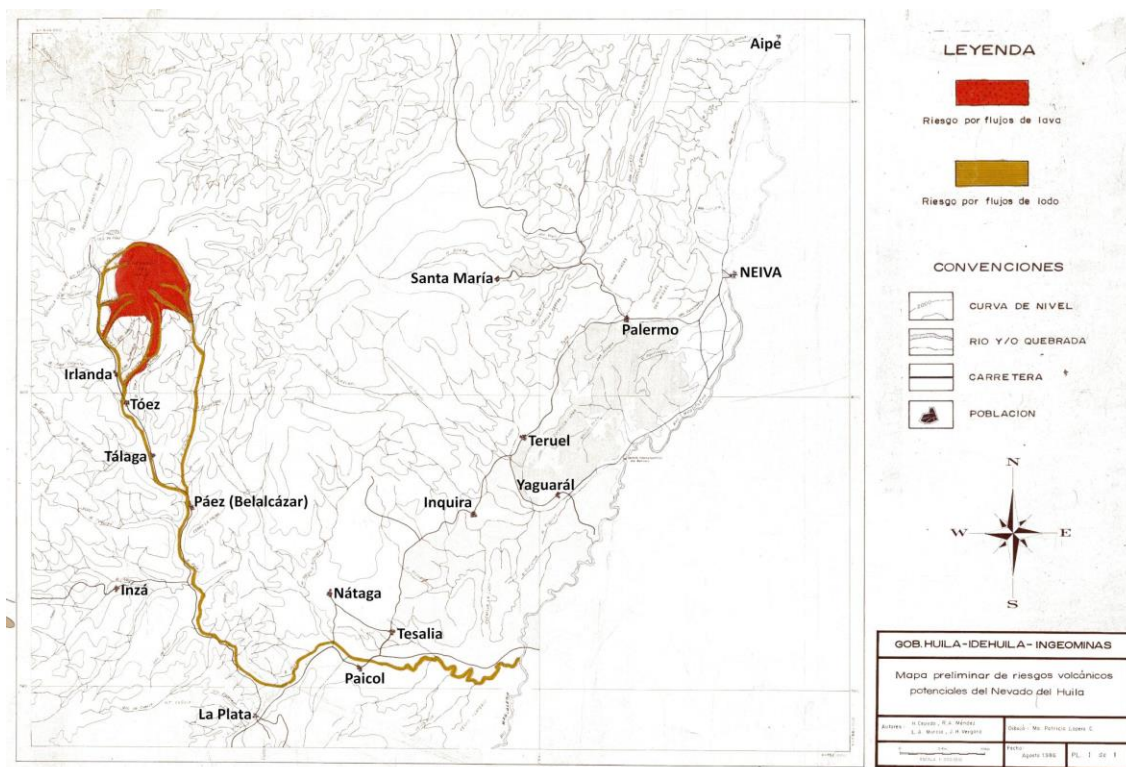


Figura 4. Primera versión del mapa preliminar de riesgos volcánicos potenciales del volcán Nevado del Huila
Fuente: Cepeda *et al.* (1986).

4.2. Mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH (Cepeda y Correa, 1996)

Debido a la ocurrencia del sismo de Páez, el 6 de junio de 1994 (Ingeominas, 1994), de magnitud 6,4 en la escala de Richter y localizado a 10 km al suroeste del Pico Central del CVNH, se detonó un flujo de lodo en la cuenca del río Páez, con un volumen aproximado calculado de 320 millones de metros cúbicos (Ingeominas, 1994; Calderón *et al.*, 1997), que produjo la pérdida de unas 1 100 vidas humanas (Cardona, 1995) y afectación importante en la infraestructura de la zona y a la represa de Betania (sobre el río Magdalena, en el Departamento del Huila). Se generó entonces expectativa respecto a la actualización del mapa de amenaza volcánica potencial del CVNH, el cual se elaboró en el marco del convenio Ingeominas - Corporación Nasa Kiwe (CNK) (Ingeominas-CNK, 1996).

La actualización del mapa del año 1996 se elaboró a partir de información previa, como el informe elaborado por ICEL (1983) relacionado con la factibilidad de proyectos hidroeléctricos en la cuenca del río Páez; y otros elaborados por Ingeominas, como son el mapa de amenaza del CVNH en su primer versión (Cepeda *et al.*, 1986); los informes del sismo de Páez del año 1994 (Ingeominas, 1994; Ingeominas, 1994a), un informe preliminar sobre la geología del CVNH (Cepeda y Correa, 1996), un estudio fotogramétrico del glaciar del Nevado del Huila (Pulgarín, 1995), así como la ejecución de trabajos de campo y algunas simulaciones de eventos volcánicos en la época (Raigosa y Pulgarín, 1996).

La metodología aplicada para la evaluación de la amenaza volcánica del CVNH consistió en el análisis de la información disponible, la exploración geológica del complejo volcánico, estudios estratigráficos y geomorfológicos a lo largo del río Páez, junto con simulaciones de flujos de lodos de origen volcánico y flujos piroclásticos, entre otros.

Se simularon numéricamente los flujos piroclásticos (corrientes de densidad piroclástica - CDP) siguiendo la metodología de Sheridan y Kover (1996) y los flujos de lodos (lahares) con el modelo “Mud Flow” diseñado para fusión de hielo y nieve por CDP (Yamashita y Miyamoto, 1991). El mapa de amenaza volcánica potencial del CVNH del año 1996 se presenta en la figura 5.

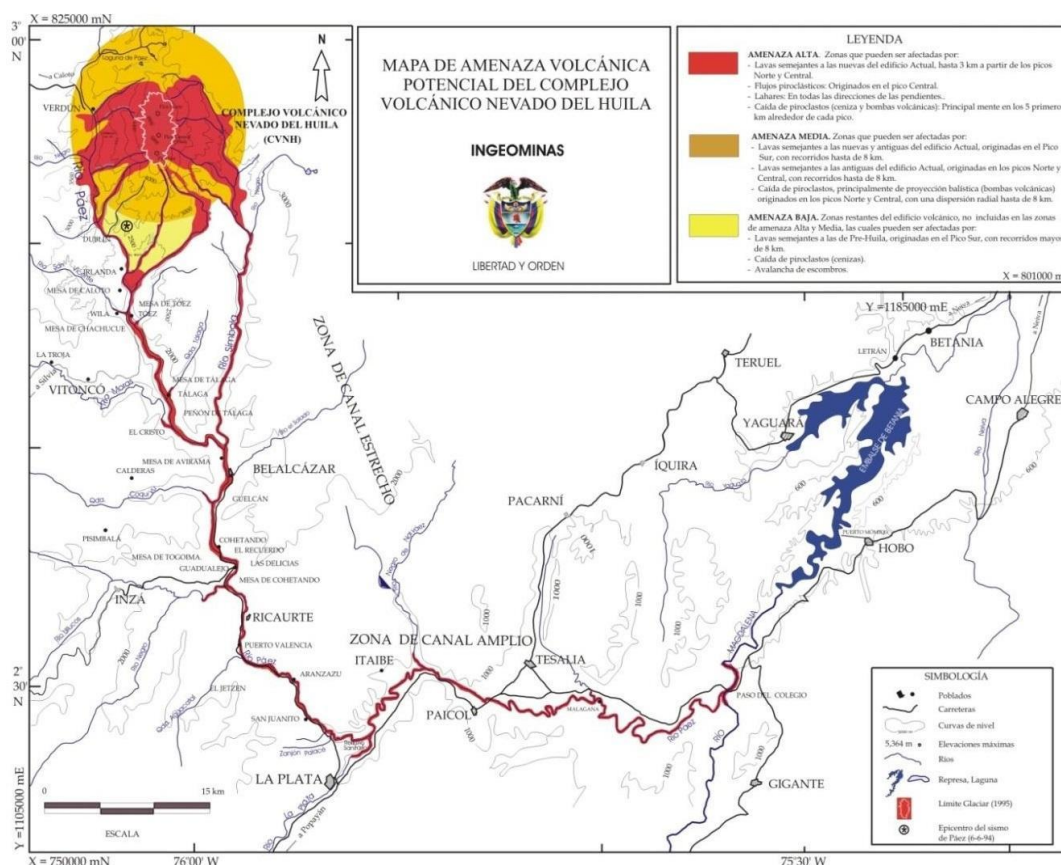


Figura 5. Segunda versión del mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila
Fuente: Ingeominas (1996).

Raigosa y Pulgarín (1996) refieren limitaciones en las simulaciones de lahares por lo que los resultados debieron ser considerados como referencias y no como datos precisos; para la elaboración del mapa se tuvo en cuenta el escenario máximo resultado de las simulaciones y desde Aránzazu hacia aguas abajo se dejaron los datos de la primera versión del mapa (Cepeda *et al.*, 1986), debido a que las simulaciones no alcanzaron estos sitios y a que el flujo de lodo producto de la erupción del año 1994 no generó cambios morfológicos importantes en este sector.

El mapa se presenta en términos de la amenaza categorizada como alta, media y baja. Las categorías de amenaza se definieron en términos de la edad relativa en el caso de las lavas, del espesor esperado en el caso de las caídas piroclásticas y para el caso de los lahares se categorizaron como de amenaza alta. La descripción contenida en la leyenda de amenaza del mapa es:

Zona de amenaza alta. Zonas que pueden ser afectadas por:

- Lavas semejantes a las lavas nuevas del Huila Actual, con recorridos de 3 km a partir de los Picos Norte y Central y espesores de 10 a 20 m.
- Flujos piroclásticos originados en el Pico Central.
- Lahares (flujos de escombros y flujos de lodo) en todos los drenajes que nacen en el glaciar y en aquellos que los recogen, como los ríos Páez y Símbola.
- Caída de piroclastos (cenizas, bloques y bombas volcánicas). Acumulaciones con espesores del orden de decímetros a metros en los primeros 5 km.

Zona de amenaza media. Zonas que pueden ser afectadas por:

- Lavas semejantes a las lavas nuevas y antiguas del Huila Actual, originadas en el Pico Sur, con recorridos hasta de 8 km y espesores entre 10 y 40 m.
- Lavas semejantes a las antiguas del Huila Actual, originadas en los Picos Norte y Central, con recorridos hasta de 8 km y espesores entre 20 y 40 m.
- Caídas de cenizas que podrían originarse en los Picos Norte y Central, con una dispersión máxima de 8 km y que se acumularían con espesores del orden de centímetros a decímetros; esta zona también podría estar afectada por bloques y bombas volcánicas.

Zona de amenaza baja. Zonas restantes del edificio volcánico, no incluidas en amenazas alta y media, las cuales pueden ser afectadas por:

- Lavas semejantes a las del Pre-Huila originadas en el Pico Sur, con recorridos entre 8 y 10 km y espesores mayores de 40 m.
- Caídas de piroclastos (cenizas), con espesores del orden milimétrico. Las cenizas muy finas (polvo), pueden ser llevadas por los vientos hasta sitios más lejanos, lo mismo que el olor de los gases volcánicos.
- Avalancha de escombros, por deslizamiento de un sector del volcán.

4.3. Mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila - CVNH (Cepeda y Correa, 1996). Versión 2007

Con el objeto de facilitar la visualización de los rasgos geográficos y geomorfológicos, el mapa vigente de amenaza volcánica potencial del CVNH (Cepeda y Correa, 1996) fue sobrepuesto como base cartográfica al mapa de sombras derivado del MDE, de 30 m de resolución espacial, SRTM (Misión de Transbordador Espacial para Topografía de Radar, por sus siglas en inglés), suministrado al Ingeominas por parte del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); así mismo, se consideraron los límites departamentales, municipales y la red de drenajes.

Este mapa fue distribuido como versión 2007 (figura 6). Adicionalmente, con base en estudios posteriores a 1996, realizados a partir de trabajos de campo, se modificó el espesor máximo esperado para los flujos de lavas que pueden ocurrir en la zona amenaza alta, cambiando el valor original de 40 m por un rango entre 10 m y 20 m.

4.4. Actualización del mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del volcán Nevado del Huila (Pulgarín y Laverde, 2014)

Previo al año 2007, este volcán se consideraba activo, pero en reposo y los únicos reportes de actividad histórica que se conocían eran reportes de incandescencia, ruidos, manifestaciones fumarólicas y de aguas termales. Sin embargo, en el año 2007 se generaron las primeras erupciones históricas de las cuales se tiene conocimiento, la primera el 18 de febrero y la segunda el 19 de abril; una tercera erupción ocurrió el 20 de noviembre de 2008. Dichas erupciones se caracterizaron por la ocurrencia de caída de piroclastos, lahares de diferentes magnitudes y gran afectación a la infraestructura de la zona del río Páez, desde el volcán hasta su llegada a la represa de Betania; durante esta actividad, hubo también cambios muy notorios en la parte alta y el glaciar del volcán, incluyendo el emplazamiento de dos domos en su cima, los cuales durante su crecimiento coalescieron en uno solo.

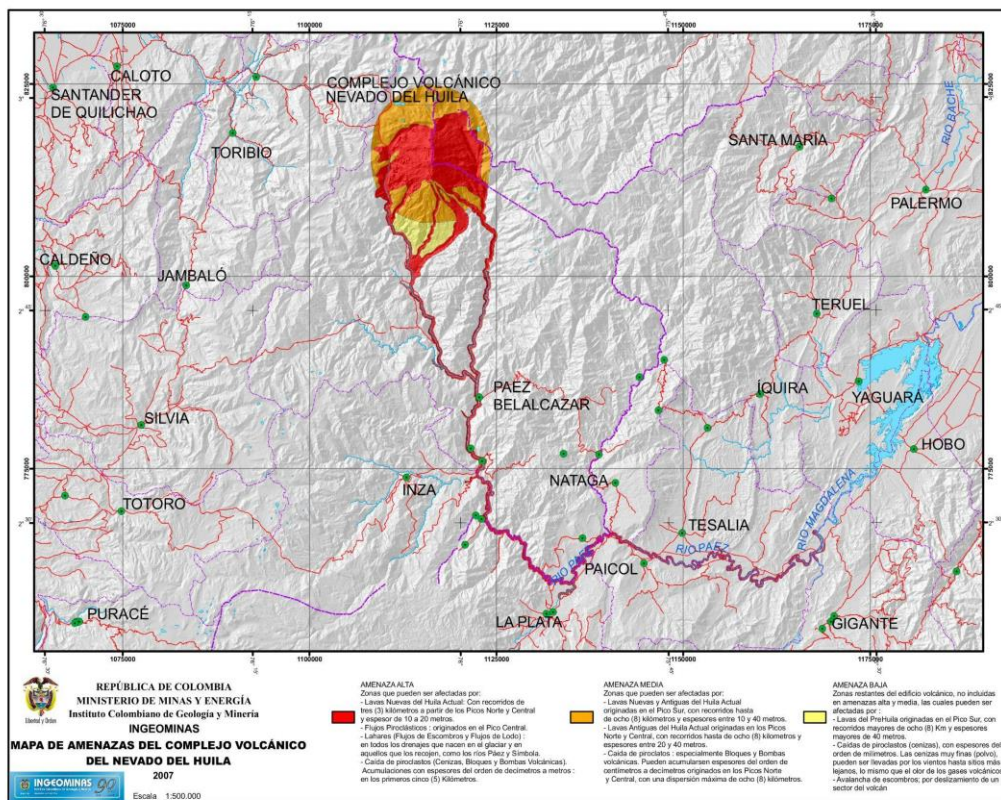


Figura 6. Mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila

Fuente: presentación para la página web del SGC en el 2007.

Ante esta situación, el Gobierno Nacional asumió la responsabilidad de adelantar un proceso integral de gestión del riesgo en la zona del cañón del río Páez, por lo que se formuló el documento CONPES 3667 (2010) en el cual se definieron los lineamientos de política para la reducción del riesgo ante la amenaza volcánica del CVNH, estableciendo en resumen que el entonces Ingeominas debía caracterizar los escenarios por caídas piroclásticas y modelar los escenarios de amenaza por lahares para volúmenes de 75, 320, 600 y 1.000 millones de metros cúbicos.

De acuerdo con lo formulado en el documento CONPES 3667 (2010) se actualizó el mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del volcán (Pulgarín y Laverde, 2014) y, con posterioridad, en el año 2022 se entregó la actualización de escenarios de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) (figura 7) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola (Pulgarín *et al.*, 2022).

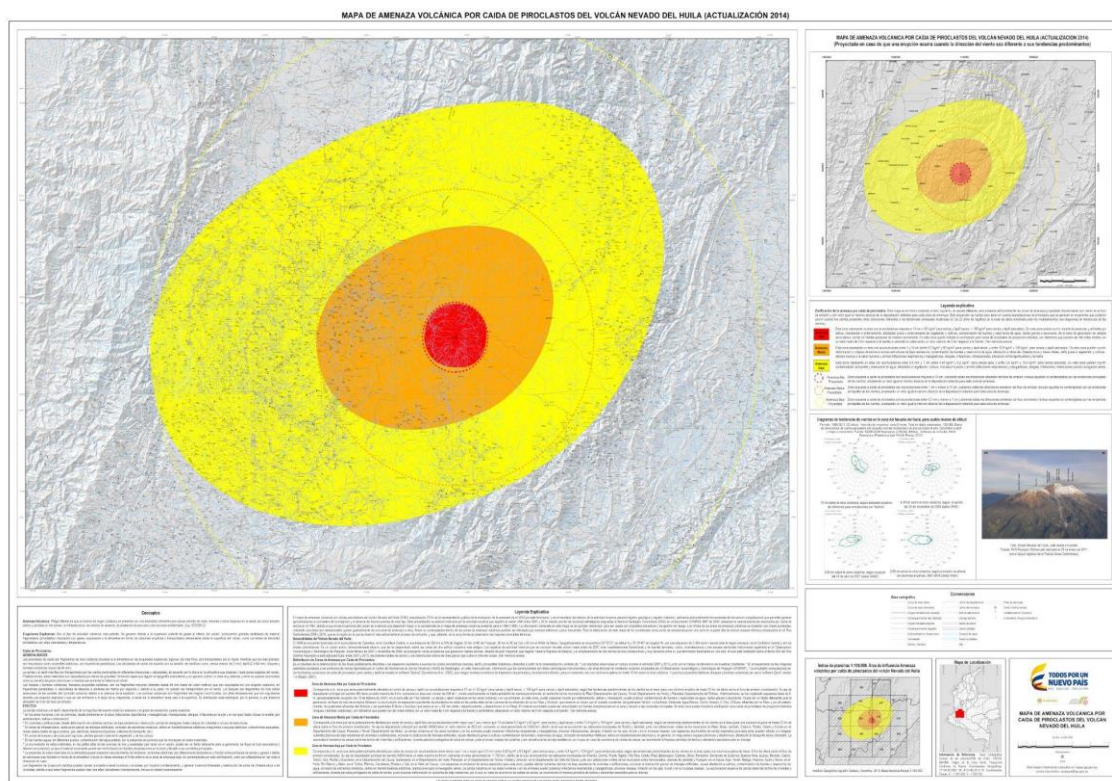


Figura 7. Mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del Complejo Volcánico Nevado del Huila
Fuente: SGC (2014).

La metodología para la evaluación de la amenaza volcánica por caída de piroclastos tipo ceniza y *lapilli* incorporó el empleo del código *TEPHRA2* (Bonadonna *et al.*, 2005; Bonadonna *et al.*, 2014); y para el caso de piroclastos de proyección balística, el programa *EJECT* versión 1.4 (Mastin, 2001), cuyos resultados fueron convalidados con registros disponibles y categorizados en niveles de amenaza.

Se colectaron datos de campo de ceniza depositada, datos de emisiones de cenizas correlacionados con el monitoreo sísmológico del CVNH realizado por el SGC (OVS-Popayán) y se contó con datos de dispersión de las nubes de cenizas generadas en el CVNH entre 2007 y 2010, registrados por el VAAC de Washington (Centro de Asesoría para Cenizas volcánicas, por sus siglas en inglés: *Volcanic Ash Advisory Center*) (VAAC, 2012). Respecto a información de viento, se tuvieron en cuenta en el análisis datos de pronósticos horarios del modelo WRF (Modelo de Investigación y Pronóstico del Clima, por sus siglas en inglés: *Weather Research and Forecasting*) suministrados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). Para las simulaciones, se empleó información del modelo meteorológico de la NOAA (Administración Oceánica y Atmosférica Nacional de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés para *National Oceanic and Atmospheric Administration*) denominado “*NCEP-DOE Reanalysis 2 data*”, con un dato cada seis horas, entre 1990 y 2011, de velocidad y dirección del viento para 17 estratos atmosféricos entre 0 y aproximadamente 40.000 m s.n.m.; estos datos se extrajeron de las bases de datos de NOAA a través del programa de la plataforma VHUB “*Wind Reanalysis*” (Palma, 2013).

Los resultados obtenidos fueron categorizados en términos de amenaza volcánica por caída de piroclastos y hacen parte integral de este documento, por lo que una descripción más detallada de la metodología y

resultados de la evaluación y zonificación de la amenaza se presenta en los numerales 3 y 4, respectivamente.

4.5. Actualización de escenarios de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola (Pulgarín *et al.*, 2022)

Esta actualización hace parte de la segunda entrega para dar cumplimiento a lo formulado en el documento CONPES 3667 de 2010 en cuanto a la modelación de los escenarios de amenaza por lahares para 75, 320, 600 y 1.000 millones de metros cúbicos. De acuerdo con la evaluación de la amenaza por este fenómeno desarrollada por Pulgarín *et al.* (2022), se contemplaron escenarios de volumen adicionales para 150 y 450 millones de metros cúbicos, teniendo en cuenta los volúmenes aproximados estimados para los domos de lava extruidos en el periodo 2008-2010 y para el lahar asociado a la erupción del CVNH del 20 de noviembre de 2008, respectivamente (figura 8).

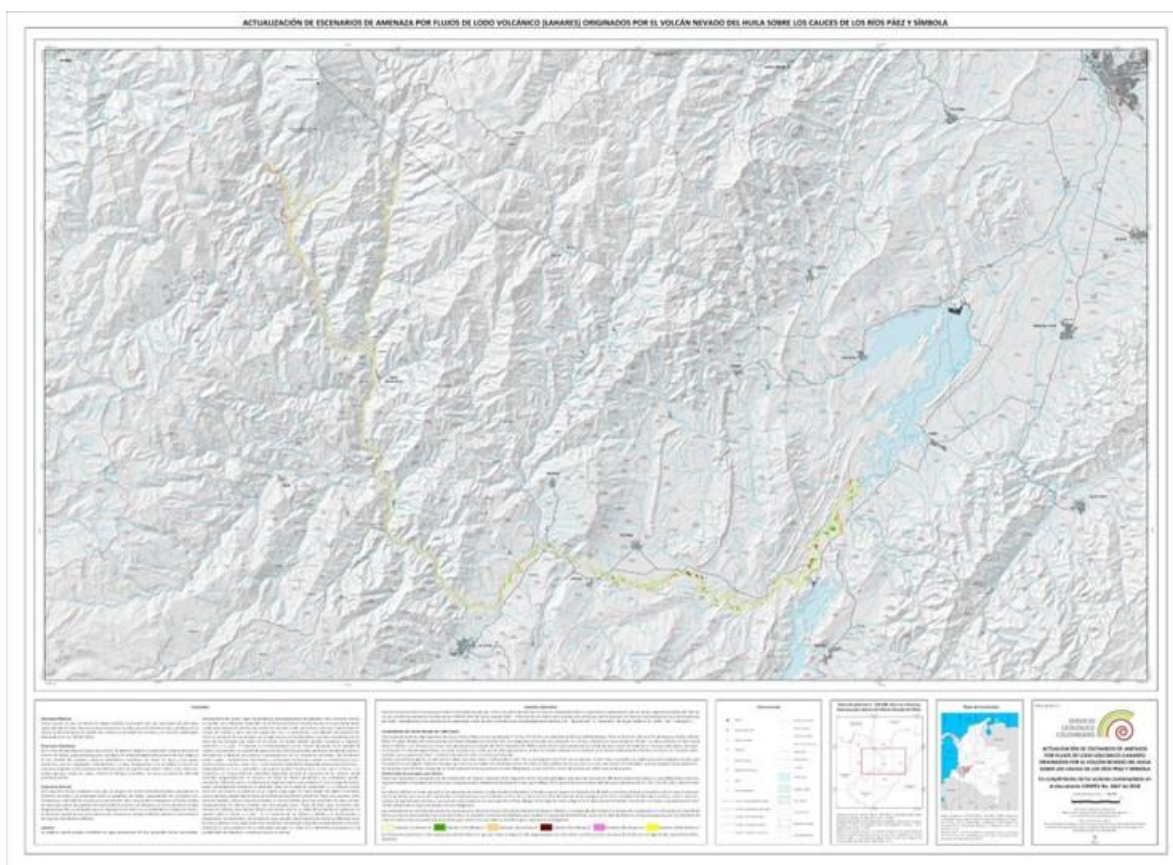


Figura 8. Mapa de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola

Fuente: SGC (2022).

Como se mencionó, el CVNH no poseía registros claros de actividad eruptiva histórica; pero, a inicios del año 2007, dos erupciones freáticas marcaron la reactivación de este volcán, seguida de la erupción ocurrida en noviembre de 2008.

Estas erupciones generaron caídas de ceniza, intrusión de domos (en la última de ellas) y flujos de lodo volcánico (lahares), de los cuales el de mayor volumen (aproximadamente, 400 millones de metros cúbicos, de acuerdo con Pulgarín *et al.*, 2015) estuvo asociado a la erupción del 20 de noviembre de 2008. Los lahares ocasionaron afectación a las personas e infraestructura asentadas en las cuencas de los ríos Páez y Símbola (Worni *et al.*, 2012; Pulgarín *et al.*, 2015). Este intervalo de actividad eruptiva fue el primero claramente registrado históricamente para este volcán.

En Pulgarín *et al.* (2022) se presenta una descripción de los eventos de flujos de lodo de origen volcánico ocurridos entre los años 2007 y 2008. Para la evaluación y zonificación de la amenaza por lahares se contó con la recopilación de los datos recolectados en campo durante las campañas de caracterización de los lahares de 1994, 2007 y 2008 en los ríos Páez y Símbola y del área de influencia, junto con la información de afectaciones documentadas en el informe de los escenarios de amenaza por flujos de lodos “avalanchas” en la cuenca del río Páez (Ingeominas y CNK, 2009).

Los escenarios de amenaza por lahares para los diferentes volúmenes se realizaron con base en simulaciones computacionales con el método LAHARZ. Estos resultados hacen parte integral de este documento por lo que una descripción detallada de la metodología de la evaluación y zonificación de la amenaza por lahares se presenta en los numerales 3 y 4, respectivamente.

5. Registro geológico e histórico del complejo volcánico Nevado del Huila

5.1. Registro geológico

La historia eruptiva del Complejo Volcánico Nevado del Huila (CVNH) se enmarca en la segunda etapa del vulcanismo cenozoico colombiano, que abarca desde el Plioceno tardío hasta el Holoceno (Cepeda, 1987; Cepeda *et al.*, 1987; Toussaint y Restrepo, 1991). Este vulcanismo se desarrolló en un arco, formado en el margen continental activo ubicado a 200 km de la Fosa Colombia-Ecuador, 150 km por encima de la zona de Benioff (Meissner *et al.*, 1980).

Dicha historia eruptiva se ha dividido en dos edificios llamados Pre-Huila y Huila, los cuales se han desarrollado en tres etapas principales definidas con base en diferencias morfológicas, estratigráficas y petrográficas: Estadio o Edificio Pre-Huila (Q_{1p}), Sub-Estadio o Edificio Huila Antiguo ($Q_1Q_{2?a}$) y Sub-Estadio o Edificio Huila Actual (Q_{2r}), estos dos últimos pertenecientes al Edificio Huila, que fue construido por la superposición de numerosos flujos de lavas emitidos desde tres centros que actualmente están representados por los picos Sur, Central y Norte de la cima de este complejo (Pulgarín y Correa, 2002). Durante esta historia se ha sucedido diversos tipos de estructuras volcánicas: caldera (final del Estadio Pre-Huila), estratovolcán (Edificio Huila Actual, en el Pico Central), volcán netamente efusivo (Edificio Huila Actual, en el Pico Sur). En el Pleistoceno Tardío, la intensa erosión glacial durante la última glaciación y el colapso de la ladera sur, modelaron la parte alta del Edificio Huila Antiguo, generándose extensos depósitos morrénicos ($Q_{1Q_{2gf}}$) y una gran avalancha de escombros (Q_{1ae}) (Correa *et al.*, 2020).

En general se ha establecido que el edificio volcánico del CVNH es de forma elipsoidal elongada, orientado en dirección N-S (figura 9), con longitudes de 16 y 11 km en los ejes mayor y menor de su base, respectivamente, para el propio edificio volcánico. Sin embargo, extendiendo sus dimensiones hasta donde llegan sus productos lávicos, alcanza 22,5 km (en dirección N-S) y unos 12 km (en dirección E-W), cubriendo en total un área aproximada de 200 km².

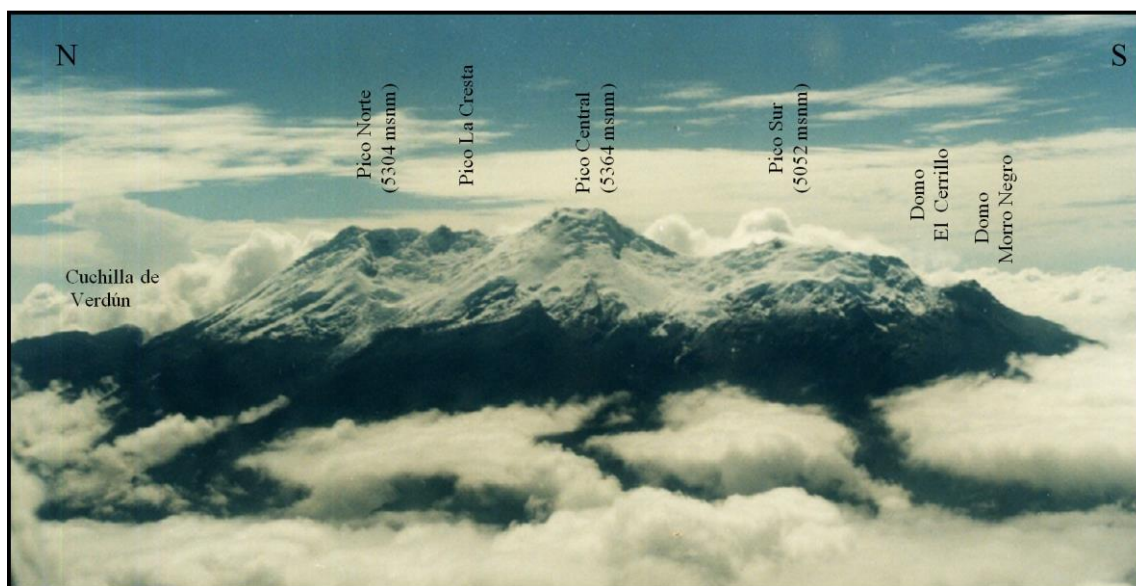


Figura 9. Nevado del Huila visto desde el occidente
Fuente: fotografía tomada en helicóptero, en 1994.

La morfología del CVNH es el resultado de varios agentes modeladores: actividad volcánica (principalmente de tipo efusivo) y erosión originada por procesos glaciares, fluviales y gravitacionales; esto se ve reflejado en geoformas que indican procesos de orígenes diferentes, como tectónicos (valles de ríos alineados y escarpes pronunciados), volcánicos (protuberancias cónicas de los picos que conforman su cima, depósitos de flujos de lava con formas de mesetas, que en conjunto forman un relieve escalonado) y glaciares (masa glaciar en su cima, valles en forma de U, con diferentes profundidades y longitudes, la mayoría de ellos con morrenas laterales, frontales y de fondo, cuyos frentes han alcanzado diferentes cotas, evidenciando así su retroceso generalizado desde el máximo avance de la última glaciación (Flórez, 1992; Pulgarín *et al.*, 1996 y 2007; Pulgarín y Correa, 2003).

El volcán Nevado del Huila era considerado un volcán activo en reposo, hasta antes de su reactivación en el año 2007. Estaba conformado, en su cima, por varios picos principales, llamados picos Norte (5304 m s.n.m.), La Cresta (5284 m s.n.m.), Central (el más alto, con 5364 m s.n.m.) y Sur (5052 m s.n.m.), los cuales se consideran también centros de emisión; debido a la actividad presentada entre 2008 y 2010 y como producto de su reactivación se generó la extrusión y emplazamiento de un nuevo domo entre el pico Central y el pico Sur con una elevación de 5297 m s.n.m. según Cardona *et al.* (2010).

La cumbre del CVNH está cubierta por una masa glaciar que ha mostrado evidencias de retroceso acelerado, perdiendo gran parte de su masa desde 1961 (Pulgarín *et al.*, 1996 y 2007). Recientemente, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam (2017) reportó un área glaciar para el complejo de 7,5 km².

Este volcán ha sido definido como un complejo volcánico (Correa y Cepeda, 1995), ya que ha tenido una evolución compleja, a través de dos edificios sobrepuestos, llamados Pre-Huila (el de mayor edad) y Huila (el de menor edad), este último, desarrollado en los llamados subestadios Huila Antiguo y Huila Actual, que tuvieron su evolución sobre las ruinas del edificio volcánico generado en el estadio Pre-Huila. En general, las rocas de este complejo volcánico son principalmente andesitas de dos piroxenos (clinopiroxeno y ortopiroxeno) con contenido variable de anfíbol, el cual es más abundante en las rocas

Mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila – CVNH, integración de estudios – Memoria explicativa

del edificio volcánico del estadio Huila, principalmente en el Huila Reciente y en los domos del Pico Sur (Pulgarín *et al.*, 1997; Correa y Pulgarín, 2002).

La figura 10 muestra el mapa geológico de este complejo volcánico y su leyenda asociada de acuerdo con Correa *et al.* (2020).

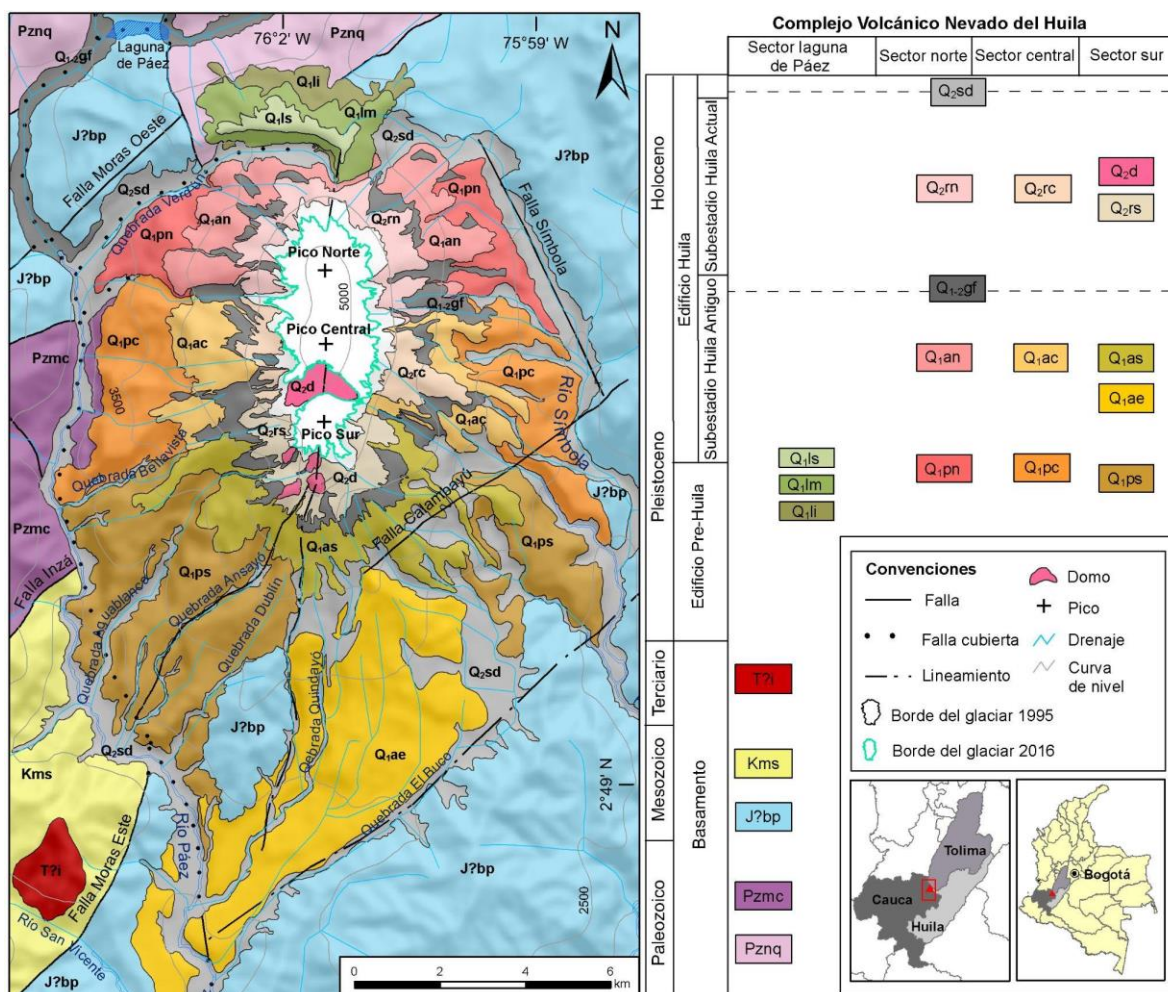


Figura 10. Mapa geológico del Complejo Volcánico Nevado del Huila

Pznq: Neis de Quintero; Pzmc: Complejo de Cajamarca; J?bp: Batolito de La Plata; Kms: rocas metasedimentarias y sedimentarias del Cretáceo; T?i: Rocas ígneas intrusivas; Q₁li: Lavas inferiores del sector Laguna de Páez; Q₁lm: Lavas medias del sector Laguna de Páez; Q₁ls: Lavas superiores del sector Laguna de Páez; Q₁pn: Lavas del Edificio Pre-Huila, sector norte; Q₁pc: Lavas del Edificio Pre-Huila, sector central; Q₁ps: Lavas del Edificio Pre-Huila, sector sur; Q₁an: Lavas del Edificio Huila Antiguo del Pico Norte; Q₁ac: Lavas del Edificio Huila Antiguo del Pico Central; Q₁as: Lavas del Edificio Huila Antiguo del Pico Sur; Q₁ae: Depósito de avalancha de escombros del río Páez del Pleistoceno tardío-Holoceno; Q₁₋₂gf: Depósitos sedimentarios cuaternarios de origen glaciar fluvio-glaciar que yacen sobre las lavas del Edificio Huila Antiguo; Q₂rn: Lavas del Edificio Huila Actual del Pico Norte; Q₂rc: Lavas del Edificio Huila Actual del Pico Central; Q₂rs: Lavas del Edificio Huila Actual del Pico Sur; Q₂d: Domos andesíticos del anfíbol del Pico Sur; Q₂sd: Depósitos sedimentarios holocénicos de origen aluvial, coluvial, fluvio-glaciar y glaciar, sin diferenciar. Fuente: tomado y modificado de Correa *et al.* (2020).

El CVNH se ha caracterizado por ser predominantemente efusivo, con generación de flujos de lava, de los cuales, los de mayor longitud y posiblemente los más antiguos, alcanzaron 10 km y llegaron hasta el sector de Irlanda; los flujos de lava más cortos y posiblemente más jóvenes son los que sobresalen bajo el glaciar, en casi a todo su alrededor, y tienen longitudes entre 0,5 km y 3 km, a partir de cada pico o centro de emisión y espesores que varían entre 10 y 20 m. También presenta varios domos en su cima, principalmente asociados a las últimas etapas del desarrollo del volcán, especialmente sobre el Pico Sur. Se encuentra, además, el registro de cuatro episodios de destrucción de domos, evidenciados por depósitos de corrientes de densidad piroclástica de poca magnitud, en la parte alta, al oriente del Pico Central, que indican que ocurrieron colapsos y explosiones de domos, ya que se encuentran depósitos de bloques y cenizas y, entre ellos, al menos uno conteniendo fragmentos pumíticos. De otro lado, hasta antes de 2007, en el registro geológico del volcán no se habían encontrado evidencias de depósitos de caídas de ceniza, lo cual no indica que no se hayan generado en el pasado, ya que, por ejemplo, aquellos de este tipo que fueron producidos durante la actividad eruptiva 2007 a 2010 (Monsalve *et al.*, 2011) hoy en día no se conservan, al menos en las partes intermedias a distales del volcán, ya que fueron erosionados por los agentes atmosféricos y los procesos superficiales, debido a que estos depósitos tuvieron espesores muy delgados en dichos sectores. En el registro geológico del CVNH también se encuentran varios depósitos de *lahares*, sobre las cuencas de los ríos Símbola y Páez, incluyendo los generados durante el sismo de junio de 1994 (Ingeominas, 1995) y durante la actividad del volcán, en los años 2007 y 2008 (Pulgarín *et al.*, 2009; Ingeominas-Nasa Kiwe, 2009).

De otro lado, entre hace 46 000 y 200 000 años A.P. (Antes del Presente), ocurrió un colapso del flanco sur del volcán, lo que generó una enorme avalancha de escombros que represó el río Páez (con un volumen estimado en aproximadamente 5,4 km³); esta represa se rompió y produjo a su vez un gran flujo de escombros a través del río Páez, cuyo depósito dejó terrazas con espesores hasta de 150 m, en zonas de curvas del valle. Posiblemente la edad de este Complejo volcánico es joven, enmarcándose en el Cuaternario (Pulgarín, 2000; Correa y Pulgarín, 2002; Correa, 2009).

5.2. Registro histórico

Como se mencionó en la Introducción, esta memoria explicativa se elaboró con copias textuales o paráfrasis de los documentos originales que hacen parte de la integración de estudios de la amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila; para el caso de su registro histórico, se basó principalmente en la recopilación y análisis de información presentada por Laverde y Méndez-Fajury (en preparación).

La actividad histórica conocida del CVNH, hasta antes de 2007, consistía en manifestaciones fumarólicas, fuentes termales, ruidos, incandescencia y escasa sismicidad instrumental registrada por el SGC - OVSPopayán. Entre febrero de 2007 y noviembre de 2008, se produjeron varias fases eruptivas que generaron caídas de ceniza y *lapilli*, lahares y el emplazamiento de dos domos de lava, localizados sobre el flanco SW del Pico Central. Asociados a esta actividad hubo, entre 2007 y 2010, abundantes caídas de ceniza y *lapilli*.

En general, se resalta que del CVNH no se conocía registro histórico de actividad eruptiva hasta antes de 2007 y las evidencias de su actividad se restringían a reportes de ruidos, incandescencia, presencia de fumarolas y de aguas termales (Espinosa, 2001), crecientes por el río Páez, asociadas posiblemente a sismos y eventos climáticos, así como de una baja actividad sísmica, con la ocurrencia de algunos enjambres de sismos ocurridos en los años 1997, 2000, 2001 y 2003 (<https://www2.sgc.gov.co/sgc/volca>

nes/VolcanNevadoHuila/Paginas/proceso-eruptivo.aspx), con magnitudes máximas que variaron entre 1,1 y 3,3, registrados por la red de monitoreo del Observatorio Vulcanológico y Sismológico del SGC en Popayán.

El Nevado del Huila fue identificado como un volcán por los primeros conquistadores españoles que llegaron a la región, alrededor de 1550. La información sobre su actividad histórica es escasa y no se cuenta con datos de la época prehispánica.

En el catálogo de volcanes del mundo (Simkin y Siebert, 1994; Siebert *et al.*, 2010), aparece reportada una erupción del volcán Nevado del Huila en “1555? (± 5 años)”, significando la interrogación de que pudo haberse tratado sólo de incremento de la actividad fumarólica. Estos autores no mencionan la fuente de esta información, sin embargo, ésta parece concordar con Espinosa (2001), que en su libro *"Erupciones Históricas de los Volcanes Colombianos (1500 – 1995)"* transcribe un aparte de la obra *"De los Tres Elementos: Tratado sobre la naturaleza y el hombre del Nuevo Mundo"*, escrita en 1566 por Don Tomas López Medel:

Delante de la provincia de Timaná, por aquella parte a donde se dice estar El Dorado, refieren muchos españoles (que de aquella tierra no tienen noticia), haber otro volcán encendido y tan superficial, que los naturales de por allí con el resplandor y claridad de él, se alumbran de noche para trabajar en sus haciendas y heredades. No está conquistada aquella tierra y por eso no hay cosa cierta por agora, más de esta sencilla relación. (López Medel, 1990)

Y prosigue Espinosa (2001) diciendo:

Teniendo en cuenta que López Medel visitó a la Gobernación de Popayán entre 1559 y 1560, en su calidad de Oidor de la Real Audiencia de Santafé, y conoció los volcanes Ruiz y Puracé, se puede admitir que se refiere al Huila. (Espinosa, 2001)

Una de las razones fundamentales para que los territorios adyacentes al CVNH (principalmente hacia el sur y suroccidente de su edificio volcánico, que corresponden a la cuenca de los ríos Páez y Símbola) no hubieran sufrido la consolidación del proceso de conquista y colonización española en los siglos XVI y XVII, fue la férrea resistencia de los pueblos indígenas paéces. Jesús María Otero, en su obra *"Etnología Caucana"* (Otero, 1952), cuenta como el proceso de evangelización de la Compañía de Jesús, iniciado en 1629, tuvo incluso que ser abandonado por los jesuitas en 1654. Otero (1952) añade: “En veinticinco años de trabajos apostólicos [los jesuitas] no pudieron fundar un solo pueblo entre los Páez”. Esto claramente limitó la documentación, por parte de los cronistas, de cualquier posible actividad del CVNH.

No obstante, a inicios del siglo XVII, en un informe del presidente de la Real Audiencia de Santafé de Bogotá, Juan de Borja (Borja, 1608), al rey Felipe III de España, sobre la guerra adelantada contra los Pijaos entre 1606 y 1607, aparece un mapa (que acompaña a la carta del presidente del Nuevo Reino de Granada Juan de Borja, en la que envía relación de la guerra que se mantiene con los indios pijaos, fechada en Santa Fe el 20 de junio de 1608) en el que se dibuja una columna fumarólica sobre la cima volcánica (figura 11).

A comienzos del siglo XIX, Alejandro de Humboldt en su visita al actual territorio del departamento del Cauca, en noviembre de 1801, hace la siguiente descripción: “[...] desde puntos de vista más altos, como del pueblo del Tambo, luce la propia nieve del Páramo de Tierradentro o Nevado de Páez, en forma de castillo” (Humboldt, 1959). Dada la reconocida experticia del Barón de Humboldt en el reconocimiento de

volcanes activos, se deduce que, en esta fecha, y desde sus puntos de observación, no se percibían manifestaciones de actividad volcánica.



Figura 11. Detalle del mapa denominado “Discrepçion y mapa del territorio que ocupan los indios pijaos”
Fuente: Borja (1608).

Posteriormente en el siglo XIX, se registraron episodios sísmicos que generaron represamientos y avalanchas en el río Páez, como los ocurridos el 11 de julio de 1816 y el 16 de noviembre de 1827 (con epicentro en la zona de Timaná, Huila) y el 20 de enero de 1834. El historiador Antonio Vélez Ocampo, en su obra “Cartago, Pereira, Manizales: Cruce de caminos históricos” (Vélez, 2005), relata lo siguiente:

cuando Morillo se aproximaba a Santafé en 1816, las familias y las autoridades que estaban comprometidas con la causa libertadora huyeron en su mayoría al sur del país, muriendo la mayoría en uno de los combates en el puente sobre el río La Plata. El presidente García Rovira, que venía retrasado en compañía de su esposa, no participó en

el combate y al tratar de regresar para escapar por otra ruta ocurrió un terremoto (11 de Julio de 1816) que desencadenó avalanchas, obstruyendo los caminos, quedando intransitables tanto para caballos como para seres humanos. (Vélez, 2005)

Años más tarde,

el 16 de noviembre de 1827, a las seis y cuarto de la tarde, se sintió en Bogotá y en todo el sur-occidente colombiano un sismo que ocasionó cuantiosos daños y víctimas, tuvo su origen en los volcanes del Huila y Puracé represando los ríos Páez y Suaza. Este se represó durante cincuenta y cinco días y al romperse el dique inundó el valle del alto Magdalena ocasionando a su paso destrucción; se calcula que sólo en Neiva hubo más de doscientos muertos”. (Vélez, 2005)

Tomás Cipriano de Mosquera describió al CVNH de la siguiente manera:

En la misma Cordillera, a la latitud de 3°, está el nevado del Huila, cuya elevación calculada por Caldas es de 5457,2 metros. Este monte soberbio tiene también un volcán vivo cuyas bocas se distinguen desde una gran distancia, por las columnas de vapor que exhalan como las del Puracé. (Mosquera, 1866)

Más adelante, añade: “[...] el Huila, que tiene más de siete bocas que despiden vapores, como el Puracé, el Tolima y el Ruiz”. (Mosquera, 1866)

El músico y pintor inglés, Henry Price, participó en la tercera fase de la Comisión Corográfica entre 1851 y 1853, dejando un gran número de láminas de paisajes colombianos; entre ellas, se tiene una denominada “*vista del volcán de Puracé y nevado de Sotaró*” (Price, 1853). No obstante, el análisis topográfico y de línea de vista, empleando cartografía digital y herramientas de sistemas de información geográfica, permite determinar que se trata de una vista del volcán Puracé en estado eruptivo y la cima el Nevado del Huila como fondo paisajístico (vistos desde el suroccidente), sin evidencias de actividad relevante (figura 12).

Más adelante, en el mismo año de 1853, el sucesor de Henry Price como dibujante de la comisión corográfica, coronel Manuel María Paz, pinta una acuarela que titula “*Vista de la ciudad de Cali y del nevado del Huila*” (Paz, 1853), mostrando la cima del CVNH completamente despejada, pero sin ningún signo de actividad fumarólica (figura 13).



Figura 12. Vista del volcán de Puracé y el Nevado del Huila
Fuente: Price (1853).



Figura 13. La cima del Complejo Volcánico Nevado del Huila vista desde la ciudad de Santiago de Cali
No se aprecia actividad fumarólica alguna. Acuarela elaborada por Manuel María Paz, dibujante de la Comisión Corográfica. Fuente: Paz (1853).

En 1869, Alphons Stübel y Wilhelm Reiss, científicos alemanes, visitaron la zona del Nevado del Huila; Stübel logró ascender hasta los 4 800 m s.n.m. y observó actividad fumarólica en el Pico Central (Stübel, 1906), como puede apreciarse en la figura 14.



Figura 14. El Complejo Volcánico Nevado del Huila visto desde el flanco noroccidental del edificio volcánico. Se aprecia actividad fumarólica desde dos focos de emisión hacia la cima del Pico Central. Grabado elaborado por el artista alemán Olof Winkler (1843-1895), basado en imagen fotográfica (daguerrotipo) tomada por Alphons Stübel el 10 de marzo de 1869. Fuente: Stübel (1906).

En el “*Compendio de Jeografía Jeneral de los Estados de Colombia*” (Pérez, 1876) y en el “*Atlas Geográfico e Histórico de la República de Colombia*” (Codazzi et al., 1889) haciéndose una reseña de los volcanes de Colombia, se dice sobre el CVNH: “[...] el Huila, del cual se han contado últimamente hasta nueve bocas [...]”, posiblemente haciendo alusión a actividad fumarólica. Cabe anotar que muchos de los escritos de Felipe Pérez se basaron en los trabajos geográficos de Agustín Codazzi y cartografías construidas por Manuel María Paz.

Contemporáneo a estas descripciones, el notable filólogo colombiano Ezequiel Uricoechea, haciendo “adiciones y correcciones” al “*Volculario Páez - Castellano*” del Licenciado Eujenio Del Castillo I Orozco, cura de Tálaga (Del Castillo y Uricoechea, 1877), donde complementa un manuscrito fechado del 1 de septiembre de 1755 (Del Castillo, 1755), se refiere a la denominación en lengua páez para el Complejo Volcánico Nevado del Huila de la siguiente manera:

Ñandi, Cualquiera nieve. En esta provincia, es nombre propio del cerro nevado (que continuamente exhala humo por dos partes) cuyas vertientes forman el río Páez. A distancia de cuatro o cinco jornadas se junta con el que baja del valle de Timaná, desde donde, perdiendo su nombre, se llama río de la Magdalena hasta su desembocadura, junto a Cartajena. (Del Castillo, 1755)

Adicionalmente, cabe anotar que Del Castillo y Uricoechea (1877) aportan un origen y significado probable para el topónimo Huila: “Huila, planta de más de un palmo, la mazorca de longitud del dedo índice, de la cual viene el apellido de los caciques Huilas del pueblo de la Mesa de San Vicente de este curato de Tálaga. Un ARUM probablemente” (Del Castillo y Uricoechea, 1877).

En 1887, un grupo de viajeros encabezado por Carlos Cuervo Márquez y Pedro Cuesta (Cuervo, 1920), ascendió por el flanco norte del CVNH, hasta aproximadamente los 4 000 m s.n.m., reportó actividad del Pico Central.

El geógrafo francés Elisée Reclus, en su obra sobre geografía de Colombia (Reclus, 1893), afirma sobre el Nevado del Huila:

Apenas muestra huellas de actividad, vapores sulfurosos que se escapan de algunas grietas, y ora funden, ora amarillean las nieves. Regueros de nieve se desprenden de sus heleras por las barrancas del macizo: la ancha quiebra de una de estas heleras impidió a los exploradores Reiss y Stübel subir a más de 4.800 metros. (Reclus, 1893)

Ya en el siglo XX, Manuel M. Zamora (1907) comenta: “[...] se han contado hasta nueve bocas hace algunos años [...]”, adicionado que “[...] en otro tiempo debió ser un volcán, y hoy está extinguido ó en reposo [...]” evidenciando que para inicios del siglo XX no había signos visibles de actividad fumarólica.

Posteriormente, se produjeron varias expediciones de montañista nacionales y extranjeros, que con el objetivo de escalar las cumbres del CVNH, ascendieron a la cima volcánica. En Guarnizo y Pulgarín (1997) se hace una relatoría de algunas de estas expediciones, destacándose las realizadas por Gansser y Cuenet al Pico Norte en 1939, quienes encontraron signos de actividad volcánica.

Entre 1934 y 1937, el fotógrafo alemán Martin Horst visitó la zona del CVNH, aportando imágenes donde se muestra la cima volcánica sin actividad fumarólica relevante (figura 15) (Horst, 1937).



Figura 15. Imagen del Nevado del Huila 1934-37
Fuente: Horst (1937).

Posteriormente, se reporta actividad fumarólica y se cuenta con algunos registros fotográficos de la década de los cuarenta del siglo XX, tomados por el montañista alemán Erwin Krauss, que ascendió a los Picos Central y Norte en 1940 y 1944 (figura 16) (Vega, 1996).

Sobre el segundo ascenso de Erwin Krauss a la cima volcánica en 1944, el propio Kraus (en Ritterbush, 1970) relata lo siguiente:

27 de febrero de 1944. [...] ya a las 9 de la mañana nos envuelven densas nieblas que dificultan considerablemente la orientación y el ascenso. La línea general que seguimos es en dirección oblicua ascendente a mano derecha hacia el Pico Central. Tenemos que bordear en varias ocasiones grandes grietas glaciales que nos toma mucho tiempo, tanto así que no es sino a las 16 horas que nos encontramos al borde de unos solfatares situados sobre el lado nor-occidental del Pico Central y a una altura aproximada de 4900 metros. Con gran fuerza y el ruido correspondiente se precipitan al aire grandes cantidades de vapores y gases sulfurosos que se mezclan con la niebla reinante, repartiéndose a lo largo y ancho del glaciar dificultando mucho la respiración. Los vapores son tan calientes que no hay hielo en los bordes de las grietas rocosas de donde emanan los gases. Recogemos muestras de azufre cristalino y después continuamos nuestro camino en dirección sur bordeando la cumbre del Pico Central. (Ritterbush, 1970)

28 de febrero 1944. [...] Aclara el día a las 5 horas pero no es sino con cierta pereza que resolvemos seguir a las 8 horas nuestro camino hacia la cima del Pico Central. [...] Efectivamente al llegar a la arista sur-occidental un fuerte huracán nos recibe. Esta arista se presenta bastante empinada y el fuerte viento dificulta mucho el ascenso, lo mismo que los gases sulfurosos que están presentes de nuevo. (Ritterbush, 1970)



Figura 16. Fotografía del Pico Central del CVNH, con actividad fumarólica, tomada por Erwin Krauss en 1940
Fuente: tomado de Vega (1996).

Luego, en febrero de 1969, se llevó a cabo una expedición científica del Instituto Smithsonian encaminada a explorar la cima VNH (Ritterbush, 1970), en la que participó como camarógrafo oficial el ingeniero agrónomo Guillermo Cajiao Lenis, quién durante más de 15 años había sobrevolado la cima del CVNH,

observando “fumarolas de las que salía gas rojizo” (figura 17). Cajiao, en entrevista concedida al diario El Tiempo (Martínez, 1969) afirma: “Esa noche la expedición toda pudo observar un aspecto muy interesante de la actividad volcánica [...], cuando de las fumarolas del lado Este del Pico Central salía una llama amarilla, que iluminaba el contorno de la cima”. (Martínez, 1969).

En diciembre de 1975 una expedición polaca denominada “Andes-75”, ascendió al Pico Central y al Pico Sur, pernoctando en la parte alta (figura 18); los expedicionarios reportaron vapores de azufre abundantes, al nivel de la fumarola al occidente del Pico Central, que les impidieron dormir en su campamento (Pawlak, 1977).

En 1996 una comisión científica del Ingeominas liderada por Fernando Guarnizo y Bernardo Pulgarín, llevando a cabo estudios geológicos y glaciológicos, realizaron el primer recorrido completo alrededor de su masa glaciar, observando evidencias de actividad fumarólica en los picos Central y Norte (Guarnizo y Pulgarín, 1997).



Figura 17. Fotografía tomada desde avioneta por Guillermo Cajiao Lenis, en febrero de 1969 Donde se observan procesos de desgasificación provenientes de la cima de Pico Central del CVNH. Fuente: Fondo Cinematográfico y Documental “Guillermo Cajiao Lenis”, en proceso de construcción por parte del SGC.



Pico Central (5364 m) w masywie Nevado del Huila
— widok od południowego zachodu.
Fot. Ryszard Kowalewski

Figura 18. Pico central (5364 m) en el macizo del Nevado del Huila - vista desde el sur-oeste
Fuente: fotografía tomada por la expedición polaca “Andes-75”.

Con respecto a grandes crecientes por el río Páez, originadas desde aguas arriba de Belalcázar, Escobar (2008), en “El Enjambre”, un boletín informativo del área de Páez, en su edición No. 13, hace referencia a una gran crecida del río que tuvo lugar el 22 de mayo de 1990 (época de lluvias en la zona), la cual se relata de la siguiente manera:

El 22 de mayo de 1990 (cinco días antes de que fuera elegido presidente el Dr. César Gaviria Trujillo) el río Páez tuvo una primera gran avalancha que se llevó cinco puentes peatonales y arrasó con el matadero de Belalcázar que estaba situado unos metros más abajo de la cancha de fútbol. Como éramos ignorantes en la materia, poco miedo nos causó y por lo mismo, poca atención le prestamos, pero sí sirvió para que ya algunos empezaran a hablar de una posible erupción del CVNH (Complejo volcánico Nevado del Huila) y de la urgente reubicación del Hospital San Vicente de Paúl, desafortunadamente quienes en ese tiempo tenían el poder y la plata hicieron oídos sordos a las solicitudes y pasó lo que pasó. (Escobar, 2008)

No directamente relacionado a la actividad volcánica, se relaciona el “Sismo de Páez”, ocurrido el 6 de junio de 1994 y sus efectos sobre la zona afectada (Ingeominas, 1994; 1994a; 1995; 1995a, 1995b); la sacudida sísmica, por sí misma, generó daños en edificaciones, así como desprendimientos de paredes de roca en el volcán y además se contabilizaron alrededor de 3000 deslizamientos superficiales cuyos materiales se encausaron secuencialmente hacia el río Páez, generando un enorme flujo de lodo que tuvo un volumen mínimo de unos 320 millones de metros cúbicos (Calderón *et al.*, 1997), que viajó hasta la Represa de Betania, afectando infraestructura habitacional, vial e industrial a lo largo del río Páez, así como tierras de cultivos, de bosques y ganaderas, con un saldo de 1.100 personas que perecieron en dicho evento (Cardona, 1995).

6. Evaluación de la amenaza volcánica

La amenaza volcánica se refiere a la ocurrencia de fenómenos volcánicos durante una erupción (flujos de lava, caídas piroclásticas, corrientes de densidad piroclástica, avalanchas de escombros y lahares, principalmente), que pueden causar pérdida de vidas y afectación a la salud, así como también daños, pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

La actualización de un mapa de amenaza volcánica se realiza cuando se cuenta con nuevo conocimiento geológico sobre un volcán o cuando se considere que la aplicación de nuevas metodologías, en el contexto mundial, pueda aportar una mejora considerable en la evaluación y zonificación de la amenaza.

El mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila, integración de estudios (SGC, 2024), es la representación cartográfica del resultado de la evaluación de la amenaza en el CVNH y del estudio de su actividad eruptiva pasada (registro geológico y registro histórico), que incluyó la aplicación de herramientas de simulación computacional a partir de las cuales se generaron aproximaciones al pronóstico de la magnitud y el alcance de futuros eventos eruptivos. La información contenida en esta integración de estudios es de carácter referencial, para ser usada con propósitos de apropiación social del conocimiento geocientífico y de gestión integral del riesgo volcánico.

La presente integración involucra la caracterización de posibles afectaciones por los diferentes fenómenos, durante eventuales futuras erupciones y teniendo en cuenta que el centro de emisión se ubique en la cima del Pico Central o en la cima del domo extruido entre 2008 y 2010.

La evaluación de la amenaza volcánica es el resultado de los análisis de los estudios geológicos y registros históricos de las erupciones ocurridas en el Holoceno, cuyos principales fenómenos son evaluados con simulaciones computarizadas.

En este mapa se integran trabajos previos sobre la evaluación de la amenaza volcánica del CVNH: mapa de amenaza volcánica potencial del CVNH (Ingeominas - CNK, 1996), mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del volcán Nevado del Huila (SGC, 2014) y la actualización de escenarios de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola (SGC, 2022).

6.1. Amenaza por Corrientes de Densidad Piroclástica - CDP

Ingeominas y Corporación Nasa Kiwe (1996) utilizan el término flujos y oleadas piroclásticas a los eventos volcánicos que posteriormente, en el contexto de la vulcanología a nivel mundial, se han denominado corrientes de densidad piroclástica – CDP: masas de aire caliente que sirven de fluido a los piroclastos y se movilizan por el terreno arrasando todo a su paso. La velocidad de un flujo piroclástico puede oscilar entre 30 y 350 km/h, dependiendo de su volumen y temperatura; y puede generar desde volúmenes pequeños, hasta de decenas de kilómetros cúbicos.

Los flujos piroclásticos pueden originarse por los mecanismos descritos o por colapso de domos o lavas. Este último proceso consiste en la caída, ladera abajo, de lavas o domos calientes, por efectos de la gravedad. Al ser emitido un flujo de lava o un domo y quedar en estado de reposo metaestable, se facilita la acción de la gravedad, se pueden desprender en estado incandescente y fluir a grandes velocidades por

los flancos del volcán, causando daños como son los productos volcánicos más peligrosos. Por tal razón, la mejor manera de evitar sus efectos negativos es eludiendo sus dominios, es decir, no construyendo allí asentamientos humanos, ni industria e infraestructura básicas.

Los fragmentos de pómez, encontrados sobre el flanco W del CVNH, presentan formas redondeadas, lo cual es un indicio de transporte subaéreo, es decir que pudieron ser integrantes de flujos piroclásticos generados por colapso de columna de erupción; como se hallaron sueltos sobre el edificio volcánico, es muy probable que pertenezcan a erupciones de las más recientes del CVNH (erupciones previas a la actividad eruptiva de 2007 a 2010).

Asumiendo todo lo anterior y en vista que, hasta el momento, no han sido encontrados, en áreas alejadas, depósitos de ceniza y pómez, a los cuales podrían pertenecer los fragmentos de pómez, se puede deducir que los flujos piroclásticos que los generaron debieron ser pequeños (avance de muy pocos kilómetros desde el centro de emisión).

El escenario hipotético para los flujos piroclásticos por colapso de columna de erupción sería similar al presentado el 13 de noviembre de 1985 en la erupción catastrófica del volcán Nevado del Ruiz. Su probabilidad de ocurrencia sería baja, por las mismas razones planteadas para el caso de los piroclastos de caída.

Otro escenario posible de generación de flujos piroclásticos, por colapso de domos o lavas, haría que sus productos se distribuyeran por las faldas del volcán, de manera similar a las lavas antiguas; igualmente, su probabilidad de ocurrencia sería baja, pues depósitos de este tipo aparecen preferencialmente hacia el comienzo de la historia del volcán; sin olvidar que la evolución conocida de los productos del CVNH es hacia facies muy viscosas, lo cual favorecería la formación de domos, potenciales generadores de este tipo de flujo piroclástico.

Para la amenaza por flujos piroclásticos se hizo simulación de ellos siguiendo la metodología de Sheridan y Kover (1996), tanto para la modelación en 2D, como en 3D, obteniéndose los resultados siguientes:

- Distancia alcanzada por los flujos: 3.1 - 8.5 km.
- Tiempo de viaje de los flujos: 3.0 - 8.5 min.
- Velocidades máximas alcanzadas por los flujos: 80 - 140 m/s.

6.2. Amenaza por flujos de lava

Las lavas son material fundido a temperaturas muy altas; dicho material es emitido de manera pasiva por cráteres o fisuras existentes en el edificio volcánico y avanzan por las depresiones o valles de quebradas y ríos hacia partes bajas. En el momento de una erupción, se pueden formar fuentes de lava de hasta varias decenas de metros de altura sobre el cráter o centro de emisión.

En la historia del CVNH, han sido emitidas lavas viscosas que pueden salir a temperaturas entre 750° y 850° centígrados y avanzar a velocidades bajas, de pocos kilómetros por hora, alcanzando distancias hasta de unos 13 km, contados desde el centro eruptivo denominado Pico Sur. Las lavas que fueron emitidas en el CVNH en el pasado se enfriaron lentamente produciendo varias estructuras y alcanzando espesores hasta de 40 m.

Las lavas, al hacer contacto con el hielo del casquete glaciar del CVNH, sobre o bajo éste, producen fusión y dan origen a lahares o flujos de lodo de origen volcánico, que involucran gran cantidad de los sedimentos y otros materiales sueltos o disponibles en la superficie del edificio volcánico.

Las lavas, en su avance, causan arrasamiento total e incendios dejando los suelos no aptos para su aprovechamiento por mucho tiempo; sin embargo, no se consideran peligrosas para la vida del hombre pues, por ser lento su viaje, se puede huir de ellas y protegerse en partes altas o en zonas distintas al canal por donde avanzan. También, se puede desviar o frenar el avance de algunas lavas, así como enfriarlas con agua, para proteger infraestructura; para esto se utiliza maquinaria pesada, agua y bombardeos (Ingeominas – NASA KIWE, 1996).

Como en el CVNH no se dispone de dataciones de lavas, estos flujos fueron separados, para cada pico, de acuerdo con su edad relativa, en lavas nuevas y lavas antiguas, las cuales están descansando sobre otros depósitos lávicos, todavía más antiguos (lavas pre-Huila) que pertenecen al primer edificio del CVNH.

6.2.1. Flujos de Lava Nuevos

En el CVNH, las lavas más recientes que han sido producidas están localizadas hacia su mitad N; son lavas macrocordadas, muy viscosas, que han avanzado distancias menores que 5 km, desde el Pico Norte o desde el Pico Central, cubriendo áreas menores que 4.0 km² y alcanzando volúmenes máximos de 160 millones de m³. Estas lavas no han sufrido acción erosiva por los glaciares o ella ha sido muy leve. Se espera que, en caso de erupción efusiva en el CVNH, la mayor probabilidad es que sea emitido este tipo de lava, con origen en los picos Central o Norte.

6.2.2. Flujos de Lava Antiguos

Estas lavas han sido emitidas desde todos los picos del CVNH y han avanzado distancias hasta del orden de 8 km, contados a partir de los centros de emisión; son lavas con estructura masiva, indicando que son menos viscosas que las nuevas. Los afloramientos más distantes pueden ser observados en las partes medias y medias-bajas del edificio volcánico y presentan un labrado glaciar marcado y cañones profundos. Erupciones que generen lavas que alcancen estas distancias, pueden ser emitidas por los diferentes picos, pero tienen una probabilidad media de ocurrencia.

6.2.3. Flujos de Lava Pre-Huila

Son lavas más antiguas que las anteriores y han alcanzado distancias hasta de 15 km, espesores del orden de 50 m por cada flujo y estructura columnar. Están mejor expuestas cerca a la desembocadura de la quebrada Quindao, hacia la parte baja S del edificio volcánico y también en la parte alta y media del cañón de la quebrada Verdún (preservadas debido a que han sido levantadas por fallas geológicas). Estas lavas han sufrido la más fuerte acción glaciar y sobre ellas se localizan la mayoría de las desembocaduras de las corrientes que nacen en el edificio volcánico a los ríos Páez y Símbola. La probabilidad de ocurrencia de este tipo de lava, en caso de erupción efusiva, sería mucho menor que para el caso de los dos tipos de lavas antes descritos (Ingeominas - NASA KIWE, 1996).

6.2.4. Domos

La posibilidad de generación de domos está sustentada en varios factores (Ingeominas - NASA KIWE, 1996):

- Presencia en el registro geológico de depósitos de flujos piroclásticos originados por colapso de domos.
- La existencia de Morro Negro y El Cerrillo, domos considerados como parte del registro geológico más reciente del CVNH.
- La gradación que presenta el CVNH, en el tiempo, hacia la producción de lavas más viscosas. Su ocurrencia, podría generar lahares y flujos piroclásticos, si se presentara colapso. Su probabilidad de ocurrencia se considera baja, si se tiene en cuenta que Morro Negro y El Cerrillo, junto con depósitos de flujos de ceniza y bloques, son algunos ejemplos de generación de domos en el registro geológico reciente del CVNH.

Es importante tener en cuenta que en el período eruptivo 2007-2010 ocurrió la generación de dos domos (fusionados posteriormente en uno solo) en el Pico Central, mostrando la importancia de tener en cuenta este tipo de amenaza volcánica.

6.3. Amenaza por Lahares

El término *lahar* es un vocablo indonesio para referirse a una masa de escombros volcánicos fluyente, íntimamente mezclada con agua; el término se refiere tanto a la mezcla fluyente de agua-escombros, como al también depósito formado. Los lahares pueden generarse durante las erupciones volcánicas o por procesos secundarios posteriores a ellas, cuando se da paso a la removilización de materiales no consolidados en las laderas del volcán.

Un *lahar* puede estar conformado de diferentes granulometrías y tipos de rocas. Estos flujos se pueden generar por la saturación de agua en los macizos volcánicos, provocando el arrastre de material, ya sea por intensas lluvias o deshielo. Un *lahar* hace referencia a una avalancha de productos volcánicos que, al ser un flujo, en la mayoría de las ocasiones busca los cauces de los ríos para seguir su trayectoria. Los lahares pueden ser fríos o calientes dependiendo tanto de las condiciones volcánicas como del material que arrastre. Son altamente destructivos debido a la gran velocidad que toman y a su alta densidad.

Se originan cuando grandes cantidades de agua (proveniente de ríos, quebradas, represamientos de cauces, lluvias torrenciales, lagos intracráticos, descongelamiento de glaciares o de la erupción misma) se mezclan con sedimentos o materiales volcánicos previamente depositados sobre la cima y los flancos del volcán (fragmentos de rocas que varían desde arcilla hasta bloques de decenas de metros de diámetro), además con suelo, escombros y biomasa representada en troncos de árboles y otros tipos de vegetación. También se pueden generar a partir de material expulsado directamente del volcán al momento de una erupción, que se mezcla con cuerpos de aguas disponibles, para luego encauzarse desplazándose a grandes velocidades por los valles de los drenajes que nacen en el volcán, en donde pueden incorporar y depositar materiales a su paso.

El volumen y comportamiento de los lahares dependen de la cantidad de material incorporado y la cantidad de agua presente. En el caso de lahares voluminosos, pueden aumentar hasta diez veces su volumen inicial a medida que se mueven pendiente abajo. En áreas de fuertes pendientes pueden exceder los 200 km/h, pero a medida que se alejan del volcán y desaceleran en áreas topográficamente de menor pendiente, eventualmente comienzan a depositar parte de la carga de sedimentos y pueden decrecer en tamaño. Estos flujos entonces pueden generarse durante las erupciones volcánicas (primarios o sineruptivos) o después de ellas (secundarios o posteruptivos). Los fragmentos de roca que incorporan los lahares los hacen altamente destructivos y la gran cantidad de agua que contienen les permite viajar incluso por pendientes muy suaves de la topografía e inundar áreas bastante distantes a su fuente.

Los lahares se clasifican en un amplio rango según la concentración de sólidos contenidos, pero en general pueden denominarse flujos de escombros cuando son flujos muy viscosos o espesos, que se asemejan a concreto mojado; o flujos hiperconcentrados si son flujos más fluidos que se consideran transicionales entre flujo de escombros y flujo de corriente (Vallance y Iverson, 2015; Pulgarín *et al.*, 2022).

Este tipo de flujos son fenómenos devastadores, cuya naturaleza destructiva está relacionada con su velocidad, alcance y composición, pudiendo alcanzar velocidades y distancias considerables, dependiendo de la morfología de los sitios por los cuales avanza. Los lahares pueden destruir casi cualquier estructura y arrasar todo a su paso, debido al impacto de los enormes bloques (de incluso toneladas de peso) y escombros que viajan suspendidos en el flujo y la vigorosa erosión lateral y basal que producen (Pierson *et al.*, 2014). Provocan el enterramiento de grandes extensiones de terreno, cultivos, poblaciones e infraestructura (vías, construcciones, puentes, edificaciones) y aislamiento de las áreas que quedan sepultadas bajo toneladas de sedimentos. Por su velocidad y energía, la probabilidad de sobrevivir a su impacto directo es mínima.

Los lahares son considerados actualmente como uno de los fenómenos volcánicos que revisten gran interés a la hora de llevar a cabo estudios relacionados con los temas de amenaza volcánica, esto debido a su impacto y las posibles consecuencias para el territorio y las poblaciones en donde este tipo de procesos se presentan. Es importante destacar que un lahar puede desarrollarse en el momento de una erupción volcánica o posterior a ella, pero independientemente de dicha condición, este tipo de flujos que contienen gran cantidad de agua y material sólido tiene como característica especial alcanzar grandes distancias desde las zonas volcánicas donde son generados y llegar a afectar poblaciones en áreas bastante distales (Pulgarín *et al.*, 2022).

Para el caso del CVNH, en la presente evaluación de amenaza volcánica se consideró el evento lahárico más grande del registro geológico del subestadio Huila Actual del edificio Huila, asociado a la erupción freatomagmática del 20 de noviembre de 2008. Dicho evento registró un volumen cercano a los 450 millones m³ (Pulgarín *et al.*, 2022).

6.4. Amenaza por caída de piroclastos

La actividad piroclástica de un volcán ocurre cuando las erupciones son violentas, como producto de gran contenido de gases en el magma (material fundido a temperaturas altas), el cual, además, se halla en el interior del sistema volcánico a presiones bastante mayores que la presión atmosférica; entonces, cuando la presión a la cual está el magma, por cualquier razón, es liberada, ocurre la despresurización o explosión violenta. Este tipo de erupción produce una columna o chorro vertical que lleva fragmentos de material fundido o magma y de rocas pre-existentes en las paredes del conducto por donde ocurre la erupción, así como gases calientes; todos estos materiales, en su proceso de enfriamiento, se mezclan con el aire que es calentado por contacto. La explosión puede lanzar verticalmente los fragmentos más finos, hasta alturas de varias decenas de kilómetros y los más pesados hasta unos mil metros de altura.

Cuando la columna de erupción es generada, toma la forma de un hongo por efectos convectivos y, cuando no puede ser sustentada más, los fragmentos comienzan a caer de tres formas diferentes:

- Los fragmentos más finos, polvo, ceniza y *lapilli* volcánicos son llevados por el viento, en la dirección hacia la cual sopla, hasta distancias que dependen de la velocidad que lleve y la cantidad de material que deba transportar. Las partículas más gruesas, *lapilli* y ceniza, se depositan sobre el cono y las más

finas fuera del cono volcánico hasta muchos kilómetros de distancia. El tamaño de estos fragmentos es menor de 64 mm y puede ser tan fino como para formar aerosoles que, en caso de erupciones grandes, pueden dar varias vueltas al planeta.

Los mayores efectos negativos causados por piroclastos transportados por el viento son: enterramiento, colapsamiento de estructuras por acumulación sobre ellas, problemas respiratorios, quemaduras, contaminación de aguas y pastos, oscurecimiento, daños a maquinaria, obstáculos para tráfico vehicular, problemas a la aeronavegación. La mejor manera de evitar algunos daños es eludiendo las áreas de mayor acumulación de partículas, limpiando techos para que no colapsen, usar máscaras y pañuelos húmedos para no respirar las partículas que se encuentran en el aire, dar forraje limpio al ganado, cubrir la maquinaria para impedir la entrada de partículas a su interior, no usar rutas aéreas cercanas a volcanes en erupción y conocer la dirección en que el viento lleva los piroclastos, no consumir agua contaminada.

- Los fragmentos muy gruesos, llamados bloques y bombas, son proyectados balísticamente y, casi todos, caen sobre el cono volcánico, contribuyendo a su crecimiento. Las distancias máximas conocidas a que han sido enviado este tipo de proyectiles balísticos son de 15 km; sin embargo, casi la totalidad de los volcanes no superan los 11 km de distancia. El tamaño de los proyectiles balísticos comienza en los 64 mm y puede alcanzar varios metros de diámetro. Los daños que pueden causar los proyectiles balísticos son el impacto y las quemaduras. El impacto puede ser mortal o incluso, dañar infraestructura sólida (varias toneladas sobre una estructura, por sólida que sea, causarán daños). Las quemaduras pueden ser graves pues, los fragmentos pueden caer en estado de incandescencia. Lógicamente, la combinación de impacto y quemadura será más grave (INGEOMINAS, 1996).

6.5. Otras amenazas

En este aparte se incluyen otras amenazas generadas por fenómenos que pueden ocurrir durante la actividad o erupción de un volcán, pero que no están representadas en el mapa de amenaza volcánica del CVNH.

Dichos eventos son los sismos de origen volcánico, los gases arrojados a la atmósfera, lluvias ácidas y las ondas de choque.

6.5.1. Amenaza por sismos

Los sismos de origen volcánico, en su gran mayoría, son sólo detectados instrumentalmente y unos pocos pueden ser sentidos por humanos. Sus efectos dependerán del nivel energético del sismo y de la distancia a la que se esté de la fuente. De la experiencia que se tiene en los volcanes del planeta, se espera que, si causan daños directos, éstos ocurran sólo sobre el edificio volcánico; las magnitudes máximas esperadas pueden ser del orden de 5.5 grados en la Escala de Richter (igual magnitud que el terremoto de Popayán de 1983) pero, en general, no superan los 4.0 grados.

Para el caso del CVNH, los límites del edificio volcánico están enmarcados por la quebrada Verdún hasta su desembocadura en el río Páez; y por el río Páez hasta la desembocadura de la quebrada Quindao; por la quebrada Quindao, hasta su desembocadura en el río Páez; y por los afluentes orientales del río Símbola, hasta la cota 2300 m s.n.m. (Ingeominas, 1996).

6.5.2. Amenaza por gases

Los gases de origen volcánico pueden causar problemas de salud a las personas y animales que entren en contacto con éstos, especialmente por daños en el sistema respiratorio; altas concentraciones de gases volcánicos en el aire pueden causar asfixia. Los gases se dispersan sobre las faldas volcánicas, especialmente en las depresiones.

Otro problema que causan los gases volcánicos es la corrosión de metales por contacto directo o por lluvias que atraviesan las estelas de gas y los llevan a la superficie terrestre; esto puede ocurrir también lejos del edificio volcánico. Los aviones y helicópteros pueden sufrir problemas de corrosión en sus equipos, cuando atraviesan la estela gaseosa (Ingeominas, 1996).

7. Zonificación de la amenaza volcánica

Las zonas de amenaza planteadas delimitan las áreas que podrían ser afectadas por los diferentes fenómenos volcánicos que ocurran en una erupción con un VEI de 3, teniendo en cuenta su peligrosidad. Se establecen como amenaza alta (de color rojo), media (de color anaranjado) y baja (de color amarillo), de acuerdo con la metodología establecida por parte del SGC. Los límites establecidos (líneas espaciadas o discontinuas) no representan de ningún modo límites absolutos.

Se describe a continuación la zonificación de amenaza volcánica para la zona proximal, que incluye principalmente CDPs, flujos de lava, caídas piroclásticas (proyección balística y transporte eólico) y lahares; la zonificación de la amenaza por caída de piroclastos; y, por último, la zonificación de la amenaza por lahares.

7.1. Zona proximal

La zonificación obtenida de la amenaza volcánica para el CVNH, en su zona proximal, se puede observar en la figura 19.

7.1.1. Zona de amenaza volcánica alta



Corresponde a la zona que podría ser afectada principalmente por CDP's (flujos piroclásticos), flujos de lava, caídas piroclásticas (proyección balística y transporte eólico) y lahares. Los flujos piroclásticos podrían afectar las partes altas del volcán y se canalizarían por los principales drenajes que nacen en él, como son la quebrada Verdún (afluente del río Páez) y las quebradas que conforman el río Símbola, alcanzando distancias hasta de 15 km al SW, a partir del foco de emisión. Flujos de lava (de composición andesítica) que se desplazarían desde su foco de emisión por las laderas del volcán, canalizándose por los principales drenajes que nacen en él y con un alcance entre los 3 y 8 km. proyectiles balísticos que afectarían el área circundante al foco de emisión, en un radio aproximado de 5 km. Otros fenómenos que se podrían presentar son: emisión y acumulación de gases volcánicos, como dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), ácido clorhídrico (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF), entre otros, emitidos antes, durante y después de las erupciones. Sismos de origen volcánico podrían producir diferentes afectaciones de acuerdo con la distancia al foco sísmico, la profundidad y magnitud de estos (figura 19).

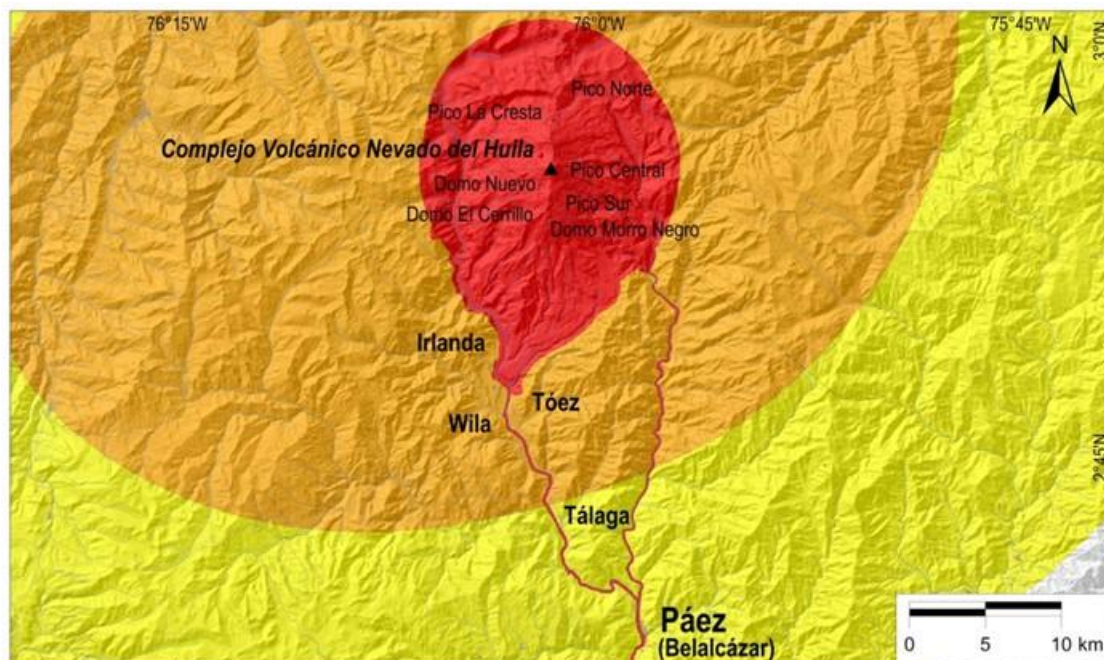


Figura 19. Amenaza volcánica del CVNH (zona proximal)

A esta zona corresponde también el área que sería potencialmente afectada por caídas piroclásticas transportadas por el viento con acumulaciones mayores a 10 cm, según las tendencias predominantes de los vientos en el área, para una columna eruptiva hasta de 10 km de altura sobre el foco de emisión considerado (área de los domos extruídos en el flanco sur del Pico Central. Algunos de los efectos asociados a este fenómeno pueden ocasionar en los humanos y animales muerte por enterramiento, asfixia o intoxicación; pueden producir contaminación de fuentes y reservorios de agua, daños a aeronaves. La acumulación de espesores importantes de piroclastos de caída en las partes altas de las cuencas de los afluentes de los ríos Páez y Símbola puede ser un factor detonante, por las fuertes lluvias, para la generación de flujos de lodo secundarios (lahares).

En esta zona queda incluida la zonificación para caída de piroclastos por proyección balística (bloques y bombas volcánicas), con diámetros que pueden ser de orden métrico (en un radio hasta de 3 km respecto a la fuente) a centimétrico (abarcando un radio máximo de 5 km respecto a la fuente).



Corresponde a la zona que podría ser afectada por lahares que se movilizarían por los principales cauces que nacen en las inmediaciones del CVNH, correspondientes a las partes altas de las cuencas de los afluentes de los ríos Páez y Símbola: por el costado occidental, las quebradas Verdún, La Azufrada, Bellavista, Agua Blanca, Dublín, Ansayó, El Oso, El Buce, afluentes del río Páez; y por el costado oriental, las quebradas afluentes del Símbola y las quebradas El Buce y Quindao (que nacen al S y SE del volcán, respectivamente, y desembocan al río Páez).

7.1.2. Zona de amenaza volcánica media



Corresponde a la zona que sería potencialmente afectada por caídas piroclásticas transportadas por el viento con acumulaciones entre 1 y 10 cm (Figura 20). En esta área puede ocurrir deformación o colapso de techos e incluso estructuras de baja resistencia,

contaminación de fuentes y reservorios de agua, afectación a obras de infraestructura y líneas vitales, daño grave a vegetación y cultivos, efectos nocivos a la salud humana y animal (infecciones respiratorias y nasogástricas, alergias, irritaciones, intoxicaciones), afectación al transporte aéreo y terrestre.

7.1.3. Zona de amenaza volcánica baja



Corresponde a la zona que sería potencialmente afectada por caídas piroclásticas transportadas por el viento con acumulaciones entre 0,5 mm y 1 cm (Figura 20). En esta zona puede producirse contaminación de fuentes y reservorios de agua, afectación a vegetación, a cultivos, a la salud humana y animal (infecciones respiratorias y nasogástricas, alergias, irritaciones), restricciones para la navegación aérea.

7.1.4. Amenaza volcánica por caída de piroclastos

Es el resultado de la determinación de las áreas que pueden ser afectadas y los espesores asociados a eventos de caídas piroclásticas (cenizas, *lapilli* y proyectiles balísticos) (figura 20), obtenidas a partir de la caracterización y análisis de:

- Los depósitos observados en campo durante la actividad entre 2007 y 2010, junto con el trabajo de laboratorio de muestras colectadas.
- El procesamiento de las imágenes satelitales asociadas a las emisiones de ceniza reportadas por el VAAC de Washington en este mismo período, información que fue correlacionada con datos sismológicos instrumentales y de otras técnicas de monitoreo volcánico empleadas por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico del SGC en Popayán.
- La simulación computacional de los fenómenos volcánicos de caída de piroclastos: para ceniza y *lapilli* se empleó el *software Tephra2* (Bonadonna *et al.*, 2005), que integra modelos numéricos de trayectoria de partículas y de advección-difusión, para un escenario con una columna eruptiva hasta de 10 km sobre la cima volcánica. Para los proyectiles balísticos (bloques y bombas volcánicas) se usó el *software Eject!* versión 1.4 (Mastin, 2001).

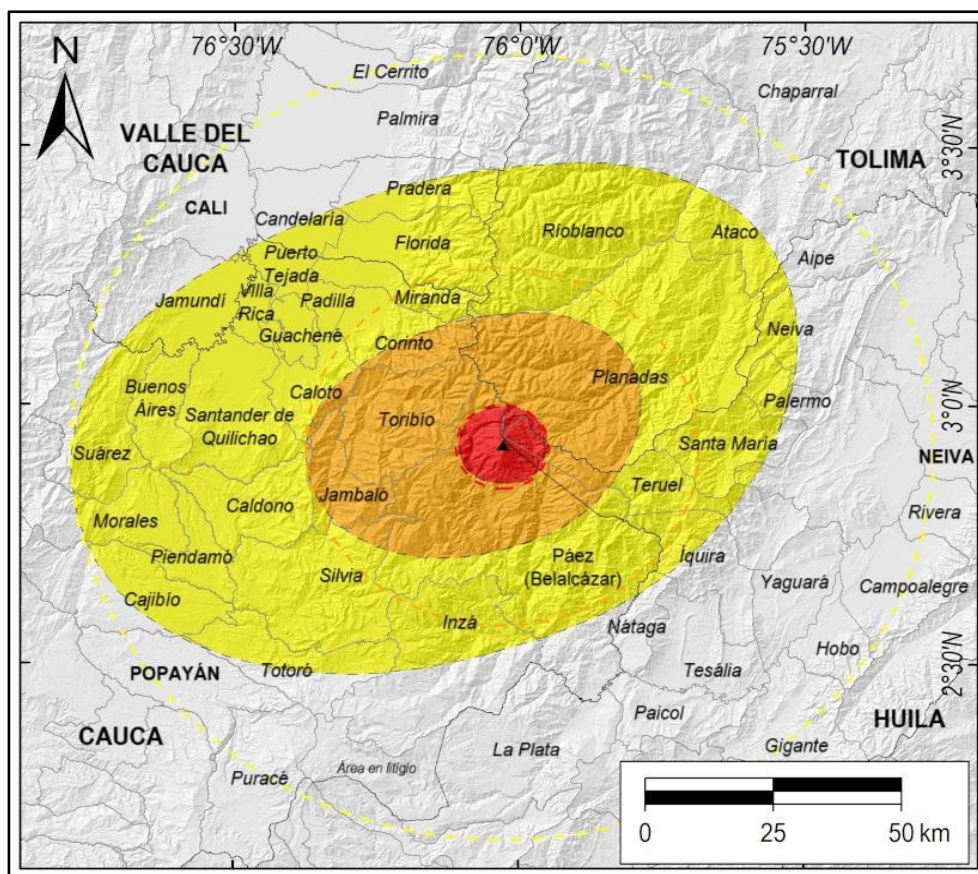


Figura 20. Amenaza por caída de piroclastos de transporte eólico (ceniza y lapilli) para el CVNH

7.1.5. Zona de amenaza alta

Corresponde a la zona que sería potencialmente afectada por caída de ceniza y *lapilli* con acumulaciones mayores a 10 cm (equivalentes a cargas sobrepuestas mayores a 92 kg/m² para ceniza y *lapilli* secos; y mayores a 159 kg/m² para ceniza y *lapilli* saturados por agua), según las tendencias predominantes de los vientos en el área (para una columna eruptiva hasta de 10 km de altura sobre el foco de emisión considerado). Su eje de depositación principal tiene un radio máximo de 9 km, cubriendo un área casi circular de 228 km², donde prácticamente no habita población de manera permanente, en territorios de los municipios de Páez (departamento del Cauca), Teruel (departamento del Huila) y Planadas (departamento del Tolima) (Figura 20). Históricamente, se han registrado espesores hasta de 8 m, aproximadamente (erupción de febrero 18 de 2007), en la parte alta del Pico Central. La ceniza y *lapilli* volcánicos en esta zona, en los seres humanos y en los animales puede ocasionar muerte por enterramiento, asfixia o intoxicación; puede producir contaminación de fuentes y reservorios de agua, daños a aeronaves. Puede ser un factor detonante para la generación de flujos de lodo secundarios (lahares) la acumulación de espesores importantes de piroclastos de caída en las partes altas de las cuencas de los afluentes de los río Páez y Símbola, que nacen en el volcán: por el costado occidental, las quebradas Verdún, La Azufrada, Bellavista, Agua Blanca, Dublín, Ansayó, El Oso, El Buco, afluentes del río Páez; y por el costado oriental, las quebradas afluentes del Símbola y las quebradas El Buco y Quindao (que nacen al sur y SE del volcán, respectivamente, y desembocan en el río Páez). El material acumulado puede ser removilizado por fuertes precipitaciones en

la zona y llevado a las corrientes principales. En esta área queda incluida la zonificación para caída de piroclastos de proyección balística (bloques y bombas volcánicas), con diámetros que pueden ser del orden métrico (en un radio hasta de 3 km respecto a la fuente) a centimétrico (abarcando un radio máximo de 5 km respecto a la fuente).



Amenaza Alta proyectada: zona expuesta a caída de piroclastos con acumulaciones mayores a 10 cm, cubriendo todas las direcciones alrededor del foco de emisión (incluso aquellas no contempladas por las tendencias principales de los vientos), empleando un radio igual al máximo alcance de la depositación obtenido para esta zona de amenaza (figura 20).

7.1.6. Zona de amenaza media



Corresponde a la zona que sería potencialmente afectada por caída de ceniza y *lapilli* fino con acumulaciones entre mayor que 1 cm y menor que 10 cm (equivalentes a cargas sobreimpuestas entre 9,2 kg/m² y 92 kg/m², para ceniza y *lapilli* secos; y entre 15,9 kg/m² y 159 kg/m², para ceniza y *lapilli* saturados por agua), según las tendencias predominantes de los vientos en el área (para una columna eruptiva hasta de 10 km de altura sobre el foco de emisión considerado). Su eje de depositación principal (en sentido WSW) tiene un radio máximo de 38,2 km, cubriendo un área aproximada de 2646 km², dentro de la cual se encuentran las cabeceras municipales de Toribío y Jambaló, junto con poblaciones rurales de los municipios de Páez, Silvia, Jambaló, Caldono, Toribío, Caloto y Corinto, en el departamento del Cauca; Planadas y Teruel, en el departamento del Huila (figura 20). La ceniza volcánica en los seres humanos y en los animales puede ocasionar infecciones respiratorias y nasogástricas, provocar intoxicaciones, alergias, irritación en los ojos, la piel y en las mucosas nasales. Los espesores acumulados de ceniza esperados para esta zona pueden afectar y/o colapsar cubiertas (techos) de baja resistencia de viviendas o edificaciones, provocar la obstrucción de drenajes artificiales, causar afectación grave a cultivos, contaminación de fuentes y reservorios de agua, corrosión de elementos metálicos, daños en transformadores eléctricos y, en general, en maquinaria o equipos eléctricos y electrónicos, afectación al transporte aéreo y terrestre. La acumulación excesiva de ceniza sobre los techos de viviendas y edificaciones, durante periodos prologados de caída de ceniza, puede provocar colapso de cubiertas y aún de estructuras de baja resistencia, por lo que, en caso de ocurrencia de caídas de ceniza, se recomienda la limpieza periódica de techos y elementos asociados para su drenaje.



Amenaza media proyectada: zona expuesta a caída de piroclastos con acumulaciones entre 1 cm y menor a 10 cm, cubriendo todas las direcciones alrededor del foco de emisión (incluso aquellas no contempladas por las tendencias principales de los vientos), empleando un radio igual al máximo alcance de la depositación obtenido para esta zona de amenaza (figura 20).

7.1.7. Zona de amenaza baja



Corresponde a la zona que sería potencialmente afectada por caída de ceniza con acumulaciones entre menor que 1 cm y mayor que 0,5 mm (equivalentes a cargas sobreimpuestas entre 0,46 kg/m² y 9,2 kg/m², para ceniza seca; y entre 0,8 kg/m² y 15,9 kg/m², para ceniza saturada por agua), según las tendencias predominantes de los vientos en el área (para una columna eruptiva de hasta de 10 km altura sobre el foco de emisión considerado). Su eje de depositación principal (en sentido WSW) tiene un radio máximo de 84 km, cubriendo un área aproximada de 11 783 km², dentro de la cual, se encuentran las cabeceras municipales de Miranda, Corinto, Puerto Tejada, Villa Rica, Caloto, Páez (Belalcázar), Caldono, Silvia, Piendamó, Santander de

Quilichao, Buenos Aires, Suárez, Morales, Cajibío, Totoró, Inzá, Padilla y Guachené, en el departamento del Cauca; Santamaría, en el departamento del Huila; Planadas, en el departamento del Tolima; Florida y Jamundí, en el departamento del Valle del Cauca; junto con poblaciones rurales de los municipios antes mencionados, además de Jambaló y Popayán, en el Cauca; Aipe, Teruel, Nátaga, Palermo, Íquira y Neiva, en el Huila; Río Blanco y Ataco, en el Tolima; Palmira, Candelaria, Pradera y Cali, en el Valle del Cauca (figura 20). Los espesores acumulados de ceniza esperados para esta zona pueden afectar cubiertas (techos) de baja resistencia de viviendas o edificaciones, provocar la obstrucción parcial de drenajes artificiales, causar afectación a cultivos, contaminación de fuentes y reservorios de agua, corrosión de elementos metálicos, daños en transformadores eléctricos, restricciones para la navegación aérea. La ceniza volcánica en los seres humanos y en los animales puede ocasionar infecciones respiratorias y nasogástricas, provocar alergias, irritación en los ojos, la piel y en las mucosas nasales. La acumulación excesiva de ceniza sobre los techos de viviendas y edificaciones, durante períodos prologados de caída de ceniza, podría provocar deformación en cubiertas de baja resistencia, por lo que, en caso de ocurrencia de caídas de ceniza, se recomienda la limpieza periódica de techos y elementos asociados para su drenaje.



Amenaza Baja proyectada: zona expuesta a caída de piroclastos con acumulaciones entre 0,5 mm y menor a 1 cm, cubriendo todas las direcciones alrededor del foco de emisión (incluso aquellas no contempladas por las tendencias principales de los vientos), empleando un radio igual al máximo alcance de la depositación obtenido para esta zona de amenaza (figura 20).

7.2. Amenaza volcánica por Lahares



Este mapa representa la interpretación de la evaluación de amenaza por *lahares* (figura 21), resultado de la integración de los registros geológicos, que permiten conocer los diferentes eventos volcánicos y su posibilidad de ocurrencia, así como también el resultado de simulaciones computacionales para un volumen esperado de 450 millones m³, equivalente al volumen estimado para el *lahar* generado en la erupción freatomagmática del CVNH ocurrida el 20 de noviembre de 2008. Dicho volumen corresponde al máximo del registro geológico del CVNH considerado en la presente evaluación de amenaza volcánica por este fenómeno (edificio Huila, subestadio Huila Actual, descrito en la sección 5.1 de esta memoria explicativa).

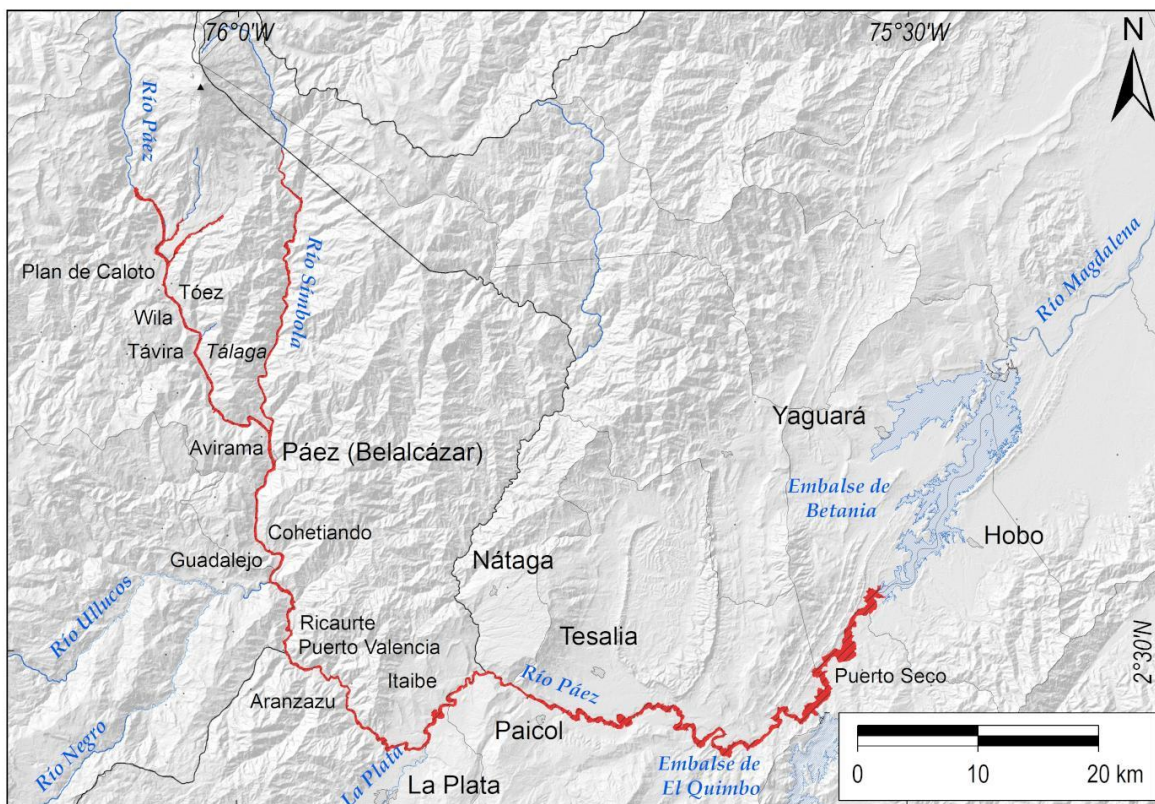


Figura 21. Amenaza volcánica por lahares para el CVNH

Se definen las zonas que podrían ser afectadas por lahares que se originen en la parte alta del edificio volcánico durante un evento eruptivo y que se canalizarían por las quebradas que nacen allí, continuando su trayectoria por los ríos Símbole y Páez. Por la cuenca del río Páez, afectarían las zonas contiguas a este río, correspondientes a los municipios de Páez (área urbana y rural) e Inzá (área rural), en el departamento del Cauca; así como las áreas rurales de los municipios de La Plata, Nátaga, Paicol, Gigante, Hobo y Yaguará, en el departamento del Huila, recorriendo una distancia aproximada hasta de 163 km, alcanzando a llegar a la represa de Betania, en el río Magdalena. Debido a la complejidad del fenómeno asociado a la incorporación de volumen de material del *lahar* a la represa (que aportaría más volumen al flujo), se requieren estudios más detallados para modelar el comportamiento del flujo, junto con estimaciones del nivel de eficiencia de la represa para evacuar los volúmenes de material involucrados y de la resistencia de esta para contenerlos o permitir su movilidad aguas abajo por el río Magdalena (figura 21).

Conclusiones y recomendaciones

El Complejo Volcánico Nevado del Huila -CVNH ha sido definido como un complejo volcánico, ya que ha tenido una evolución compleja, con la formación de dos edificios sobrepuestos, llamados *Pre-Huila* (el de mayor edad) y *Huila* (el de menor edad), este último, desarrollado en los llamados subestadios *Huila Antiguo* y *Huila Actual*, que tuvieron su evolución sobre las ruinas del edificio volcánico generado en el estadio Pre-Huila.

El CVNH había sido considerado como un volcán activo en estado de reposo (algunos autores lo llegaron a considerar como extinto en algunas épocas) hasta el 2007, cuando inicia su reactivación y período eruptivo del 2007 al 2010.

La elaboración de este mapa de amenaza actualizado es producto de la conjunción de las actualizaciones de la evaluación de la amenaza de los fenómenos volcánicos caídas piroclásticas y lahares, que fueron terminadas y dadas a conocer en 2014 y 2022, respectivamente, los cuales se integraron a la evaluación de la amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila elaborada en el 2007.

Las zonas de amenazas alta, media y baja establecidas en el mapa son el resultado de la superposición de las áreas que pueden verse afectadas por los diferentes eventos volcánicos, teniendo especial énfasis en el daño potencial que éstos puedan generar. Es muy importante tener en cuenta que los límites entre las diferentes zonas de amenaza, representados por líneas inferidas, no son límites tajantes y absolutos, sino que indican una transición entre las diferentes áreas.

La zona de amenaza alta corresponde a la zona que podría ser afectada principalmente por CDP's (flujos piroclásticos), flujos de lava, caídas piroclásticas (proyección balística y transporte eólico) y lahares. Esta zona sería potencialmente afectada por caídas piroclásticas transportadas por el viento con acumulaciones mayores a 10 cm, según las tendencias predominantes de los vientos en el área, para una columna eruptiva de hasta 10 km de altura sobre el foco de emisión considerado. En esta zona queda incluida la zonificación para caída de piroclastos por proyección balística (bloques y bombas volcánicas), con diámetros que pueden ser de orden métrico (en un radio hasta de 3 km respecto a la fuente) a centimétrico (abarcando un radio máximo de 5 km respecto a la fuente).

La zona de amenaza media corresponde a la zona que sería potencialmente afectada por caída de ceniza y *lapilli* fina con acumulaciones entre mayor que 1 cm y menor que 10 cm, según las tendencias predominantes de los vientos en el área (para una columna eruptiva hasta de 10 km de altura sobre el foco de emisión considerado). Su eje de depositación principal (en sentido WSW) tiene un radio máximo de 38,2 km, cubriendo un área aproximada de 2646 km², dentro de la cual se encuentran las cabeceras municipales de Toribío y Jambaló, junto con poblaciones rurales de los municipios de Páez, Silvia, Jambaló, Caldono, Toribío, Caloto y Corinto en el departamento del Cauca; Planadas y Teruel en el departamento del Huila.

La zona de amenaza baja corresponde a la zona que sería potencialmente afectada por caída de ceniza con acumulaciones entre menor que 1 cm y mayor que 0,5 mm, según las tendencias predominantes de los vientos en el área (para una columna eruptiva de hasta de 10 km altura sobre el foco de emisión considerado). Su eje de depositación principal (en sentido WSW) tiene un radio máximo de 84 km, cubriendo un área aproximada de 11 783 km², dentro de la cual, se encuentran las cabeceras municipales de Miranda, Corinto, Puerto Tejada, Villa Rica, Caloto, Páez (Belalcázar), Caldono, Silvia, Piendamó,

Santander de Quilichao, Buenos Aires, Suárez, Morales, Cajibío, Totoró, Inzá, Padilla y Guachené, en el departamento del Cauca; Santamaría, en el departamento del Huila; Planadas, en el departamento del Tolima; Florida y Jamundí, en el departamento del Valle del Cauca; junto con poblaciones rurales de los municipios antes mencionados, además de Jambaló y Popayán, en el Cauca; Aipe, Teruel, Nátaga, Palermo, Íquira y Neiva, en el Huila; Río Blanco y Ataco, en el Tolima; Palmira, Candelaria, Pradera y Cali, en el Valle del Cauca.

Las zonas establecidas como amenaza proyectada son aquellas que cubren todas las direcciones alrededor del foco de emisión (incluso aquellas no contempladas por las tendencias principales de los vientos), empleando un radio igual al máximo alcance de la depositación obtenido para cada zona de amenaza.

Debido a la complejidad del fenómeno asociado a la incorporación de volumen de material del *lahar* a la represa de Betania (departamento del Huila), que aportaría más volumen al flujo, se requieren estudios más detallados para modelar el comportamiento del flujo, junto con estimaciones del nivel de eficiencia de la represa para evacuar los volúmenes de material involucrados y de la resistencia de la misma para contenerlos o permitir su movilidad aguas abajo por el río Magdalena.

Se recomienda tener en cuenta este mapa de amenaza, aunado al seguimiento de la actividad del volcán, como insumo para preparación de los planes de contingencia y emergencia, el ordenamiento territorial y la socialización o apropiación social del conocimiento de estos con las comunidades para la gestión y mitigación integral del riesgo volcánico.

El mapa debe ser modificado (actualizado) a medida que los avances en el conocimiento geológico, la evaluación de la amenaza o los modelos de simulaciones computacionales de los fenómenos del volcán así lo establezcan. También sí surgen focos de emisión diferentes a los contemplados en el presente mapa.

Esta información, al igual que toda la relacionada con la actividad y amenaza volcánica del país, puede ser consultada en la página web del Servicio Geológico Colombiano: www.sgc.gov.co.

Referencias

- Bonadonna, C., Connor, C., Houghton, B., Connor, L., Byrne, M., Laing, A. y Hincks, Tk. (2005). Probabilistic modeling of tephra dispersal: Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. *Journal Geophys Research*. 110 (B3).
- Bonadonna, C., Connor, L. J., Connor, C. B. y Courtland, L. M. (2014). *Tephra2*. University of Geneva (Switzerland), University of South Florida (USA). Consultada en <https://vhub.org/resources/tephra>, durante 2013-2014.
- Borja, J. (1608). *Discrepçion y mapa del territorio que ocupan los indios pijaos*. Mapa que acompaña a carta del presidente del Nuevo Reino de Granada Juan de Borja, en la que envía relación de la guerra que se mantiene con los indios pijaos. Santa Fe, 20 de junio de 1608. PATRONATO,196, R.27. Código de Referencia: ES.41091.AGI//MP-PANAMA,26. Consejo de Indias (España). Archivo General de Indias (Sevilla, España). Recurso electrónico: <http://pares.mcu.es/ParesBusquedas20/catalogo/description/22057?nm>
- Calderón, Y., Ávila, G. y Ojeda, J. (1997). *Estudio de amenazas y zonificación geológica de la cuenca del río Páez*. 2nd Pan-am. Symp. Landslides, 2nd COBRAE. Río de Janeiro.
- Cardona, O. D. (1995). El sismo del 6 de junio de 1994: Atención de la emergencia y planteamientos para la reconstrucción. En: Cauca y Huila, Colombia: junio 1994 – junio 1995. El desastre y la reconstrucción del Páez. Especial de la Revista Desastre y Sociedad. *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*, (4), Año 3,77 – 104.
- Cardona, C., Manzo, O. y Laverde, C. (2010). *Informe de avance sobre el análisis de cambios superficiales asociados a la actividad eruptiva en el volcán Nevado del Huila*. Popayán: Ingeominas. Informe inédito.
- Cepeda, H., Méndez, R., Murcia, L. A. y Vergara, H., (1986). *Mapa preliminar de riesgos volcánicos potenciales del Nevado del Huila*. Bogotá: Ingeominas, Informe 1981.
- Cepeda, H. (1987). *El vulcanismo moderno en los Andes de Colombia*. I Seminario Gerardo Botero Arango sobre la Geología de la Cordillera Central en Colombia. Memorias, 1–11. Medellín.
- Cepeda, H., Murcia, L., Núñez, A. y Parra, E. (1987). Mapa preliminar de amenaza volcánica en Colombia. Escala 1:3 000 000. *Revista CIAF*, 11(1–3), 179–188.
- Cepeda, H. y Correa, A. (1996). *Evaluación de amenaza y vigilancia volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila*. Convenio Ingeominas - Corporación Nasa Kiwe. Ingeominas, Unidad Operativa Popayán.
- Codazzi, A., Paz, M.M., y Pérez F. (1889). *Atlas geográfico e histórico de la República de Colombia*. Imprenta A. Lahure. Paris.
- Correa, A. (2009). *Estudio petrológico, geoquímico y vulcanológico para establecer la evolución magmática del Complejo Volcánico Nevado del Huila, Colombia*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- Correa, A. y Cepeda, H. (1995). *Informe preliminar sobre la geología del Complejo Volcánico Nevado del Huila*. Informe interno, Popayán: Ingeominas.
- Correa, A. y Pulgarín, B. (2002). *Morfología, estratigrafía y petrografía general del Complejo Volcánico Nevado del Huila (CVNH) énfasis en el flanco occidental*. Centro Operativo Popayán: Ingeominas. Informe Interno.
- Correa, A., Pulgarín, B. y Ancochea, E. (2020). *The Nevado del Huila Volcanic Complex*. In: Gómez, J. y Pinilla-Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, p. 227 - 265. Bogotá. <https://doi.org/10.3268/5/pub.esp.38.2019.06>

- CONPES 3667. (2010). Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia 3667 de 2010. Departamento Nacional de Planeación. *Lineamientos de Política para la Reducción del Riesgo ante la Amenaza de Flujo de Lodo (avalancha) en el volcán Nevado del Huila*.
- Cuervo, M. J. (1920). *Prehistoria y viajes: estudios arqueológicos y etnográficos*. 2a Edición corregida y aumentada, Tomo I, Editorial América. 302 p.
- Del Castillo I O., E. (1755). *Vocabulario de los indios de la nación Páez*. Manuscrito. Tálaga. 172p.
- Del Castillo I O., E. y Uricoechea, E. (1877). *Vocabulario Páez-Castellano. Catecismo, nociones gramaticales i dos pláticas*. Maisonneuve I Cia, Libreros editores. París. 123p.
- Escobar, M. J. (2008). *Inventario de Tragedias. “El Enjambre, Una avalancha de información para Tierradentro”*, No. 13, noviembre 15 de 2008. Belalcázar (Páez – Cauca), pp. 3-4.
- Espinosa, A. (2001). Erupciones históricas de los volcanes colombianos (1500 - 1995). *Academia Colombiana de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales - ACCEFYN. Colección Jorge Álvarez Lleras*, (16), 291. Bogotá.
- Flórez, A. (1992). Los nevados de Colombia: Glaciares y glaciaciones. *Análisis Geográficos*, 22, 95.
- Guarnizo, F. y Pulgarín, B. (1997). *Volcán Nevado del Huila: Primera travesía alrededor de su casquete glaciar*. Unidades Operativas Manizales y Popayán: Ingeominas.
- Horst, M. (1937). *Nevado del Huila, 1934/1937*. Serie: Lateinamerika-Aufenthalte. Beschreibung: Blick auf den Nevado del Huila. Recurso digital: <https://www.deutschefotothek.de/documents/obj/71670098>
- Humboldt, A. (1959). *Alejandro de Humboldt en Colombia: extractos de sus obras compilados, ordenados y prolongados, con ocasión del Centenario de su Muerte, en 1859*. Edición de la Empresa Colombiana de Petróleos. 1959. N. Topográfico: 504 H85a. Biblioteca Luis Angel Arango. Bogotá.
- ICEL. (1983). *Estudio de prefactibilidad técnica de los aprovechamientos hidroeléctricos ríos Páez y La Plata: Volumen IV, Geología y Sismología*. Contrato No. 4257. Bogotá.
- Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2017). *Informe del Estado de los Glaciares Colombianos*.
- Ingeominas. (1994). *El Sismo de Páez, Cauca., del 6 de junio de 1994, Evaluación de Emergencia*. Informe presentado al SNPAD de Colombia. Santafé de Bogotá.
- Ingeominas. (1994a). El Sismo de Páez (Cauca) del 6 de junio de 1994. *Boletín Mensual de Sismos*, 2 (6), 13. Santafé de Bogotá.
- Ingeominas. (1995). *Zonificación para usos del suelo en la cuenca alta del río Páez*. Convenio Ingeominas – Corporación Nasa Kiwe. Popayán.
- Ingeominas. (1995a). *Geología y geomorfología de la parte central del valle del río Páez entre Irlanda y su confluencia con el río Magdalena*. Informe interno de avance. Santafé de Bogotá: Ingeominas.
- Ingeominas. (1995b). *Procesamiento e interpretación geológica de imagen de satélite Landsat TM de la cuenca del río Páez*. Unidad operativa Popayán: Ingeominas.
- Ingeominas. (1996). *Evaluación de amenaza y vigilancia volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila. Convenio Ingeominas–Corporación Nasa Kiwe - CNK, Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS)*. Popayán.
- Ingeominas y CNK (Corporación Nasa Kiwe). (1996). *Evaluación de amenaza y vigilancia volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila. Convenio INGEOMINAS - Corporación Nasa Kiwe*. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán.
- Ingeominas y CNK (Corporación Nasa Kiwe). (2009). *Informe de los escenarios de amenaza por flujos de lodos “avalanchas” en la cuenca del río Páez*. Popayán: Ingeominas y (CNK)Corporación Nasa Kiwe.
- Ingeominas. (2011). *Galería de imágenes Volcán Nevado del Huila*. Año 2011. Recuperado: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoHuila/Paginas/imagenes.aspx>

- Laverde C. A. y Méndez-Fajury R. A. (en preparación). *Registro histórico del Complejo Volcánico Nevado del Huila*. Grupo de evaluación de amenazas y riesgos geológicos, Servicio Geológico Colombiano (SGC). Artículo en preparación para el Boletín Geológico del SGC.
- López Medel, T. (1990). *De los tres elementos: Tratado sobre la naturaleza y el hombre del Nuevo Mundo*. Edición de Berta Ares Queija. Alianza Editorial, Madrid, El libro de bolsillo, sección clásicos, nY 1503. En colaboración con Quinto Centenario, p127-128, 299p.
- Martínez, C. (1969). *El Nevado del Huila es un Volcán*. Periódico El Tiempo. Año 59, No. 19.998, jueves 27 de febrero de 1969. Bogotá, p8. Recurso electrónico: <https://news.google.com/newspapers?nid=1706&dat=19690227&id=Zp4cAAAAIBAJ&sjid=TGgEAAAAIBAJ&pg=716,4345942>
- Mastín, L. G. (2001). *A simple calculator of ballistic trajectories for blocks ejected during volcanic eruptions*. U.S. Geological Survey Open-File Report 01-45, 16 p, <http://pubs.usgs.gov/of/2001/0045/>
- Meissner, R., Fliih, E. y Muckelmann, R. (1980). *Sobre la estructura de los Andes septentrionales. Resultados de investigaciones geofísicas*. En: Nuevos resultados de la investigación geocientífica en Latinoamérica. Deutsche Forschungsgemeinschaft, 79–90. Bonn.
- Monsalve, M. L., Pulgarín, B., Mojica, J., Santacoloma, C. y Cardona, C. (2011). Interpretación de la actividad eruptiva del volcán Nevado del Huila (Colombia), 2007-2009: Análisis de componentes de materiales emitidos. *Boletín de Geología UIS*, 33 (2), 73-93.
- Monsalve–Bustamante, M. L. (2020). *The volcanic front in Colombia: Segmentation and recent and historical activity*. In: Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O. (editors), The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, p. 97–159. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.03>
- Mosquera, T. C. (1866). *Compendio de geografía general. Política, Física y Especial de los Estados Unidos de Colombia, dedicado al Congreso General de la Nación*. Londres, Imprenta Inglesa y Extranjera de H. C. Panzer. 332p.
- Otero, J. M. (1952). *Etnología caucana. Estudio sobre los orígenes, vida, costumbres y dialectos de las tribus indígenas del Departamento del Cauca*. Popayán: Editorial Universidad del Cauca. 322p.
- PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA – PNNC. (2024). *Información sobre el Nevado del Huila*. Recurso electrónico, consultado el 25-oct-2024. <https://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protegida/137>
- Palma, J. L. (2013). "Wind Reanalysis". <https://thegithub.org/resources/windre>
- Pawlak, M. (1977). Expedición Polaca "Andes 75". *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia (Revista de la Academia de Ciencias Geográficas)*, 31 (111), Bogotá.
- Paz, M. M. (1853). *Vista de Cali y de la Montaña Nevada del Huila, Provincia de Buenaventura*. Acuarela sobre papel. 23 x 31 cm. Comisión Corográfica. Biblioteca Nacional de Colombia.
- Pérez, F. (1876). *Compendio de Jeografía Jeneral de los Estados Unidos de Colombia*. Imprenta de Echeverría Hermanos. Bogotá.
- Pierson, T. C., Wood, N. J. y Driedger, C. L. (2014). Reducing risk from lahar hazards: concepts, case studies, and roles for scientists. *Journal of Applied Volcanology Society and Volcanoes*, 3 (16), 1-25. Doi: 10.1186/s13617-014-0016-4.
- Price, H. (1853). *Puracé-Sotará desde el alto [del volcán Puracé. Provincia de Popayán]*. Acuarela sobre papel. 17,2 x 25,1 cm. Comisión Corográfica. Colección del Banco de la República, registro 4345.
- Pulgarín, B. (1995). *Estudio fotogramétrico del glaciar del Nevado del Huila*. Informe interno, Ingeominas, Unidad Operativa Popayán. 46 p. Realizado como parte del entrenamiento en fotogrametría analítica computarizada aplicada a estudios de retroceso glaciar, en la Universidad de Duesseldorf (Alemania), bajo la supervisión de E. Jordan y W. Linder.
- Pulgarín, B. (2000). *Depósitos masivos del Pleistoceno tardío, asociados al colapso del flanco sur del volcán Nevado del Huila (Colombia)*. Master thesis, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

- Pulgarín, B., Jordan, E. y Linder, W. (1996). Nevado del Huila (Colombia): Cambio glaciar entre 1961 y 1995. *VII Congreso Colombiano de Geología, IV Conferencia Colombiana de Geología Ambiental y II Seminario sobre el Cuaternario en Colombia*. Memorias, I, 441–451. Bogotá.
- Pulgarín, B., Jordan, E. y Linder, W. (2007). *Aspectos geológicos y cambio glaciar del Nevado del Huila entre 1961 y 1995*. Primera Conferencia Internacional de Cambio Climático: Impacto en los sistemas de alta montaña. Memorias, p. 123–140. Bogotá.
- Pulgarín, B., Correa, A. y Cepeda, H. (1997). *Geología del Complejo Volcánico Nevado del Huila (CVNH)*. Unidad Operativa Popayán, Observatorio Vulcanológico y Sismológico: Ingeominas.
- Pulgarín, B. y Correa, A. (2002). *Mapa geológico Complejo Volcánico Nevado del Huila*. Escala 1:25 000. Ingeominas.
- Pulgarín, B. y Correa, A. (2003). Morrenas del volcán Nevado del Huila y su correlación con otras áreas glaciadas de Colombia. *IX Congreso Colombiano de Geología*. Abstracts, 151. Medellín.
- Pulgarín, B., Cardona, C., Santacoloma, C., Trujillo, N., Bolaños, R., Narváez, A., Monsalve, M. L., Agudelo, A., Calvache, M. y Manzo, O. (2009). *Volcán Nevado del Huila (Colombia): Erupción y lahar del 20 de noviembre de 2008*. Abstracts and programme LAK 2009, Goettingen (Germany), 7.4 to 7.9, 222-224.
- Pulgarín, B., Cardona, C., Agudelo, A., Santacoloma, C., Monsalve, M., Calvache, M., Murcia, H., Ibáñez, D., García, J., Murcia, C., Cuellar, M., Ordóñez, M., Medina, E., Balanta, R., Calderón, Y. y Leiva, O. (2009). Erupciones históricas recientes del volcán Nevado del Huila, cambios morfológicos y lahares asociados. *XII Congreso Colombiano de Geología*. Digital abstracts, CD ROM T009–R287. Paipa, Colombia.
- Pulgarín, B. y Laverde, C. (2014). *Actualización del mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del volcán Nevado del Huila*. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán: Servicio Geológico Colombiano.
- Pulgarín, B., Cardona, C., Agudelo, A., Santacoloma, C., Monsalve, M.L., Calvache, M., Murcia, C., Cuéllar, M., Medina, E., Balanta, R., Calderón Y., Leiva, O., Ordóñez, M., E Ibáñez, D. (2015). Erupciones recientes del volcán Nevado del Huila: lahares asociados y cambios morfológicos del glaciar. *Boletín Geológico* 43, 75-87. Servicio Geológico Colombiano.
- Pulgarín, B., Agudelo, A., Galarza, J. J., Laverde, C. A., Muñoz, C., Ceballos, J., Manzo, O. H. (2022). *Actualización de escenarios de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola*. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán: Servicio Geológico Colombiano .
- Raigosa, J., y Pulgarín, B. (1996). *Simulación preliminar de un flujo de lodo del Nevado del Huila, sobre el río Páez, desde su confluencia con el río Símbola*. Memorias del Taller de amenaza volcánica y simulación de flujos piroclásticos. Unidad Operativa Popayán: Ingeominas.
- Reclus, E. (1893). *Colombia*. Traducida y anotada por F. J. Vergara y Velasco. Papelería de Samper Matís. 531. Bogotá.
- Ritterbush, P. C. (1970). *Report of the 1970 Expedition to the Nevado del Huila, Central Andean Cordillera, Colombia*. An Occasional Publication of the Museo Departamental de Historia Natural. Apartado 938, Cali, Colombia. Dr. C. Carlos Lehmann, V., Director. Published with the aid of the Smithsonian Institution. Washington, D.C.
- SGC (Servicio Geológico Colombiano). (2014). *Mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del volcán Nevado del Huila (Actualización 2014)*. Escala de presentación 1:100.000.
- SGC (Servicio Geológico Colombiano). (2022). *Actualización de escenarios de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola*. En cumplimiento de las acciones contempladas en el documento CONPES No. 3667 de 2010. Escalas de impresión 1:100.000 (mapa general) y 1:25:000 (6 sectores).

- SGC (Servicio Geológico Colombiano). (2024). *Mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila – Integración de estudios 2024*. Escala de impresión 1:75.000. <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoHuila/Paginas/mapa-de-amenaza.aspx>
- Sheridan, M. F. y Kover, T. (1996). *FLOW3D: A computer code for simulating rapid, open channel volcanic flows*. In Proc. UJST workshop on the Technology of Disaster Prevention against Local Severe Storms. Norman OK, 155–163.
- Siebert, L., Simkin, T. y Kimberly, P. (2010). *Volcanoes of the World*. Smithsonian Institution – University of California Press, third edition. 551 p. Berkeley and Los Ángeles.
- Simkin, T. y Siebert, L. (1994). *Volcanoes of the World*. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program. Second Edition, p. 139, Geoscience Press, Inc. Tucson, Arizona.
- Stübel, A. (1906). *Las montañas volcánicas de Colombia*. Registrado geológica- topográficamente y descrito por Alphons Stübel. Después de su muerte, complementado y editado por Theodor Wolf. Editorial de Wilhelm Baensch. 199p. Dresden.
- Toussaint, J. y Restrepo, J. (1991). *El magmatismo en el marco de la evolución geotectónica de Colombia*. Simposio sobre Magmatismo Andino y su Marco Tectónico. Abstracts, 44. Manizales.
- VAAC (Volcanic Ash Advisory Centres). (2012). <http://www.ssd.noaa.gov/VAAC/washington.html>
- Vallance, J. W. y Iverson, R. M. (2015). *Lahars and their deposits*. En Haraldur Sigurdsson (Ed.). *Encyclopedia of volcanoes*, Second Edition. Academic Press. Doi: 10.1016/B978-0-12-385938-9.00037-7
- Vega, C. M. (1996). *Erwin Kraus: El camino de la montaña*. Diego Samper Ediciones. Bogotá.
- Vélez, A. (2005). *Cartago, Pereira, Manizales: cruce de caminos históricos*. Pereira, Colombia: Editorial Papiro-José Augusto Aguirre Flórez.
- Worni, R., Huggel, C., Stoffel, M. y Pulgarín, B. (2012). 2011 a 2007 Challenges of modeling current very large lahars at Nevado del Huila Volcano, Colombia. *Bulletin of Volcanology*, 74, 3090-324. DOI 10.1007/s00445-011-0522-8 En: <https://core.ac.uk/download/pdf/159150908.pdf>
- Yamashita, S., y Miyamoto K. (1991). *Numerical simulation method of debris movements with a volcanic eruption*. Paper presented at Japan-U.S. Workshop on Snow Avalanche, Landslide and Debris Flow Prediction and Control, Jpn. Sci. and Technol. Agency, Tsukuba.
- Zamora, M. M. (1907). *Guía de la República de Colombia*. Primera Edición. Imprenta Eléctrica, Bogotá. ISBN 9781142232122. Bogotá.

Índice de figuras

Figura 1. Panorámica del Complejo Volcánico Nevado del Huila – CVNH	8
Figura 2. Domo extruido en el Pico Central del CVNH entre el 2007 y el 2009	8
Figura 3. Localización del Complejo Volcánico Nevado del Huila	9
Figura 4. Primera versión del mapa preliminar de riesgos volcánicos potenciales del volcán Nevado del Huila	14
Figura 5. Segunda versión del mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila	15
Figura 6. Mapa de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico Nevado del Huila	17
Figura 7. Mapa de amenaza volcánica por caída de piroclastos del Complejo Volcánico Nevado del Huila	18
Figura 8. Mapa de amenaza por flujos de lodo volcánico (lahares) originados por el volcán Nevado del Huila sobre los cauces de los ríos Páez y Símbola	19
Figura 9. Nevado del Huila visto desde el occidente	21
Figura 10. Mapa geológico del Complejo Volcánico Nevado del Huila	22
Figura 11. Detalle del mapa denominado “ <i>Discrepçion</i> y mapa del territorio que ocupan los indios pijaos”	25
Figura 12. Vista del volcán de Puracé y el Nevado del Huila	27
Figura 13. La cima del Complejo Volcánico Nevado del Huila vista desde la ciudad de Santiago de Cali	27
Figura 14. El Complejo Volcánico Nevado del Huila visto desde el flanco noroccidental del edificio volcánico	28
Figura 15. Imagen del Nevado del Huila 1934-37	29
Figura 16. Fotografía del Pico Central del CVNH, con actividad fumarólica, tomada por Erwin Krauss en 1940	30
Figura 17. Fotografía tomada desde avioneta por Guillermo Cajiao Lenis, en febrero de 1969	31
Figura 18. Pico central (5364 m) en el macizo del Nevado del Huila - vista desde el sur-oeste	32
Figura 19. Amenaza volcánica del CVNH (zona proximal)	40
Figura 20. Amenaza por caída de piroclastos de transporte eólico (ceniza y lapilli) para el CVNH	42
Figura 21. Amenaza volcánica por lahares para el CVNH	45