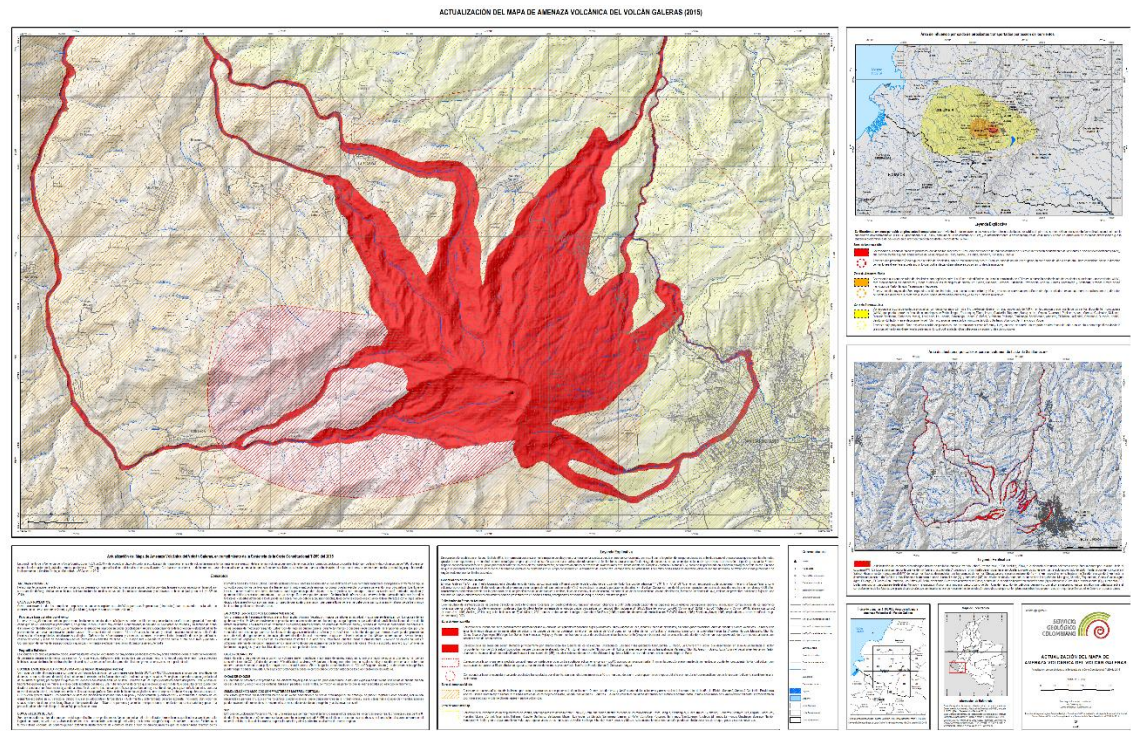


Actualización del Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras, en cumplimiento de la Sentencia de la Corte Constitucional T-269 del 2015

En cumplimiento de la Sentencia de la Corte Constitucional T-269 de 2015 y de acuerdo al plazo otorgado, la actualización del mapa de amenaza del volcán Galeras se fundamenta en la evaluación de la amenaza volcánica que arrojó la revisión de la información geológica disponible, histórica y de la actividad volcánica desde 1988 al presente (siendo la información de la actividad eruptiva posterior a 1997 la que aporta los datos adicionales en esta evaluación). Con base en lo anterior, se definieron los parámetros usados en la simulación de los fenómenos volcánicos considerados para la actualización del mapa de amenaza, teniendo en cuenta la metodología que ha venido implementando el Servicio Geológico Colombiano (SGC) desde 2012.



Conceptos

AMENAZA VOLCÁNICA:

Peligro latente de que un evento de origen volcánico se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (adaptado de Ley 1523 de 2012).

CAÍDA DE PIROCLASTOS:

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

- Piroclastos transportados por el viento:

La ceniza y el *lapilli* son transportados por el viento hasta zonas alejadas del volcán (cientos o miles de kilómetros) y depositados por efecto de la gravedad, formando capas que siguen la topografía preexistente y, en general, cubren un área muy extensa. Generalmente, 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 dirección y velocidad del viento predominante. Las caídas de piroclastos pueden causar:

- Oscurecimiento del ambiente.
- Afectación a la salud humana y animal: afecciones respiratorias, irritación de los ojos y las vías respiratorias, intoxicaciones y alergias.
- Daños 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 (diámetro desde 64 mm hasta métricos) son expulsados con trayectorias parabólicas como proyectiles balísticos 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 causan destrucción de infraestructura, incendios de viviendas o forestales y muerte o lesiones graves a seres vivos por impacto directo.

CORRIENTES DE DENSIDAD PIROCLÁSTICA - CDP (Flujos y Oleadas piroclásticas):

Son nubes de material incandescente compuestas por fragmentos de rocas, cenizas y gases calientes (de 300°C a > 800°C) que se mueven a grandes velocidades (de decenas a varios centenares de km/h) desde el centro de emisión por los flancos del volcán, tendiendo a seguir los valles. Se originan a partir del colapso gravitacional de columnas eruptivas, por colapso y explosión de domos o por colapso de flujos de lava. La mayoría de los flujos piroclásticos tienen dos partes: un flujo basal de fragmentos gruesos que se mueve a lo largo de la superficie del suelo y una nube turbulenta de ceniza que se eleva por encima del flujo basal. La ceniza puede caer desde esta nube en un área amplia siguiendo la dirección del viento. Las oleadas piroclásticas presentan un mayor contenido de gases y son más turbulentas, con una mayor distribución lateral, desplazándose en los valles y altos topográficos. Tanto el deshielo de masas glaciares como el represamiento de ríos y quebradas a causa de CDP pueden generar *lahares*. Las corrientes de densidad piroclástica destruirán 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.
- Muerte de personas y animales por quemaduras e inhalación de ceniza caliente y gases. La probabilidad de sobrevivir al impacto de un flujo piroclástico es nula.

DOMOS Y FLUJOS DE LAVA:

Son corrientes de roca fundida, que son emitidas por el cráter o por grietas en los flancos del volcán. Al salir del cráter forman lóbulos que tienden a canalizarse a lo largo de los valles; su

velocidad y alcance dependen de su composición, la morfología del valle 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; mientras que las menos fluidas avanzan pocos kilómetros desde los focos eruptivos. 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 taponan estos centros de emisión; los domos pueden explotar o colapsar generando flujos piroclásticos. 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, sepultado y quemado debido a sus altas temperaturas. Las lavas específicamente pueden causar: - Destrucción de infraestructura, enterramiento, quema de cultivos e incendios forestales. - Muertes atribuidas a los flujos de lava son a menudo debido a causas indirectas, tales como las explosiones cuando la lava interactúa con el agua, asfixia debido a los gases tóxicos acompañantes. En caso de que exista una erupción que genere flujos de lava, se debe poner particular atención al avance de los mismos hacia centros poblados o infraestructuras.

LAHARES (Flujos de Lodo y de Escombros Volcánicos):

Son una mezcla de fragmentos de roca, arena, limo, arcilla, biomasa (vegetación, troncos de árboles arrastrados) y agua que se desplazan por los cauces de las quebradas y ríos. Un *lahar* en movimiento se presenta como una masa de concreto húmedo que carga fragmentos que varían desde arcilla hasta bloques de más de 10 metros en diámetro. Los *lahares* varían en tamaño y velocidad; *lahares* grandes, de cientos de metros de ancho y decenas de metros de profundidad, pueden fluir a varias decenas de metros por segundo. 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 de nieve, de hielo, de lagos cratéricos, de lluvias, de corrientes fluviales o de reservorios de agua en el interior del volcán. Los *lahares* pueden causar: - Arrasamiento y destrucción de vegetación, cultivos y de las estructuras existentes a lo largo de su trayectoria (puentes, casas e infraestructura). - Relleno de cauces naturales y artificiales, además de inundación, enterramiento y aislamiento de grandes extensiones de terreno (por fuera del cauce). Por su velocidad y su energía, un *lahar* es un fenómeno muy peligroso y la probabilidad de sobrevivir a su impacto directo es mínima.

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 CO (gases inoloros) en depresiones topográficas pueden llegar a causar la muerte. Una exposición prolongada a gases volcánicos puede provocar irritación de los ojos y problemas respiratorios.

ONDAS DE CHOQUE:

Es una onda de presión que se propaga a una velocidad mayor que la del sonido, producida durante la actividad explosiva de un volcán. Las ondas de choque pueden causar: vibración y

rompimiento de ventanas, fisuras en paredes y líneas vitales, conmoción en las personas que se vean afectadas por este tipo de fenómeno.

SISMO VOLCÁNICO ASOCIADO CON FRACTURA DE MATERIAL CORTICAL:

Los sismos generados por la actividad interna de un volcán generalmente no son de gran magnitud; sin embargo, se pueden registrar sismos sentidos, incluso con magnitudes superiores a 5. Los sismos volcánicos pueden ocasionar desde daños menores en la infraestructura y líneas vitales hasta colapso de viviendas; además pueden ocasionar diferentes tipos de movimientos en masa, dependiendo de la magnitud y la distancia al epicentro.

VEI:

El Índice de Explosividad Volcánica (VEI) es una escala que permite medir el tamaño o magnitud de erupciones volcánicas explosivas. Dicha escala varía de 0 a 8, donde el incremento en un número representa un aumento en la explosividad. El VEI se establece de acuerdo a características de la erupción, tales como el volumen del material emitido, la altura de la columna eruptiva, la duración y otros parámetros cualitativos del evento eruptivo.

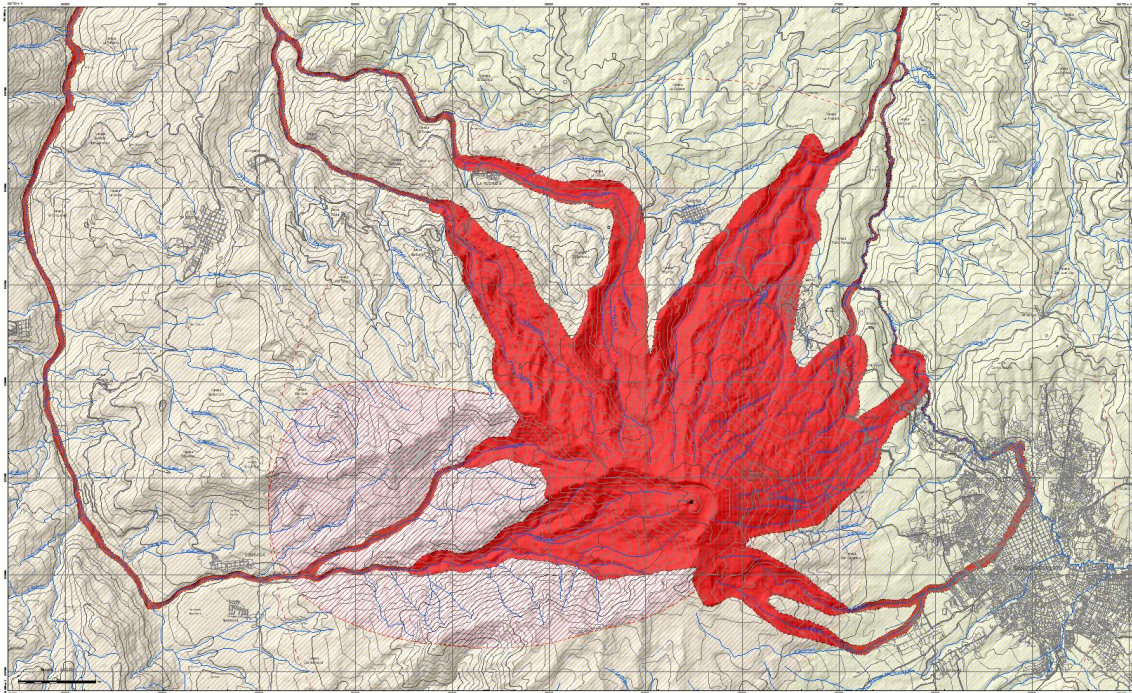
Leyenda Explicativa

De acuerdo a lo establecido en la Ley 1523 de 2012, la información contenida en este mapa se constituye en una herramienta aportada desde el área del conocimiento, para contribuir a la gestión del riesgo de desastres, entendida como el proceso social que se orienta a formular, ejecutar, hacer seguimiento y evaluar todo el tema estratégico, programático y de ejecución que permita un adecuado ordenamiento de los territorios para la reducción del riesgo de desastres de sus comunidades, lo cual incluye temas de prevención, mitigación y respuesta. En este mapa se considera como foco de erupción principal el cráter del volcán Galeras; adicionalmente, se contemplan puntos de emisión de lavas fisurales en el flanco oriental del Complejo Volcánico Galeras (CVG), como se ha presentado en la historia geológica de este volcán. En caso de que se presenten focos fuera de estas zonas o fenómenos eruptivos no registrados en el tiempo considerado en la evaluación de la amenaza, el mapa debe ser actualizado. Los límites de las zonas de amenaza volcánica son transicionales, se trazan con líneas punteadas y de ningún modo representan límites absolutos.

Generalidades del Volcán Galeras:

El volcán Galeras (4270 m.s.n.m) está localizado en el Departamento de Nariño, aproximadamente a 9 km al occidente de la ciudad de San Juan de Pasto. Sus coordenadas son 1°13,31' N y 77°21,68' W, en el dominio geográfico de la depresión interandina Cauca-Patía. El cono volcánico activo está ubicado en el interior de un anfiteatro formado por el colapso de edificios anteriores del CVG, visible desde la ciudad y poblaciones aledañas. En el volcán Galeras se han identificado seis episodios principales de actividad eruptiva, en los últimos 4500 años, caracterizados predominantemente por la generación de flujos piroclásticos (flujos de bloques y cenizas, flujos de escoria y flujos de ceniza); así como flujos de lavas andesíticas, caídas piroclásticas, formación de domos de lava, emisión de proyectiles balísticos y flujos de lodo

secundarios. Uno o varios fenómenos simultáneos podrían presentarse en erupciones futuras, acompañados de ondas de choque, sismos y emisión de gases.



Delimitación de Zonas de Amenaza:

Es el resultado de la integración de las posibles trayectorias de los fenómenos volcánicos con posibilidad de ocurrencia en el volcán, obtenidas a partir de la caracterización de los depósitos según estudios geológicos anteriores y la simulación computacional de los fenómenos volcánicos que los produjeron. Los fenómenos se modelaron utilizando diferentes herramientas de simulación: caídas piroclásticas con Tephra2 (Bonadonna *et al.*, 2005), flujos de lava con LavaPL (Connor *et al.*, 2012) y LavaC (Richardson y Connor, 2014), *lahares* con LaharZ (Iverson *et al.*, 1998; Schilling, 2014), proyectiles balísticos con Eject! (Mastin, 2001), ondas de choque con el código de Córdoba y Del Risco (1998) y corrientes de densidad piroclástica con FLOW3D (Kover, 1995 y Sheridan y Kover, 1995), empleado en la tercera versión del mapa de amenaza (1997).

Zona de Amenaza Alta



Corresponde a la zona que sería potencialmente afectada por uno o varios de los siguientes fenómenos: flujos piroclásticos, flujos y domos de lava, *lahares* y caída de piroclastos, así como gases volcánicos, onda de choque y sismos volcánicos. La mayoría de estos fenómenos afectarían las partes altas del volcán y los cauces de los ríos que nacen en él o en las laderas del CVG, como son los valles de los ríos Azufral, Chacaguaico, Barranco y las quebradas Pailón, La Chorrera, Huilque, Maragato, Chorrillo, Genoy-Guaico, Agua Agria, El Vergel, Los Saltos, San Francisco, Mijitayo y Midoro; mientras que la caída de piroclastos emitidos balísticamente (bloques y bombas), podrían afectar la parte alta del volcán en un radio aproximado de 2 km respecto al cráter, con tamaños hasta del orden métrico.



Corresponde a las áreas que serían afectadas principalmente por *lahares* sobre las cuencas de los ríos Azufral, Chacaguaico, Barranco y las quebradas

Churupamba, El Pailón, La Chorrera y Huilque, que desembocan en el río Guáitara hacia el sector noroccidental (NW) del CVG, estos flujos podrían recorrer distancias de alrededor de 37 km. En el flanco norte (N) y nororiental (NE) los *lahares* descenderían por las quebradas Maragato, Chorrillo, Genoy – Guaico, Agua Agria y el Vergel afluentes del río Pasto, alcanzando distancias de alrededor de 35 km. Hacia el flanco suroriental (SE), los *lahares* descenderían por el río Mijitayo y la quebrada Midoro alcanzando la zona urbana del municipio de Pasto.



Corresponde a la zona que sería afectada principalmente por caída de piroclastos transportados eólicamente (ceniza y *lapilli*), que podrían alcanzar hasta 11 km en la dirección predominante de los vientos, al occidente noroccidente (WNW) del volcán, con acumulaciones mayores a 10 cm, afectando algunas zonas rurales de los municipios de Pasto, Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá y Tangua.



Corresponde a la zona expuesta a caída de piroclastos transportados por el viento, con acumulaciones mayores a 10 cm, en caso de ocurrir una erupción en otra época del año o en un día u hora específicos donde la dirección del viento sea diferente a la preferencial.

Zona de Amenaza Media



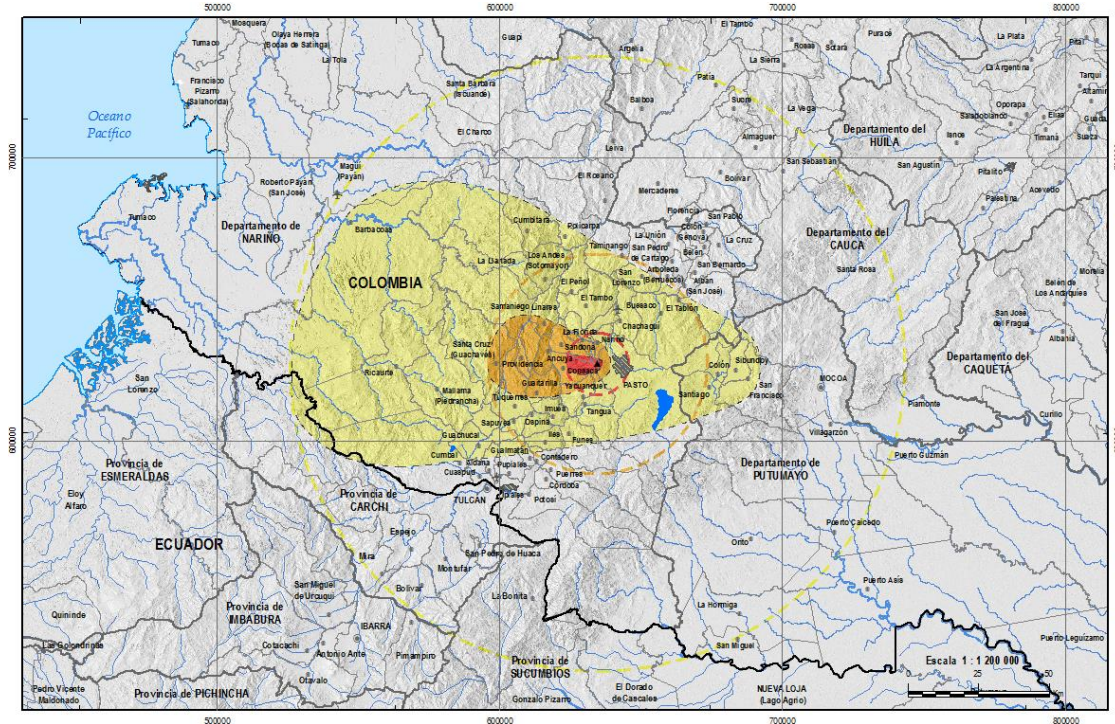
Corresponde a la zona afectada principalmente por caída de piroclastos, con espesores de depósito entre 10 cm y 1 cm de ceniza y *lapilli*, abarcando las cabeceras y áreas rurales de los municipios de Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá, Guaitarilla, Providencia, Ancuya, Linares, Samaniego y Santacruz; y zonas rurales de los municipios de Pasto, Tangua, Yacuanquer y Túquerres. Caída de proyectiles balísticos de tamaño centimétrico afectarían hasta un radio aproximado de 5 km alrededor del cráter. La zona también podría ser afectada por ondas de choque, gases y sismos volcánicos.

Zona de Amenaza Baja



Corresponde a la zona de caída de piroclastos de ceniza, con espesores de depósito entre 1 cm y 0,5 mm, que podría afectar las áreas de los municipios de Pasto, Tangua, Yacuanquer, Fúnes, Imúes, Guaitarilla, Túquerres, Sapuyes, Iles, Ospina, Guachucal, Pupiales, Aldana, Cumbal, Gualmatán, Mallama, Ricaurte, Santacruz, Barbacoas, Maguí, Los Andes, La Llanada, Samaniego, Linares, El Peñol, Cumbitara, Policarpa, Taminango, San Lorenzo, Arboleda, El Tambo, La Florida, Chachaguí, Buesaco, Nariño, Sandoná y El Tablón y en el departamento del Putumayo, algunas áreas de los municipios de Colón, Santiago, Sibundoy, San Francisco y Mocoa. Adicionalmente, esta zona también podría ser afectada por ondas de choque, gases y sismos volcánicos.

Área de influencia por caída de piroclastos transportados por acción de los vientos



Leyenda Explicativa

Zonificación de amenaza por caída de piroclastos transportados por el viento: La delimitación de las zonas potencialmente afectadas por caídas de piroclastos transportados eólicamente fue realizada usando el modelo numérico de advección-difusión TEPHRA2 (Bonadonna *et al.*, 2005), para una altura de columna de 12 km, y la información sobre la actividad eruptiva de los últimos 500 años. La distribución de las caídas piroclásticas sigue la tendencia predominante de los vientos en el área con dirección occidente - noroccidente (WNW).

Zona de Amenaza Alta:



Corresponde a la zona de caída de piroclastos, con depósitos mayores a 10 cm, extendiéndose en un radio aproximado de 11 km en la dirección predominante de los vientos al occidente-noroccidente (WNW), que podrían afectar algunas zonas rurales de los municipios de Pasto, Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá y Tangua.



Amenaza alta proyectada: Zona expuesta a caída de piroclastos, con acumulaciones mayores a 10 cm, en caso de ocurrir una erupción en otra época del año o en un día u hora específicos donde la dirección del viento sea diferente a la preferencial, lo cual podría afectar otras cabeceras y/o zonas rurales de municipios.

Zona de Amenaza Media:



Corresponde a la zona de caída de piroclastos, con depósitos entre 1 a 10 cm, extendiéndose en un radio aproximado de 40 km en la dirección predominante de los vientos al occidente - noroccidente (WNW), esta área abarcaría las cabeceras y áreas rurales de los municipios de Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá, Guaitrilla,

Providencia, Ancuya, Linares, Samaniego y Santacruz, y zonas rurales de los municipios de Pasto, Tangua, Yacuanquer y Túquerres.



Amenaza media proyectada: Zona expuesta a caída de piroclastos, con acumulaciones entre 1 y 10 cm, en caso de ocurrir una erupción en otra época del año o en un día u hora específicos donde la dirección del viento sea diferente a la preferencial, lo cual podría afectar otras cabeceras y/o zonas rurales de municipios.

Zona de Amenaza Baja:

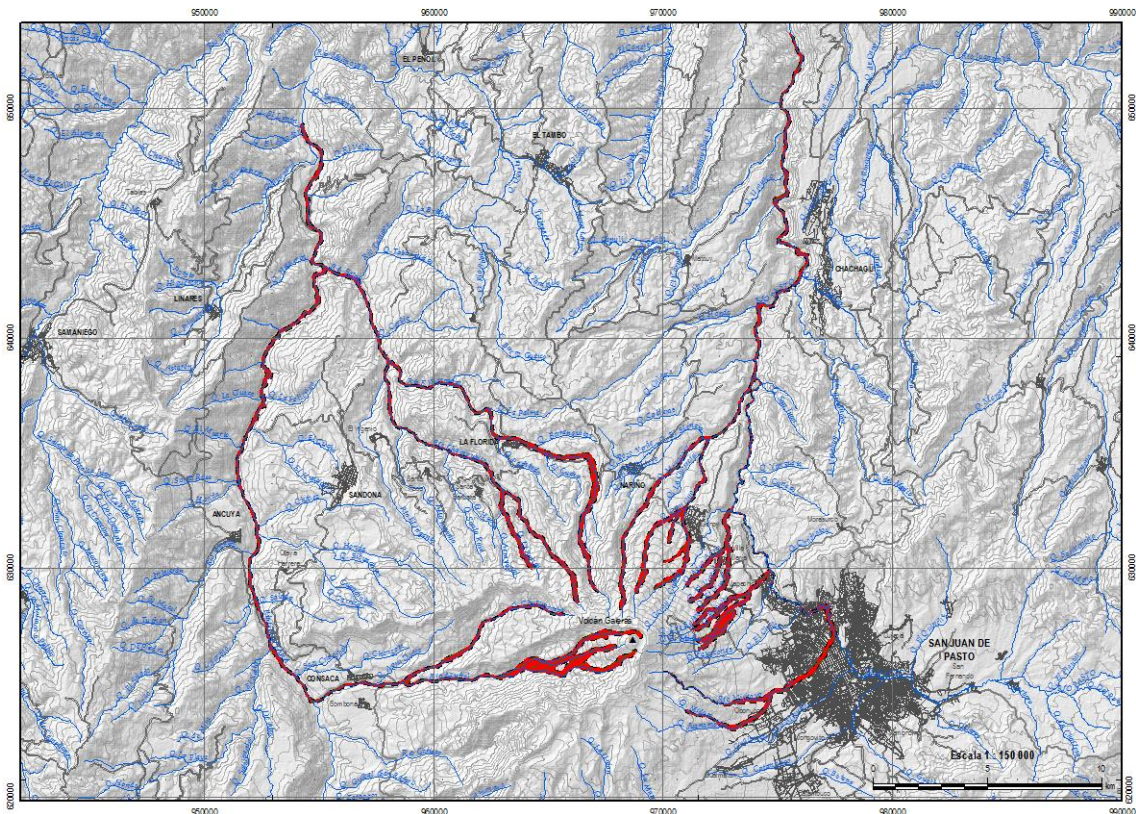


Corresponde a la zona de caída de piroclastos, con depósitos entre 0,5 mm a 1 cm, extendiéndose en un radio aproximado de 100 km en la dirección predominante de los vientos al occidente - noroccidente (WNW), que podría afectar las áreas de los municipios de Pasto, Tangua, Yacuanquer, Fúnes, Imues, Guaitarilla, Túquerres, Sapuyes, Iles, Ospina, Guachucal, Pupiales, Aldana, Cumbal, Gualmatán, Mallama, Ricaurte, Santacruz, Barbaocoas, Maguí, Los Andes, La Llanada, Samaniego, Linares, El Peñol, Cumbitara, Policarpa, Taminango, San Lorenzo, Arboleda, El Tambo, La Florida, Chachaguí, Buesaco, Nariño, Sandoná y El Tablón y en el departamento del Putumayo, algunas áreas de los municipios de Colón, Santiago, Sibundoy, San Francisco y Mocoa.



Amenaza baja proyectada: Zona expuesta a caída de piroclastos, con acumulaciones entre 0,5 mm y 1 cm, en caso de ocurrir una erupción en otra época del año o en un día u hora específicos donde la dirección del viento sea diferente a la preferencial, lo cual podría afectar otras cabeceras y/o zonas rurales de municipios.

Área de afectación por *lahares* para un volumen de 3 millones m³



Leyenda Explicativa



La delimitación de las zonas afectadas por *lahares* se realizó utilizando el método LaharZ (Iverson *et al.*, 1998; Schilling, 2014), el cual asocia el volumen del evento con el área inundada por un *lahar*. Hacia el occidente (W) los *lahares* avanzarían por la cuenca del río Azufral y la quebrada Churupamba 15 km, hasta desembocar en el río Guáitara, siguiendo por éste en un trayecto aproximado de 22 km hasta la confluencia con el río Salado. Hacia el sector noroccidental (NW) del volcán los *lahares* descenderían por las cuencas de los ríos Chacaguaico y Barranco recorriendo 15 y 17 km, respectivamente, hasta el río Salado, avanzando 6 km hasta la desembocadura con el río Guáitara y movilizándose 8 km hacia el norte. Hacia el norte (N) y nororiente (NE) los *lahares* se movilizarían por las cuencas de las quebradas Maragato, Chorrillo, Tequendama, Genoy-Guaico, Agua Agria, El Vergel, El Guaco, San Francisco, Los Saltos y El Salto, avanzando 5 km hasta alcanzar el río Pasto, a partir del cual podrían recorrer en dirección norte (N) alrededor de 20 km. En el sector oriental (E) y suroriental (SE) los *lahares* podrían desplazarse desde el río Mijitayo y la quebrada Midoro hasta arribar al casco urbano de San Juan de Pasto, donde, debido al desarrollo urbanístico, es necesario realizar estudios más detallados sobre el comportamiento de los *lahares* y el grado de afectación que conllevaría, utilizando herramientas de simulación computacional que contemplen parámetros físicos que muestren mejor la dinámica del fenómeno en zonas urbanas.