

**MAPA DE AMENAZA VOLCÁNICA DEL
COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – SEGUNDA VERSIÓN**
Memoria explicativa

San Juan de Pasto, diciembre de 2014



**AMPLIACION DEL CONOCIMIENTO GEOLOGICO Y EL
POTENCIAL DE RECURSOS DEL SUBSUELO**

DIRECCIÓN TÉCNICA DE GEOAMENAZAS

***MAPA DE AMENAZA VOLCÁNICA DEL
COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL – SEGUNDA VERSIÓN
Memoria explicativa***

Por:

**Ricardo Méndez Fajury
Ingeniero Geólogo**

**Paola Narváez Obando
Geóloga**

**Carlos Muñoz Montoya
Mag. Ingeniero Topográfico**

San Juan de Pasto, diciembre de 2014

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES	13
1.1 LOCALIZACIÓN, VÍAS DE ACCESO Y DRENAJES	14
1.2 METODOLOGÍA	15
1.3 TRABAJOS ANTERIORES	16
2. REGISTRO GEOLÓGICO E HISTÓRICO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL	18
2.1 REGISTRO GEOLÓGICO.....	18
2.1.1 Estadio Casita Solitaria.....	18
2.1.2 Estadio Liadero Viejo o Pre Cumbal	20
2.1.3 Estadio La Mesa o Cumbal Viejo	22
2.1.4 Estadio Cumbal Actual	23
2.2 REGISTRO PREHISTÓRICO Y HISTÓRICO.....	29
3. AMENAZA VOLCÁNICA	36
3.1 AMENAZA POR CORRIENTES DE DENSIDAD PIROCLÁSTICA (FLUJOS Y OLEADAS PIROCLÁSTICAS).....	36
3.2 AMENAZA POR AVALANCHA DE ESCOMBROS.....	37
3.3 AMENAZA POR LAHARES	38
3.4 AMENAZA POR CAÍDA DE PIROCLASTOS.....	40
3.4.1 Amenaza por caída de piroclastos transportados eólicamente	40
3.4.2 Amenaza por caída de piroclastos por proyección balística	41
3.5 AMENAZA POR FLUJOS DE LAVA	42
3.6 OTRAS AMENAZAS.....	43

4. ZONIFICACION DE LA AMENAZA VOLCÁNICA.....	45
CONCLUSIONES	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización CVC, a) Entorno geográfico del departamento de Nariño. b) Localización del CVC, casco urbano del municipio de Cumbal, vías de acceso y drenajes.	15
Figura 2. Estadio Casita Solitaria.	19
Figura 3. Estadio Liadero Viejo - Pre Cumbal.	21
Figura 4. Estadio La Mesa - Cumbal Viejo.	22
Figura 5. Estadio Cumbal Actual.	24
Figura 6. Vista de los volcanes activos de Cumbal (derecha) y Chiles (izquierda), Provincia de Túquerres. Acuarela de Manuel María Paz (1853).	31
Figura 7. Detalle del Corte geológico y ríos navegables de Colombia. Carta XVI del Atlas geográfico e histórico de la República de Colombia (Codazzi, 1890). 31	
Figura 8. Ilustración del volcán Cumbal, Papel Periódico Ilustrado (1883).	32
Figura 9. Ilustración de los volcanes Cumbal (derecha) y Chiles (izquierda) en 1853 publicada en Vergara y Velasco (1901).	33
Figura 10. Mapa de los volcanes Cumbal y Chiles publicado en Stübel, 1906. 34	
Figura 11. Amenaza por corrientes de densidad piroclástica (flujos y oleadas piroclásticas).	37
Figura 12. Amenaza por avalancha de escombros.	38
Figura 13. Amenaza por <i>lahares</i> . a) Zona de influencia por lahares en las inmediaciones del CVC; b) Detalle de la amenaza en los sectores del casco urbano y Pueblo Viejo del municipio de Cumbal c) Detalle de la amenaza en cercanías del casco urbano de Cuaspud (Carlosama).	39
Figura 14. Amenaza por caída de piroclastos transportados eólicamente.	41
Figura 15. Amenaza por caída de piroclastos por proyección balística.	42
Figura 16. Amenaza por flujos de lava.	43

Figura 17. Mapa de Amenaza Volcánica del Complejo Volcánico Cumbal – segunda versión 2014..... 48

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Panorámica del Complejo Volcánico Cumbal, vista desde el sector SE.	13
Fotografía 2. Estadio Casita Solitaria a) Panorámica del sector Hondón de Guapul, al SE del CVC; b) Detalle de afloramiento de flujo de lava y c) Sector Guapul, al oriente del CVC.	20
Fotografía 3. Estadio Liadero Viejo, a) y b) Panorámica de este estadio; c) Detalle depósito de flujo de lava columnar y d) Aspecto general de un afloramiento en el flanco sur del CVC, sector Hueco Grande.	21
Fotografía 4. Cerro Awichu, a) Panorámica desde el volcán Mundo Nuevo y b) fotografía aérea. En ambas fotografías se aprecian depósitos de flujos de lava alterada y depósitos hidrotermalizados.	23
Fotografía 5. Depósito de CDP La Tinta, a) y b) Imágenes del depósito sobre la cuenca de la quebrada La Hedionda. Sector SE del CVC.	23
Fotografía 6. Panorámica del estadio Cumbal Actual, con sus volcanes asociados.	24
Fotografía 7. Volcán Punta Vieja, a) Panorámica del volcán; b) Detalle de las lavas columnares ubicadas en la base del volcán.	25
Fotografía 8. Volcán Cerro La Teta, a) Panorámica del volcán; b) detalle del depósito de CDP de escoria “El Poncho” que suprayace el volcán.	25
Fotografía 9. Volcán Nieve Vieja, a) Panorámica y b) detalle del volcán.	26
Fotografía 10. Panorámica del volcán Mundo Nuevo, con el cráter principal y cráteres adventicios (fotografía aérea SGC - OVS Pasto).	27
Fotografía 11. Manifestaciones de actividad superficial, a). Panorámica del CVC, desde el casco urbano del municipio de Cumbal, donde se observan las columnas de gases y vapor de agua de los campos fumarólicos; b) Campo fumarólico Rastrojo Alto, del volcán Mundo Nuevo.	27
Fotografía 12. Volcán Cumbal, a) Cráter La Plazuela, cráter adventicio El Pilches y campos fumarólicos; b) Domo bajo en el cráter La Plazuela.	28

Fotografía 13. Campo fumarólico El Verde, al nororiente del cráter La Plazuela en el Volcán Cumbal. 28

“Esto me parece algo peligroso porque todas las anteriores erupciones se vaciaron en esta dirección y no es imposible que temprano o tarde se repitan estos cataclismos”

Immanuel Frienlander, 1927

RESUMEN

El Complejo Volcánico Cumbal – CVC, está localizado al suroccidente del departamento de Nariño (Colombia), muy cerca de la frontera con Ecuador, alcanza una altura máxima de 4741 m s. n. m. correspondiente a la cima del volcán Cumbal propiamente dicho, que aunque no ha tenido registro histórico de erupciones, si tiene evidencias de diversos tipos de una actividad fumarólica constante al menos en los últimos 200 años, por lo que ha sido considerado como uno de los volcanes activos de Colombia y por lo tanto ha contado con un monitoreo continuo por parte del Servicio Geológico Colombiano – SGC (antes INGEOMINAS) desde el año 1988.

En 1988 se realizó una primera versión de la evaluación de la amenaza del CVC y a finales del año 2012 debido a un posible incremento de la actividad sísmica en inmediaciones del edificio volcánico, se dio inicio a una revisión de la geología y la amenaza, las cuales fueron complementadas con simulaciones computacionales de los diferentes tipos de productos volcánicos, dando como resultado una nueva versión del mapa de amenaza del Complejo Volcánico Cumbal. Los nuevos datos geológicos, aunados a los obtenidos inicialmente en 1988 y complementados con los diferentes trabajos llevados a cabo en los últimos 25 años, permitieron obtener resultados muy diferentes a los obtenidos inicialmente, basados en la superposición de las áreas obtenidas para los diferentes eventos volcánicos y teniendo como focos eruptivos los edificios actuales, se establecieron las zonas que se considerarían como amenazada por evento eruptivo de máxima magnitud. Las áreas que se verían afectadas en el evento de una futura erupción con las características consideradas para la evaluación de la amenaza serían las próximas al edificio volcánico y siendo las caídas piroclásticas las que podrían afectar la mayoría de las poblaciones circunvecinas, especialmente el casco urbano del municipio de Cumbal.

ABSTRACT

The Cumbal Volcanic Complex (CVC), located in the southwestern of the department of Nariño (Colombia), very close to the border with Ecuador, has a height of 4741 m a.s.l., corresponding to the Cumbal volcano itself. History of eruptions, if it has evidence of various types of a constant fumaric activity at least in the last 200 years, reason why it has been considered as one of the active volcanoes of Colombia and therefore has had continuous monitoring by Part of the Colombian Geological Service - SGC (formerly INGEOMINAS) since 1988.

In 1988 a first version of the evaluation of the CVC threat was carried out and at the end of 2012 due to a possible increase in seismic activity near the volcanic building, A review of the geology and the threat was initiated, which were complemented with computational simulations of the different types of Volcanic products, resulting in a new version of the threat map of the Cumbal Volcanic Complex. The new geological data, coupled with those obtained initially in 1988 and complemented with the different works carried out in the last 25 years, allowed to obtain very different results to those obtained initially, based on the overlap of the areas obtained for the different volcanic events And having as eruptive foci the current buildings, established areas that would be considered as threatened by eruptive event of maximum magnitude. The areas that would be affected in the event of a future eruption with the characteristics considered for the evaluation of the threat would be the next ones to the volcanic building and the pyroclastic falls being the ones that could affect the majority of the surrounding populations, especially the urban helmet of the Municipality of Cumbal.

INTRODUCCIÓN

El Complejo Volcánico Cumbal (CVC) ubicado al suroccidente del departamento de Nariño, está considerado como uno de los volcanes activos de Colombia, por esta razón el INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano) desde 1988, realizó una primera evaluación de la amenaza volcánica y estableció una red de vigilancia en las áreas de sismología, geoquímica y deformación.

En el año 2012 se registra un incremento considerable de la actividad sísmica al occidente del CVC, algunos de los sismos fueron reportados como sentidos por los pobladores de la zona de influencia del edificio volcánico, lo que generó un grado de alarma e incertidumbre en la comunidad. Esta situación conllevó a que las autoridades civiles solicitaran al SGC una socialización de los aspectos relacionados con la actividad volcánica.

A lo anterior y aunado con el avance del conocimiento en los temas de la vulcanología, especialmente en la evaluación de la amenazas volcánicas, la utilización de nuevas herramientas relacionadas con las simulaciones computacionales (en este aspecto se contó con la asesoría de expertos de las Universidades de Buffalo, South Florida (USA) y Edimburgo (Escocia), pertenecientes al grupo de investigación internacional en volcanes y mitigación del riesgo (VHUB) con la elaboración de los respectivos mapas y los estudios geológicos de parte del edificio volcánico, que sirvieron como los insumos para la actualización de la evaluación de la amenaza volcánica y la elaboración del *Mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Cumbal- Segunda Versión*, que es el objeto de esta memoria explicativa.

Es importante tener cuenta que el Servicio Geológico Colombiano teniendo como soporte el Decreto 1807 de 2014 (MINVIVIENDA, 2014), retomó la metodología de establecer la zonificación de las amenazas en alta, media y baja, para eventos máximos de posibles erupciones futuras en los edificios o focos posibles considerados en las evaluaciones mencionadas anteriormente.

1. GENERALIDADES

El Complejo Volcánico Cumbal (CVC) está localizado al suroccidente del departamento de Nariño, corresponde a un complejo volcánico de forma elongada, en dirección suroccidente-nororiente (SW-NE), compuesto por cuatro edificios de estadios volcánicos superpuestos uno encima de otro, denominados del más antiguo al más reciente como “Casita Solitaria”, “Liadero Viejo o Pre-Cumbal”, “La Mesa o Cumbal Viejo” y “Cumbal Actual” y este, a su vez, conformado por las estructuras volcánicas de “Mundo Nuevo”, “Cerro La Teta”, “Nieve Vieja”, “Cumbal” y “Punta Vieja”(Méndez *et al.*, en preparación) (Fotografía 1), de los cuales, al menos dos, son considerados actualmente como activos: volcán Mundo Nuevo (con 4690 m de altura), con un cráter principal de 200 m de diámetro y el volcán Cumbal (con 4741 m de altura) con el cráter principal La Plazuela de 250 m de diámetro. El número de identificación del CVC en la clasificación mundial de volcanes es 351100 de acuerdo al listado del *Global Volcanism Program* (Smithsonian Institution, 2014). Anteriormente tenía asignado el número 1501-10 (Simkin *et al.*, 1981).



Fotografía 1. Panorámica del Complejo Volcánico Cumbal, vista desde el sector SE.

La actividad del complejo ha sido fundamentalmente de carácter efusivo, con un gran número de grandes volúmenes de depósitos de flujos de lava que conformaron los diferentes edificios que lo componen y unos pocos eventos de carácter explosivo conformados por depósitos de corrientes de densidad piroclástica.

Hasta el momento no se tiene registro de tipo histórico de erupciones recientes, pero sus productos se podrían considerar como recientes, tomando como base la presencia o no de depósitos morrénicos existentes en sus alrededores o los edificios mismos.

1.1 LOCALIZACIÓN, VÍAS DE ACCESO Y DRENAJES

El CVC está localizado en las coordenadas geográficas 00°57'16" de Latitud N y 77°53'30" de Longitud W, en el extremo sur de la Cordillera Occidental de Colombia. Se encuentra a 12 km al occidente (W) de la cabecera municipal de Cumbal, 79 km al suroccidente (SW) de la ciudad de San Juan de Pasto y a 585 km al suroccidente (SW) de Bogotá (Figura 1). El acceso a la cima se hace por la carretera que parte de la cabecera municipal de Cumbal, hasta el sector de La Ortiga y de allí se toma el carreteable hasta el sitio llamado Lodo Negro, donde parten dos caminos de herradura, uno hacia el volcán Mundo Nuevo y el otro al volcán Cumbal.

En las proximidades del complejo volcánico están localizados las divisiones geográficas rurales y el casco urbano del municipio de Cumbal, con una población cercana a los 40 000 habitantes (DANE, 2011).

Las principales cuencas son río Blanco al oriente (E) y río Güiza al noroccidente (NW). El río Blanco lo componen las quebradas La Vieja, Río Blanco, Río Negro, Guapul, Limones, El Corral y el río Chiquito. El río Chiquito cruza el casco urbano del municipio de Cumbal, antes de verter sus aguas al río Blanco. Las quebradas Güel, Hondón, Conejos, Guastar, Pilches, Pistejo, La Puerta y Tambillo son afluentes del río Mulas, y este a su vierte sus aguas al río Güiza.

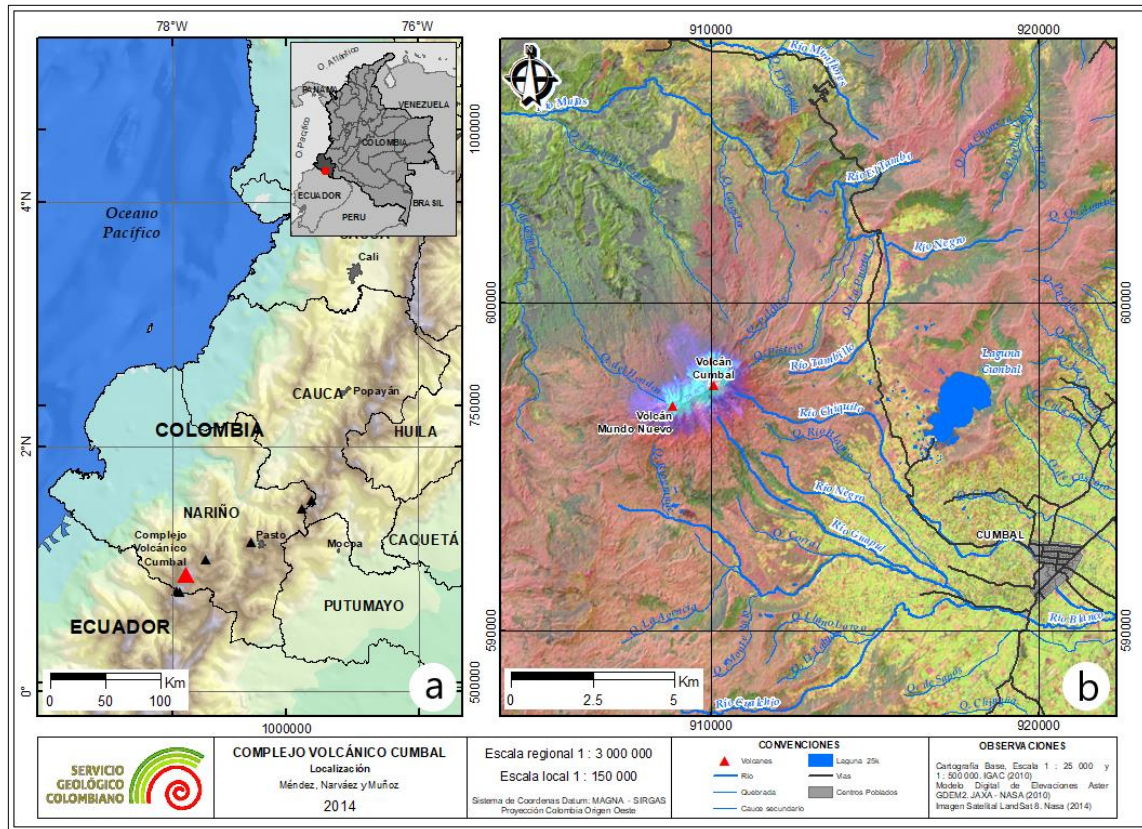


Figura 1. Localización CVC, a) Entorno geográfico del departamento de Nariño. b) Localización del CVC, casco urbano del municipio de Cumbal, vías de acceso y drenajes.

1.2 METODOLOGÍA

Teniendo como base los trabajos geológicos como Monsalve & Méndez (1988), Monsalve & Bechon (1993) y Méndez *et al* (en preparación), se efectuaron simulaciones computacionales, contando con un acompañamiento técnico del VHUB (*Collaborative volcano research and risk mitigation*) y utilizando las herramientas de su plataforma web (<http://www.vhub.org>).

Estas simulaciones se realizaron utilizando modelos digitales de terreno, en las cuales se determinaron las posibles formas de dispersión y posibles sectores de depositación de los eventos volcánicos tales como: corrientes de densidad piroclástica (flujos y oleadas piroclásticas), *lahares*, flujos de lava, avalancha de escombros y caída de piroclastos (proyectiles balísticos y por transporte eólico) (Muñoz *et al*, 2014). Los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones computacionales, fueron tenidos en cuenta conjuntamente con el conocimiento

geológico, geomorfológico y vulcanológico para establecer la evaluación de la amenaza volcánica del Complejo Volcánico Cumbal, determinar las zonas de amenaza volcánica (alta, media y baja) y, a su vez, elaborar la segunda versión del mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Cumbal.

1.3 TRABAJOS ANTERIORES

En 1988 se llevó a cabo el primer trabajo relacionado con los estudios geológicos enfocados a la evaluación de la amenaza volcánica del denominado hasta ese entonces Volcán Cumbal y a partir de ese momento se le asignó el nombre de Complejo Volcánico del Cumbal (Monsalve & Méndez, 1988). Hasta el momento se tienen relacionados trabajos en general desde 1801, donde la mayoría de ellos estaban enfocados en temas tan específicos como la valoración o reconocimiento del azufre, los estudios geotérmicos, los geológicos en general y los recuentos de la actividad histórica. Estos trabajos fueron en orden cronológico, así:

Humboldt (1801 en ACCEFYN, 1982), Gutiérrez De Alba (1871), Daubeny (1848), Boussingault & Roulin (1849), Pérez (1883), Papel Periódico Ilustrado (1883), Codazzi (1890), Vergara & Velasco (1901), Manuel María Paz (1853), Stübel (1906), De Los Ríos (1925), Flórez (1926), Friedlaender (1927), Hubach (1954), Rodríguez (1959), Hantke & Parodi (1966), Ramírez (1975), Simkin *et al* (1981), Koller (1982), Ramírez (1982), ICEL (1983), Cuellar & Ramírez (1986), Núñez & Pulido (1986), Cepeda *et al* (1987), Monsalve & Méndez (1988), Monsalve & Méndez (1992), Monsalve & Bechon (1993), Droux & Deloye (1996), Gorman (1997), Lewicky *et al* (2000), Espinosa (2001), Velásquez & Parra (2002) y los reportes de actividad establecidos por el Servicio Geológico Colombiano desde 1988.

De los anteriores, los aportes en el ámbito geológico fueron:

Droux & Deloye (1996). Al realizar la petrografía y geoquímica de volcanes plio-cuaternarios al SW de Colombia, consideran al volcán Cumbal (al igual que al Galeras, Azufral y Chiles) dentro del grupo que llamaron Lavas suroccidentales que son lavas que muestran un bajo contenido de TiO_2 , empobrecimiento en los elementos del grupo del K y en las LREE, baja relación en Ce/Yb, enriquecimiento en HREE y alta relación Ba/La. Este grupo se caracteriza por presentar una cristalización fraccionada superimpuesta en varios estados de mezcla de magmas y asimilación cortical.

Gorman (1997). Establece que el volcán Cumbal es un estratovolcán andesítico-dacítico activo, siendo muy notable su morfología elongada y su carencia de

grandes volúmenes de depósitos piroclásticos. Estipula que el Cumbal se ha desarrollado en tres etapas constructivas principales seguidas por varios eventos de deslizamientos que han removido la parte superior alterada hidrotermalmente. De estas etapas la más antigua se forma a partir del cráter norte (Punta Vieja), con edad de 194 000, sus principales productos se extendieron hacia el norte y el noreste, hasta una actividad tardía de 176 000 años. Una segunda fase de construcción comenzó aproximadamente hace 99 000 años, con productos efusivos lávicos que se desprendieron del sector central de la cumbre donde se encuentran los cráteres Cumbal, Fogones y Mundo Nuevo; los productos se dispersaron básicamente hacia el sector suroeste, con una etapa tardía de edad menor a 50 000 años. La tercera y última etapa, tuvo como centro dos de los cuatro centros eruptivos de Cumbal; las lavas constituyentes de esta unidad forman un conjunto que conserva las características de los flujos de lava originales, lo que implica que las glaciaciones posteriores no afectaron sensiblemente las lavas de la última etapa

Lewicky *et al* (2000). Presentan datos químicos e isotópicos de muestras de vapor en las fumarolas y en las fuentes termales, especialmente de los volcanes Mundo Nuevo y Cumbal. Obtuvieron temperaturas del orden hasta de los 375°C en el Cumbal, mientras en el campo fumarólico de Rastrojo en Mundo Nuevo, obtuvieron datos hasta de 167°C

Espinosa (2001). Hace un breve compendio de algunos trabajos ya publicados y referenciados en la mayoría de los estudios relacionados.

Velásquez & Parra (2002), recopilan la mayoría de la información plasmada en los trabajos anteriormente mencionados. Entre ellos se destaca que los productos del volcán Cumbal estarían relacionados con dos episodios principalmente: el Cumbal Antiguo y el Cumbal Moderno.

2. REGISTRO GEOLÓGICO E HISTÓRICO DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CUMBAL

El Complejo Volcánico Cumbal (CVC), se redefine de lo planteado en trabajos anteriores (ICEL, 1983; Monsalve & Méndez, 1988; Monsalve & Bechon, 1993) y se dividió en cuatro estadios con sus respectivos edificios, que se han denominado del más antiguo al más reciente como Casita Solitaria, Liadero Viejo o Pre-Cumbal, La Mesa o Cumbal Viejo y Cumbal Actual (éste conformado por seis estructuras volcánicas), los cuales fueron formados por diferentes depósitos de flujos de lavas y de corrientes de densidad piroclástica (Méndez et al, en preparación).

2.1 REGISTRO GEOLÓGICO

El CVC está construido sobre rocas volcánicas de afinidad oceánica, de edad cretácica, las cuales forman el basamento de la zona; de acuerdo a Velásquez & Parra (2002), corresponde a basaltos y diabasas, de color verde a verde grisáceo, que conforman el Grupo Diabásico.

Los remanentes de los edificios volcánicos, que son denominados CVC, son otras de las evidencias de la actividad volcánica en la región suroccidental (SW) del departamento de Nariño; los volcanes Mundo Nuevo (4690 m s. n. m.) y Cumbal (4741 m s. n. m.), son los conos activos actuales de complejo; el registro geológico del CVC, evidencia que se encuentra dividido en cuatro estadios que conforman los respectivos edificios volcánicos, denominados: Casita Solitaria, Liadero Viejo o Pre-Cumbal, La Mesa o Cumbal Viejo y Cumbal Actual.

2.1.1 Estadio Casita Solitaria

Corresponde a una estructura volcánica en forma elongada hacia el nororiente NE, desarrollada hacia el suroccidente (SW) de la denominada Caldera de Colimba (5.1 \pm 0.4 Ma., ICEL, 1983), cuyas principales manifestaciones geomorfológicas están dadas por el domo de Colimba, la Laguna de Cumbal y las depósitos de flujos de lava de las canteras de Machines.

El diámetro de la estructura del Estadio Casita Solitaria en su eje mayor es aproximadamente 10 km y en el eje menor de 8 km, (Figura 2). Este estadio se caracteriza por presentar depósitos de flujos de lava y de corrientes de densidad piroclástica - CDP (depósitos de flujos de bloques y cenizas), aunados a remanentes de morrenas adosadas a los depósitos de flujos de lava que conforman el edificio que se construyó en este estadio. Las evidencias más claras están localizadas al norte, nororiente, oriente y suroccidente del CVC, donde se resalta la estructura conocida como el Hondón de Guapul, donde se puede apreciar las morrenas de mayor alcance, en contacto lateral con depósitos de flujos de lava (Fotografía 2).

Con base en el avance máximo de las morrenas encontrado, cuyo extremo alcanza la cota de 3400 m s. n. m., lo que permitiría asociarlas a la glaciación ocurrida hace 14 000 a 20 000 A.P. años, de acuerdo a los establecido por (Thouret & Van der Hammen, 1981), para los volcanes Nevados del Ruiz y de Santa Isabel y que denominaron como Murillo Tardío.

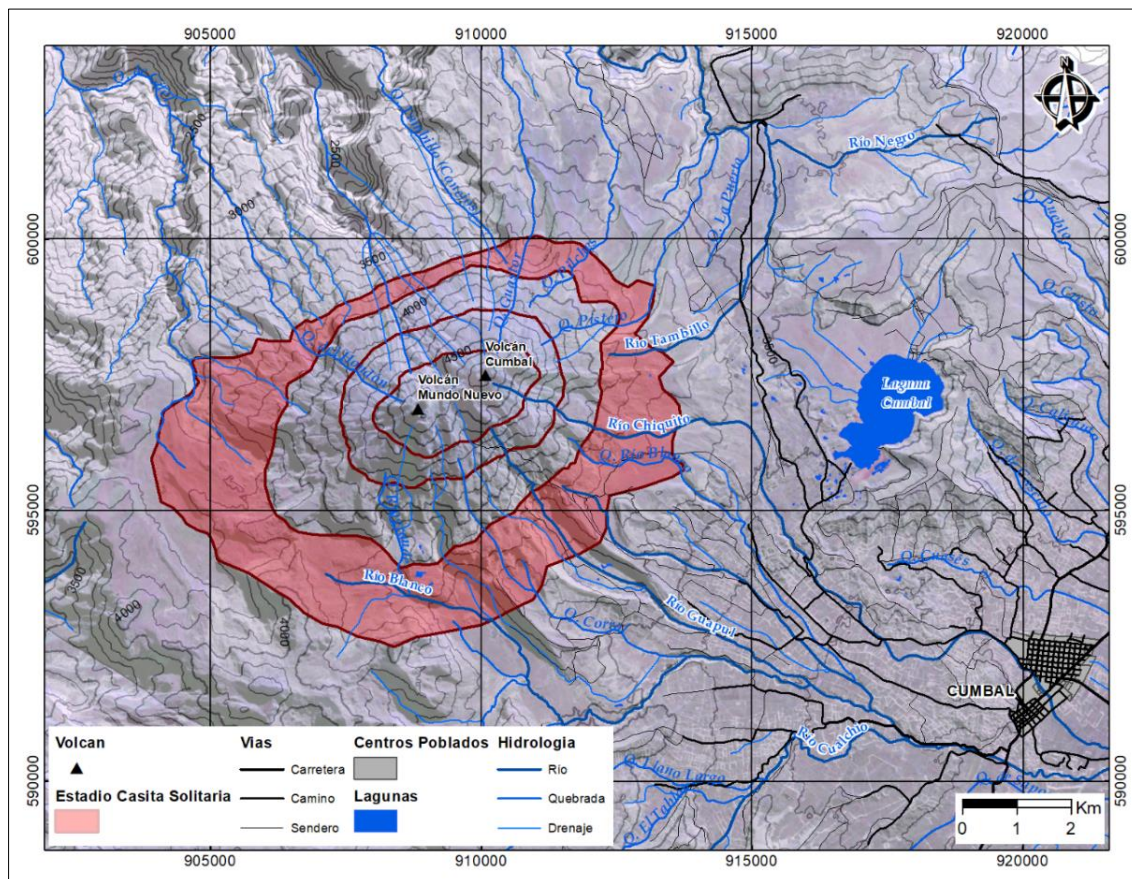
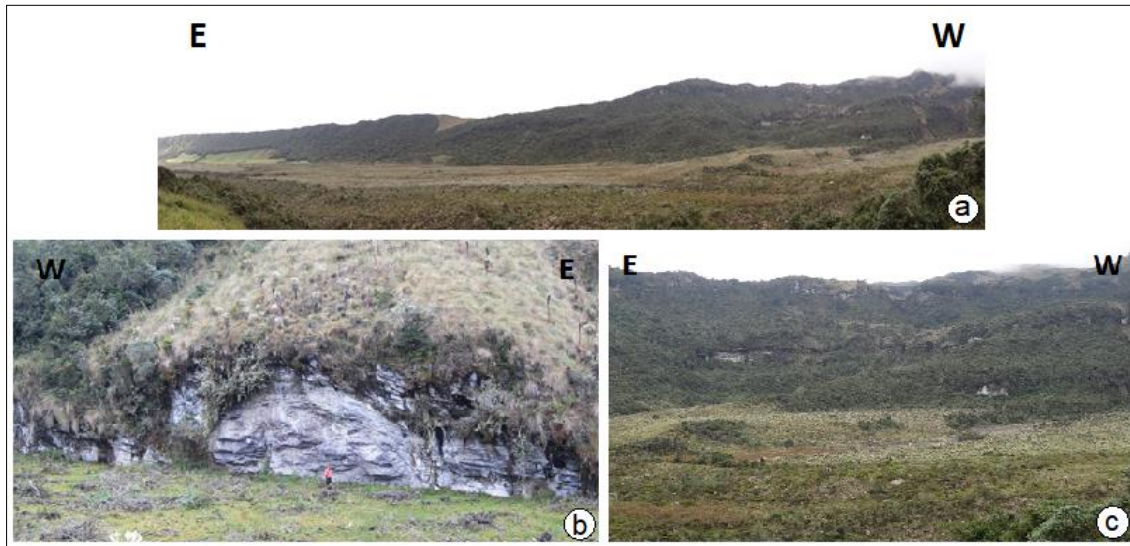


Figura 2. Estadio Casita Solitaria.



Fotografía 2. Estadio Casita Solitaria a) Panorámica del sector Hondón de Guapul, al SE del CVC; b) Detalle de afloramiento de flujo de lava y c) Sector Guapul, al oriente del CVC.

2.1.2 Estadio Liadero Viejo o Pre Cumbal

Este estadio se desarrolló al interior de la estructura correspondiente al Estadio Casita Solitaria, por lo tanto, continua con la dirección al nororiente (NE) y de acuerdo a los remanentes encontrados, se puede estimar un diámetro en su eje mayor de aproximadamente 6 km (Figura 3).

A esta estructura se encuentran asociados depósitos de flujos de lava columnares y masivas, que en ocasiones presentan afectaciones en sus direcciones de emplazamiento, pudiendo relacionarlas con la presencia de una barrera topográfica, correspondiente a los remanentes que conforman la estructura del Estadio Casita Solitaria (Fotografía 3); adicionalmente, también se encuentran depósitos de CDP (Flujos de escoria) en el sector del Hondón de Guapul.

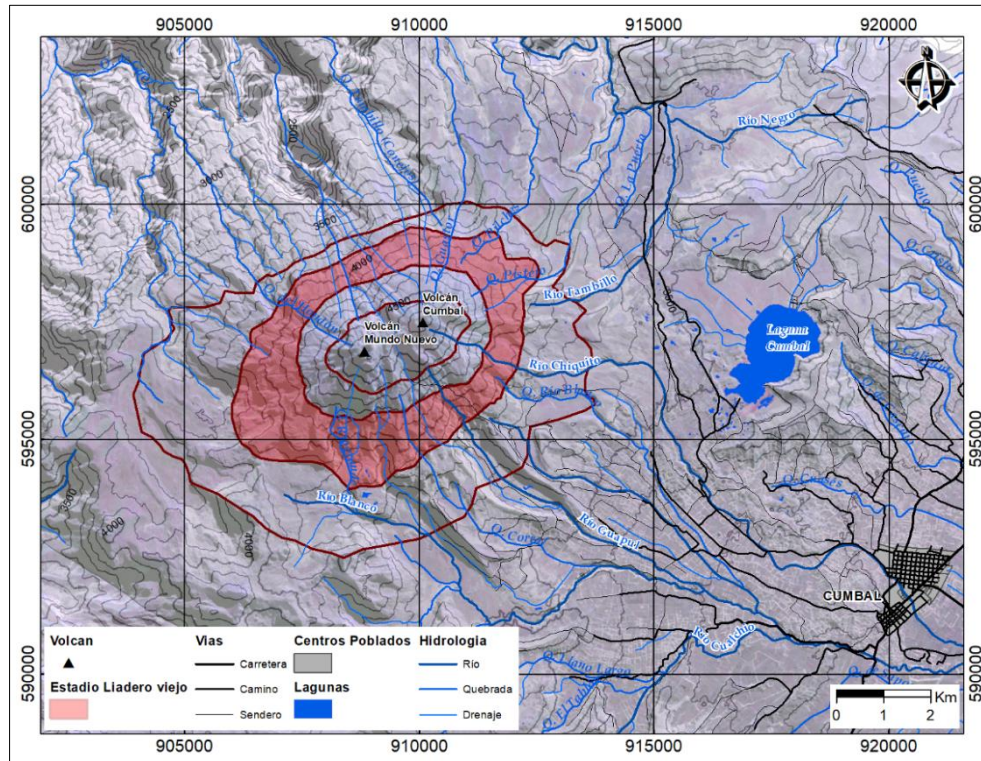


Figura 3. Estadio Liadero Viejo - Pre Cumbal.



Fotografía 3. Estadio Liadero Viejo, a) y b) Panorámica de este estadio; c) Detalle depósito de flujo de lava columnar y d) Aspecto general de un afloramiento en el flanco sur del CVC, sector Hueco Grande.

2.1.3 Estadio La Mesa o Cumbal Viejo

Esta estructura se formó al finalizar el volcanismo del Estadio Liadero Viejo, por encima de este antiguo volcán, por lo tanto continuando con la misma dirección hacia el nororiente NE (Figura 4). Se evidencia por el cambio fuerte de pendiente y se encuentran asociados depósitos de flujos de lavas masivas, no cordadas, depósitos de CDP (flujos de escoria) y un depósito de avalancha de escombros. En este estadio se identifican remanentes de la estructura denominada Cerro Awichu (abuelo) y de las estructuras antiguas de los volcanes Mundo Nuevo, Cumbal y Punta Vieja.

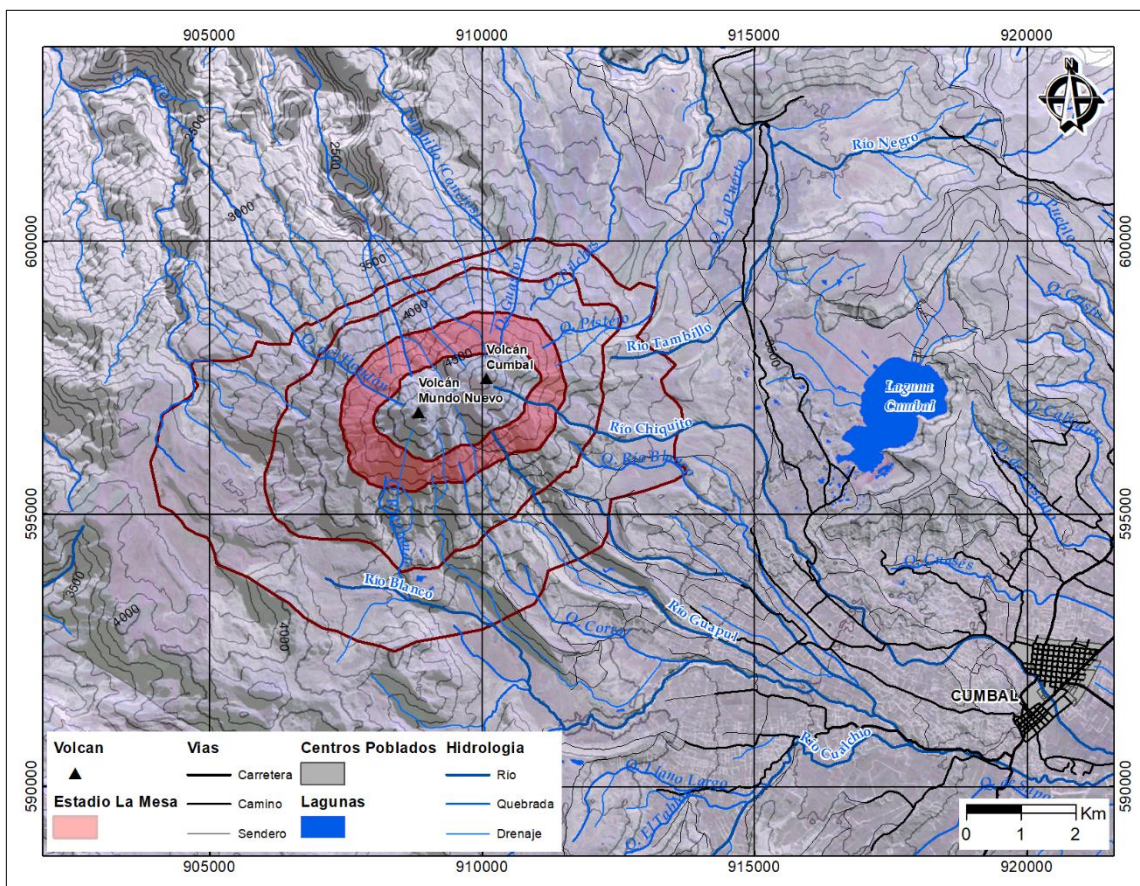
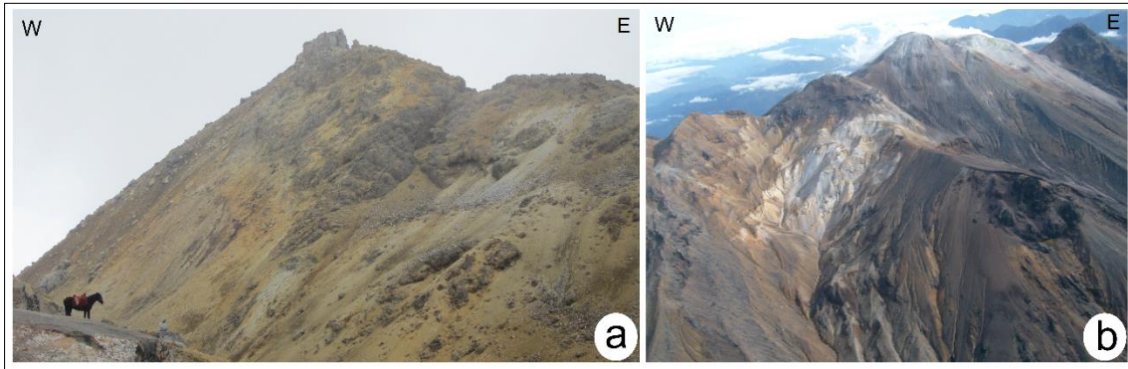


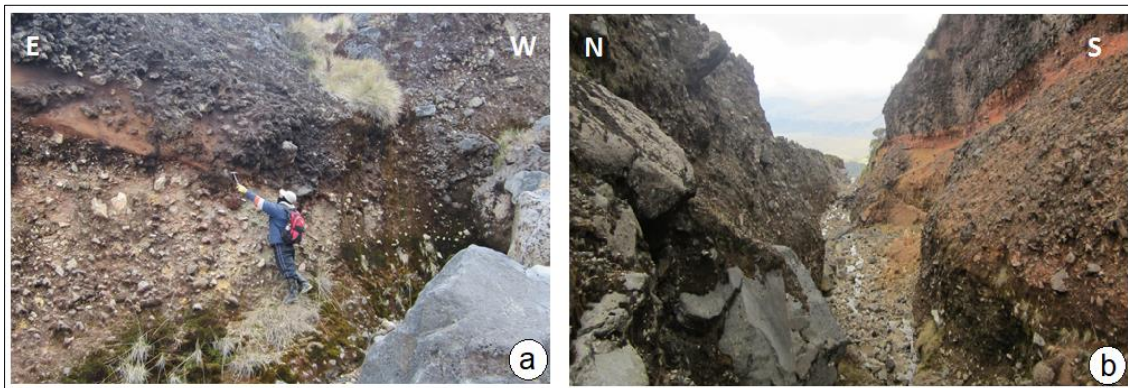
Figura 4. Estadio La Mesa - Cumbal Viejo.

El Cerro Awichu se localiza enmarcado entre los volcanes Mundo Nuevo, Cerro La Teta y Nieve Vieja. De esta estructura, solo se conserva aproximadamente un 25% de su forma original, y en el terreno se observa lo que podría corresponder al fondo del cráter donde se presenta una fuerte alteración hidrotermal (Fotografía 4).



Fotografía 4. Cerro Awichu, a) Panorámica desde el volcán Mundo Nuevo y b) fotografía aérea. En ambas fotografías se aprecian depósitos de flujos de lava alterada y depósitos hidrotermalizados.

Además a este estadio, se asocia el depósito de CDP de escoria La Tinta y el depósito de avalancha de escombros del mismo nombre, los cuales se encuentran confinados preferencialmente a lo largo de las quebradas La Hedionda y La Tinta y sus afloramientos más representativos se pueden apreciar en el cruce del camino que conduce al volcán Mundo Nuevo con estas quebradas (Fotografía 5).



Fotografía 5. Depósito de CDP La Tinta, a) y b) Imágenes del depósito sobre la cuenca de la quebrada La Hedionda. Sector SE del CVC.

2.1.4 Estadio Cumbal Actual

Esta estructura se formó al finalizar el volcanismo del Estadio La Mesa o Cumbal Viejo, por encima de este antiguo volcán, por lo tanto continuando con la misma dirección hacia el nororiente NE (Figura 5). La estructura actual del CVC, con la manifestación geomorfológica de los conos activos de los volcanes Cumbal y Mundo Nuevo, Punta Vieja, Cerro La Teta y Nieve Vieja (Fotografía 6).

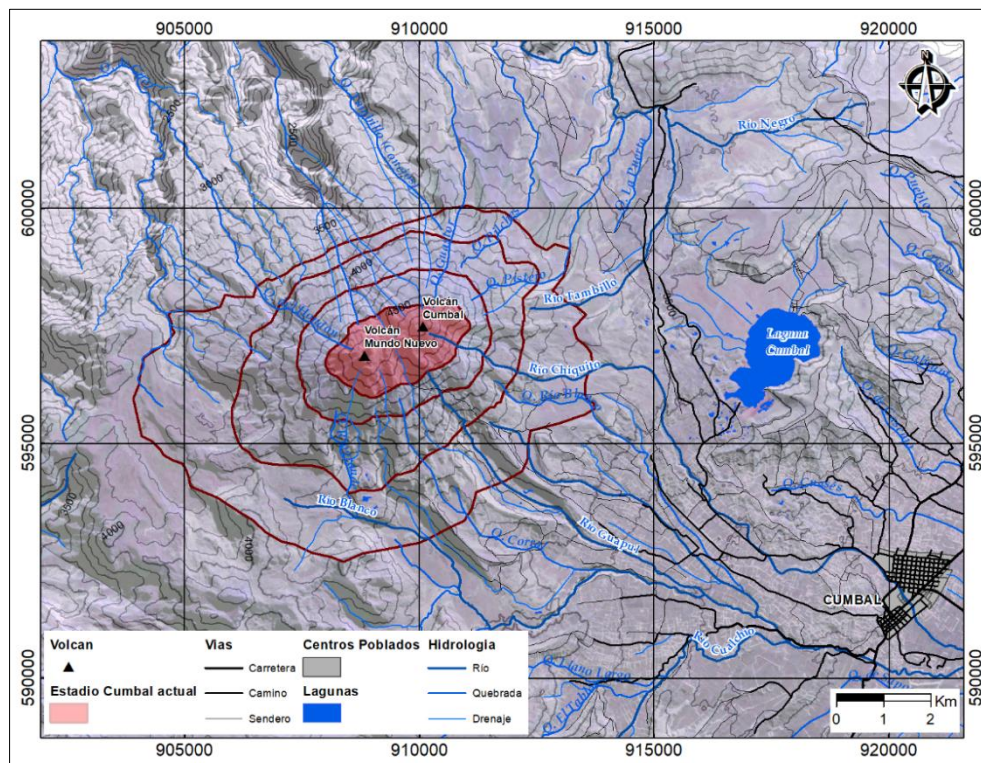
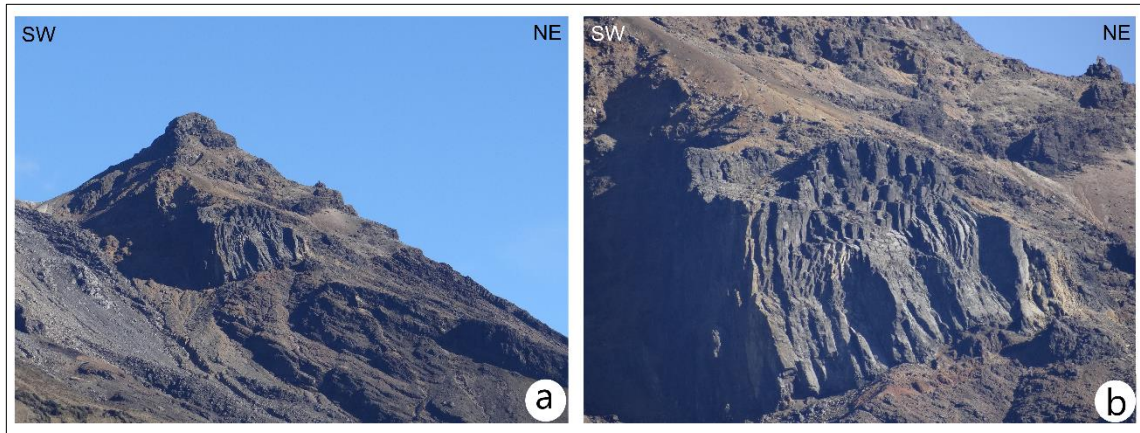


Figura 5. Estadio Cumbal Actual.



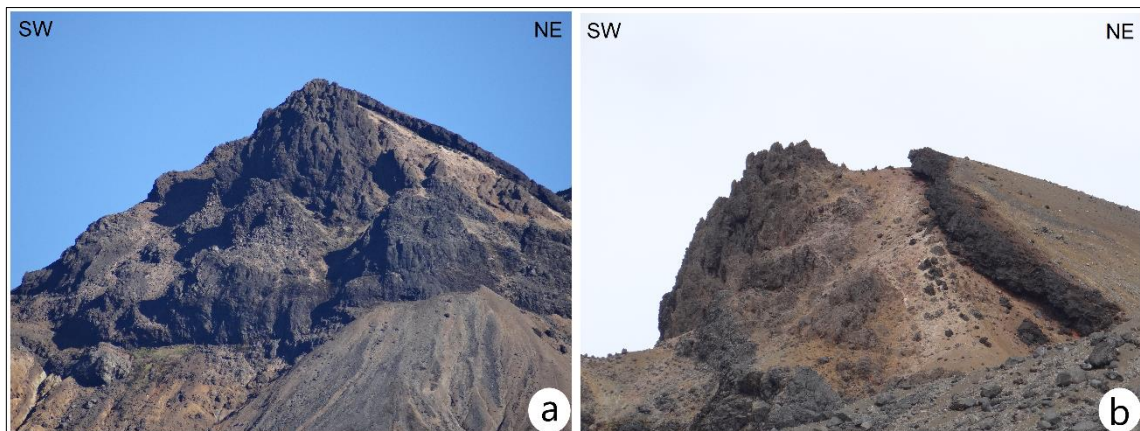
Fotografía 6. Panorámica del estadio Cumbal Actual, con sus volcanes asociados.

El volcán Punta Vieja es una estructura dómica, que se encuentra localizada en la parte más al nor-noriente N-NE del CVC. Su edificio corresponde a un domo volcánico, de forma cónica, al cual no se le observa cráter o punto de emisión. En una posible primera fase de depositación, las lavas tienen características columnares (Fotografía 7).



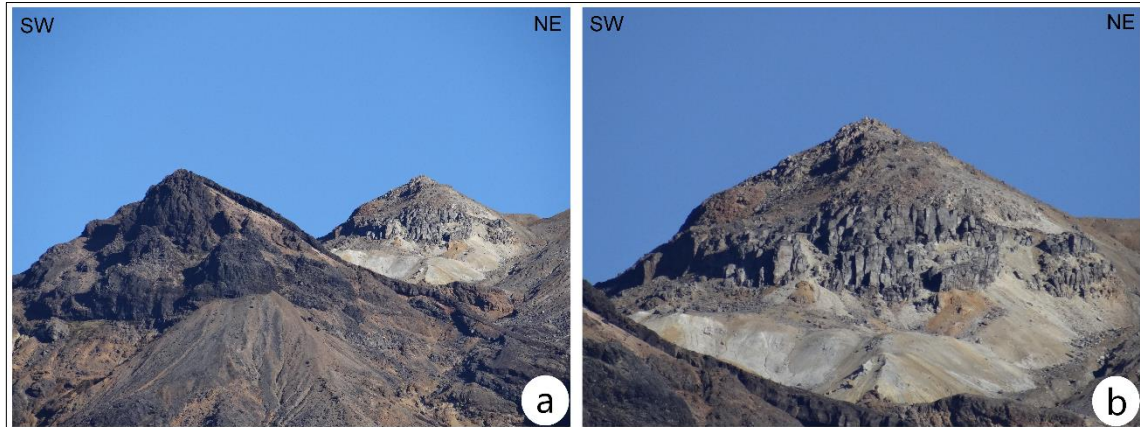
Fotografía 7. Volcán Punta Vieja, a) Panorámica del volcán; b) Detalle de las lavas columnares ubicadas en la base del volcán.

El volcán Cerro La Teta, corresponde a un domo que se encuentra en la parte central del CVC. Tiene forma casi cónica, desplazada ligeramente hacia el suroriente de la línea de tendencia del complejo; resalta sobre esta estructura, un depósito de CDP (flujo de escoria), que fue originado en el volcán Cumbal, que se ha denominado “El Poncho”, el cual le otorga una morfología particular al domo (Fotografía 8).



Fotografía 8. Volcán Cerro La Teta, a) Panorámica del volcán; b) detalle del depósito de CDP de escoria “El Poncho” que suprayace el volcán.

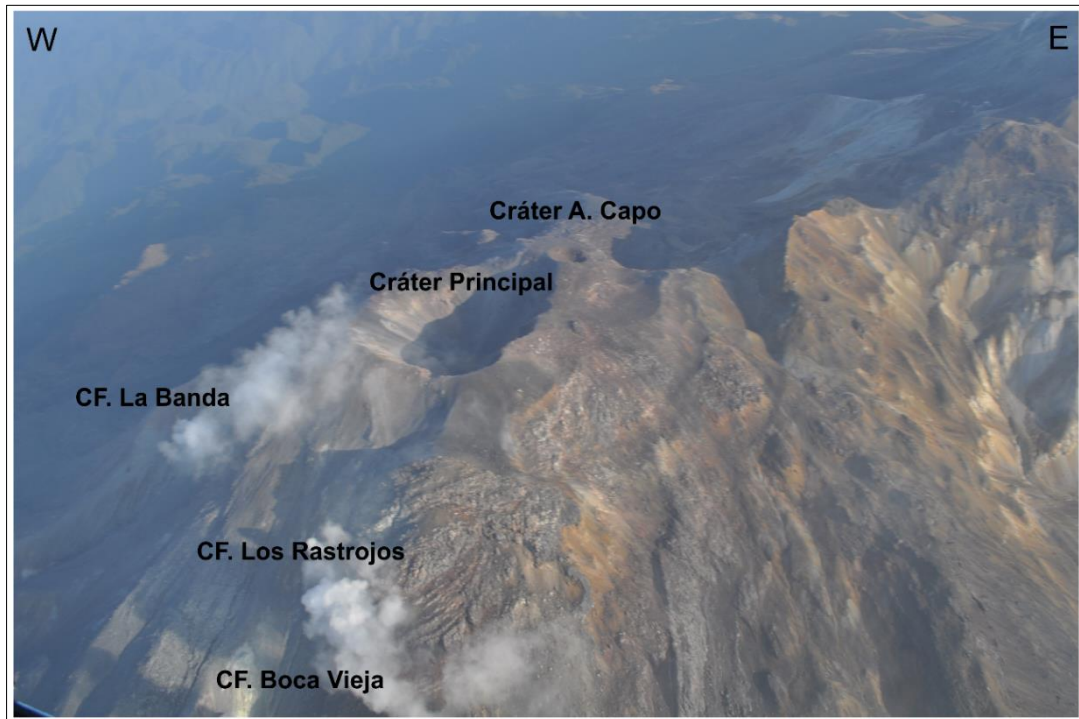
El volcán Nieve Vieja, es un foco de emisión en forma dómica, de aproximadamente 200 m de diámetro. Se observa que no ha sido fuertemente afectada por acción del glaciar, ni por depósitos de las erupciones de los volcanes adyacentes, indicando que es una estructura relativamente nueva (Fotografía 9).



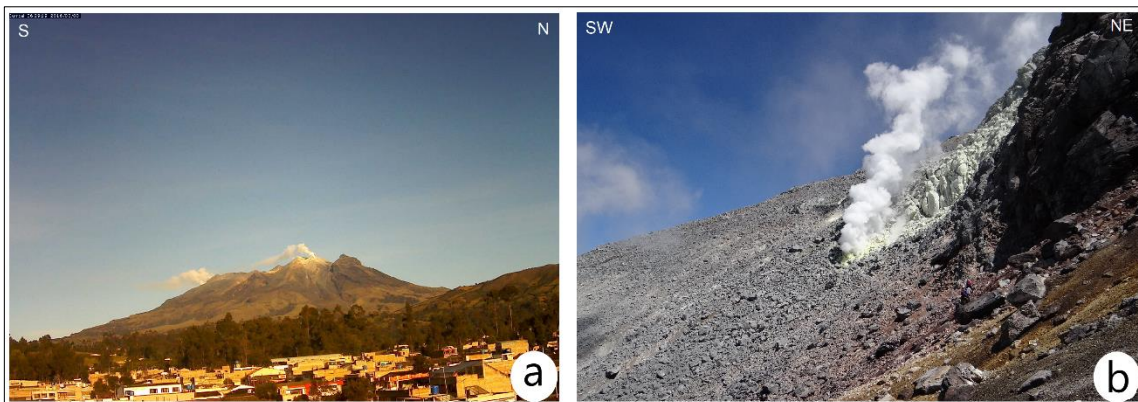
Fotografía 9. Volcán Nieve Vieja, a) Panorámica y b) detalle del volcán.

El volcán Mundo Nuevo, está localizado en la parte más al sur de todo el Complejo Volcánico, siendo considerado actualmente uno de los dos volcanes activos del Complejo. Tiene una altura máxima de 4690 m s. n. m., y posee un cráter principal con un diámetro de 200 m, además, cuenta con un cráter adventicio claro denominado Capo y posiblemente dos cráteres no muy definidos, posiblemente afectados por acción glaciar (Fotografía 10). Los depósitos de las erupciones originadas en este volcán corresponden fundamentalmente a flujos de lava masivos de composición andesítica.

Es importante resaltar que una de las manifestaciones de la actividad actual, es la presencia de tres campos fumarólicos denominados: Los Rastrojos, Boca Vieja y Las Bandas y una fuente termal denominada Gualgüeros. Estos campos fumarólicos, presentan de manera constante emisión de gases de origen volcánico y depositación de cristales de azufre nativo. Estas columnas de vapor, en ocasiones son de gran magnitud, observables aun desde el casco urbano del municipio de Cumbal (Fotografía 11). Así mismo, se registra la ocurrencia de alguna actividad sísmica de baja intensidad.



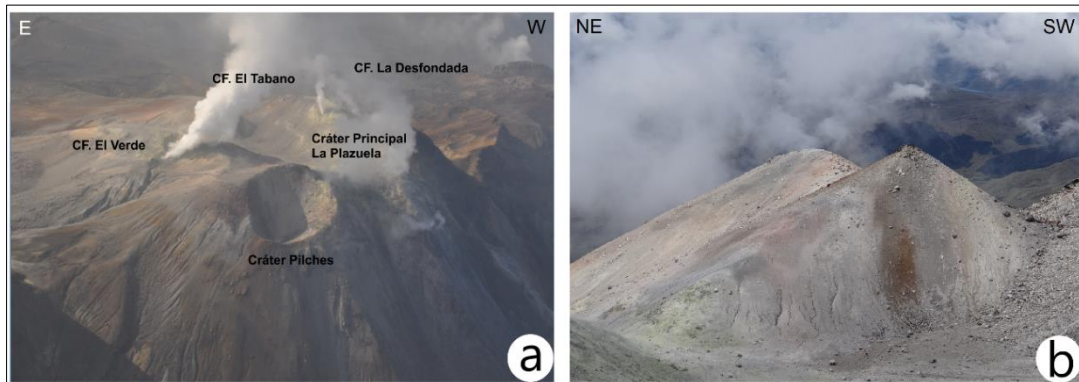
Fotografía 10. Panorámica del volcán Mundo Nuevo, con el cráter principal y cráteres adventicios (fotografía aérea SGC - OVS Pasto).



Fotografía 11. Manifestaciones de actividad superficial, a). Panorámica del CVC, desde el casco urbano del municipio de Cumbal, donde se observan las columnas de gases y vapor de agua de los campos fumarólicos; b) Campo fumarólico Rastrojo Alto, del volcán Mundo Nuevo.

El volcán Cumbal, está localizado al norte del complejo volcánico, y es considerado actualmente el más activo de los volcanes del complejo. Tiene una altura máxima de 4741 m s. n. m., y posee un cráter principal denominado La Plazuela, con un diámetro de 250 m, abierto al suroriente SE; un cráter adventicio

denominado El Pilches, ubicado hacia el noroccidente NW del cráter principal; además, cuenta con seis campos fumarólicos denominados: El Tábano, La Desfondada, La Rea, Los Humeros, La Cueva y El Verde (Fotografía 12a). Al costado suroriental SE del cráter principal, se tiene un domo volcánico, denominado Domo Bajo, con una altura en su parte superior de 4670 m s. n. m., este domo se emplazó posterior al colapso del cráter principal (Fotografía 12b).



Fotografía 12. Volcán Cumbal, a) Cráter La Plazuela, cráter adventicio El Pilches y campos fumarólicos; b) Domo bajo en el cráter La Plazuela.

El campo fumarólico El Verde, con una área aproximada de 1000 m², presenta el mayor grado de actividad de todos los campos fumarólicos arriba mencionados, con una alta emisión de vapor de agua y gases volcánicos, alcanzando temperaturas máximas hasta 370 °C (Torres, 1997) y en marzo de 2012, alcanzó temperaturas de 122 °C (Castellanos, 2012), (Fotografía 13).



Fotografía 13. Campo fumarólico El Verde, al nororiente del cráter La Plazuela en el Volcán Cumbal.

2.2 REGISTRO PREHISTÓRICO Y HISTÓRICO

Hasta la fecha solo hay dos historias sobre el Cumbal que podrían relacionarse con las vivencias prehistóricas de la región, pero ambas son de publicación muy reciente.

Narváez (2003) relata una historia sobre *Pigsarán* los volcanes ubicado en la comarca de los Pastos y donde se le asigna al “...volcán Cumbal un color café, hermano de los volcanes Chiles y el Galeras, muy tranquilo pero que de pronto empezaba a dar pedradas a lo que había en la planicie...” (¿erupciones?) y en una de ellas “...había una gran destrucción. Bohíos arrasados, cosechas perdidas, grandes piedras desperdigadas por toda la planicie...”.

Alpala (2006) relata la formación del río Blanco como un regalo del cacique Cumbé, tomado de las alturas del volcán Cumbal, que bajo su descripción se podría corresponder a la ruptura y actual abertura del cráter de La Plazuela, lugar donde nace el río Blanco.

Las primeras anotaciones, con algún registro de carácter geológico del Complejo Volcánico Cumbal, las realiza Alexander von Humboldt en su recorrido por la región en 1801 (ACCEFYN, 1982), cuando menciona “...por la mañana tuvimos una bella vista de Chillanquer, Azufral y de los nevados Cumbal y Chiles, tres elevados colosos montañosos que se extienden de norte a sur y limitan la parte plana de la provincia de los Pastos, hacia el occidente”, posteriormente continua diciendo “Azufral hay varios pequeños cráteres, cuyo humo no se puede distinguir desde la lejanía (como el humo del Cumbal)” y luego “los habitantes de los alrededores tienen más preocupaciones del Azufral que del mucho más elevado y humeante Cumbal. El volcán Cumbal está conectado con el Chiles mediante un espinazo montañoso. Esa cuchilla es tan elevada que cuando cae mucha nieve, el Cumbal y el Chiles forman una cadena nevada ininterrumpida. Fueron infructuosos los intentos de medir esas montañas”. Más adelante menciona “El volcán tiene cerca de la cumbre varias aperturas pequeñas y una muy profunda, cerca de la zona con vegetación; todas expelen mucho humo y eso en cualquier época del año. Cuando cabalgábamos de Guachucal a Carlosama, el volcán se descubrió totalmente durante un cuarto de hora y vimos subir una columna de humo entre las puntas de los picachos; ascendía seguramente un tercio más alto que toda la montaña” (p.161).

Su aporte en la actividad volcánica del Cumbal lo realiza al relatar “Ninguna tradición cuenta que el Cumbal haya tenido alguna erupción. Solo se ve el humo y su cantidad siempre es la misma”.

Boussingault (1849;1903) pasa por la región del volcán Cumbal y arriba al municipio de Cumbal el día 24 de Junio de 1830 a las 11 horas y asciende a la cima del volcán al otro día (25 de junio) a las 7:30 am; cuando llega a la cima menciona “...A mediodía llegué a la cúpula, se podría decir que a la tonsura del volcán, después de haber subido penosamente durante dos horas, que parecieron larguísimas (altitud del volcán 4.167 metros, temperatura del aire 4,4°). En el límite inferior de las nieves, la altitud era de 4.484 metros, el cráter se halla a 2.532 metros por encima de la población de Cumbal). La cúpula tenía numerosas fisuras en todas direcciones, orificios de donde salía ácido sulfuroso, mezclado sin duda con ácido carbónico y vapor acuoso, cuando la temperatura era suficientemente elevada, porque entonces el azufre volatilizado y el gas sulfhídrico entraba en combustión. Cuando la temperatura es más baja, el ácido sulfhídrico que no se quema, no produce ácido sulfuroso, de manera que la plata puesta en la corriente, se negrea. Se notaban espacios circulares de donde el gas y chorros de vapor salían en mayor cantidad y sobre los que había fragmentos de traquita escoriificados y corroídos, era suficiente enterrar un bastón en el piso para que salieran llamas y arriba del sitio donde yo me hallaba, por el lado sur, se veían elevarse torbellinos de vapor que al principio tomé por niebla, pero el viento lo trajo hacia nosotros y el olor del ácido sulfuroso fue tal, que tuvimos que alejarnos para evitar asfixiarnos..”

En el desarrollo de la Comisión Corográfica de la Nueva Granada, Manuel María Paz (1853) elabora una infografía de los volcanes Cumbal y Chiles que se podrían considerar (hasta el momento) en la primera imagen del volcán Cumbal y en donde se puede apreciar que desde esa fecha el volcán presenta una permanente columna de vapor emitida desde el cráter La Plazuela, del volcán Cumbal Actual (Figura 6).

Codazzi (1890), realiza el Atlas Geográfico e Histórico de la República de Colombia y en la Carta XVI elabora el “Corte geológico de algunas montañas de Colombia”, que consta de tres perfiles del territorio colombiano y en ellos ubica a algunos de los volcanes como si estuvieran en estado de erupción, entre ellos al volcán Cumbal (Figura 7).

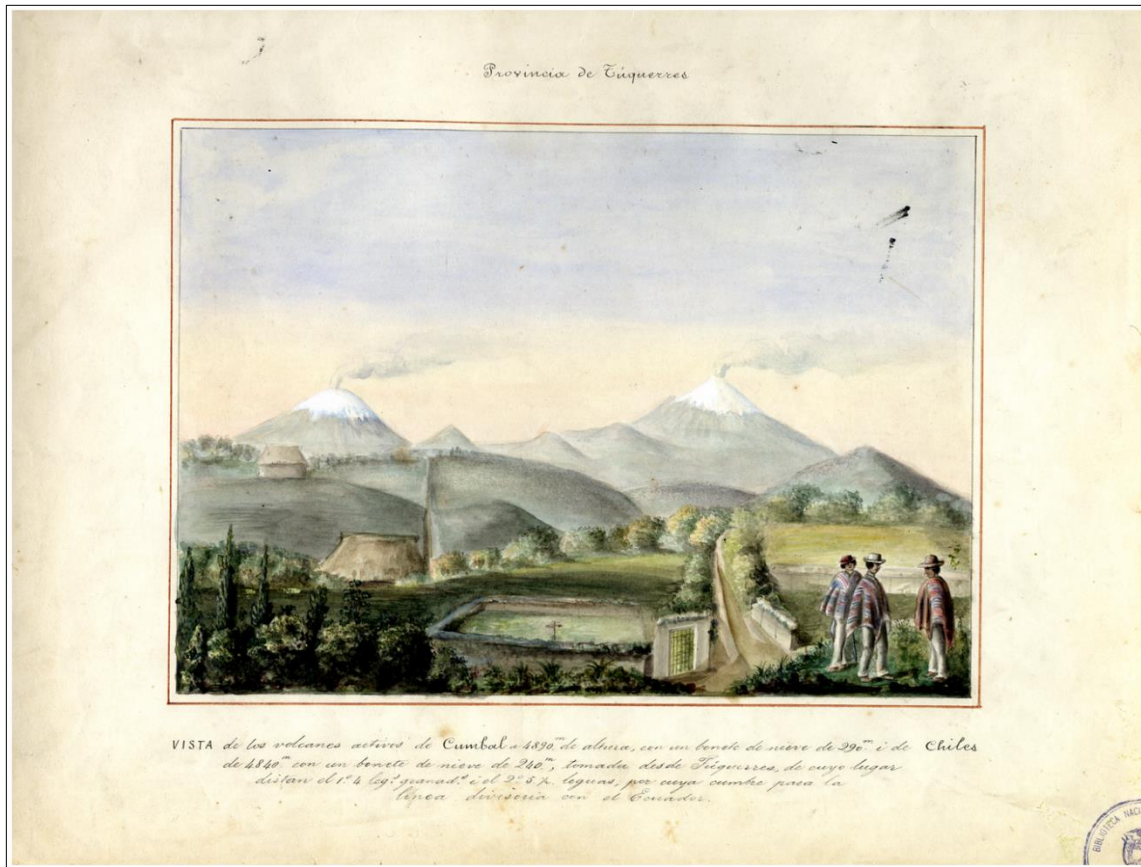


Figura 6. Vista de los volcanes activos de Cumbal (derecha) y Chiles (izquierda), Provincia de Túquerres. Acuarela de Manuel María Paz (1853).

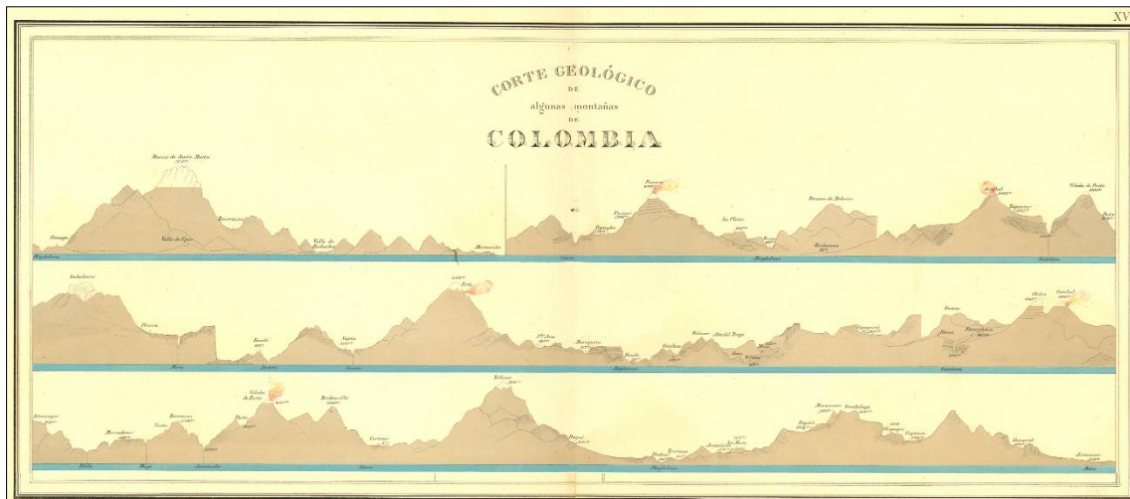


Figura 7. Detalle del Corte geológico y ríos navegables de Colombia. Carta XVI del Atlas geográfico e histórico de la República de Colombia (Codazzi, 1890).

En el Papel Periódico Ilustrado (1883) se transcriben apartes de las notas de Boussingault y Roulin sobre el volcán Cumbal y presenta en la página 305 una ilustración del volcán elaborada por “Greñas”, donde se le observa completamente nevado hasta prácticamente su base (Figura 8) y que fue elaborada desde el sitio de La Cruz, en la población de Cuaspud, localizada al SE del volcán. Se observa en esta infografía que no aparece la columna de vapor tradicional en el volcán.

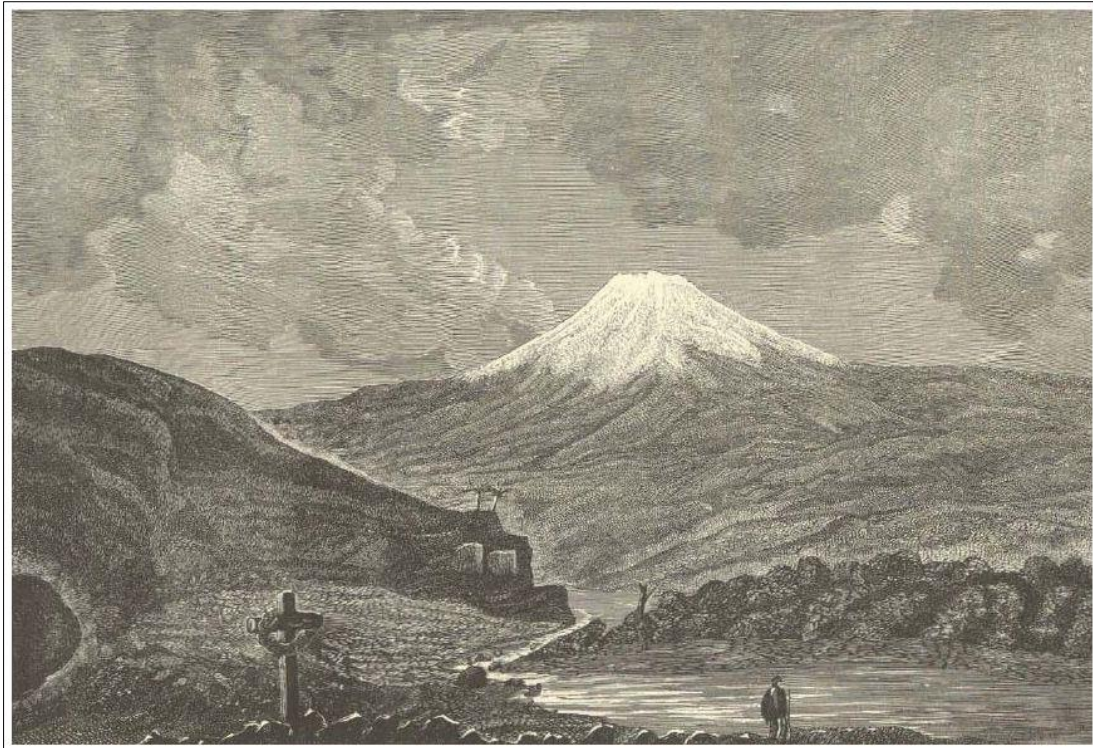


Figura 8. Ilustración del volcán Cumbal, Papel Periódico Ilustrado (1883).

Vergara & Velasco (1901) describen “...A lo lejos, y hacia el SW., a cuatro y cinco leguas, se presentan en toda su belleza los nevados volcanes de Cumbal y Chiles, que bañados por los rayos del sol, hacen brillar sus cendales de nieve y lanzan al espacio sus penachos de humo que devoran los vientos del E...” (Figura 9). Utilizan la ilustración de Manuel María Paz de 1853, sin hacer la referencia del autor, ubicada como ilustración de la Comisión Corográfica.



Figura 9. Ilustración de los volcanes Cumbal (derecha) y Chiles (izquierda) en 1853 publicada en Vergara y Velasco (1901).

Hönsch (1996), recopila la correspondencia de los viajes de investigación de Alphons Stübel por Sudamérica (1868 - 1877), y una de ellas es la escrita el 15 de abril de 1870 donde Stübel menciona su viaje a la cima del volcán Cumbal y las características de las manifestaciones volcánicas allí encontrada “... Ese día ascendí al costado suroriental del volcán Cumbal y mandé instalar las carpas a 3.900 metros de altura. A la mañana siguiente parecía querer despejarse la parte alta del volcán, lo que me hizo decidir a escalar, inmediatamente después de la salida del sol, el trayecto que nos faltaba hasta la cumbre. No es difícil alcanzar el punto más alto que sobresale de las colosales masas de nieve, pues un estrecho peñasco rocoso libre de nieve, que es calentado por una fumarola, permite el paso. Según el barómetro nos encontrábamos a una altura de 4.770 metros muy cerca de la cumbre, pero tuvimos que regresar, ya que el clima se puso completamente imposible. No se podía ver a más de cinco pasos adelante, y el viento frío congelaba la ropa ya húmeda. Pasamos una noche más en el campamento para podernos orientar al día siguiente desde donde estábamos, si el tiempo era mejor. Pero esta esperanza sólo se pudo cumplir muy parcialmente. Un día después arribé al pueblo de Cumbal y me di a la tarea de ascender a la parte suroccidental del mismo volcán, donde inmediatamente debajo de la zona de nieve, una fumarola activa produce peculiares formaciones sulfurosas. Ascendiendo sobre las planicies de nieve, llegué a un gran cono del cráter, que se encuentra encerrado por fuertes rocas de hielo, mientras el suelo se compone de negras masas de traquita; este (último) llamativo fenómeno es producido por el calor que emiten las piedras. Si bien es algo muy interesante encontrar en estos volcanes poco conocidos detalles de esta clase, los mismos, sin embargo, desempeñan un papel subsidiario, en la tarea que nosotros estamos ocupados, esto es, describiendo las condiciones geológicas del terreno volcánico. Poco

después de volver de esta excursión que duró tres días (la región en las que están las fumarolas se llama "El mundo nuevo"), realicé un nuevo viaje a los volcanes de Chiles y Cerro Negro que me tomaron catorce días..."

Adicionalmente, Stübel (1906) deja plasmados una serie de dibujos mostrando los aspectos morfológicos del Complejo Volcánico Cumbal, desde diferentes puntos de observación, especialmente hay uno donde se observa un posible depósito de una avalancha de escombros (Figura 10), que al igual que Friedlander (1927), considera como producto de una "...erupción espantosa..."

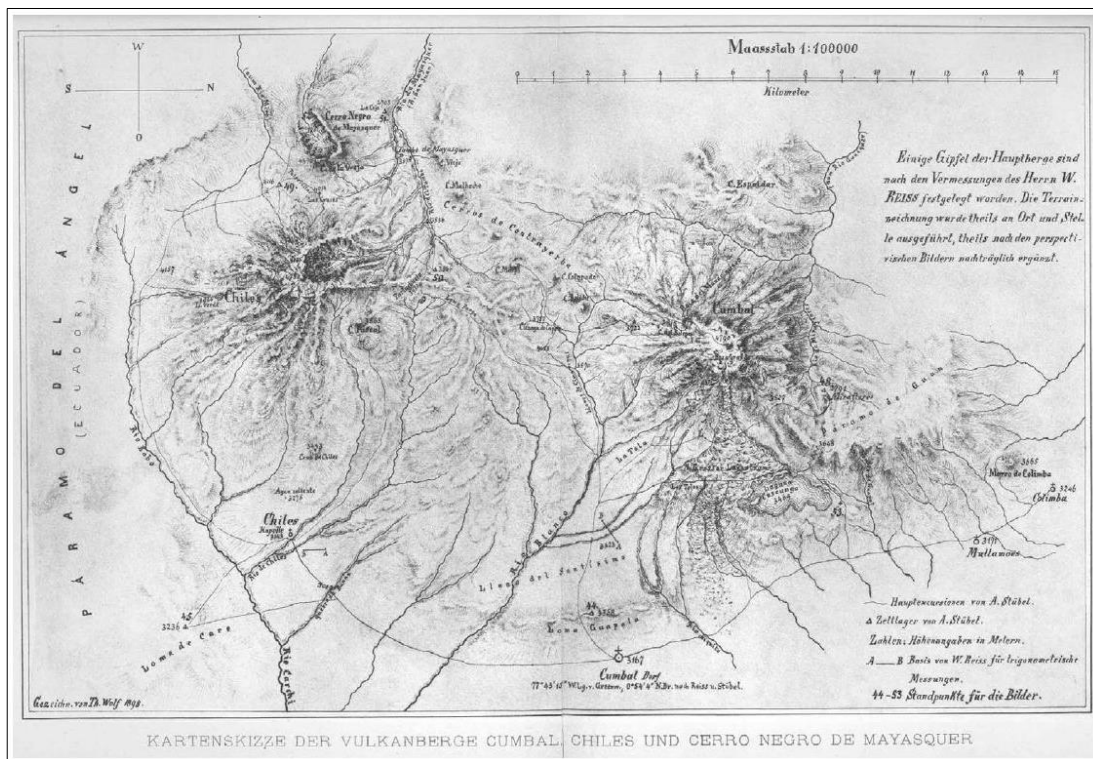


Figura 10. Mapa de los volcanes Cumbal y Chiles publicado en Stübel, 1906.

En una entrevista concedida a la revista Ilustración Nariñense, el vulcanólogo alemán Immanuel Friedlander (1936), realiza algunos comentarios sobre el "Estudio científico de algunos volcanes del sur de Colombia, 1927" (Friedlander, 1927) y algunas observaciones de la llamada Serranía de Colimba y menciona "...En este Distrito también hubo una erupción espantosa que dejó un enorme campo sembrados de inmensos bloques de piedra. (Llano de piedras). Por motivo del terremoto del 14 de diciembre de 1923, fue destruido completamente el pueblo de Cumbal el cual tratan de reedificar en mencionado valle de piedras. Esto me parece algo peligroso porque todas las anteriores erupciones se

vaciaron en esta dirección y no es imposible que temprano o tarde se repitan estos cataclismos. Aunque parece que este volcán está apagado he visto en diferentes puntos de él fumarolas que exhalan vapores de agua y de azufre especialmente en la cima que está cubierta de perpetuos glaciares...”

A partir de la década de los 50's del Siglo XX, se han realizado diferentes estudios enfocados a la cartografía geológica regional, y valoraciones de los campos fumarólicos, como aportes a las investigaciones de actividad volcánica y geotérmica.

3. AMENAZA VOLCÁNICA

Para la elaboración de este mapa, se parte de la definición adaptada y aplicada de amenaza, establecida en la Ley 1523 de 2012, donde se podría considerar la amenaza volcánica, como un *“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”* (Presidencia de la República de Colombia, 2012).

3.1 AMENAZA POR CORRIENTES DE DENSIDAD PIROCLÁSTICA (FLUJOS Y OLEADAS PIROCLÁSTICAS)

Las corrientes de densidad piroclástica 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 y por la destrucción gravitacional y explosiva de domos y flujos de lava. La mayoría de los flujos piroclásticos tienen dos partes: un flujo basal, de fragmentos gruesos que se mueven a lo largo de la superficie del suelo y una nube turbulenta de ceniza que se eleva por encima del flujo basal. La ceniza puede caer desde esta nube siguiendo la dirección del viento. Los flujos y oleadas piroclásticas destruirán todo a su paso y pueden causar: arrasamiento e incendio de los elementos expuestos en su trayectoria, cubrimiento y enterramiento del área expuesta, obstrucción de cauces, relleno de depresiones topográficas e interrupción de vías. Muerte o graves lesiones a las personas y animales por quemaduras e inhalación de ceniza y gases calientes y tóxicos. La probabilidad de sobrevivir al impacto de un flujo piroclástico es nula.

Las corrientes de densidad piroclástica afectarían las partes altas y laderas del CVC alcanzando la planicie hacia el suroriente SE, canalizándose por los drenajes de las quebradas Pilches, Pistejo, La Puerta, La Vieja, Río Blanco, Río Negro, Guapul, Limones, El Corral, Río Grande, Güel, Hondón, Conejos y Guastar; además de las quebradas y vertientes de los ríos Chiquito y Mulas y

podrían alcanzar distancias cercanas a los 10 km en ambos costados del CVC (Figura 11).

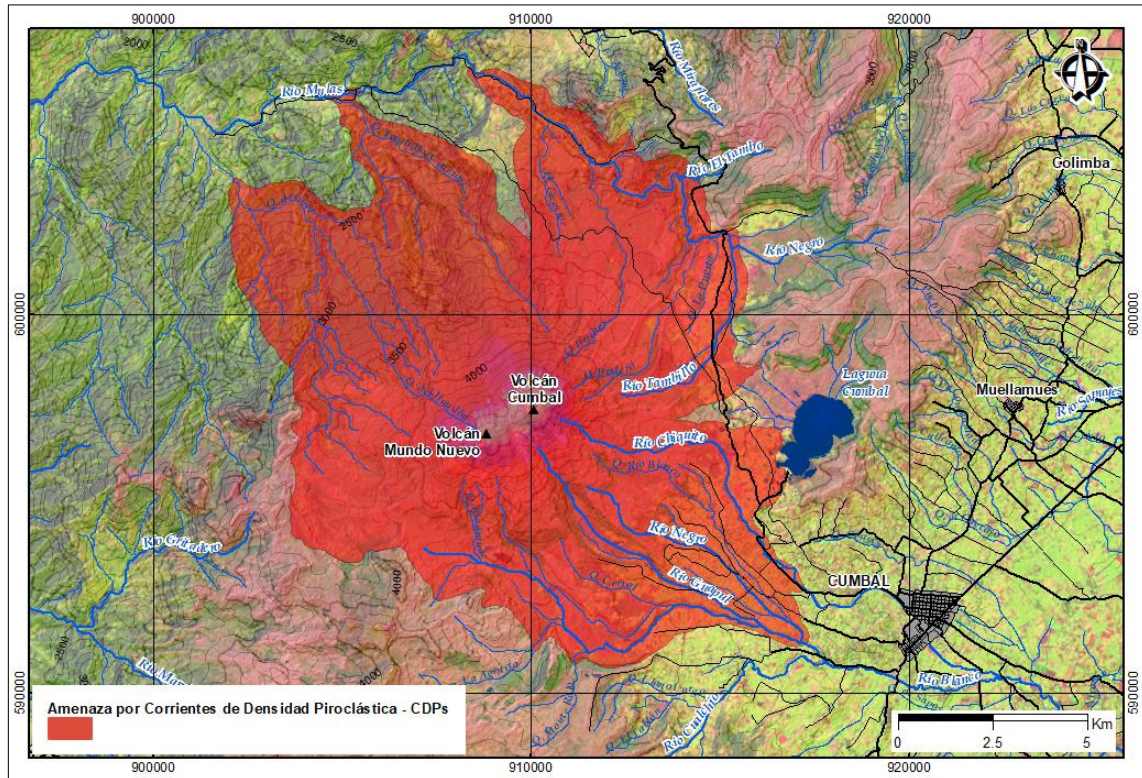


Figura 11. Amenaza por corrientes de densidad piroclástica (flujos y oleadas piroclásticas).

3.2 AMENAZA POR AVALANCHA DE ESCOMBROS

Las avalanchas de escombros, son grandes deslizamientos de roca del edificio volcánico que pueden suceder como resultado de la inestabilidad de sus laderas. Puede deberse al ascenso de material volcánico (magma - roca fundida en el interior del volcán) o a un fuerte sismo cercano. Algunas veces estos deslizamientos están acompañados por actividad magmática que causa explosiones dirigidas *blast* en la misma dirección del deslizamiento. Este fenómeno es muy violento, rápido, móvil y arrasa con todo lo que encuentran en su trayectoria, es importante anotar que estos eventos son muy poco frecuentes.

Las avalanchas de escombros afectarían las laderas del CVC y tendrían hacia el noroccidental NW un alcance de aproximadamente 10 km y en las otras direcciones, un avance cercano a 5 km (Figura 12).

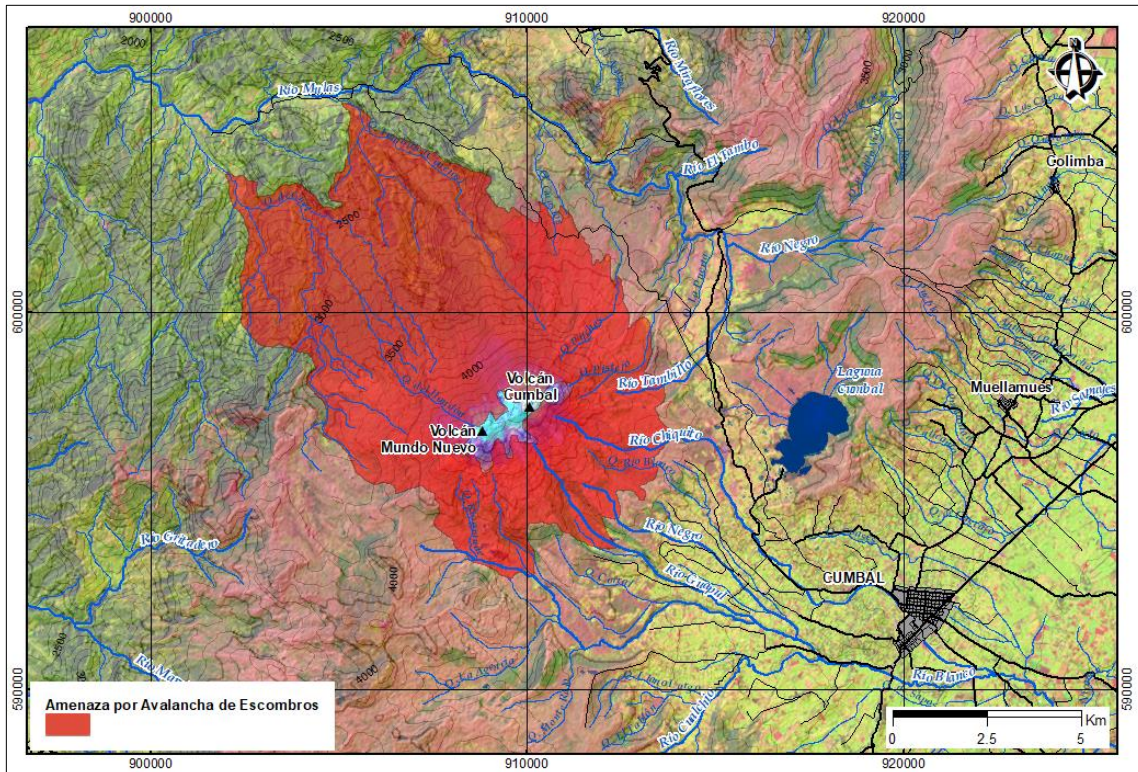


Figura 12. Amenaza por avalancha de escombros.

3.3 AMENAZA POR LAHARES

Los *lahares* corresponden a una mezcla de fragmentos de roca, arena, limo, arcilla, biomasa (vegetación, suelo, troncos de árboles arrastrados) y agua que se desplazan por los cauces de las quebradas y ríos ubicados en las laderas y planicies que circundan los volcanes. 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 m en diámetro. Los *lahares* van a variar dependiendo de la cantidad de material arrojado por el volcán y la cantidad de agua presente (fuertes lluvias, deshielo de glaciares y ruptura de lagos volcánicos) y pueden ser flujos de escombros o flujos hiperconcentrados. Estos tipos de flujos se pueden generar durante (primarios) o después (secundarios) de las erupciones volcánicas. Este fenómeno puede causar: arrasamiento, cubrimiento y destrucción de bosques, cultivos, vías y construcciones existentes a lo largo de su trayectoria (como puentes, casas e infraestructura); enterramiento y aislamiento de grandes extensiones de terreno; represamiento de los ríos y quebradas, lo que pueden generar inundaciones en las zonas planas cercanas al volcán. Por su velocidad y su energía, un *lahar* es un fenómeno muy peligroso

y la probabilidad de sobrevivir a su impacto directo es mínima.

Los *lahares* en el CVC, se generan en la cima descendiendo por las laderas, para encauzarse en las diferentes cuencas; hacia el noroccidente, los lahares avanzan por el río Mulás y quebradas aledañas, desembocando al río Guiza, afectando parte rural de los municipios de Ricaurte y Barbacoas, recorriendo distancias de hasta 70 km. Al suroriente, los flujos avanzan hacia la cuenca del río Blanco hasta alcanzar el río Carchi, recorriendo distancias de hasta 40 km, afectando los municipios de Cumbal y zonas rurales de Carlosama, Aldana e Ipiales (Figura 13).

Debido al posible trayecto de los *lahares* por el casco urbano del municipio de Cumbal (río Chiquito), donde, es necesario realizar estudios detallados sobre el comportamiento y el grado de afectación de estos flujos, que contemplen análisis hidrológicos detallados que conlleven a describir mejor la dinámica de éste fenómeno en zonas urbanas. Es importante mencionar que los resultados presentados están desarrollados a escala regional sin grado de detalle.

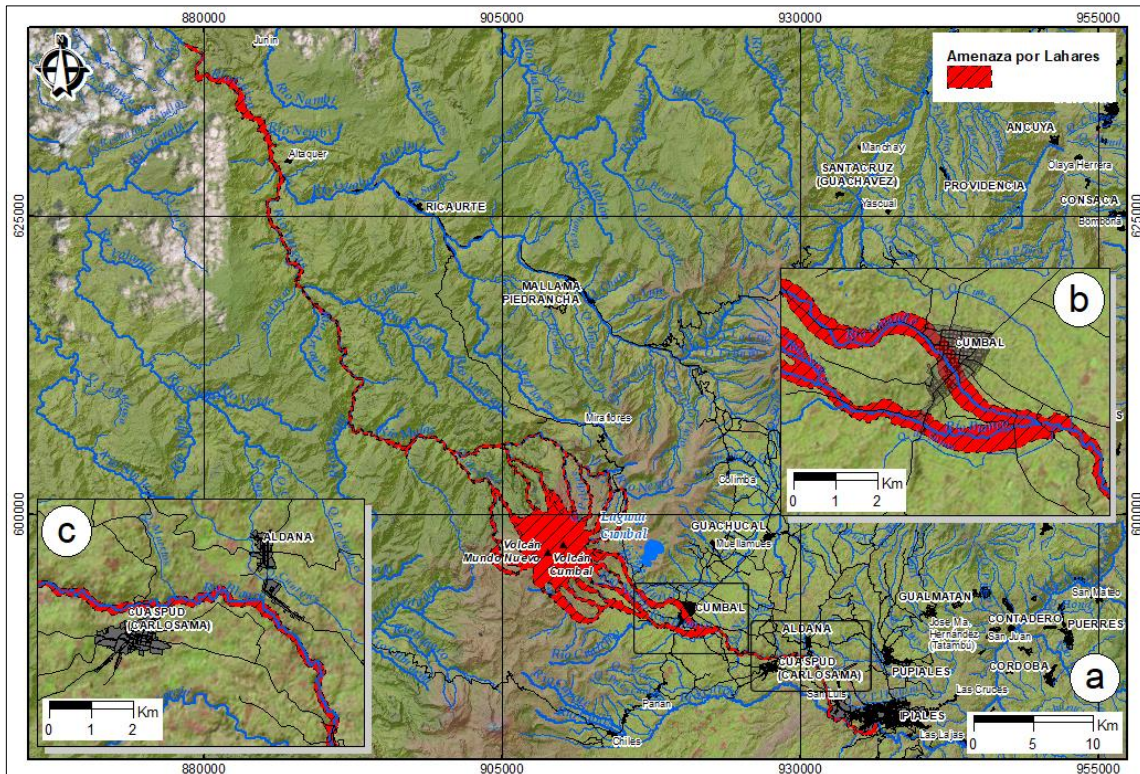


Figura 13. Amenaza por *lahares*. a) Zona de influencia por lahares en las inmediaciones del CVC; b) Detalle de la amenaza en los sectores del casco urbano y Pueblo Viejo del municipio de Cumbal c) Detalle de la amenaza en cercanías del casco urbano de Cuaspud (Carlosama).

3.4 AMENAZA POR CAÍDA DE PIROCLASTOS

Como consecuencia de las erupciones explosivas los volcanes expiden a la atmosfera partículas fragmentadas (piroclastos) que de acuerdo a su tamaño se conocen como: ceniza (menor de 2 mm), *lapilli* (2 a 64 mm) y bloques y bombas (mayor de 64 mm). La caída de piroclastos se clasifica en: transportados eólicamente y proyección balística.

3.4.1 Amenaza por caída de piroclastos transportados eólicamente

La ceniza y la *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, la distribución de los piroclastos dependerán de la dirección y velocidad del viento predominante; a medida que se aleja de la fuente, el espesor depositado disminuye al igual que el tamaño del fragmento de roca. Las caídas de piroclastos pueden causar: oscurecimiento del ambiente, infecciones e irritación en la visión y vías respiratorias de personas y animales, intoxicaciones y alergias, cubrimiento y enterramiento de infraestructuras y viviendas, obstrucción de drenajes artificiales, colapso de techos y líneas de conducción eléctrica, corrosión de elementos metálicos, pérdida parcial o total de vegetación, cultivos y ganado, contaminación de fuentes de agua, tormentas eléctricas y afectación al transporte aéreo y terrestre.

Los sectores con depósitos mayores a 10 cm de ceniza y lapilli, podrían afectar las zonas rurales del municipio de Cumbal, desde la cima del CVC, hasta sectores en los cuales se encuentran algunos territorios de los Resguardos Indígenas, llegando a alcanzar algunas zonas de la provincia del Carchi (Ecuador). Además, el material acumulado en contacto con el agua lluvia puede ser removilizado y podría generar lahares; los sectores con depósitos entre 1 y 10 cm de ceniza y lapilli, podrían afectar las zonas rurales y algunos territorios de los Resguardos Indígenas de los municipios de Cumbal, Guachucal, Mallama y Ricaurte. Puede llegar a alcanzar algunos sectores de las provincias del Carchi e Imbabura (Ecuador) y los sectores con depósitos entre 0,5 mm y 1 cm de ceniza y lapilli, que podrían afectar las cabeceras municipales de Cumbal, Piedrancha y Ricaurte; además, zonas rurales de los municipios de Cumbal, Guachucal, Mallama, Ricaurte, Barbacoas y Tumaco, donde estarían incluidos algunos territorios de Resguardos Indígenas. Puede llegar a alcanzar algunos sectores de las provincias del Carchi, Imbabura y Esmeraldas (Figura 14).

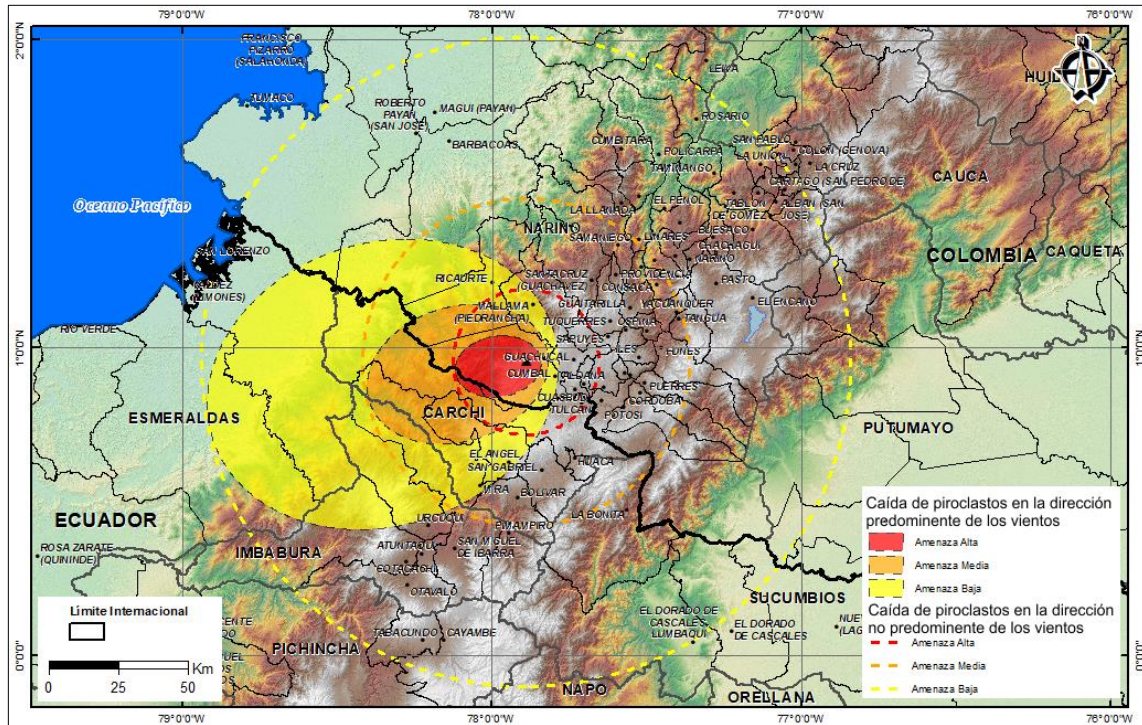


Figura 14. Amenaza por caída de piroclastos transportados eólicamente.

3.4.2 Amenaza por caída de piroclastos por proyección balística

Las bombas y los bloques (diámetro desde 64 mm hasta métricos) son expulsados con trayectorias parabólicas desde el cráter a diferentes velocidades (de decenas a centenares de metros por segundo). Por lo general su distribución está restringida a zonas cercanas al cráter cubriendo distancias menores a 10 km. Estos pueden causar destrucción de viviendas, construcciones e infraestructura, muerte o lesiones graves a seres vivos por impacto directo, además de incendios de viviendas y en la cobertura vegetal. Los proyectiles balísticos afectarían una zona de aproximadamente 5 km en todas las direcciones del edificio, que comprenden las partes altas de las laderas de las veredas Cuetial, Cuaical y Tola Alta (Figura 15).

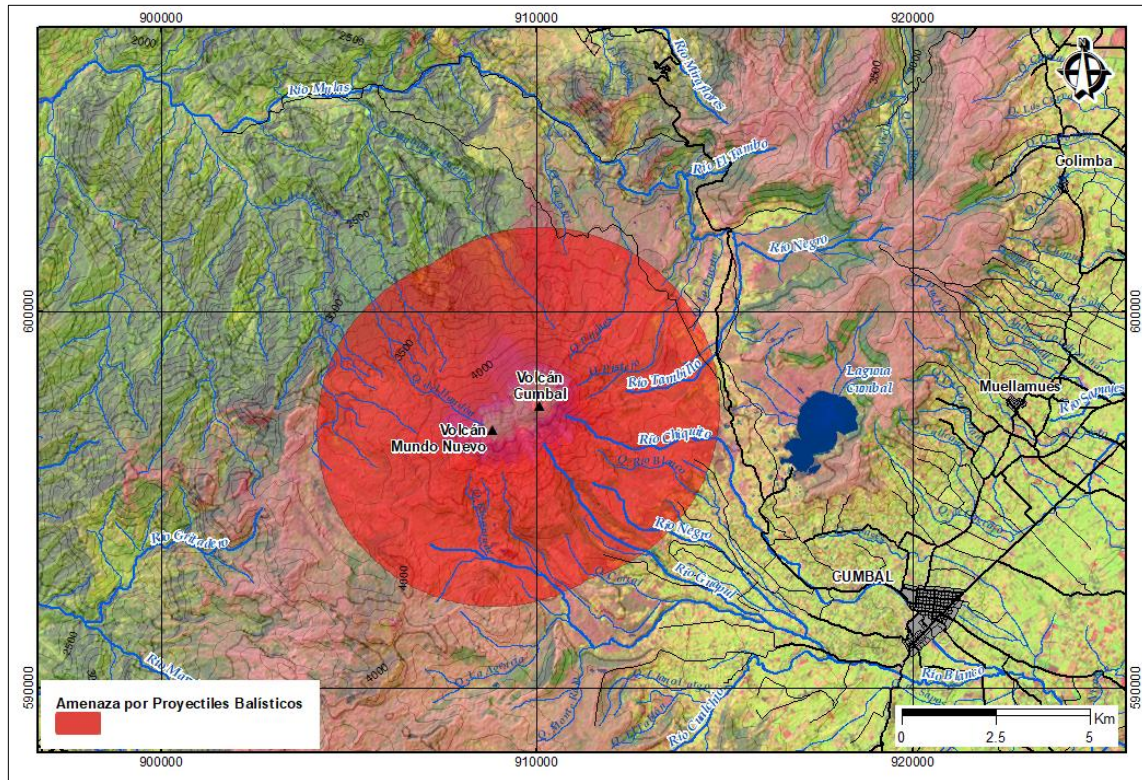


Figura 15. Amenaza por caída de piroclastos por proyección balística.

3.5 AMENAZA POR FLUJOS DE LAVA

Los flujos de lava son corrientes de roca fundida a muy altas temperaturas, que son emitidas por el cráter o por grietas en los flancos del volcán, su velocidad y alcance dependen de la composición, así como del relieve. Existen lavas viscosas y fluidas: las viscosas presentan baja velocidad y muy poca área de cobertura, rara vez se extienden a más de 8 km desde los focos de emisión; las lavas fluidas por el contrario pueden extenderse hasta decenas de kilómetros desde el foco de emisión.

Cuando las lavas son muy viscosas se acumulan en los centros de emisión formando montículos escarpados o cúpulas conocidos como domos de lava, que al enfriarse llegan a obstruir el cráter. Estos pueden explotar o colapsar generando flujos piroclásticos y en algunas ocasiones por deshielo y lluvias se forman lahares. 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.

Los flujos de lava descenderían por las laderas de las quebradas Río Grande, La Vieja, Guapul, Güel, Hondón y Conejos, además de las quebradas y vertientes de los ríos Chiquito y Mulás, con un avance alrededor de 3,5 km (Figura 16).

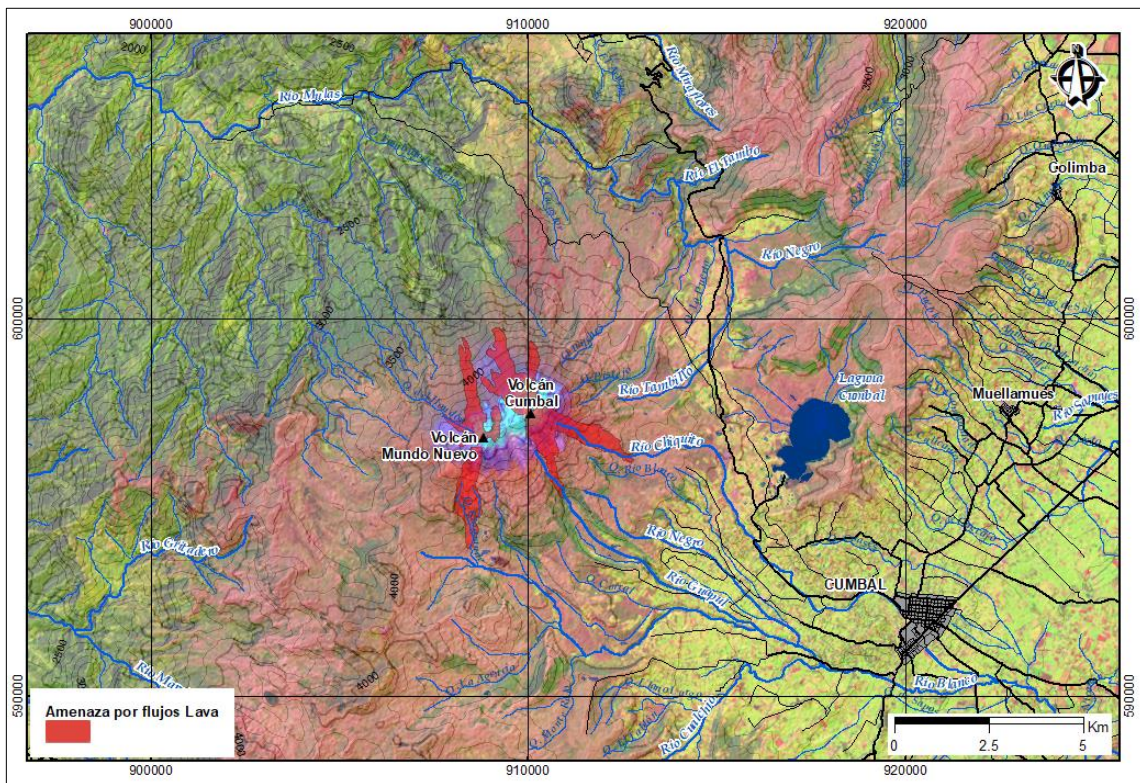


Figura 16. Amenaza por flujos de lava.

3.6 OTRAS AMENAZAS

En las erupciones volcánicas se producen otros eventos que generan amenazas pero que no son establecidos como zonas específicas en el mapa de amenaza; estas amenazas pueden ser:

- 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 de personas y animales, destrucción de vegetación y cultivos. La mezcla agua de lluvia con estos gases pueden generar “lluvias ácidas”, que pueden llegar a ser peligrosas en exposiciones prolongadas.

- **Ondas de Choque:** Es el empuje de aire comprimido que se propaga a una velocidad mayor que la del sonido originado en la explosión de una erupción volcánica; pueden causar vibración y rompimiento de ventanas, fisuras en paredes y líneas vitales y afectación en las personas y animales, según su cercanía.
- **Sismo Volcánico:** Los sismos generados por la actividad interna de un volcán se pueden presentar antes, durante y después de una erupción, son de magnitudes pequeñas a medianas, generalmente registrados por instrumentos diseñados para tal fin, pero pueden llegar a ser sentidos por las personas aún a varios kilómetros de distancia. Los sismos volcánicos pueden ocasionar daños menores o inclusive colapso en viviendas y construcciones, daños en caminos, acueductos y en algunos casos agrietamientos y movimientos en masa.


4. ZONIFICACION DE LA AMENAZA VOLCÁNICA

Este mapa representa la interpretación de la evaluación de la amenaza, resultado de la integración de los registros geológicos que permiten conocer los diferentes eventos de origen volcánico (Méndez *et al.*, en preparación) y su posibilidad de ocurrencia, así como también el resultado de simulaciones computacionales (Muñoz *et al.*, 2014), considerando posibles focos de emisión los cráteres actuales activos de La Plazuela y Mundo Nuevo, algunos campos fumarólicos y las estructuras volcánicas de Cerro Awichu, Nieve Vieja, Punta Vieja y Cerro La Teta.

La información contenida en el mapa y explicada en esta memoria, es de carácter estrictamente referencial, para ser usado solamente como un insumo en la gestión del riesgo asociado al CVC y no debe ser considerado como un mapa de vulnerabilidad ni de riesgo volcánico.

Los límites entre las diferentes áreas de amenaza (líneas punteadas) en ningún modo representan límites absolutos, sino que se deben considerar como zonas transicionales. Frente a la ocurrencia de otros fenómenos y/o eventos extremos poco frecuentes no contemplados en este mapa, así como la ocurrencia en focos de emisión diferentes a los contemplados anteriormente, se requiere de investigaciones e inclusiones adicionales.

- **ZONA DE AMENAZA ALTA**

 Corresponde a la zona que sería afectada por la mayoría y más destructivos de los eventos volcánicos como los flujos de lava, corrientes de densidad piroclástica (flujos y oleadas piroclásticas), Caída piroclástica (proyectiles balísticos y transporte eólico), lahares y avalancha de escombros. Los flujos de lava descenderían por las laderas de las quebradas Río Grande, La Vieja, Guapul, Güel, Hondón y Conejos, además de las quebradas y vertientes de los ríos Chiquito y Mulas, con un avance alrededor de 3,5 km. Las corrientes de densidad piroclástica afectarían las partes altas y laderas del CVC alcanzando la planicie hacia el suroriente (SE), canalizándose por los drenajes de las quebradas Pilches, Pistejo, La Puerta, La Vieja, Río

Blanco, Río Negro, Guapul, Limones, El Corral, Río Grande, Güel, Hondón, Conejos y Guastar; además de las quebradas y vertientes de los ríos Chiquito y Mulas y podrían alcanzar distancias cercanas a los 10 km en ambos costados del CVC. Los proyectiles balísticos afectarían una zona de aproximadamente 5 km en todas las direcciones del edificio, que comprenden las partes altas de las laderas de las veredas Cuetial, Cuaical y Tola Alta. Las avalanchas de escombros afectarían las laderas del CVC y tendrían una distribución con mayor alcance (10 km) hacia el sector noroccidental y un avance cercano a los 5 km en otras direcciones.



Corresponde a las zonas que serían afectadas por *lahares*, partiendo desde la cima del CVC afectando todas las laderas, para encauzarse posteriormente por las diferentes cuencas. Por la del noroccidente (NW) a través del río Mulas y quebradas que nacen en el edificio volcánico, desembocando al río Guiza, afectando parte rural de los municipios de Ricaurte y Barbacoas, recorriendo distancias de hasta 70 km. Al suroriente (SE) por los drenajes que nacen en el volcán, hacia la cuenca del río Blanco y por este hasta alcanzar el río Carchi, recorriendo distancias de hasta 40 km, afectando al municipio de Cumbal, y zonas rurales de Carlosama, Aldana e Ipiales.



Corresponde a la zona con depósitos mayores a 10 cm de ceniza y *lapilli*, que podrían afectar las zonas rurales del municipio de Cumbal, desde la cima del CVC, hasta sectores en los cuales se encuentran algunos territorios de los Resguardos Indígenas, llegando a alcanzar algunas zonas de la provincia del Carchi (Ecuador). Además, el material acumulado en contacto con el agua lluvia puede ser removilizado y podría generar lahares.

- **ZONA DE AMENAZA MEDIA**



Corresponde a la zona afectada principalmente por caída de piroclastos con depósitos entre 1 y 10 cm de ceniza y *lapilli*, que podrían afectar las zonas rurales y algunos territorios de los Resguardos Indígenas de los municipios de Cumbal, Guachucal, Mallama y Ricaurte. Puede llegar a alcanzar algunos sectores de las provincias del Carchi e Imbabura (Ecuador).

- **ZONA DE AMENAZA BAJA**



Corresponde a la zona afectada principalmente por caída de piroclastos con depósitos entre 0,5 mm y 1 cm de ceniza y *lapilli*, que podrían afectar las cabeceras municipales de Cumbal, Piedrancha y Ricaurte; además, zonas rurales de los municipios de Cumbal, Guachucal, Mallama, Ricaurte, Barbacoas y Tumaco, donde estarían incluidos algunos territorios de Resguardos Indígenas. Puede llegar a alcanzar algunos sectores de las provincias del Carchi, Imbabura y Esmeraldas (Ecuador).

En la Figura 17 se observa una imagen del mapa de la zonificación de la amenaza del CVC y el mapa original se anexa en bolsillo. Así mismo la memoria y el mapa de amenaza del Complejo Volcánico Cumbal, se pueden consultar de manera permanente a través de la página web del Servicio Geológico Colombiano en: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanCumbal/Paginas/generalidades-volcan-cumbal.aspx>

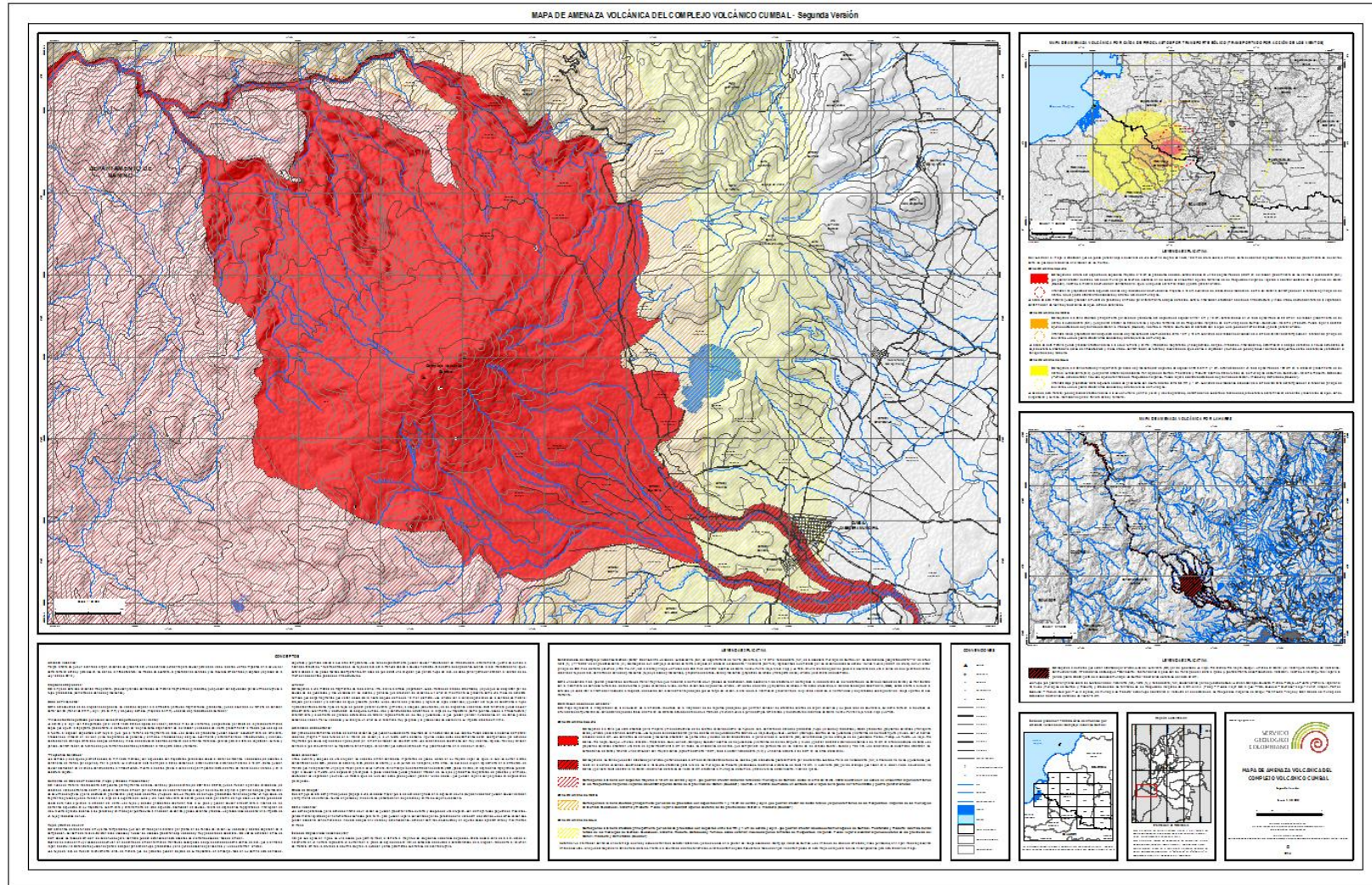


Figura 17. Imagen del mapa de amenaza volcánica del Complejo Volcánico Cumbal – segunda versión 2014.

Mapa de Amenaza Volcánica del Complejo Volcánico Cumbal – Segunda versión
Memoria explicativa

CONCLUSIONES

El Complejo Volcánico Cumbal hasta el momento no cuenta con ningún registro de la ocurrencia de alguna erupción desde tiempos precolombinos, solamente ha mantenido una constante y voluminosa columna de vapor de agua y gases volcánicos.

Para la construcción de la segunda versión del mapa de amenaza del Complejo Volcánico Cumbal, se tomó como base la primera versión del mapa de 1988, aunado a diversos trabajos de carácter geológico realizados hasta la fecha.

El Complejo Volcánico Cumbal, está conformado por cuatro estadios que conforman los respectivos edificios volcánicos, denominados: Casita Solitaria, Liadero Viejo o Pre-Cumbal, La Mesa o Cumbal Viejo y Cumbal Actual.

El Estadio Cumbal Actual conformado por los volcanes de Mundo Nuevo, Cerro La Teta, Nieve Vieja, Cumbal y Punta Vieja; siendo los volcanes Mundo Nuevo y Cumbal los de mayor actividad en la actualidad.

Herramientas de simulación computacional, fueron utilizadas como insumo para el establecimiento de zonas que estarían expuestas a los eventos volcánicos.

La zonificación de la amenaza en el mapa como alta, media y baja, son el resultado de la superposición de las áreas que podrían ser afectadas por los diferentes eventos de origen volcánico, teniendo como factor fundamental la capacidad de daño q podría tener cada uno de esos eventos sobre el territorio expuesto.

Los límites entre las diferentes áreas de amenaza (líneas punteadas) en ningún modo representan límites absolutos, sino que se deben considerar como zonas transicionales. Frente a la ocurrencia de otros fenómenos y/o eventos extremos poco frecuentes no contemplados en este mapa, así como la ocurrencia en focos de emisión diferentes a los contemplados anteriormente, se requiere de investigaciones e inclusiones adicionales.

Los mapas de amenaza volcánica (incluido el del Complejo Volcánico Cumbal) deben ser actualizados si hay modificaciones en la morfología, topografía, estilo

eruptivo o focos de emisión como los considerados en la elaboración de los mapas.

Es de suma importancia que las autoridades competentes, hagan las gestiones necesarias para que esta información llegue a toda la comunidad en general, a través de campañas de socialización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALPALA, J. (2006). El Cacique Cumbe. Cerros Mágicos: Historias Vivas del Pueblo de los Pastos. Libro Ilustrado de Mitos y Leyendas del Pueblo de los Pastos. 2 p. Pasto.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES – ACCEFYN. (1982). Alexander von Humboldt en Colombia. Extractos de sus diarios. Publicismo y Ediciones. 163 p. Bogotá.
- BOUSSINGAULT, J. B. & ROULIN. (1849). Viajes científicos a los Andes ecuatoriales. Traducción J. Acosta. 322 p. Paris.
- BOUSSINGAULT, J. B. (1903). Memoires de J.B. Boussingault. Tome Cinquieme (1830-1832). Typographie Chamerot et Renouard. 373 p. Paris.
- CASTELLANOS, A. J. (2012). Informe Mensual de Geoquímica de los volcanes Galeras, Cumbal y Azufral marzo de 2012. Servicio Geológico Colombiano. Informe Interno. Inédito. 32 p. Pasto.
- CEPEDA, H., ACEVEDO, A.P. & LESMES, L.E. (1987). Características químicas y petrográficas de los volcanes Azufral, Cumbal y Chiles – Cerro Negro, Colombia, S.A. INGEOMINAS, Medellín, 26 p.
- CODAZZI, A. (1890). Atlas Geográfico e Histórico de la República de Colombia. https://commons.wikimedia.org/wiki/Agustin_Codazzi_Atlas_de_Colombia_1890
- CUELLAR, J. & RAMÍREZ, C. (1986). Descripción de los volcanes colombianos. Primer Simposio Internacional sobre Neotectónica y Riesgo Volcánico. Revista CIAF, 11, tomo II, 189 – 222.
- DAUBENY, C. (1848). A description of active and extinct volcanos, of earthquakes, and termal springs. Richard and John E. Taylor. 743 p. London.

- DE LOS RÍOS, A. J. (1925). Hechos y documentos acerca de la fundación de la nueva ciudad de Cumbal; año de 1925. 31 p. Cumbal (Nariño).
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE), (2011). Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020. Bogotá.
- DROUX, A. & DELOYE, M. (1996). Petrography and geochemistry of Plio-Quaternary Calc-Alkaline volcanoes of Southwestern Colombia. *Journal of South American Earth Science*, Vol. 9, Nos 1/2. pp. 21-41.
- ESPINOSA, A., (2001). Erupciones históricas de los volcanes colombianos (1500 - 1995). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No 16, 291 p., Santa Fe de Bogotá.
- FRIEDLAENDER, I. (1927). Über einige Vulkane Kolumbiens. Teil I. *Zeitschr. F. Vulkanologie X*, p. 159-172.
- FRIEDLAENDER, I. (1936). Estudio científico de algunos volcanes de Colombia. *Ilustración Nariñense*, No. 59, p. 6-10, Pasto.
- GORMAN, C. (1997). The constructive history and petrology of volcán Cumbal, Southern, Colombia. Tesis Master, Arizona State Univ., 116 p. Arizona.
- GUTIERREZ DE ALBA. (1871). Impresiones de un viaje a América. Tomo XII. Apéndice Maravillas y Curiosidades de Colombia. 169 p.
- HANTKE, G. & PARODI, A. (1966). Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields. Parte XIX Colombia, Ecuador and Perú. IAVCEI, 19, p. 11-18. Roma.
- HÖNSCH, I. (1996). Los viajes de investigación de Alphons Stübel por Sudamérica (1868 - 1877) a través de su correspondencia. En Banco de La Republica, Editor. *Tras las huellas: dos viajeros alemanes en tierras latinoamericanas*.
(<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/hue/hue3.htm>)
- HUBACH, (1954). Los yacimientos de azufre de las solfataras del volcán Cumbal (Departamento de Nariño). Instituto Geológico Nacional. Bogotá. 10 p.
- ICEL (1983). Proyecto geotérmico Chiles – Cerro Negro. Fase I etapa de prefactibilidad. Informe preliminar, 146 p. Bogotá.

- KOLLER, B. (1982). Results obtained from geological reconnaissance work on sulphur deposition associated with the volcanoes Puracé, Sotará, Department Cauca; the volcanoes Galeras, Azufral, Cumbal, Chiles, Department Nariño, Colombia. INGEOMINAS, 25 p. Bogotá.
- LEWICKY, J., FISCHER, T. & WILLIAMS, S.N. (2000). Chemical and isotopic compositions of fluids at Cumbal volcano, Colombia: evidence for magmatic contributions. Bulletin of Volcanology, vol. 62, 347 –361 p.
- MÉNDEZ, R., NARVÁEZ, P y MUÑOZ, C. Reevaluación de la geología del Complejo Volcánico Cumbal, Departamento de Nariño (Colombia). En preparación.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD y TERRITORIO. (2014). Decreto 1807 DE 2014, Diario oficial de la República de Colombia. No 49.279.
- MONSALVE, M. L. & MÉNDEZ, R. (1988). Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Complejo Volcánico del Cumbal. Convenio INGEOMINAS – Gobernación de Nariño, informe interno 2028. 18 p. Popayán.
- MONSALVE, M. L. & MÉNDEZ, R. (1992). Volcanes activos de Colombia. III Curso Internacional Planeación Territorial y Desastres Naturales. Manizales.
- MONSALVE, M. L. & BECHON, F. (1993). Aspectos vulcanológicos y geoquímicos del volcán Cumbal. VI Congreso Colombiano de geología. 9 p.
- MUÑOZ, C., MÉNDEZ, R. y NARVÁEZ, P. (2014). Implementación de herramientas computacionales para la simulación de fenómenos volcánicos, como soporte en la actualización del Mapa de Amenaza Volcánica del Complejo Volcánico Cumbal, Segunda versión. Servicio Geológico Colombiano, 168 p. San Juan de Pasto.
- NARVÁEZ, Y. (2003). Pigsarán. ISBN 9978-80-776-4. Editorial Ecuador F.B.T. 43 p. Quito (Ecuador).
- NÚÑEZ, A., PULIDO, O. (1986). Volcanes de Colombia. Un breve recuento. En: Ecología de un desastre. SENA. 35-56 p. Ibagué.

- PAPÉL PERIÓDICO ILUSTRADO. (1883). Volumen 2, No 43. 5 de julio de 1883. 297 -312 p. Bogotá.
- PAZ, M. M. (1853). <http://www.banrepcultural.org/blog/noticias-de-la-actividad-cultural-del-banco-de-la-rep-blica/impresiones-de-un-viaje-am-rica-un>
- PÉREZ, F. (1883). Geografía general, física y política de los Estados Unidos de Colombia y geografía particular de la ciudad de Bogotá. Imprenta de Echeverría Hermanos, Bogotá. 455 p.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA (2012). Ley 1523 de 2012, Sistema Nacional de Gestión del Riesgo.
- RAMÍREZ, C. (1982). El Vulcanismo Neógeno y Cuaternario En Colombia: Cronología y Caracterización Químico-Petrográfica. Tesis de grado, 165 p. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- RAMÍREZ, J. E. (1975). Historia de los terremotos en Colombia, 2 ed. IGAC. 250 p. Bogotá
- RODRÍGUEZ, I. (1959). Estudios geográficos sobre el departamento de Nariño. Imprenta del departamento, Pasto, 174 p.
- SIMKIN, T., SIEBERT, L. MCLELLAND, L., BRIDGE, D., NEWHALL, C. AND LATTER, J.H. (1981). Volcanoes of the world. Smithsonian Institution. Hutchinson Ross. 232 p. Pennsylvania (USA).
- SMITHSONIAN INSTITUTION. (2014). Global Volcanism Program. Recuperado de <http://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=351100>.
- STÜBEL, A. (1906). Die Vulkanberge von Colombia. 154 Seiten, 3 Tafeln Karten, 53 Bildern. Verlag von Wilhelm Baensch. 154 p. Dresden.
- THOURET, J.C & VAN DER HAMMEN, T. (1981). Una secuencia holocénica y tardiglaciár en la Cordillera Central de Colombia. Aspectos geomorfológicos, pedológicos, palinológicos y paleo-ecológicos en el área del Parque Nacional Natural Los Nevados (Tolima, Risaralda). Revista CIAF, 6 (1-3): 609-634. Bogotá
- TORRES, C. R., (1997). Comisión a los volcanes del sur Cumbal – Azufral Departamento de Nariño. INGEOMINAS, informe interno CDA-412, Inédito. 34 p. Pasto.

VELÁSQUEZ, M & PARRA, E. (2002). Geología de las planchas 447 Ipiales y 447 bis Tallambi departamento de Nariño. Escala 1:100000. Memoria Explicativa. INGEOMINAS Medellín.

VERGARA & VELASCO. (1901). Nueva geografía de Colombia. Tomo I. 1004 p. Bogotá.