

MAPA PRELIMINAR DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL DEL VOLCAN PURACE

MARIA LUISA MONSALVE B.¹ y BERNARDO ALONSO PULGARIN A.¹

RESUMEN

El volcán Puracé es un estrato-volcán activo que hace parte de la cadena volcánica de Los Coconucos, en la Cordillera Central. Su actividad ha sido reportada a partir de 1801 y se han descrito desde 1827 al menos 15 erupciones históricas bien documentadas, que han causado daños materiales y pérdida de vidas; la última de ellas ocurrió en marzo de 1977.

Las descripciones de la actividad histórica muestran las emisiones de ceniza como los eventos más comunes de este volcán; sin embargo, el estudio geológico evidencia que su actividad más reciente ha dado como productos una gran variedad de material piroclástico, tanto de caída como de flujo, los cuales, a su vez, representan la amenaza más importante en erupciones futuras.

Eventuales erupciones con centro de emisión en el cráter central y características semejantes a las históricas y las observadas en el registro geológico, pueden afectar sectores que actualmente se encuentran poblados y con desarrollo económico, especialmente en su sector NW, tales como la mina de Azufre "El Vinagre" y la población de Puracé.

Estos sectores se muestran en un primer mapa preliminar de amenaza volcánica, escala 1:100.000, elaborado principalmente con base en informaciones obtenidas de trabajos de campo y de investigaciones de erupciones históricas.

INTRODUCCION

El volcán Puracé, un estrato-volcán andesítico, es uno de los más activos de Colombia, con erupciones históricas conocidas a partir de 1827. Su actividad y la reciente erupción de los volcanes Nevado del Ruiz y Galeras, han demostrado la importancia y necesidad de elaborar mapas de amenaza volcánica.

Ingeominas adelanta trabajos para la elaboración y la actualización de mapas preliminares de amenaza en diferentes volcanes activos de Colombia, entre ellos Nevado del Huila, Nevado del Tolima, Machín, Cumbal, Galeras, Nevado del Ruiz, Santa Isabel, Cerro Bravo y el aquí presentado, volcán Puracé; se tienen como proyectos, para un futuro cercano: Azufral, Doña Juana y Sotará.

OBJETIVO

El objetivo principal de este informe es explicar y presentar el Mapa Preliminar de Amenaza Volcánica Potencial del Volcán Puracé, determinando las áreas que pueden ser afectadas por una futura erupción volcánica, que tenga como foco de emisión el cráter actual del Puracé. Este primer mapa sirve como base para organizar planes de contingencia pertinentes a una eventual crisis volcánica y como herramienta de planificación en la infraestructura regional.

¹) INGEOMINAS, Oficina Regional Sur, Popayán.

METODOLOGIA

La metodología seguida para la elaboración del presente trabajo, consistió inicialmente en la recopilación y análisis de datos sobre erupciones históricas. Posteriormente se realizó un estudio fotogeológico del área del volcán, con el fin de reconocer estructuras y geoformas volcánicas. Se llevaron a cabo trabajos de campo que permitieron la diferenciación y localización de los productos volcánicos asociados al volcán Puracé, así como su relación estratigráfica, por medio de la cual se determinaron los depósitos recientes, cuyas características y distribución, conjuntamente con los datos históricos, sirvieron como base para la elaboración del presente mapa preliminar de amenaza volcánica en escala 1:100.000.

La actualización de éste mapa debe hacerse teniendo en cuenta los mecanismos eruptivos y la evolución geológica del volcán, lo cual se basa en estudios donde se incluyan datos petrográficos, geoquímicos y dataciones.

LOCALIZACION

El volcán Puracé se encuentra en el departamento del Cauca a 30 km al SE de la ciudad de Popayán en 02°22' de latitud N y 76°23' de longitud W.

Es el volcán más septentrional de la sierra volcánica de Los Coconucos en la Cordillera Central (Fig.1).

En él nacen los ríos Cocuy, San Francisco, Vinagre, Anambío y la quebrada Agua Blanca, los cuales vierten sus aguas al río Cauca.

POBLACION Y VIAS DE ACCESO

Las poblaciones aledañas al volcán y sus distancias aproximadas a él, en línea recta son:

Puracé, 10 km al NW.

Coconuco, 11,5 km al NW.

Paletar , 14,5 km al SW.

Santa Leticia, 25 Km al SE.

Popayán, 30 km al NW.

Otras veredas y sectores habitados cercanos al volcán son: Tabío, Pululó, Campamento, el sitio turístico de los termales de Pilimbalá, a menos de 10 km y el complejo de la mina de azufre "El Vinagre" a 4,5 km al NW del volcán. Además, en las laderas de éste, especialmente hacia los sectores de Puracé y Coconuco, se encuentran varias parcelaciones indígenas.

La población total comprendida en un radio de 35 km alrededor del volcán, en el cual está incluida la ciudad de Popayán, es aproximadamente de 200.767 habitantes, según el censo de 1985. (DANE, 1988).

El acceso al volcán Puracé se realiza por la vía Popayán-Puracé, desde allí se puede seguir el tramo mina El Vinagre-Base de Policía de Puracé y de allí a pie, hasta el cráter en un recorrido que toma alrededor de hora y media. Otra alternativa es tomando la misma carretera hasta las cabañas de Pilimbal y de allí tres horas a pie hasta la cima.

TRABAJOS ANTERIORES

ESTUDIOS GEOLOGICOS

El área volcánica de Puracé ha sido objeto, en épocas pasadas, de visitas de reconocidos naturalistas como son Humboldt, Boussingault y el sabio Caldas, entre otros, por quienes se conocen las primeras descripciones sobre diferentes aspectos de la región.

Estudios geológicos generales fueron realizados por Hubach y Alvarado (1932). Más recientemente, un estudio fotogeológico de la cadena volcánica de Los Coconucos que trata aspectos generales y morfológicos, fue realizado por Flórez en 1983.

Aspectos específicos sobre el volcán Puracé son tratados por Openheim (1950), Forero (1956), Hantke and Parodi (1966), Acosta (1980), Ramírez C. (1982) y Murcia (1982).

Estudios petrográficos sobre los productos volcánicos fueron realizados por Kuroda y París (1978) y Acevedo et al (1987).

Son varios los estudios que han desarrollado con fines económicos (azufre-prospección geotérmica), entre ellos se tienen los de Megyesi (1961), Koller (1983), ICEL (1983).

DATOS SOBRE ERUPCIONES HISTORICAS

En Espinosa (1988), se encuentran descripciones del volcán Puracé y su actividad en la época colonial: 1559-1560 y 1583. En ésta última fecha, Francisco Guillén Chaparro (en PATIÑO, 1983), describe la actividad de este volcán de la siguiente manera: "...El nacimiento del río de Cauca sale de junto a Popayán en la Sierra Nevada se deshace la nieve e hace crecer este río y revienta muy a menudo el volcán".

Después de esta fecha sólo se conocen descripciones del volcán Puracé a partir de 1801 hechas por Humboldt, quien hace alusión a su actividad fumarólica.

Otros observadores como Boussingault en 1830-1832 (En colección bibliográfica, Banco de la República 1985), Reiss (1935), Friedlaender (1927), Stubel (1906), Oppenheim (1950), White (1955) han dejado descripciones del volcán y de su actividad eruptiva.

Descripciones de las últimas erupciones fueron publicadas en los diarios del país, especialmente en El Liberal, diario local de Popayán; con circulación a partir de 1938 (ver Diario El Liberal en la bibliografía).

La última emisión de cenizas asociada al volcán Puracé ocurrió en 1977. En agosto de 1990 una pequeña emisión de cenizas en el área del Puracé fue observada por dos geólogos desde la ciudad de Popayán (INGEOMINAS, O.V.C. 1990), pudiendo ésta corresponder tanto a este volcán, como a algún otro de la cadena.

Recopilación de los datos sobre erupciones históricas son dadas por: Hantke and Parodi (1966), Ramírez (1975) y Espinosa (1988).

La Tabla 1, es una recopilación de la actividad histórica, según las fuentes anteriormente mencionadas; en ella se consideran solamente las erupciones más probables del Puracé, durante el período de 1801 a 1990.

Aunque los datos sobre las erupciones históricas en el Puracé no cubren un gran lapso, del análisis de estos datos se puede concluir que los períodos eruptivos de este volcán pueden durar algunos años y que el tiempo de reposo entre cada período es muy corto, variando entre 10 y 25 años en promedio.

TABLA 1: ERUPCIONES HISTORICAS DEL VOLCAN PURACE

FECHA	DEPOSTOS	DAÑOS	OBSERVACIONES	FUENTE
1.827 nov. 18	Flujo de lodo Lavas?	Materiales	Precedido y sucedido por temblores Explosión cráter central.	Boussingault (1831), (en memorias de Boussingault N° 5 Banco de La República, 1985), Megyesi (1961), Ramírez (1975), Oppenheim (1950), Vásquez (1984), Hantke and Parodi (1966).
1849 (49-52)	Flujo de lodo Cenizas	Materiales	Cenizas en Popayán y El Tambo	Ramírez (1975), Pérez Felipe (citado por varios autores), André (1825), Hantke and Parodi (1966), Megyesi (1961), Oppenheim (1950).
1869 octubre 4	Flujo de lodo Cenizas Flujos piroclásticos (pómez)	Materiales	Acompañado por temblores	Boussingault (en memorias de Boussingault N° 5 Banco de La República, (1985) Ramírez (1975), Oppenheim (1950), Hantke and Parodi (1966), White, (1955).
1878 agosto 31	Cenizas	?	Cenizas hasta Popayán	Ramírez (1975), Hantke and Parodi (1966), periódico El Zipa (sep. 1878, en Espinosa, 1988).
1885 mayo 25, 2 pm	--	Materiales Pérdida de vidas	Acompañado por temblor	Oppenheim (1950), Hantke and Parodi (1966), Castrillón, Vergara (en Espinosa, 1988).
1925 octubre 12 y nov. 5	--	?	--	Oppenheim (1950), Megyesi (1961), Hantke and Parodi (1966).
1926 sept.	--	?	--	Megyesi (1961), Oppenheim (1950), Hantke and Parodi (1966).
1941 agost. 13, 5 pm.	--	?	--	Diario El Liberal (Agosto 14-1941)
1946 marzo 29 y abril 2	--	Materiales	Precedido por temblor	Megyesi (1961), Oppenheim (1950), Hantke and Parodi (1966), Diario El Liberal (Marzo 30, 1946; abril 3, 1946), Castrillón (en Espinosa, 1988).
1949 mayo 26	--	Pérdida de vidas	--	Vásquez (1984), Megyesi (1961), Ramírez (1978), Oppenheim (1950), Hantke and Parodi (1966), Diario El Liberal (mayo 29, 1949).
1950 enero 10 y julio 26	--	?	--	Diario El Liberal (enero 11, 1950; julio 27, 1950).
1954 mayo	--	?	--	Diario El Liberal (mayo 22, 1954)
1956 junio	Ceniza	Materiales	Cenizas en Popayán	Diario El País (junio 22, 1956)
1977 mzo. 19	Ceniza	?	--	Diario El Liberal (marzo 22, 1977)
1990 agosto 11	Ceniza	?	Pequeña emisión en el área de la cadena volcánica de Los Coconucos.	Boletín informativo Ingeomina OVC N° 43 (agosto 1990).
Otras erupciones reportadas son las de: 1816, 1835, 1870, 1881, 1899, 1902, 1906, 1912, 1944, 1955, pero sus descripciones son ambiguas y no parecen corresponder a actividad del volcán Puracé.				

GEOLOGIA

GENERALIDADES

La subducción de la placa de Nazca bajo América del Sur, está dada por la sismicidad profunda y superficial que define su plano de inclinación, la fosa oceánica que bordea el sector occidental del continente, las cadenas montañosas longitudinales paralelas a esta fosa y la actividad volcánica continental que allí se desarrolla. En Colombia, los volcanes activos asociados a la subducción de la placa de Nazca bajo Sur América coinciden con una franja paralela a la fosa con una distancia a ella de 200 km en promedio, encontrándose, la mayoría de ellos, en la Cordillera Central de Colombia, como es el caso del Puracé (4650 msnm) el cual es el volcán más al NW de una cadena volcánica llamada Sierra de Los Coconucos.

El Puracé es un estrato-volcán activo con un cráter doble concéntrico de 500 y 900 m de diámetro respectivamente. El volcán actual, cuyos productos principales son piroclastos, intercalados con coladas de lava, generalmente de composición andesítica, se construye sobre un edificio antiguo (pre-Puracé), que a su vez se edificó en el borde SE de una caldera de 4 km de diámetro (Chagartón), cuyos remanentes se observan hacia el sector W del Puracé (Fig. 2).

El basamento del área está constituido por rocas volcánicas del Terciario Superior-Cuaternario y localmente por rocas volcánicas básicas del Cretácico.

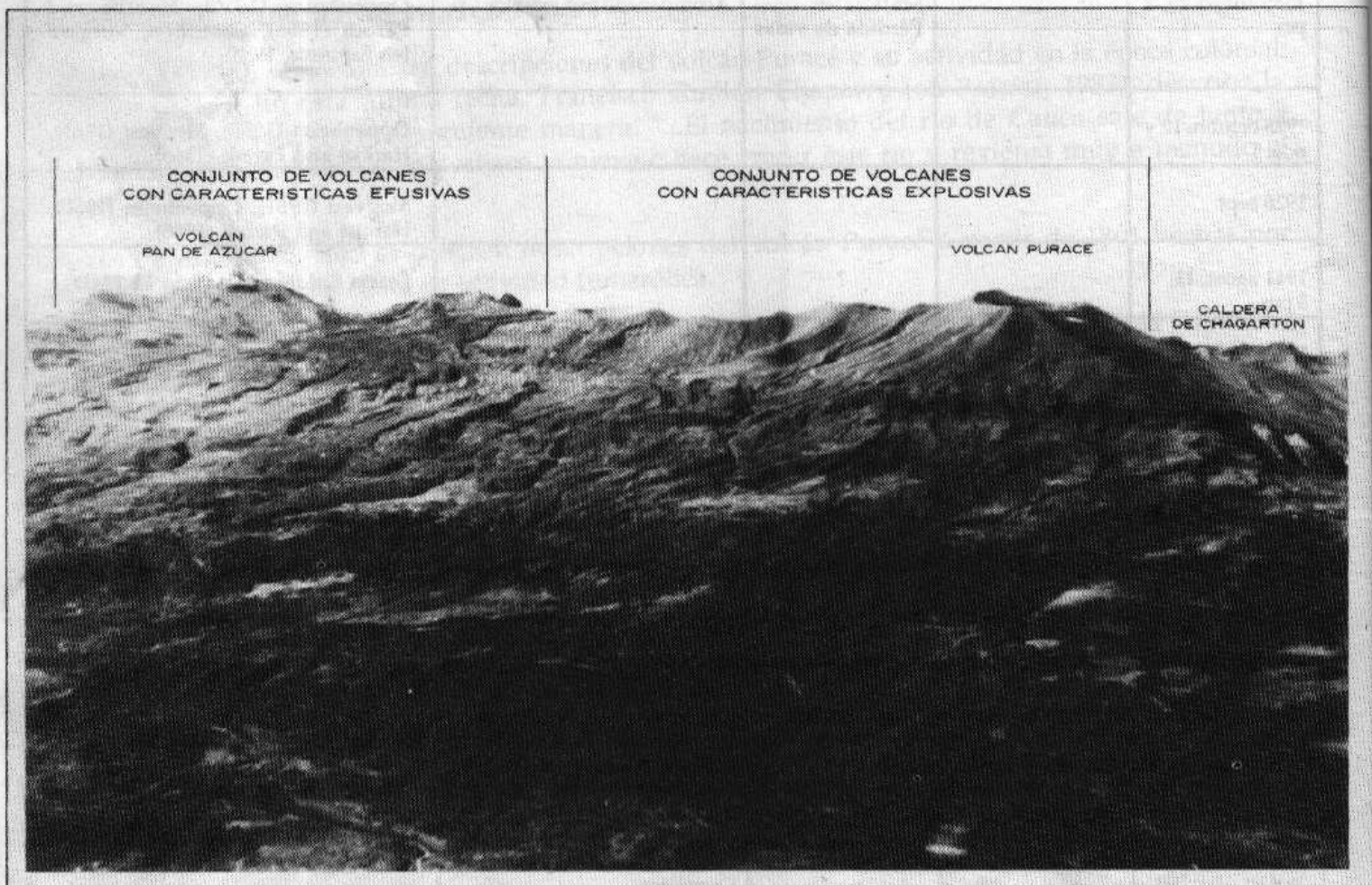


Figura 2: Cadena volcánica de Los Coconucos (Foto: Guillermo Cajiao).

PRODUCTOS PIROCLASTICOS

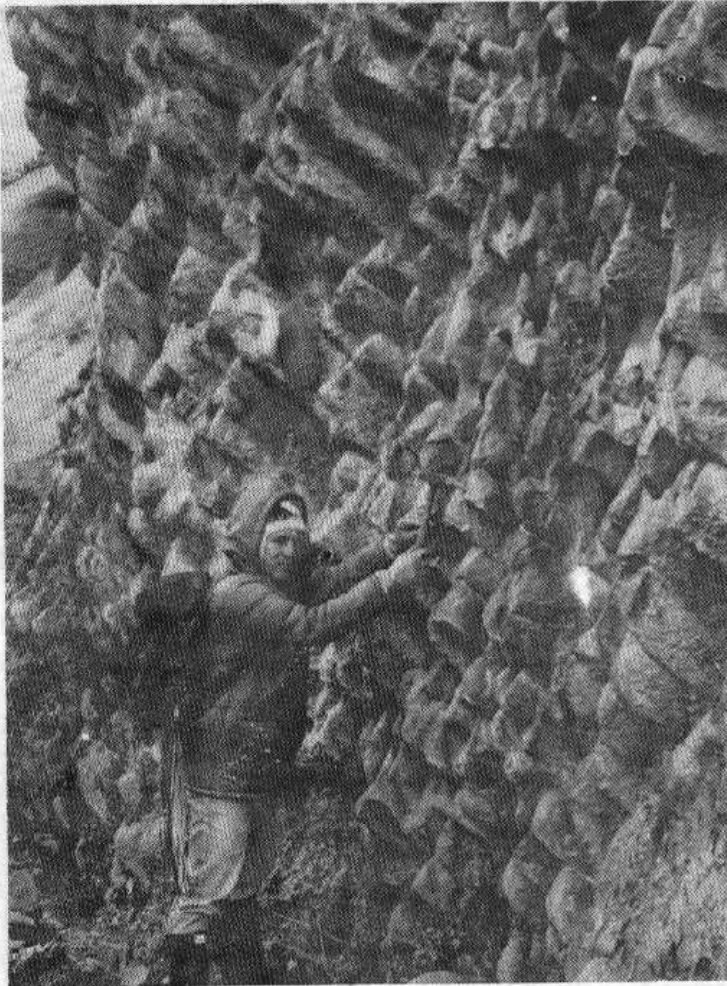


Figura 4: Coladas de lava andesítica con disyunción columnar perteneciente al estadio Puracé actual. Sitio: "El Espinazo". Flanco norte.

Son los productos más comunes asociados al Puracé actual; son de varias clases y afloran principalmente en las partes altas del volcán, en los sectores de los ríos Vinagre, Anambío y quebradas Agua Blanca y Chagartón. En el valle del río San Francisco, también se encuentran algunos productos piroclásticos con edades menores a 2.000 años (MONSALVE, 1991), y en su parte media afloran productos piroclásticos más antiguos.

Flujos Piroclásticos. Los productos predominantes son depósitos de flujos de ceniza y escoria los cuales son caóticos, compuestos por bombas escoriáceas y líticas, en una matriz de ceniza, generalmente de color rojizo. Se han observado, al menos, cuatro eventos de este tipo de depósito; el más antiguo, según su posición estratigráfica, relleno la parte media del cañón del río San Francisco y sobre él se encuentra construida la población de Puracé; es el más potente de los flujos, alcanzando un espesor máximo de 80 m.

Los demás depósitos de este tipo corresponden a erupciones más modestas y, si bien uno de ellos rellena en su totalidad el valle del río Vinagre y parte de los ríos Anambío y San Francisco, su espesor máximo no supera los 12 m (Figura 5).

Uno de los flujos piroclásticos más recientes en la historia eruptiva del Puracé, erupción de 1869 (CEPEDA *et al*, 1991), está representado por un depósito caótico compuesto, en su totalidad, por bombas pumítico-escoriáceas en corteza de pan, de composición andesítica, con diámetros del orden decimétrico a métrico. Su espesor máximo es de 10 m, y la colada principal sólo llega a la cota de 3.940 m, en el interfluvio de las quebradas Agua Blanca y Chagartón, donde se encuentra relleno de pequeñas hondonadas y suprayaciendo productos piroclásticos anteriores (Figura 6). Según sus características, parece corresponder al tipo de flujo piroclástico producido por colapsamiento de columna, el mismo que da origen a los flujos de ceniza y escoria.

Otros flujos piroclásticos importantes, en el área, son de ceniza y bloques, que corresponden a varios tipos: avalanchas de escombros, nubes ardientes producto de colapso gravitacional y de explosión de domos; éstos últimos, se encuentran siempre en las partes altas del volcán, en los sectores de los ríos Vinagre, Anambío y quebradas Agua Blanca y Chagartón (Figura 7).

Piroclastos de Caída. El registro geológico de esta clase de productos está dado predominantemente por cenizas de caída, asociadas a diferentes etapas del vulcanismo, las cuales se distribuyen en toda el área.



Figura 5:
Flujo de ceniza y escoria, parte alta río Vinagre. (N-NW de volcán). Nótese la gradación inversa del depósito.

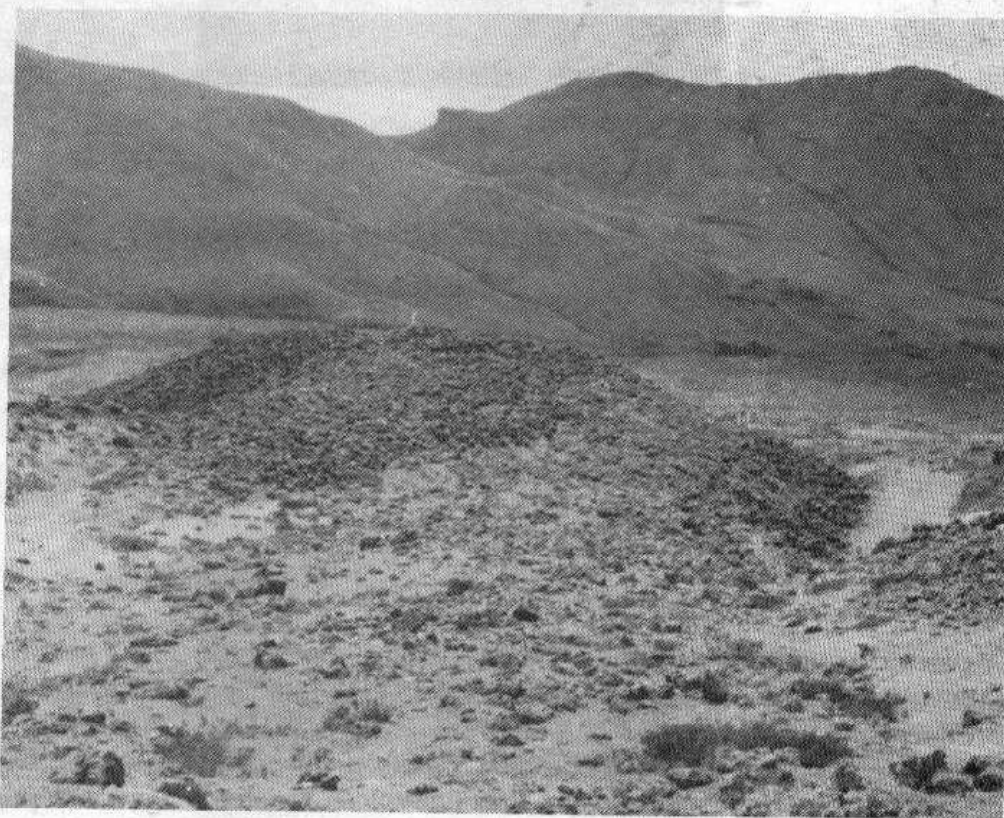


Figura 6:
Flujo piroclástico más reciente del volcán Puracé (1869?). Sector NW, quebradas Agua Blanca, Chagartón.



Figura 7: Flujo de ceniza y bloques producido por explosión de domo. Espesor del depósito 15 m, sector NW quebrada Chagartón.

Así mismo, las últimas erupciones han producido cenizas y lapilli de caída de color gris que se distribuyen irregularmente como material suelto sobre la morfología actual. Bloques y bombas, en forma de corteza de pan o en coliflor, de tamaños decimétrico hasta mayores de 5 m, se encuentran principalmente en las laderas del volcán y fueron eyectados como proyectiles balísticos, al parecer en erupciones históricas que dieron lugar a flujos de ceniza y bloques (Figura 8).

FLUJOS DE LODO

A pesar de que gran parte de las descripciones de las erupciones históricas muestran la formación de flujos de lodo como fenómeno que acompaña las erupciones del Puracé, el registro geológico de éstos productos no es muy común en las laderas del volcán. Dos depósitos diferentes afloran, uno, al parecer antiguo, en la parte media del río San Francisco y el segundo, más reciente, en algunos sitios del valle del río Vinagre. En las partes más altas del volcán, existen delgados depósitos caóticos compuestos por material volcánico heterogéneo que pueden corresponder a remanentes de pequeños flujos de lodo ocurridos en épocas históricas o ser solamente material volcánico retrabajado (Figura 9).

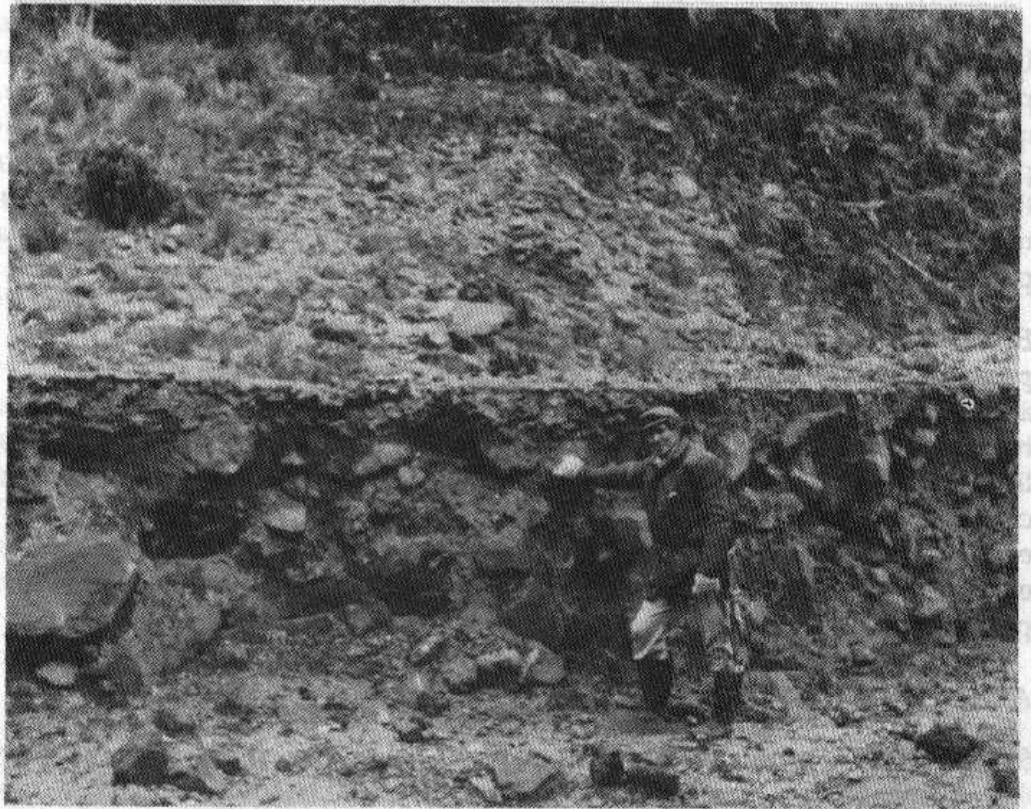


Figura 8:
Cenizas de caída y bombas de las últimas erupciones. Sector: Parte alta río Anambío.

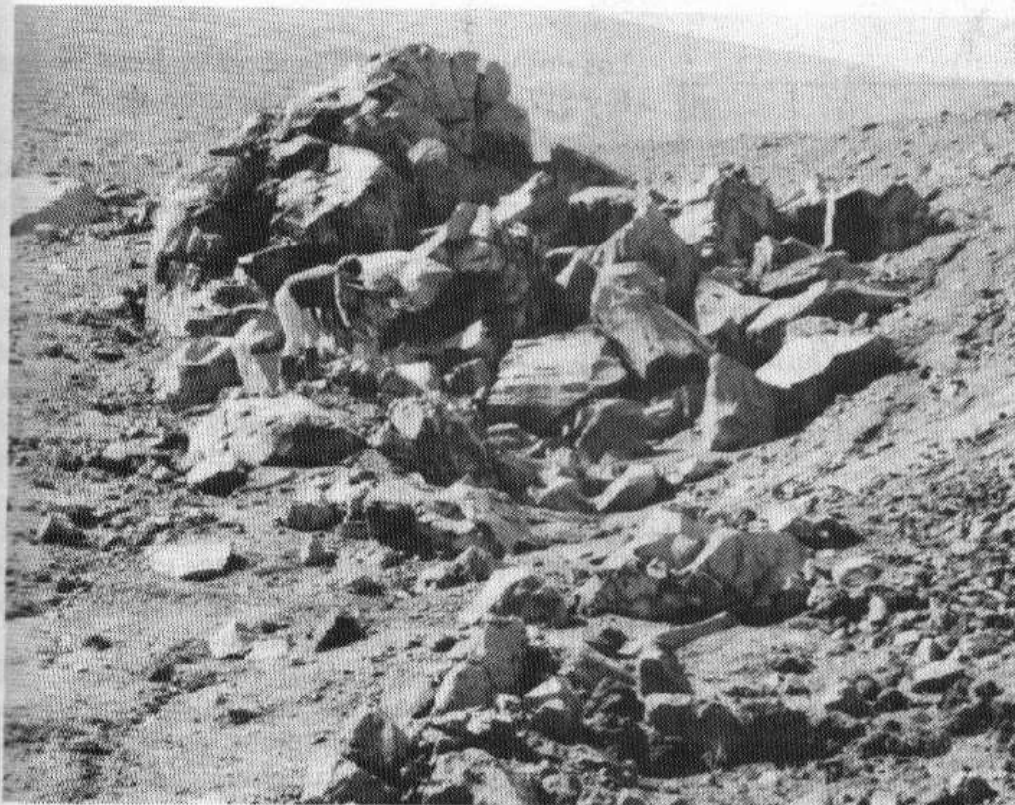


Figura 9:
Posible flujo de lodo (?) o flujo de escombros asociado al volcán Puracé. Sector: Parte alta río Anambío.

ma de "media naranja" del volcán (VERGARA, 1898, en: ESPINOSA, 1988), la que posiblemente, se debfa a la presencia de domos en su cima.

Formación de domos, de una manera no explosiva, puede ocurrir en los volcanes; en tal caso, los efectos sobre áreas aledañas no son un peligro inmediato, pero la explosión de domos en formación o el colapsamiento de ellos, son una amenaza volcánica importante, así como el crecimiento de ellos acompañados por explosiones de tipo pliniano.

AMENAZA POR FLUJOS PIROCLASTICOS

Los flujos piroclásticos son los productos predominantes de la actividad del Puracé actual, en cuanto a cantidad de eventos registrados en su historia geológica y a distribución en el área; son de varias clases, razón por la cual, hasta no conocer la evolución magmática del volcán, debe considerarse la posibilidad de amenaza por cada uno de ellos (Figura. 11).

Históricamente, los flujos piroclásticos, así como los flujos de lodo, son la amenaza volcánica que ha causado mayor número de pérdidas de vida en el mundo (BLONG, 1974; TILING and PUNONGBAYAN, 1989). Los flujos piroclásticos pueden producir destrucción parcial o total de edificaciones a causa de su velocidad de emplazamiento, así mismo, incendios en cultivos y materiales combustibles, debido a sus altas temperaturas.

Los tipos de flujos piroclásticos a describirse, corresponden, de acuerdo al registro geológico, a los que tienen mayor posibilidad de producirse en el volcán Puracé en erupciones futuras. La estructura de Chagartón forma una barrera natural que impediría que flujos piroclásticos afectaran directamente la población de Coconuco.

FLUJOS DE CENIZA Y ESCORIA

Son los más comunes y también los que alcanzan una mayor distribución en el área. Ellos se encuentran en todos los valles de los ríos y quebradas que nacen en el volcán y, de una manera general, se ha visto que su volumen va decreciendo con el tiempo.

Según el registro geológico, esta clase de evento sería uno de los más posibles como comportamiento futuro del Puracé, pero hay que tomar en consideración que los diferentes depósitos de este tipo de eventos presentan algunas características que varían con el tiempo como lo son: disminución en el volumen de los depósitos y el carácter más ácido del material juvenil lo que significaría un cambio paulatino en el estilo eruptivo del volcán, tendiendo a ser más explosivo y por consiguiente la amenaza sería mayor.

La característica de éstos flujos es su capacidad de afectar todos los flancos del volcán y, una erupción que dé lugar a este tipo de productos en el Puracé, podría, simultáneamente, afectar todos los valles de ríos y quebradas que nacen en él (Figura 10-A).

Para la delimitación de las zonas que serían afectadas por este tipo de fenómeno, se ha utilizado el concepto de la línea de energía (Hsu, 1975), el cual se refiere a la distancia teórica a la que puede viajar un flujo piroclástico, producido por el colapso de una columna eruptiva, a determinada altura sobre el cráter. Está línea es la pendiente a lo largo de la cual la pérdida de energía por fricción del flujo con el terreno es balanceada por la conversión de energía potencial en energía cinética. La pendiente de esta línea es calculada como el ángulo cuya tangente se mide por la diferencia de altura, dividido por la distancia horizontal recorrida por el flujo (Figura 12).

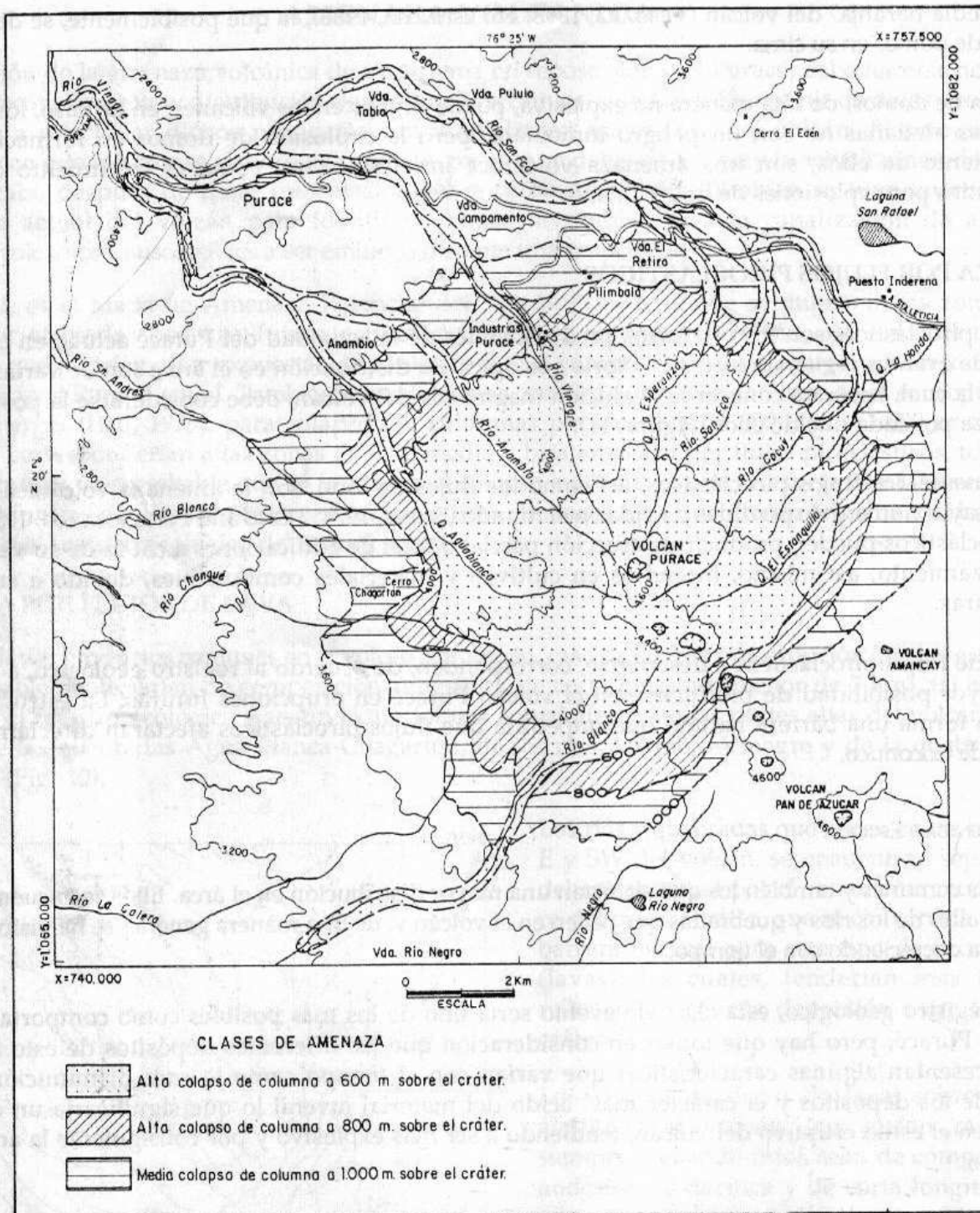


Figura 11: Mapa de amenaza por flujos piroclásticos del volcán Puracé.

Para flujos piroclásticos producidos en el volcán Puracé se toman 20° de pendiente, ángulo tomado para estratovolcanes de composición andesítica (WALKER comunicación escrita 1989), para estas líneas de energía alrededor del cráter que, en conjunto conforman un cono de energía. El flujo, teóricamente, se detendrá donde la línea de energía intercepta la superficie topográfica. Para el Puracé se realizaron conos de energía para colapsos de columnas eruptivas a 600, 800 y 1000 m, siendo más posible que se produzca a 800 m ya que los flujos de escoria más recientes se enmarcan dentro de esta curva y con menor posibilidad a 1000 m de colapso, debido al peso de la columna, el cual sería difícil de sostenerse en el aire.

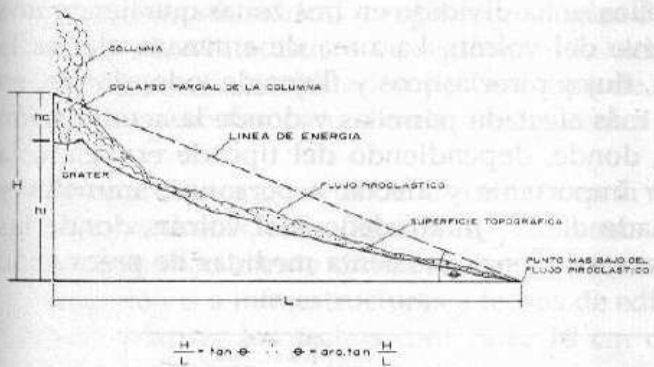


Figura 12: Esquema que ilustra el concepto de la línea de energía.

Desde el punto de vista de amenaza este tipo de producto es muy peligroso, debido a su velocidad de desplazamiento, su contenido en gases y su alta temperatura. En el volcán Puracé se esperarían flujos pequeños, según lo planteado en los párrafos anteriores y la zona amenazada por ellos sería la de más alta amenaza (Anexo 1); sin embargo, si la erupción incluye la emisión de un volumen grande de magma, puede afectar sectores habitados aledaños al volcán como lo son el complejo de la mina de azufre El Vinagre, sobre todo en el valle del río del mismo nombre, parcelaciones indígenas en las riveras de este mismo río y la parte alta de la población de Puracé.

FLUJOS DE CENIZA Y BLOQUES

Los depósitos por flujos de ceniza y bloques se pueden formar por varios tipos de mecanismo eruptivo como son la explosión y colapso de domos y lavas, colapsamiento de flancos de los volcanes, o por erupciones freáticas, sin intervención de material magmático (CAS and WRIGHT, 1987).

En el volcán Puracé la presencia de depósitos de este tipo involucra los mecanismos eruptivos citados anteriormente y, por lo tanto, existe la posibilidad de que esto se reproduzca en una eventual erupción futura. Sería conveniente estudiar la evolución magmática del volcán para conocer su estado actual y la probabilidad de que el crecimiento de un domo se está produciendo o se pueda producir en un futuro inmediato.

En caso de que la formación de un domo está acompañada de explosiones o colapso, se generarían flujos de ceniza y bloques, tales como se han presentado en el registro geológico. Aunque su distribución es menor que la de los flujos de ceniza y escoria, ellos pueden afectar cada uno de los valles de los ríos y quebradas que nacen en el cono del Puracé, sobre todo los sectores de los valles de los ríos Vinagre y Anambío y quebradas Agua Blanca y Chagartón; en éstas últimas, debido a la amplitud del valle entre las dos quebradas, los flujos se esparcirían en la parte alta, al encontrar pendientes más suaves.

AMENAZA POR CAIDA DE PIROCLASTOS

Los datos sobre erupciones históricas muestran que las emisiones de ceniza son los productos más comunes en el volcán Puracé: sin embargo, no son muchos los registros sobre otro tipo de fenómeno que se haya producido simultáneamente o en el mismo período eruptivo, tales como flujos piroclásticos y/o flujos de lava; algunas veces se ha reportado y descrito flujos de lodo como productos acompañantes de las emisiones de ceniza.

En el registro geológico, los piroclastos de caída están representados por varios niveles de ceniza y lapilli que se distribuyen en toda el área del volcán.

Las cenizas y lapilli correspondientes a las erupciones históricas, se observan en una dirección predominante NNW, cubriendo el cono del volcán hasta una altura aproximada de 3300 m; sin embargo, no hay que olvidar los datos de erupciones históricas, donde se informa en la mayoría de los casos, sobre caída de cenizas en la ciudad de Popayán y poblaciones como Paispamba, Timbío y El Tambo.

Proyecciones de bloques y bombas, ocurridas también en épocas históricas, se observan hasta una cota aproximada de 3.700 m y una distancia al cráter de 3 km máximo.

Se toma una elipse con dirección predominante NNW, a partir del cráter, solamente con base en descripciones históricas y registro geológico de los depósitos de material de caída, ya que no se cuenta con estudios estadísticos de regímenes de vientos predominantes en el área, de los cuales depende, en mayor parte, la zonificación por este tipo de amenaza. Por otra parte, se debe tener en cuenta que la dirección de éstos, parece variar frecuentemente, dependiendo de la altura y de la hora del día.

Entre los efectos nocivos de las cenizas en la vida humana, en los animales y la propiedad se tiene: la asfixia, intoxicaciones digestivas, problemas en el sistema respiratorio, enterramiento o incendio de materiales fácilmente combustibles y terrenos cultivados; si las acumulaciones son mayores pueden causar daños a infraestructuras y techos de edificaciones: si las acumulaciones son aún mayores pueden hacer colapsar los techos (por cada 10 cm de espesor acumulado, se ejerce una carga mínima de $100\text{Kg}/\text{m}^2$) (CEPEDA y MURCIA, 1988).

En el Puracé, las emisiones de ceniza representan la amenaza más probable, pudiendo ocurrir como único fenómeno eruptivo o acompañando otro tipo de producto.

AMENAZA POR FLUJO DE LODO

Históricamente, los flujos de lodo han acompañado muchas de las erupciones reportadas en el volcán Puracé; éstos, seguramente fueron importantes cuando el volcán presentaba nieves perpetuas. Los flujos de lodo pueden producirse de varias formas (TILLING and PUNONGBAYAN, 1989): Son primarios (flujos de escombros), si se desencadenan por una erupción, especialmente por nieve o hielo que se derrite a causa de materiales calientes producto de la erupción en sí y secundarios si son causados por procesos no eruptivos, como fuertes lluvias que pueden desestabilizar depósitos volcánicos no consolidados.

La amenaza por flujos de lodo primarios, asociados a erupciones del volcán Puracé, es menor ya que éste no presenta nieves perpetuas, ni lagos crátericos, que representen un aporte importante de agua en el momento de una erupción. Sin embargo, flujos de lodo podrían generarse en caso de que una erupción ocurriera en la época del año en que el volcán presente algo de nieve (de junio a septiembre), y ésta se fundiera. También, por lluvias que se produzcan en el momento de una erupción o por represamientos de aguas en las partes altas o medias de las quebradas y ríos del área, provocados por movilización de material suelto o los productos de la misma erupción (Figura 14).

Estos flujos de lodo afectarían los valles de las quebradas y ríos que nacen en el volcán; a su vez, es probable el aumento en el caudal del río Cauca, lo cual podría afectar sus riberas y sectores de la ciudad de Popayán que se encuentran habitados en áreas próximas a él. La represa Florida II, sobre el río Cauca puede ser afectada, sufriendo daños en sus instalaciones, tales como contaminación de sus aguas y colmatación; dependiendo de su capacidad de almacenamiento y la magnitud del fenómeno volcánico involucrado, ésta central puede amortiguar los efectos de dicho fenómeno en las cercanías de la ciudad de Popayán. Pequeños flujos de lodo en el valle del río Blanco o aumento en su caudal, pueden llegar a afectar el sector de Paletará.

OTRAS AMENAZAS

- Lluvias ácidas, producidas por disolución de volátiles presentes en el magma, pueden afectar las construcciones y estructuras metálicas produciendo corrosión. Las zonas afectadas pueden estar localizadas a varios km de distancia del volcán, pero los efectos principales se presentarían en zonas aledañas.
- Acumulaciones de gases venenosos como SO_2 y CO en depresiones topográficas, podrían representar peligro en las partes altas del volcán.

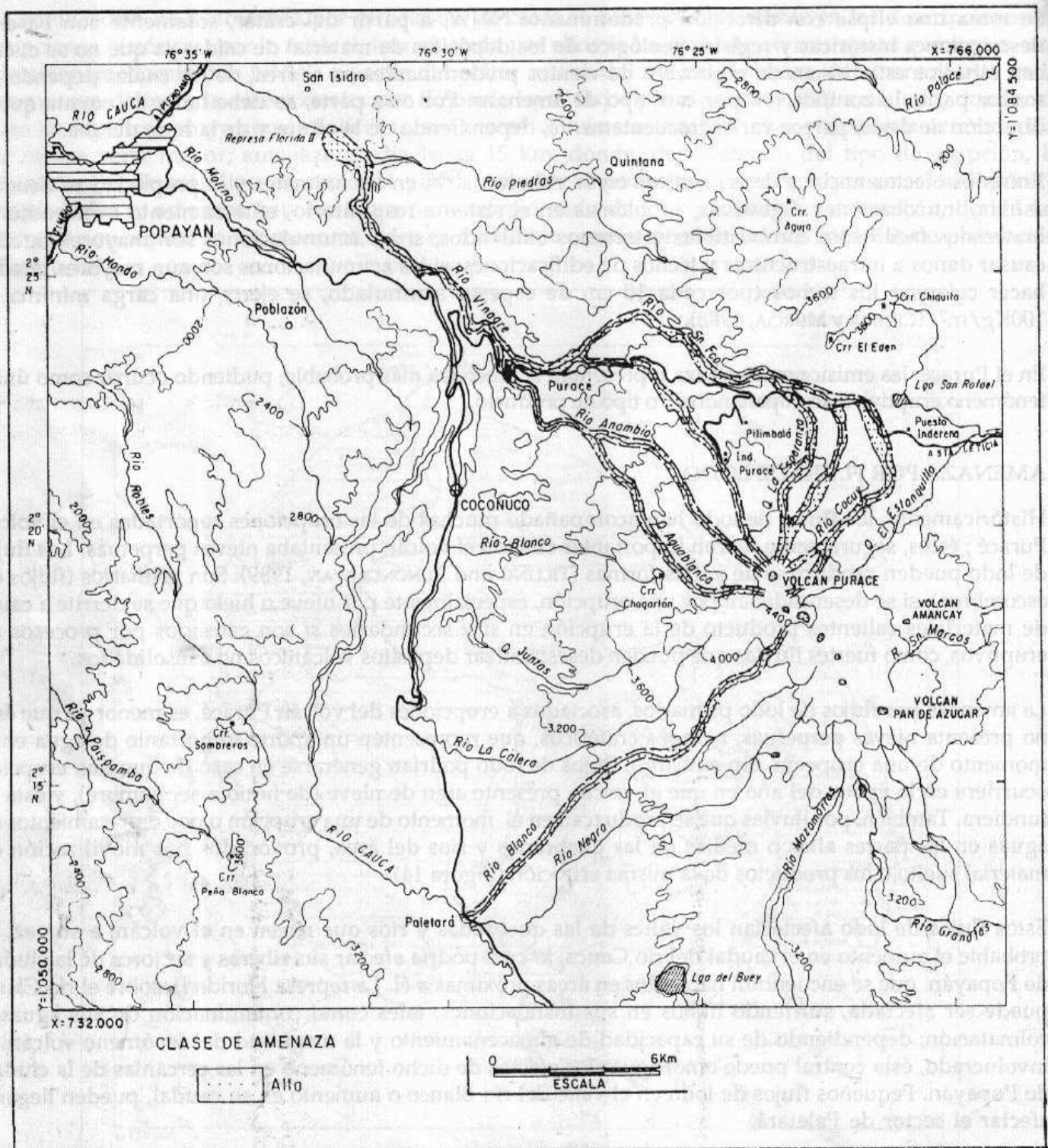


Figura 14: Mapa de amenaza por flujos de lodo del volcán Puracé.

- Según las descripciones de erupciones históricas, muchas de estas han sido precedidas o seguidas por temblores de tierra que han causado daños en zonas aledañas al volcán y en poblaciones como Puracé.
- El flúor, cenizas tóxicas, sismos, ondas de choque, aerosoles en la atmósfera, contaminación de aguas por sólidos e iones.

ESTADO ACTUAL DEL VOLCAN PURACE: VIGILANCIA BASICA

El Puracé es un volcán activo, en estado de reposo, que cuenta con un programa de vigilancia mínima con el fin de conocer su patrón de comportamiento y detectar una futura reactivación por cambios en el mismo. Esta vigilancia cuenta con los siguientes parámetros.

MONITOREO SISMICO

El volcán Puracé cuenta a partir de octubre de 1986, con una estación sismológica cuya señal telemétrica se recibe en la Universidad del Valle (Cali) y a partir de noviembre de 1990 en Ingeominas Regional Sur (Popayán). Esta estación hace parte de la Red Sísmica del Sur Occidente Colombiano, instalada por el proyecto GERSCO (Grupo de Estudio del Riesgo Sísmico en el SW de Colombia) en el marco de una cooperación Colombo-Suiza.

Análisis de algunos sismogramas de esta estación muestran que el volcán Puracé presenta actividad sísmica volcánica con un promedio de 2 a 3 sismos diarios. Es de aclarar que un sólo sismógrafo no es suficiente para monitorear la actividad sísmica del volcán.

OBSERVACIONES VISUALES Y TOMA DE TEMPERATURA EN LAS FUMAROLAS

Control visual, fotográfico y de temperaturas de las fumarolas se lleva a cabo a partir de septiembre de 1987.

El fondo del cráter del volcán Puracé presenta una grieta de dirección aproximada WNW, la cual parece haberse desarrollado a partir de 1977, después de la última emisión de cenizas (GUILLERMO CAJIAO, comunicación oral), (Figura 15), en ella se realiza un control visual y fotográfico para detectar cambios que podrían indicar en un momento determinado un estado pre-eruptivo del volcán.

Las fumarolas asociadas al volcán Puracé conforman cinco grupos principales, Figura 16:

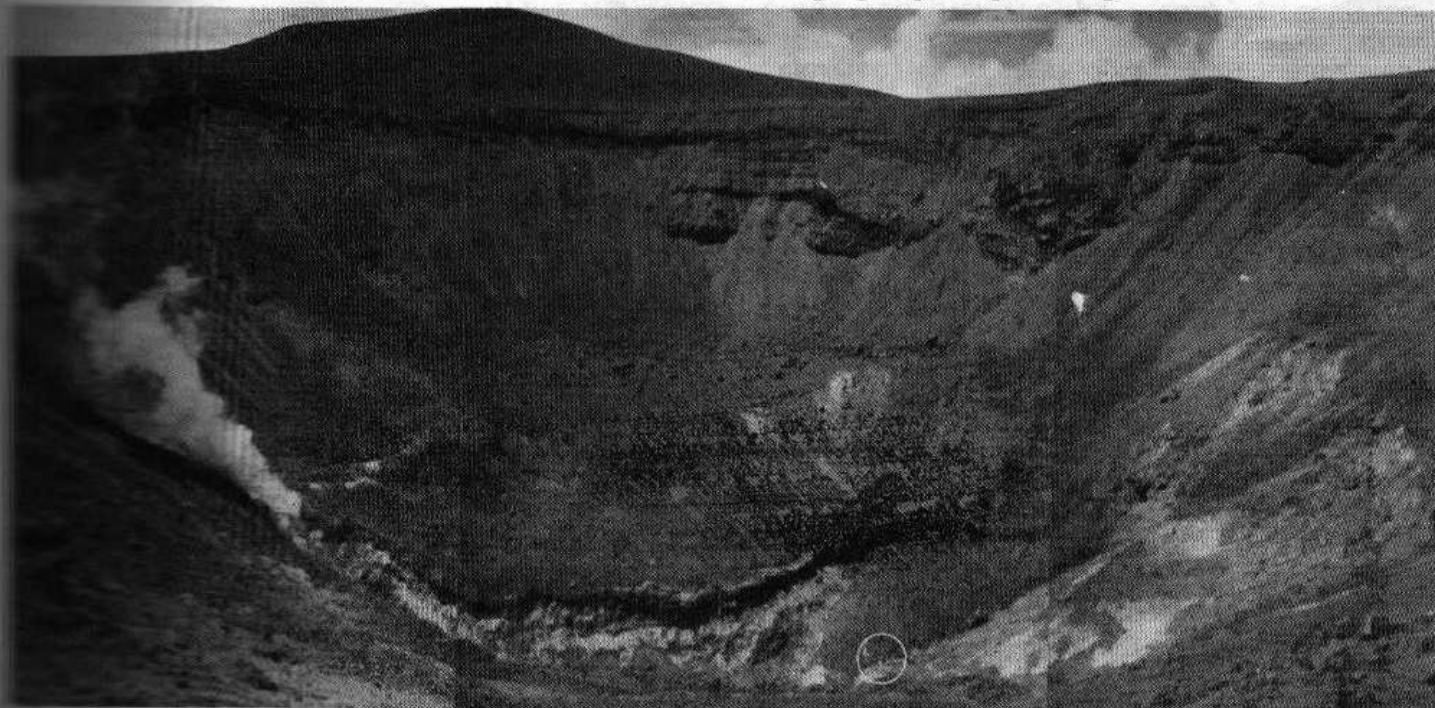


Figura 15. Vista del fondo del cráter del volcán Puracé (septiembre, 1987). En primer plano la grieta y la fumarola principal. Las personas en el círculo dan la escala aproximada. En segundo plano dos pequeños cráteres de explosión. Al fondo de la foto, borde del cráter externo del Puracé actual.

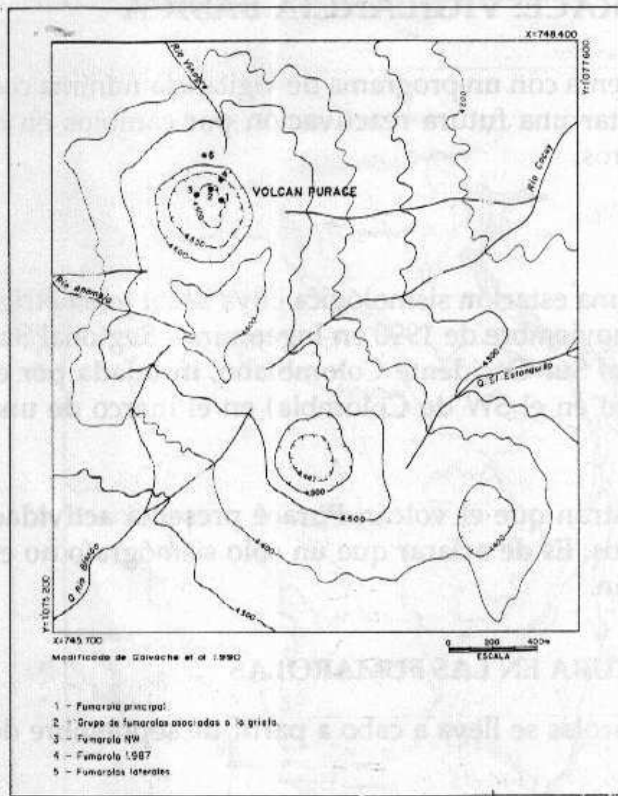


Figura 16: Localización de las fumarolas asociadas al volcán Puracé.

MUESTREO DE FUMAROLAS Y AGUAS TERMALES

Una primera muestra de gases de la fumarola interna NW se tomó en agosto de 1988; los resultados se dan en la Tabla 2 (a); una sola muestra no es representativa para sacar conclusiones sobre el comportamiento del volcán, por lo tanto este muestreo debe continuarse periódicamente para poder tener datos comparativos.

La composición y temperatura de las fuentes termales en el sector del volcán fueron estudiadas por Koller y Aucott (1986). Actualmente un programa integrado de INGEOMINAS Bogotá, tiene como fin el muestreo de fuentes termales en Colombia, incluyendo las asociadas al volcán Puracé. La Figura 18, muestra la ubicación de estas fuentes y la Tabla 2 (b) es la compilación de los datos de estos autores. Al igual que para las fumarolas, deben ser realizados análisis periódicos de las fuentes termales.

En un primer grupo, en el cráter, asociado a la grieta, se encuentra la fumarola principal, en su extremo oriental.

Un segundo grupo lo conforman pequeñas fumarolas a lo largo de la grieta.

También en el interior del cráter, en las paredes internas NW y NE, se encuentran otros dos grupos, el último de ellos detectados en diciembre de 1987.

El quinto grupo lo conforman varias fumarolas que se encuentran en el flanco NW del volcán, a pocos metros del borde del cráter actual.

Toma periódica de temperaturas han dado como resultado un promedio de 90°C para todas las fumarolas del interior del cráter y de 90°C a 155°C en las fumarolas laterales (CALVACHE, *et al* 1988), con un aumento a 185°C a septiembre de 1988 (Figura 17).

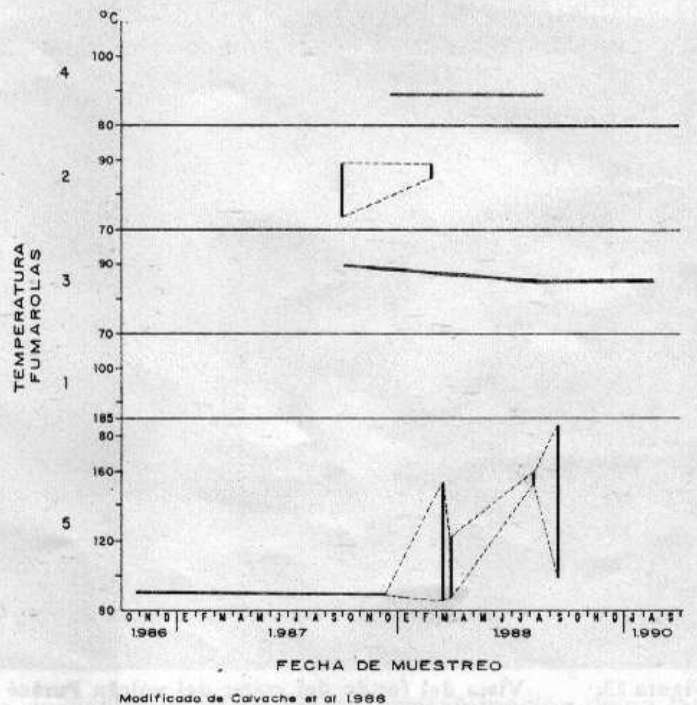


Figura 17: Temperatura de fumarolas en el volcán Puracé.

CONCLUSIONES

- El mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Puracé se elaboró teniendo en cuenta el principio básico de que los volcanes tendrán un patrón de comportamiento similar al que han mostrado en el registro geológico más reciente y en épocas históricas. Por tal razón, para la elaboración de este primer mapa, se tuvieron en cuenta las erupciones históricas y los datos de campo que incluyen la identificación de productos asociados a la historia del Puracé actual y su distribución.
- Es importante tener en cuenta que el patrón eruptivo de los volcanes puede cambiar. Para llegar a este conocimiento se debe contar con estudios detallados en los productos volcánicos, como análisis geoquímicos, petrográficos y dataciones, que permitan conocer el estado de evolución magmática del volcán, así como la información que suministre la vigilancia de los volcanes en estado de reposo. Todos estos nuevos datos que se van obteniendo, sirven, a su vez, para realizar la actualización de los mapas de amenaza, a la cual está sujeto el presente mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Puracé.
- Se ha tomado como centro de emisión futura el cráter activo actual del volcán Puracé. En caso de que se detecte otro centro de emisión, ya sea nuevo o correspondiente a otro volcán de la cadena, este mapa debe modificarse.
- El volcán Puracé es un estratovolcán activo cuya actividad más reciente ha sido principalmente de tipo explosivo, dando una gran variedad de productos, tanto de flujo como de caída; entre los primeros predominan los flujos de ceniza y escoria y de ceniza y bloques; entre los segundos, las cenizas y los proyectiles balísticos.
- Los datos históricos, aunque limitados en el tiempo, muestran que el volcán Puracé es uno de los volcanes más activos de Colombia, con un intervalo de reposo que fluctúa entre 10 y 25 años promedio, razón por la cual, es conveniente tener preparados planes inmediatos de prevención, en caso de que ocurra una crisis volcánica.
- La formación de domos debe tenerse en cuenta en las amenazas de futuras erupciones del volcán Puracé. El crecimiento de domos puede ser detectado con medidas periódicas de deformación, las cuales indicarían, a su vez, los sitios que podrían ser eventualmente afectados en caso de una explosión.
- El área más afectada en caso de una futura erupción volcánica sería el sector NW del volcán, en el cual se encuentran la mina de azufre El Vinagre, la población de Puracé y las veredas de Tabío, Campamento, Cuaré y Pululó entre otras. Se debe tener en cuenta que, en caso de una erupción que genere flujos piroclásticos o flujos de lodo, este sector podría permanecer temporalmente incomunicado, por lo cual, en caso de una reactivación del volcán, sería conveniente que las autoridades tuvieran con anterioridad preparados los planes de emergencia necesarios.
- Las emisiones de ceniza y, eventualmente flujos de lodo, o aumento de caudal de los ríos Cauca y Blanco y quebrada Azufral, constituyen la amenaza más probable que puede afectar la ciudad de Popayán y las poblaciones de Paletará y Coconuco, respectivamente.
- El aumento de caudal de estos ríos y las zonas que podrían ser afectadas por potenciales inundaciones no se contemplan en el presente mapa por no ser competencia del INGEOMINAS.

RECOMENDACIONES

Complementar la vigilancia del volcán Puracé de manera tal que una reactivación pueda ser detectada a tiempo; esto incluye:

- Instalación de una red sismológica alrededor del volcán (mínimo cuatro sismógrafos) y, si fuera posible, alrededor de la cadena volcánica de Coconucos. Esto último es muy importante ya que todos los volcanes de esta cadena son recientes y no hay ninguna evidencia de que se encuentren inactivos. El monitoreo sísmico es una manera de comprobar su actividad actual. También, es importante para detectar la localización y profundidad de cuerpos magmáticos y actividad de fallas locales.
- Instalar una red de deformación, para realizar medidas periódicas que permitan detectar el ascenso de magma hacia la superficie y el desarrollo de domos, que eventualmente puedan convertirse en amenaza por eventos mayores, como por ejemplo de explosión lateral (blast), lo que conllevaría a una modificación inmediata del presente mapa de amenaza.
- Continuar con el control periódico de observaciones visuales en la grieta del fondo del cráter, el muestreo de gases y la toma de temperaturas de fumarolas y fuentes termales.
- Aunque el mapa es de carácter preliminar, debe servir como base para comenzar la elaboración de planes de emergencia tendientes a mitigar los efectos de una erupción volcánica y, a la vez, para realizar campañas educativas dando a conocer dichos planes y diferentes aspectos del volcán, ya que de esto depende el comportamiento y colaboración de las comunidades en una eventual crisis volcánica para que, en caso de una reactivación, conozcan las medidas a seguir.
- Es aconsejable que por medio de monitoreo sísmico constante y datos de deformación, se intente identificar la forma y posición del cuerpo magmático y al mismo tiempo tratar de determinar la incidencia que pueda tener sobre el comportamiento del volcán la explotación de azufre en la mina (túneles, explosiones etc.).
- Este mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcán Puracé, debe complementarse con un mapa preliminar de amenaza volcánica de cada uno de los volcanes que conforman la cadena volcánica de Los Coconucos.
- Por último se recomienda, para la actualización del presente mapa, realizar estudios estratigráficos de productos actuales, dataciones, levantamiento de columnas detalladas en productos de caída, estudios petrológicos, petrográficos y geoquímicos en lavas y fragmentos juveniles, que den una idea más precisa de la evolución magmática del volcán.

AGRADECIMIENTOS

Todos los trabajos encaminados a la elaboración del Mapa Preliminar de Amenaza del volcán Puracé fueron posibles gracias a la colaboración de las siguientes entidades y personas.

Ingeominas:

A las Directivas por hacer posible la realización de este proyecto. Dr. Abigail Orrego López (Director Regional Popayán en el momento de comenzar los estudios). Sr. Santiago Jaimes, Auxiliar de Campo. Srs. Luis Francisco Torres, Antonio Collazos y Luis Eduardo Chaquea, Conductores y Sr Guido Arcos, dibujante.

Industrias Puracé, Mina de Azufre El Vinagre: Dr. Ernesto Stuewe (Gerente), Dr. Omar Ospina (Ingeniero) y demás personal Administrativo y operario de la mina, por su apoyo logístico.

A los agentes de Policía de la base de Puracé.

Al Dr. Claude Robin de la Universidad de Clermont Ferrand, Francia, por sus comentarios en los trabajos de campo. Así mismo, a quienes han aportado de su experiencia con sus comentarios y correcciones al presente trabajo, como son los geólogos: María Patricia Torres, Alvaro Pablo Acevedo, Armando Murcia (q.e.p.d.) y Héctor Cepeda.

BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, A. P., MONSALVE, M. L. y CEPEDA, H., 1987.- *Petrografía de algunas lavas de la cadena volcánica de Los Coconucos*. Ingeominas, Popayán. Informe interno. 8 p.
- ACOSTA, C. E. 1980.- *Los Coconucos, un punto caliente?*. Revista de Geografía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, vol 2(1). pp 7-34.
- * BANCO DE LA REPUBLICA, COLECCION BIBLIOGRAFICA, 1985.- *Del Chocó al Ecuador. El Puracé, Quito, el Chimborazo, mi regreso*. Memorias de Boussingault. Libro N 5, cap XIII. Bogotá.
- BLONG, R. J., 1974.- *Volcanic Hazards. A sourcebook on the effects of eruptions*. Academic Press. 424 p.
- CALVACHE, M. L., LONDOÑO, A., MENDEZ, R. A., MONSALVE, M. L., PARRA, E. y RODRIGUEZ, L., 1988.- *Actividades y datos obtenidos en el muestreo de fumarolas en los volcanes Puracé, Galeras y Cumbal*. Observatorio Vulcanológico de Colombia. Manizales. 39 p.
- * CAS, R. A., and WRIGHT, J. V. 1987.- *Volcanic successions. Modern and Ancient*. Allen and Unwin, Inc. London. 528 p.
- CEPEDA, H. y MURCIA, A., 1988.- *Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Nevado del Tolima, Colombia, S.A.* Boletín Geológico. Vol 29, No 3. Bogotá, Colombia. pp.33-75.
- CEPEDA, H., MONSALVE, M. L. y PULGARIN, B., 1991.- *Características y mecanismo eruptivo del flujo piroclástico de Agua Blanca, volcán Puracé*. Ingeominas, Regional Sur. 20 p.
- DANE, 1988.- *División político administrativa de Colombia*. Bogotá. 234 p.
- DIARIO EL LIBERAL: Agosto 14-1941, Marzo 30-1946, Abril 3-1946, Mayo 29-1949, Enero 11-1950, Julio 27-1950, Mayo 22-1954, Marzo 22-1977.
- DIARIO EL PAIS: Junio 22-1956.
- ESPINOSA, A. 1988.- *Datos sobre la actividad del volcán Puracé en épocas históricas*. Ingeominas, Popayán, Informe Interno. 22 p.
- FLOREZ, A. 1983.- *Cadena volcánica de los Coconucos Cordillera Central. Ensayo de cartografía geomorfológica con base en fotointerpretación*. Revista Colombia Geográfica, vol. X, Nº 2. IGAC. p. 33-56.
- * FORERO, M. J. 1956.- *Volcanes de Colombia*. Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia, XIV, Bogotá. pp. 43-49
- FRIEDLAENDER, I., 1927.- *Uber Einige Vulkane columbiens Teil II*. Zeitschn. f vulknologie X.
- * HANTKE, G. and PARODI, A., 1966.- *Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields. Part Six. Colombia, Ecuador and Perú*. International Association of vulcanology .pp. 1-25.

- HSU, 1975.- *Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls*. Geol. Soc. Amer. Bull. 86. pp. 129-140.
- HUBACH, E. y ALVARADO, B., 1932.- *Exploración de la región de Puracé*. Servicio Geológico Nacional. Informe 208, 43 p.
- ICEL, 1983.- *Proyecto Geotérmico Chiles-Cerro Negro. Fase I, etapa de prefactibilidad. Informe preliminar, N° 0469*. Bogotá.
- INGEOMINAS - O.V.C., 1990.- *Boletín Informativo N° 43*. Informe interno, Manizales. 20 p.
- KOLLER, B., 1983.- *Sulphur geochemistry of some volcanic rocks of Puracé volcano and Sotará volcano, department of Cauca, Southwestern Colombia*. Ingeominas, Informe Interno, Regional Popayán. 13 p.
- KOLLER, B., AUCOTT, J., 1986.- *Algunas observaciones sobre los posibles cambios morfológicos del volcán Puracé y geoquímica de sus aguas termales después del sismo del 31 de marzo de 1983*. Ingeominas, Informe Interno, Regional Popayán. 22 p.
- KURODA, N. and PARIS, G., 1978.- *Petrographical notes of some dacites and andesites of Puracé volcano, Cauca Colombia*. Report of Andean studies. Shizuoka University. Special volume pp. 21-32.
- MEGYESI, I., 1961.- *Estudios sobre los depósitos de azufre en la mina "El Vinagre", Puracé*. Servicio Geológico Nacional, Bogotá, Informe 1403. 65 p.
- MONSALVE, M. L., 1991.- *Geoquímica y dataciones en episodios tipo San Vicente en el volcán Puracé*. Ingeominas, Regional Sur. 28p.
- MURCIA, A., 1982.- *El vulcanismo plio-cuaternario de Colombia*. Publicación Geológica Especial del Ingeominas. N° 10, Bogotá, pp. 1-17.
- OPENHEIM, V., 1950.- *The volcano Puracé*. American Journal of Science, vol 248. pp. 171-179.
- PATIÑO, V. M., 1983.- *Memorias de los pueblos de la gobernación de Popayán, 1583, por Francisco Guillén Chaparro*. En: CESPEDESIA suplemento N° 4, Nos 45-46. 556 p.
- RAMIREZ, C., 1982.- *El vulcanismo Neogénico y cuaternario de Colombia: Cronología y caracterización químico-petrográfica*. Tesis de grado para optar al título de geólogo. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 207p.
- RAMIREZ, J. E., 1975.- *Historia de los terremotos en Colombia, 2ª ed.* IGAC, Bogotá. 250 p.
- REISS, W. and STUBEL, A., 1935.- *Geología de la región del Puracé*. Traducción de H. Hubach. Rev. Pan, Bogotá. N° 2. pp. 63-68.
- STUBEL, A., 1906.- *Die vulkanberge von Colombia*. Verlag von Wilhelm baensch. Dresden. 153 p.
- TILLING, R. and PUNONGBAYAN, R., 1989.- *Notes for a short course on volcanic hazards, July 2-3, 1989*. Santa Fe, New Mexico. Robert I. Tilling editor. 123 p.
- VASQUEZ, J. D., 1984.- *Monografía Sintética de Coconuco*. Coconuco (Cauca). 45 p.
- WHITE, R. B., 1955.- *El Puracé, sobre la explosión del 4 de octubre de 1869*. Bol. de la Soc. Geogr. de Col. XIII. pp. 90-96.