





INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO-MINERAS

I N G E O M I N A S

Seccional Manizales



MAPAS DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL DEL NEVADO DEL RUIZ
COLOMBIA S.A.

Por: EDUARDO PARRA P *
HECTOR CEPEDA **

Manizales, octubre de 1986

* INGEOMINAS MANIZALES
** INGEOMINAS MEDELLIN

MAPAS DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL DEL NEVADO DEL FUIC, COLOMBIA, S.A.

1. INTRODUCCION

1.1. Definiciones

Para efectos de unificar criterios acerca de la utilización de algunos terminos utilizados rutinariamente en el vocabulario relacionado con los riesgos naturales se dan a continuación las definiciones de algunos de ellos:

Amenaza Volcanica: se refiere a la potencialidad que tiene un evento volcanico de causar danos o destruccion (UNDR0, 1979). Esto es independiente de la existencia en el area amenazada de habitantes y/o bienes materiales. La amenaza puede ser de corto o de largo plazo.

Riesgo Volcanico: se refiere a las consecuencias esperables al ocurrir un fenomeno volcanico en terminos de muertes o heridas causadas a la poblacion y a la destruccion de propiedades especificas o de cualquier tipo de perdida economica (UNDR0, 1979). Las perdidas economicas no son solo las causadas directamente en las areas amenazadas, sino tambien aquellas que afecten la economia de regiones que dependen de las actividades o infraestructura de zonas amenazadas directamente.

Vulnerabilidad: el grado de perdidas a uno o varios elementos bajo riesgo, el cual puede resultar de la ocurrencia de un fenomeno de una magnitud dada; este grado es expresado en una escala de cero (no dano) a uno (perdida total) (UNDR0, 1979).

Severidad de un Evento Volcanico: es la capacidad que tiene determinado evento volcanico de causar dano a elementos bajo riesgo; se expresa en una escala graduada de uno ('dano leve a bienes materiales') a cinco ('arrazamiento o destruccion total') (Parra et al, 1986).

Medidas de Mitigacion: son todas aquellas de prevencion conducentes a disminuir total o parcialmente el grado de vulnerabilidad a que estan sometidos elementos bajo riesgo.

Elementos Bajo Riesgo: poblacion, edificaciones y obras civiles, actividades economicas, servicios publicos, utilidades e infraestructura, etc que corren el riesgo o el peligro de ser danados o destruidos parcial o totalmente en un area dada (UNDR0, 1979).

1.2. Generalidades

en las coordenadas 4.38 N y 75.27 W de Greenwich, en el límite de los departamentos de Tolima y Caldas, 19 km al SE de Manizales (Figura 1). Su cima está coronada por un casquete glaciar de unos 21 km² que comienza a los 4200 m de altura y en el cual nacen los ríos Recio, Lagunillas, Azufrado y Gualí, afluentes del Río Magdalena, y Molinos y Claro (Quebradas Nereidas y Alfombrales), afluentes del los ríos Chinchina y Cauca. Las lenguas de los glaciares mayores, Recio y Nereidas, llegan hasta la cota 4600 m.

El acceso al Nevado del Ruiz se logra mediante un correteable que se desprende de la vía Manizales-Murillo. Por este medio se llega hasta el sitio donde se hallan las ruinas del Refugio Turístico del Nevado al borde de la nieve, en las cabeceras del Río Molinos (Figura 1).

El Ruiz es uno de los elementos activos del Complejo Volcánico Ruiz-Tolima que extiende sus dominios por 60 km a lo largo de la parte más alta de la Cordillera Central de Colombia, entre 5.09°N y 75.29°W (Volcan Cerro Bravo) y 4.15°N y 75.37°W (Volcan Machin).

El Nevado del Ruiz es un estratovolcán activo que ha construido su edificio con productos principalmente andesíticos pertenecientes a la serie calcoalcalina; su forma es elíptica elongada en la dirección NNE, con 12-15 km de diámetro mayor y una superficie de más de 200 km²; el cono volcánico comienza aproximadamente a los 3600 m de altura, posee pendientes de 20-35° y una cima relativamente plana en cuyo extremo NE se halla el cráter Arenas o Cumanday actualmente activo; dicho cráter tiene 1 km de diámetro, una profundidad mayor de 100 m y actividad fumarólica actualmente intensa. En los flancos del volcán se hallan dos cráteres parásitos, La Pirana o Piramide al E y La Olla al W, sin actividad actual detectable.

El cráter Arenas o Cumanday, un antiguo cráter localizado en las cabeceras de Río Azufrado, una posible serie de antiguos cráteres del Ruiz, actualmente bajo el hielo glaciar, el edificio semidestruido del Volcán El Cisne, la estructura elongada del Volcán Nevado de Santa Isabel, el Volcán Quindío y algunos domos al S del anterior se hallan ubicados a lo largo de la Falla de Palestina sobre zonas de mayor debilidad en la corteza creadas en las intersecciones de la citada falla con otras menores transversales a ella (Figura 2).

El edificio volcánico del Nevado del Ruiz se ha construido en dos etapas principales; una primera con el desarrollo de un volcán base efusivo entre 1.0 y 0.6 ma y una segunda con un estratovolcán moderno desde hace 0.5 ma. Los productos que forman el cono volcánico se acumulan sobre rocas metamórficas paleozoicas e igneas mesozoicas y cenozoicas (Figura 2). El marco geotectónico que favorece el desarrollo del Ruiz, así como el de los otros volcanes colombianos activos, está

conformado por la interacción de las placas litosféricas de Nazca y Suramérica que facilita la creación de la miniplaca Bloque Andino entre ellas; a lo largo de esta miniplaca que tipifica un margen continental activo se presenta el fenómeno volcánico. Pennington (1979), basado en análisis de información sismológica, identificó tres segmentos principales desarrollados en la placa litosférica subducente bajo el borde NW de Suramérica; se diferencian por presentar rumbos y buzamientos diferentes y fueron bautizados, de Norte a Sur, como segmentos Bucaramanga, Cauca y Ecuador; los dos últimos se inclinan 35° y poseen vulcanismo activo y el primero buza 20° y no tiene vulcanismo activo asociado. Los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Bravo se localizan sobre el Segmento Cauca, en el límite con el Bucaramanga y son los dos volcanes activos más septentrionales de Los Andes.

2. MAPAS DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL DEL NEVADO DEL RUIZ

La más completa evaluación de la actividad histórica del Nevado del Ruiz es hecha por Espinosa (1986) quien concluye, basado en el análisis de los archivos y documentos históricos, que desde 1595 se han presentado tres eventos volcánicos mayores, incluido el del 13.11.1985. Estos tres eventos han sido catastróficos. El evento de 12.03.1595 es descrito por Simón (1635) y por Fabo (1926), produjo lahares que afectaron los valles de los ríos Lagunillas y Guali y causaron 636 muertos, casi todos indios gualies (Fabo, 1926), y es interpretado por Thouret et al (1985) como una erupción cataclísmica que produjo una secuencia de unos 10 m de espesor, en el valle alto del Río Azufrado, constituida por depósitos producidos por blast, surges y flujos piroclásticos punitivos de colapso de columna. El evento del 19.02.1845 es descrito por Acosta (1846), indujo lahares por el valle del Río Lagunillas que causaron cerca de 1000 muertos y dice que "se ignoran las causas de la catástrofe"; Thouret et al (1985) cataloga este evento como una erupción freato-glacial ocurrida en las cabeceras del Río Lagunillas.

2.1. Mapa Preliminar de Riesgo Volcánico Potencial del Volcán Nevado del Ruiz-07.10.1985- (Cepeda et al, 1985a).

A finales de Noviembre de 1984 los trabajadores del Refugio Turístico del Nevado comenzaron a percibir sismos locales, en el atardecer del 22.12.1984 sienten un sismo fuerte acompañado de ruidos subterráneos y al día siguiente apareció el glaciar del Nevado del Ruiz tendido de color amarillo-verdoso producto de explosiones freáticas ocurridas en el cráter Arenas o Cumanday; este comportamiento del Ruiz es el indicativo de que ha abandonado su actividad normal y se halla en el inicio de una nueva fase eruptiva. Como actividad normal del Nevado del Ruiz se considera aquella manifestada por presencia de fumarolas pequeñas dentro del cráter Arenas y en algunos flancos del volcán, así como la ocurrencia de fuentes de aguas termales en varios puntos del cono volcánico

Con el fin de hacer una vigilancia de la actividad volcanica del Nevado del Ruiz se desarrollan varias tareas dentro de las cuales se destacan el registro de sismos perceptibles sin necesidad de instrumentos efectuado por los moradores del Refugio, la visita a las faldas y crater del volcan por caldenses, montanistas y amantes de la naturaleza, que observaron el nuevo comportamiento del volcan y los procesos y cambios que se sucedian dentro del crater Arenas. Por pedido expreso de las autoridades de Caldas, científicos nacionales y extranjeros visitaron el volcan, analizaron su comportamiento y recomendaron su vigilancia instrumental y la identificacion de las areas amenazadas por una eventual erupcion. El 19.07.1985 INGEOMINAS instala una red de sismografos portatiles con cuatro aparatos prestados por ICA; tan pronto entro a operar la red se comenzo a registrar la actividad microsismica que confirma el estado pre-eruptivo del Nevado del Ruiz. El 09.08.1985 la Gobernacion de Caldas oficializa la existencia del Comité de Estudios Vulcanologicos Comunidad Caldense mediante el Decreto 0977 y se designa a FICDUCAL-Fundacion para la Investigacion Cientifica y el Desarrollo Universitario de Caldas- como entidad coordinadora.

El 11 de Septiembre de 1985, precedida por bandas de cenizas, se sucede una emision freatica de cenizas que son distribuidas por el viento hacia el W; en las inmediaciones del crater y sobre el hielo glaciar se acumulan algunos milímetros de cenizas, en Manizales y Chinchina cae una pelicula de polvo volcanico que alcanza a llegar hasta las riberas del Rio Cauca; es disparado un lahar que avanza un minimo de 20 km a lo largo del valle del Rio Azufrado y a causa de la acumulacion de cenizas sobre el casquete glaciar se incrementa el deshielo, se aumentan los caudales y cargo en suspension de los rios que nacen en el volcan, se producen crecidas y es así como la via Manizales-Murillo, obstruida por el lahar del 11 de Septiembre, es afectada por el Rio Guali y un afluente del Rio Molinos obstruye la via en varias oportunidades 600 m antes de llegar al Refugio. Estos eventos acaecidos el 11.09.1985 y dias siguientes aumentan la preocupacion de autoridades cientificas y civiles tanto a nivel local y regional como nacional.

El 16.09.1985 se sucede una reunion en la cual participan los gobernadores de Caldas, Tolima, Risaralda y Quindio, así como el Director General del INGEOMINAS. Se determina la pronta elaboracion del Mapa de Riesgos Volcanicos como tarea prioritaria, así como la vigilancia visual y geoquimica de la actividad volcanica y la mejora de la red sismologica para la vigilancia mas adecuada.

El 20.11.1985 llega un grupo de seis geologos que toman como base de operaciones el Hotel Termales localizado en las faldas del volcan con el fin de elaborar el Mapa Preliminar de Riesgos Volcanicos y la vigilancia visual y sismologica.

En días posteriores llegan a colaborar con el grupo de INGEOMINAS cuatro profesores y siete estudiantes de la Universidad de Caldas. Se requiere del mapa para las primeras semanas de Octubre-85 y su elaboración es conseguida siguiendo las recomendaciones que para tales casos hace la UNDR0 (Crandell et al, 1984); la información de cartografía geológica regional (Mosquera et al, 1976); la información vulcanológica y geotérmica (Herd, 1982; Thouret et al, 1985; CHEC, 1983), bajo la asesoría de la UNDR0 a través de los doctores John Tomblin y Minard Hall y las experiencias en cuanto mapas similares en volcanes de comportamiento parecido al del Ruiz en lo que se refiere a los fenómenos esperados.

Para el concepto de lavas se usan los trabajos de Herd (1982) y de Thouret et al (1985), teniendo en cuenta cartografía, cronoestratigrafía, espesores de flujos y composición mineralógica y química. Para identificar las áreas amenazadas por flujos piroclásticos, fuera del conocimiento del mismo volcán, se usa el criterio de dispersión lateral relacionada a la altura del edificio volcánico, criterio basado en la experiencia de erupciones volcánicas de gran magnitud, históricas y conocidas (Crandell et al, 1984). Para el caso de la explosión lateral dirigida de ángulo bajo (blast), se tomaron como modelo los eventos del mismo tipo ocurridos en los volcanes Monte Santa Elena (EU) y Bezymianny (URSS). Para el concepto de caída de piroclastos se usaron mapas isopacos elaborados mediante el levantamiento de columnas estratigráficas alrededor inmediato del volcán, así como las recomendaciones de Crandell et al (1984) para lo relacionado con áreas amenazadas por bloques y bombas. Para los lahares se asumió una altura de hasta 10 m en los valles de los ríos Cauca y Magdalena. El formato de presentación del Mapa Preliminar de Riesgos Volcánicos Potenciales del Volcán Nevado del Ruiz (Cepeda et al, 1985a, Figura 3) fue tomado de aquel usado por Miller et al (1978) para el Volcán Cotopaxi en el Ecuador. Este mapa, escala 1:50000, fue entregado a las autoridades nacionales el 7 de Octubre de 1985 en las instalaciones de INGEOMINAS-Bogotá.

Este mapa fue el primero de esta índole elaborado en el país y en un tiempo record, según científicos extranjeros; es de anotar que tanto este mapa como el siguiente no son propiamente de riesgo sino de amenaza volcánica.

2.2. Mapa de Riesgos Volcánicos Potenciales del Nevado del Ruiz-Noviembre de 1985- (Cepeda et al, 1985b).

Debido al carácter preliminar y a la premura con que debió ser entregado mapa de Octubre-85, se tenía previsto hacerle algunas modificaciones basadas en información a coleccionar en el campo; esto con el fin de conocer mejor la distribución areal de los productos emitidos en las diferentes erupciones del Ruiz, así como los tipos de fenómeno, las veces que

ocurrieron, así como su magnitud, así fuera esta última relativa. Esta segunda versión del mapa (Figura 4), debía ser entregada a las autoridades en la segunda semana de Noviembre-85. Las labores de campo dirigidas a la elaboración del mapa se desarrollaron entre el 07.10.1985 y el 07.11.1985 y la versión fue concluida el 12.11.1985 y su entrega fue aplazada para el 15.11.1985 debido a los sucesos del Policio de Justicia, pero el evento de 13.11.1985 precipitó la entrega que fue hecha al Comité de Emergencia de Caldas en las primeras horas del 14.11.1985.

Las principales modificaciones que sufrió el mapa de Octubre-1985 fueron las relacionadas con la escala, 1:100000, con la disminución de las áreas amenazadas por flujos piroclásticos y por blast, así como una mejor identificación de las zonas amenazadas por lahares. De otra parte, se hizo un mejor cálculo de la probabilidad de ocurrencia de cada tipo de fenómeno volcánico y se escogió un lapso de 6200 años A.F. como representante del comportamiento típico del Volcán Nevado del Ruiz. El evento catastrófico del 13.11.1985 afectó áreas localizadas dentro de las zonas previstas en las dos versiones de mapa de amenaza por los diferentes conceptos.

2.3. Mapa Actualizado de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado del Ruiz- Octubre 7 de 1985- (Para el 11, 1986).

Para la elaboración de este mapa (Figura 5), se hizo una revisión detallada, desde el punto de vista estratigráfico, de algunos de los sitios estudiados para el mapa de Noviembre-1985 y se evaluaron los resultados de las investigaciones ejecutadas luego del evento del 13.11.1985; se contó, además, con la colaboración de los geólogos Martha Lucia Calvacho y Ricardo Arturo Méndez y con la asesoría de los doctores John Tomblin, coordinador de la UNDPD, y Luis Regnaut, glaciólogo de la Universidad de Grenoble (Francia). También se escucharon las opiniones de numerosas personas, especialmente de aquellas que tienen contacto directo con la población y con entidades para las cuales el uso debido del mapa requiere de explicaciones claras. El mapa fue entregado a las altas autoridades gubernamentales de nivel nacional el 10.11.1986.

Para la delimitación de áreas amenazadas se usaron escenarios basados en eventos de los pasados 6200 años A.F. del Ruiz, incluido el del 13.11.1985, excluidos los flujos de lava cuyos límites más externos, con respecto al mapa de Noviembre-85, fueron conservados. Los escenarios de los eventos tipo tomados fueron: a. 6200 años A.F., 12.07.1875, 19.02.1845 para flujos piroclásticos.

b. 3100 años A.F. y 12.07.1895 para la explosión lateral dirigida de ángulo bajo.

c. 19.02.1845 y 13.11.1985 para la producción de lahares.

Como consecuencia de la aplicacion de los criterios anteriores, se redujeron las areas amenazadas por concepto de flujos piroclasticos y explosion lateral dirigida de angulo bajo; las zonas amenazadas por lahares fueron aumentadas. Tambien se logro hacer una zonacion mas precisa en lo relacionado con el grado de amenaza; el procedimiento se describe en el siguiente item.

2.4. Mapa de Zonificacion Probabilistica

2.4.1. Determinacion de Severidad y su Ponderacion: la probabilidad que un fenomeno volcanico afecte una zona con determinada severidad se puede cuantificar en un mapa de zonificacion probabilistica de severidad. Para su elaboracion se toma como base un mapa de amenaza volcanica en donde se pueden identificar diferentes zonas expuestas a distintos tipos de evento; se calcula de datos geograficos conocidos la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los eventos tipo, y se estima, ademas, un grado de severidad para cada uno de los fenomenos susceptibles de ocurrir en una escala arbitraria de uno a cinco, donde cinco implica arrasamiento total y uno implica danos leves, principalmente a bienes. Una vez determinadas severidad y probabilidad de ocurrencia se puede establecer un peligro o severidad ponderada (Tabla 1).

TABLA 1.- DETERMINACION DE SEVERIDAD Y SU PONDERACION PARA LOS EVENTOS DE AMENAZA VOLCANICA POTENCIAL DEL NEVADO DEL Ruiz.

Clase	Amenaza	Tipo	Prob.	Prob. %	Sever.		Sever. Pond.	
					A	M	A	M
I	Lavas	-	1/24	4.2	5	-	1.3	-
II	F.Pir.	1985	13/24	54.2	5	-	21.7	-
III	F.Pir.	1595	7/24	29.2	5	-	11.6	-
IV	F.Pir.	6200	1/24	4.2	5	-	1.3	-
V	E.Lat.	1595	2/24	8.3	5	3	3.3	2
VI	C.Pir.	Bq-B	13/24	54.2	3	-	12.7	-
VII	C.Pir.	3-3dm	13/24	54.2	2	-	8.6	-
VIII	C.Pir.	2dm	13/24	54.2	1	-	4.7	-
IX	Lahar	1985	24/24	100.0	5	-	39.7	-
X	Lahar	1845	11/24	45.8	5	-	16.2	-

Donde:

$$\text{Severidad Ponderada} = \text{Probabilidad \%} \cdot \text{Severidad} / 12.6$$

$$12.6 = \text{Divisor Común}$$

$$\text{Severidad Ponderada Clase I} = 4.2 \times 5 / 12.6 = 1.3$$

A = Amenaza Alta M = Amenaza Moderada

Tipo = Evento Tipo Prob. % = Probabilidad en Porcent

2.4.2. Zonificacion Probabilistica de Severidad: luego de conocida la severidad ponderada para cada clase de evento, se va al Mapa de Amenaza Volcanica y se identifican las zonas que estan igualmente amenazadas por una o varias

clases de evento de manera simultanea. Identificadas las zonas y determinadas las clases de eventos que las amenazan, se hace la sumatoria de las diferentes severidades ponderadas y se obtiene un valor total para cada zona.

En el caso específico del Nevado del Ruiz se obtuvieron 25 zonas con valores comprendidos entre 1.8 y 94.1; cada uno de estos valores totales se multiplicaron por una constante para tener una escala comprendida entre 1.9 y 100.0. El siguiente paso consistió en escoger rangos de valores que pudieran determinar zonas más o menos homogéneas en cuanto a su exposición a la amenaza volcánica y que reflejaran calificativos de amenaza alta, intermedia y baja. Los valores tomados como límite fueron: amenaza baja hasta 10, intermedia hasta 28 y mayor de 28 alta. Las zonas determinadas como de amenaza baja pueden ser afectadas por fenómenos volcánicos de baja severidad ponderada, es decir, están sujetos a eventos poco probables y/o poco severos.

En los casos donde se pasaba directamente de amenaza alta a baja, fue necesario separarlas mediante una franja de unos 500 m de ancho a manera de amenaza intermedia.

2.4.3. Limitaciones para el uso de Tierras y Aguas: Esto se hace con el fin de orientar a las personas o empresas que hacen uso de tierras y aguas localizadas en zonas amenazadas por cualquier tipo de fenómeno natural, sin perder de vista las bondades de los mismos. Se debe hacer en un vocabulario adecuado para que las decisiones sobre los proyectos de inversión y la planificación en general pueden ser hechas de la manera más racional posible, pues uno de los mayores problemas que tienen los encargados de tomar decisiones al respecto no comprenden, y no tienen por que comprender, el vocabulario científico en que se presenta la mayoría de la información sobre riesgos naturales.

Se elabora entonces un mapa que resulta de la superposición de aquel de zonificación probabilística con sus respectivos valores totales con los respectivos mapas de uso del suelo. Lo ideal es que en la elaboración de tal mapa participe un equipo multidisciplinario que debe estar conformado por geólogos, geomorfólogos, agrónomos, hidrólogos, o ingenieros civiles. El fin principal del equipo multidisciplinario es el hacer un análisis más completo y evitar la subjetividad.

En los países en vía de desarrollo es donde se suceden el 90% de los desastres naturales que afectan considerablemente al sector agrícola que es la columna vertebral de la economía de tales países al ser afectado el sector básico de la economía se frena el desarrollo, esto sucede por el uso que se hace de tierras y aguas sin tener en cuenta las limitancias de riesgo natural. Dichas circunstancias no se tienen en cuenta por dos razones principales: Porque no existe información al respecto y porque cuando existe no es utilizable por

planificadores e inversionistas. En ambos casos el problema se resuelve produciendo la información científica y traduciendo a un nivel comprensible y utilizable para la evaluación de proyectos de inversión.

3. CONCLUSIONES / RECOMENDACIONES

Los mapas de Amenaza Volcanica Potencial del Nevado del Ruiz sirven para identificar las zonas que pueden ser afectadas por la actividad volcanica de acuerdo a la historia del volcan mismo en sus ultimos periodos.

Tales mapas no implican analisis de vulnerabilidad y no pueden ser considerados en sentido estricto como mapas de riesgo.

El proceso de elaboracion de los mapas se ha ido desarrollando de acuerdo al mejor conocimiento que se tiene del comportamiento presente y pasado del Nevado del Ruiz, así como de la mayor experiencia en el manejo de la informacion con respecto a los riesgos naturales por parte de personal nacional con la valiosa asesoría de especialistas extranjeros.

Los mapas de amenaza son utilizables para llegar a elaborar mapas de limitacion de uso de tierras y aguas, así como de herramienta indispensable para la preparacion de planes de prevencion y atencion de una emergencia por parte de las autoridades, organismos de prevencion y control y en menor grado por las personas mismas. Una utilidad directa del mapa es la identificar las zonas fuera de riesgo.

Se recomienda la elaboracion de mapas de limitacion de uso de tierras y agua, mediante el uso de los mapas de amenaza volcanica en combinacion con analisis de vulnerabilidad, mapas de uso de tierras y otros mapas de amenaza natural (inundaciones, deslizamientos y derrumbes, terremotos, etc.).

Se recomienda a los científicos que investigan los fenomenos naturales y sus consecuencias, que se orienten sus investigaciones al impacto que dichos fenomenos pueden tener sobre el desarrollo del país y presentar sus resultados de manera que puedan ser asimilados tanto por la comunidad científica como por aquellos que hacen la evaluación de proyectos de desarrollo entendido este como la búsqueda de una calidad de vida optima para todos y cada uno de los integrantes de la sociedad mediante el uso racional de los recursos naturales para la obtencion de bienes y servicios necesarios para tal fin.

4. BIBLIOGRAFIA

ADUETA, J. 1846. Relation de l'eruption bouillonnante du volcan de Ruiz et de la catastrophe de Laganille dans la Republique de Nouvelle Grenade. C. D. Deauville, Paris.

