

**AMENAZA VOLCANICA EN COLOMBIA: ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS**

**EDITH KATHERINE JEREZ HEREDIA**

**Geóloga**

**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**BUCARAMANGA, COLOMBIA**

**2009**

**AMENAZA VOLCANICA EN COLOMBIA: ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS**

**Monografía presentada para optar el título de:  
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**AUTOR:**

**Edith Katherine Jerez Heredia**

**Geóloga.**

**Estudiante de Maestría en Ciencias de la Tierra  
Universidad EAFIT. Medellín, Colombia**

**DIRECTOR:**

**Gloria Elena Toro Villegas**

**Ing. Geóloga PhD. En Tefrocronología**

**Docente Escuela de Geología**

**Universidad EAFIT. Medellín, Colombia**

**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**BUCARAMANGA, COLOMBIA**

**2009**

**edicado a:**

***A Dios y a La Virgen, que siempre me cuidan...***

***A Ana Beatriz Heredia, por ser la mejor mamá del mundo, con una  
mentalidad superior a esta época, por su sabiduría, amor y entrega  
constante...***

***A Zulma Johanna Jerez Heredia, por ser la mejor hermana y el mejor ser  
humano que conozco, siempre un ejemplo a seguir, por entenderme y  
apoyarme hasta en la más loca idea...***

***A todas las personas que se alegran con este triunfo...***

***A quienes creen en mí...***

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander, por abrir mi mente y formarme

A los docentes de la especialización en Ingeniería Ambiental, por moldearme como profesional

A Gloria Elena Toro Villegas, por sus correcciones y directrices en la elaboración de este trabajo.

A Ingeominas y la Universidad EAFIT, por hacerme parte del proyecto: Vulcanismo Neógeno y Cuaternario en el Sur-Occidente colombiano, departamento del Cauca: sector Formación Popayán- Morales, sector poblaciones de Puracé- Coconuco, río San Francisco y sector población Río Blanco- Río Guachicono.

A la vulcanología, por enamorarme siempre

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS .....	3
Objetivo General	3
Objetivo Específicos	3
1. GENERALIDADES SOBRE VULCANISMO.....	4
1.1 El interior de la Tierra	6
1.2 Capas mecánicas de la Tierra	8
1.3 ¿Qué es un volcán?	9
1.3.1 Tipos de magmas	11
1.4 Tipos de volcanes	12
1.5 Estilos Eruptivos	15
2. TIPOS DE EVENTOS VOLCÁNICOS AMENAZADORES.....	18
2.1 Flujos de lava y Domos de lava	18
2.1.1 Efectos amenazadores.	19
2.1.2 Controles:	19
2.2 Corrientes de densidad piroclástica	20
2.2.1 Flujos piroclásticos:	20
2.2.2 Surges u oleadas piroclásticas calientes:	20
2.2.3 Surges fríos o basales.	21
2.2.4 Efectos amenazadores.	21
2.2.5 Controles.	21

2.3 Blasts direccionadas o explosión lateral dirigida.	22
2.3.1 Efectos amenazadores:	22
2.3.2 Controles:	22
2.4 Lahares.	22
2.4.1 Efectos amenazadores.	23
2.4.2 Controles:	23
2.5 Colapso de edificio.	23
2.5.1 Avalanchas de escombros.	23
2.5.2 Colapso gradual.	24
2.5.3 Efectos amenazadores:	24
2.5.4 Controles.	24
2.6 Caída de tefras y proyectiles balísticos.	24
2.6.1 Efectos amenazadores.	25
2.6.2 Controles.	25
2.7 Gases volcánicos.	26
2.7.1 Efectos amenazadores.	26
2.7.2 Controles.	26
2.8 Sismos volcánicos.	26
2.8.1 Efectos amenazadores.	27
2.8.2 Controles.	27
2.9 Ondas de choque atmosférico.	27
2.9.1 Efectos amenazadores.	27

2.9.2 Controles.	27
2.10 Tsumanis.	27
2.10.1 Efectos amenazadores.	28
2.10.2 Controles.	28
3. LA AMENAZA VOLCÁNICA EN COLOMBIA.....	30
3.1 La historia de Armero: Cronología de un evento volcánico	32
3.1.1 Detección inicial de la amenaza	34
3.1.2 Actividades del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS)	36
3.2 Momentos próximos a la erupción volcánica	38
3.3 Manejo de los desastres naturales en Colombia: Antecedentes y reglamentación	45
3.3.1 Integrantes del SNPAD (Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres)	48
4. ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN COLOMBIA.....	55
4.1 Volcanes Activos en Colombia	56
4.2 Vigilancia volcánica en Colombia	58
4.3 Niveles de actividad volcánica de Colombia.	60
4.4 Ocurrencia de erupciones volcánicas en Colombia.	61
4.5 Volcanes colombianos: Generalidades	63
4.5.1 Observatorio Vulcanológico Manizales. (OVM).	63
4.5.2 Observatorio Vulcanológico Popayán. (OVP).	75
4.5.3 Observatorio Vulcanológico de Pasto (OVSP).	85
4.6 Observaciones	97

5. ELABORACIÓN DE MAPAS DE AMENAZA.....	99
5.1 Terminología empleada en la evaluación de la amenaza volcánica	99
5.2 Evaluación de la amenaza volcánica	100
5.2.1 Recopilación de información	101
5.2.2 Estudios geológicos generales	101
5.2.3 Vigilancia volcánica.	103
5.3 Programa de mitigación de la amenaza y reducción del riesgo volcánico	104
5.3.1 Identificación de volcanes de alto riesgo	106
5.3.2 Zonación y valoración de la amenaza	106
5.3.3 Monitoreo volcánico y prevención de erupciones	107
5.3.4 Manejo de emergencia volcánica.	108
5.4 Elaboración de mapas de amenaza	109
5.4.1 Utilidad de los mapas de amenaza	110
5.4.2 Actualización de los planes de amenaza	111
5.5. Educación a la comunidad	111
5.6 Clasificación de la amenaza: En Colombia	112
6. AMENAZA VOLCÁNICA .....	114
6.1 Anomalías de Radón y actividad volcánica	114
6.2 Indicadores Hidrogeoquímicos	115
6.3 Herramienta de simulación multimedia	116
6.4 Sistemas de monitoreo geo-espacial	116
6.5 Monitoreo diario de desgasificación volcánica	117
6.6 Observaciones	117

7. CONCLUSIONES.....	119
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Erupciones históricas del Volcán Nevado del Ruiz.	67
Tabla 2. Actividad histórica del volcán nevado de Santa Isabel.	69
Tabla 3. Actividad histórica del volcán Nevado del Tolima.	71
Tabla 4. Erupciones históricas del Volcán Cerro Machín.	74
Tabla 5. Erupciones históricas del Volcán Puracé.	77
Tabla 6. Actividad histórica del Volcán Galeras.	87
Tabla 7. Erupciones históricas del Complejo Volcánico del Cumbal.	92

## LISTA DE FIGURAS

- Figura. 1. Diagrama ilustrativo de las capas composicionales de la Tierra. En la parte izquierda se observa la diferenciación química, compuesta por corteza, manto y núcleo. En el diagrama de la derecha se observa la diferenciación de las capas según su comportamiento mecánico, diferenciadas en litosfera, astenosfera, mesosfera y núcleo 6
- Figura 2. Diagrama explicativo de las partes principales de un volcán. 10
- Figura 3. Volcán escudo. 12
- Figura 4. Cono de cenizas. 13
- Figura. 5. Cono compuesto o estrato volcán 14
- Figura. 6. Estilos eruptivos: Hawaiana, Estromboliana, Vulcaniana y Peleana. 15
- Figura. 7. Diagrama ilustrativo de los tipos de eventos volcánicos amenazadores. 29
- Figura 8. Localización Volcán Nevado del Ruiz . Departamento de Tolima, Colombia. 32
- Fig. 9. Localización de las principales poblaciones amenazadas por los flujos del Volcán Nevado del Ruiz (VNR) entre las que se observan Armero, Ambalema, Guayabal, Lérída ,Mariquita, Líbano, Murillo y Chinchiná. También se aprecian los principales ríos que nacen en VNR, son ellos: río azufrado, lagunillas, Rocío, gualí, Claro y Chinchiná. Modificado de Miletí, et al, 1991. 34

Fig. 10. Diagrama tridimensional, mostrando la región ubicada al Este del Nevado del Ruiz, y sus poblaciones vecinas del departamento de Tolima. Nótese la baja ubicación topográfica del municipio de Armero.	37
Fig. 11. Ejemplo de panfleto educativo entregado a la población de Armero, y suministrado por la Defensa Civil colombiana.	44
Fig. 12. Organigrama del Sistema Nacional para la prevención y Atención de Desastres-Colombia.	54
Figura. 13. Cinturón de fuego del Pacífico. En el que se observan los límites entre Placas	57
Figura.14. Ilustración de las Zonas volcánicas en Colombia: Norte, Centro y Sur.	59
Figura. 15. Escala de niveles de actividad para volcanes de Colombia.	61
Figura. 16. Niveles de actividad actualmente registrados en los volcanes monitoreados por el Ingeominas. Enero 2009.	62
Figura. 17. Fotografía Volcán Cerro Bravo.	63
Figura. 18. Fotografía Volcán Nevado del Ruiz.	65
Tabla 1. Erupciones históricas del Volcán Nevado del Ruiz.	67
Figura. 19. Fotografía Volcán Nevado de Santa Isabel.	68
Figura. 20. Fotografía Volcán Nevado de Tolima, se observa al fondo el volcán Nevado del Ruiz.	70
Tabla 3. Actividad histórica del volcán Nevado del Tolima.	71
Figura. 21. Fotografía Volcán Cerro Machín.	72

4.5.2 Observatorio Vulcanológico Popayán. (OVP).	75
Figura. 22. Fotografía Volcán Puracé. Vista desde el NW. En primer plano se aprecia la mina de azufre El Vinagre con el cráter del volcán Puracé al fondo.	75
Figura. 23. Vista del volcán Nevado del Huila desde el S del edificio volcánico. Se hace evidente también el retroceso glaciar.	79
Figura. 24. Volcán Sotará.	83
Figura. 25. Volcán Galeras.	85
Figura. 26. Detalle de la cumbre del CVC vista desde el suroriente, en un punto en la vereda Cuaical (sector La Ortiga) distante unos 6.5 Km de la cima volcánica, sobre uno de los caminos para ascender a la cumbre volcánica. Se observa actividad fumarólica en uno de los cráteres del sector norte (Plazuelas).	90
Figura. 27. Volcanes Chiles y Cerro Negro, fotograftomada desde el volcán Cumbal.	92
Figura. 28. Fotografía de la cima del volcán Azufral, en la que se observa en todo su esplendor su laguna cratérica (llamada Laguna Verde, por la coloración de sus aguas) en medio de exuberante vegetación de páramo, a una altitud de 4070 msnm.	94
Figura. 29. Fotografía del volcán Doña Juana.	95
Figura. 30. Diagrama ilustrativo sobre la construcción de un efectivo programa para mitigar la amenaza y disminución del riesgo volcánico. Se observa dividido el ápice, y el cuerpo de la pirámide, indicando las diferentes responsabilidades entre científicos y cuerpos gubernamentales.	105
Figura.31. Esquema de un mapa de amenaza.	113

## RESÚMEN

**TITULO:** AMENAZA VOLCANICA EN COLOMBIA: ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS\*

**AUTOR:** Edith Katherine Jerez Heredia\*\*

**Palabras claves:** amenaza volcánica, prevención y atención de desastres, vulcanismo.

El vulcanismo que se manifiesta en Colombia es el resultado de un proceso dinámico entre la placa oceánica del Pacífico que se desliza bajo la placa continental de Suramérica. Se han reconocido en Colombia alrededor de 82 centros volcánicos, de los cuales 28 son considerados por el Ingeominas como activos. No se descarta la posibilidad de que esta cifra sea mayor en la realidad, pues es necesario apoyarse en técnicas de estudio y herramientas tecnológicas más precisas para tener un conocimiento acertado sobre la actividad volcánica en el país.

El manejo de la amenaza volcánica en Colombia, surge a partir de la reactivación del Volcán Nevado del Ruiz, el 13 de Noviembre de 1985, cuando a causa de un flujo lahárico que sepultó el municipio de Armero, mueren alrededor de 25.000 personas y se generan pérdidas económicas de aproximadamente 211.8 millones de dólares. Desde ese momento, el gobierno nacional ve la necesidad de desarrollar mayores estudios vulcanológicos, reconoce la importancia de los mapas de amenaza volcánica, y fortalece su reglamentación sobre el manejo de desastres naturales, creando como resultado Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, (SNPAD), desde donde se coordinan todos los programas, políticas y acciones a tomar en caso de una emergencia causada por un desastre natural.

La elaboración de los mapas de amenaza, se fundamenta en datos geológicos, geofísicos, geoquímicos y geodésicos, tratando de abarcar el mayor rango de tiempo posible, para reconstruir así la historia evolutiva de un sistema magmático. Los mapas de amenaza se convierten en la base para generar los planes de riesgo, bajo los cuales se realizan las actividades relacionadas a mitigar los efectos de una erupción volcánica sobre población, y bienes en áreas aledañas a los centros de emisión.

En la actualidad, existen a nivel mundial sofisticadas herramientas enfocadas a actividades de monitoreo, las cuales generan datos de alta precisión y confiabilidad que facilitan el conocimiento vulcanológico y permiten tomar de manera más acertada decisiones como evacuaciones o declaraciones de estados de emergencia.

---

\* Proyecto de grado modalidad monografía

\*\* Facultad de Ingenierías fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Especialización en Ingeniería Ambiental. Universidad Industrial de Santander. Director: PhD. En Tefrocronología. Gloria Elena Toro Villegas

## ABSTRACT

**TITLE:** VOLCANIC HAZARD IN COLOMBIA: HISTORY AND PROSPECTS \*

**Author:** Edith Katherine Jerez Heredia \*\*

**Key words:** volcanic hazard, disaster prevention and preparedness, volcanism.

The volcanism in Colombia is the result of a dynamic process between the Pacific oceanic plate that slides under the continental plate of South America. Has been recognized about 82 volcanic centers of which 28 are considered as active volcanoes by Ingeominas. There is the possibility that this figure is higher in reality, it's necessary to rely on survey techniques and technological tools to have more accurate knowledge about the volcanic activity in the country.

The management of the volcanic hazards in Colombia, begins from the reactivation of the Nevado del Ruiz volcano on November 13, 1985, when a lahar buried the Armero village, killing approximately 25,000 people and generating economic losses of approximately U.S. \$ 211.8 million. Since then, the government sees the need for increase volcanological studies, recognizes the importance of volcanic hazard maps, and strengthens its regulations on the management of natural disasters. Then is created, the National System for Disaster Prevention and Response, (SNPAD) that is responsible for coordinate all programs, policies and actions to take if happens an emergency by a natural disaster.

The development of volcanic hazards maps is based on geological, geophysical and geochemical knowledge, trying to cover the largest possible range of time, and reconstructing the evolutionary history of a magmatic system. Volcanic hazards maps becomes the basis for generating risk plans, which related the activities to mitigated the effects of a volcanic eruption on people and property in areas surrounding to emission centers.

Currently, there are sophisticated tools focuses to monitoring activities, which generate data of high precision and reliability. They provide knowledge Vulcanological and let to take appropriate decisions such as evacuations or declarations of states of emergency.

---

\* Monograph

\*\* Physical chemistry school, Department of chemical engineering, specialization in environmental engineering. Industrial University of Santander. Director: PhD. in Tephrochronology. Gloria Elena Toro Villegas

## INTRODUCCIÓN

La vulcanología como ciencia de la Tierra, está íntimamente ligada al manejo de la amenaza volcánica, pues el conocimiento científico de los sistemas magmáticos se convierte en el punto de partida sobre el cual se debe construir un adecuado plan de manejo de la amenaza volcánica.

En Colombia, la actividad volcánica está distribuida en las unidades fisiográficas que comprende la Cordillera Central, el sector sur de la Cordillera Occidental y la depresión Cauca- Patía. Sobre el vulcanismo activo en el país, existen registros históricos que se remontan a épocas precolombinas, demostrando que el vulcanismo activo es una amenaza latente, pero también ha formado parte de la historia y transformación del país.

En el desarrollo de ésta monografía, se hace énfasis en las posibles amenazas asociadas a una erupción volcánica, sus características y alcances, buscando proporcionar un bagaje de conocimiento sobre los productos volcánicos y sus procesos. Aprender a convivir con la actividad volcánica, involucra desarrollar programas que ayuden a mitigar y controlar el riesgo volcánico. En Colombia, éste proceso se desencadenó a partir de la tragedia de Armero, en 1985, cuando fue palpable, la importancia de desarrollar sistemas integrados que abarquen conocimientos científicos, monitoreo volcánico, divulgación y enseñanza a la población sobre las amenazas que pueden acarrear los diversos productos volcánicos, buscando prevenir víctimas y pérdidas económicas. Se dió entonces a inicios de la década de los 80's la creación de la reglamentación necesaria sobre manejo atención y prevención de desastres naturales.

Actualmente, las actividades de monitoreo y estudios científicos, se llevan a cabo por el Ingeominas (Instituto de Investigaciones e Información geocientífica, minero ambiental y nuclear), el cual ha creado tres observatorios vulcanológicos, en la

ciudades de Manizales, Popayán y Pasto, desde donde se monitorea constantemente la actividad de las tres zonas volcánicas en el país.

Aunque existen reconocidos volcanes activos, como el volcán Nevado del Ruiz y el volcán Galeras, famosos por su reactivación en 1984 y 1989, los cuales son objeto de estudios prioritarios de monitoreo y conocimiento científico, existen otros volcanes de los cuales se desconoce aún un registro o historia de su actividad, algunos de ellos no poseen monitoreo o mapas de amenaza, lo que aumenta todavía más la amenaza ante un evento eruptivo.

Adelantos tecnológicos, toman herramientas sofisticadas de monitoreo, como satélites o análisis geoquímicos, con los cuales es posible registrar en tiempo real la actividad volcánica y conocer cualquier anomalía que pueda llegar a convertirse en emergencia. Muchas de estas tecnologías pueden resultar costosas o de difícil acceso para países en vía de desarrollo, sin embargo son la clave que puede salvar vidas y evitar que un proceso de origen natural como son las erupciones volcánicas genere tragedias en poblaciones y conlleve a pérdidas de vidas humanas.

Vivir en zonas volcánicas, posee tanto beneficios como riesgos, pero tomando las medidas necesarias sobre profundización del conocimiento científico, el control en planeación territorial, y mantenido canales adecuados de educación y comunicación con la comunidad, es posible tomar partido de beneficios que ofrece un área volcánica, entre los cuales se contempla fuentes hídricas, recursos geotérmicos, suelos fértiles para la agricultura, depósitos volcánicos como puzolanas para construcción, piedra pómez, y el aprovechamiento desde el punto de vista turístico, dando a conocer los majestuosos paisajes que genera el vulcanismo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Conocer cómo se está desarrollando actualmente el manejo de la amenaza volcánica en Colombia y cuáles son sus tendencias para el futuro.

### **OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Identificar cuáles son los diferentes tipos de eventos volcánicos amenazadores, a nivel nacional.
- Realizar una reconstrucción histórica sobre el comportamiento de los volcanes colombianos más activos y más estudiados, hasta el momento.
- Conocer cuales técnicas se emplean actualmente en Colombia para el manejo de la amenaza volcánica.
- Identificar cuales volcanes colombianos poseen hoy mapa de amenaza volcánica.
- Examinar cuales son los nuevos avances e innovaciones para la disminución de riesgo y amenaza volcánica a nivel mundial.

## 1. GENERALIDADES SOBRE VULCANISMO

### *Conceptualización básica.*

*El vulcanismo se define como la manifestación de los procesos termales internos que sufre un planeta o satélite a través de la emisión en superficie de productos sólidos, líquidos y gaseosos. Estas manifestaciones a lo largo de miles de años forman sobre la superficie terrestre estructuras sobresalientes llamadas volcanes, los cuales pueden poseer diversas formas, tipos de erupción, y productos con variadas características. Se tratarán a continuación las principales definiciones y conceptos útiles para entender los procesos asociados a un volcán, dentro del contexto dinámico, que caracteriza al planeta Tierra.*

La Tierra es un planeta dinámico. En el que actúan miles de procesos naturales, que a lo largo de aproximadamente 5000 millones de años han ocurrido constantemente en nuestro planeta, y que hoy continúan creando y transformando el paisaje.

Hace 1000 millones de años, sobre la superficie terrestre no existían la cadena montañosa de los Andes, ni las cordilleras colombianas, ni las playas del Caribe y el Atlántico, que hoy vemos. Para ése momento los continentes poseían formas diferentes y estaban ubicados en posiciones distintas con respecto a las actuales. Pero ¿A Qué se debe toda esta dinámica de cambio constante? La respuesta está en la energía vital que yace en el interior de la Tierra, que hace diferente al planeta, y que se ve reflejada en los procesos que alteran la superficie terrestre.

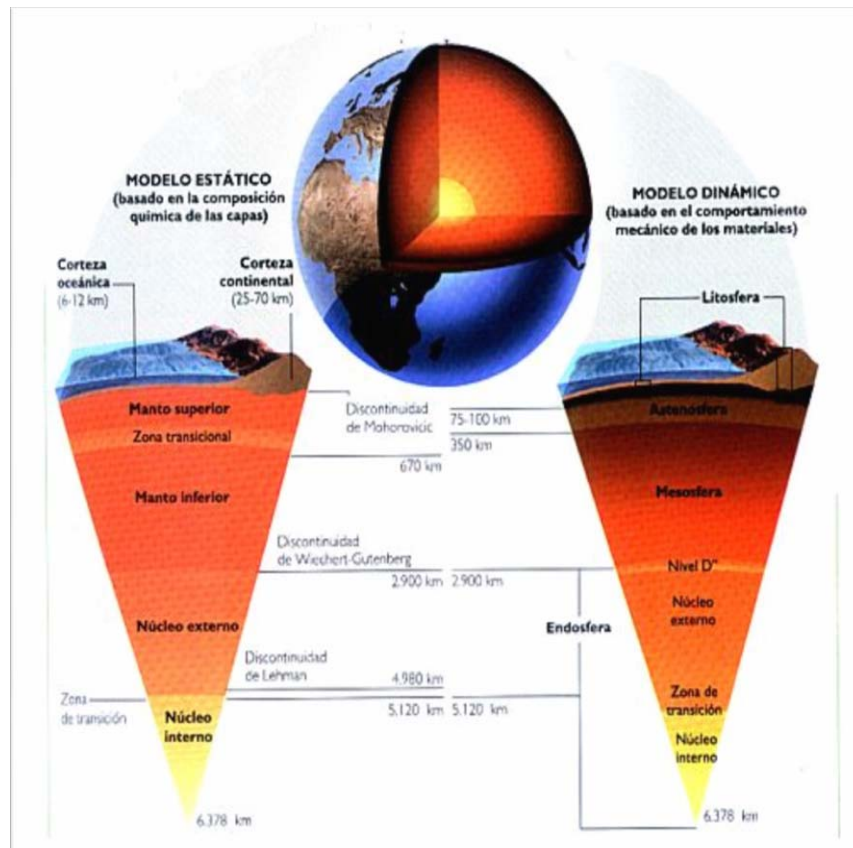
Estos procesos pueden dividirse en dos categorías: destructivos y constructivos. Los procesos destructivos son los que desgastan la Tierra, como la meteorización y la erosión, causada por agentes físicos y químicos, que alteran continuamente el paisaje. Estos procesos, habrían nivelado hace mucho tiempo los continentes, sino hubiera sido por los procesos constructivos que se oponen a éstas fuerzas.

Entre los procesos constructivos se encuentran el vulcanismo y la formación de montañas, que aumentan elevación media de la Tierra, y que demuestran la fuente de energía radica en el núcleo de ésta. (Tarbuck, 2000).

El vulcanismo, fenómeno natural que involucra grandes cantidades de energía será tratado a continuación, señala la evidencia de un planeta con núcleo "vivo", que permite estudiar en superficie los productos que emanan de su interior, conocer sus ciclos, comportamientos y construir a partir de ellos las historias evolutivas de los actuales continentes.

## 1.1 EL INTERIOR DE LA TIERRA

Figura. 1. Diagrama ilustrativo de las capas composicionales de la Tierra. En la parte izquierda se observa la diferenciación química, compuesta por corteza, manto y núcleo. En el diagrama de la derecha se observa la diferenciación de las capas según su comportamiento mecánico, diferenciadas en litosfera, astenosfera, mesosfera y núcleo



Fuente: [www.kalipedia.com](http://www.kalipedia.com)

El interior de la Tierra no es homogéneo, posee químicamente una diferenciación en tres regiones principales: Corteza, manto y núcleo. Esta diferenciación se conoce como Modelo estático o composicional (Fig.1. Diagrama izquierdo)

**La corteza**, es la capa rígida más externa de la Tierra, se divide en corteza oceánica y corteza continental. Normalmente las cadenas montañosas de la corteza oceánica tienen un espesor que oscila entre 3 y 15 kilómetros, están compuestas por rocas ígneas oscuras denominadas basaltos, poseen mayor densidad que las rocas continentales, aproximadamente  $3,0 \text{ g/cm}^3$ , pero son más jóvenes que las continentales, alrededor de 180 millones de años o menos. Por el contrario, el nivel superior de la corteza continental, consta de una gran variedad de tipos de roca, que tienen una composición media equivalente a una roca granítica llamada granodiorita. Su espesor varía entre 30 y 70 kilómetros, tienen una densidad media de alrededor de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , y se han descubierto algunas cuya edad supera los 3.800 millones de años. (Tarbuck, 2000).

**El manto.** Más del 82% del volumen de la Tierra, está contenido en el manto, una envoltura de unos 2.900 kilómetros de grosor. El límite entre la corteza y el manto, refleja un cambio de composición. Aunque el manto se comporta como un sólido cuando transmite las ondas sísmicas, las rocas del manto son capaces de fluir a una velocidad increíblemente lenta. El manto se divide en manto inferior o mesósfera, que se extiende desde el límite núcleo manto, y el manto superior, que continua hasta la base de la corteza. (Tarbuck, 2000).

**El núcleo**, está compuesto fundamentalmente de hierro, con cantidades menores de Níquel, y otros elementos. A la presión externa del núcleo, éste material rico en hierro tiene una densidad media de alrededor de  $11 \text{ g/cm}^3$ . El núcleo interno y externo son muy similares en su composición, pero su división se basa en diferentes estados, el núcleo externo es líquido capaz de fluir. La circulación dentro del núcleo externo de nuestro planeta en rotación, genera el campo magnético de la Tierra. El núcleo interno, a pesar de su temperatura más elevada, se comporta como un sólido. (Tarbuck, 2000).

## 1.2 CAPAS MECÁNICAS DE LA TIERRA

Según el comportamiento mecánico de las capas, el interior de la Tierra puede dividirse en litosfera, astenosfera y mesosfera. Esta diferenciación se conoce como Modelo Dinámico. (Fig. 1. Diagrama derecho).

La corteza y el manto superior, forman un nivel relativamente rígido y frío, y aunque éste nivel está compuesto por composiciones químicas notablemente diferentes, se comportan como una unidad, que responde de manera frágil ante la deformación. A ésta unidad rígida y externa se le denomina **litósfera**, con un grosor medio de unos 100kilometros, alcanzando los 250 kilómetros debajo de los escudos de los continentes.

Debajo de la litosfera se ubica una capa blanda, relativamente plástica, localizada en el manto superior y que se conoce como **astenosfera**. La región que abarca los 150 primeros kilómetros de la astenosfera, posee unas condiciones de temperatura y presión que permiten la existencia de una pequeña porción de roca fundida (quizá de 1 a 5 %). Dentro de ésta zona muy dúctil, la litósfera está separada de la astenosfera situada debajo. La consecuencia es que la litósfera es capaz de moverse con independencia de la astenosfera. (Tarbuck, 2000).

Bajo la litosfera y hasta la discontinuidad de Guttenberg, se encuentra la **mesósfera**, también llamada manto inferior, la cual se ubica entre los 250 y 2900 Km de profundidad, posee características de capa sólida, y rígida, pero posee corrientes de convección.([www.geofisica.unam.mx](http://www.geofisica.unam.mx)).

Lo anterior, apoya la teoría de **tectónica de placas**, en la cual se describe el planeta como la suma de siete placas principales, que interactúan entre si y que se movilizan impulsadas por corrientes de convección térmica, alimentadas desde el núcleo.

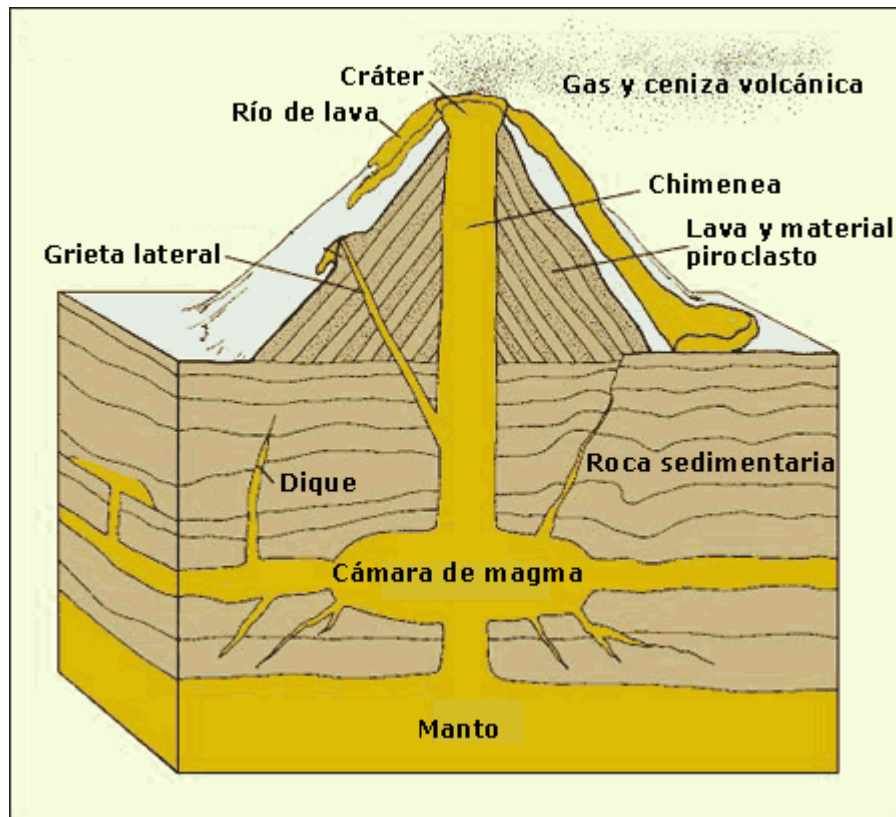
En los sitios de choque entre placas, caracterizadas por esfuerzos compresivos, se pueden dar origen a cordilleras como los Andes o Arcos de islas. Todo sucede cuando la corteza oceánica, cuya composición es rica en minerales máficos y posee mayor densidad que las placas continentales, tiende a hundirse bajo la otra placa menos densa (Proceso llamado subducción); cuando el material alcanza ciertas profundidades, comienza a fundirse, dando origen a las fases iniciales de la generación del magma, el cual ascenderá hacia la superficie terrestre por zonas de debilidad como fracturas, grietas, fallas, dando origen así a los volcanes.

En los sitios donde las placas tectónicas se separan, o sea dominan los esfuerzos distensivos, existe también actividad volcánica caracterizada por erupciones voluminosas y continuas, donde se crea nueva corteza constantemente, pero que por su carácter submarino, suelen pasar como desapercibidas. (Tarbuck, 2000).

### **1.3 ¿QUÉ ES UN VOLCÁN?**

El volcán es una montaña en la superficie de continentes y del fondo del océano, por donde la Tierra expulsa una mezcla denominada magma, compuesta por roca fundida, partículas sólidas y gases calientes provenientes de su interior. Está constituido por un cráter, orificio por donde sale el magma, un cono o edificio volcánico, unos reservorios internos o cámara magmática y conductos que comunican con el cráter.

**Figura 2. Diagrama explicativo de las partes principales de un volcán.**



Fuente: [www.pnte.ccfnavarra.es](http://www.pnte.ccfnavarra.es)

El cráter, generalmente, está ubicado en la parte más alta, por allí sale el material que va formando por acumulación, el edificio del volcán a causa de las sucesivas erupciones, durante decenas, cientos, miles e incluso millones de años. En la cámara magmática ubicada en el interior del volcán, está almacenada por poco o mucho tiempo el magma. El cuello volcánico y los otros conductos, así como la cámara magmática pueden ser muy complicados geoméricamente. (Alarcón, 2000).

### 1.3.1 Tipos de magmas

**Magmas máficos (basálticos):** Se forman en su mayoría por la fusión de rocas ultramáficas peridotitas, que son el principal constituyente del manto superior. Debido a que son pobres en sílice, producen un magma de composición basáltica. La mayoría de estos magmas, ascienden lo bastante rápido, como para que cuando entran en ambientes más fríos, la pérdida de calor sea compensada por una disminución de la temperatura de fusión, por lo que son comunes en ambientes de dorsales oceánicas, como grandes flujos de erupciones predominantemente tranquilas. . (Tarbuck, 2000)

**Magmas Intermedios (andesíticos):** Este tipo de magma no es expulsado por volcanes de cuencas oceánicas profundas, sino que está restringido a márgenes continentales o adyacentes. Se forma por la interacción de los magmas basálticos derivados del manto y los componentes más félsicos de la corteza, o por enfriamiento del magma basáltico y diferenciación magmática, cuyo proceso involucra minerales ferromagnesianos que cristalizan primero, entonces por sedimentación cristalina, el fundido restante enriquecido en sílice, tendrá composición andesítica. . (Tarbuck, 2000)

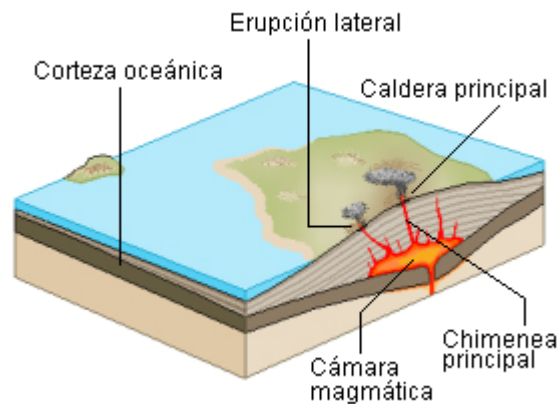
**Magmas félsicos (graníticos):** Los magmas félsicos son demasiado ricos en sílice, para ser generados a partir de la diferenciación magmática de magmas máficos. Lo más probable es que sean el producto final de la cristalización de un magma andesítico, o el producto de la fusión parcial de las rocas continentales ricas en sílice, por el calor producido por magmas máficos calientes, que se acumulan debajo de la corteza. (Tarbuck, 2000).

## 1.4 TIPOS DE VOLCANES

Se clasifican según su morfología, pendientes y composición de sus productos.

**Volcanes escudo:** volcán de estructura amplia, ligeramente abovedada, se denomina escudo porque recuerda vagamente la forma del escudo de un guerrero. Están formados fundamentalmente por coladas de lava basáltica y contienen sólo un pequeño porcentaje de material piroclástico. (Tarbuck, 2000).

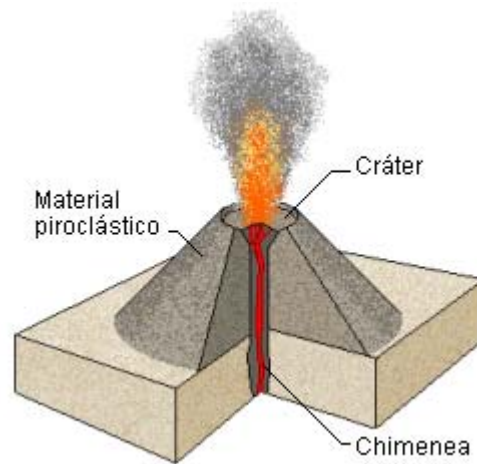
**Figura 3. Volcán escudo.**



Fuente: [www.redescolar.ilce.edu.mx](http://www.redescolar.ilce.edu.mx)

**Conos de Cenizas:** Están contruidos con fragmentos de lavas proyectados, o sea material piroclástico suelto, que tiene un gran ángulo de reposo, entre 30 y 40 grados, el ángulo más alto por debajo del cual el material permanece estable, por lo que este tipo de volcanes tiene pendientes muy empinadas. Suelen ser bastante pequeños, normalmente poseen menos de 300m de altura, y a menudo se forman cerca de volcanes más grandes y suelen encontrarse en grupos. (Tarbuck, 2000).

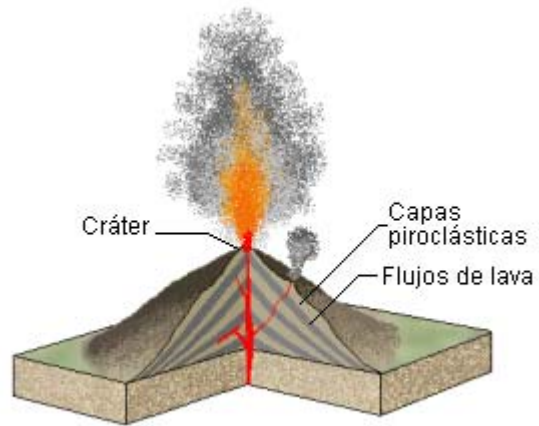
**Figura 4. Cono de cenizas.**



Fuente: [www.redescolar.ilce.edu.mx](http://www.redescolar.ilce.edu.mx)

**Conos compuestos o estratovolcán:** Es una estructura casi simétrica, compuesta por una alternancia de coladas de lava, y depósitos piroclásticos, emitidos principalmente a partir de una chimenea central. La mayoría de éste tipo de volcanes se encuentra en el denominado *anillo de fuego del pacífico*, y se caracterizan por la naturaleza de lavas muy fluídas, y erupciones violentas. (Tarbuck,2000).

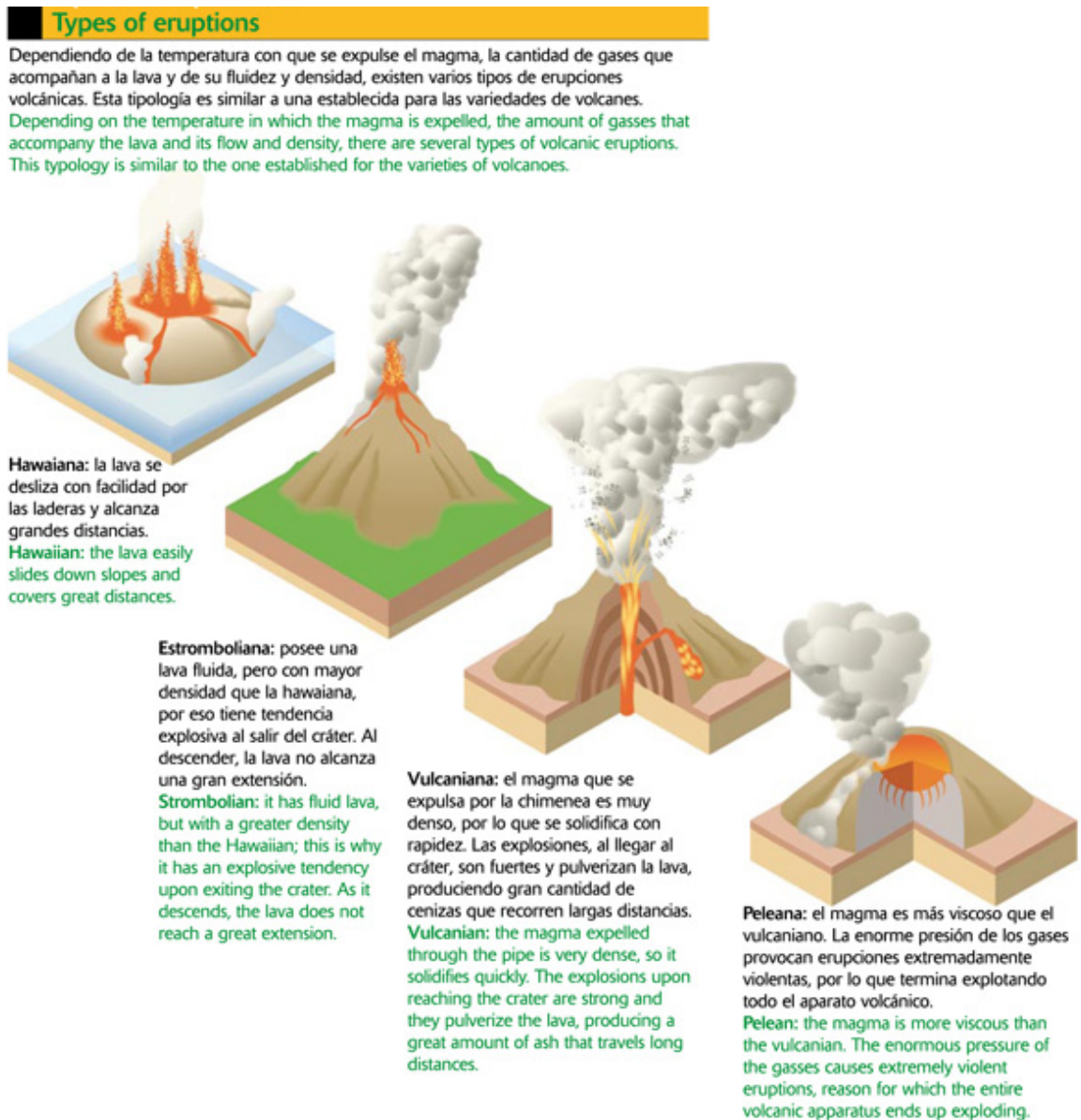
**Figura. 5. Cono compuesto o estrato volcán**



Fuente: [www.redescolar.ilce.edu.mx](http://www.redescolar.ilce.edu.mx)

## 1.5 ESTILOS ERUPTIVOS

Figura. 6. Estilos eruptivos: Hawaiana, Estromboliana, Vulcaniana y Peleana.



Fuente: [www.icarito.cl](http://www.icarito.cl)

**Tipo Hawaiano:** Se caracteriza por voluminosas erupciones recurrentes y tranquilas de lava muy fluida, que viaja a velocidades de hasta 80 Km/h. Forma edificios volcánicos voluminosos, de altura pequeña si se le compara con las grandes extensiones de terreno que cubre (morfología tipo escudo). Un buen ejemplo de éste tipo de erupciones se observa en el Mauna Loa, volcán hawaiano, considerado el volcán activo más grande del mundo, con altura de 9 Km y diámetro de 200 Km. (Alarcón, 2000).

**Tipo Estromboleano:** Están casi continuamente en actividad, se caracterizan por presentar erupciones a intervalos de minutos a horas, y pueden permanecer erupción por espacio de decenas, cientos y hasta miles de años. En cada erupción lanza a la atmosfera, fragmentos parcialmente solidificados de lava, cenizas y gases. La violencia de sus erupciones no suele ser muy fuertes. El ejemplo clásico es el volcán italiano Estromboli, del cual se adoptó el nombre. (Alarcón, 2000).

**Tipo Vulcaniano:** En éste tipo de erupción ocurren potentes explosiones de roca fundida, partículas sólidas y gases calientes que son expulsados a la atmósfera en forma de columnas, que durante la erupción alcanzan varios kilómetros de altura sobre el nivel del cráter. El Galeras presenta éste tipo de erupciones. (Alarcón, 2000).

**Tipo Pliniano o Peleano:** Es el tipo de erupción más violento. Forman grandes columnas de erupción, que pueden afectar áreas que estén muy retiradas del área del volcán. Los flujos piroclásticos de dimensiones enormes, que viajan cerca a la superficie del terreno, constituyen el fenómeno más mortífero de éste tipo de volcán. En Colombia El Cerro Machín ha producido éste tipo de erupciones. (Alarcón, 2000).

Las erupciones volcánicas pueden ser de naturaleza violenta o pasiva. Su energía está relacionada con la acidez de las lavas y con el contenido de gases. Una lava rica en sílice, es ácida y se caracteriza por alta viscosidad que se opone al desprendimiento de los gases. Éstos alcanzan así altas presiones y, cuando llegan a vencer la resistencia que encuentran, se escapan violentamente, dando lugar a una erupción explosiva. Por el contrario, una lava básica es mucho más fluida y opone escasa resistencia al desprendimiento de sus gases por lo que las erupciones son menos violentas y pueden ser de carácter permanente como sucede en las islas Hawaianas.

## 2. TIPOS DE EVENTOS VOLCÁNICOS AMENAZADORES

### *Características principales*

*Muchos de los procesos geológicos que se producen en los volcanes son potenciales amenazas que pueden alcanzar miles de kilómetros desde su fuente, afectando directa o indirectamente la vida y salud de las personas, animales y plantas, causando daños a sus propiedades e interrumpiendo sus actividades cotidianas. Se describe a continuación los eventos volcánicos que pueden generar éstos efectos.*

Según Witham 2005, quien cuantificó en una base de datos los impactos generados por fenómenos volcánicos, concluye que en el siglo 20 ocurrieron alrededor de 491 eventos volcánicos, de los cuales aproximadamente el 53% de éstos provocó muertes, alcanzando la cifra de 91.724 personas fallecidas y alrededor de 5.6 millones de personas afectadas. Se recuerdan en la historia, como los eventos más devastadores y que más víctimas produjo, el desastre de Mt. Peleé y el Nevado del Ruiz.

Las corrientes de densidad piroclástica, son las que más muertes han causado y los lahares los que más víctimas y daño han producido. Se reporta a Filipinas, Indonesia y el sur de Asia, como los países más afectados. (Witham, 2005)

Se presentan a continuación, la descripción detallada de productos asociados a erupciones volcánicas, sus efectos amenazadores y posibles controles.

### **2.1 FLUJOS DE LAVA Y DOMOS DE LAVA**

La velocidad de efusión de la lava, la pendiente de la superficie sobre la cual se desliza, y la viscosidad de la lava, determinan la morfología de sus depósitos. De estos tres aspectos, la velocidad de efusión es la más importante. La lava

basáltica, a bajas velocidades ( $<10 \text{ m}^3/\text{sec}$ ), tiende a producir pequeños flujos que se apilan cerca al cráter y que recorren poca distancia. Sin embargo existe evidencia geológica de que en Islandia, en 1783, durante una erupción por fisura, flujos de lava basáltica alcanzaron velocidades de efusión de aproximadamente  $5000 \text{ m}^3/\text{sec}$ , y cubrieron más de  $500 \text{ Km}^2$ . (Scott, 1984). Este tipo de lavas llega a superficie con temperaturas que varían entre  $1050^\circ\text{C}$  y  $1200^\circ\text{C}$ . A diferencia de las lavas basálticas y otras lavas máficas que forman depósitos de grandes extensiones, las lavas viscosas dacíticas y riolíticas, son expulsadas a bajas velocidades, forman depósitos de lavas pequeños y embombados, o formas como domos que cubren pocos kilómetros cuadrados. (Scott, 1984). Sobre la temperatura de éstas lavas existen pocos datos, debido a las pocas erupciones ocurridas durante éste siglo, sin embargo, poseen menor temperatura que las lavas basálticas, y se estima un rango entre  $700$  y  $1100^\circ\text{C}$ . (Cas y Wright, 1987).

**2.1.1 Efectos amenazadores.** La mayor amenaza de los flujos de lava, es el daño total o la destrucción causada por enterramiento, aplastamiento, y quema de todo lo que se interponga en su camino. Además incendios originados a partir de flujos de lava, pueden afectar grandes áreas más allá de los bordes del flujo.

Los flujos de lava, también pueden mezclarse con nieve o hielo, y pueden producir inundaciones, diques y flujos de escombros. (Scott, 1984).

**2.1.2 Controles:** Se han diseñado barreras, tubos y canales, para dirigir los flujos de lava, especialmente en Hawaii, pero no han sido construidas debido a sus elevados costos, la incertidumbre sobre su efectividad e implicaciones legales. Para detener el avance de los flujos de lava, se utiliza el enfriamiento rápido con agua, como sucedió en Islandia 1973, cuando usando agua de mar, se crearon barreras de enfriamiento que evitaron la destrucción de un puerto. En el volcán Etna, Italia 1983, los flujos de lava fueron controlados empleando, explosivos y barreras. (Scott, 1984).

## 2.2 CORRIENTES DE DENSIDAD PIROCLÁSTICA

Son uno de los eventos volcánicos más amenazadores. Son manejados por gravedad, se mueven rápidamente, e incorporan fragmentos de rocas y gases.

Las corrientes piroclásticas, que se caracterizan por una alta cantidad de sólidos y alta densidad, son llamados flujos piroclásticos. Y las corrientes que poseen menor densidad y baja concentración de sólidos son llamados surges. (Scott, 1984).

**2.2.1 Flujos piroclásticos:** son masas de gases y escombros piroclásticos, secos y calientes (300->800°C), que se movilizan rápidamente sobre la superficie del terreno, a velocidades de 10 a cientos de metros por segundo. Un flujo está típicamente compuesto por dos partes: 1). Un flujo basal denso, que es en sí el flujo piroclástico, 2). Un flujo turbulento que lo precede, llamado ash-cloud-surge, de grano fino, tamaño ceniza, formado a partir del flujo piroclástico.

Los flujos piroclásticos se pueden formar de varias maneras: a partir de colapso gravitacional de la columna eruptiva, por colapso de edificio volcánico, o colapso de domo. Alcanzan grandes velocidades debido a que su fluidización está controlada por la desgasificación de piroclastos en el flujo, aire y gases magmáticos atrapados durante la formación del flujo, aire atrapado por el frente de avance del flujo, el cual luego es calentado y expandido, los gases que provienen de la vegetación que se quema con el paso del flujo, y vaporización de nieve, agua, o hielo que haya incorporado a su paso el flujo piroclástico. (Scott, 1984).

**2.2.2 Surges u oleadas piroclásticas calientes:** son turbulentos, con bajas concentraciones de partículas, con dispersiones gas-sólido, que fluyen por la superficie a altas velocidades. Los surges, comúnmente se dividen en dos categorías: calientes y fríos. Los surges piroclásticos calientes son generados por

muchos de los procesos que forman los flujos piroclásticos, suelen estar íntimamente ligados a éstos, y por lo general suelen formarse adelante del flujo piroclástico o estar asociado a la nube de ceniza que acompaña los flujos piroclásticos. (Scott, 1984).

**2.2.3 Surges fríos o basales.** Los surges piroclásticos fríos son originados a partir de explosiones hidromagmáticas o hidrotermales. Se forman cuando agua subterránea somera o agua superficial interactúa con magma. Por lo general agua y/o vapor a temperaturas por debajo del punto de ebullición del agua. Los surges basales están por lo general restringidos dentro de los 10 km, próximos a la fuente. Este tipo de surges son por lo general pequeños, pero grandes explosiones han resultado de voluminosos flujos piroclásticos al interactuar con el mar. (Scott, 1984).

**2.2.4 Efectos amenazadores.** Los flujos piroclásticos poseen variedad de amenazas, como la destrucción por las altas velocidades y temperaturas de las nubes ardientes, impactos por fragmentos de roca, enterramiento por depósitos de surge. Los surges piroclásticos calientes, presentan amenazas adicionales que incluyen incineración, gases nocivos y asfixia. A diferencia de los flujos piroclásticos, que suelen estar controlados por la topografía y restringido a valles, los surge, pueden alcanzar áreas altas, laderas de valle o laderas adyacentes. (Scott, 1984).

**2.2.5 Controles.** Una vez se ha desarrollado una corriente de densidad piroclástica, es imposible escapar, debido a que alcanzan altas velocidades (decenas de metros por segundo). Lo ideal es evacuar las áreas que pueden ser afectadas por corrientes de densidad piroclástica, es el único mecanismo de mitigación de la amenaza de flujos piroclásticos y surges. (Scott, 1984).

## **2.3 BLASTS DIRECCIONADAS O EXPLOSIÓN LATERAL DIRIGIDA.**

Son fenómenos complejos que comparten las características de flujos piroclásticos y surges. Pero se tratan de manera diferente, porque tienen un bajo ángulo inicial y pueden afectar un amplio sector del volcán y decenas de kilómetros el exterior. Resultan de la súbita despresurización de un sistema magmático y/o de un sistema hidrotermal dentro de un volcán, por deslizamientos u otras causas, que generan corrientes de densidad que alcanzan los 100m/s, altamente móviles, siendo poco afectados por las características topográficas. (Scott, 1984).

**2.3.1 Efectos amenazadores:** Destruye estructuras y aniquila todo rastro viviente. Produce escombros, abrasión, enterramiento, asfixia y altas temperaturas que varían entre 100 y 300 °C. (Scott, 1984).

**2.3.2 Controles:** solo la evacuación mitiga la amenaza.

## **2.4 LAHARES.**

Las propiedades físicas de los lahares son controladas por tamaño de grano y contenido de agua. Poseen alta densidad ( $2000 \text{ kg/m}^3$ ), y alta viscosidad aparente. Existen transformaciones de flujo entre inundaciones y lahares: 1). Las inundaciones incorporan progresivamente sedimentos y llegan a convertirse en lahares, éste proceso se conoce como bulking. 2). Los lahares son diluidos por la adición de agua o la remoción de sedimentos y se pueden transformar en flujos hiperconcentrados (aproximadamente 20-60 % de volumen de sedimentos).

Las velocidades de los lahares, varían según las dimensiones del canal, volúmen y distribución de tamaño de grano. Pueden variar entonces de 1.4 m/s en suaves pendientes hasta 40 m/s, en las pendientes cerca al volcán.

Se pueden formar por una avalancha de escombros que se mezcla con agua del volcán, o a partir de explosiones volcánicas, que pueden movilizar el agua

depositada en los lagos del cráter, avalanchas de escombros saturadas de agua, pueden transformarse también en lahares, los flujos piroclásticos pueden incorporar agua y formar lahares, como sucedió en Armero, 1985, donde a partir de un flujo piroclástico que se mezcló con hielo, nieve y sedimentos, se formó un destructivo lahar. Las lluvias torrenciales, pueden pueden movilizar tefras recién depositados y material piroclástico suelto a partir del cual se pueden formar lahares. (Scott, 1984).

**2.4.1 Efectos amenazadores.** Los lahares, amenazan los pobladores y las propiedades cercanas al volcán y los valles, por los cuales drenan, causando enterramiento. Debido a su alta velocidad y densidad, los lahares pueden destruir la vegetación, edificaciones, y estructuras como puentes. Los depósitos de lahares suelen colmar los canales de sedimentos, disminuir el flujo de agua y afectar la capacidad de navegación. (Scott, 1984).

**2.4.2 Controles:** Existen estructuras de control de fluidos, que pueden mitigar los efectos de los lahares, como diques, canales diversificadores, y trampas de sedimentos. (Scott, 1984).

## **2.5 COLAPSO DE EDIFICIO.**

Son comunes en volcanes que poseen laderas empinadas, fallas, materiales fracturados, deformaciones internas a partir de intrusiones y otros factores. Suelen ser repentinos, generando avalanchas de escombros, que se mueven rápidamente. Los colapsos graduales de las laderas de los volcanes, suelen ser procesos menos catastróficos, pero con numerosas amenazas asociadas. (Scott, 1984).

**2.5.1 Avalanchas de escombros.** Las intrusiones, la alteración hidrotermal, los gases, fluidos magmáticos, la erosión y otros procesos generan el fracturamiento del edificio por el desarrollo de fracturas, que pueden actuar como superficies de

despegue para un deslizamiento. Puede generarse repentinamente a partir de un terremoto o una explosión.

Las avalanchas de escombros volcánicas, suelen ser más móviles que las avalanchas de escombros no volcánicas, esto debido al volumen de escombros incorporado, y la verticalidad de la caída. Pueden extenderse hasta 85 Km desde su fuente y cubrir más de 1000 km<sup>2</sup>. (Scott, 1984).

**2.5.2 Colapso gradual.** Muchas islas volcánicas muestran evidencia de colapso gradual. En el que la movilización de grandes bloques, generan terremotos o tsunamis. Suele suceder en volcanes tipo escudo, en el que los flancos del volcán se movilizan a velocidades de metro por siglo, formando altos escarpes. (Scott, 1984).

**2.5.3 Efectos amenazadores:** Las avalanchas de escombros, pueden formar lagos o represas que al saturarse drenan catastróficamente, y generan lahares e inundaciones. Las avalanchas de escombros que entran en cuerpos de agua, como bahías y lagos, forman grandes olas, y aquellas que entran al mar, pueden formar tsunamis.

**2.5.4 Controles.** Solo la evacuación de áreas amenazadas, disminuye el riesgo.

## **2.6 CAÍDA DE TEFRAS Y PROYECTILES BALÍSTICOS.**

Los tefras son fragmentos de roca y lava que son expulsados a la atmósfera y caen sobre la superficie terrestre. Las columnas suelen ser el agente movilizador de éstas partículas. Los rangos de tefras varían en tamaño de ceniza (<2mm), lapilli (2-64mm) hasta bloques y bombas (>64 mm) que pueden alcanzar diámetros métricos. La densidad varía de baja densidad como pómez vesicular y escoria a cristales densos y fragmentos líticos. Los materiales pueden ser

juveniles (formados por el magma involucrado en la erupción) o accidentales (derivados de rocas pre-existentes).

Los tefras suelen ser de grano fino, forman depósitos de poco espesor a medida que se alejan de la fuente.

Los proyectiles balísticos, suelen salir del cráter a velocidades de decenas a cientos de metros por segundo, no se afectan por vientos o la columna eruptiva, y suelen estar restringidos a 5 Km, respecto de la fuente. Su tamaño está dominado por bombas y bloques. (Scott, 1984).

**2.6.1 Efectos amenazadores.** Los proyectiles balísticos y los tefras, amenazan la vida y la propiedad por la fuerza del impacto de caída de los fragmentos, enterramiento, la suspensión de finas partículas en aire y agua, y los gases nocivos, ácidos, sales y calor concentrados en la fuente.

El impacto de los fragmentos de mayor tamaño está restringido a la fuente y decrece con el incremento de la distancia. Sin embargo existen evidencias de pequeñas bombas de pómez (64-100mm) que alcanzaron distancias de 20 a 80 Km de distancia respecto a la fuente y de fragmentos de bombas líticas transportadas a distancias entre 10 y 30Km. Todo depende del tamaño de la erupción.

Las caídas de tefras, pueden colapsar los techos de las edificaciones, interrumpir las líneas de comunicación, dañar o aniquilar la vegetación. Las partículas más finas que quedan suspendidas pueden causar daños a la salud, especialmente en las vías respiratorias y dañar los motores de las maquinarias no protegidas. (Scott, 1984).

**2.6.2 Controles.** En resguardos, se puede sobrevivir a caídas de bombas pequeñas, pero para protegerse de bombas de gran tamaño, las personas pueden resultar heridas incluso si están en resguardos.

## **2.7 GASES VOLCÁNICOS.**

Los gases contenidos en el magma son introducidos a la atmosfera, mientras que el magma está restringido a la superficie. Los gases también se relacionan con sistemas hidrotermales. El gas volcánico más abundante es el vapor de agua, aunque existen otros gases como dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos sulfurosos, ácido sulfhídrico, clorina y fluorina.

Estos gases son transportados desde la fuente, como aerosoles ácidos, absorbidos en tefras y como partículas microscópicas de sal. (Scott, 1984).

**2.7.1 Efectos amenazadores.** Los componentes azufrados, la clorina y la fluorina, reaccionan con agua formando ácidos venenosos, que incluso en bajas concentraciones pueden causar daño en ojos, piel y sistemas respiratorios de animales. Pueden dañar también la vegetación, aunque esto depende de la concentración y el tipo de vegetación afectada.

El dióxido y monóxido de carbono, son gases inoloros, que las personas no pueden detectar. Pueden causar asfixia. (Scott, 1984).

**2.7.2 Controles.** El efecto de los gases volcánicos está directamente relacionado con su concentración, y por lo general suele disminuirse a medida que se aleja de la fuente y comienzan a diluirse con aire. Los efectos más significativos suelen estar restringidos a un diámetro de 10 Km de la fuente.

## **2.8 SISMOS VOLCÁNICOS.**

Los terremotos en áreas volcánicas suelen ser generados por: movimientos de magma, explosiones volcánicas, movimientos de masa a gran escala, y esfuerzos tectónicos. Las dos primeras categorías se consideran relativamente someras, de moderada a pequeña magnitud, y raramente suelen afectar áreas lejanas al

volcán. Los sismos generados por movimientos de masa o esfuerzos tectónicos suelen ser mucho más fuertes. (Scott, 1984).

**2.8.1 Efectos amenazadores.** El daño de los terremotos volcánicos, está restringido a áreas proximales. Sin embargo, los sismos pueden generar movimientos de masa que pueden causar otra amenaza como avalanchas de escombros. (Scott, 1984).

**2.8.2 Controles.** No ubicar centros poblados en áreas proximales al volcán.

## **2.9 ONDAS DE CHOQUE ATMOSFÉRICO.**

Se forman a partir de rápidos movimientos de eyección volcánica, durante erupciones explosivas. (Scott, 1984).

**2.9.1 Efectos amenazadores.** Cuando las ondas suelen ser suficientemente energéticas, pueden causar daños a estructuras, vidrios, distantes respecto la fuente (Se registran efectos de ondas de choque entre 100 y 400 kilómetros lejos de la fuente). (Scott, 1984).

**2.9.2 Controles.** Las ondas de choque suelen decrecer cuando se incrementa la distancia. Y sus mayores presiones de choque (10,000 pa), capaces de afectar edificaciones, se restringen a decenas de kilómetros de la fuente, (Scott, 1984). Por lo tanto lo más aconsejable es no poblar ni construir estructuras muy proximales al volcán.

## **2.10 TSUMANIS.**

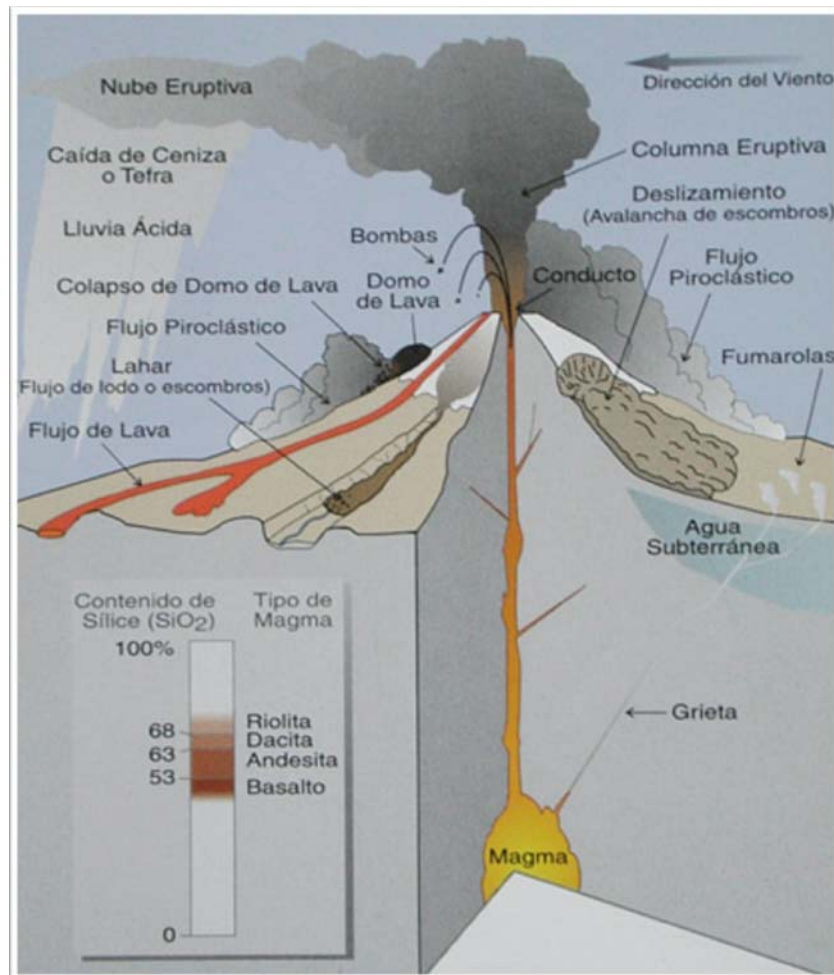
Son ondas marinas de largo período, u olas marinas que son generadas por el súbito desplazamiento de agua. Suelen viajar a alta velocidades y a gran profundidad como olas bajas, que van alcanzando altura a medida que se aproximan a la costa.

La mayoría de los tsunamis son causados por desplazamientos de falla en el fondo marino, terremotos volcánicos o volcano-tectónicos, deslizamientos, lahares o flujos piroclásticos que entran en contacto con cuerpos de agua, y ondas de choque que entran en contacto con el mar. (Scott, 1984).

**2.10.1 Efectos amenazadores.** Debido a su carácter repentino estas grandes olas, invaden el continente, inundándolo todo y causando la destrucción de todo lo que encuentre a su paso.

**2.10.2 Controles.** Existen sistemas de alarmas tempranas, que avisan la aproximación de tsunamis en áreas a cientos hasta miles de kilómetros de la fuente (Scott, 1984). Sin embargo en áreas, cercanas a la fuente, y con la alta velocidad de los tsunamis existe poco tiempo para actuar, en dichos casos la evacuación antes de que ocurra un tsunami es probablemente la única medida de mitigación.

Figura. 7. Diagrama ilustrativo de los tipos de eventos volcánicos amenazadores.



Fuente: [www.alertatierra.com](http://www.alertatierra.com).

### 3. LA AMENAZA VOLCÁNICA EN COLOMBIA.

#### *Su proceso y evolución*

*La historia sobre fenómenos y desastres naturales de carácter geológico como son las erupciones volcánicas, toma fuerza a partir de la catástrofe de Armero, ocurrida el 13 de Noviembre de 1985, fecha que Colombia no olvidará por sus más de 25.000 víctimas, y la destrucción de un pueblo totalmente sepultado por un flujo lahárico del volcán Nevado del Ruiz. Este evento transformó la manera de prevenir, dirigir y responder una catástrofe natural, por parte de los entes gubernamentales y entidades asociadas.*

Iniciando la década de los 80's, se produjeron en Colombia tres desastres naturales continuos, de gran magnitud: El tsunami de Tumaco en 1979, el terremoto de Popayán en 1983, y el lahar de Armero en 1985, éste último considerado de mucha importancia, debido a que marcaría una pauta en el manejo de los desastres naturales en Colombia.

Estos tres diferentes tipos de desastres naturales, de carácter catastrófico, ocurridos en fechas muy próximas, reflejaron un país que hasta ése momento poseía una pobre reglamentación frente a la atención y prevención de desastres naturales.

El país y sus dirigentes, no se habían visto enfrentados a manejar catástrofes de tan grandes magnitudes, no poseían la logística necesaria para coordinar las actividades de respuesta ante desastres naturales, y algo aún peor, reinaba en aquel momento mucha ignorancia sobre los alcances de un desastre natural, sus manifestaciones del pasado y la posibilidad de que se repitiera en el futuro. Lo anterior explica la poca importancia y atención que generaban estos temas, la pobre infraestructura de escasos mecanismos y tecnología que existían para generar una respuesta oportuna, rápida y efectiva, en actividades preventivas, de atención y recuperación ante desastres naturales.

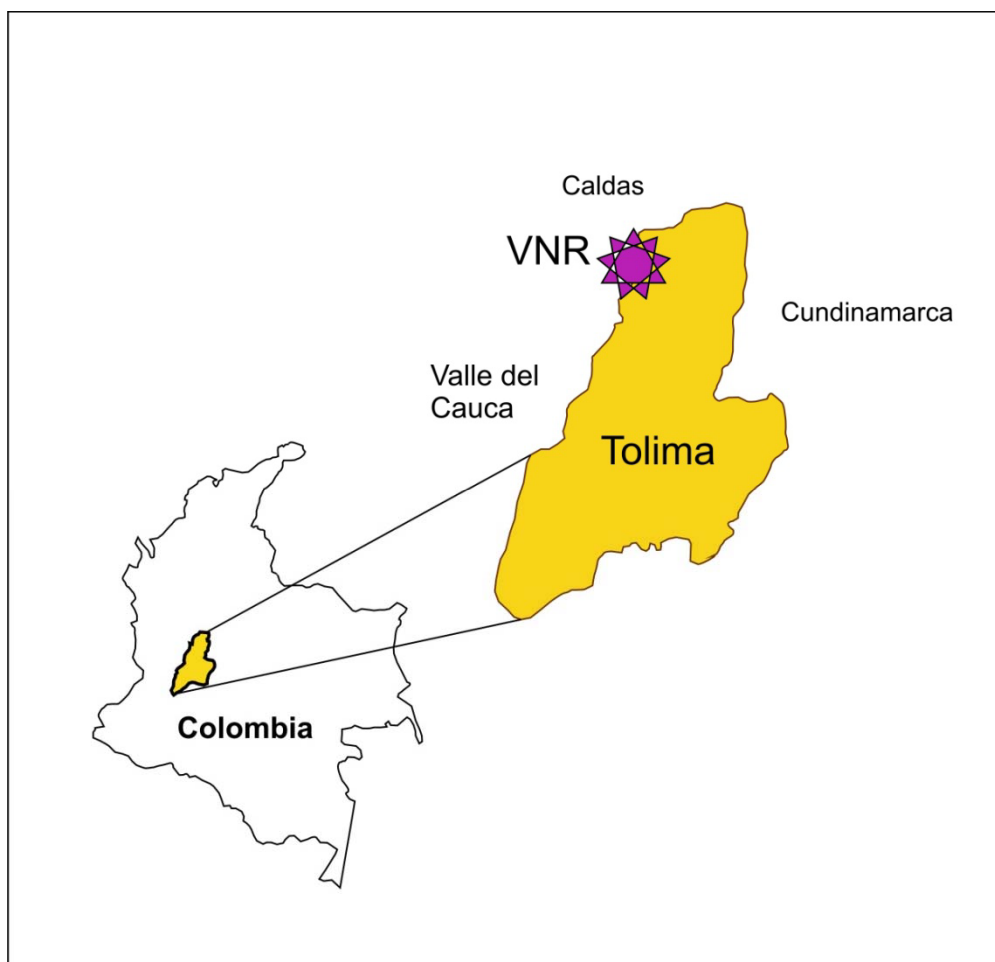
La erupción del Nevado del Ruiz en 1985, es la gota que reboza el vaso y genera las pautas para la creación y organización, del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres mediante la ley 46 de 1988, cuyo objetivo es garantizar un manejo oportuno y eficiente de todos los recursos humanos, técnicos, administrativos, económicos indispensables para la prevención y atención de desastres.

Armero y sus víctimas, dejaron como lecciones aprendidas sobre amenazas volcánicas: 1). La importancia del conocimiento científico e histórico de un área volcánica específica, para construir un efectivo programa de mitigación del riesgo volcánico allí existente. 2).Un manejo apropiado de respuesta ante una emergencia por parte de los cuerpos gubernamentales. 3). El manejo y restablecimiento después de la crisis. 4). La adecuada planeación y distribución y uso de territorios dentro de un área volcánica. 5). La contemplación de impactos negativos y benéficos al vivir en un área con influencia volcánica.

A continuación se narra brevemente en éste capítulo, la historia de la reactivación de la actividad en el volcán Nevado del Ruiz a partir de diciembre de 1984, cuando comenzaron a presentarse las primeras señales actividad y cómo se desarrollan hasta el día de la catástrofe, en noviembre de 1985. Se describe también la cronología de la reglamentación sobre el manejo de los desastres naturales en Colombia desde 1979 hasta el día de hoy, finalmente se mencionan generalidades sobre las principales erupciones históricas de los volcanes colombianos más estudiados por el Ingeominas.

### 3.1 LA HISTORIA DE ARMERO: CRONOLOGÍA DE UN EVENTO VOLCÁNICO

**Figura 8. Localización Volcán Nevado del Ruiz . Departamento de Tolima, Colombia.**



Fuente: Autor

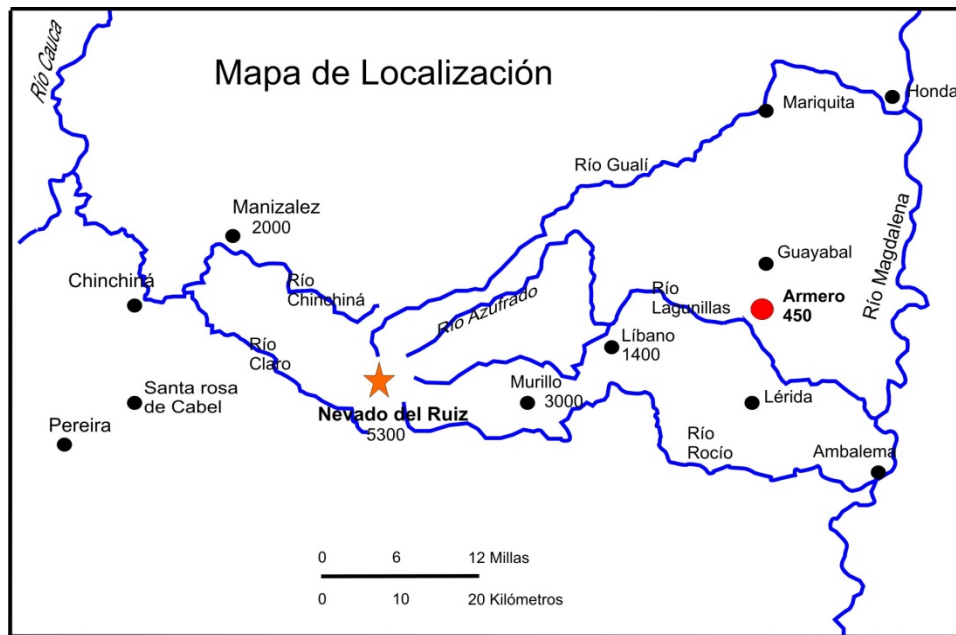
El estudio de actividad histórica de los volcanes colombianos, empezó a adquirir importancia en Colombia a partir de la erupción del Nevado del Ruiz, en 1985, cuando se supo tal vez demasiado tarde que el drama de Armero no era más que

la repetición de la historia en una misma región que ya había sido destruida dos veces antes por fenómenos idénticos en los últimos cuatro siglos.

Según los registros históricos, de los cuales se tiene conocimiento, éstos eventos ocurrieron en 1595, y 1845. El evento volcánico más antiguo documentado ocurrió en 1595, y se caracterizó por eyección de ceniza y bloques, días antes de la explosión; posteriormente, se produjo un flujo de lodo por fusión del casquete glaciar en el río Gualí y en el río Lagunilla, no se reportan daños a poblados ni víctimas. Años más tarde, dos sismos significativos ocurrieron en 1826 y 1827 y En 1845, un sismo y una consecuente erupción freática, generó un flujo de lodo que se movilizó 86 Km aguas abajo por el río Lagunillas, hasta el río Magdalena, y que causó la muerte de 1000 indios Gualíes, pobladores de ésta región, curiosamente abarcando el área donde años más tarde sería fundada Armero. Finalmente en 1916, ocurrió un evento de menores proporciones caracterizado por caída de cenizas sobre la ciudad de Manizales. (Herd, 1986; Espinosa, 2001; Miletì et al., 1991).

Eventos eruptivos de menores proporciones producidos en el Ruiz desde 1545, la falta de eventos de suficiente magnitud, para ilustrar los riesgos de un lahar desde 1845, fueron poco convincentes, sobre los riesgos volcánicos y amenazas a los que se exponía esta área. Se estima que por lo menos 10 grandes erupciones del Volcán Nevado del Ruiz han tenido lugar durante los últimos 10.000 años, ocurriendo con un intervalo promedio de 160 a 400 años. (Herd, 1986; Espinosa, 2001; Miletì et al., 1991).

**Fig. 9. Localización de las principales poblaciones amenazadas por los flujos del Volcán Nevado del Ruiz (VNR) entre las que se observan Armero, Ambalema, Guayabal, Lérica, Mariquita, Líbano, Murillo y Chinchiná. También se aprecian los principales ríos que nacen en VNR, son ellos: río azufrado, lagunillas, Rocío, gualí, Claro y Chinchiná. Modificado de Mileti, et al, 1991.**



Fuente: Autor

### 3.1.1 Detección inicial de la amenaza

En diciembre de 1984, comienza a percibirse las primeras señales de actividad del Ruiz, se genera un deslizamiento que causa un represamiento peligroso, y se reporta por parte de caminantes en los alrededores del volcán, actividad fumarólica y sismos; éstas actividades fueron persistentes, por lo que en Febrero de 1985, una comisión de geólogos de Ingeominas visita el área. En marzo de 1985, la Defensa Civil Colombiana e Ingeominas, solicita a la UNDRO (Organización de las Naciones Unidas para Ayuda en zonas de Desastre), enviar una comisión científica para estudiar el volcán. Fue enviado John Tomblin, quien

en marzo de 1985 inspecciona el volcán, concluyendo que los sismos y las plumas de gases observados en el volcán, podrían ser el indicio de una erupción, por lo que recomienda a Ingeominas, instalar sismógrafos para monitorear la actividad del volcán, sugiere además preparar un mapa de riesgo que ilustre la amenaza potencial asociada a una erupción del volcán. Recomienda además a la Defensa Civil colombiana, proyectar un plan de emergencia, para facilitar el manejo de emergencias y la evacuación de áreas de alto riesgo.

Por esto, Ingeominas comienza un proyecto para monitorear y definir el riesgo volcánico en las proximidades del Ruiz. En el mes de mayo del mismo año, la UNDRO, realiza una reevaluación del Ruiz, por parte del científico Minard Hall, del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional of Ecuador. También en Mayo 1985, el Servicio Geológico de los U.S junto a la UNDRO, proveen un equipo científico para monitorear el volcán Nevado del Ruiz. El primer paso comienza en junio de 1985, cuando cuatro sismógrafos portátiles son instalados en la montaña, al mismo tiempo se conforma el comité de riesgo volcánico del Ruiz, cuya misión consistía en comenzar el monitoreo del volcán, la planeación ante una emergencia local y educación a la población sobre el riesgo volcánico. En Agosto los sismógrafos instalados registraron de 5-20 sismos diarios (Herd, 1986), dato reportado por Ingeominas. Luego el 11 de Septiembre de 1985, ocurre una pequeña erupción de vapor, cenizas y rocas, en la que no se presentaron heridos, y de la cual fueron informados los entes gubernamentales. Continuó la vigilancia del volcán. En octubre fueron instalados más sismógrafos e inclinómetros. En noviembre 12 de 1985, un día antes de la erupción, geólogos que estuvieron en la cima del volcán para coleccionar muestras de gas, pero no observaron signos claros de una inminente explosión.

### **3.1.2 Actividades del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS)**

En Agosto de 1985, Ingeominas publicó el primero de varios reportes titulado: Riesgos Sísmicos y Volcánicos Del Parque Natural De Los Nevados, como un esfuerzo en sugerir estudios y monitoreo de 6 volcanes colombianos y sus alrededores. La agenda de investigación propuesta reconoce el riesgo volcánico en Colombia, particularmente en regiones pobladas. También sugiere la necesidad de un presupuesto para realizar los estudios recomendados y reconoce la importancia de involucrar científicos extranjeros en el estudio del Ruiz.

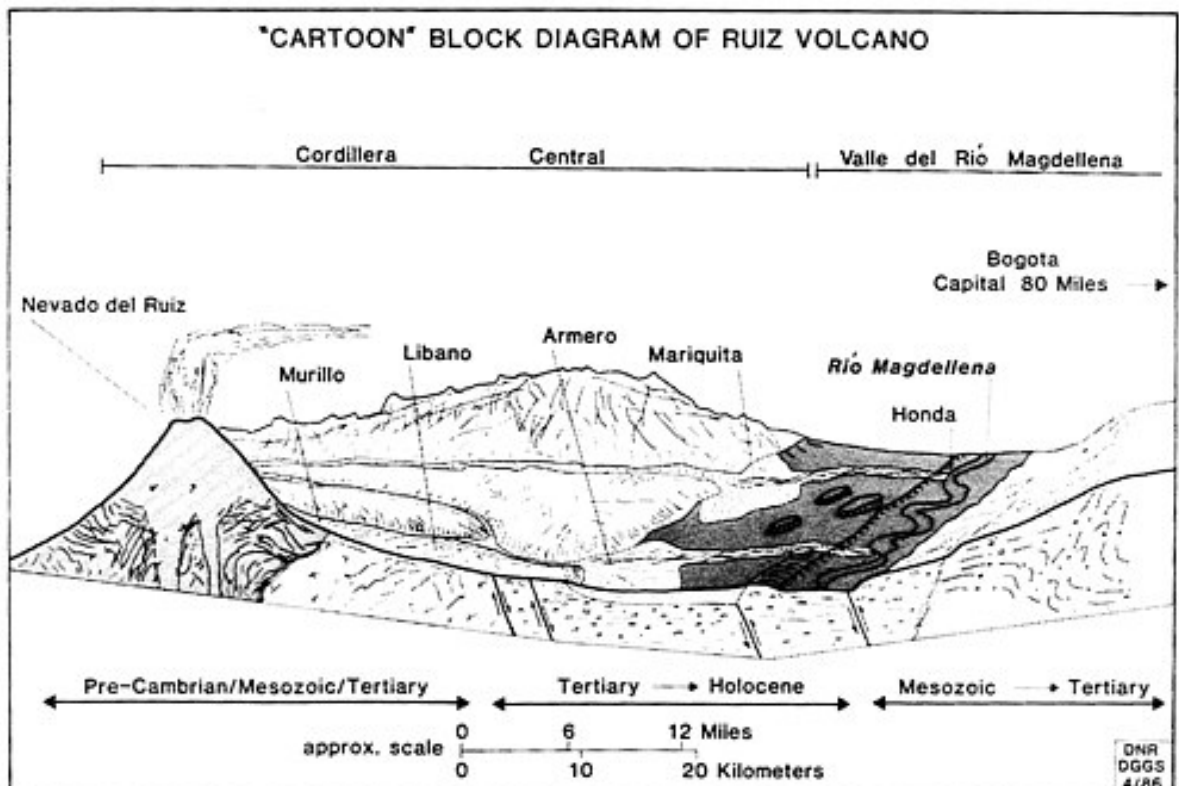
El proyecto propuesto fue diseñado para desarrollarse en etapas, con asistencia internacional, también señala la importancia de involucrar organizaciones de todos los niveles del gobierno colombiano, incluyendo el gobierno local, para definir el riesgo y la amenaza. Preliminarmente se prepara un mapa de riesgo volcánico, el cual podría ser empleado para apoyar la toma de decisiones frente a la amenaza.

Una versión preliminar del mapa de riesgo fue completada en octubre 7 de 1985, acompañada de una memoria explicativa titulada: Mapa Preliminar De Riesgos Volcánicos Potenciales Del Nevado Del Ruiz, adicionalmente acompañando la preparación del mapa de riesgo, se genera el reporte titulado, Informe Preliminar De Las Actividades Desarrolladas Período Julio 20-Octubre 7 de 1985, en el que se explica que el Ruiz, estaba en un periodo de actividad, pero no precisaba cuando podría ocurrir una erupción. La actividad volcánica continua con caídas leves de ceniza, pequeños flujos de lodo, y deformaciones en el tamaño del cráter.

El 10 de noviembre, fue revisado el Mapa de Riesgos Volcánicos Potenciales del Nevado del Ruiz, el cual estuvo basado en métodos científicos y en el que se predecía la inundación total de Armero en caso de una erupción volcánica, mostrando una estimación del riesgo más precisa. Estos mapas fueron colocados en las oficinas de la defensa civil local.

Fue difícil para aquellos que no eran geólogos entender las relevantes consecuencias del riesgo que imponía el volcán Nevado del Ruiz, según los mapas y reportes entregados por Ingeominas, por ejemplo el Congreso Colombiano, criticó a Ingeominas y la Defensa Civil por intimidar la población con sus esfuerzos por advertir la amenaza. Personal de la Defensa Civil y la Cruz Roja reportaron también que las autoridades oficiales locales, nunca consideraron que su población estuviera en riesgo.

**Fig. 10. Diagrama tridimensional, mostrando la región ubicada al Este del Nevado del Ruiz, y sus poblaciones vecinas del departamento de Tolima. Nótese la baja ubicación topográfica del municipio de Armero.**



Fuente: Mileti, 1991.

### 3.2 MOMENTOS PRÓXIMOS A LA ERUPCIÓN VOLCÁNICA

Se presenta a continuación la secuencia de eventos desarrollados a partir del 13 de Noviembre de 1985, en las que se detallan las señales emitidas por el volcán y las actividades desarrolladas por los diferentes agentes involucrados.

✓ *Noviembre 13 de 3:00 a 5:00pm.* Alrededor de la 3 pm. El Ruiz emitió una blanca columna de ceniza, como resultado de una explosión freática (compuesta principalmente por vapores). El Ruiz se torna envuelto en nubes y no es visible, sin embargo algunos pobladores al norte del volcán observaron esta columna de ceniza. Aproximadamente dos horas después comienza a caer ceniza sobre la población de Armero ubicada al este-noreste del volcán.

Aproximadamente una hora después de la erupción, el director regional de la Defensa Civil en Ibagué fue notificado sobre el comienzo de la erupción freática, enseguida contactó al director regional de Ingeominas en Ibagué, quien consideró el evento representaba una serie amenaza sobre las poblaciones vulnerables y recomendó que se iniciaran las preparaciones para la evacuación. También fue contactado el director Nacional de la Defensa Civil, en Bogotá, quien ordenó la alerta de las estaciones de defensa civil al Norte del Tolima.

✓ *Noviembre 13 de 5:00 a 7:00 pm.* El Comité Regional de Emergencias(Conformado por representantes de una variedad de organizaciones, que incluían la oficina del gobernador, la sexta brigada, servicios regionales de salud, Defensa Civil, Cruz Roja e Ingeominas y otros.), se reúne con los científicos de Ingeominas.

Usando el mapa de amenazas que había sido preparado por Ingeominas, fueron señaladas las poblaciones del Tolima que debían prepararse para la evacuación,

entre ellas Armero. También se acordó avisar inmediatamente a las estaciones de policía de Armero y pueblos vecinos.

Anuncios locales en Armero, provenientes de diferentes fuentes, como la radio local y los mensajes del sacerdote católico, recomendaban a la gente estar calmados y permanecer en sus casas. Algunos testigos afirman que después de que cesó la caída de ceniza sobre Armero, se desarrolló una fuerte tormenta.

✓ *Noviembre 13 de 7:00 a 9:00 pm.* Una vez terminó la reunión del Comité Regional de Emergencias, algunos miembros, incluyendo representantes de Ingeominas, le pidieron a la Cruz Roja, que preparara la evacuación para los pueblos de Armero, Mariquita y Honda.

Se reporta que la Cruz Roja de Ibagué se comunicó por radio con su oficina en Armero alrededor de de las 7:30 pm. Ordenó una evacuación, que debía ser ejecutada por oficiales locales.

Mientras tanto en Armero, caía un aguacero torrencial, con fuertes truenos, que debieron enmascarar los sonidos y movimientos del volcán. La tormenta causó intermitentes cortes de electricidad durante toda la noche.

La mayoría de las familias evidentemente, usaron la falta de información y la incertidumbre general como justificación para continuar con la rutina de sus actividades, pues fueron pocas las familias que salieron de Armero por esta época. Al mismo tiempo la tormenta y la nubosidad, hicieron difícil que la población saliera del área.

✓ *Noviembre 13 de 9:00 a 11:00 pm.* Pocos minutos después de las nueve, una gran erupción y erupciones menores comenzaron en el Ruiz. El hielo del

casquete del ruiz acompañado de la erupción del volcán, formó una gran acumulación de agua glacial alrededor del cráter, la cual fue canalizada por los ríos que drenan sobre los flancos del volcán. Esta agua en su recorrido fue incorporando sedimentos finos y suelo, de los valles de los ríos, generando los lahares que afectaron las poblaciones ubicadas a lo largo de los ríos.

Evidencias específicas sobre la longitud del tremor que acompañó la erupción no estuvo disponible hasta que los registros del sismógrafo fueron recolectados al día siguiente. Se reportan explosiones por parte de algunos científicos, y un piloto reporta una columna de gas y ceniza, los ríos se observaban con flujos de lodo desarrollándose.

Hacia las 9:45 pm, oficiales de Defensa Civil en Murillo, transmitieron por radio a su director regional en Ibagué que el Ruiz había hecho erupción, éste a su vez intentó comunicarse por radio con Armero para ordenar una evacuación, pero no pudo hacer contacto. También existe el registro de un habitante observador sobre un río en Armero, quién también intentó comunicarse con la oficina de la Defensa civil en Armero para advertir sobre el flujo de lodo, pero no le fué posible.

Alrededor de las 10:30 pm, un lahar destruyó parte de Chinchiná, ubicado en el lado oeste de la montaña, el director regional de la Defensa Civil escuchó por radio otros mensajes dirigidos a Armero, en los que se advertía por parte de pueblos vecinos de Ambalema y Murillo que una avalancha que se aproximaba y que Armero debía ser evacuado, también una conversación entre un miembro de la Defensa Civil de Líbano y uno de Armero, en el que éste último era avisado que saliera del área por seguridad.

✓ *Noviembre 13-14 de 11:00pm a 1:00 am.*

Un poco después de las 11, Armero era inundado por un veloz flujo acuoso de lodo, rocas y escombros.

Los oficiales locales tuvieron entre 45 minutos y una hora, para haber decretado la alerta general y haber llevado a la población a lugares topográficamente elevados. Muchos residentes pudieron subir a pie en menos de 30 minutos, y cientos de vidas podrían haberse salvado.

Según algunos reporteros, el alcalde de Armero, estaba hablando con alguien por radio, afirmando que no pensaba que la situación fuera tan peligrosa, justo cuando fue sorprendido por el lahar. También se relata que personal de la Cruz Roja en Ibagué, estaba discutiendo la situación por radio con la Cruz roja en Armero, cuando la conversación fue abruptamente cortada por el flujo de lodo que cubría la oficina.

Pocos pobladores que lograron salir con vida, relataron que fueron advertidos por llamadas telefónicas de amigos, probablemente de Líbano, que queda aproximadamente a 20 km, de Armero, lo que les dio tiempo suficiente para escapar.

Los sobrevivientes relatan, que alrededor de las 11:00pm., se encontraban durmiendo, cuando fueron despertados por la algarabía de la gente y el ruido del primer flujo de lodo y escombros, que alcanzó la población. Señalan que existía mucha confusión en las calles, sin electricidad, con explosiones de gas y mucha gente tratando de salir en sus carros, otras a pie, dirigiéndose hacia las partes más altas, sin embargo se estima que alrededor de 22.000 armerianos, murieron bajo el lodo.

Paramédicos y personal de la Cruz Roja de Ibagué, después de perder el contacto por radio con la oficina de la Cruz Roja de Armero, partieron para allá, no contaban con ninguna otra información sobre lo que había sucedido. Por lo tanto fueron los primeros en llegar a la escena y responder, llegando a Armero alrededor de la 1:00 a.m. , no obstante sus esfuerzos médicos y de rescate fueron insuficientes hasta que pudieron apoyarse con la luz del día. (Mileti et al, 1991)

Después de este relato, llama la atención algunos puntos relevantes como que antes de que los flujos de lodo fueran observados, la decisión de llamar la comunidad a evacuación, estuvo basada en un alto nivel de incertidumbre, sobre si era realmente necesario declarar las alertas. Por otra parte, la recomendación para que las personas salieran de sus casas entre la oscuridad y la lluvia se convirtió en una razón de porqué la población no acató la orden.

Observando el desarrollo de los hechos, se deduce que se pudo evacuar la población durante el día, cuando caía ceniza sobre Armero, ya que ésta era una clara señal de que debían prepararse para la evacuación del área. Por otra parte, las autoridades oficiales locales y los miembros del Congreso, evidentemente desconocían lo que la erupción significaba sobre la población de Armero, lo que generó su poca acción al respecto.

Otro punto a considerar, es el hecho de que aunque se hubiera repartido material didáctico con información preventiva desde meses anteriores a la tragedia, esto no aseguraba que la mayoría de la población hubiese recibido la información sobre las amenazas asociadas al volcán. Dichos panfletos tampoco generaban conceptos claros ni específicos sobre los flujos de lodo en particular, ni señalaban qué hacer si una emergencia era declarada (Fig.11). Sin embargo, se destaca que algunas familias salieron del área durante el día y la tarde, al observar el avance de los flujos de lodo y escuchar que otras familias huían de allí.

Al final de todo, queda claro que desde la noche del 13 de Noviembre, las agencias colombianas han desarrollado esfuerzos por corregir sus deficiencias en el sistema de prevención y procesos de evacuación. (Mileti et al., 1991)

**Fig. 11. Ejemplo de panfleto educativo entregado a la población de Armero, y suministrado por la Defensa Civil colombiana.**

**Proteja usted a los suyos**

EL VOLCAN NEVADO DEL RUIZ SE ENCUENTRA EN ACTIVIDAD, PARA SU SEGURIDAD Y LA DE SU FAMILIA, TENGA EN CUENTA LAS SIGUIENTES INSTRUCCIONES:

1. Ante la ocurrencia de una erupción volcánica, la evacuación es la única posibilidad de salvación.
2. Crea en las autoridades y tenga en cuenta las indicaciones que ellas hagan.
3. Así como cada jefe de hogar tiene la gran responsabilidad de salvar a su familia, los gerentes, administradores o jefes de empresas son responsables de la seguridad de su personal.
4. Conozca con anterioridad las vías y sitios seleccionados por las autoridades para la evacuación. Efectúe recorridos con su familia e identifique el lugar apropiado para pasar la emergencia.
5. Los ancianos, los enfermos y los niños deben ser conducidos a los lugares de evacuación por sus familiares o por una persona seleccionada con la debida anticipación. Tenga a la mano elementos que faciliten su traslado. (Camillas, sillas de ruedas, muletas, bastones y otras).
6. En caso de evacuación tenga disponible: Linternas, pilas, fósforos, espermas, algunos enlatados, un galón con agua potable, radio transistor, plásticos, una cobija y medicamentos que en el momento esté utilizando.
7. Infórmese con la debida anticipación de las señales de alarma establecidas para su localidad en caso de una emergencia.
8. Al transitar en vehículo circule a baja velocidad, de noche use las luces bajas.
9. Si le es posible utilice materiales con elementos reflectantes, para evitar accidentes de tránsito en el momento de evacuación.
10. Comente con sus familiares y amistades, el plan de evacuación de su ciudad, en esta forma sabe usted qué hace y los demás también.
11. Conocer la situación real de lo que puede suceder, da confianza, impide el pánico, se puede obrar rápida y tranquilamente y evita las pérdidas de vidas.
12. Porte sus documentos de identificación en forma segura. Se debe usar preferiblemente con esparadrapo, un brazalete con los siguientes datos: "Nombre, teléfono, grupo sanguíneo, RH, nombre de un familiar con dirección y teléfono, preferiblemente de otra ciudad".
13. Permanezca en sintonía de su emisora local, que le dará informaciones reales y adecuadas en el momento oportuno.
14. Protéjase de las cenizas volcánicas y gases, usando en boca y nariz un pañuelo o toalla húmedos.

**¡SALVE PRIORITARIAMENTE SU VIDA!**

Fuente: de Miletí, et al., 1991

### **3.3 MANEJO DE LOS DESASTRES NATURALES EN COLOMBIA: ANTECEDENTES Y REGLAMENTACIÓN**

Según la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres, se define como desastre natural cualquier daño o alteración grave de las condiciones normales de vida en un área geográfica determinada, causada por fenómenos naturales y por efectos catastróficos de la acción del hombre en forma accidental, que requiera por ello de la especial atención de los organismos del Estado y de otras entidades de carácter humanitario o de servicio social.

Teniendo en cuenta el concepto anterior, las experiencias vividas, y analizando la posición geográfica que ocupa Colombia y todo lo que esto conlleva, se observa que nuestro país está expuesto a casi todo tipo de fenómenos naturales, que pueden generar desastres. Dichos fenómenos pueden ser de carácter geológico, como terremotos, deslizamientos y erupciones volcánicas; de tipo hidrometeorológico, como inundaciones, huracanes, tornados, sequías, heladas, maremotos, incendios; de carácter tecnológico como riesgos industriales y sanitarios y fenómenos de concentración masiva de personas.

La historia respecto a los desastres naturales, como se mencionó anteriormente, marcó un importante giro a partir del 13 de Noviembre de 1985, con el desastre provocado por la activación del Volcán del Ruiz, que afectó a los departamentos de Tolima y Caldas, provocando 25.000 víctimas y pérdidas económicas alrededor de los 211.8 millones de dólares, de acuerdo con cifras suministradas por el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), que se detectó como necesidad prioritaria para el país, contar con un Sistema que coordinará todas las acciones encaminadas a la prevención y atención de desastres en todo el territorio nacional. ([www.sigpad.gov.co](http://www.sigpad.gov.co)).

Antes de 1985, Colombia daba sus comienzos hacia una incipiente reglamentación sobre el manejo de desastres naturales, pues ya se evidenciaba la vulnerabilidad del país. Sus comienzos se remontan a 1979 mediante la Ley 9 del 24 de enero, cuando se estableció la creación del Comité Nacional de Emergencias, (Primera reglamentación sobre el manejo de desastres).

Más tarde, iniciando la década de los 80's tres desastres continuos de gran magnitud: El tsunami de Tumaco en 1979, el terremoto de Popayán, en 1983, y la avalancha de Armero, en 1985, dieron las pautas para la creación y organización, del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres cuyo objetivo es el garantizar un manejo oportuno y eficiente de todos los recursos humanos, técnicos, administrativos, económicos que sean indispensables para la prevención y atención de desastres, por medio de la ley 46 de 1988 que cambia el concepto de emergencia por desastre y otorgando facultades extraordinarias al presidente de la república. ([www.sigpad.gov.co](http://www.sigpad.gov.co)).

Posteriormente con la creación del decreto 919, del primero de mayo de 1989, se organizó el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se crea la oficina Nacional para la prevención y atención de desastres. ([www.mincomunicaciones.gov.co](http://www.mincomunicaciones.gov.co)).

A partir de este momento se da inicio a toda la gestión y organización a nivel interinstitucional para la determinación de lineamientos y directrices claros con respecto a la prevención y atención de desastres los cuales enmarcan las funciones y responsabilidades de cada uno de los actores del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres.

Posteriormente y con el fin de establecer y regular las acciones del Sistema, se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres - PNPAD

mediante Decreto 93 de 1998. El Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, debe incluir y determinar todas las políticas, acciones y programas, tanto de carácter sectorial como del orden nacional, regional y local que se refieren, entre otros, a los siguientes aspectos: ([www.santander.gov.co](http://www.santander.gov.co)).

- a) Las fases de prevención, atención inmediata, reconstrucción y desarrollo en relación con los diferentes tipos de desastres y calamidades públicas.
- b) Los temas de orden económico, financiero, comunitario, jurídico e institucional.
- c) La educación, capacitación y participación comunitaria.
- d) Los sistemas integrados de información y comunicación a nivel nacional, regional y local.
- e) La coordinación interinstitucional e intersectorial.
- f) La investigación científica y los estudios técnicos necesarios.
- g) Los sistemas y procedimientos de control y evaluación de los procesos de prevención y atención.

Al ser el PNPAD un esquema esencial para el desarrollo sostenible a nivel nacional, se determina mediante el Documento CONPES 3146 de 2001: Estrategia para consolidar la ejecución del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, un conjunto de acciones prioritarias para mejorar el desarrollo del Plan con respecto a elementos tales como el conocimiento, la incorporación del tema en la planificación, el fortalecimiento institucional del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres y el mejoramiento de los programas de educación y divulgación entre otros.

En este sentido se determinó como estrategia, el manejo de la gestión del riesgo como componente importante de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y Planes de Desarrollo Sectorial (PDT), configurados como instrumentos de

planificación en el corto y mediano plazo y a su vez herramienta para la toma de decisiones sobre el futuro económico y social de los municipios, departamentos y nación.

Con el fin de dar continuidad al manejo de la prevención y atención de desastres a nivel nacional, regional y local, se adoptó mediante la Ley 812 de 2003 Plan Nacional de Desarrollo: “Hacia un Estado Comunitario” criterios claros con respecto a la ejecución del PNPAD en temas específicos tales como:

- a) Profundización del conocimiento en riesgos naturales y su divulgación
- b) Inclusión de la prevención y mitigación de riesgos en la planificación de la inversión territorial y sectorial y
- c) Reducción de la vulnerabilidad financiero del Gobierno ante desastres.

De esta manera se viene consolidando el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres como un mecanismo para la toma de decisiones en respuesta al impacto y repercusión de las amenazas naturales y antrópicos en el territorio colombiano. ([www.sigpad.gov.co](http://www.sigpad.gov.co)).

### **3.3.1 Integrantes del SNPAD (Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres)**

Sistema Nacional para la prevención y Atención de desastres, está conformado por un conjunto de entidades públicas, privadas y comunitarias integradas, con el objeto de dar soluciones a los problemas de seguridad de la población que se presenten en su entorno físico, por la ocurrencia de fenómenos naturales o antrópicos. A continuación, se describe brevemente algunas generalidades de sus funciones:

**1. El Comité Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.** Señala las pautas y orientaciones para la elaboración del Plan Nacional para la Prevención y

Atención de Desastres. Define los mecanismos de, ejecución, seguimiento y evaluación del PNPAD. Aprueba los planes nacionales de contingencia, los planes nacionales preventivos de las emergencias. Promueve y coordina programas de capacitación, educación e información pública con información a la comunidad. En situaciones de emergencia, brinda la declaración y apoyo a situaciones de desastre y determinación de su calificación y carácter.

**2. Los Comités Regionales y Locales para la Prevención y Atención de Desastres.** Están encargados de dar pautas y aprobar los planes en su respectivo nivel; dan orientaciones e impulsan la organización y mantenimiento del sistema de información, capacitación y divulgación. Coordinan la aplicación de las políticas que emanen del Sistema Nacional, coordinan los planes de contingencia para facilitar la prevención o atención oportuna de probables desastres.

**3. La Oficina Nacional para la Atención de Desastres.** Depende de la Presidencia de la República, posee carácter coordinador, impulsor y de apoyo. Su función es la de orientar, dinamizar y coordinar el funcionamiento integrado y efectivo del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

**4. El Comité Técnico Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.** Conformado por representantes de entidades públicas y privadas a nivel nacional, que conforman comisiones técnicas encargadas de la prevención y atención de desastres. Es el principal instrumento de coordinación de actividades de prevención y de elaboración de planes que incorporen los conceptos de riesgo y vulnerabilidad.

**5. El Comité Operativo Nacional para Atención de Desastres.** Coordina el Sistema Nacional de Comunicaciones, el Sistema Nacional de Distribución de Alimentos, Sistema Nacional de Centros de Reserva, y demás elementos mínimos necesarios para atender la etapa de emergencia de un desastre como equipo de

salvamento y rescate, medicamentos, material médico, alimentos, bombas hidráulicas, etc.

**6. Los Ministerios y Departamentos Administrativos, en cuanto a sus competencias y funciones tengan relación con las actividades de prevención y atención de desastres y, en particular, el Ministerio de Gobierno, el Ministerio de Defensa Nacional, el Ministerio de Salud, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte, el Ministerio de Educación Nacional, el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Comunicaciones y el Departamento Nacional de Planeación.** Corresponderá a las fuerzas militares el aislamiento y seguridad del área del desastre, el control aéreo y la identificación y atención de puertos y helipuertos. La Policía Nacional, velar por la seguridad del área afectada, garantizando la protección de la vida, honra y bienes de las personas afectadas y colaborar en la protección de recursos ambientales y medio ambiente. El Ministerio de Salud, coordinara las actividades médicas, el transporte de victimas, la clasificación de heridos, la provisión de suministros médicos, saneamiento básico, atención en albergues, control epidemiológico. El ministerio de Obras Públicas y Transporte, adelantará actividades relacionadas con servicios de transportes, obras de infraestructura, evaluación de daños y labores de demolición y limpieza. El Ministerio de Educación prepara la comunidad en la prevención, atención y recuperación en situaciones de desastre. El Ministerio de Comunicaciones, dictará las medidas especiales en el control y manejo de la información sobre las situaciones del desastre declaradas. El Departamento Nacional de Planeación, presenta los proyectos y programas de inversión derivados del PNAD.

7. Las entidades descentralizadas del orden nacional, en cuanto sus competencias y funciones tengan relación con las actividades de Prevención y Atención de Desastres y, en particular, el Instituto Nacional Geológico y Minero, Ingeominas; la Defensa Civil Colombiana; el Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, Himar; el Instituto de Mercado Agropecuario, Idema; la Empresa Nacional de Telecomunicaciones, Telecom; el Servicio Nacional de Aprendizaje, Sena; el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Igac; el Instituto de Crédito Territorial, ICT; el Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, Inderena; las Corporaciones Autónomas; y la Sociedad Fiduciaria La Previsora Ltda., en cuanto administradora del Fondo Nacional de Calamidades. Ingeominas, es la máxima autoridad en riesgos geológicos y tiene como funciones especiales preparar los mapas de amenaza potencial y la observación y estudio de los volcanes del país. La Deensa Civil, realizará las labores de búsqueda y rescate y primeros auxilios. El instituto Himar, es la máxima autoridad en riesgos hidrometereológicos y preparará los mapas de amenaza de ése carácter. El instituto Idema, es responsable del abastecimiento de alimentos no perecederos. El Sena preparará la comunidad para la prevención, atención y recuperación en caso de situaciones de desastre. El Igac, suministrará la cartografía y las aerofotografías para los estudios y la toma de decisiones, el ICT y el Banco Central Hipotecario, adoptarán programas especiales de crédito para estimular procesos de reubicación preventiva de asentamientos humanos, atenderá los conceptos relacionados a política de vivienda. El Fondo Nacional De calamidades, prestará apoyo económico para labores de prevención, atención y recuperación en casos de desastre y calamidad. El Inderena y las Corporaciones Autónomas Regionales, estarán encargadas del manejo ambiental. El fondo Nacional de Caminos Vecinales, proveerá los recursos para la ejecución de las obras previstas. Telecom, prestará sus servicios en forma gratuita, en beneficio de personas, organismos o autoridades.

**8. Las entidades territoriales y sus entidades descentralizadas en cuanto sus competencias y funciones tengan relación con las actividades de Prevención y Atención de Desastres y Calamidades.** Dentro de sus funciones está la de dirigir, coordinar y controlar, todas las actividades administrativas y operativas indispensables para atender las situaciones de desastre regional y local. Establece los procedimientos y los equipos para el sistema integrado de información que disponga el Gobierno Nacional. Dicta las normas especiales para facilitar las actividades de reparación y reconstrucción de edificaciones afectadas por la situación de desastre declarada, y establece el control fiscal posterior del gasto destinado a la ejecución de actividades previstas en el plan de acción específico para la atención de una situación de desastre.

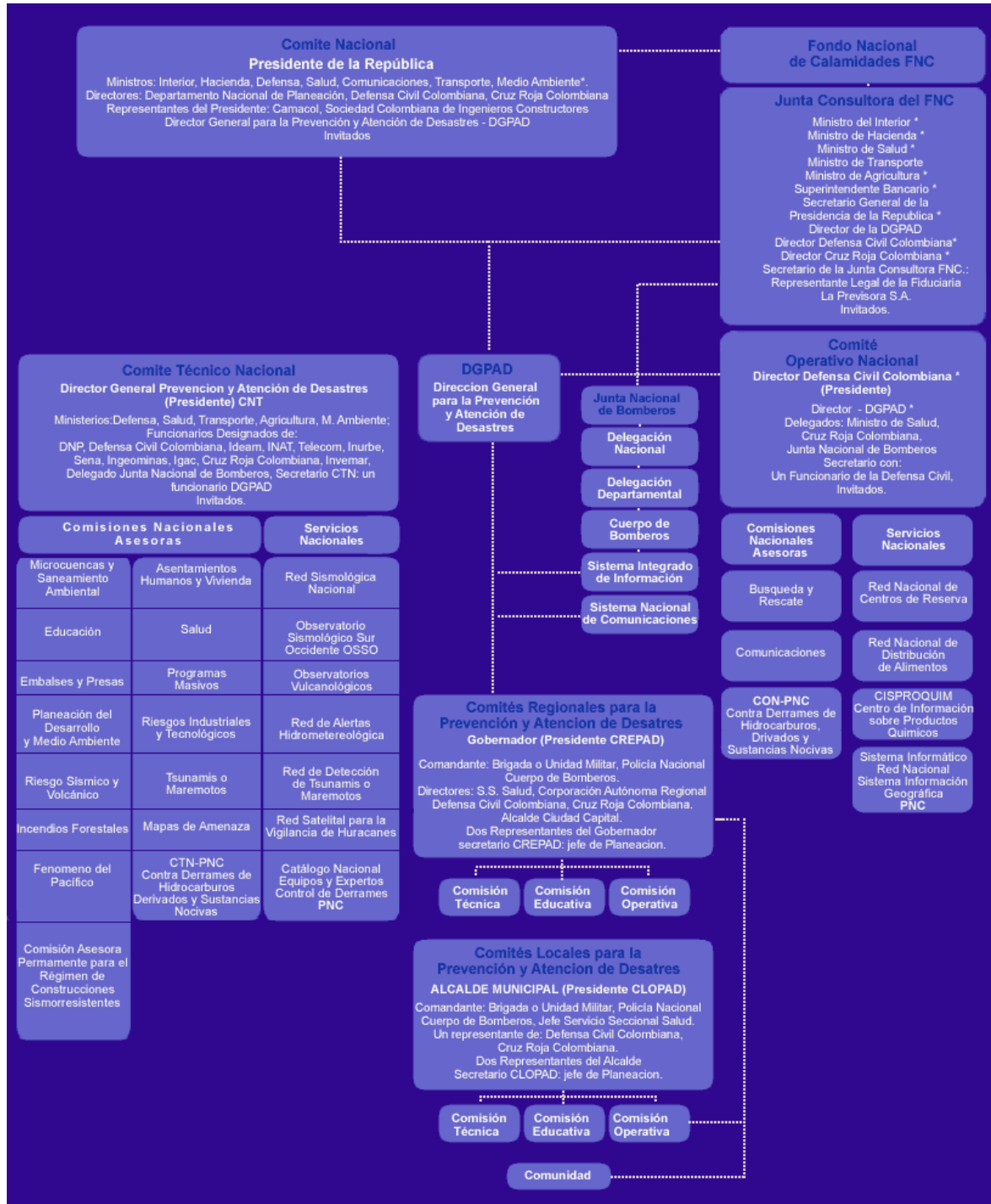
**9. La Sociedad Nacional de la Cruz Roja Colombiana.** Entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, reconocida legalmente como institución de asistencia pública y auxiliar del ejército de Colombia. En armonía con sus principios fundamentales, cumplirá funciones y actividades que le sean asignadas en el PNPAD y participara de actos administrativos de declaratoria de situaciones de desastre y calamidad.

**10. Las entidades y personas privadas que por su objeto y funciones tengan relación con las actividades de Prevención y Atención de Desastres y Calamidades.** Corresponde a entidades y personas de reconocida capacidad para tratar temas específicos que puedan prestar apoyo en las actividades del PNPAD.

Cada uno de los integrantes que conforman el SNPAD, está coordinado desde la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres, tal como se observa en la Figura 12. Dicha oficina es el eje central encargado de Orientar la gestión y coordinar las entidades del Sistema Nacional para la Prevención y

Atención de Desastres, que permitan la prevención y mitigación de los riesgos y la organización de los preparativos para la atención de emergencias, la rehabilitación y reconstrucción en caso de desastre; incorporando el concepto de prevención en la planificación, educación y cultura del país, que conduzca a la disminución de la vulnerabilidad y los efectos catastróficos de los desastres naturales y antrópicos. ([www.mincomunicaciones.gov.co](http://www.mincomunicaciones.gov.co)).

**Fig. 12. Organigrama del Sistema Nacional para la prevención y Atención de Desastres-Colombia.**



Fuente: [www.dgpap.gov.co](http://www.dgpap.gov.co)

## 4. ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN COLOMBIA

### Actividad y vigilancia volcánica

*El vulcanismo ha desarrollado un papel muy importante en el desarrollo y evolución del territorio colombiano. En épocas recientes durante el Cuaternario, o sea últimos 1.6 millones de años, ocurrieron diversas erupciones que formaron depósitos los cuales generaron suelos fértiles aptos para el desarrollo humano y la agricultura. La actividad volcánica actual en Colombia, es el reflejo de un margen continental activo, entre la placa oceánica del Pacífico que se desliza bajo la placa continental Suramericana lo que produce el vulcanismo que se aprecia en la Cordillera Central, el Valle Cauca-Patía y la Cordillera Occidental de nuestro País. El monitoreo y control de éstos centros volcánicos, recae en tres observatorios vulcanológicos con los que cuenta el Ingeominas, son ellos El Observatorio vulcanológico de Manizalez, Popayán y Pasto.*

Las primeras manifestaciones volcánicas registradas en el territorio colombiano, se remontan al precámbrico (>500 M. a) y al Paleozoico inferior (438-500 M. a), cuando erupciones volcánicas posiblemente de tipo submarino, originaron grandes depósitos de rocas volcánicas que fueron convertidas en rocas metamórficas que constituyeron las cordilleras Central y oriental, así como el basamento del oriente del país (Orinoquía y Amazonía).

En el Jurásico (144-208 millones de años), erupciones volcánicas de tipo continental y de carácter explosivo dominante, tuvieron lugar en el actual valle del río Magdalena, la Sierra Nevada de Santa Marta y la península de la Guajira; ésta actividad dejó como testigo potentes secuencias de lavas y materiales piroclásticos que conforman las estribaciones orientales de la cordillera Central, el propio valle del río Magdalena y el flanco occidental de la Cordillera Oriental.

Durante el Cretáceo (66.4 -1.44 M. a), la actividad volcánica eminentemente efusiva y de tipo submarino, originó espesas secuencias de lavas y piroclastitas,

intercaladas con capas sedimentarias que forman buena parte de la cordillera Occidental y el flanco occidental de la Cordillera Central.

Desde el Neógeno (23.7 – 1.6 M. a), y hasta hoy se ha desarrollado un nuevo proceso de actividad volcánica de tipo continental que ha sido predominantemente de tipo explosivo y de composición riolítica a andesítica, que es activo en la actualidad en la cordillera Central y en el extremo sur de la Cordillera Occidental.

Durante ésta última época geológica, en el sur de Huila, sur oriente del Cauca, norte del Putumayo, y en los límites Caquetá-Huila-Putumayo y Nariño, se desarrolló un vulcanismo basáltico de tipo alcalino, caracterizados por conos de escoria que no exceden los 2 Km de diámetro y alturas de 200m, de los cuales se desprenden en algunas ocasiones, flujos de lava de corta extensión. Al parecer estos flujos están relacionados con fallamiento profundo que llega hasta el manto terrestre.

En general todas las épocas volcánicas en Colombia han estado relacionadas con movimientos de placas Litosférica que han ocasionado choques y subducción, así como apertura de cuencas oceánicas intercontinentales. (Alarcón, et al., 2000).

#### **4.1 VOLCANES ACTIVOS EN COLOMBIA**

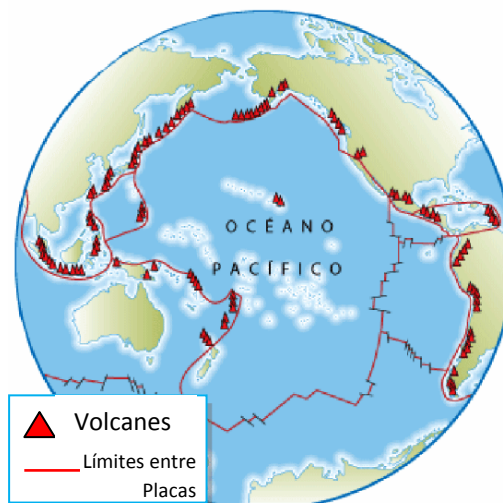
Se entiende por volcán activo aquel que ha tenido al menos un evento eruptivo en los últimos 10.000 años, o sea cuya erupción se registra en épocas históricas. En éste lapso de tiempo Tilling (1989), indica que existen en el mundo más de 1300 volcanes que han hecho erupción durante los últimos 10.000 años, y que aproximadamente la mitad de ellos han hecho erupción durante el período de historia recordada por el hombre. Menciona también que dos tercios de estos volcanes activos están localizados a lo largo o cerca de los límites de placas

tectónicas de la zona conocida como Cinturón de Fuego Circum-Pacífico. Figura 13.

Dicho cinturón es el resultado de la convergencia de dos placas, una oceánica y otra continental. En Colombia, hacia el occidente del país, se observa que la interacción está dada por la placa Litosférica de Nazca (Oceánica) que subduce bajo la placa de Suramérica (Continental). Este vulcanismo se caracteriza por ser explosivo y de composición andesítica y dacítica, con predominio de productos piroclásticos de flujo y caída, flujos de lodo y lahares asociados y flujos de lavas. (Alarcón, et al. 2000).

Se observan en Colombia que las actuales zonas volcánicas, se encuentran geográficamente ubicadas en la parte media y sur de la cordillera central y en el extremo más meridional de la cordillera Occidental, separadas por áreas donde no se registra actividad volcánica, al parecer por variaciones en el ángulo de la superficie de subducción. (Alarcón, et al. 2000).

**Figura. 13. Cinturón de fuego del Pacífico. En el que se observan los límites entre Placas**



Fuente: [www.kalipedia.com](http://www.kalipedia.com)

## **4.2 VIGILANCIA VOLCÁNICA EN COLOMBIA**

Como consecuencia de la reactivación y posterior erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985, el Gobierno Nacional delegó en el INGEOMINAS la responsabilidad del seguimiento técnico de los volcanes activos en el país, estableciéndose como primera respuesta el Observatorio Vulcanológico de Colombia (OVC), hoy Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales; posteriormente, debido a la reactivación del volcán Galeras se creó el Observatorio Vulcanológico y sismológico de Pasto.

A partir de septiembre de 1993, y sin mediar crisis volcánica la Regional Popayán del INGEOMINAS se consolida como el tercer observatorio del país denominándose Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, (Acuerdo N° 034 del 22 de septiembre de 1993), con la misión de monitorear los volcanes de los Parques Naturales Nacionales Nevado del Huila y Puracé. ([www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co)).

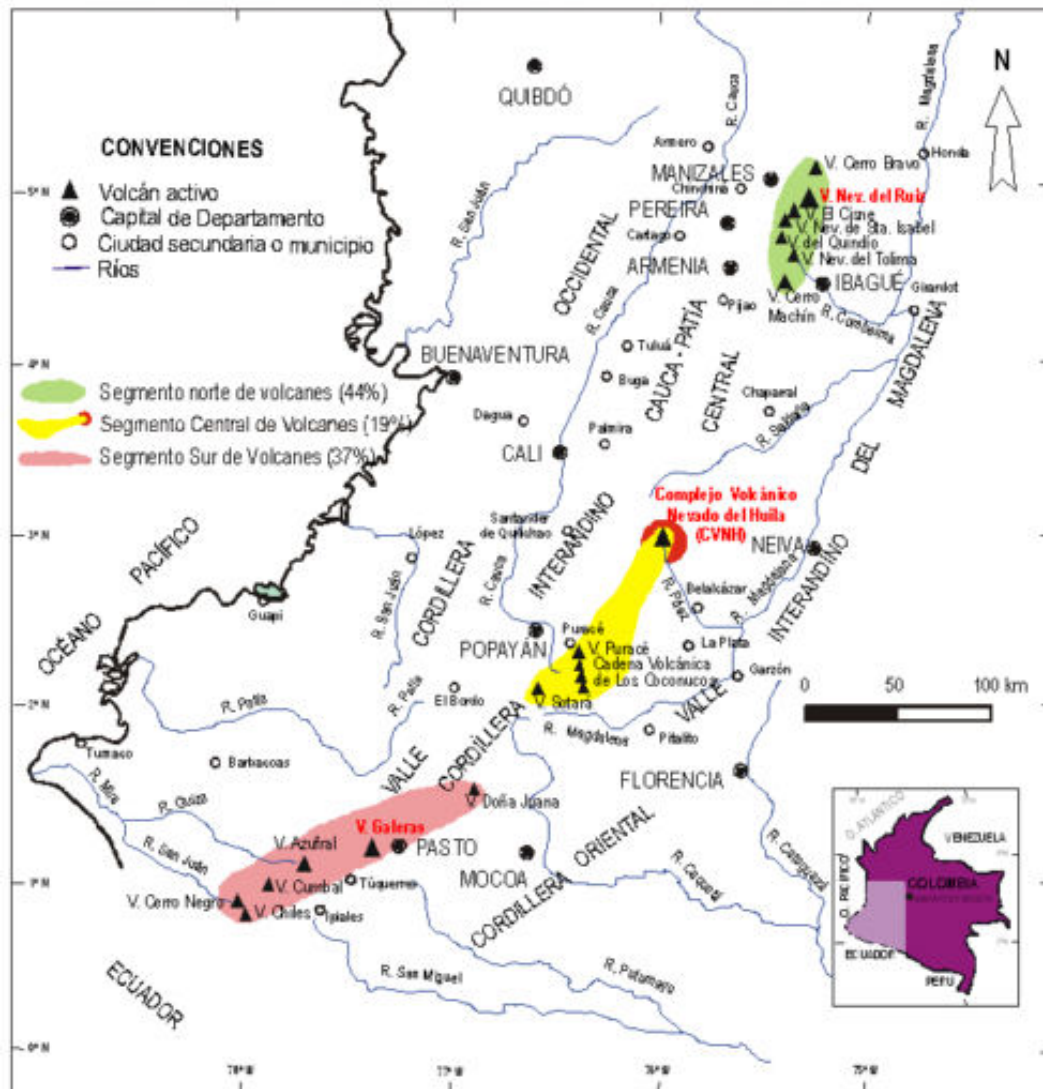
Estos tres observatorios vulcanológicos y sismológicos: Manizales, Popayán, y Pasto, están distribuidos arealmente con el fin de cubrir estratégicamente las tres principales zonas volcánicas presentes en Colombia (Fig. 14):

Zona Norte: Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Cisne, Volcán Nevado de Santa Isabel, Volcán del Quindío y Volcán Nevado del Tolima. (Observatorio Manizales)

Zona Central: Complejo Volcánico Nevado del Huila, Volcán Puracé, Cadena Volcánica de los Coconucos, Volcán Sotará. (Observatorio Popayán).

Zona Sur: Volcán Galeras, Volcán Azufral, Volcán Cumbal, Volcán Chiles. (Observatorio Pasto)

**Figura.14. Ilustración de las Zonas volcánicas en Colombia: Norte, Centro y Sur.**



Se puede concluir que el objetivo final de estas actividades que mantienen la vigilancia volcánica es suministrar información oportuna y confiable sobre la actividad volcánica, especialmente en lo referente al pronóstico de crisis y


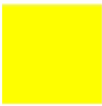


erupciones volcánicas, así como en la elaboración de escenarios potenciales para dichas crisis y erupciones. (Alarcón, et al. 2000.)

#### **4.3 NIVELES DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA DE COLOMBIA.**

Con el propósito de ilustrar a los Comités para la Prevención y Atención de Desastres y la comunidad en general sobre el avance en el proceso de un fenómeno de naturaleza volcánica, Ingeominas declara niveles de actividad como medidas de pronóstico y preparación, relacionadas con dos aspectos: la información previa que existe sobre la evolución de un fenómeno, y las acciones y disposiciones que deben ser asumidas por los Comités para la Prevención y Atención de Desastres para enfrentar la situación que se prevé. Con mecanismos como alarmas, evacuación, alojamiento temporal, elementos básicos así como recursos económicos, según lo establece el Decreto Ley 919 de 1989.

Los niveles de actividad se dictan según variaciones en los parámetros de vigilancia tales como actividad sísmica, deformación del suelo, emanaciones de gases o actividad fumarólica, y la composición química del agua y vapores, que ayudan a los científicos a saber cuando comienza o en qué grado se encuentra la activación de un volcán, que aunque haya poseído en el pasado un comportamiento estable durante miles de años, puede en cualquier momento comenzar con sus señales de activación.

**Figura. 15. Escala de niveles de actividad para volcanes de Colombia.**

Nivel	Número	Estado de Actividad	Escenario Posible
	IV	Volcán activo y comportamiento estable	El volcán puede estar en un estado base que caracteriza el periodo de reposo o quietud, o registrar actividad sísmica, fumarólica u otras manifestaciones de actividad en superficie que afectan fundamentalmente la zona más inmediata o próxima al centro de emisión, por lo que no representa riesgo para las poblaciones y actividades económicas de su zona de influencia.
	III	Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica	Variaciones en los niveles de los parámetros derivados de la vigilancia que indican que el volcán está por encima del umbral base y que el proceso es inestable pudiendo evolucionar aumentando o disminuyendo esos niveles. Pueden registrarse fenómenos como enjambres de sismos, algunos de ellos sentidos; emisiones de ceniza; lahares; cambios morfológicos; ruidos; olores de gases volcánicos entre otros, que pueden alterar la calidad de vida de las poblaciones en la zona de influencia volcánica.
	II	Erupción probable en término de días o semanas	Variaciones significativas en el desarrollo del proceso volcánico derivadas del análisis de los indicadores de los parámetros de vigilancia, las cuales pueden evolucionar en evento(s) eruptivo(s) de carácter explosivo o efusivo.
	I	Erupción inminente o en curso	Proceso eruptivo en progreso cuyo climax se puede alcanzar en horas o evento eruptivo en curso. La fase eruptiva sea explosiva o efusiva puede estar compuesta de varios episodios. El tiempo de preparación y respuesta es muy corto.

Fuente: [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co).

#### **4.4 OCURRENCIA DE ERUPCIONES VOLCÁNICAS EN COLOMBIA.**

En Colombia, se han reconocido alrededor de 82 centros volcánicos, de los cuales han sido identificados por el Ingeominas como activos: Cerro bravo, Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima, Cerro Machín, Nevado del Huila, volcán Puracé, Cadena volcánica de los Coconucos (14 centros eruptivos), Sotará, Volcán Doña Juana, Galeras, Azufral, Complejo Volcánico de Cumbal, Complejo Volcánico de Chiles-Cerro Negro.

Estas han sido unas de las más importantes erupciones conocidas: ([www.dgpad.gov.co](http://www.dgpad.gov.co))

1899, Nariño: El Volcán Doña Juana, hizo erupción. Nadie estaba prevenido. 50 personas murieron quemadas.

1936, Nariño: El volcán Galeras, luego de una intensa actividad de varios años, hizo erupción alas 8 de la mañana. Formando una columna de humo y ceniza.

1949, Cauca: 16 estudiantes de la Universidad de Popayán, escalaban el cráter del Puracé en una excursión científica, murieron cuando el volcán efectuó una demoledora explosión, lanzando material piroclástico incandescente.

1985, Tolima y Caldas: El volcán nevado del Ruiz hizo erupción y ocasionó un flujo de lodo que sepultó Armero. Las anteriores erupciones del Nevado del Ruiz, evidencian el peligro de volver a construir poblaciones en su zona de influencia.

**Figura. 16. Niveles de actividad actualmente registrados en los volcanes monitoreados por el Ingeominas. Enero 2009.**

Volcán activo	Nivel de actividad		Estado de Actividad
	Color	Número	
Cerro Bravo		IV	Volcán activo y comportamiento estable
<a href="#">Nevado del Ruiz</a>		IV	Volcán activo y comportamiento estable
<a href="#">Nevado de Santa Isabel</a>		IV	Volcán activo y comportamiento estable
<a href="#">Tolima</a>		IV	Volcán activo y comportamiento estable
<a href="#">Cerro Machín</a>		III	Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica
<a href="#">Nevado del Huila</a>		II	Erupción probable en término de días o semanas
<a href="#">Puracé</a>		IV	Volcán activo y comportamiento estable
<a href="#">Sotará</a>		IV	Volcán activo y comportamiento estable
<a href="#">Galeras</a>		III	Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica

Fuente: [www.ingegominas.gov.co](http://www.ingegominas.gov.co).

## 4.5 VOLCANES COLOMBIANOS: GENERALIDADES

Se presentan a continuación los volcanes activos colombianos más estudiados por el Ingeominas, según su correspondiente observatorio vulcanológico. Los datos aquí presentados son en su mayoría tomados de la página web: [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co). Se aclara que todo el registro fotográfico es tomado de Ingeominas.

### 4.5.1 Observatorio Vulcanológico Manizales. (OVM).

#### Volcán Cerro Bravo

**Figura. 17. Fotografía Volcán Cerro Bravo.**



Fuente: [www.Ingemominas.gov.co](http://www.Ingemominas.gov.co).

**Localización:** Se ubica en el departamento de Tolima, en el municipio de Herveo, en las coordenadas geográficas 5° 5' 24" N y 75° 17' 24" O y posee una altura de 4000 m.s.n.m. Está a 25 Km. Al E de Manizales.

**Geomorfología:** Es un estratovolcán caldérico activo, con dos calderas concatenadas de 1.5 y 1.0 km de diámetro. De comportamiento muy violento. Actualmente está en reposo.

**Geología:** El volcán Cerro Bravo está construido sobre rocas intrusivas terciarias de composición granodiorítica, pertenecientes al Stock de Manizales, y rocas metamórficas paleozoicas del Grupo Cajamarca, en intersección de fallas del Sistema Palestina con otras de dirección transversal. Sus primeros estadios de formación finalizaron con la formación de calderas y los últimos corresponden a explosiones piroclásticas y formación de domos. Los productos del volcán son lavas que recorrieron distancias máximas de 5 km y alcanzaron espesores hasta de 100 m, domos, depósitos de flujos, oleadas y caídas piroclásticas y lahares o flujos de lodo. La composición petrológica varía entre andesitas y dacitas, compuestas de plagioclasa, ortopiroxeno, hornblenda, titanomagnetita, con relictos de cuarzo y biotita. Esto explica la emisión de lavas muy viscosas que pueden moverse lentamente por distancias cortas o la formación de domos que no fluyen y taponan el conducto volcánico y son total o parcialmente destruidos por colapso gravitacional o por voladura para destapar el cráter; también, facilita la ocurrencia de erupciones piroclásticas muy violentas con producción de grandes columnas de erupción, debido al alto contenido de gases en el magma. Los lahares se forman aprovechando la abundancia de agua, los valles estrechos y las pendientes altas.

**Actividades de Monitoreo:** Posee como mecanismo de monitoreo una estación sismológica llamada Cerro. Además posee mapa de amenaza potencial: amenaza alta, media, baja.

**Actividad histórica:** La historia del volcán Cerro Bravo probablemente comenzó hace 50.000 años, cuando se construyó un edificio antiguo, sobre el cual, en los últimos 14.000 años, se ha estado construyendo el edificio moderno. Una

datación C<sup>14</sup>, indicó una erupción hace menos de 250 años, sobre la cual no se encuentra información reportada en las crónicas del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX. (Alarcón, et al. 2000.)

## **Volcán Nevado del Ruiz**

**Figura. 18. Fotografía Volcán Nevado del Ruiz.**



Fuente: [www.Ingemominas.gov.co](http://www.Ingemominas.gov.co).

**Localización:** Está ubicado entre los límites de Caldas y Tolima. Entre las coordenadas geográficas 4° 53' 43" N y 75° 19' 21" O a 5321 m.s.n.m. Se localiza a 28 Km. Al SE de Manizales.

**Geomorfología:** Es un estratovolcán activo con dos conos parásitos, La Olleta y La Piraña. El Nevado del Ruiz posee una forma alargada en dirección NE - SW, algo achatado y con un diámetro mayor en su base de 15 km de longitud, con un cráter activo de 870 x 830 m de diámetro y profundidad de 247 m (cráter Arenas). La Olleta, al W, y La Piraña, al E, son dos volcanes parásitos o secundarios del Nevado del Ruiz. El drenaje es radial excéntrico y en el edificio volcánico nacen

los ríos Güalí, Lagunillas y Recio, afluentes del río Magdalena, y el río Chinchiná, afluente del Cauca; se trata de valles estrechos, profundos y de alta pendiente.

**Geología:** Tiene una historia eruptiva de 1.8 millones de años, es decir, que inició su actividad en el Plioceno. Está construido sobre el mismo basamento del Cerro Bravo, en la compleja intersección de cuatro grupos de fallas, donde las más significativas son Palestina y Termales - Villamaría. Han ocurrido tres estadios denominados Ruiz Ancestral, Ruiz Viejo y Ruiz que incluyen la construcción y destrucción alternada de tres edificios, generando lavas, depósitos de flujos piroclásticos, de oleadas piroclásticas, de avalanchas de escombros, de piroclastos de caída y de lahares y domos. Sus productos son fundamentalmente andesitas de dos piroxenos, con variaciones a dacitas y andesitas basálticas.

**Actividades de monitoreo:** Posee como mecanismo de monitoreo una estación sismológica llamada Olleta. Y posee también su respectivo mapa de amenaza volcánica.

**Actividad histórica:** El Ruiz se halla en crisis volcánica desde diciembre de 1984; sin embargo las manifestaciones de actividad, desde las emisiones de ceniza de 1991, corresponden principalmente a sismos con niveles bajos de ocurrencia. (Alarcón, et al. 2000.)

**Tabla 1. Erupciones históricas del Volcán Nevado del Ruiz.**

Fecha	Tipo de Erupción
1995, Marzo 12	Explosión subglaciar de cráter parásito. Produciendo Lahares y destrucción de tierras.
1623	Explosión de cráter central
1805, Marzo 14	Explosión
1828, Junio	Explosión de cráter parásito
1829, Junio 18	Explosión de cráter parásito
1831	Explosión de cráter parásito
1833	Explosión de cráter parásito
1845, Febrero 19	Erupción subglaciar. Lavas y lahares, destrucción de propiedades y tierras, más de 1000 muertos.
1916	Explosión freática
1984, Diciembre	Emisión de gases azufrados
1985, Septiembre 11	Emisión de cenizas con flujos de lodo
1985, Noviembre 13	Erupción freato-magmática; destrucción de tierras, y más de 25000 muertos.
1986, Enero 4-6, Julio 20 y 29	Emisión de cenizas
1987, Junio 9-11	Emisión de cenizas
1988, Marzo 22-25	Emisión de cenizas
1989, Septiembre 1	Erupción freatomagmática
1988-1991	Esporádicas emisiones de ceniza

Fuente: Alarcón, 2000.

## Volcán Nevado Santa Isabel

**Figura. 19. Fotografía Volcán Nevado de Santa Isabel.**



Fuente: [www.Ingemominas.gov.co](http://www.Ingemominas.gov.co).

**Localización:** El volcán nevado de Santa Isabel, se encuentra localizado en los límites de los departamentos de Risaralda, Caldas y Tolima, en las coordenadas geográficas  $4^{\circ} 47' N$  y  $75^{\circ} 24' O$ , a una distancia de 33 km al sureste de Manizales.

**Geomorfología:** Presenta forma elongada en dirección NNE, alcanzando la cota de 4965 m, altura que permite la presencia de un casquete glaciar de 7 km<sup>2</sup>. Presenta drenaje radial excéntrico y es fuente hídrica para los ríos Otún y Claro que drenan en el río Cauca, y Azul (afluente del río Recio) y Torarito (afluente del Totaré), que brindan sus aguas al río Magdalena.

**Geología:** El Complejo de Domos del Santa Isabel fue construido sobre un basamento metamórfico del Paleozoico y de rocas vulcano-sedimentarias del Mesozoico, intruido por el Batolito de El Bosque de edad terciaria; se encuentra sobre la falla de Palestina, en sitios de intersección con fallas transversales. En el

complejo dómico han sido determinados antiguos flujos de lava de composición andesítica de dos piroxenos y unas más recientes que las suprayacen (flujos de lava en bloques, provenientes principalmente de los domos actuales), también de composición andesítica. Adicionalmente, han sido identificados tres domos, denominados Norte, Centro y Sur, a los cuales se les puede agregar otros cuatro, ubicados al S del edificio principal, llamados Alsacia Norte, Alsacia Sur, Arenero Norte y Arenero Sur. También, en las partes somitales han sido encontrados, debajo de los flujos de lava originados en los domos actuales, principalmente del domo Norte, depósitos de flujos piroclásticos de ceniza y bloques, de escoria y de ceniza y pómez.

**Actividades de Monitoreo:** Posee un mapa de amenaza volcánica. En el volcán nevado de Santa Isabel hay una azufrera, a orillas de la laguna del Otún. Esta azufrera está siendo estudiada desde 1994. Posee mapa de amenaza potencial.

**Actividad histórica:** Posee antiguas lavas de edad Pleistocénicas y holocénicas. Aunque se considera un volcán activo, no se registra actividad histórica en éste volcán.

**Tabla 2. Actividad histórica del volcán nevado de Santa Isabel.**

Fecha	Tipo de erupción
2800 años A.P (Antes del presente)	Flujo de lava
5490 ± 475 años A.P	Flujo de lava en bloques
6759 ± 180 años A.P	Flujo de lava en bloques
7435 ± 100 años A.P	Flujo de lava en bloques

Fuente: Alarcón, et al., 2000.

## Volcán Nevado Tolima

**Figura. 20.** Fotografía Volcán Nevado de Tolima, se observa al fondo el volcán Nevado del Ruiz.



Fuente: [www.Ingemominas.gov.co](http://www.Ingemominas.gov.co).

**Localización:** El volcán nevado del Tolima, se encuentra ubicado en el departamento que lleva su nombre, cuyas coordenadas geográficas son 4° 39' N y 75° 22' O y a una distancia de 142 km al oeste de Bogotá, de 28 km al NW de Ibagué y a 43 km al sureste de Manizales.

**Geomorfología:** El edificio del Nevado del Tolima es un cono simétrico de alta pendiente, cuya cima alcanza la cota 5220 m; en él nacen los ríos Totare y Combeima (afluente del río Coello) que donan sus aguas al río Magdalena. El drenaje en el cono volcánico es del tipo radial excéntrico.

**Geología:** El Nevado del Tolima se formó sobre un basamento de vulcanitas mio-pleistocénicas y rocas cristalinas del Batolito de El Bosque y del Grupo de Cajamarca. La formación del Tolima incluye dos etapas ocurridas en el Cuaternario, una inicial caldérica (Tolima antiguo) y otra de construcción del actual cono (Tolima moderno). Los productos típicos del volcán han sido catalogados

como andesitas de dos piroxenos; se trata de lavas (masivas y en bloques) y depósitos de flujos piroclásticos de ceniza y bloques y de escoria, y de caída de piroclastos. El hecho de ser un volcán nevado ha incrementado las condiciones favorables para la generación de flujos de lodo (lahares).

**Actividades de monitoreo:** Se han inventariado y clasificado cuatro fuentes termales, localizadas en el edificio volcánico del nevado del Tolima. Las temperaturas de sus manantiales están entre los 52 °C en la fuente termal Don Camilo y 24 °C en la fuente termal Aquilino. Los potenciales de Hidrógeno son cercanos a la neutralidad. Don Camilo tiene una conductividad eléctrica de 5,6 mS/cm y sólidos totales disueltos de 3323 mg/kg; mientras que Aquilino tiene una conductividad eléctrica de 1,5 mS/cm y sólidos totales disueltos de 1 651 mg/kg. Las fuentes termales Cebollal y El Termal presentan valores intermedios.

**Actividad histórica.** Existen registros de actividad histórica, pero existen dudas acerca de la confiabilidad de los datos. En la actualidad presenta sismos bajos, y actividad fumarólica en su cráter y en su cráter SW. Posee mapa de amenaza potencial. (Alarcón, et al., 2000).

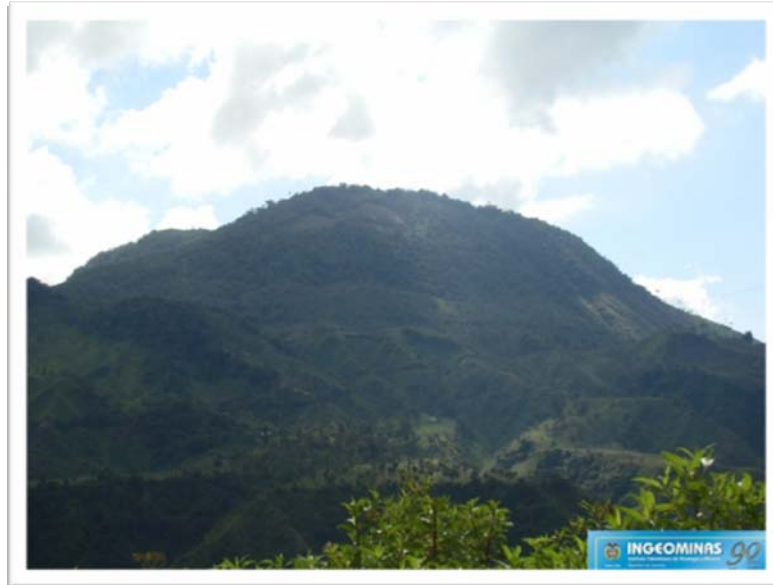
**Tabla 3. Actividad histórica del volcán Nevado del Tolima.**

Fecha	Tipo de erupción
1650	Explosiva
1822, Noviembre	Explosiva
1825, Marzo 2	Explosiva
1826, Mayo-Junio17	Explosiva
1918	Actividad fumarólica
1943, Marzo	Explosiva

Fuente: Alarcón, et al., 2000.

## Volcán Cerro Machín

Figura. 21. Fotografía Volcán Cerro Machín.



Fuente: [www.Ingemominas.gov.co](http://www.Ingemominas.gov.co).

**Localización:** Se encuentra en el departamento de Tolima, entre las coordenadas geográficas  $4^{\circ} 29' N$  y  $75^{\circ} 22' O$  a una altura de 2750 msnm. A 17 km al oeste de Ibagué, 30 Km al este de la ciudad de Armenia.

**Geomorfología:** El edificio del Machín posee forma de anillos piroclásticos que se interceptan; los anillos presentan alturas no mayores de 100 m sobre las rocas del basamento y en su interior se forman planicies en forma de media luna, una de ellas ocupada parcialmente, hasta hace unos 10 años, por una laguna (actualmente es un pantano); los anillos están interrumpidos en el SW. En el centro del complejo anular se encuentran tres domos que alcanzan la cota 2750 m en su cima, máxima altura del volcán. La mayor parte del volcán está drenada por pequeños afluentes del río Toche (Coello) y el resto por la quebrada Santa Marta,

afluente del río Combeima, a su vez, afluente del río Coello que entrega sus aguas al río Magdalena.

El Volcán Cerro Machín está localizado en la margen suroccidental del denominado Complejo Volcánico Machín - Cerro Bravo, costada oriental de la cordillera central. Está conformado por un edificio volcánico de forma anular compleja, resultado de un conjunto de relictos de anillos piroclásticos enlazados entre sí; la altura del cono no es mayor de 150 m sobre su base y posee un cráter de 2,4 km de diámetro mayor, relleno por dos domos de 250 m y 150 m de altura. Además, presenta fenómenos asociados de actividad termal expresados en campos fumarólicos sobre los domos y fuentes termales localizados dentro y fuera del edificio y sismicidad esporádica.

**Geología:** El volcán Cerro Machín está construyéndose sobre un basamento metamórfico paleozoico (Grupo Cajamarca), en cruce de fallas de dirección NNE con otras de tipo transversal. Su historia geológica es muy corta y se caracteriza por su alta explosividad, explicada por la composición dacítica de los productos volcánicos emitidos. Tales productos son domos, tres de los cuales taponan el conducto volcánico, depósitos de flujos piroclásticos de ceniza y pómez, de ceniza y bloques y de oleadas piroclásticas, así como depósitos provenientes de flujos de lodo (lahares)

**Actividades de monitoreo:** Posee una estación sismológica, llamada estación Cima. Actualmente se estudian pequeños campos fumarólicos, de los cuales el más destacado y estudiado es el de la fumarola La Macha y Se han inventariado y clasificado cuatro fuentes termales cercanas al volcán Cerro Machín. Estatuas es la fuente termal con mayor temperatura en su manantial, con 92 °C; mientras que la menos caliente es La Estrella, con 28 °C. Los potenciales de Hidrógeno de estas cuatro fuentes son cercanos a la neutralidad. Las conductividades eléctricas

están entre los 5,6 mS/cm en Estatuas y 3,0 mS/cm en La Estrella. Todas estas fuentes termales son salobres con solidos totales disueltos entre 1492 y 2623 mg/kg. Las otras fuentes son llamadas Puente Tierra y la Piscina. También posee mapa de amenaza volcánica.

**Actividad histórica.** El volcán machín restringe su actividad al Holoceno. Las leyendas precolombinas, relatan que "cuando la sacerdotisa Dulima enterró al Mohán en el cráter, surgieron de las entrañas del volcán, columnas de humo, ríos de azufre y lenguas de fuego. La actividad actual se exterioriza mediante fumarolas en los domos, fuentes termales y actividad sísmica. Posee mapa de amenaza potencial.

**Tabla 4. Erupciones históricas del Volcán Cerro Machín.**

Fecha	Tipo de erupción
5100 ± 110 años A.P	Flujo piroclástico de ceniza y pómez
4960 ± 160 años A.P	Flujo piroclástico de ceniza y poméz
4860 ± 60 años A.P	Flujo piroclástico de ceniza y pómez
4740 ± 65 años A.P	Flujo piroclástico de ceniza
4770 ± 60 años A.P	Flujo piroclástico de ceniza
4665 ± 70 años A.P	Oleada piroclástica
3605 ± 315 años A.P	Flujo piroclástico de ceniza
3475 ± 190 años A.P	Flujo piroclástico de ceniza y pómez
2805 ± 55 años A.P	Flujo piroclástico de Pómez
1205 ± 185 años A.P	Paleosuelo, cubierto por flujo piroclástico
820 ± 100 años A.P	Caída de piroclastos

Fuente: Alarcón, et al., 2000.

#### 4.5.2 Observatorio Vulcanológico Popayán. (OVP).

##### Volcán Puracé

**Figura. 22. Fotografía Volcán Puracé. Vista desde el NW. En primer plano se aprecia la mina de azufre El Vinagre con el cráter del volcán Puracé al fondo.**



Fuente: [www.Ingemominas.gov.co](http://www.Ingemominas.gov.co).

**Localización:** El volcán Puracé se encuentra localizado en el departamento del Cauca, en las coordenadas geográficas  $2^{\circ} 22' N$  y  $76^{\circ} 23' W$ , a una distancia de 26 km. al SE de la ciudad de Popayán. Hace parte de la Cadena Volcánica de los Coconucos, compuesta por 15 centros eruptivos alineados con una orientación  $N40^{\circ} W$ , siendo el Puracé, el más joven y septentrional de la Cadena.

**Geomorfología:** Su edificio tiene forma de un cono truncado con laderas de  $30^{\circ}$  de inclinación, presenta un cráter interno y otro externo, concéntricos de 500 y 900 m de diámetro, respectivamente. La actividad fumarólica se concentra en el interior del cráter, principalmente en una gran grieta que atraviesa el fondo; posee

también hay un importante campo fumarólico en el flanco externo NW del volcán (Fumarola Lateral).

**Geología:** El basamento del área está constituido por rocas volcánicas del Terciario Superior-Cuaternario y localmente por rocas volcánicas del Cretácico. El volcán Puracé se encuentra construido sobre un edificio antiguo (pre-Puracé), el cual a su vez, se desarrolló en el borde de una caldera (Chagartón). Los productos principales del volcán son piroclastos, intercalados con coladas de lava, generalmente de composición andesítica.

**Actividades de Monitoreo:** El inicio del monitoreo sísmico tuvo comienzo a partir de octubre de 1986, con la instalación de la estación sismológica Puracé ( ubicada a 2.5 km del cráter), perteneciente al proyecto GERSCO (Grupo de Estudio de Riesgo Sísmico en el SW de Colombia), con sede física en la Universidad del Valle (OSSO). Entre 1991-1998, se contó con la señal de esta estación en INGEOMINAS-Popayán, lastimosamente en 1998, el OSSO desmontó esta estación, por el continuo robo de sus equipos.

Sin embargo, debido a la constante actividad fumarólica, se implementó una red de vigilancia más completa. En 1993 se instalaron en los sectores SE y SW del cráter, las estaciones Curiquina y Chagartón, respectivamente; en 1995 se instaló la estación San Rafael, en cercanías a la Laguna de San Rafael; en 1996 se instaló la estación Machángara en el cráter del mismo nombre, hacia la parte SE de La Cadena, en 1998 se instaló La Mina y en 1999 se instaló Cóndor. Estas 6 estaciones, conforman la red de vigilancia sismológica con que se cuenta en la actualidad el volcán.

De manera esporádica entre 1982 y 1993 se realizaron muestreos en fumarolas y fuentes termales, y a partir de 1994 se inicia un seguimiento geoquímico periódico en La Fumarola Lateral y en 7 fuentes termales, con el objeto de evaluar la

variación y composición de los fluidos y llegar a establecer una línea base en su comportamiento. Desde 1999 se cuenta con medidas de deformación proporcionadas por una estación de inclinometría electrónica localizada a 1.5 km. En el sector N del cráter.

**Actividad histórica.** Se considera que los volcanes de la cadena volcánica de los Coconucos son cuaternarios. La cadena volcánica de los Cocnucos, exterioriza su actividad, con la presencia de fumarolas, fuentes termales, y sismos volcánicos de niveles bajos. El volcán Puracé posee mapa de amenaza. Sólo el volcán Puracé, presenta registros eruptivos en tiempos históricos, los cuales son consignados en la siguiente tabla:

**Tabla 5. Erupciones históricas del Volcán Puracé.**

Fecha	Tipo de erupción
1559-1560, 1583	Se habla de la frecuente actividad del volcán
1789	Emisiones de ceniza y actividad fumarólica
1816, Diciembre 12 y Junio 29	Explosión y sismos
1827, Noviembre 18.	Erupción explosiva del cráter central y lava
1835, Enero 23	Erupción explosiva del cráter central
1840	Erupción explosiva del cráter central
1847, Octubre 27	Erupción explosiva del cráter central, con destrucción de tierras y propiedades
1849, Diciembre	Explosión de domo. Es la más fuerte erupción conocida
1852	Explosiones
1860	Erupción explosiva del cráter central
1869, Octubre 4, y Noviembre	Erupción explosiva del cráter central, flujo de lodo
1870, Octubre	Erupción explosiva del cráter central
1878, Agosto 31, Septiembre 11	Erupción explosiva del cráter central
1881	Erupción explosiva del cráter central
1885, Mayo 25	Erupción explosiva del cráter central, con destrucción de propiedades y posiblemente muertos
1899	Erupción explosiva del cráter central

1902	Erupción explosiva del cráter central
1906, Noviembre 21	Erupción explosiva del cráter central
1907, Enero 12	Emisión de cenizas y sismo
1912, Octubre 6	Flujos de lava
1914, Agosto 5	Pequeña emisión de ceniza
1919, Enero	Caída de ceniza en la ciudad de Popayán
1920, Enero 5	Ceniza y efectos de onda de choque en Popayán
1924	Erupción explosiva del cráter central
1925, Octubre 12, Noviembre 5	Erupción explosiva del cráter central
1926, Agosto-Septiembre	Erupción explosiva del cráter central
1927, Octubre 8	Erupción explosiva del cráter central
1936, Agosto 3	Efectos de onda de choque en Popayán
1939, Septiembre 19	Ceniza y sismos
1941, Agosto 12	Ceniza en la ciudad de Popayán
1944, Febrero	Sismo atribuido a la actividad del volcán
1946, Marzo 29, Abril 1, mayo 29 y 30 y Diciembre 28	Explosiones y sismos. Erupción explosiva del cráter central
1947, Abril 27	Erupción explosiva del cráter central
1949, Mayo 26, Junio 11	Erupción explosiva del cráter central, 16 muertos
1950, Enero 10, Julio 26	Explosiones, emisión de cenizas
1952. Mayo	Explosiones
1954, Mayo	Explosión
1955	Cuatro explosiones
1956, Junio 21	Erupción explosiva del cráter central
1957	Erupción explosiva del cráter central
1958, Septiembre 8	Proyectiles balísticos
1977, Marzo 19-28	Erupción explosiva del cráter central
1990, Agosto 11	Pequeña erupción de ceniza en el área de la Cadena Volcánica de los Coconucos

Fuente: Alarcón, et al., 2000.

## Volcán Nevado del Huila

**Figura. 23. Vista del volcán Nevado del Huila desde el S del edificio volcánico. Se hace evidente también el retroceso glaciar.**



Fuente: [www.ingegominas.gov.co](http://www.ingegominas.gov.co)

**Localización:** El Complejo Volcánico Nevado del Huila (CVNH) conocido comúnmente como el Volcán Nevado del Huila, hace parte del Parque Nacional Natural del mismo nombre que está localizado entre los departamentos de Cauca, Huila y Tolima, en las coordenadas  $2^{\circ} 55' N$  y  $76^{\circ} 03' W$  a una distancia de 285 km al SW de Bogotá, 85 km al NE de Popayán y 60 km al WSW de Neiva. Su altura máxima, el Pico Central (5364 msnm), corresponde al punto más alto de la cordillera Central y de los Andes en Colombia.

**Geomorfología:** El volcán Nevado del Huila presenta una forma elongada en dirección N-S, con longitudes en los ejes de su base de 16 y 11 Km, cubriendo un área cercana a  $170 \text{ km}^2$ . Visiblemente no se detectan cráteres y está conformado en su cima por cuatro picos, alineados en dirección N-S denominados Norte, La Cresta, Central y Sur. Cada uno de ellos representa un centro de emisión; además se encuentran varios domos relativamente recientes en el pico Sur. Los picos

están cubiertos por un glaciar de 13 km<sup>2</sup>, siendo el más extenso sobre un volcán en Colombia. Estudios de retroceso glaciar en este volcán indican que entre 1961 y 1995 perdió 5.5 km<sup>2</sup> de su área glaciar y 0.27 km<sup>3</sup> de su volumen. A este ritmo de pérdida, es posible que hacia mediados de este siglo desaparezca el área glaciar. Todos los drenajes que nacen en el volcán son colectados por los ríos Páez (al W) y Símbola (al E), los cuales se unen unos 32 Km al S del Volcán, cerca de la población de Belalcázar, continuando como Río Páez a través de un cañón profundo hasta desembocar en el Río Magdalena, a unos 100 Km a través del cauce (unos 70 Km al SE en línea recta). El clima del Parque Natural Nevado del Huila es variable en función de la altura y la época del año. Dada la diferencia de niveles en el CVNH entre las cotas 2000 m, en el extremo S y 5364 m en el Pico Central, existen varios pisos climáticos (subandino a gélido o nival). La precipitación promedio anual es del orden de 2800 mm en los sitios más bajos y de 1000 mm en las zonas más elevadas. La temporada de mayores lluvias se da en los períodos de diciembre a marzo y de agosto a septiembre. La nubosidad es alta y el brillo solar bajo.

**Geología:** El Volcán Nevado del Huila es un complejo volcánico activo conformado por estratovolcanes y varios domos (en el Pico Sur). Su actividad ha sido predominantemente efusiva, pero en su desarrollo más reciente ha generado flujos piroclásticos producidos por colapsos y/o explosiones de domos. El Complejo Volcánico se ha formado a través de dos edificios sobrepuestos, llamados Pre-Huila y Huila. Este último se desarrolló en dos etapas: Edificio Antiguo y Edificio Actual. Los productos emitidos por este Complejo Volcánico han sido principalmente de composición andesítica.

El basamento de este Complejo Volcánico está conformado por rocas de diferente litología y edad, entre las que se destacan rocas metamórficas del Precámbrico (Neis de Quintero) y del Paleozoico (esquistos del Complejo Cajamarca), rocas

plutónicas del Jurásico (cuarzodioritas y granodioritas del Batolito de La Plata, que conforman cerca del 60% del basamento) y rocas metasedimentarias del Cretácico (pizarras, fillitas y meta-areniscas). Sobre este basamento cruzan fallas con dirección general NNE, entre las que se encuentran las de Moras Oeste, Moras Este, Símbola, Inzá y Tálaga, y otras orientadas más hacia el NE, como las de Tóez y Calambayú.

Actividades de monitoreo: del complejo volcánico nevado del huila (cvnh) no se conoce registro de actividad eruptiva histórica hasta la erupción del 19 de febrero de 2007. en épocas pasadas sólo se mencionan reportes de incandescencia en su parte alta, ruidos subterráneos y actividad fumarólica, esta última percibida aún en las últimas décadas.

También existen fuentes de aguas termales asociadas a su edificio, en el flanco Occidental, cerca al área glaciario y a orillas del Río Páez. A lo anterior se suma la actividad sísmológica, registrada instrumentalmente durante los últimos 21 años, lo cual confirma que el CVNH es un sistema volcánico activo.

El primer sismógrafo telemetrado se instaló en el año 1989 (estación *Huila-1*), en Los Alpes de Telecom, 11 km al W del volcán, y cuya señal se registró en INGEOMINAS - Cali. En septiembre de 1990, el reporte de explosiones en los municipios caucanos de Inzá y Páez atribuidos al volcán, hicieron necesario adelantar un nuevo muestreo sísmológico, el cual evidenció un nivel de actividad sísmica que ameritaba un seguimiento permanente. Debido a las características y ubicación de la estación *Huila-1*, que no permitía una buena detección de la actividad volcánica, ésta fue reubicada sobre el flanco NW, a 2.5 km del Pico Central en el sitio denominado *Corazón*, iniciando con ella el registro sísmico telemétrico en la ciudad de Popayán. Debido al registro continuo de señales volcánicas, en febrero de 1994 se instaló la estación, *Nevada*, 2.5 km al SW del Pico Central. En febrero de 1996 se instaló la estación *Verdún*, 3 km al N del Pico

Central, obteniéndose localizaciones epicentrales de sismos volcano-tectónicos (VT). Finalmente, en septiembre de 1999 se mejoró el cubrimiento de la red en su extremo sur con la instalación de una cuarta estación, *Cerro Negro*, 5 km al sur del Pico Central. Durante el mes de julio de 2008 fueron instalados los inclinómetros de Curiquinga y Lavas Rojas, que hacen parte de la red de vigilancia del volcán Puracé en el área de Deformación Volcánica. (Arcila, et al. 1996).

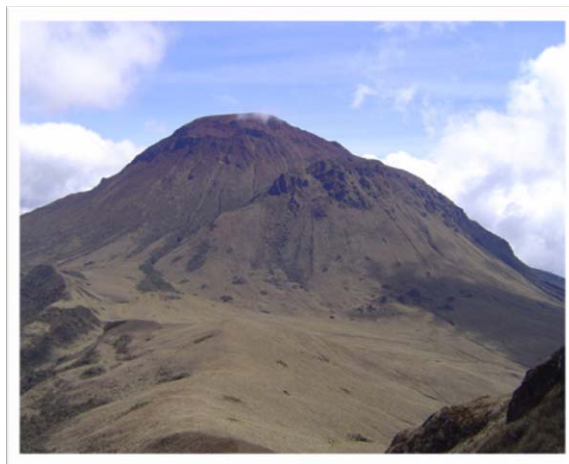
Con ellas, se completa una red de 11 estaciones conformado por Siete estaciones de corto periodo, Una estación de banda ancha, Tres inclinómetros electrónicos secos.

El complejo volcánico del Nevado del Huila, posee mapa de amenaza.

**Actividad histórica.** Sus depósitos pertenecen al Neógeno. No se tiene registrada ningún tipo de actividad eruptiva en tiempos remotos. La actividad actual se exterioriza por la presencia de actividad fumarólica y fuentes termales asociadas al edificio volcánico. Adicionalmente se registra actividad sismológica a niveles bajos, detectada instrumentalmente. (Alarcón, 2000)

## Volcán Sotará

**Figura. 24. Volcán Sotará.**



Fuente: [www.ingominas.gov.co](http://www.ingominas.gov.co)

**Localización:** El volcán Sotará es un volcán activo que se encuentra ubicado en la Cordillera Central, localizado a 35 km al SW de la ciudad de Popayán, a 2°12' Latitud Norte y 76°31' Longitud Oeste. Tiene una elevación de 4580 m.s.n.m, conforma un Complejo Volcánico junto con los volcanes Cerro Gordo, Cerro Negro y Azafatudo.

**Geomorfología:** El Sotará es un estratovolcán compuesto (caldérico) activo, predominantemente efusivo (Acevedo y Cepeda, 1982). Posee calderas más o menos concéntricas de 4.5, 2.5 y 1 Km. de diámetro respectivamente, varios domos exógenos y por lo menos un volcán parásito (Cerro Gordo). Las Calderas externa y media se hallan parcialmente fosilizadas por la actividad posterior a ellas, y la más moderna (interna) se encuentra rota hacia la parte suroeste, originando con su derrumbe la formación de lahares.

**Geología:** El Sotará se desarrolla sobre un basamento de edad precámbrica conformada por esquistos y rocas Cretácicas del grupo diabsico. Las lavas del volcán Sotará, muestran una marcada diferenciación magmática, dentro de la serie calcoalcalina, con una ligera tendencia toleítica. Se registra también que a través del tiempo las lavas se hacen cada vez más ácidas. (Acevedo y Cepeda, 1982).

**Actividades de monitoreo:** Las labores de monitoreo se iniciaron en noviembre de 1993 con la instalación de la estación telemétrica Sotará en el sector NE del volcán. En mayo de 1994 esta estación fue robada y reinstalada en diciembre del mismo año. En 1995 se empieza a registrar un cambio en la actividad sísmica, y se instala temporalmente una segunda estación sismológica en cercanías del volcán Cerro Negro, que lleva éste mismo nombre. Anualmente, desde 1996 se está realizando un seguimiento geoquímico en dos fuentes termales (Las Amarillas y Las Calientes). En junio de 1999 se realizaron los primeros muestreos de gases del campo fumarlico (Diago, 1999) el cual presenta temperaturas entre 85 - 87.4 C. En los análisis de los gases solamente se encontraron concentraciones de sulfuro de hidrogeno y dióxido de carbono.

**Actividad histórica.** El volcán Sotará no tiene registros de actividad histórica. Durante el período que se contó con registro instrumental, se pudo establecer que los niveles de actividad sísmica son muy bajos con promedios de 0.5 eventos/día. No posee mapa de amenaza potencial.

#### 4.5.3 Observatorio Vulcanológico de Pasto (OVSP).

##### Volcán Galeras

Figura. 25. Volcán Galeras.



Fuente: [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co)

**Se observa en la fotografía al Volcán Galeras, con emisiones de vapor de agua y gases, del 24 de enero de 2009. [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co)**

**Localización:** El volcán Galeras se localiza en el Departamento de Nariño, aproximadamente a 9 km. Al occidente de la Ciudad de San Juan de Pasto, capital de este Departamento, en las coordenadas 1°13'43,8" de Latitud N y 77°21'33" de longitud W.

**Geomorfología:** El volcán Galeras que conocemos hoy en día es el centro eruptivo más reciente y actualmente activo del denominado Complejo Volcánico

Galeras (CVG), el cual presenta una forma cónica y se emplaza dentro de una estructura más antigua (anfiteatro), destruida al occidente.

**Geología:** El CVG, se ha desarrollado aprovechando una de las fallas del Sistema Romeral, que separa un basamento formado por basaltos y meta-sedimentos Cretáceos (corteza de origen marino) al occidente y metamorfitas paleozoicas al oriente (Corteza continental).

Ésta formación volcánica consta de siete estados, que del más antiguo al más reciente se han denominado como: Cariaco, Pamba, Coba Negra, La Guaca, Genoy, Urcunina y el actual Galeras.

El Volcán Galeras pertenece a los volcanes del tipo estratovolcán, de composición predominantemente andesítica. El Galeras es considerado en Colombia, como uno de los volcanes más activos, ya que presenta una alta tasa de períodos de actividad en comparación con los lapsos de tiempo en los que permanece en reposo.

**Actividades de monitoreo:** En 1985, se establece el Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG), el cual tiene un área aproximada cercana a las 8600 hectáreas, comprende las partes altas de los municipios de Pasto, Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá, Yacuanquer y Tangua y acoge en su interior al edificio volcánico de Galeras. Ésta reserva, rica en biodiversidad, se caracteriza por presentar una topografía entre quebrada y escarpada, con alturas entre los 2200 y los 4276 msnm.

Actualmente, se cuenta en el área con 10 estaciones que conforman la red de vigilancia sísmica del volcán (Anganoy, cráter 2, cráter, cufiño, urcunina, Cobanegra, Obonuco, Cóndor, Nariño-2, y Calabozo), 4 inclinómetros electrónicos telemétricos para el monitoreo de la deformación volcánica del Galeras, la red de

14 vectores de nivelación, Red de monitoreo de emisiones en suelos del isótopo del Radón Rn-222, del volcán Galeras, del año 2008. Red de monitoreo de emisiones de Dióxido de Azufre, del 2008, Red de monitoreo de potenciales eléctricos espontáneos del 2008. Red de monitoreo de potenciales eléctricos espontáneos, volcán Galeras, 2008. Cámaras Web para monitoreo de actividad superficial y cambios geomorfológicos. Este volcán posee mapa de amenaza de sus productos volcánicos.

**Actividad histórica.** La actividad volcánica del Galeras se encuentra resumida en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Actividad histórica del Volcán Galeras.**

Fecha	Tipo de erupción
1535	Erupción explosiva del cráter central
1580, Diciembre 7	Erupción explosiva del cráter central
1616, Julio 4	Erupción explosiva del cráter central, lava
1641-1643	Explosión, bombas, y lavas
1670-1736	Erupción explosiva del cráter central
1687	Erupción explosiva del cráter central
1696	Erupción
1727	Erupción
1754-1756	Erupción explosiva del cráter central
1796-1801	Erupción explosiva del cráter central, lava
1823	Erupción explosiva del cráter central, lava
1828	Erupción explosiva del cráter central,

1836	lava
1865	Erupción explosiva del cráter central Erupción explosiva del cráter central
1866	Erupción explosiva del cráter central, Flujos de lava y daños
1869, Marzo 27, Julio 9	
1889, Julio 3	Flujo de lava
1891	Explosión, bombas; erupción
1923, Diciembre 8	Erupción
1924, Octubre	Erupción explosiva del cráter central Erupción explosiva del cráter central
1925	Erupción explosiva del cráter central, lava y domo
1926, Marzo 21- Septiembre 17	
1930, Abril 17	Explosión, cenizas, bombas y lavas, lahares
1932, Octubre 10	Explosión y cenizas
1933	Erupción explosiva del cráter central
1936, Febrero 9-Agosto 27	Erupción explosiva del cráter central
1988	Erupción explosiva del cráter central
1989, mayo 5-8	Erupción explosiva del cráter central
1991	Inicio de reactivación actual Erupción freática
1992, Julio 16	Explosiones pequeñas. En noviembre

1993, Enero 14	se ve el domo por primera vez en el cráter.
1993, Marzo 23	
1993, Abril 4, 13 y 14	Efusión del domo, lava, desde comienzos de años, hasta su voladura en Julio
1993, Junio 7	
1993- 2000	Erupción explosiva. 9 personas muertas.
2009	Pequeñas erupciones explosivas Erupción explosiva, voladura de domo Actividad fumarólica y erupciones pequeñas Erupción y bombas

Fuente: Alarcón, et al., 2000.

## Complejo Volcánico de Cumbal

**Figura. 26.** Detalle de la cumbre del CVC vista desde el suroriente, en un punto en la vereda Cuaical (sector La Ortiga) distante unos 6.5 Km de la cima volcánica, sobre uno de los caminos para ascender a la cumbre volcánica. Se observa actividad fumarólica en uno de los cráteres del sector norte (Plazuelas).



Fuente: [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co)

**Localización:** El complejo volcánico de Cumbal se encuentra localizado en el departamento de Nariño, al occidente de la población de Cumbal, 79 km al sur-occidente de la ciudad de Pasto y 585 km al sur-occidente Santafé de Bogotá, en las coordenadas geográficas de 0° 57' N y 77° 52' W.

**Geomorfología:** El complejo volcánico Cumbal adquiere su forma elongada en dirección nor-oriental - sur-occidental (17 y 12 km de diámetro mayor), como resultado de la superposición parcial de los dos conos de edificio contiguos que conforman, Mundo Nuevo, con un cráter de 200 m de diámetro mayor, y la Plazuela, un cráter de 600 m de diámetro, abierto hacia el sector sur-oriental, La

pila volcánica se encuentra parcialmente labrada por el hielo de los glaciares del cual sólo queda un relicto muy pequeño. La cima volcánica alcanza la cota de 4764 m (La Plazuela) y sus faldas son drenadas radial y excéntricamente por afluentes de los ríos Guáitara y Güiza, los cuales entregan sus aguas al Pacífico por medio de los ríos Mira y Patía, respectivamente

**Geología:** El Complejo Volcánico de Cumbal fue contruido sobre un basamento cretácico conformado por rocas volcánicas de afinidad oceánica y sedimentarias de origen marino. Sus productos más nuevos son flujos lávicos superpuestos, escoriáceos, en bloques y masivos, flujos piroclásticos (de ceniza y escoria, de ceniza y pómez, de ceniza) y flujos de escombros y piroclastos de caída que recubren toda el área. Dichos productos se puede clasificar como andesitas de dos piroxenos, porfíricas, con matriz hipocristalina, compuestas de plagioclasa (andesina-labradorita), orto clino piroxenos y vidrio; como accesorios aparecen olivino y en aguas muestra un incremento en SiO<sub>2</sub>, permitiendo clasificarlo como dacita

**Actividades de Monitoreo:** La actividad actual está representada por el estudio de emisiones gaseosas de sus fumarolas, la presencia de fuentes termales y la actividad sísmica de niveles bajos de ocurrencia y magnitud. Su red de vigilancia sísmica está representada por las estaciones la mesa y limones. Este volcán posee mapa de amenaza.

**Actividad histórica.** De las siguientes erupciones no hay registros o pruebas claras que los comprueben, a pesar de que la región ha sido habitada desde antes de éstas fechas

**Tabla 7. Erupciones históricas del Complejo Volcánico del Cumbal.**

<b>Fecha</b>	<b>Tipo de erupción</b>
1877, Diciembre	Erupción explosiva del cráter central
1926, Diciembre 20-21	Erupción explosiva del cráter central

Fuente: Alarcón, et al., 2000,

### **Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro**

**Figura. 27. Volcanes Chiles y Cerro Negro, fotografomada desde el volcán Cumbal.**



Fuente: [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co).

**Localización:** Los volcanes Chiles y Cerro Negro están ubicados en la frontera de Colombia y Ecuador, en inmediaciones de la inspección de policía de Chiles, municipio de Cumbal, a distancias respectivas de 86 y 80 km al SW de la ciudad de Pasto y a 608 km al SW de Santa Fé de Bogotá, en las coordenadas geográficas 0°49' N y 77°56' W (Chiles) y 0°46' N y 77° 57' W (Cerro Negro).

**Geomorfología:** Se trata de dos conos volcánicos contiguos, el Chiles al extremo ESE y el Cerro Negro al WNW, colapsados hacia el N y W y con presencia de geoformas resultado de acción glaciaria ya extinta. Las cimas volcánicas alcanzan las cotas 4748 msnm (Chiles) y 4470 msnm (Cerro Negro) y sus cráteres tienen diámetros de 1.0 y 1.8 Km, respectivamente. Los drenajes son radiales exéncricos y las corrientes que nacen en sus edificios llevan sus aguas al río Guaitara (llamado Carchi en su nacimiento en el Chiles), afluente del Patía; los drenajes hacia el W entregan sus aguas al río Mira que las vierte al Pacífico, al igual que el Patía

**Geología:** El Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro se edifica en intersecciones de la falla Chiles-Cerro Negro, con las fallas Chiles-Cumbal y Cerro Negro-Nasate, sobre un basamento representado por una secuencia potente de lavas pliocénicas, depositadas sobre rocas volcanosedimentarias de la formación Nariño, a su vez, depositadas sobre rocas de los grupos Dagua y Diabásico, así como sobre metamorfitas del grupo Cajamarca. El edificio actual del Chiles está conformado fundamentalmente por varios episodios de flujos de lava y el volcán Cerro Negro por flujos de lava y de piroclastos. De acuerdo con análisis químicos y petrográficos, los productos del Complejo Volcánico de Chiles-Cerro Negro se clasifican como andesitas de dos piroxenos y olivínicas.

**Actividades de Monitoreo:** según estudios La actividad actual de este complejo volcánico se exterioriza en la presencia de fuentes termales y solfataras. Sobre el lado ecuatoriano del Chiles se encuentra una estación sismológica que ha registrado actividad. Cada uno posee su respectivo mapa de amenaza volcánica.

**Actividad histórica.** Las investigaciones históricas realizadas, concluyen que no hay registros históricos de actividad eruptiva de éstos volcanes. Actualmente, presentan presencia de fuentes termales y solfataras. (Alarcón, et al., 2000).

## Volcán Azufral

**Figura. 28.** Fotografía de la cima del volcán Azufral, en la que se observa en todo su esplendor su laguna cratérica (llamada Laguna Verde, por la coloración de sus aguas) en medio de exuberante vegetación de páramo, a una altitud de 4070 msnm.



Fuente: [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co)

**Localización:** El Volcán Azufral, anteriormente conocido como Chaitán, vecino a la población de Túquerres, se localiza al sur de la cadena volcánica en el sector suroriental del Departamento de Nariño a  $1^{\circ} 05' N$  y  $77^{\circ} 43' W$  y con una elevación de 4070 m.s.n.m.

**Geomorfología:** El volcán Azufral es un estrato-volcán, con un diámetro del cráter estimado en 3 Km, en donde se encuentra la laguna cratérica llamada Laguna Verde.

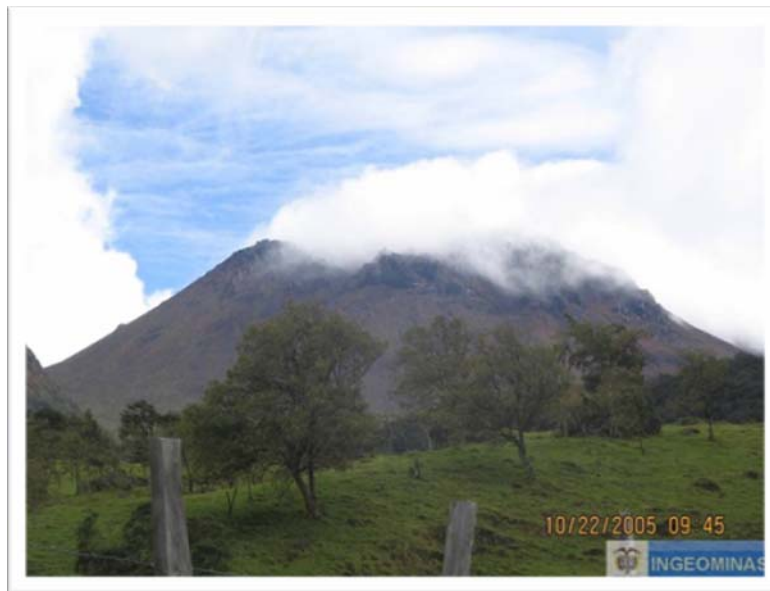
**Geología:** no se registra la presencia de glaciares, y presenta depósitos asociados con flujos de lava, flujos piroclásticos de gran magnitud y depósitos de caída (cenizas y pumitas).

**Actividades de monitoreo:** En la actualidad existe actividad fumarólica y algunas manifestaciones sísmicas. Se dispone de algunos registros sísmicos de eventos de Largo-periodo y algunas señales Volcano-tectónicas. En sus fumarolas se realizan breves estudios geoquímicos. No posee mapa de amenaza volcánica.

**Actividad histórica.** No existen registros de actividad histórica

### **Volcán Doña Juana**

**Figura. 29. Fotografía del volcán Doña Juana.**



Fuente: [www.Ingeominas.gov.co](http://www.Ingeominas.gov.co)

**Localización:** El Volcán Doña Juana está localizado al Nor-Oriente del Departamento de Nariño.

**Geomorfología:** Es considerado como un estrato volcán con un diámetro del cráter cercano a 4 Km, sin glaciares.

**Geología:** Posee depósitos andesíticos asociados con flujos de lava, flujos piroclásticos y cenizas; los riesgos que la actividad de este volcán pueden acarrear se relacionan con ocurrencia de flujos piroclásticos, flujos de lodo o lahares y caídas de ceniza.

**Actividades de monitoreo:** El 20 de junio de 2008 se instaló una estación sísmica denominada Lavas, dotada de un sensor triaxial de corto periodo, en un punto distante 4 Km al sur-occidente de la cima volcánica. Para que las señales captadas por esta estación lleguen en tiempo real a la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP) para su procesamiento y análisis, se cuenta con dos puntos de repetición, de manera que la señal que sale de la estación Lavas pasa por las repetidoras de Morasurco y Cruz de Amarillo antes de llegar al OVSP. Este volcán no posee mapa de amenaza volcánica.

**Actividad histórica:** Es considerado como uno de los volcanes activos y peligrosos de Colombia; su registro de actividad histórica nos remonta al período 1897-1936, con la ocurrencia de varias erupciones explosivas que infortunadamente causaron la muerte de más de 100 personas y grandes pérdidas económicas en su región de influencia.

Se resume a continuación las actividades históricas del volcán, (Espinoza, 2001):

1897-1898: actividad menor con erupciones poco documentadas.

1899, 20 de abril, 5 p.m.: explosión, posible flujo piroclástico. Viviendas sepultadas en Las Mesas; población abandonada. 30 muertos en la región.

1899, noviembre 13, 1 p.m.: erupción. Lluvia de bloques incandescentes alrededor del cráter; a cinco leguas (~25 km) caen bloques de 6-7 Kilogramos, cerca del

cráter bloques de varias decenas de kilogramos. Lluvia de ceniza durante cuatro horas; la ceniza cae hasta Buga e Inzá. Posibles nubes ardientes (o flujos piroclásticos). Víctimas humanas en número no precisado; se mencionan de 50 a 60 muertos. Mueren 200 reses en los flancos por lluvia de bloques. Efectos secundarios: a) represamiento de la quebrada La Resina durante 15 días produce flujo de escombros que causa daños en las fincas y destruye el puente antiguo sobre el río Juanambú, b) la ceniza cubre los potreros y no hay comida para el ganado. Apparentemente no hubo fenómenos precursoros; el volcán en completa calma desde abril.

1913: erupción, no confirmada.

1922, Diciembre 22: Bramidos, cenizas, sismos.

1925 Actividad no fumarólica, no confirmada.

1936, Agosto 14, 5 a.m.: actividad menor desde octubre de 1935. El 14 de agosto, explosión, columna, flujo de lodo por la quebrada La Resina alcanza 200 metros de altura y su paso por Las Mesas dura casi dos horas. Destrucción del puente sobre el río Juanambú; campamento de obras públicas y viviendas arrastrados. 16 muertos en la región.

#### **4.6 OBSERVACIONES**

- Sobresale entre las anteriores características de los volcanes colombianos, que aún existen algunos volcanes como los de La cadena volcánica de los Coconucos, Sotará, Azufral y Doña Juana, que no poseen mapas de amenaza volcánica, por lo tanto se desconocen los alcances que en el pasado geológico han tenido los depósitos volcánicos que los conforman, no se posee un control sobre sus ritmos y ciclos, su tipo de actividad, afluentes, drenajes, ni el impacto de

sus productos volcánicos sobre poblaciones cercanas, aunque debe resaltarse la labor de los observatorios vulcanológicos por mantener el monitoreo y vigilancia en éstos centros eruptivos.

- A partir de la desinformación existente, pueden desencadenarse situaciones de confusión y caos en caso de atención a una emergencia por algún tipo de producto volcánico amenazante en personas, infraestructuras, animales o vegetación. Las actividades de prevención y educación, que deben desarrollarse en el área, que por lo general es zona de páramo y suele estar alejada de ciudades desarrolladas, deben reforzarse, así como el control en los planes de ordenamiento territorial, para evitar el desarrollo urbanístico y rural en áreas proximales a un volcán.

- Aunque existen mapas de amenaza y estaciones de control y monitoreo en los volcanes descritos en éste capítulo, existen en Colombia más volcanes que aún no han sido estudiados, que no se registran cartográficamente, y que son activos. Además, se continúa permitiendo el crecimiento demográfico de centros poblados en cercanías a los volcanes o sobre antiguos depósitos volcánicos, por los beneficios que ofrecen, como fertilidad de los suelos, buen suministro de agua y terrenos planos, rodeados de vegetación (Kelman y Mather, 2008)

## 5. ELABORACIÓN DE MAPAS DE AMENAZA

### *Metodologías*

*La elaboración de mapas de amenaza se fundamenta en una buena documentación geológica, geofísica, geoquímica, y geodésica, que junto a permanentes actividades de monitoreo y vigilancia de la actividad volcánica, servirán de soporte a entes gubernamentales, y organismos encargados, cuando sea necesario tomar decisiones fundamentales como pronósticos de crisis, estados de alerta, y/o evacuaciones.*

La gran utilidad de los mapas de amenaza radica en su aplicabilidad para planes de ordenamiento territorial, uso del suelo y conocimiento sobre el alcance de productos volcánicos en el pasado eruptivo. Evidencia productos secundarios, como flujos de lodo, los cuales son favorecidos por cauces de ríos y valles.

Brindan a la población de manera visual la información obtenida e interpretada por científicos, convirtiéndose en la herramienta de comunicación básica sobre los sitios que pueden ser afectados, o destruidos.

### **5.1 TERMINOLOGÍA EMPLEADA EN LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA**

Al analizar las definiciones sobre amenaza volcánica, es necesario establecer las similitudes y diferencias entre dos términos que suelen confundirse, amenaza y riesgo, cuyo significado se relaciona pero es muy diferente. (Parra y Cepeda, 1996):

- **Amenaza volcánica:** Se refiere al potencial dañino o distribución de un evento volcánico. Independientemente de la existencia en el área amenazada de habitantes y propiedades.
- **Riesgo volcánico:** Se refiere a las consecuencias esperadas de la actividad volcánica en términos de muerte o injurias a la población, destrucción de propiedad y otro tipo de pérdidas económicas.

El riesgo volcánico, es algunas veces clasificado a corto a largo término, dependiendo del intervalo promedio entre la ocurrencia de varios tipos de eventos volcánicos. Por ejemplo: Caídas frecuentes de ceniza.

- **Vulnerabilidad:** El grado de pérdida para uno o varios elementos amenazados (ej. Vida humana, infraestructuras, etc.), ante actividad volcánica de cierta magnitud.
- **Elementos bajo riesgo:** Población, construcciones y obras civiles, actividades, servicios públicos, líneas vitales, e infraestructura, etc. Los cuales están en peligro de ser dañados o destruidos, por los efectos de la actividad volcánica en un área dada.
- **Severidad de un evento volcánico:** La capacidad de un evento volcánico para dañar elementos bajo riesgo.
- **Medidas de mitigación:** Acciones que disminuyen o eliminan el grado de vulnerabilidad de varios elementos bajo riesgo.

## 5.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA

La evaluación de la amenaza volcánica en un área determinada, es única, no es posible extrapolarla a otra región volcánica que posea características similares, debido a que cada sistema se comporta de manera independiente y por lo tanto debe realizarse una evaluación exclusiva para cada volcán.

Debe estar basada en la recopilación y reconstrucción de escenarios eruptivos ocurridos en el pasado geológico y en períodos históricos. Incorpora además

información obtenida a partir de actividades de monitoreo e instrumentos que proporcionan datos obtenidos en períodos desde decenas de años hasta en tiempo real.

Las herramientas empleadas para evaluar la amenaza volcánica son: recopilación de información existente sobre el volcán a estudiar, estudios geológicos que permitan caracterizar los productos volcánicos, vigilancia volcánica del centro eruptivo con datos al presente, estudios geofísicos que permitan conocer las actividades del sistema magmático, geodesia que permitirá controlar los cambios físicos del volcán,

### **5.2.1 Recopilación de información**

Comprende la información geológica de la región, la geomorfología del área, vulcanología, meteorología, demográfica, erupciones históricas, registro fotográfico de los volcanes y sus cráteres en diferentes épocas, fotografías aéreas antiguas y recientes, imágenes de satélite, mapas topográficos y bibliografía sobre vulcanología. (Monsalve, 2000).

Se debe prestar especial atención al registro de la actividad histórica, ya que brindan información como duración, tipos de fenómenos, características acompañantes, fechas, fenómenos de transporte y efectos de los productos piroclásticos en población, animales, vegetación, atmósfera y cuerpos de agua. Éste tipo de recopilación se debe realizar lo más detallado posible.

### **5.2.2 Estudios geológicos generales**

Se realiza a partir de rocas y depósitos volcánicos, lo que permite conocer la historia eruptiva de un volcán, las fechas de ocurrencia de las erupciones, características y predecir así posibles comportamientos futuros.

El punto de partida para la evaluación de la amenaza volcánica es el reconocimiento y distribución de los productos asociados a cada volcán. Las actividades a desarrollarse son (Monsalve, 2000):

- Cartografía geológica a escala 1:25000 o 1:50000, construida por medio de trabajos de campo, estudios fotogeológicos e imágenes de satélite, que permitan conocer la distribución e identificación de los productos, así como las estructuras tectónicas y volcánicas del área.
- Estratigrafía general. Está basada en la cartografía geológica, pero se complementa con elaboración y correlación de columnas. Definiendo la continuidad de los depósitos, espesor, estructuras internas, y variación respecto a la fuente. Se puede realizar por medio de cronología relativa o por dataciones radiométricas y de  $C^{14}$ .
- Análisis petrográficos y geoquímicos: Permitirán el conocimiento general de la composición de las principales unidades identificadas.
- Estudio geomorfológico: Su elaboración es fundamental en la construcción del mapa de amenaza volcánica, ya que evidencia la distribución de varios de los productos emitidos durante una erupción, determinará zonas amenazadas por fenómenos de remoción en masa, los cuales pueden estar relacionados a sismo volcánicos, represamiento de aguas, que puedan generar fenómenos amenazantes asociados.

El principal objetivo de estos estudios es la reconstrucción detallada de la historia geológica evolutiva de un volcán, aspecto clave en la determinación de amenazas.

### **5.2.3 Vigilancia volcánica.**

Su objetivo fundamental es suministrar información oportuna y confiable sobre la actividad volcánica, especialmente en lo referente al pronóstico de crisis, evacuaciones y erupciones volcánicas.

Se realiza mediante métodos geofísicos, geodésicos, geoquímicos y geológicos. Apoyados por tecnología electrónica y de telecomunicaciones.

### **Geofísica**

Se basa en la sísmica, rama de la geofísica que se encarga del estudio de los eventos sísmicos naturales o inducidos. En el caso de la actividad volcánica, Las señales se producen por movimientos de los fluidos en el sistema volcánico, y se emplean redes con equipos portátiles y telemétricos, localizados sobre el volcán y en sus cercanías. Los instrumentos que captan y registran dicha información son llamados sismógrafos. (Alarcón, et al., 2000).

Existen diversos sismos asociados a la actividad volcánica (Alarcón, et al., 2000).:

Sismo volcano-tectónicos: Están asociados a fracturas. Ocurren como respuesta a cambios de esfuerzo por movimientos de fluidos.

Sismos de largo período: Se atribuyen a la resonancia en grietas, cavidades y conductos, debido a cambios de presión en los fluidos de los volcanes.

Tremor volcánico: Se caracteriza por el registro de formas de ondas de manera persistente o sostenida en el tiempo. Se producen por vibraciones continuas del suelo o pequeños sismos muy frecuentes.

**Geodesia.** Permite conocer las deformaciones que ocurren en la superficie del edificio volcánico debido a su actividad interna. Emplea el método de inclinometría seca, el cual mide variaciones verticales mediante niveles geodésicos de alta precisión. El método de líneas cortas de nivelación, que permite encontrar movimientos verticales sobre puntos fijos preestablecidos. El método de la medición electrónica de distancias, con el cual se busca encontrar cambios horizontales a lo largo de líneas base permanentes, empleando equipos con láser o infrarrojo. Con el GPS, se obtienen vectores de desplazamiento vertical en zonas de alta deformación. Y con los inclinómetros electrónicos, es posible medir cambios de nivel muy pequeños en un punto sobre el volcán.

**Geoquímica.** Para realizar éste tipo de estudios se recurre a muestreos sistemáticos de diferentes emanaciones de tipo líquido y gaseoso, que caracterizan la actividad, como aguas termales y gases volcánicos. Con estas muestras es posible conocer la composición de los productos volcánicos, sus condiciones de origen y sus transformaciones en su camino a superficie.

**Electrónica, comunicaciones, informática y otras.** Son los instrumentos que conforman las redes de vigilancia volcánica, transmitiendo la información desde campo, para ser procesada en oficina, a veces en tiempo real.

### **5.3 PROGRAMA DE MITIGACIÓN DE LA AMENAZA Y REDUCCIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO**

Una vez se tiene dimensionada la amenaza volcánica en determinado sector, se procede a construir un programa, que resulte efectivo para disminuir la amenaza y el riesgo que produce un fenómeno volcánico.

**Figura. 30. Diagrama ilustrativo sobre la construcción de un efectivo programa para mitigar la amenaza y disminución del riesgo volcánico. Se observa dividido el ápice, y el cuerpo de la pirámide, indicando las diferentes responsabilidades entre científicos y cuerpos gubernamentales.**



Fuente: Modificado de Tilling y Bailey, 1985.

Cualquier acción inspirada en el control de la amenaza volcánica debe construirse a partir del estudio detallado de las características y conocimiento en general del volcán analizado. Se describe en la Figura .29 las medidas que se deben tomar por parte de entes gubernamentales y sociedad científica, determinando los roles de cada grupo, principalmente antes de una amenaza.

Un estudio detallado debe estar constituido por información geológica, mapeo geofísico, caracterización petrológica y geoquímica de los productos eruptivos, y la datación de muestras estratigráficamente controladas. Dichos estudios deben

realizarse sistemáticamente en programas a largo plazo, idealmente antes de que ocurra cualquier signo de actividad y nunca cuando el volcán presente una emergencia.

Los estudios a largo plazo permiten descifrar el comportamiento del pasado eruptivo de un volcán, entender el comportamiento que posee en el presente, y por extrapolación predecir futuros comportamientos. Entonces, al conocer las características eruptivas de un volcán, sus frecuencias de erupción, se está dando el primer paso para la mitigación del riesgo y la amenaza volcánica. (Tilling, 1989).

Según Tilling, 1989: Un efectivo programa para disminuir el riesgo y amenazas asociadas debe incluir los siguientes componentes, descritos a continuación:

### **5.3.1 Identificación de volcanes de alto riesgo**

Existen en el mundo más de 1300 volcanes activos, pero muy pocos poseen estudios detallados. Lo anterior se explica debido a que existen muchos volcanes, muy pocos científicos, pocos equipos y escasos recursos para realizar estudios y monitoreo. Esta situación se acrecienta en los países en vía de desarrollo.

La identificación de los volcanes de altos riesgo es básica para definir cuales de ellos requieren atención inmediata por parte de científicos y entes gubernamentales. Su determinación está basada en la historia eruptiva y comportamiento del volcán, composición y distribución de productos eruptivos, eventos sísmicos, signos de deformación profunda, y consideraciones demográficas. (Tilling, 1989).

### **5.3.2 Zonación y valoración de la amenaza**

La información necesaria para valorar la amenaza debe incluir los siguientes datos:

- Completo registro de erupciones históricas

- Actividad eruptiva prehistórica, según el registro geológico
- Estudio geológico (especialmente estratigrafía), petrología, y datos geoquímicos de sus productos eruptivos. Naturaleza, distribución y volumen de productos eruptivos.
- Datación de productos volcánicos y eventos interpretados a partir de ellos.

Con estos datos se construye el comportamiento del pasado eruptivo de un volcán, que provee las bases para valorar la amenaza de erupciones futuras.

La estimación de la amenaza, asume que la misma área que cubren los productos eruptivos de un volcán, son las que probablemente serán afectadas por futuros eventos eruptivos. Pueden ocurrir eventos que ya han sucedido en el pasado, y con un promedio de frecuencia que muestra sus ciclos de actividad.

Los mapas de zonación de amenaza a escalas apropiadas, se convierten en una parte integral de la valoración de la amenaza, porque proveen información resumida para que sea rápidamente entendida por científicos y autoridades civiles. Con éstos mapas se logran dos propósitos: 1). Proveen las líneas guías para el planeamiento del uso de las tierras alrededor de los volcanes, que toman en cuenta la amenaza potencial para futuras erupciones. 2). Determina cuales áreas deben ser evacuadas y desalojadas durante una erupción.

Se aclara que el comportamiento de los volcanes no está totalmente ligado a su pasado y siempre existe la posibilidad de que ocurran eventos que excedan cualquier conocimiento precedente en el volcán. (Tilling, 1989).

### **5.3.3 Monitoreo volcánico y prevención de erupciones**

Según el monitoreo de los volcanes, se conoce que la mayoría de erupciones son precedidas y acompañadas por cambios geofísicos y geoquímicos en el volcán,

por lo que el monitoreo se convierte en la fuente generadora de datos primarios a la hora de prevenir emergencias en termino de horas o meses. El monitoreo debe estar apoyado en herramientas sísmicas, como microgravedad, geomagnetismo, geoeléctrica, radar y radiación termal.

Actualmente existente un sofisticado desarrollo sobre instrumentos electrónicos y software especializado en el modelamiento de datos. Sin embargo esta alta tecnología es costosa y requiere recursos económicos y científicos que pueden ser difíciles de adquirir en especial para países en vía de desarrollo. Por lo que se recurre en estos países a métodos de baja tecnología mas accequibles y fáciles de usar. Como el monitoreo de desplazamientos de un glaciar siguiendo el desplazamiento de marcas en superficie, cambios en fallas inversas alrededor de domos del volcán, que pueden llagar a prevenir erupciones de domo y monitorean constantemente el comportamiento del volcán. (Tilling, 1989).

#### **5.3.4 Manejo de emergencia volcánica.**

Se unen aquí, los esfuerzos realizados en adquirir información científica y monitoreo volcánico, a la hora de ejecutar planes que involucren salvar vidas y propiedades durante un desastre o crisis volcánica. Su objetivo es ejecutar acciones en momentos precisos, que estratégicamente planifiquen, organicen y mejoren la capacidad de respuesta frente a probables efectos de eventos adversos.

Se basa en la creación de planes de contingencia, el cual consigna en forma clara, concisa y completa, los riesgos, los actores y sus responsabilidades, en caso de una emergencia. ([www.dgpad.gov.co](http://www.dgpad.gov.co)).

## 5.4 ELABORACIÓN DE MAPAS DE AMENAZA

Una vez se evalúe la amenaza volcánica, según los parámetros establecidos para dicho volcán, se procederá a elaborar los mapas de zonificación por cada tipo de fenómeno volcánico que pueda ser generado en erupciones futuras. Conociendo así la distribución espacial que alcanzaría un posible fenómeno en el futuro.

La información recopilada se plasma en un mapa, con el fin de que se convierta en una herramienta útil en la planificación, ordenamiento territorial, desarrollo sostenido, educación a la comunidad, elaboración de mapas de riesgo, preparación de planes de contingencia, actividades de recuperación, etc. (Monsalve, 2000).

La representación de las amenazas volcánicas en un mapa debe ser lo suficientemente claro para permitir su utilidad, por lo tanto debe estar elaborado por las personas que llevaron a cabo los estudios básicos de la amenaza y de su interpretación.

El mapa tendrá un texto donde además de las convenciones habrá información sobre: los parámetros tenidos en cuenta para su elaboración y sus limitaciones. La frecuencia eruptiva del volcán, y si es posible datos sobre la última erupción conocida. El foco de emisión tenido en cuenta para la elaboración del mapa. Una breve descripción sobre los fenómenos volcánicos que pueden afectar las áreas y sus características, tales como velocidad de emplazamiento, temperaturas, espesores, etc. Una descripción general sobre los efectos de estos fenómenos. (Monsalve, 2000).

Adicionalmente el mapa debe estar acompañado por el informe sobre la evaluación de la amenaza volcánica, donde se encuentren datos más detallados,

acerca del estado del volcán, sus amenazas y las conclusiones que permitieron la elaboración del mapa y las limitaciones del conocimiento.

Una vez entregado el informe y mapa de amenazas a las autoridades competentes, se debe llevar a cabo una investigación sobre los efectos e impactos de los fenómenos volcánicos en las actividades económicas, sociales, asentamientos, y medio ambiente. Con los cuales se construirán los mapas de riesgos, se tomarán decisiones sobre el uso del suelo, ejecutarán planes de desarrollo, se tomarán y planearán medidas de mitigación y recuperación, donde se deje contemplar tanto épocas de reposo como épocas de crisis de actividad volcánica.

#### **5.4.1 Utilidad de los mapas de amenaza**

El primer objetivo de la evaluación de la amenaza volcánica y de su representación gráfica o mapa de amenaza, es servir como base para el ordenamiento territorial en una región.

Debido a que aunque los volcanes no hacen erupción de una manera muy frecuente, ni todas las erupciones afectan exactamente las áreas que se delimitan en el mapa, una adecuada planificación del territorio con respecto a estas amenazas reducirá la vulnerabilidad a los fenómenos volcánicos en el futuro y por lo tanto reducirá el riesgo a largo plazo, contribuyendo de esta manera al desarrollo de una región.

Otra utilidad de los mapas de amenaza, es preparar los planes de educación a la comunidad sobre los volcanes con los cuales se convive, los fenómenos volcánicos y las amenazas a las cuales pueden estar expuestos en un futuro. Si los planes educativos y de contingencia se tienen con anterioridad, seguramente se tendrá un a mejor respuesta por parte de la comunidad en el momento de presentarse una crisis volcánica. (Monsalve, 2000).

#### **5.4.2 Actualización de los planes de amenaza**

Un mapa debe ser revisado y actualizado si el sitio de actividad volcánica ha cambiado, si una erupción ha modificado la situación morfológica de los depósitos y por lo tanto la distribución de la amenaza se ha modificado o también si se han adquirido nuevos datos acerca del volcán. Deberá apoyarse en proyectos de vulcanología que enriquezcan el conocimiento de un volcán dado, su evolución magmática, y que ofrezcan de manera más precisa información del volcán a corto término. (Monsalve, 2000).

#### **5.5. EDUCACIÓN A LA COMUNIDAD**

El comportamiento de los volcanes suele tener tiempos de reposo entre una erupción y otra lo que genera el olvido de las amenazas por parte de la comunidad y las autoridades competentes, encargadas de tomar decisiones sobre el desarrollo de una región volcánica.

Por tal razón, se debe recordar continuamente los impactos económicos y sociales que han generado erupciones pasadas y que podrían acarrear mayores impactos si ocurrieran en el presente. Por lo tanto los volcanes entran a formar parte de la cultura de los habitantes de una zona de influencia.

Durante los períodos de reposo de un volcán se debe educar a la comunidad sobre los fenómenos volcánicos, y volcanes presentes en su área de influencia, mostrando además los beneficios que ellos representan, también sus amenazas potenciales en el caso de una reactivación. (Monsalve, 2000).

La población debe estar enterada sobre los conocimientos que se tienen de un área volcánica, y la manera como se llega a aproximar al comportamiento de un volcán, además de las limitaciones presentes en el estado actual del conocimiento vulcanológico del área de interés.

## 5.6 CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA: EN COLOMBIA

La amenaza volcánica en Colombia se señala gráficamente en los mapas de amenaza empleando tres clasificaciones principales: amenaza alta, señalada con color rojo, la amenaza media visualizada con color naranja y amenaza baja, de color amarillo.

**Zona de amenaza alta:** La zona de amenaza alta corresponde al sector afectado con una probabilidad mayor al 20%, de que sucedan eventos volcánicos con severidad 5 (Principalmente por causa de flujos piroclásticos; proyectiles balísticos, ondas de choque, caídas piroclásticas, flujos de lava y flujos de lodo secundario).

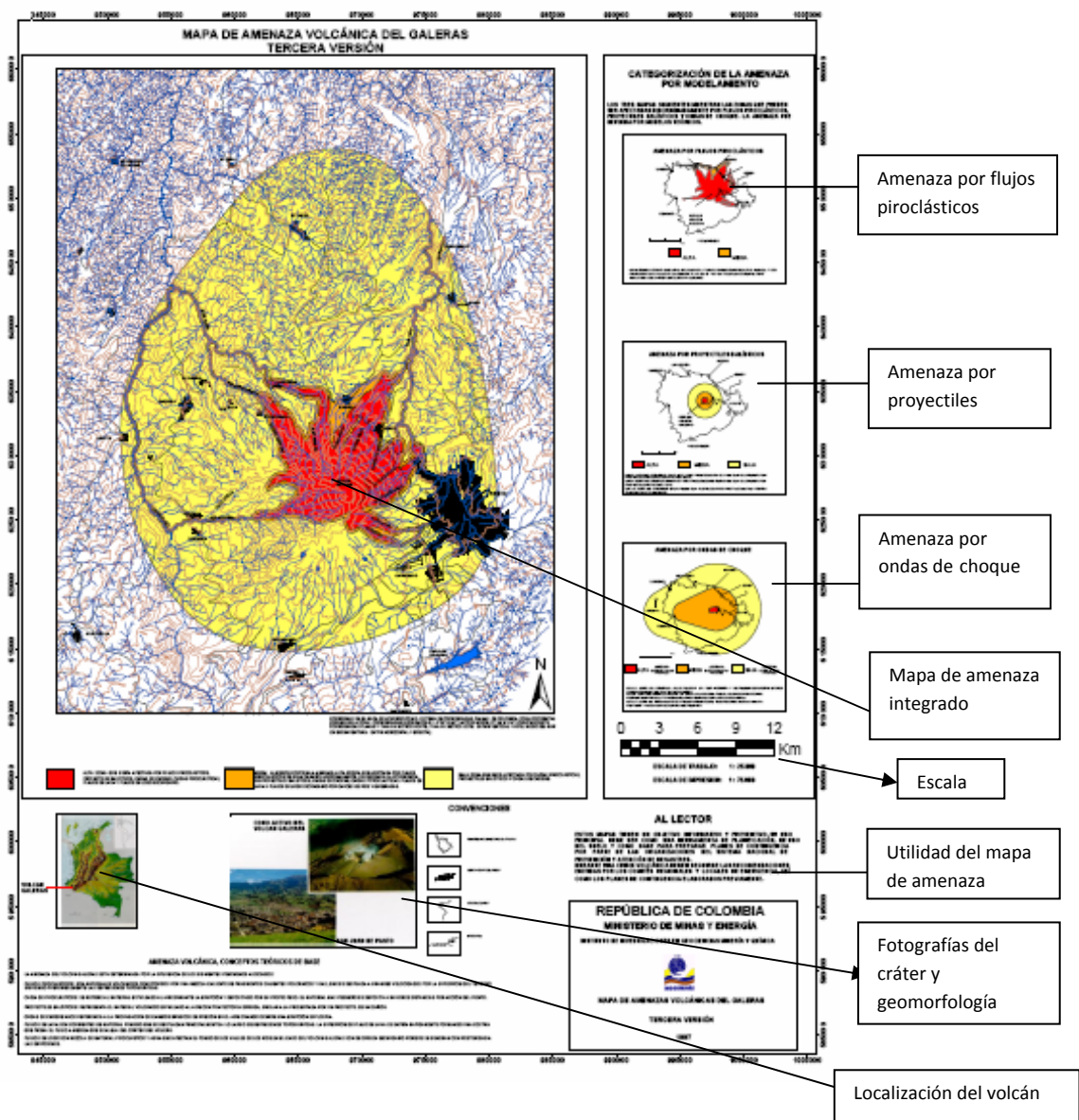
Se espera que en esa(s) dirección(es) de los flujos piroclásticos no haya ningún sobreviviente y la propiedad sea destruida. Los límites de esta zona se definen por la distribución y el máximo alcance de los diferentes tipos de flujos piroclásticos. ([www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co))

**Zona de amenaza media:** La zona de amenaza media corresponde a la zona afectada por los mismos fenómenos ya descritos, pero por ocurrencia de erupciones mayores; con una probabilidad entre el 10 y el 20 %, de que sucedan eventos con severidad 3 y 5 (O sea Flujos piroclásticos de gran tamaño, con ocurrencia de proyectiles balísticos, ondas de choque, caídas piroclásticas, flujos de lava y flujos de lodo secundario por cauces de ríos y quebradas. ([www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co))

**Zona de amenaza baja:** La zona de amenaza baja abarca la mayor área de los peligros volcánicos, y aunque afecta con menor rigor a la comunidad y en forma parcial a la propiedad, debe igualmente ser tenida en cuenta en la planificación de cualquier tipo de construcción a nivel urbano y rural. Encierra zonas que estarían

afectadas con una probabilidad menor al 10 %, con severidad igual o mayor a 2 (Zona que sería afectada por caídas piroclásticas, proyectiles balísticos y ondas de coque). Está definida principalmente por las tendencias de depositación de material de caída piroclástica; sus direcciones predominantes, y los asentamientos que podrían ser más afectados. (www.ingeminas.gov.co)

**Figura.31. Esquema de un mapa de amenaza.**



Fuente: [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co)

## 6. AMENAZA VOLCÁNICA

### *A nivel mundial*

*Diversas técnicas de monitoreo se vienen desarrollando en diferentes áreas volcánicas del mundo, apoyándose en técnicas sofisticadas de muestreo que permitan el constante monitoreo volcánico y software de modelamiento, en el que se pueda simular los alcances de los productos de una erupción y diagramación de los componentes del sistema magmático.*

El monitoreo volcánico cuenta hoy en día con herramientas sofisticadas, cada vez más compactas, fáciles de llevar a campo, con niveles de precisión altos, y más accequibles con las cuales es posible detectar a tiempo, actividad volcánica que pueda generar emergencias. Cada vez más se recurre a técnicas sofisticadas basadas técnicas geofísicas, análisis geoquímicos en fuentes termales y fumarolas, que permitan conocer el sistema volcánico, y software de modelamientos alimentados con datos reales de monitoreo y condiciones topográficas existentes en cada área estudiada.

A nivel mundial, países como Italia, y Estados Unidos, han desarrollado técnicas novedosas, aplicadas al control de amenazas volcánicas. Se mencionan algunas de ellas a continuación.

### **6.1 ANOMALÍAS DE RADÓN Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA**

Esta técnica se caracteriza porque evidencia la posible relación entre anomalías de Radón y actividad volcánica. Cuando los niveles de concentración de Radón disminuyen en suelos de los flancos de volcanes activos, suelen ocurrir también erupciones o manifestaciones de actividades del sistema magmático como pueden ser posibles ascensos del magma a través de capas someras de la corteza ubicadas bajo el volcán.

Como instrumento de medida se emplea un compacto sistema de monitoreo, llamado Alphaguard, compuesto por una sonda ubicada a un metro de profundidad, conectado a una cámara de detección ionizante, posee dos filtros, el primero elimina impurezas de la muestra de suelo y el segundo permite solo el

paso de  $^{222}\text{Rn}$ , posee una memoria interna que toma medidas durante un mes, a intervalos de 10 minutos. (Immé, et al. 2005)

Su aplicabilidad, se ha venido desarrollando por aproximadamente cuatro años en el Volcán Etna, ubicado en Sicilia, entre las placas africana y europea. Se emplea un estación de monitoreo, ubicada en el flanco NE del volcán, midiendo Radón en suelos, y evidenciando la aparición de anomalías con actividad volcánica. (Immé, et al. 2005)

## **6.2 INDICADORES HIDROGEOQUÍMICOS**

El análisis de la química de las aguas, suele proveer cambios o manifestaciones asociadas a la actividad volcánica, actúan como herramientas de monitoreo sobre cambios en el sistema volcánico que pueden acarrear también cambios en el manejo de la amenaza volcánica.

El agua subterránea en zonas volcánicas, puede cambiar su composición como resultado de la interacción directa con productos volcánicos, principalmente por disolución de gases volcánicos. (Armienta, 2007)

Cambios hidrogeoquímicos, han sido observados antes o durante fuertes erupciones volcánicas. En México, por ejemplo algunos volcanes como el Popocatepetl, no posee campos fumarólicos, pero si posee fuentes termales en sus flancos, caracterizadas por baja mineralización y baja temperatura. La química de estas fuentes termales provee cambios químicos de la actividad del volcán, influenciada por gases volcánicos, los cuales son transportados a través de fracturas en el edificio volcánico, producidos por movimientos de magma o sismos volcano - tectónicos. (Armienta, 2007)

Cuando se generan movimientos del magma, generando emplazamientos de domo, que facilitan el lavado de a roca huésped alterando minerales ferromagnesianos. El boro, clorina, azufre, fluorina y  $\text{CO}_2$ , son las especies químicas mas sensibles a cambios en la actividad del volcán, indicando interacción de acuíferos con gases volcánicos y reactivación de fracturas. (Armienta, 2007)

### **6.3 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN MULTIMEDIA**

La informática y el modelamiento numérico, son herramientas que se han ido incorporando al manejo y percepción de amenazas volcánicas, ya que permiten crear simulaciones y determinar condiciones de movimiento de los flujos piroclásticos.

Como ejemplo de ésta aplicabilidad, científicos italianos crearon una herramienta llamada E´VIVO, emplea figuras e imágenes reales del volcán y animaciones computarizadas que permiten ilustrar los resultados de la propagación de corrientes de densidad piroclástica provenientes del volcán Vesubio, considerado uno de los volcanes más peligrosos del mundo, de naturaleza explosiva y gran densidad de población en sus flancos. (Todesco, et al. 2006)

Las simulaciones numéricas están diseñadas para describir la evolución temporal de las variables más importantes en el flujo, como: temperatura, presión dinámica o concentración de partículas, según el escenario seleccionado. Basado en los rangos calculados de variación de estas variables, es posible proveer un acercamiento al impacto de flujos piroclásticos en vidas humanas y construcciones. (Todesco, et al. 2006)

Como valor agregado, los resultados científicos son fácilmente apreciados por la población que necesita conocerlos, se convierte en una herramienta didáctica en la disminución del riesgo volcánico.

### **6.4 SISTEMAS DE MONITOREO GEO-ESPACIAL**

Con el propósito del monitoreo a largo plazo de sistemas volcánicos activos y predicción de erupciones a corto plazo requiere de un gran número de datos provenientes de varias disciplinas. Siguiendo esta consigna, se ha desarrollado una base de datos llamada Geowarn, aplicado en áreas volcánicas de Italia y Grecia. Está compuesta de datos espaciales contenidos en un Sistema de Información Geográfica, de datos digitales de diferente resolución espacial, datos de series de tiempo tomados a diferentes intervalos o periodos, los cuales fueron

unificados en una representación de espacio y tiempo de cuatro dimensiones. (Radu, et al. 2006).

Esta base de datos, posee varias capas de datos como modelos de elevación digital, imágenes satelitales, estructuras antropogénicas, usos del suelo, datos geofísicos, datos geológicos y datos geoquímicos, integrados de manera que puedan verse visualmente, y apreciar mejor la información. (Radu, et al. 2006).

Dentro de las ventajas aplicativas que ofrece esta herramienta, está el tratamiento de datos automáticamente, obtención de mapas ilustrando diversos parámetros, correlaciones entre parámetros, y la posibilidad de que con un solo click, se obtenga un conjunto de datos, sobre actividad volcánica, en un área específica, guardando registro de la información para futuros análisis.

## **6.5 MONITOREO DIARIO DE DESGASIFICACIÓN VOLCÁNICA**

Es posible realizar monitoreo diario de la actividad volcánica, a partir de la emanación de gases, los cuales pueden ser detectados por el OMI (Instrumento para el Monitoreo de Ozono), ubicado en el satélite EOS/Aura de la NASA. (Carn, et al., 2008).

Esta alternativa está basada en el OMI que es en verdad un espectrómetro UV/V, con resolución espectral y espacial, de cobertura global, que permite medidas diarias de desgasificación pasiva de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) desde el espacio.

Esta técnica de monitoreo se ha aplicado en el Ecuador y el sur de Colombia, resultando un herramienta útil, en monitoreo de la actividad volcánica y sus posibles anomalías.

## **6.6 OBSERVACIONES**

Aunque las herramientas aquí mencionadas fueron modeladas en áreas volcánicas específicas, es factible ajustarlas a las áreas volcánicas colombianas.

Mostrando un menor grado de incertidumbre, conservando la información de manera segura y resguardada para futuros análisis.

De manera especial considero el modelamiento matemático de los productos volcánicos como representaciones interactivas que además de proveer valiosa información sobre el alcance de flujos piroclásticos y lahares, en la variada topografía colombiana, resultaría bastante didáctico para ilustrar a la población la realidad de la amenaza volcánica, que al estar tan acostumbrada a vivir en cercanías del volcán, suele disminuir las precauciones y no acatar las recomendadas medidas de seguridad. Resultaría una alternativa para presentar los mapas de amenaza volcánica.

El modelamiento matemático ofrece además el valor agregado de conservar la información en bases de datos diseñadas para ser alimentadas con información durante largos periodos, interactuando con diversos parámetros que permitan acercarse más a lo que realmente a los fenómenos que podría suceder, y de otra manera conservando al información de monitoreos en una base de datos

## 7. CONCLUSIONES

- La vulcanología es la ciencia que estudia los sistemas magmáticos. Se basa en los volcanes como manifestación de la actividad que proviene desde el centro del planeta. Gracias a la actividad volcánica, el planeta Tierra fue evolucionando de manera gradual su atmósfera primitiva, a partir de la cual se fue desarrollando también la vida que hoy tenemos. Los cambios geomorfológicos que ha experimentado la superficie terrestre, involucran de manera particular la actividad volcánica, como agente de rápida transformación, debido a que a partir de una erupción cuya duración puede ser de minutos u horas, puede cambiar drásticamente un paisaje. Por ejemplo los productos piroclásticos pueden alcanzar velocidades de aproximadamente 300 m/s y alcanzar temperaturas mayores a los 1000°C. Estos factores sitúan el vulcanismo, como agente indispensable en los procesos terrestres generadores de vida y cambio constante, que mantiene la dinámica para que se generen cambios geomorfológicos en superficie y se mantengan los ciclos de dinámica terrestre que mantienen las condiciones que caracterizan el planeta Tierra.

- Los productos volcánicos poseen diversos grados de amenaza, que suelen afectar en mayor proporción áreas próximas a las fuentes de emisión. Pues es allí, donde se alcanzan las mayores velocidades y temperaturas beneficiadas por las fuertes pendientes que forman los paisajes volcánicos. Dentro de la clasificación de los productos volcánicos, las corrientes de densidad piroclástica, son las que mayor número de muertes han alcanzado, y los flujos laháricos los que más víctimas y daños han producido. Ante la energía emanada de una erupción volcánica violenta, son pocas las posibilidades de escapar, suelen causar daño total, ser repentinas y rápidas, por lo que escapar de ellas o controlarlas

resulta poco probable, lo más conveniente es manejar este tipo de amenaza desde la planeación estratégica de poblados en zonas seguras, enseñando siempre a sus pobladores cuales son las señales de activación que genera el volcán cuando esta próximo a una erupción, como comportarse durante y después de una emergencia volcánica y manteniendo siempre un buen soporte en el conocimiento científico y de monitoreo de un centro volcánico activo.

- La amenaza volcánica en Colombia, toma importancia a partir de la reactivación del volcán Nevado del Ruiz, el 13 de noviembre de 1985, cuando a causa de un flujo lahárico, el pueblo de Armero junto a sus habitantes, quedo sepultado, generando la catastrófica cifra de 25000 personas muertas y aproximadamente 208.11 millones de dólares en pérdidas materiales. Se supo demasiado tarde, que el lugar sobre el que estaba construido Armero, había sido destruido en épocas anteriores por fenómenos de parecidas características. Es a partir de la palpable vulnerabilidad a la que estaba expuesta el pueblo colombiano respecto al tema de amenaza volcánica y desastres naturales, que el gobierno nacional ve la necesidad de generar mapas de amenaza, ahondar en el conocimiento científico e histórico de los volcanes activos, y establece bajo una reglamentación las acciones a tomar antes durante y después de una erupción volcánica. Surge entonces el SNPAD, conformado por un conjunto de entidades públicas, privadas y comunitarias integradas, con el objeto de dar soluciones a los problemas de seguridad de la población, por la ocurrencia de fenómenos naturales o antrópicos. Se delega también en el Ingeominas, la responsabilidad de estudio de toda clase de riesgos geológicos, involucrando obviamente los fenómenos volcánicos y las actividades de monitoreo respectivas.

- El vulcanismo activo en Colombia, es producto de la interacción entre las placas oceánica el Pacifico (Nazca), y Sur América. Esta actividad genera alrededor de de 82 centros volcánicos, de los cuales son considerados hasta el

momento como activos por INGEOMINAS Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima, Cerro Machín, Nevado del Huila, volcán Puracé y cadena volcánica de los Coconucos, Sotará, volcán Doña Juana, Galeras, Azufral, Complejo volcánico Cumbal y Complejo volcánico Chiles – Cerro Negro (Monsalve et al., 2000). La mayoría de estos volcanes cuenta con el respectivo mapa de amenaza volcánica, sin embargo es posible que existan aun más centros volcánicos activos, que no están cartografiados, que no poseen ningún tipo de estudio y generan incertidumbre y mayor riesgo para las poblaciones cercanas.

Los volcanes colombianos que aún no poseen mapas de amenaza volcánica son: La cadena volcánica de los Coconucos, Sotará, Azufral y Doña Juana, por lo tanto se desconocen los alcances que en el pasado geológico han tenido los depósitos volcánicos que los conforman, no se posee un control sobre sus ritmos y ciclos, su tipo de actividad, afluentes, drenajes, ni el impacto de sus productos volcánicos sobre poblaciones. Como se aprecia, los observatorios vulcanológicos del país, desarrollan una gran esfuerzo por mantener las actividades de monitoreo y control de los centros volcánicos, sin embargo es necesario extender la cobertura a aquellos volcanes que aun no la tienen y perfeccionar con tecnología de mayor precisión aquellos que ya la poseen.

- Los mapas de amenaza, son la herramienta gráfica que incorpora información geológica, geofísica, geoquímica y geodésica, con la cual se pueden generar los planes de riesgo ante una emergencia volcánica. Resultan útiles también en los planes de ordenamiento territorial, uso del suelo y actividades de prevención y educación a pobladores de zonas volcánicas.
- Las actividades de monitoreo volcánico, cuentan hoy con sofisticadas herramientas Como el modelamiento matemático de los productos volcánicos con los cuales es posible recrear representaciones interactivas que además de proveer

valiosa información sobre el alcance de flujos piroclásticos y lahares, en la variada topografía colombiana, resultaría bastante didáctico para ilustrar a la población la realidad de la amenaza volcánica, que al estar tan acostumbrada a vivir en cercanías del volcán, suele disminuir las precauciones y no acatar las recomendadas medidas de seguridad. Resultaría una alternativa para presentar los mapas de amenaza volcánica. Ofrece además el valor agregado de conservar la información en bases de datos diseñadas para ser alimentadas con información durante largos periodos, interactuando con diversos parámetros que permitan acercarse más a lo que realmente a los fenómenos que podría suceder, y de otra manera conservando la información de monitoreos para futuros análisis y correlaciones.

- Vivir en áreas volcánica implica asumir riesgos, pero también implica beneficiarse de aspectos como suelos fértiles aptos para la agricultura, fuentes de agua dulce, aguas termales, variada fauna y flora, y depósitos minerales explotables como sulfuros, azufre, pómez y puzolanas útiles como minerales industriales para construcción, además de exuberantes paisajes que podrían convertirse en fuentes turísticas. Para muchas civilizaciones ha resultado atractivo poblar áreas volcánicas, pues se ven altamente beneficiadas, sin embargo acarrea una gran responsabilidad civil, ubicar estas poblaciones en áreas seguras, que permitan disfrutar de sus beneficios disminuyendo la exposición a eventos amenazadores y educando constantemente sus pobladores sobre cómo actuar en caso de una erupción volcánica.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, A.P. y Cepeda, H. 1982. El volcán Sotará: Geología y geoquímica de elementos mayores. Publicación Especial de Ingoeminas. N. 10. 21-30 p.
- Alarcón, A., Rodríguez E.E y Escallón, J. 2000. Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia. Ingoeminas. 119 p.
- Arcila, M.M., Cardona, C.E., Correa, A., Diago, J.C., Pulgarn, B., Rodríguez, F. y Raigosa, J. 1996. 10 años del observatorio vulcanológico y sismológico. Ingoeminas. Centro Operativo Regional Popayán. 14 p.
- Armienta, M.A., De la Cruz-Reina, S., Gmez, A., Ramos, E., Ceniceros, N., Cruz, O., Aguayo, A., y Martínez, A. 2008. Hydrogeochemical indicators of the Popocatepetl volcano activity. *Journal of volcanology and geothermal research*. (170). 35-50 p.
- Carn S.A., Krueger, A.J., Arellano, S., Krotkov, N.A., Yang, K. 2008. Daily monitoring of Ecuadorian volcanic degassing from space. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Article in press. 10 p.
- Cas, R.A.F., y Wright, J.V. 1987. *Volcanic Successions: Modern and ancient*. Allen and Unwin. London. 487 p.
- Diago, J.C., 1999. Informe de comisión al volcán Sotará INGEOMINAS, Informe Interno.
- Espinosa, B. 2001. *Erupciones Históricas de los Volcanes Colombianos (1500-1995)*. Universidad del Quindo. Bogotá. 16, 291 p.

- Kelman, I., y Mather, T.A. 2008. Living with volcanoes: The sustainable livelihoods approach for volcano-related opportunities. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Article in press. 10 p.
- Radu, C.G., Volker, J. D., Bernhard, J., Schwandner, F.M., y Lorenz, H. 2006. *Computers & Geosciences*. 32. 29–41 p.
- Herd, D. G. 1986. The 1985 Ruiz Volcano disaster. *EOS Transactions, American Geophysical Union Transactions* 67(19): 457-460 p.
- Imme, G., La Delfa, S., Lo Nigro, S., Morelli, D y Patané, G. 2006. Soil radon monitoring in the NE flank of Mt. Etna (Sicily). *Applied radiation and isotopes* (64), 624-629 p.
- Méndez, R.A. 1989. Catálogo de los volcanes activos de Colombia. *Boletín Geológico de Ingeominas* 30 (3), 1 – 75 p.
- Monsalve, M. 2000. Guía para la evaluación de la amenaza volcánica, y elaboración de mapas de amenaza volcánica potencial en Colombia. Observatorio vulcanológico y sismológico de Manizales, Ingeominas. Publicación interna. 90 p.
- Mileti, D., Bolton, P.A., Fernandez, G., Updike, R.G. 1991. The eruption of Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, South America, November 13, 1985. *Natural Disaster Studies*, volume 4, for the Committee on Natural Disasters, Division of Natural Hazard Mitigation, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council (USA). Washington, DC, National Academy Press. 160 p.
- Parra, E. y Cepeda, H. 1996. Volcanic Hazard maps of The Nevado del Ruiz volcano, Colombia. *Journal of Volcanology and Geothermal research*, 42. 117 – 127 p.

Scott, W.E. 1984. Hazardous volcanic events and assessments of long term volcanic hazards, in Proceedings of the Geologic and hydrologic hazards Training Program. Compilado por M. E. Williams y C. Kitzmiller, U.S. Geological Survey. Open-file report. 84-760. 447-498 p.

Tarback, J.E. 2000. Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física. Prentice Hall. Madrid. 616 p.

Tilling, R. 1989. Volcanic Hazards: Short course in Geology. 1, 123 p.

Tilling, R.I. y Bailey, R.A. 1985. Volcano hazards program in the United States. Journal Geodynamics. 3. 425-446 p.

Todesco, M., Neri, A., Demaria, C., Marmo, C., Macedonio, G. 2006. E`VIVO: Virtual eruptions at Vesuvius; a multimedia tool to illustrate numerical modeling to a general public. Journal of Volcanology and Geothermal Research 155. 323–328 p.

Witham, C. 2005. Volcanic disasters and incidents: A new database. Journal of Volcanology and Geothermal Research 148. 191– 233 p

***Otras bibliografías consultadas pero no citadas en el texto:***

Francis, P. 1993. Volcanoes: A planetary perspective. Oxford University Press. New York. 443 p.

Wilson, M. 1991. Igneous Petrogenesis. Harper Collins Academic. London. 466 p.

**Páginas Web:**

[www.pnte.ccfnavarra.es](http://www.pnte.ccfnavarra.es) (Figura Partes de un volcán)

[www.redescolar.ilce.edu.mx](http://www.redescolar.ilce.edu.mx) (Figura volcán escudo, cono de cenizas, estrato volcán).

[www.icarito.cl](http://www.icarito.cl) (Ilustración sobre estilos de erupción).

[www.geofisica.unam.mx](http://www.geofisica.unam.mx) (Descripción capa mecánica: mesosfera).

[www.alertatierra.com](http://www.alertatierra.com) (Figura productos volcánicos).

[www.kalipedia.com](http://www.kalipedia.com) (Figura capas de la Tierra y cinturón de fuego del Pacífico).

[www.sigpad.gov.co](http://www.sigpad.gov.co) (Sistema Nacional para la Prevención y Atención de desastres-Colombia).

[www.dgpad.gov.co](http://www.dgpad.gov.co) (Dirección General para la prevención y atención de desastres). (Ley 46 de 1988).

[www.mincomunicaciones.gov.co](http://www.mincomunicaciones.gov.co) (Decreto 919 del 1 mayo 1989).

[www.santander.gov.co](http://www.santander.gov.co) (Decreto 93 de 1998).

[www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co) (Figura Zonas volcánicas en Colombia, Observatorios vulcanológicos, características sobre volcanes colombianos).

[www.galeon.com](http://www.galeon.com). (Duque, G. 2005. Las lecciones del volcán Nevado del Ruiz a los 20 años del desastre de Armero. Manizales.)

[www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co) (Sotará).

[www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co) (Información sobre observatorios vulcanológicos, y características de los volcanes activos en Colombia. Registro fotográfico).