



DESAFÍOS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO RUIZ-TOLIMA



Imagen Volcanes nevados del Complejo Volcánico RuizTolima, y Cerro Bravo.

Por Gustavo Wilches Cháux, en: <http://wilchesviajero frecuente.blogspot.com/>

Por Gonzalo Duque-Escobar *

Universidad Nacional de Colombia

Manizales, 5 de Mayo de 2013

Introducción

Hoy celebramos el día del Medio Ambiente:

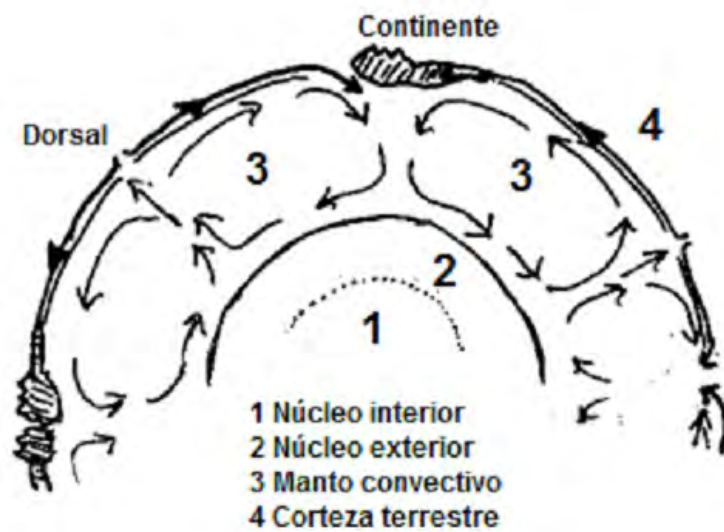
La subregión Centro Sur de Caldas, habitada por 500 mil habitantes de cinco municipios: Chinchiná, Manizales, Neira, Palestina y Villamaría, se ubica sobre el flanco nor-occidental del segmento volcánico más septentrional de la Cordillera Central de los Andes colombianos, donde aparecen los volcanes Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima y Machín.



Imagen 2- Parque Nacional Natural de los Nevados, PNNN: al norte, Nevado del Ruiz; Al sur, Nevado del Tolima, en el centro, Nevado de Santa Isabel. Fuente, Cambio climático y turismo en Colombia, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1583/>

Consciente de la amenaza volcánica para la subregión Centro Sur, asociada a los tres primeros dada su mayor cercanía, y en particular al Cerro Bravo y al Ruiz, la UN ofrece esta actividad como parte de un programa de gestión integral del riesgo, para invitar a definir con acierto el modelo de ocupación del suelo en dicho territorio.

El planeta tierra



Placas Tectónicas



Imagen 3- Arriba, la estructura del planeta. Abajo, Placas Tectónicas, en www.profesorenlinea.cl

La Tierra posee un núcleo casi tan caliente como la superficie del Sol, sólido en su centro y fluido en su periferia.

Por lo anterior, el manto que envuelve el núcleo terrestre está en un movimiento plástico de corrientes de convección, gracias al cual la corteza muestra sus dinámicas y en ella los continentes derivan y se transforman.

La corteza externa, fría y delgada, es la piel de la tierra que conforma placas tectónicas que mutan y que contienen los continentes, quienes cabalgando sobre los fondos oceánicos se exponen a la atmósfera y erosionan.

En la corteza se diferencian los fondos oceánicos siempre jóvenes con sus dorsales, y los continentes más antiguos emergidos con sus cordilleras.

La danza de los continentes

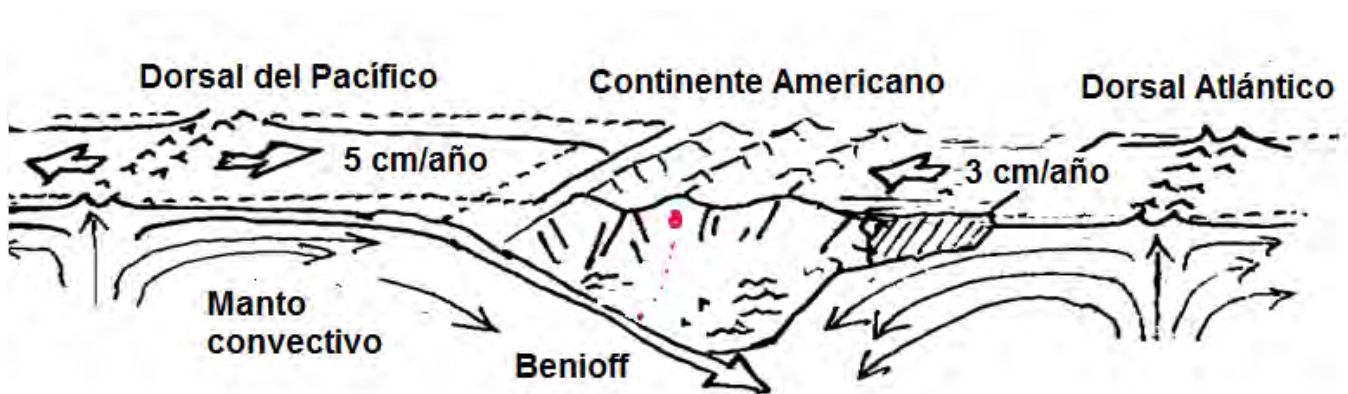


Imagen 4- En el borde destructivo de las placas tectónicas, el magma que se genera en el plano de Benioff, sube alcanzando las raíces profundas de las cordilleras que se explican por la teoría de la isostasia, hasta la cámara magmática donde se prepara la erupción. Fuente propia.

La corteza de la Tierra, se regenera y destruye, conforme se mueve a modo de banda transportadora, impulsada por las corrientes de convección del manto plástico.

Las rocas de los fondos oceánicos de alto contenido en Fe y Mg son más pesadas y poseen un punto de fusión alto, por lo que los continentes constituidos de materiales pétreos ricos en Si y Al, con rocas de bajo punto de fusión, al resultar más livianos cabalgan las anteriores que las subducen y les permite permanecer en el tiempo, expuestas a la intemperie, sobre la corteza de la Tierra.

Las placas tectónicas surgen en las dorsales, por donde asciende el flujo convectivo del manto plástico y se destruyen en las zonas de subducción (ver plano de Benioff), donde regresan al manto para fundirse de nuevo. De ahí que la antigüedad del los fondos oceánicos a lo sumo llegue a 150 millones de años, mientras la de los continentes alcanzan edades de miles de millones de años.

En su deriva la corteza arrastra los continentes, forma montañas y volcanes, e igualmente se deforma y fractura, causando los terremotos, en lugares donde eventualmente los volcanes también acechan.

Vulcanismo efusivo y explosivo

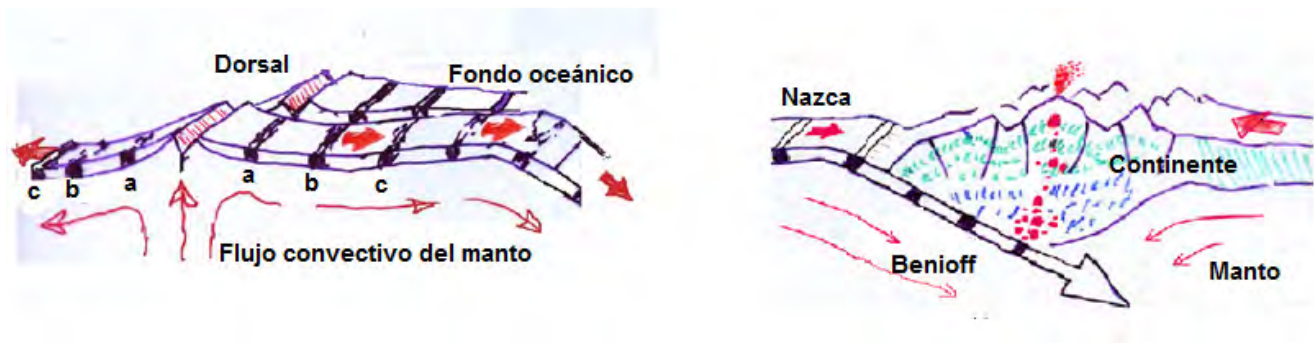


Imagen 5- Borde constructivo de la corteza (Izq) y borde destructivo de la corteza (Der). En los continentes, el magma básico asciende por mecanismos de fusión y reemplazamiento, lo que le permite contaminarse de fluidos y ganar en contenido de sílice. Fuente propia.

Existen sismos en los bordes destructivos de las placas tectónicas, que se relacionan con la fricción en el Plano de Benioff en el contacto de la Placa Tectónica de Nazca con la Sudamérica, cuando la primera regresa para fundirse en el manto de la Tierra, o por tensiones acumuladas del empuje del continente sudamericano hacia el Pacífico.

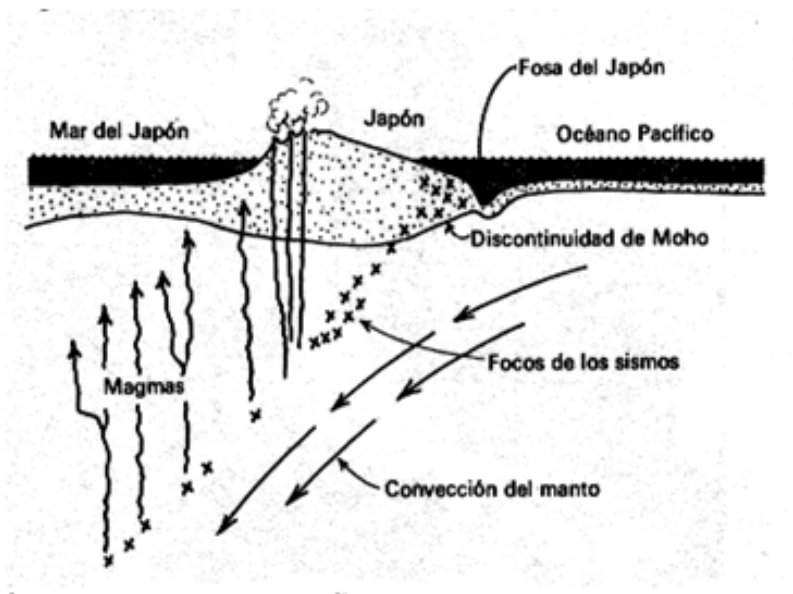


Imagen 6- Vulcanismo en zona magmática interplaca. El ploteo de los focos sísmicos permite inferir el fenómeno de subducción, en Japón. Tomado de *¿Qué es la Tierra?*, Takeuchi, Uyeda y Kanamori. En: *Manual de geología para ingenieros* <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572>

Dichos sismos **Interplaca**, típicos de la base de la Cordillera Occidental de Colombia, con profundidad entre 70 y 100 km, tienen gran energía (magnitud) aunque por resultar profundos el efecto en superficie (intensidad), es tenue pero extenso: se sienten en toda Colombia. El mapeo de estos sismos permite inferir el plano de Benioff y los procesos de generación del magma.

Procesos magmáticos fundamentales

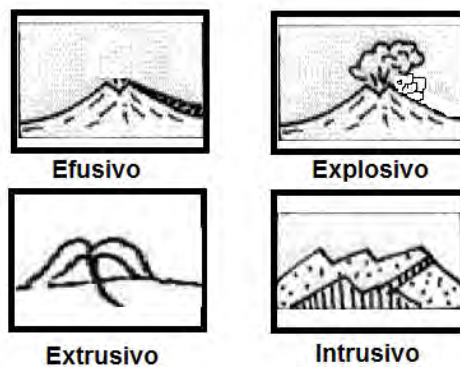


Imagen 7- Procesos magmáticos fundamentales, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572>

El efusivo. Caracterizado por la efusión y derramamiento de lava sobre la superficie, para formar mesetas y escudos volcánicos.

El explosivo. Donde se da el lanzamiento con violencia y a gran presión de magma pulverizado y fragmentos de roca; como evidencia de éstos, los conos cineríticos y los estratovolcanes (ej. El Tolima), cuando el mecanismo se alterna con el anterior.

El extrusivo. Proceso que explica domos volcánicos por el estrujamiento de magma viscoso, sólido o semisólido, que se exprime a la superficie. Estos edificios volcánicos no poseen cráter (ej. el otero de San Cancio).

El intrusivo. Cuando el magma penetra los pisos del subsuelo para solidificarse en el interior de la corteza y por debajo de la superficie, quedando depósitos en forma mantos, diques, etc.

Mecanismos eruptivos

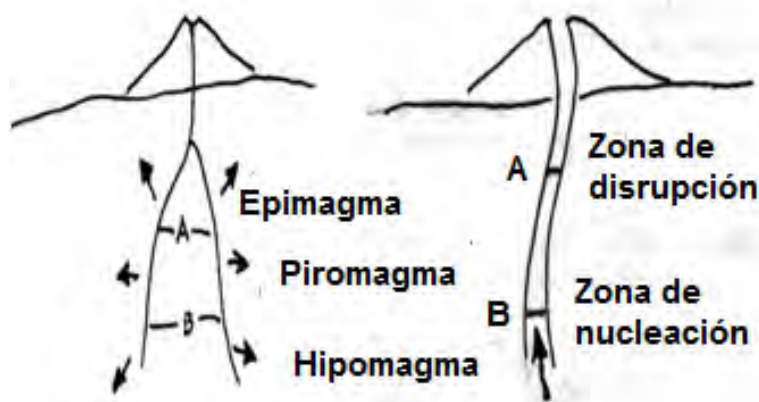


Imagen 8- Modelos eruptivos estático (Izq) y dinámico (Der). Epimagma, Piromagma e Hipomagma, son zonas que definen entre A y B una región en la que el magma se desgasifica y transforma en una espuma de lava, cuya evidencia es la piedra pómez. En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572>

Modelo Estático:

Característico de volcanes con prolongados procesos de calma volcánica. Inicialmente (A) es la frontera que separa la lava (por arriba) del magma (por abajo); pero puede despresurizarse la cámara

magmática trasladándose hacia abajo dicha frontera hasta (B); entre (A) y (B) la nueva porción de magma se desgasifica, y cayendo la presión se forman burbujas, porque entre A y B los volátiles pasan de la fase líquida a la gaseosa; luego, las burbujas fruto de la desgasificación, por menos densas y ayudadas por movimientos convectivos, ascienden hasta la espuma que está por encima de (B) para nutrirla, hasta cuando su colapso produzca la erupción.

Modelo Dinámico:

Típico de volcanes con actividad eruptiva frecuente o magmas fluidos. Suponga un conducto profundo y a través suyo, una porción de magma en ascenso (imagen derecha); cuando el magma alcanza el nivel (A) se forman burbujas porque la presión de gas iguala a la presión confinante. (A) es la zona de nucleación; luego entre (A) y (B) las burbujas, ganan energía potencial de deformación, pues no podrán ganar volumen por la viscosidad del fundido, aunque la presión vaya disminuyendo durante su ascenso. Pero a partir de B, las burbujas explotan produciéndose la erupción.

Estructura general de un volcán

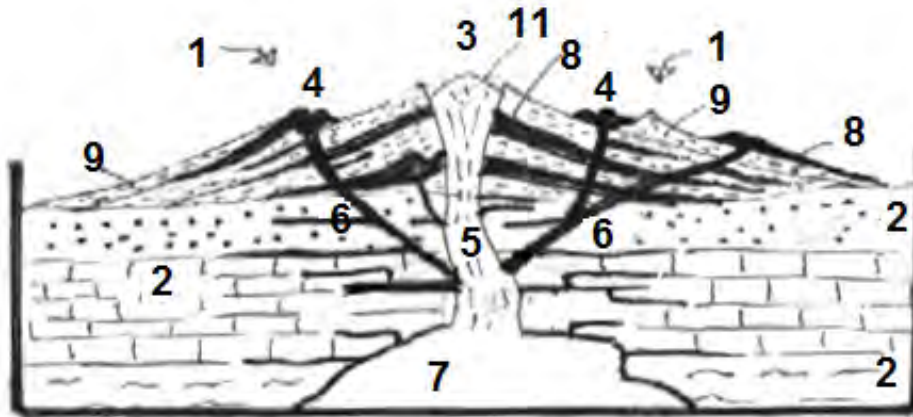


Imagen 9- El Volcán: 1. Edificio volcánico, 2. basamento, 3. cráter principal, 4. cráter secundario, 5. chimenea principal, 6. respiradero, 7. cámara magmática, 8. derrames lávicos, 9. capas de piroclastos, 11. cúpula extrusiva. Imagen adaptada de Geología Estructural, V. Belousov, en

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572> .

El Ruiz presenta dos cráteres secundarios, la Piraña y la Olleta, cuyas edades podrían ser de cien mil años, dos estructuras adventicias alineadas con el cráter Arenas y ubicadas a 4 km por ambos costados, anunciando una falla que corta la falla Palestina, rasgo estructural principal sobre la cual se ha dado el vulcanismo del complejo Volcánico.

La presencia de domos volcánicos con edades del orden de los 150 mil años y dispuestos en forma areal entre Cerro Bravo y el Ruiz, (Santana p. e.) parece anunciar un fracturamiento bidimensional del basamento (Stock de Manizales); también, el alineamiento de domos volcánicos al este de San Cancio, se correlaciona con la falla Villa María-Termalés del Ruiz, sobre la cual aparece el volcán Tesorito.

Fenómenos volcánicos

Columnas eruptivas, flujos, oleadas y erupciones laterales dirigidas: son eventos cuyas características varían en función del coeficiente explosivo de volcanes, asociado a naturaleza de los magmas.

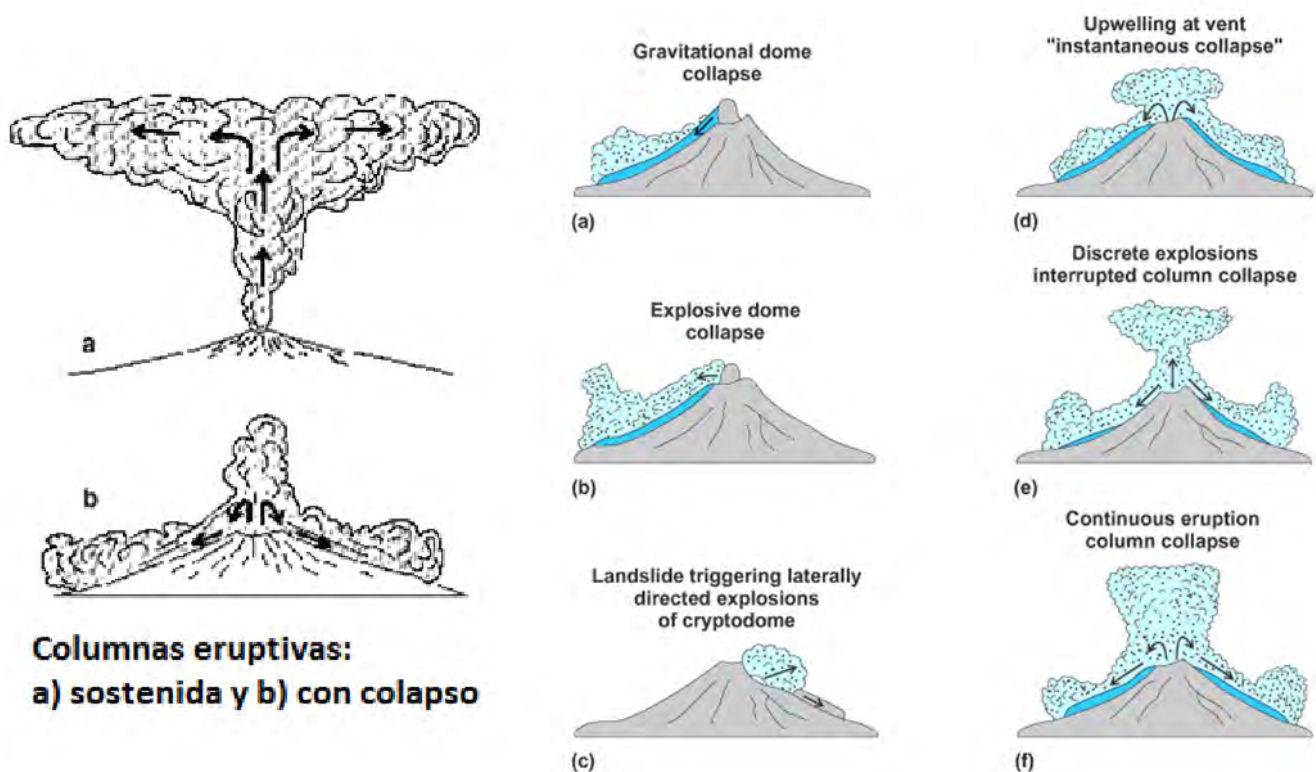


Imagen 10- Columnas eruptivas: Izquierda columnas verticales y de colapso, en <http://www.insugeo.org.ar> Derecha colapsos de columnas y blast (c), en <http://accessscience.com/>

Los flujos piroclásticos, dada su elevada temperatura y carga en suspensión, pueden producir asfixia, enterramiento, incineración, abrasión con chorros de arena, y trituración por impacto físico.

Las zonas más amenazadas suelen ser las laderas y vaguadas profundas en las proximidades del volcán. Esto explica el riesgo sobre los primeros 10 km en el entorno de un cráter, y a mayor distancia para volcanes de mayor coeficiente explosivo donde la columna eruptiva suele colapsar.

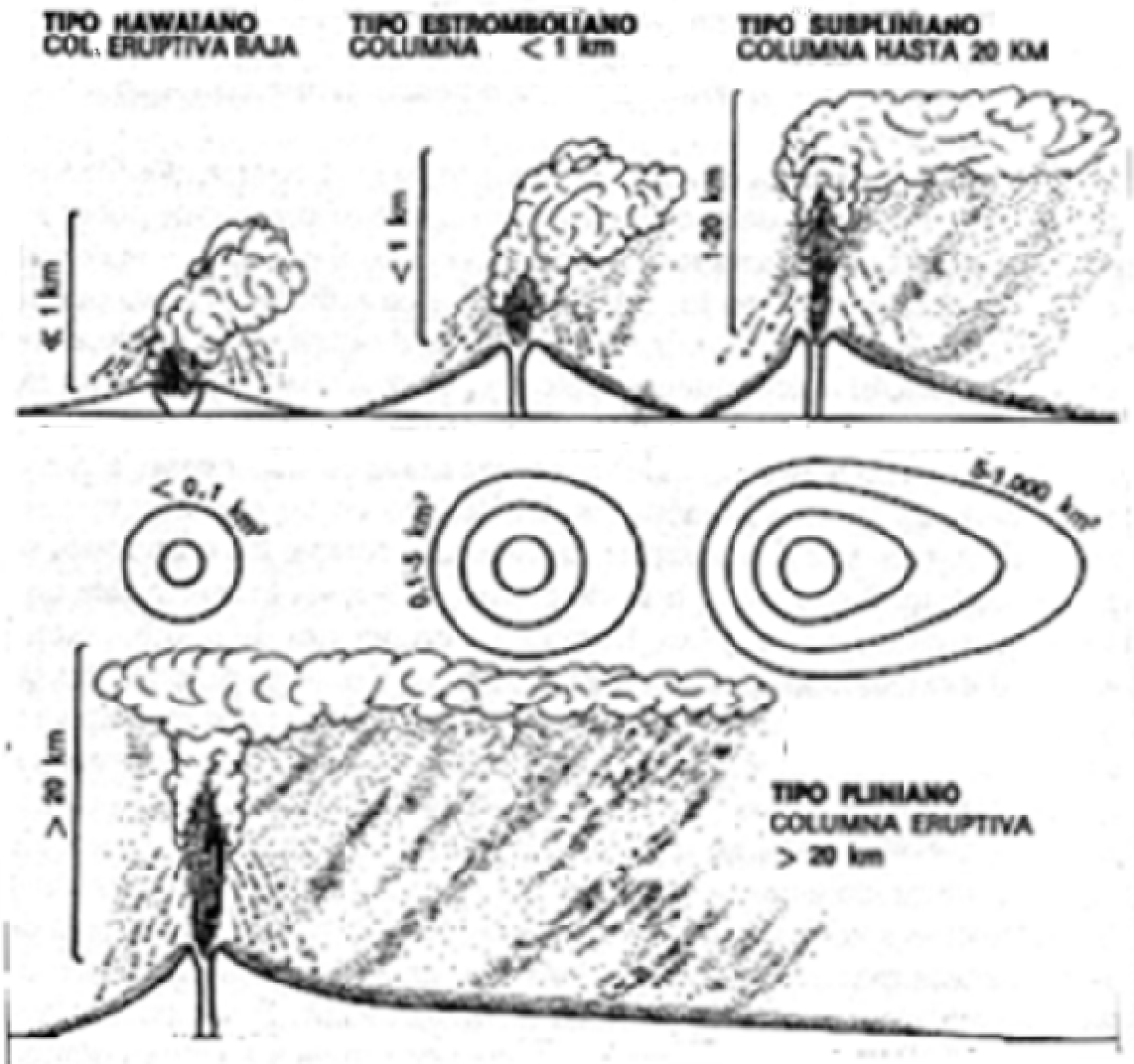


Imagen 11- Erupciones plinianas y subplinianas. Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572> tomado de Booth y Fitch, La inestable Tierra.

Formación de una Caldera

Las Calderas son por lo tanto grandes depresiones circulares u ovaladas; a diferencia del cráter, el diámetro supera su profundidad; es un elemento destructivo del relieve, y las pueden ser hay de varios tipos:

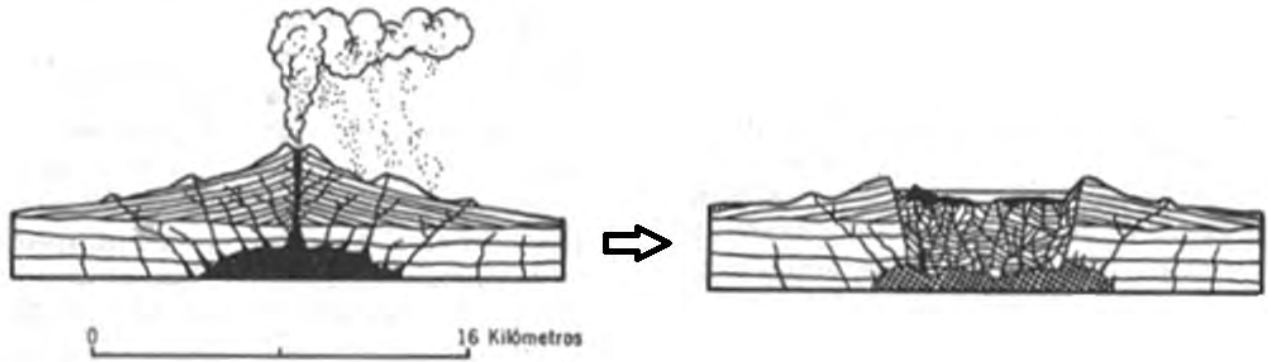


Imagen 12- Por el vaciado una cámara magmática superficial (arriba), se dan el vacío inferior y el crecimiento en peso del edificio volcánico; así, a la erupción pliniana le sucede el paroxismo volcanotectónico, que explica la caldera (abajo). Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572> tomado de Booth y Fitch, La inestable Tierra.

- **De colapso.** Llamada estructura vulcanotectónica, si es el resultado del hundimiento a partir de un importante vaciado de una cámara magmática superficial y el consecuente aumento en tamaño y peso del edificio, con lo cual el colapso es inminente, ejemplo, Cerro Bravo.
- **Explosivas.** Cuando la pérdida del edificio, y en su sustitución la formación de una depresión, se explica por un paroxismo tras el cual los fragmentos de la estructura se han disipado con violencia, ejemplo, el Machín.
- **De Erosión.** En donde los procesos erosivos son los responsables de la destrucción y pérdida de la acumulación.
- **De impacto.** Depresiones ocasionadas sobre la superficie por la caída impetuosa de meteoros con gran energía. Posteriormente puede surgir una erupción como evento secundario.

Órdenes de las amenazas

Una lluvia puede generar un deslizamiento, y éste un flujo de lodo. El orden de las amenazas permite establecer la secuencia de los eventos, y según éste, normalmente suelen darse los fenómenos con un nivel de precedencia que responde a esta clasificación:

- *Primer orden:* sismos, huracanes, volcanes y lluvias.
- *Segundo orden:* deslizamientos, maremotos, inundaciones.
- *Tercer orden:* aludes y avalanchas.

Tabla 1. Las erupciones volcánicas aunque de moderada frecuencia, suelen presentar diferentes eventos de alta siniestralidad:

Orden:	Muy alta	... alta	...moderada	... baja
Siniestralidad:	Meteoritos	Erupciones	Sismos	Inundaciones
Frecuencia:	Inundaciones	Sismos	Erupciones	Meteoritos

Tabla 2- Magnitudes de la Amenaza y del Desastre, en caso de erupciones volcánicas

Volcán y año	Volumen km3	Volcán y año	Muertes
Tambora , 1915	100	Tambora ,1915	56000
Cosiguina ,1935	25	Krakatoa ,1883	36400
Krakatoa ,1883	18	M. Pele, 1902	30000
M. Katmal,1912	16	V.N. del Ruiz, 1985	23000
Paricutín,1943	12	Sta María, 1902	6000

Erupciones Volcánicas

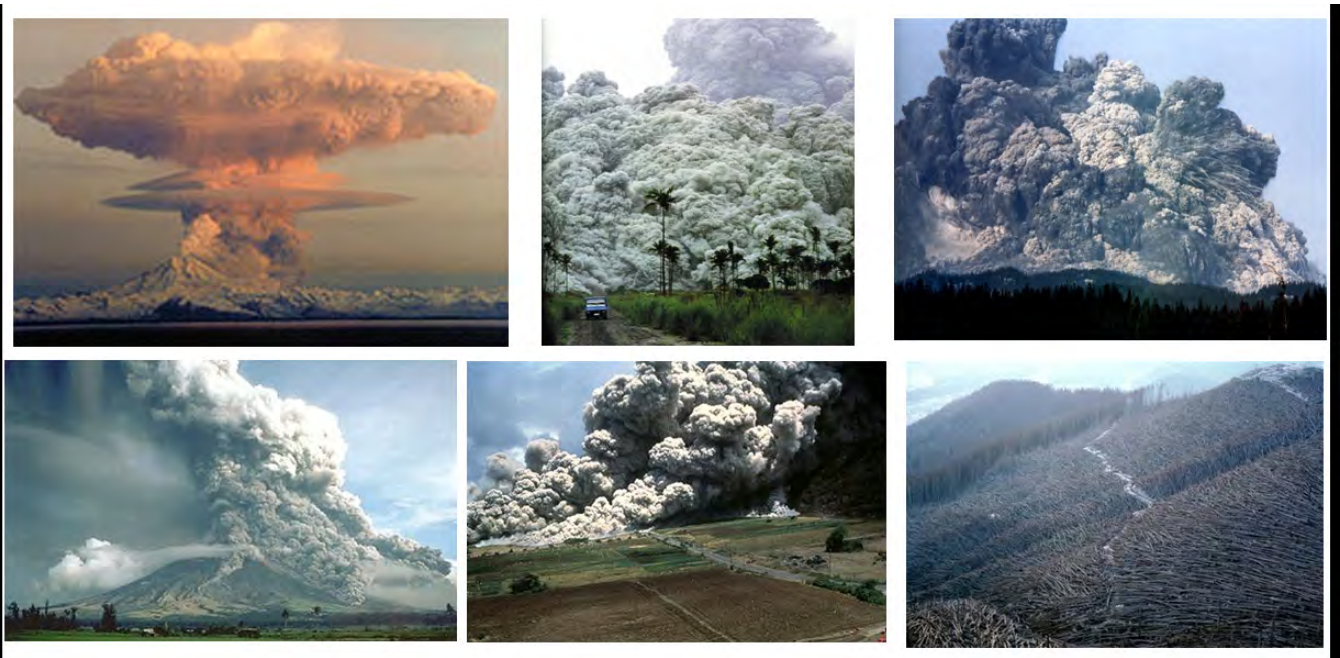


Imagen 13- Columnas eruptivas, nubes ardientes y erupción explosiva de ángulo bajo (blast). Fuentes citadas.

Izquierda: Volcán Redoubt de Alaska y Volcán Mayon de Filipinas, mostrando una columna vertical y otra colapsada originando flujos, en: <http://es.wikipedia.org>

Centro: nubes ardientes, del V. Pinatubo (1991) en Indonecia, en <http://www.coolgeography.co.uk> y del V. Monserrat (1997) en Centro América, en <http://www.mnh.si.edu>

Derecha: Blast del V. Santa Helena (1980) y su impacto a unos de 25 km sobre un bosque de abetos, en <http://elplanetaextremo.blogspot.com>



Volcán Chaitén, en: fogonazos.es



Geniza volcánica del Eldfell 1963
Vestmannaeyjar, en <http://icelandreview.com>



Volcán Puyehue , en fayerwayer.com



Lava del volcán Surtsey 1963-67, de
Islandia, en <http://icelandreview.com>

Imagen 14- Erupciones volcánicas: Vulcanismo andino de tipo explosivo (Izq), y de dorsal o de tipo efusivo en Islandia (Der) Fuentes citadas.

Las lavas de Islandia y Hawái son fluidas, por lo que ese vulcanismo no es explosivo como si lo es el vulcanismo andino, tal cual ocurre con el del complejo volcánico Ruiz – Tolima.

En la imagen anterior de la Izquierda, arriba y abajo, se ilustra el vulcanismo explosivo. No toda erupción se acompaña de tormentas eléctricas, fenómeno asociado a la generación de cargas electrostáticas, muy probables durante erupciones explosivas.

Al lado derecho, se muestra el vulcanismo efusivo, propio de los bordes constructivos de placas tectónicas, con dos imágenes de erupciones en Islandia, así:

Arriba: Eldfell, un cono volcánico de unos 200 m de altura que se formó en la erupción de 1973, generando una crisis que casi provocó la evacuación permanente de la ciudad de Heimaey.

La ceniza volcánica llevada por el viento a un costado de la isla, en virtud de su enorme espesor destruyó cerca de 400 casas, mientras del otro lado del volcán un flujo de lava avanzó hacia el puerto amenazando su infraestructura y la flota pesquera, obligando a una operación exitosa de bombeo del agua del mar que lo refrigeró y pudo detenerlo.

Abajo: derrame lávico del Surtsey, volcán que se formó inesperadamente a partir de una erupción volcánica que se inició a 130 m por debajo del nivel del mar, y que emergió a la superficie el 14 de noviembre de 1963. La erupción duró hasta el 5 de junio de 1967, momento en el que la nueva isla alcanzó su tamaño máximo, de 2,7 km² (270 ha).



Imagen 15- Las cenizas volcánicas: A la derecha, incidencia de la dirección del viento en la columna eruptiva de un volcán de Islandia y en la del Monte Santa Helena (1980). A la izquierda, efectos de las cenizas del Puyehue en Chile.

En la erupción del Eyjafjallajökull (2010): el tráfico aéreo sobre el mar entre Escocia, Noruega, el norte de Suecia, Gran Bretaña y el norte de Finlandia, resultó limitado, a causa de la ceniza expulsada a la atmósfera, tras la erupción de este volcán de Islandia.

La nube de cenizas de la erupción del volcán chileno Puyehue (2011), se extendió a toda la Patagonia norte, lo que provocó interrupción del tránsito en rutas, suspensión de clases y actividades. En Buenos Aires y en Villa La Angostura a 30 km del volcán Puyehue, se cerró el aeropuerto.

Ante la situación el CPE reiteró medidas de prevención, como la utilización de barbijos o trapos humedecidos para proteger las vías respiratorias, de anteojos o antiparras para los ojos, evitar lentes de contacto, permanecer a resguardo, proteger a las mascotas y el alimento que consumen; y de requerirse, donde la capa de ceniza lo permitía, manejar con precaución.

Igualmente, hubo afectación en pasturas y fuentes de agua, que generaron efectos a corto y mediano plazo para el ganado, a mediano y largo plazo para las cosechas y la vida acuática en lagos y ríos de la zona afectada.

La dirección de los vientos resulta definitiva para el manejo de una emergencia volcánica, dado que genera un sesgo espacial que condiciona los planes operativos a la ubicación precisa del escenario afectado. Para nuestro caso, de presentarse tormentas eléctricas, se deben tomar las previsiones del caso teniendo especial cuidado en el diseño de planes de contingencia para mitigar el impacto en las fuentes abastecedoras de agua, e igualmente preparando a la comunidad para sortear eventos asociados a amenazas hidrogeológicas, en caso de presentarse lluvias torrenciales que puedan desencadenar flujos de lodo o deslizamientos de tierra.

El riesgo volcánico

-Riesgo: Posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un evento peligroso fuerte, dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.

-Amenaza: evento perjudicial con un cierto nivel de magnitud y alcance espacial, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

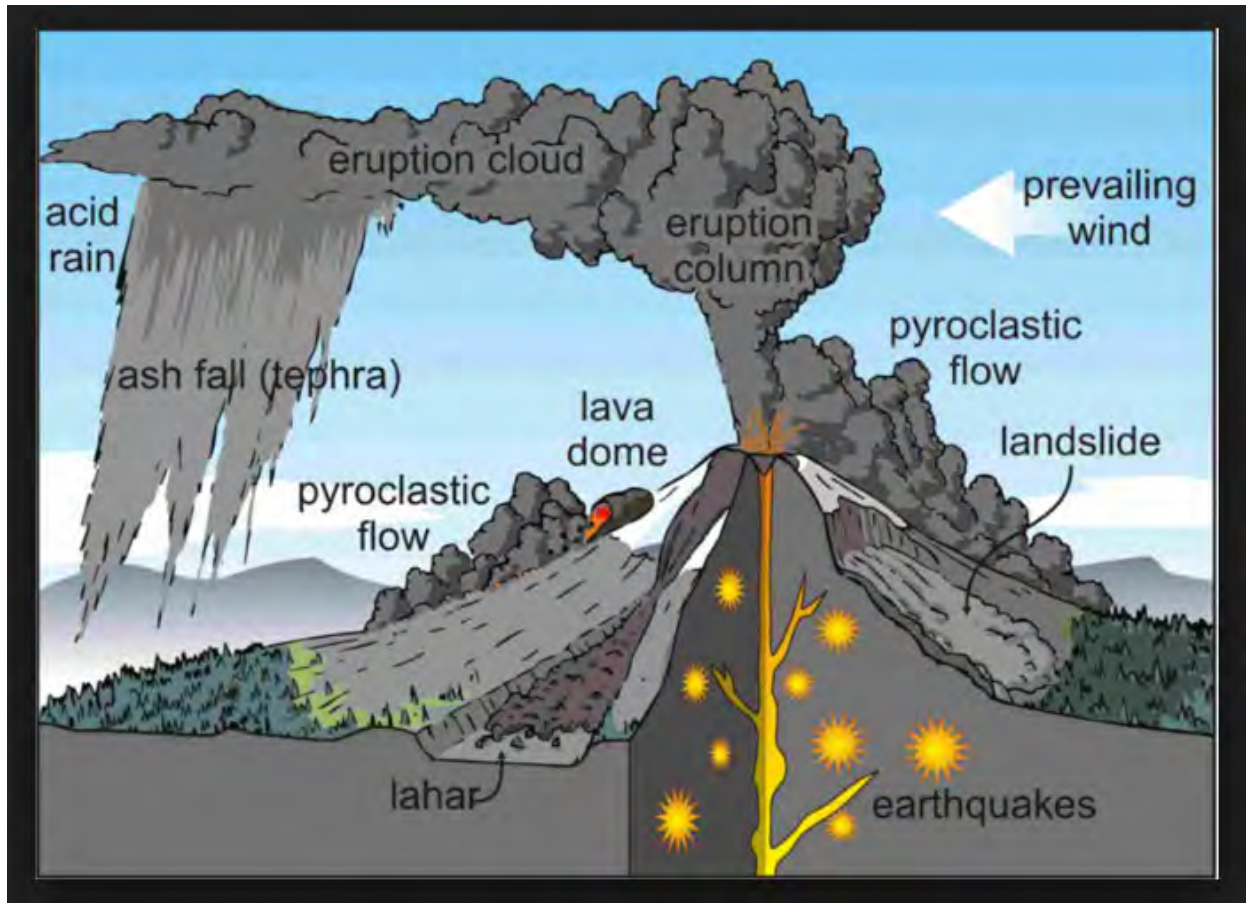


Imagen 16- Peligros asociados a las erupciones volcánicas: Eventos: Caída de ceniza, caída de proyectiles lávicos, flujos de lava, flujos de lodo y nubes ardientes, lluvia ácida, deslizamientos de tierra y gases, . Imagen, en: <http://newgeography.weebly.com/hazards.html>

La relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión:

$$\mathbf{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Siendo **la vulnerabilidad** el factor de riesgo que tiene en cuenta la fragilidad de las personas y de los bienes expuestos.

La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica.

En sismos, erupciones y deslizamientos, por el carácter incierto y aleatorio de los eventos, se obliga a establecer pronósticos. Esto a diferencia de los eclipses, que se pueden predecir.

Cuatro conceptos clave

1- Métodos para atenuar los efectos adversos del desastre

Las *medidas de prevención*: como mejoras físicas o estructurales, organización eficiente del sistema de su operación y de mantenimiento.

Las *medidas de preparación*: como planificación de acciones rápidas y eficaces para restaurar los servicios y controlar o mitigar los daños al sistema y los efectos al ambiente.

2- Los factores que definen el estilo eruptivo de un volcán, son: las características de la cámara y del magma, los contactos magmático-hidrotermales, la estructura y morfología del volcán, y la intensidad de los procesos endógenos y exógenos.

3- Dos clases de riesgo:

El **Riesgo local o específico**, que es de importancia para una persona o elemento expuesto.

El **Riesgo total o de cúmulo**, que es el de interés para la autoridad territorial.

4- Dos niveles del Plan de Emergencias

El *Plan Estratégico*: a nivel nacional o regional, que debe diseñarse en función del riesgo de cúmulo.

Los *Planes Operativos*: a nivel local, que deben diseñarse en función del riesgo específico y coordinarse con el anterior.

Colombia y sus volcanes

En Colombia, el 70% de la población habita la zona andina y el 10% está sometida al riesgo por amenaza volcánica, dado que existen cerca de 15 volcanes activos, entre cerca de medio centenar de estructuras bien identificadas.

1. Chiles
2. Cerro Negro
3. Cumbal
4. Azufral
5. Galeras
6. Doña Juana
7. Sotará
8. Pan de Azúcar
9. Coconucos
10. Puracé
11. Huila
12. Machin
13. Tolima
14. Santa Isabel
15. Ruiz
16. Cerro Bravo

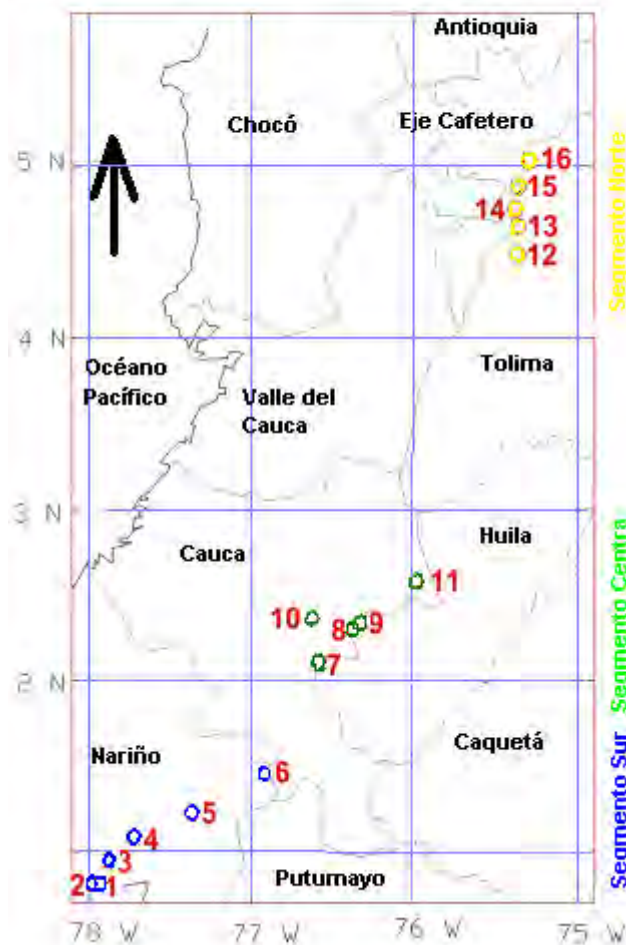


Imagen 17- Segmentos volcánicos de Colombia, según Ingeominas. Cada segmento, cuenta con su observatorio vulcanológico, provisto por dicha institución, con personal altamente calificado y equipos para el monitoreo volcánico. Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1685>

Nuestros Volcanes aparecen agrupados en tres segmentos: el del sur localizado en Nariño, donde sobresalen el Galeras y el Azufral; el del centro ubicado en jurisdicción de Cauca y Huila donde se destacan el Nevado del Huila y el Puracé; y el segmento norte, denominado Complejo Volcánico Ruiz – Tolima.

Por lo general, el monitoreo volcánico consta de 4 actividades fundamentales cuyo objeto es el pronóstico temporal de los eventos y de su magnitud. Eso mediante : la observación directa de los fenómenos y alteraciones del cráter; la instrumentación sísmica que permitir obtener señales de diferente naturaleza (sismos y tremores); la instrumentación geoquímica para valorar especies gaseosas de diferente nivel de volatilidad (Carbono, Azufre y Cloro), y la medida geodésica de pendientes y deformaciones en el edificio volcánico.

El Complejo Volcánico Ruiz – Tolima

La actividad del complejo volcánico Ruiz-Tolima se puede calificar de moderada. Entre los eventos registrados se destacan erupciones plinianas menores de 2 Km³ del Tolima (10.000 aC) y el Quindío (9.000 aC); menores de 1 Km³ del Tolima (1.600 aC) y el Ruiz (1.200 aC y 1.595 dC); la excepción es un flujo piroclástico Holoceno de 5 Km³ asociado al Machín.

Según Thouret, Murcia, Salinas y Cantagrel, Ingeominas 1.991, las últimas erupciones prehistóricas de tipo pliniana y de flujos piroclásticos datadas, son del Cerro Machín, Cerro Bravo, Tolima y Ruiz (900 dC, 1.250 dC y 1.600 dC, en su orden).

Aunque la amenaza del Ruiz no resulte significativa para la ciudad frente a una erupción pliniana comparable a los eventos históricos de 1595 y 1845, salvo una erupción lateral dirigida similar a la contemplada hacia el NE en su mapa de amenazas oficial, como evento poco probable, habrá que empezar a tomar acciones de largo plazo y extremada urgencia frente a la amenaza volcánica de Cerro Bravo, aprovechando su período de calma.

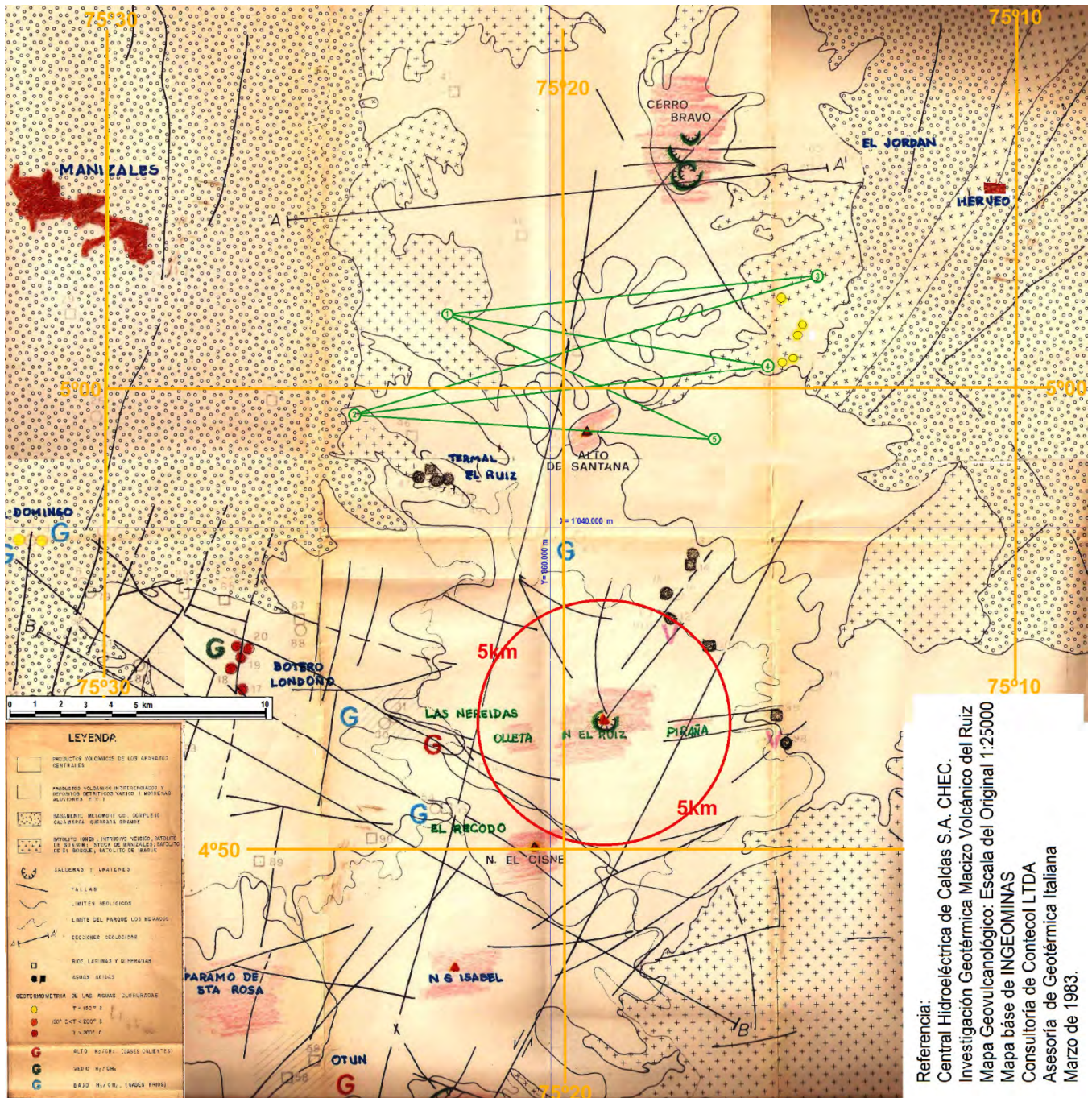


Imagen 18- Basamento granítico al norte del Ruiz y en Cerro Bravo, con lavas de cobertura. Puede apreciarse la menor distancia de Manizales al V. Cerro Bravo, que al V.N. del Ruiz. En la figura, el círculo rojo con centro en el Ruiz, es de 10 km de diámetro. Fuente: Investigación Geotérmica, Chec. Fuente, Mapas de Caldas, en: <http://godues.wordpress.com/2013/03/31/>



Imagen 19- Panorámica del Complejo Volcánico Ruiz Tolima, desde el sur. En primer plano, el Nevado del Tolima; al fondo el Nevado del Ruiz, el Cráter La Olleta y el Nevado Santa Isabel. Autor, Gustavo Wilches Cháux, en: <http://wilchesviajerofrecuente.blogspot.com/>

Las lavas de Cerro Bravo y Machín, son de **coeficiente explosivo** moderado alto, mientras las del Ruiz, Tolima y Santa Isabel son lavas del tipo moderado bajo.

De ahí que las columnas erupción tengan diferente tendencia: columnas de colapso en el primer caso, o verticales sostenidas en el segundo.

El volcán Cerro Bravo

En Cerro Bravo, al interior de la caldera, el nuevo edificio muestra varios cráteres de tamaño decreciente en el tiempo, lo que permitiría abrigar la esperanza de que la actividad eruptiva del nuevo edificio volcánico de **edad holocénica** (post-glacial), resultado del vaciado importante de la cámara magmática tras el paroxismo vulcano-tectónico, pueda estar atenuándose.

De este volcán activo y en reposo, localizado a 20 km del aeropuerto La Nubia y a 25 km del centro de Manizales, se han identificado 7 erupciones plinianas de los últimos 4000 años, cuyas fechas, estimadas las edades por radiocarbono, son: 1720 ± 150 , 1330 ± 75 , 1050 ± 75 , 750 ± 150 , 730 ± 75 aC, 1050 aC ± 200 , 1310 ± 150 aC, 4280 aC ± 150 .

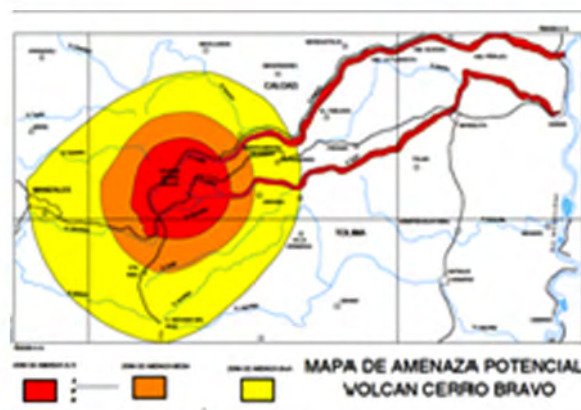


Imagen 20- A la Izq. el edificio de Cerro Bravo visto desde el poniente, mostrando en el perfil, de sur a norte tres niveles de cráteres cada vez menores, donde el emplazamiento de los últimos en los precedentes, permite advertir una actividad reciente que decreció en volumen. Fuente <http://www.ingehominas.gov.co/>

Según Ingeominas, estas son las amenazas de Cerro Bravo:

1- Productos balísticos de caída: Las **bombas** volcánicas corteza de pan, se encuentran hasta 3 km alrededor de los cráteres del volcán, **mientras los** fragmentos balísticos de hasta 7cm de diámetro, asociados a eventos plinianos, llegan a 12Km del volcán. La zonificación señala un radio de 8 Km, a partir del cráter para la amenaza alta, y 12 km para la amenaza media.

2- Amenaza por piroclastos de caída: La **zona de amenaza** alta, hasta una distancia de 14Km, con dirección preferencial sur-suroeste; en una erupción futura pueden acumularse espesores entre 20cm y 400cm, de material piroclástico, en menos de dos horas.

La zona de amenaza media comprende un área hasta 18Km, en dirección sur-suroeste, que puede ser afectada por espesores entre 20cm y 10cm.

3- Flujos de lodo: Los Ríos Aguacatal, afluente del Gualí, y Perrillo, afluente del Guarinó, presentan eventos probables que comprometen al Gualí y al Guarinó, hasta sus desembocaduras en el Magdalena.

En el Gualí, el depósito del flujo de lodo, se establecería desde Mariquita, y en el Guarinó el depósito final, con una potencia de entre 3 y 5 metros de espesor, se establecería entre la vereda el Llano (Victoria) y la vereda Horizontes ubicada en la desembocadura del Magdalena.

4- Flujos piroclásticos: La pluma eruptiva tiene tendencia al colapso. Se han reconocido al menos nueve flujos de ceniza y pómez (igneslunitas), y tres flujos de ceniza y bloques (ignimbritas). Los depósitos de estas dos clases de nubes ardientes, se observan a distancias que varían entre 6 y 18Km.

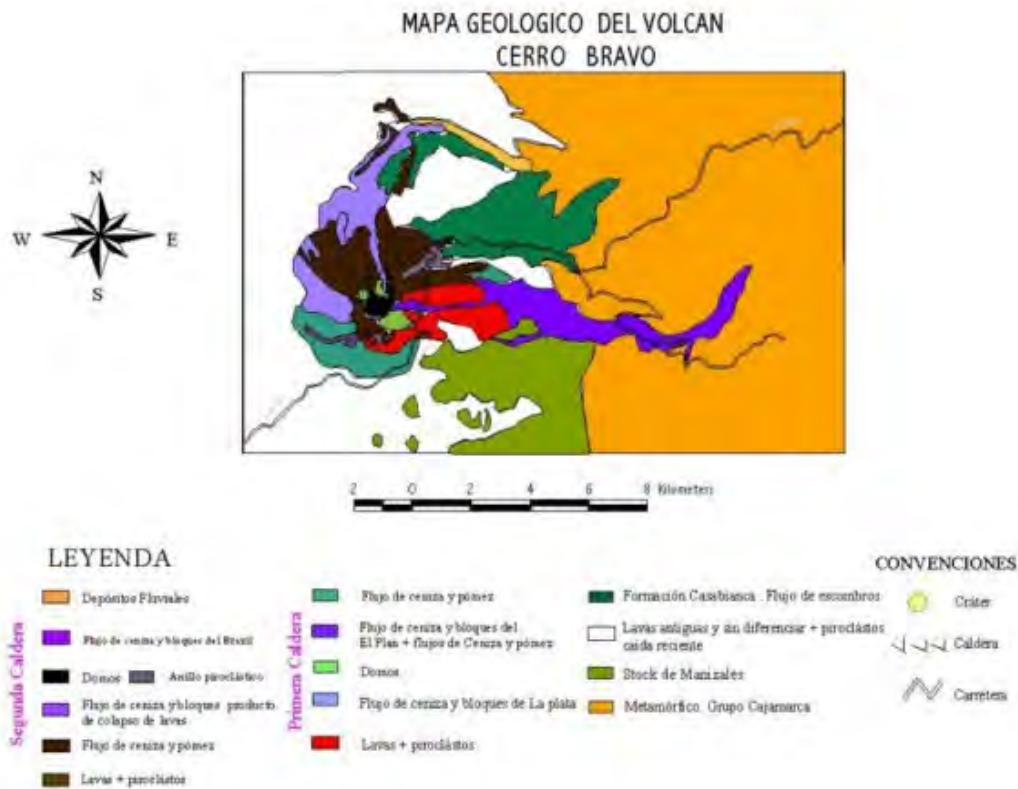


Imagen 21- Geología del Volcán Cerro Bravo, mostrando la primera y segunda caldera. El basamento de Cerro Bravo, es el Stock de Manzales. En negro, vía Manzales-Fresno a lo largo de la diagonal del recuadro, transitando por el costado Este del Volcán, y vía Delgaditas-Herveo. Fuente

<http://www.ingeminas.gov.co/>

El Volcán Nevado del Ruiz

El Edificio volcánico de este estratovolcán, que se ha construido desde el inicio del Pleistoceno, muestra tres cráteres controlados por una fractura que corta la gran Falla Palestina de dirección N15°E, alineados de este a oeste, así: La Piraña, el cráter Arenas (Principal) y La Olleta.

El Ruiz suele generar erupciones plinianas, que producen flujos piroclásticos, y estos a su vez lahares (flujos de lodo y flujos de escombros), como los que explican el desastre de Armero, ocurrido en 1985.

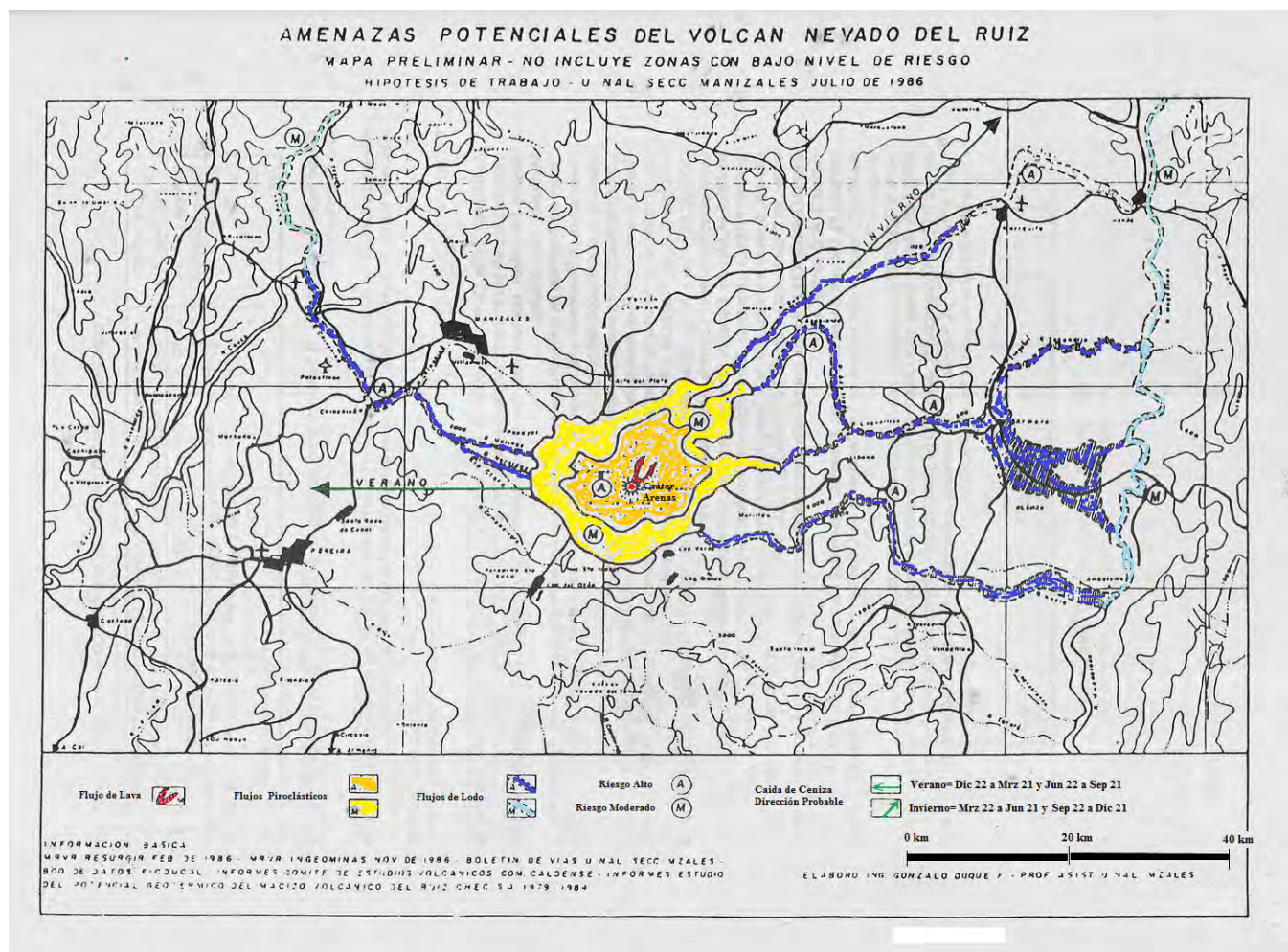


Imagen 22- Mapa de amenazas potenciales del volcán Nevado del Ruiz, no oficial. En Rojo, flujo de lava; en Amarillo, Flujos piroclásticos; en Azul Flujos de lodo; A, nivel alto; B, Nivel moderado. Flechas: Cenizas al NE luego de los equinoccios (Invierno), y al W luego de los Solsticios (Verano).

Fuente: <http://godues.wordpress.com>

Dicha erupción del 13 de noviembre de 1985, apenas alcanzó un volumen de 1/10 de kilómetro cúbico de magma, cuantía ínfima en comparación con los eventos históricos de 1595 y 1845, donde el volumen de magma superó entre 10 y 20 veces esa magnitud; pero estos, con flujos de lodo mayores a los de 1985.

El mapa de amenazas señala la probabilidad de ocurrencia de lahares, por los ríos Gualí, Azufrado, Lagunillas, Molinos, Rioclaro-Chinchiná y Recio.

También contempla caída de cenizas, así: hacia el NE, lo que resulta probable en invierno, y hacia el Oeste en verano, cuando la dirección de los vientos cambia.

Este mapa, no oficial, no contempla la erupción lateral de ángulo bajo dirigida (blast) hacia el NE, del mapa de Ingeominas, dado que se trata de un evento poco probable.

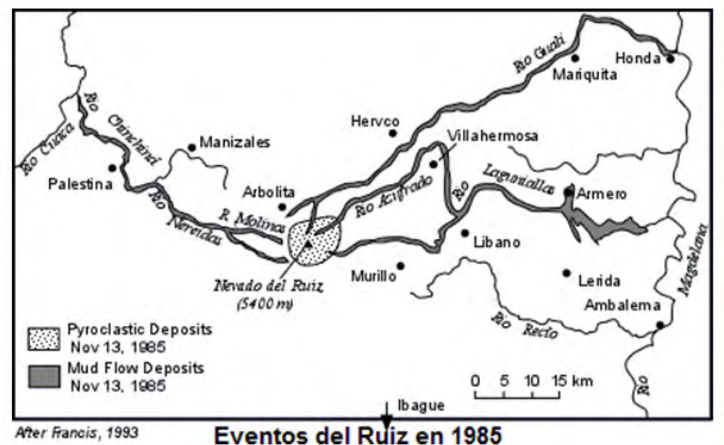


Imagen 23- El desastre de Armero: cerca de dos horas tardaron los flujos de lodo en alcanzar esta población tolimense, ubicada donde el río Lagunillas encuentra el valle de salida, tras recorrer decenas de km anunciándose con ruido en las poblaciones cordilleranas vecinas.

www.geology.sdsu.edu

En 1985 la magnitud de los lahares del Ruiz, estimados en cien millones de metros cúbicos, se incrementó por los deshielos, dada la fusión de glaciares ocasionada por riadas gasopiroclásticas y vertimiento de piroclastos: allí agua y sólidos participaron casi por partes iguales, para conformar flujos de lodo como los que arrasaron a Armero, donde se vertieron 60 millones de metros cúbicos sobre 30 kilómetros cuadrados.

Como resultado de la imprevisión, 23 mil personas perdieron la vida.

Volcán Santa Isabel

En el Santa Isabel, la amenaza más significativa son los flujos de lodo, un tema igualmente importante en el caso del Ruiz y del Tolima; pero igualmente la caída de ceniza con sus fenómenos y consecuencias colaterales.

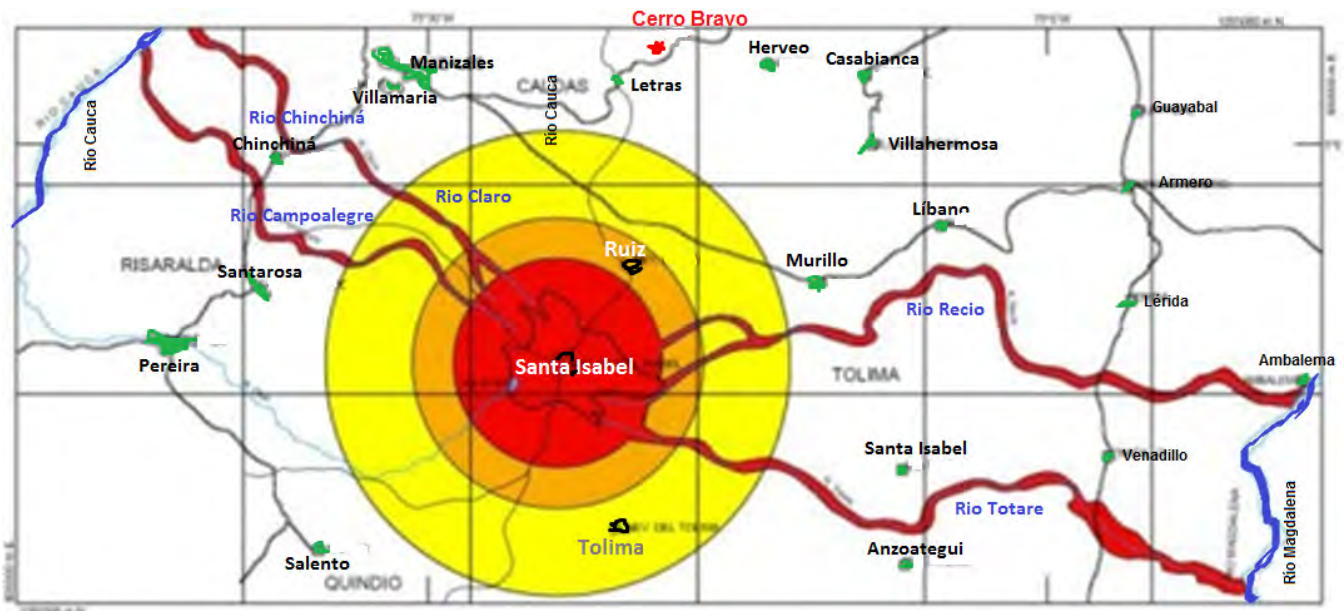


Imagen 24- Mapa de amenazas del volcán Santa Isabel. La distancia Manizales-Pereira es 34 Km y Manizales-Herveo 39 km. Obsérvense el volcán del Tolima al Sur, y los volcanes Ruiz y Cerro Bravo al norte. Fuente: (adaptado) <http://www.ingeminas.gov.co/>

Las erupciones típicas esperadas, serían plinianas a subplinianas, de columna vertical. Los ríos afectados, por el oeste, el Río Claro y Campoalegre, afluentes del Chinchiná; y por el este el Totare y el Recio, llegando los eventos hasta el Magdalena.

Volcán Nevado del Tolima

Señala Ingeominas que tanto el Tolima antiguo de estructura caldérica, como el Tolima moderno, un cono truncado de andesitas, fueron construidos en el Cuaternario. Mientras el primero se ha construido

desde el mio-pleistoceno, el Tolima moderno tiene una edad mayor de 14.000 años, similar a la del Cerro Bravo actual.

La erosión de los glaciares que abandonaron los 4000 msnm hace 14.000 años, ha permitido diferenciar las estructuras más recientes.

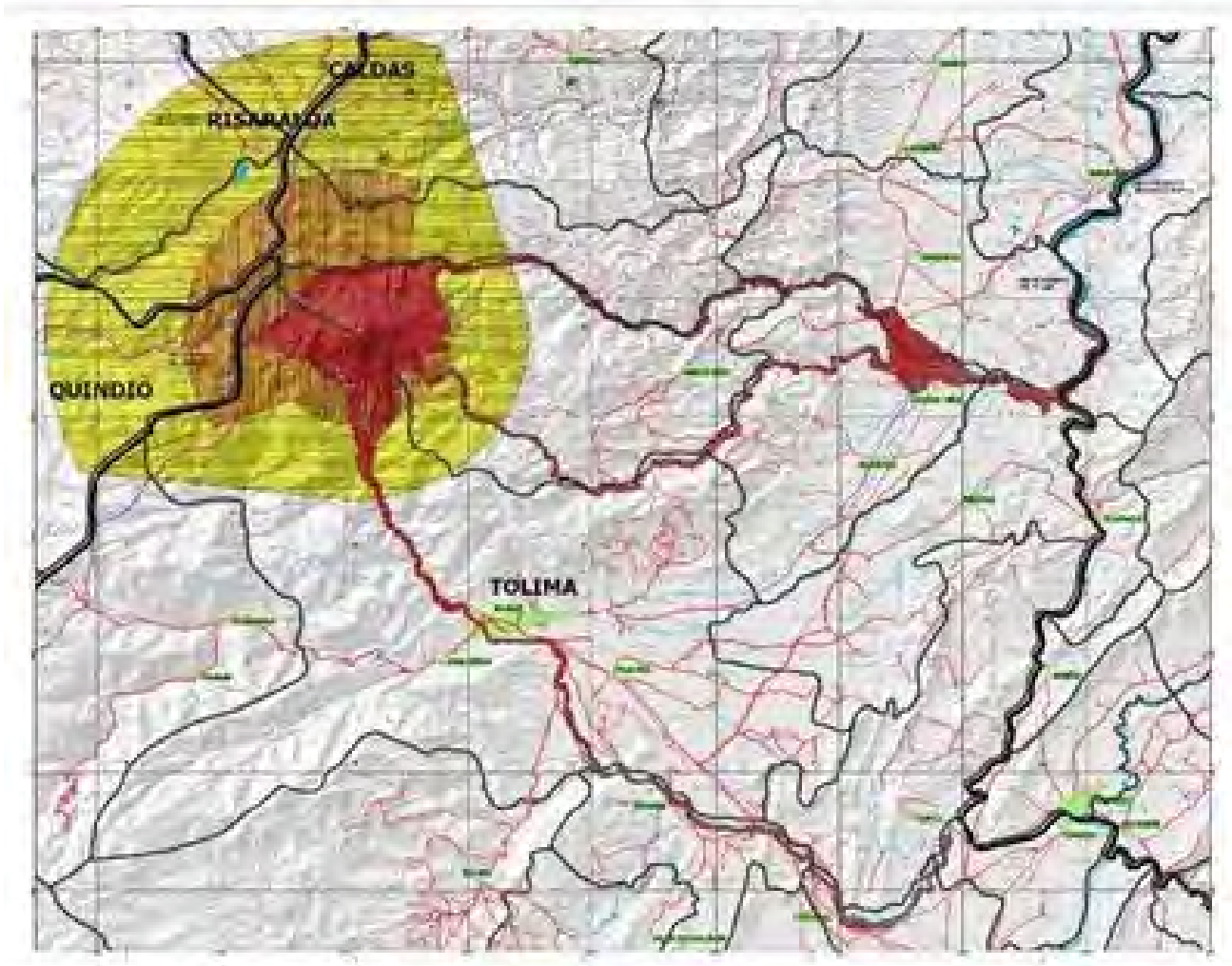


Imagen 25- Mapa de amenazas volcánicas del Tolima. En amarillo quemado y claro, los niveles de amenaza alta y media relacionados con caída de piroclastos. Fuente, Ingeominas en: <http://www.ingegominas.gov.co/>

Las erupciones inferidas por Ingeominas, han sido del tipo pliniana, con intensidades entre moderada grande, a grande, y columnas eruptivas entre 10 y 18 km de altura.

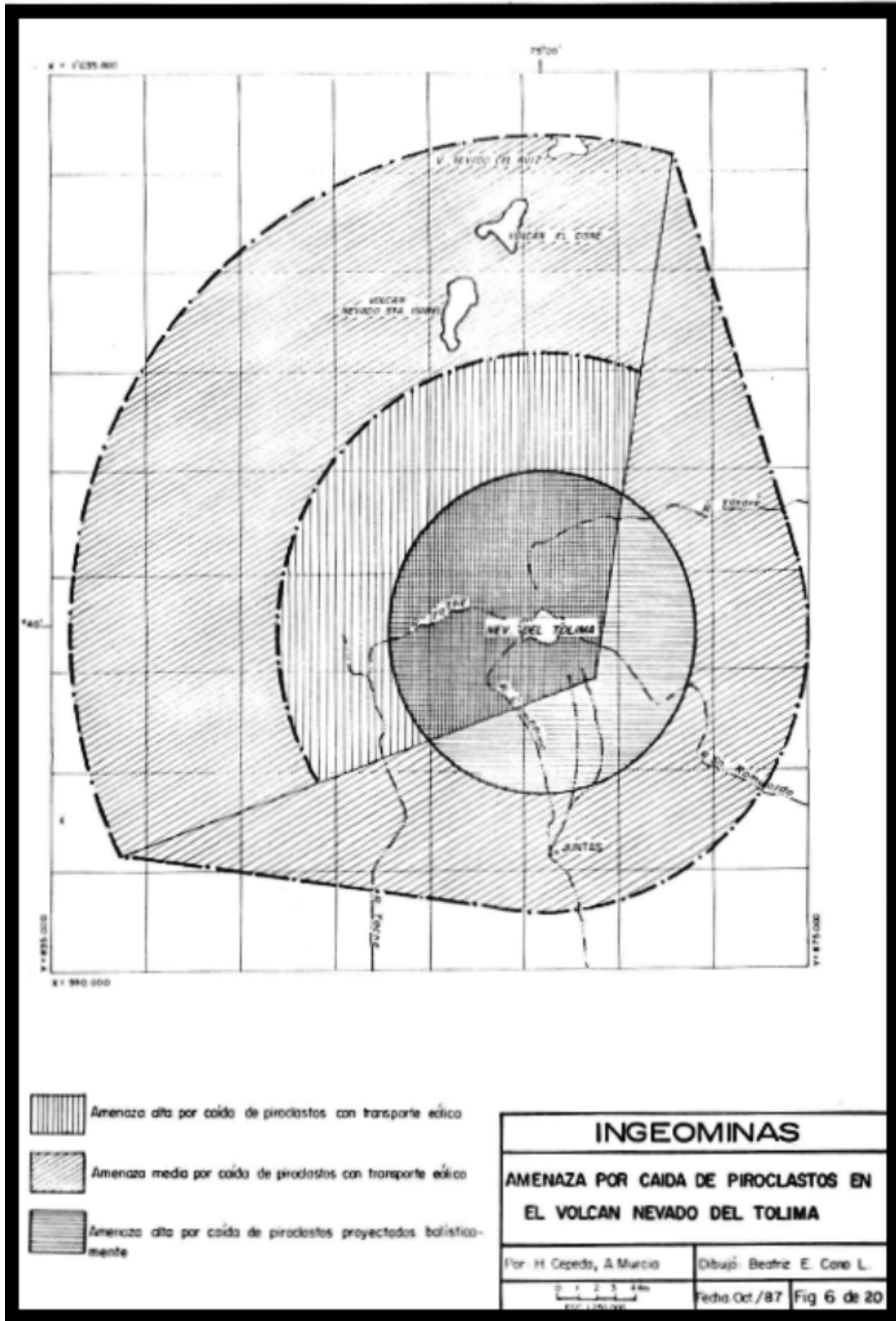


Imagen 26- Amenaza por Piroclastos de caída, en el Volcán Nevado del Tolima. Fuente <http://www.ingeominas.gov.co/>

Aunque se prevé la amenaza de lava en la zona proximal (zona alta del edificio volcánico), la mayor amenaza del Tolima se asocia a la ocurrencia de flujos de lodo en la zona distal del Volcán, (más allá de los 9 km a partir del cráter), así:

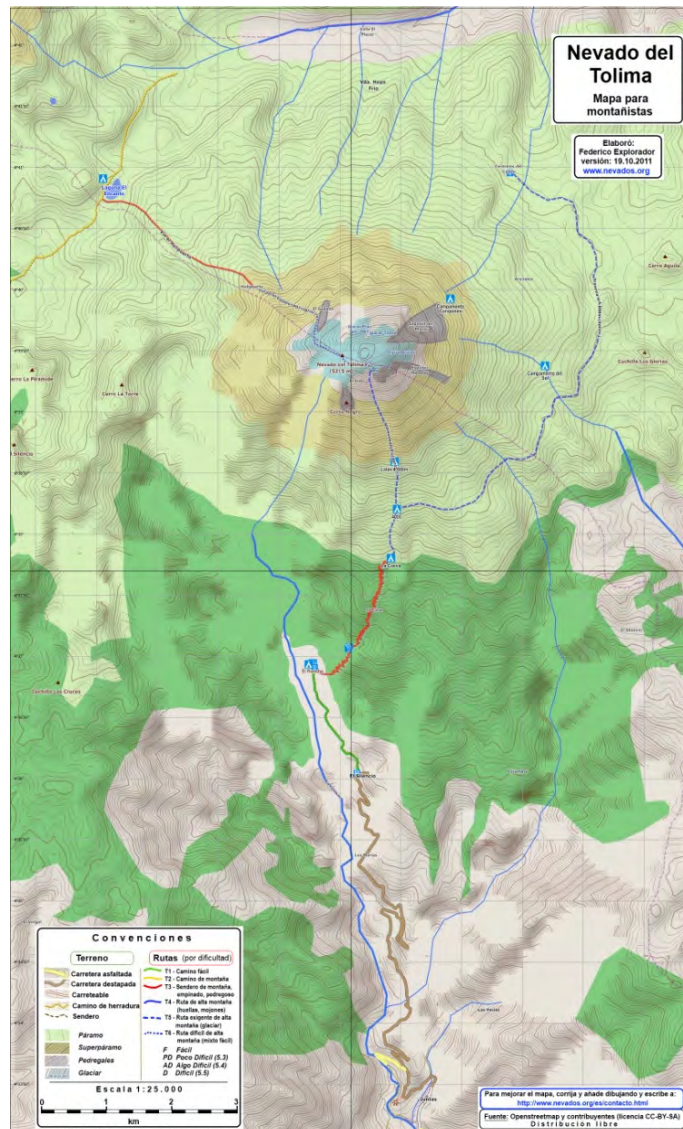


Imagen 27- Volcán Nevado del Tolima; versión para montañistas, en: <http://www.nevados.org>

Por el costado sur del Volcán Nevado del Tolima, el cañón del río Combeima, afluente del Coello, es el que presenta mayor amenaza por flujos de lodo. Por el costado norte, el drenaje principal es el río Totare.

Por el río Totare, se prevén lahares hasta el río Magdalena. Por el río San Rumualdo, flujo que continúa por el río La China, a partir de la desembocadura del San Rumualdo.

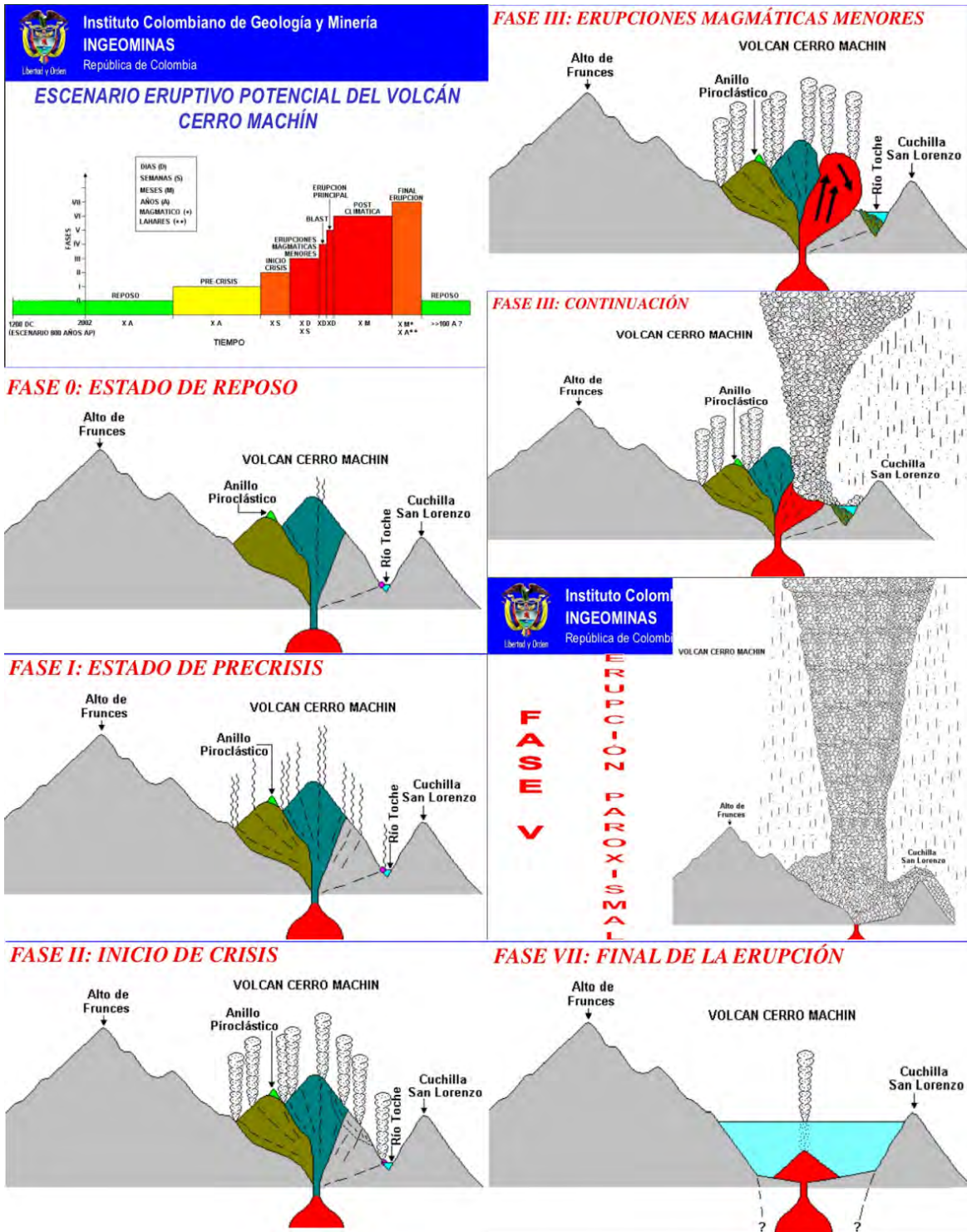
Por el río Combeima y luego por el río Coello, a partir de la desembocadura del Combeima. A la fecha, este estratovolcán activo, se encuentra en estado de reposo o estado OFF.

Volcán Cerro Machín



Imagen 28- Volcán Cerro Machín. Su última erupción fue hace unos 800 años, pero también registra un flujo piroclástico Holoceno asociado a un evento de 5 Km³ de magma. Imagen de Googol Earth (adaptada)

A los 25 años del desastre de Armero asociado a la erupción del Volcán Nevado del Ruiz, Colombia ha tenido avances, pero igualmente enfrenta retos como la amenaza volcánica del Cerro Machín, que gravita fuertemente en poblados como Cajamarca y otros más del Tolima: ¿qué hacer y cómo hacerlo?



Escenarios eruptivos potenciales del Volcán Cerro Machín

Imagen 29- Escenarios eruptivos potenciales del Volcán Cerro Machín, según Ricardo Arturo Méndez, Gloria Patricia Cortez y Héctor Cepeda- ; Ingeominas. Fuente, <http://www.slideshare.net>

Colombia ha priorizado tres posibles desastres naturales como objetivos de una estrategia de prevención: la erupción del Cerro Machín, un terremoto en Bogotá, y un tsunami del Pacífico.

El Volcán Machín, se encuentra en la ladera oriental de la Cordillera Central, al sur del complejo volcánico Ruiz – Tolima, y a una distancia en línea recta: de 7 Km al nororiente de Cajamarca, de 17 Km al noroccidente de Ibagué, y de 32 Km al suroriente de Armenia. Cajamarca se localiza sobre la vía Ibagué Armenia.

La mayor amenaza volcánica de Colombia, está en el Cerro Machín, donde los poblados vecinos de Cajamarca y Anaime quedarían sin opción frente a eventuales flujos piroclásticos, de conformidad con lo que señala el mapa de amenazas elaborado por Ingeominas.

En caso de erupción, la columna eruptiva sería de colapso como en el caso de cerro bravo, dado el coeficiente explosivo intermedio alto de su magma.

A lo anterior se suma el alcance espacial de los flujos de lodo del volcán tolimense, que llegarán al valle el Magdalena, así éste volcán de lavas explosivas, no tenga nieve.

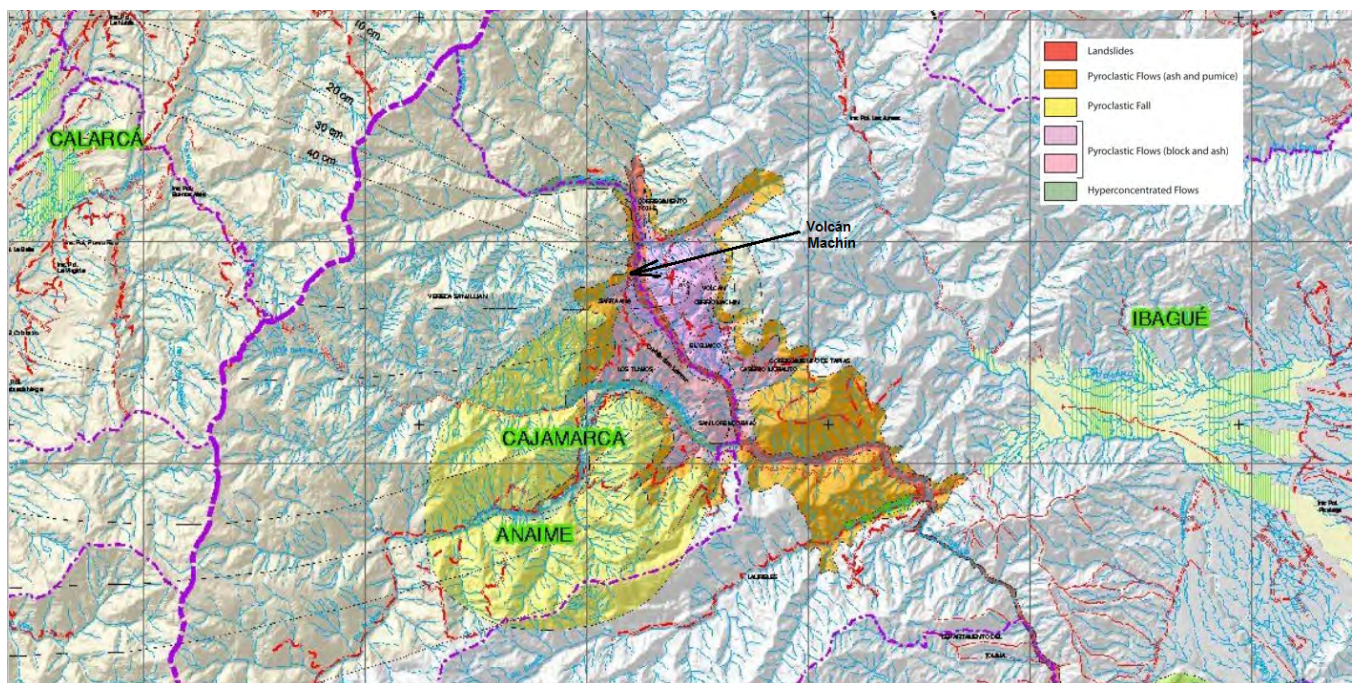


Imagen 30- Extensión probable de los eventos piroclásticos, de conformidad con el Mapa de Amenaza Volcánica del Cerro Machín. Fuente, Ingeominas.

La caída de ceniza proveniente del Machín, probablemente afectaría el sector occidental, alcanzando varios municipios del Quindío, como Armenia, Pijao y Salento, entre otros.

Epílogo: por una sostenibilidad con la vida

La subregión Centro Sur de Caldas habitada por 500 mil habitantes de cinco municipios, se localiza en el entorno NW del segmento volcánico más septentrional de la Cordillera Central de los Andes colombianos, donde aparecen los volcanes Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima y Cerro Machín.

Como respuesta al valioso aporte de los científicos del Observatorio Vulcanológico de Manizales adscrito al Ingeominas, el modelo de ocupación del territorio en esta fracción de la ecorregión cafetera, debe responder ejemplarmente a los desafíos ambientales por el riesgo volcánico que aquí se presenta.

Las acciones de prevención y mitigación del riesgo volcánico, deben ir de la mano con una gestión integral del riesgo, en la que entren los temas fundamentales del medio tropical andino.

Aunque se reconocen los esfuerzos hechos por mejorar la seguridad de Manizales y de los municipios en el área de influencia del Volcán Nevado del Ruiz, frente a una eventual erupción, definitivamente no estamos preparados para un sismo superficial similar al de Popayán (1983) o el Quindío (1999), y menos para enfrentar los desafíos por la amenaza volcánica de Cerro Bravo.

Lo anterior demanda, además de velar por la solución estructural de los usos conflictivos del suelo en las cuencas, y el reforzamiento sísmico de líneas vitales y edificios públicos, dos escenarios donde se han dado acciones importantes, iniciar un plan de exposición al riesgo volcánico frente a la amenaza de Cerro Bravo.

Para lo anterior, urge intensificar acciones en el marco de una política pública ambiental que considere la gestión integral del riesgo a partir de la planificación anticipada, donde se contemplen además de la amenaza por el calentamiento global y la mitigación de la vulnerabilidad a las amenazas sísmica y volcánica, la investigación e instrumentación de las amenazas naturales, y las acciones para elevar la capacidad de respuesta de las instituciones y de la propia población, partiendo de la capacitación de las comunidades para los asuntos ambientales y el empoderamiento del territorio.

Gracias

La anterior presentación es una adaptación del documento “*Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales*” (2012), publicado en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6544/> para ser utilizada con propósitos académico en la divulgación científica, e incorporar en ella elementos relacionados con la amenaza volcánica.



Imagen 31- Volcán Nevado del Ruiz, visto desde La Manuela, en el costado occidental. Fotografía de Jaime Duque.

Fuentes bibliográficas

Amenazas naturales en los Andes de Colombia, Duque Escobar, Gonzalo (2007),
en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1579/>

Antes que La Colosa a galerizar Cajamarca. Duque Escobar, Gonzalo (2010).
En <http://www.bdigital.unal.edu.co/2408/>

Armero 25 años... el desastre y la erupción del Ruiz de 1985: las lecciones del Ruiz a los 25 años del desastre de Armero. Duque Escobar, Gonzalo (2010) In: Conmemoración 25 años de la erupción del Ruiz. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2281/>

Aspectos geofísicos de los Andes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2009), en:
<http://www.galeon.com/geomecanica/alturas.htm>

Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia. Héctor Cepeda Vanegas, Marta L Calvache, Núñez Alberto, Ricardo A Méndez Fajuri, Héctor Mora, Henry Villegas (2000). INGEOMINAS, Colombia.

Calentamiento global en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2011), en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/>

Catálogo de Volcanes Activos de Colombia. Ricardo Arturo Mendez Fajury (1989) Boletín Geológico – Ingeominas ISSN: 0120-1425. Colombia.

Catálogo de Unidades Litoestratigráficas de Colombia: Formación Machín. Ricardo Arturo Mendez Fajury (2002). Revista Ingeominas ISSN: 0121-8425. Colombia.

Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. Hans Jurgen Meyer y Andrés Velásquez. OSSO. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993.

Diálogos con el Territorio y Gestión del Riesgo Natural. Duque Escobar, Gonzalo,
en: <http://godues.wordpress.com/2013/05/29/>

¿Dónde está la gestión planificadora del riesgo volcánico? Duque-Escobar, Gonzalo
(2008) <http://godues.wordpress.com/2008/11/14/>

El Machín: la mayor amenaza volcánica de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo
(2008) <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/el-machin.pdf>

El vulcanismo moderno en Los Andes de Colombia. Héctor Cepeda Vanegas (1987). INGEOMINAS. I Seminario Gerardo Botero Arango sobre la Geología de la Cordillera Central de Colombia. Ponencia. (Memorias).

Emergencia e imprevisión, Duque Escobar, Gonzalo (2011)

en:<http://godues.wordpress.com/2011/10/24/>

En el borde del caos. 2000. WILCHES-CHAUX, Gustavo. Fondo Nacional Ambiental & Fundación para la Comunicación Popular FUNCOP CAUCA, Ed. Casa Pensar (U.J.).

En el Volcán Nevado del Huila: incertidumbre y éxodo. Duque Escobar, Gonzalo (2007). En:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1598/>

Estilos Estructurales De Los Terrenos De Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2007).

<http://godues.blogspot.com/2007/12/estilos-estructurales-de-los-terrenos.html>

Fase Prospectiva Del Poma De La Cuenca Del Río Guarinó, Duque Escobar, Gonzalo and Ortiz Ortiz, Doralice (2009). Corporación Aldea Global-CorpoCaldas. ()<http://www.bdigital.unal.edu.co/1696/>

Geología y amenazas naturales para el plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Guarinó. Carlos Borrero. Julio de 2009. Documento de diagnóstico para la Fase Prospectiva del POMA de la Cuenca del río Guarinó. CORPOCALDAS.

Geomecánica de las laderas en Manizales. Duque Escobar, Gonzalo y Duque Escobar Eugenio (2007),

en: <http://www.galeon.com/godues/godues.htm>

Gestión del riesgo en Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012).

En<http://godues.wordpress.com/2012/06/21/>

Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo

(2008)<http://www.bdigital.unal.edu.co/1699/>

Intimididades del Ruiz para un examen de la amenaza volcánica. Duque Escobar, Gonzalo (2012)

<http://godues.wordpress.com/2012/03/19/intimididades-del-ruiz-para-un-examen-de-la-amenaza-volcanica/>

Investigación Geotérmica del Macizo Volcánico del Ruiz. Central Hidroeléctrica de Caldas, CHEC (Marzo de 1983). Consultoría de Contecol Ltda. Mapa Geovulcanológico: Escala del Original 1: 25.000. Mapa base de Ingeominas.

Kagoshima International Conference on Volcanoes. 1988. Kagoshima Prefectural Government. Nira, Jica, Volcanological Society of Japan, IAVCEI.

Publicaciones Insugeo: Conicet y Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. En:
<http://www.insugeo.org.ar>

La amenaza volcánica y la gestión del riesgo, en la planeación y ordenamiento del territorio de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2008) En:<http://godues.blogspot.com/2008/02/la-amenaza-volcnica-y-la-gestin-del.html>

La inestable Tierra. BOOTH-FITCH. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.

La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas. TOUSSAINT, Jean Francois. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia, 1994.

La previsión en la gestión del riesgo volcánico. Duque Escobar, Gonzalo (2012)
<http://www.bdigital.unal.edu.co/6367/>

La Tierra en movimiento. GRIBBIN, John. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.

La Tierra planeta vivo. CASQUET-MORALES, Et al. Colección Salvat. España, 1985.

Logros y retos tras 25 años del Observatorio Vulcanológico de Manizales, Duque Escobar, Gonzalo (2011), en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3390/>

Lessons from Some Recent Earthquakes in Latin America. ESTEVA, L., RASCON, O y GUTIERREZ, IV Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica . 1969.

Los Desastres No Son Naturales. Omar Darío Cardona, en:
<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>

Manizales frente a la coyuntura volcánica. Duque Escobar, Gonzalo (2012)
<http://www.bdigital.unal.edu.co/6291/>

Manizales: política pública ambiental y gestión del riesgo. Duque Escobar, Gonzalo (2012)
<http://www.bdigital.unal.edu.co/6523/>

Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del Nevado del Tolima, Colombia, S. A. Héctor Cepeda Vanegas y Luis A Murcia. (1988) Boletín Geológico – Ingeominas ISSN: 0120-1425.

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo. U.N. de Col. Manizales, 1998.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales. CIMOC -Alcaldía de Manizales, 2002.
http://www.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/descargas/microzon/informe_final.pdf

Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. OPS. Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. PAHO, 1997.

Notas sobre sismos y volcanes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2012)
En:<http://godues.wordpress.com/2012/05/21/>

Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. José Luis Naranjo. Universidad de Caldas. Manizales 2005.

Organización de los servicios de salud para situaciones de desastre. OPS- Disaster Management Center. University of Wisconsin. Washington 1975

Planeación preventiva y cultura de adaptación ambiental. Duque Escobar, Gonzalo (2011). En:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/3458/>

Prediagnóstico de aspectos geológicos. Michel Hermelín y Andrés Velásquez. Inédito. Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales. Medellín1985.

Pyroclastic rocks. Robert I. Tilling, Geologist, Branch of Igneous and Geothermal Processes, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, en: <http://www.accessscience.com>

Red Sismológica Regional del Eje Cafetero, Viejo Caldas y Tolima, ISSN 0123-9074, vol. 6, Número 1, año 2001.

Riesgo en zonas andinas por amenaza volcánica, Duque Escobar, Gonzalo (2006), en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/1679/>

Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. Duque Escobar, Gonzalo. CISMID – JICA. Lima 1995. En: <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/amenaza.pdf>

Rocas ígneas. Manual de geología para ingenieros. Capítulo 07-, Duque Escobar, Gonzalo (2003), en:
<http://www.galeon.com/manualgeo/geo07.pdf>

Seis diálogos con el territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2012).
En:<http://godues.wordpress.com/2012/05/13/>

Sismos y volcanes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2010)
<http://www.bdigital.unal.edu.co/1685/>

Temas de ordenamiento y planificación del territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2012)

<http://godues.wordpress.com/2012/01/27/>

Túnel Manizales. Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2010) In: XIII Congreso Colombiano de Geotecnia, SCG – U.N. de Colombia, 21-24 de Sep 2010, Manizales.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/2046/>

Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo por sismos, volcanes y laderas.

Duque Escobar, Gonzalo (2012)<http://www.bdigital.unal.edu.co/6497/>

Volcanic hazard maps of the Nevado del Ruiz volcano. Héctor Cepeda Vanegas y Eduardo Parra P. (1989) Journal Of Volcanology And Geothermal Research ISSN: 0377-0273. Ed: Elsevier. USA.

Volcanes.... Duque Escobar, Gonzalo (2012). En:<http://godues.wordpress.com/2012/05/13/volcanes/>

Volcanoes. Gordon A. Macdonald. University of Hawaii. Prentice Hall, Inc 1971.

Volcanoes. Williams and McBirney. Freeman, Cooper & Co. San Francisco CA USA. 1979.

Vulcanismo. Manual de geología para ingenieros. Capítulo 06-, Duque Escobar, Gonzalo (2003), en:

<http://www.galeon.com/manualgeo/geo06.pdf>



Gonzalo Duque Escobar: Profesor de la Universidad Nacional de Colombia desde 1976, Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geofísica aplicada, Mecánica de suelos y Economía avanzada. Ex-Presidente de la Red de Astronomía de Colombia 2004-2006, Director del Observatorio Astronómico de Manizales OAM y del Museo Interactivo SAMOGA, y Miembro de la SMP de Manizales y del Centro de Historia de Manizales. [Http://godues.wordpress.com](http://godues.wordpress.com)