



“SISMOS Y VOLCANES EN EL EJE CAFETERO: CASO MANIZALES”



Cortesía: Jair Ramirez



Gonzalo Duque-Escobar *
Universidad Nacional de Colombia
Manizales, 2 y 3 de Mayo de 2/1012

Introducción

Este es un material preparado desde la UN para el trabajo en prevención de desastres de origen sísmico y volcánico, en el caso de Manizales.

Fundada en 1849, Manizales es una ciudad de 400 mil habitantes, ubicada en el centro occidente de Colombia, sobre la Cordillera Central de los Andes y cerca del Volcán Nevado del Ruiz y de Cerro Bravo.

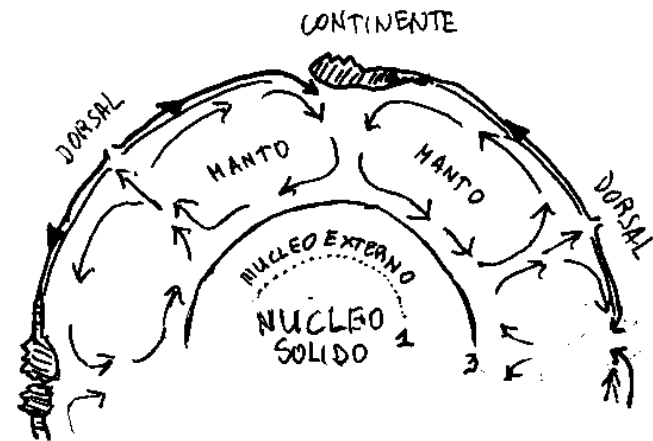
Consciente de la amenaza sísmica y volcánica, y de los eventos hidrometeorológicos propios del clima tropical andino, la UN por intermedio del IDEA ha mantenido un programa para facilitar una gestión del riesgo, que requiere ser apropiada por la sociedad civil.

Manizales está ubicada en una zona donde los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995, ponen en evidencia una fuente sísmica con eventos profundos cada 15 o 20 años generadora de sismos de magnitud cercana a 7 grados, en la zona de subducción.

Pero las fallas del sistema Cauca-Romeral son otra fuente que merece mayor consideración, dadas las devastadoras consecuencias de los sismos de Popayán 1983 y Quindío 1999, capaces de producir eventos superficiales de magnitud 6, de mayor intensidad para los que falta mayor nivel de preparación. Pero también Cerro Bravo y el Ruiz ameritan una planificación de cara al riesgo volcánico.

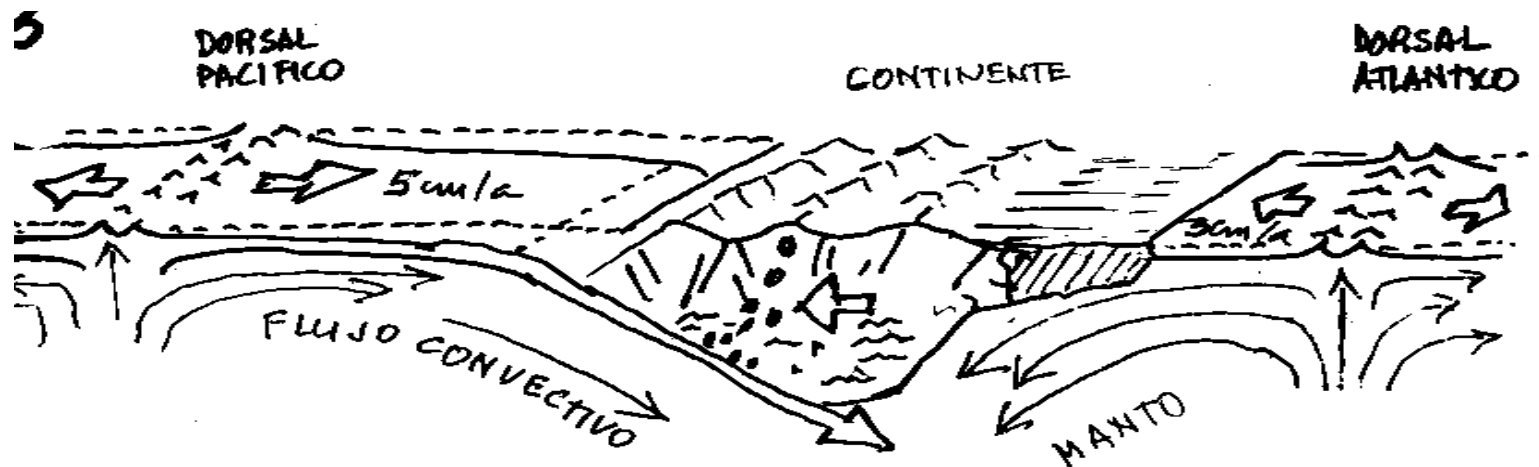
El planeta tierra

- 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

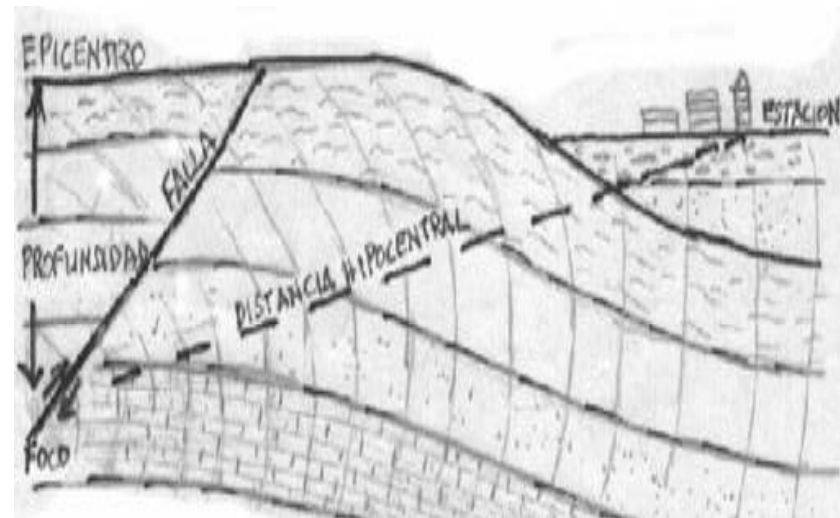
- La corteza de la Tierra, se regenera y destruye, conforme se mueve a modo de banda transportadora impulsada por las corrientes de convección del manto plástico. Las rocas de los fondos oceánicos de Fe y Mg son mas pesadas, por lo que los continentes constituidos de Si y Al, al resultar mas livianos cabalgan las anteriores que las subducen y les permite permanecer en el tiempo.
- Las placas tectónicas surgen en las dorsales y se destruyen en las zonas de subducción, donde regresan al manto para fundirse de nuevo. De ahí que su antigüedad a lo sumo llegue a 150 millones de años, mientras 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.



Parametros De Un Sismo

1 Estáticos. La profundidad del sismo, el hipocentro o foco del evento, el epicentro que es el lugar de la superficie localizado sobre el foco, la distancia focal y la epicentral, que son las distancias del hipocentro y epicentro a la estación.

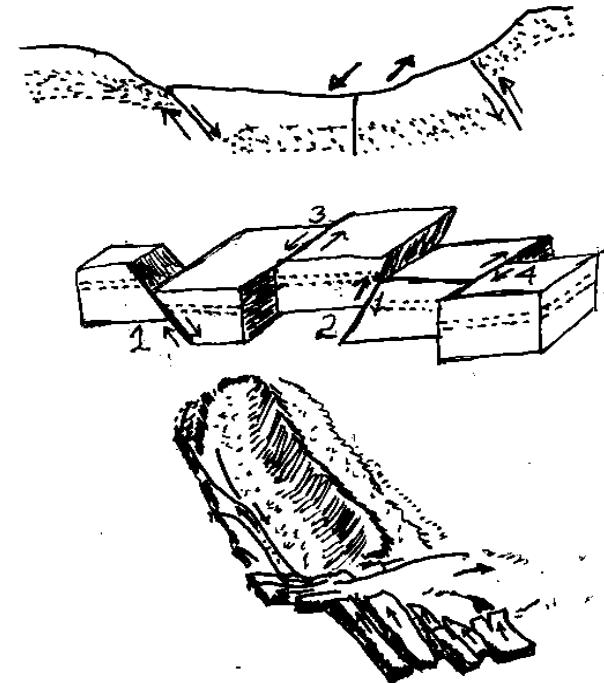
2 Dinámicos. Fecha y hora del evento, la duración y la amplitud del movimiento, la intensidad que alude a los daños ocasionados, y la magnitud que alude a la energía liberada en el foco.



Cada ciudad debe conocer sus fuentes sísmicas, lo que supone saber su localización y sismos característicos con sus períodos de retorno y magnitudes probables, asunto importante para la gestión del riesgo, tarea para la cual los suelos son definitivos al definir la tipología adecuada de las construcciones.

Sismos del Sistema Cauca – Romeral

- Son sismos **Intraplaca** o de fallas geológicas que se dan en el interior de la placa continental, cuando la energía se libera por sus zonas más débiles como las fallas del plegamiento cordillerano.
- Por ser superficiales, son los más destructivos aunque se dan a menos de 70 km de profundidad.
- Ejemplo Popayán 1983 y Quindío 1999, dos eventos asociados al Sistema de Fallas Romeral, el mega-trazo que va desde Nariño a Montería.
- En la provincia sismo-tectónica que va del Nudo de los Pastos al sur de Antioquia, el Sistema de Fallas de Romeral, después de Popayán y Armenia podría liberar su energía en sectores vecinos a Cali o Manizales, solo que no conocemos lo ocurrido en los inicios del siglo XIX.

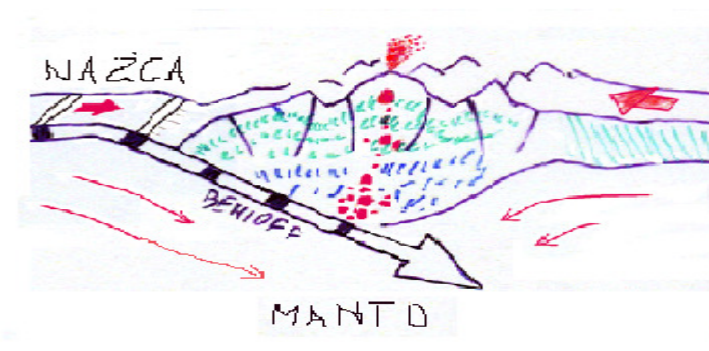
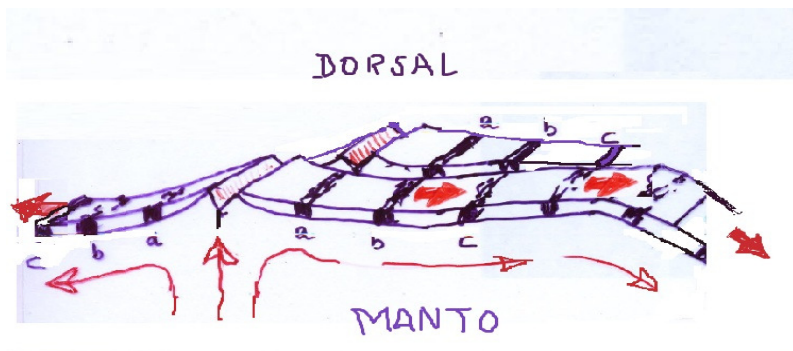


En la imagen media se pueden diferenciar cinco bloques sometidos a compresión (2), cortante (3 y 4) y tensión (1).

Sismos de la zona de subducción de Nazca

Son los sismos **Interplaca**, típicos de la base de la Cordillera Occidental de Colombia, con profundidad entre 70 y 100 km; tienen la mayor energía aunque por resultar profundos el efecto en superficie es tenue pero extenso, pues se sienten en toda Colombia.

Se relacionan con la fricción en el Plano de Benioff en el contacto de la Placa Tectónica de Nazca con la Placa de Sudamérica, cuando la primera regresa para fundirse en el manto de la Tierra, o por tensiones acumuladas del empuje del continente hacia el Pacífico.



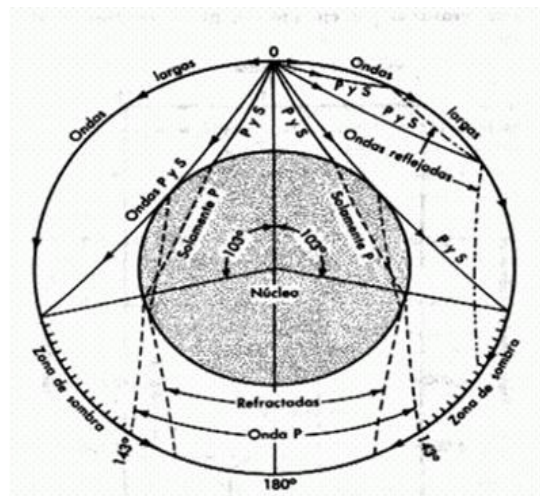
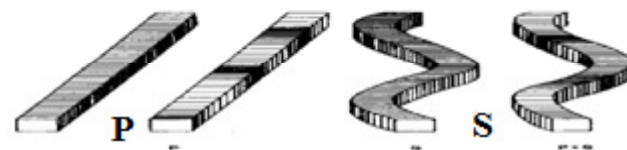
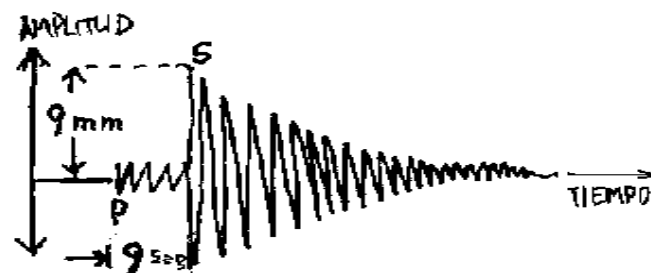
Esa imagen permite dos cosas: diferenciar el **vulcanismo efusivo** de las dorsales, **del explosivo** de los ambientes continentales sobre la zona de subducción: allí a decenas de km de profundidad donde crecen la presión y la temperatura, al caer la presión se funden las rocas e inicia un proceso de fusión y reemplazamiento que le permite al **magma en ascenso** a través de un medio plástico, incrementar su contenido de sílice y con el su viscosidad como factor de explosividad (Fig. Der.).

Ondas Sísmicas I

Pueden ser **ondas de cuerpo** o interiores como las ondas P y S, y **ondas superficiales** como las ondas R y L. Los efectos desastrosos que se producen se llaman sacudidas y cualquiera que sea su intensidad, pueden ser bruscas u ondulatorias.

Veamos las ondas de cuerpo.

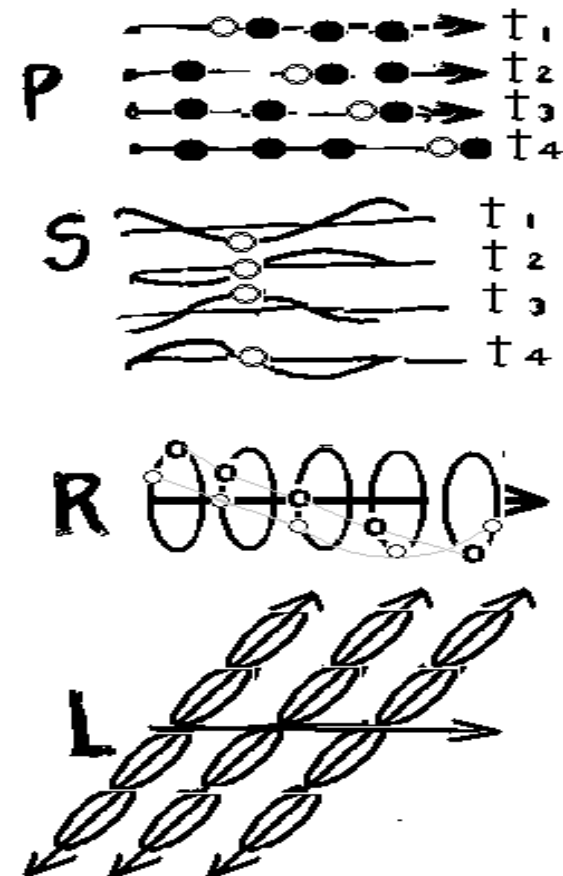
- Las **ondas P** son de compresión y en ellas las partículas se desplazan en la dirección del movimiento; son las ondas más rápidas.
- Las **ondas S** o de corte, llegan de segundas, y en ellas las partículas se mueven en dirección transversal al movimiento; estas hacen más daños por su mayor amplitud y no se propagan en el agua.
- La diferencia de tiempos de arribo entre **P** y **S**, de interés para saber la distancia entre la estación y el foco, y la amplitud máxima de la primera **onda S** para la magnitud del sismo.



Ondas Sísmicas II

Ahora, veamos las ondas que se generan en superficie.

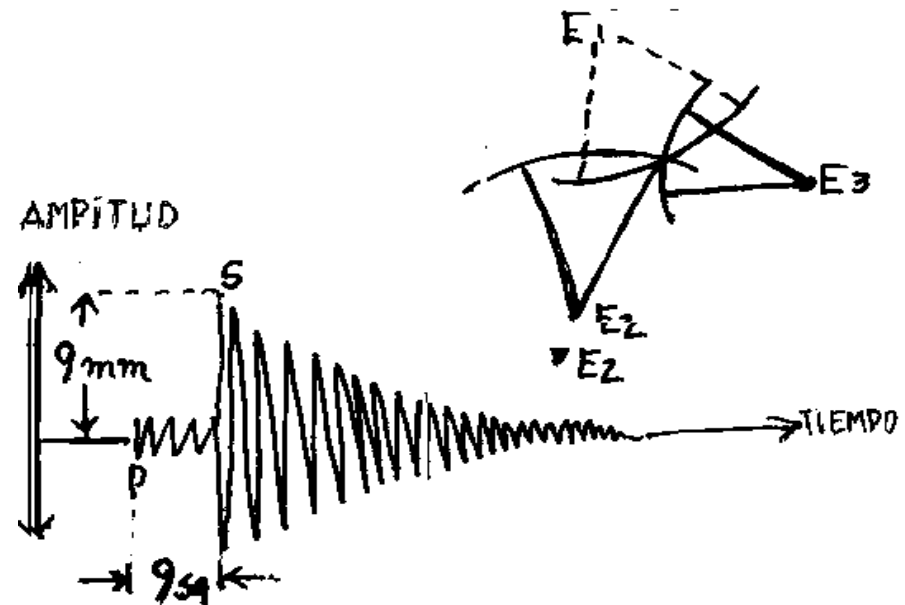
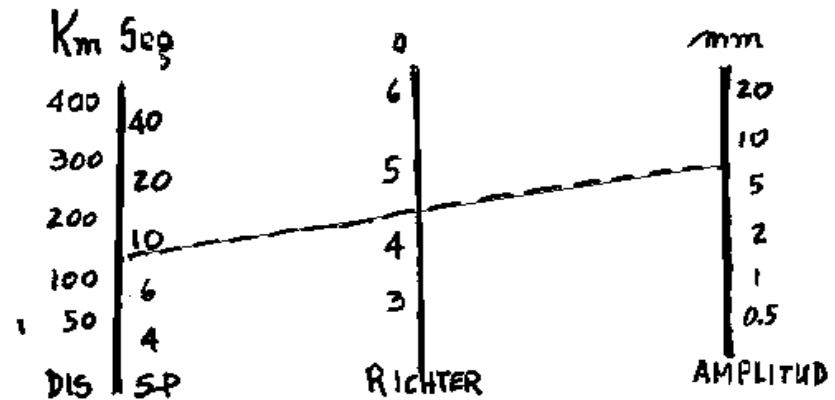
- **Ondas superficiales:** después de las ondas anteriores llegan las ondas Rayleigh (R) y las Love (L), generadas únicamente por la superficie del suelo o del agua.
- En las **ondas R** las partículas se mueven describiendo elipses verticales orientadas en la dirección del movimiento; en estas ondas, si el medio es sólido la partícula retrógrada arriba y avanza abajo; en líquidos lo contrario.
- En las **ondas L** las elipses están en un plano horizontal y avanzan por la superficie del suelo, transversalmente a la dirección del movimiento.



Ondas Sísmicas III

El cálculo del **epicentro** se hace triangulando las distancias que se obtienen a partir de la diferencia de tiempos en el registro de las ondas S y P, en tres sismógrafos ubicados en tres ciudades distantes, E1, E2 y E3. Aquí la profundidad del **foco** tiene que ser despreciable.

Obsérvense en el sismograma la diferencia de **amplitud** (9 mm) y de **tiempo de arribo**, entre P y S (9 seg). Ambas variables resultan de importancia para estimar **la magnitud** del sismo en la escala Richter, como se muestra en la interpolación gráfica de la figura superior.



La Intensidad Mercalli modificada

- Alude a **los daños** y depende de la calidad de la construcción y tipo de suelo en que se cimienta, además de la distancia al foco y magnitud del sismo, por lo que un mismo sismo puede mostrar **diferentes intensidades, incluso en una misma ciudad.**
- La **Escala de Intensidades** tiene 12 grados:
 - I. Si sólo lo registran los instrumentos y algunos animales.
 - III. Si sólo se siente en edificios; las lámparas se balancean.
 - VI. Sentido por toda la gente. Caen objetos de la estantería.
 - IX. Si produce pánico y daños. Cae mampostería, revienta tuberías, etc..
 - XII. Destrucción total. Es el límite superior de la escala Mercalli.



Intensidad XII en el terremoto del Quindío de 1999, en: tecnovet.uchile.cl

La Magnitud de Richter

- Depende de **la energía en el foco**, por lo que cada sismo tiene una sola magnitud.
- **Magnitud cero** si la amplitud instrumental en un sismógrafo patrón, ubicado a 100 kms del foco, es 10^0 micras, es decir de una micra. Magnitud 3 si es de 10^3 micras o sea de 1 milímetro; magnitud -2 si esa magnitud es de 10^{-2} micras.
- **Entre una y otra magnitud**, la energía varía 31.5 veces; entre $m= +5$ y $m= +7$ se incrementa $(31.5)^2$ o sea unas 1000 veces, por ser una variación para dos grados de magnitud.

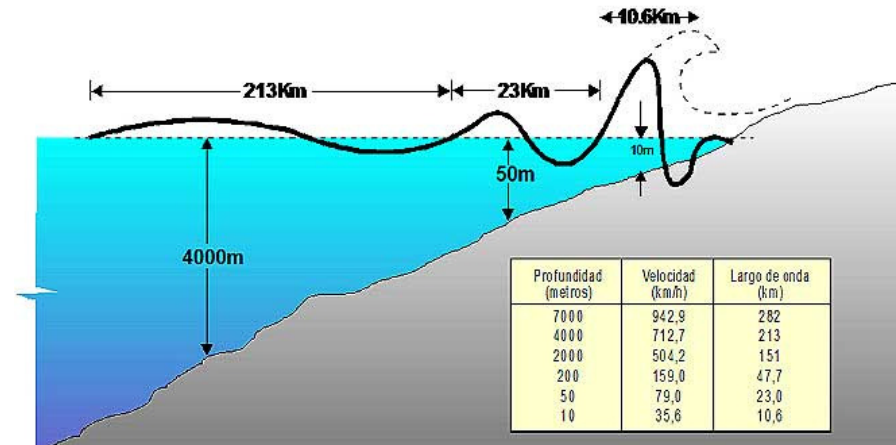
Un sismo superficial de Magnitud 6, puede hacer mas daños que uno profundo M7, a pesar de tener más energía.



Mientras la Cordillera Central es de edad Paleozoica, la occidental es Mesozoica y la Oriental Terciaria. Capas plegadas de rocas formadas a partir de sedimentos vertidos a los fondos oceánicos, en Cajamarca, Colombia. Fotos personales.

El maremoto o tsunami

- Los sismos que se producen en el fondo oceánico, pueden causar “maremotos” cuando los bloques rocosos se desplazan verticalmente en una falla.
- En mar abierto la perturbación transmitida al agua es rápida de onda larga y poca altura, pero en aguas poco profundas la ola gana amplitud o altura, y pierde longitud de onda y velocidad.

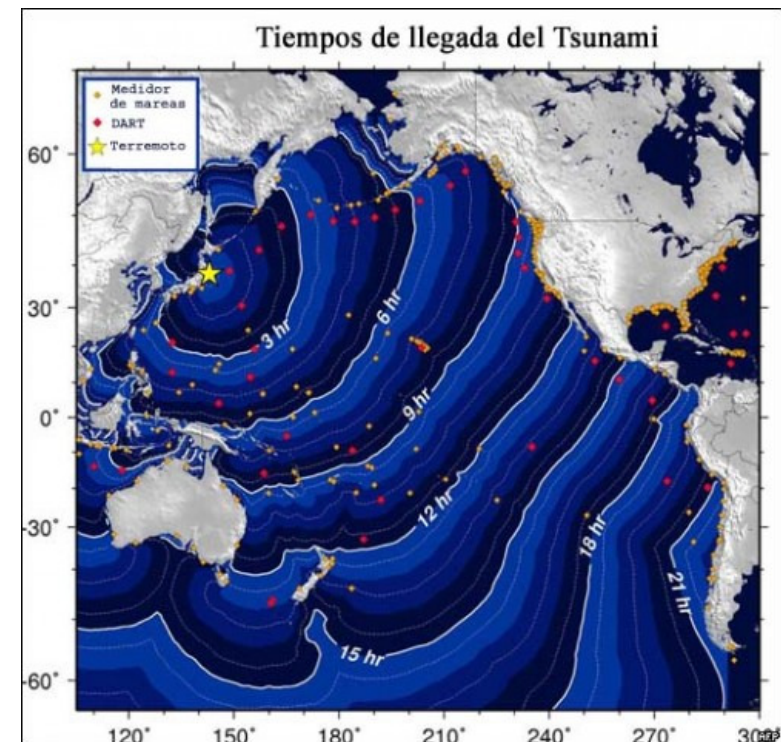


Imágenes:

Derecha, albertovilches.com;

lqz-Superior, andezasporvalparaiso.blogspot.com ;

lqz-Inferior, noticias.lainformacion.com



Estudio Del Riesgo

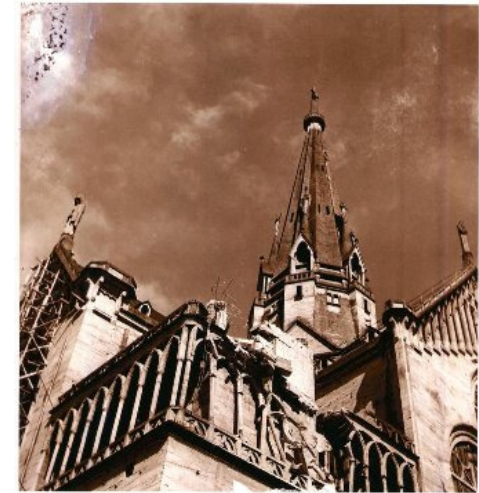
- Riesgo:** Posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un sismo fuerte, dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.
- Amenaza:** Sismo perjudicial con un cierto nivel de magnitud y alcance espacial, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

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

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

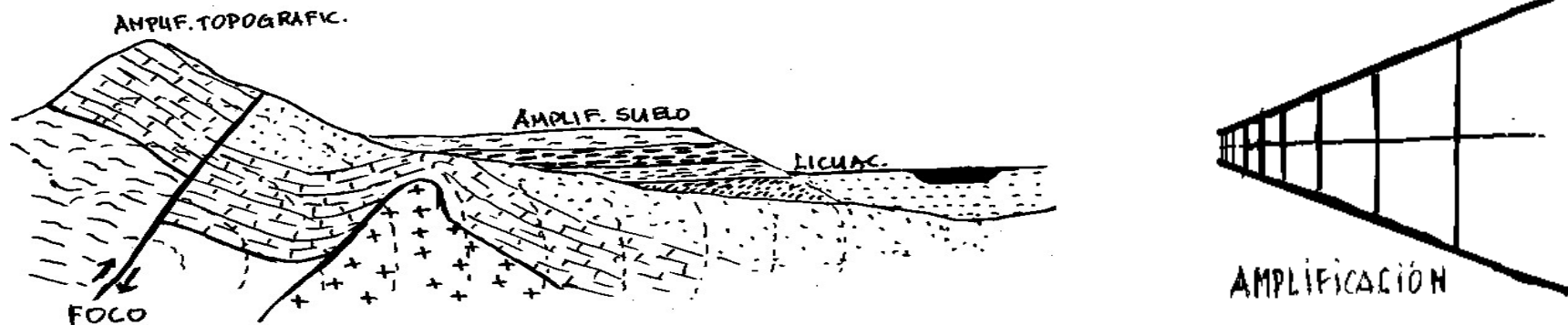
Siendo **la vulnerabilidad** el factor de riesgo que tiene en cuenta la fragilidad de las personas y de los bienes expuestos.

La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica.



Imágenes de una torre menor de la Catedral de Manizales, colapsada en el sismo de 1962. Centro de Historia de Manizales

Amplificación Sísmica

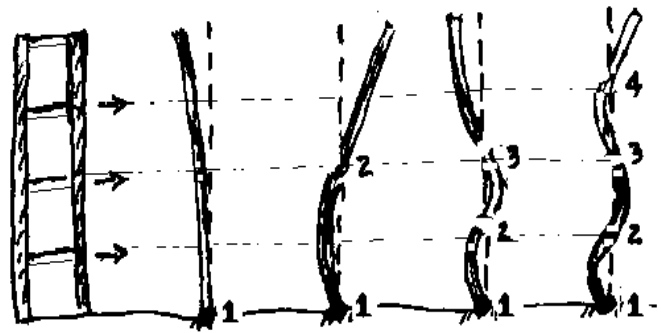


Pero el tipo de suelo y la topografía, modifican la amplitud de las sacudidas. Un frente de ondas **en la roca** suele tener altas frecuencias y alta energía. Cuando las ondas pasan de las rocas a los suelos blandos, se amplifican: baja la frecuencia y aumenta la amplitud de las sacudidas, pues la energía trata de conservarse (imagen derecha)

En **depósitos mal consolidados**, de más de 10 m de espesor como los rellenos las vegas de los ríos, en depósitos de cenizas volcánicas y valles de antiguos lagos, la intensidad del terremoto (E. Mercalli) puede incrementarse en un grado, e incluso en medio grado más si el nivel freático es superficial.

Sobre las colinas relativamente pronunciadas, por efectos de la esbeltez de la montaña, la fuerza sísmica puede incrementarse hasta en un 50%: esta es la amplificación topográfica.

Fenómeno de resonancia I

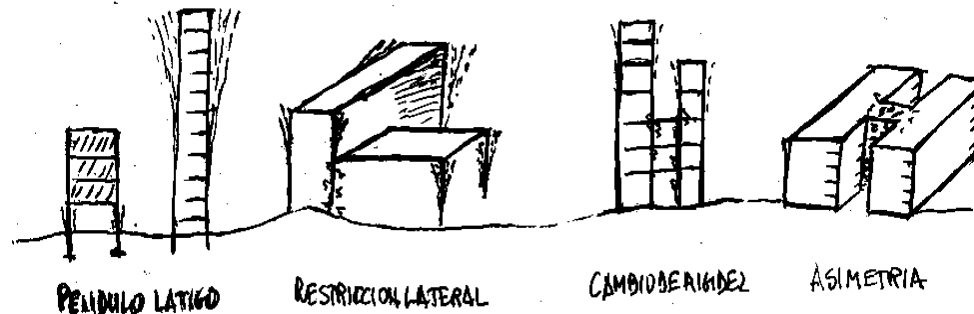


4 MODOS DE VIBRACIÓN (4 PISOS)

ROCA NORMAL DURA	0.1 Seg	≡	CASA 1 PISO
SUELO SEMI-CONSOL.	0.5 Seg	≡	EDIF. 5 PISOS
DEP MAL CONSOLID.	1.0 Seg	≡	EDIF. 10 PISOS
IDEM Y NAF. SUPERFI.	1.5 Seg	≡	EDIF. 15 PISOS

- Las estructuras esbeltas, por resultar flexibles son poco viables en suelos blandos. Los edificios deben construirse en suelos muy duros o en roca. Los suelos blandos amplifican los sismos, mientras la roca no lo hace.
- Lo anterior se relaciona con el fenómeno de resonancia, que invita a evitar construcciones con un período fundamental similar al del suelo de cimentación.
- Para suelos blandos se recomienda la construcción de estructuras rígidas, como lo son las viviendas de mampostería reforzada de uno o dos pisos. Si en los suelos rocosos resultan convenientes las edificaciones altas, en los blandos lo son las construcciones bajas.
- El bahareque es una arquitectura vernácula de carácter sismo resistente, que amerita fomentarse, dado su bajo costo.
- Las viejas construcciones de bahareque pueden y requieren mantenimiento, asunto factible a muy bajo costo. Las termitas y hongos, las vulneran.

Fenómeno de resonancia II



$$R = 1 - [1 - 1/P]^n$$

P	25	100	500	1000
25	0,64	0,98	1,00	1,00
100	0,22	0,63	0,95	1,00
500	0,05	0,18	0,63	0,87

La ingeniería sismo-resistente busca, entre otras cosas, además de evitar que no se presente resonancia; es decir, que la frecuencia natural de la estructura quede desfasada de las frecuencias naturales de los diferentes suelos, prevenir las asimetrías y anomalías que se muestran en la figura izquierda.

Cuando empujamos en un columpio, usamos una cadencia para maximizar la transferencia de energía: así mediante una fuerza pequeña pero de periodo adecuado, se puede conseguir una amplitud de oscilación considerable.

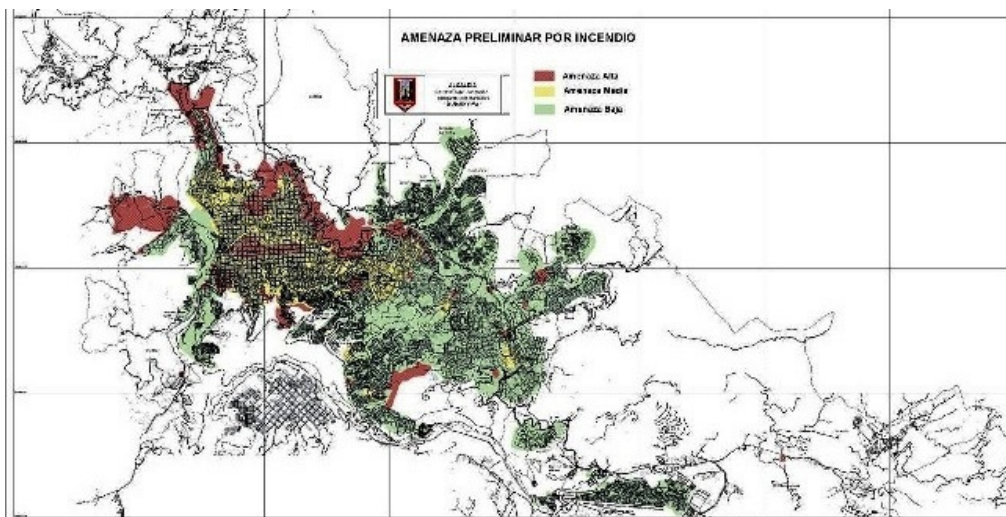
La fórmula de la derecha y su tabla de valores, muestra el valor del riesgo **R** de una obra diseñada con en período de retorno **P** dado, con una vida útil **n**.

En la fórmula: **R** =Riesgo de falla, **P**= Período de retorno de las amenazas, y **n**= vida útil de una obra. **P** y **n**, en años. La conclusión es que las obras se diseñan del lado de la falla, donde $R > 50\%$. De otro modo la ciudad no resultaría económicamente viable.

Evacuación por sismo

Para desarrollar simulacros (en caso e sismos) se recomiendan tres (3) actividades:

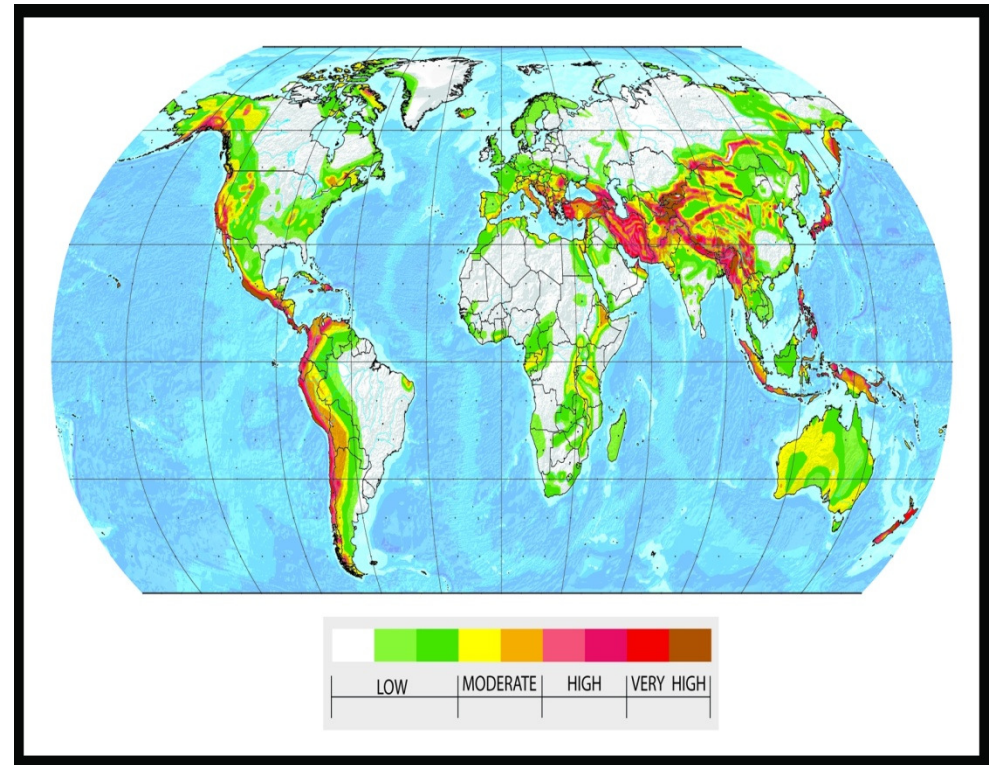
- **1- La planeación: motivación** (Convocar informar, discutir, notificar y **solicitar apoyo**), **coordinación** (Comité ejecutivo y brigadas con tareas simples y cronograma), **revisión** (mapa zonificado con amenazas, refugios rutas, etc.) **e implementación** (señalar y adecuar el escenario y dotarlo de elementos).
- **2- La ejecución: simulacros** (cantidad y fecha, notificar a las autoridades), **desalojo** (sistema de alarma, protocolos y normas) **y respuesta** (Atender las emergencias, inventario de daños, zonas de refugio y de atención pos – desastre).
- **3- La evaluación: análisis** (Organizar, evaluar, corregir e identificar nuevas necesidades), **redacción** (elaborar informe escrito, actualizar) **y difusión** (Discutir internamente, remitir copia del informe, contrastar el Programa). **Esta metodología fue desarrollada por el FUNDARIS de Venezuela.**



Mapa de amenaza por incendio para Manizales: en rojo, alta, en amarillo media y en verde baja. Preocupa que en 2 centros hospitalarios vitales, San Rafael y Santa Sofía, el municipio haya permitido instalar sendas estaciones de gasolina o gas vehicular, en estos últimos años.

Riesgo Sismico En El Mundo

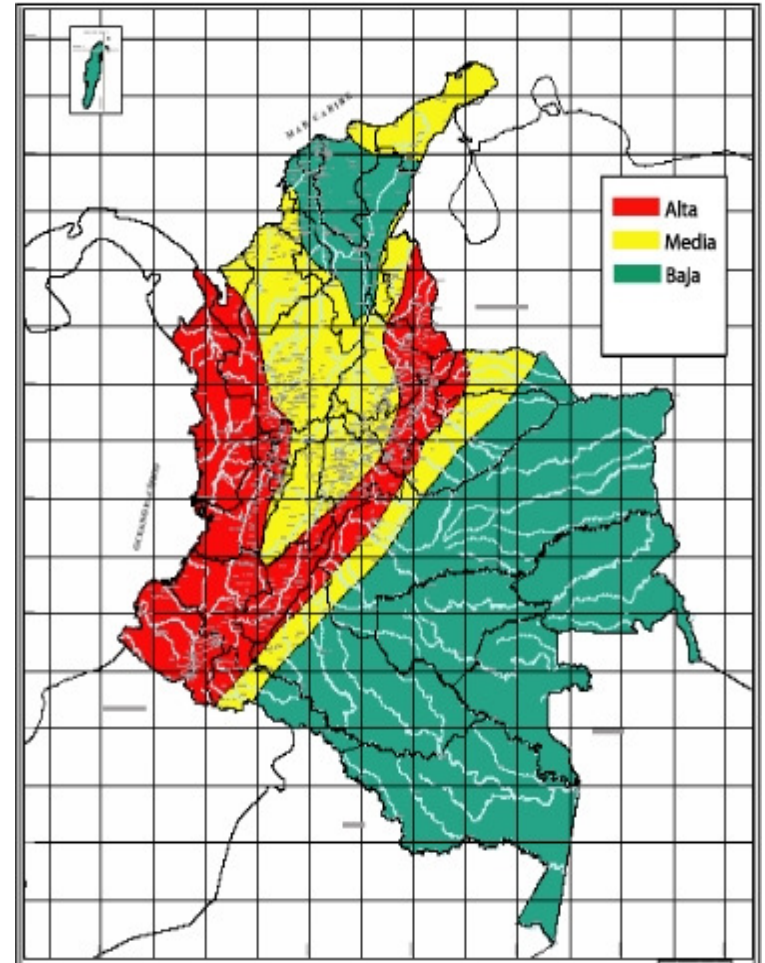
- Existen sobre la Tierra regiones prácticamente asísmicas, como las zonas grises de la figura. Son los cratones o núcleos estables de los continentes, como el Escudo Guyanés, el Escudo Brasileiro y el Escudo Canadiense, para el caso de América.
- Contrariamente, existen regiones sísmicas como las zonas rojas, y amarillas, tales como el Cinturón Circumpacífico y la línea Alpes-Caucaso-Himalaya.
- Esto explica las diferencias básicas en la amenaza sísmica entre las regiones naturales de Colombia.
- Algunas zonas volcánicas coinciden con las regiones sísmicas del Planeta: es el caso de los Andes como parte del Cinturón de Fuego del Pacífico.



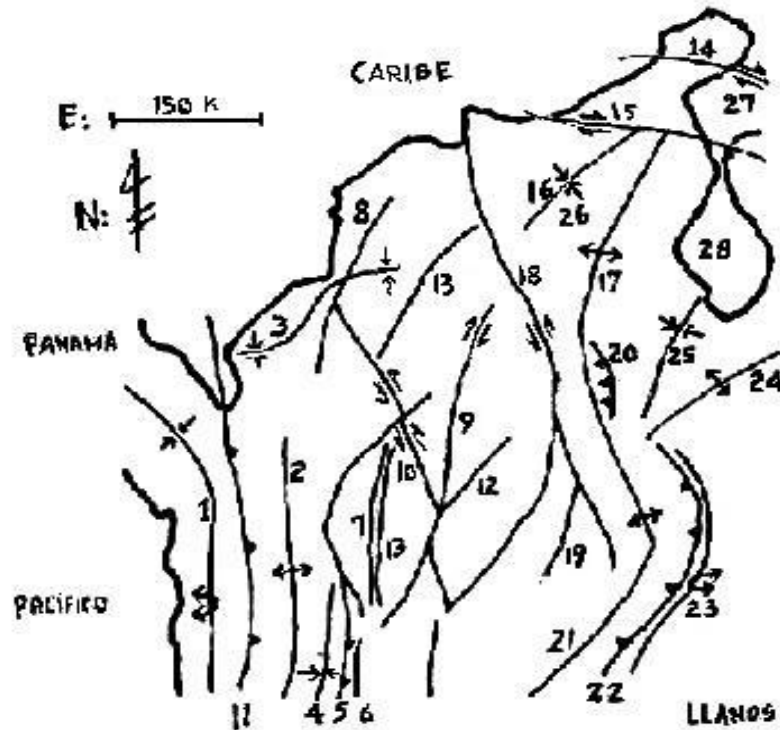
•Fuente de la figura: www.acm.org

Riesgo Sísmico En Colombia

- En Colombia los sismos son frecuentes en la región del pacífico y andina, eventuales en la Caribe y escasos en la Orinoquía y la amazonia. Casi toda la población del país habita zonas del alto y moderado riesgo sísmico. Figura de www.seisan.ingeminas.gov.co
- En Colombia los sismos intraplaca son someros e intensos en la región del Pacífico y profundos y menos leves sobre la región andina.
- Hay singularidades en Riosucio (Chocó) y en la región de Bucaramanga, como también fallas de gran actividad en la joven cordillera Oriental y en otras regiones del país, según lo visto atrás.
- En la Región del Pacífico que es zona de alto riesgo, la amenaza es más intensa hacia el sur.



Fallas en Colombia

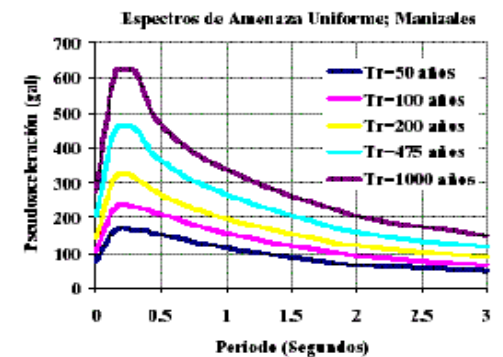
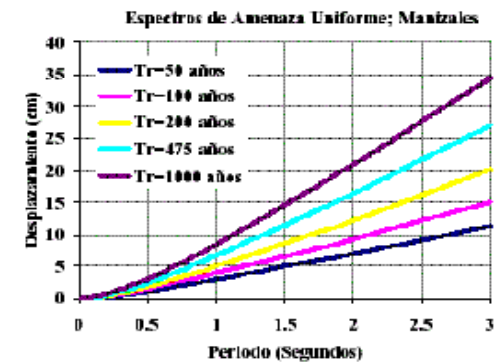
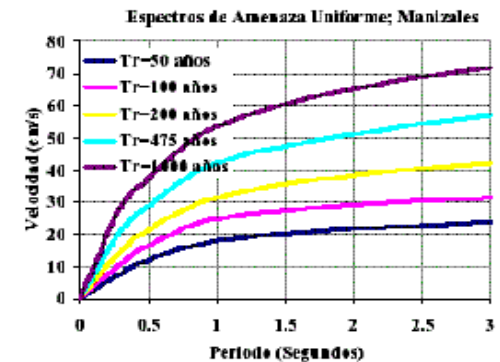


La F. Atrato (entre 1 y 2) afecta a Valle del Cauca, Chocó y Antioquia.
La F. Romeral (5 y 7) atraviesa Nariño, Cauca, Tolima, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar y Magdalena.
La F. del Cauca (2) recorre Nariño y Cauca.
La F. Palestina (9) cruza Tolima, Caldas, Antioquia y Bolívar.

- La F. Santa Marta-Bucaramanga (18) afecta a los Cundinamarca, Boyacá, Santanderes, Cesar y Magdalena.
- La F. Guaicaramo (23) cruza Meta, Cundinamarca, Boyacá y Arauca.
- También se han registrado sismos en Puerto Carreño, Putumayo y San Andrés.

Amenaza sísmica en el Eje Cafetero

- El Eje Cafetero está en una de las zonas de alto riesgo sísmico.
- Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995 ponen en evidencia una fuente sísmica generadora de sismos profundos de magnitud cercana a 7 grados, que se ha relacionado con la zona de subducción; pero las fallas del sistema Cauca-Romeral y las que delimitan la fosa tectónica del Magdalena son otra fuente sísmica que merece consideración en la región (ver los sismos de Popayán 1983 y Quindío 1999), capaz de producir eventos superficiales de magnitud 6, pero de mayor intensidad.
- En la Figura, **Espectros para Manizales**, de Velocidad, Desplazamiento y Aceleración, para sismos probables con períodos de retorno de 50, 100, 200, 475 y 1000 años. Fuente figura: CIMOC 2002.



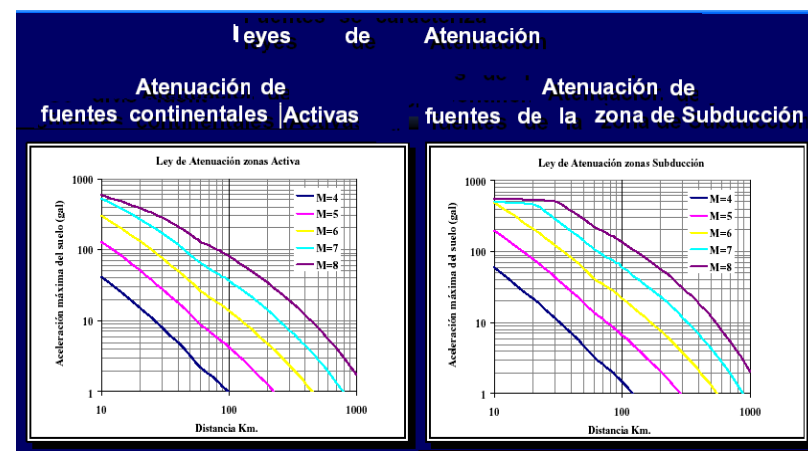
La amenaza sísmica

El CIMOC 2002, en el estudio **Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales**, estimó la fuerza máxima y la duración de la fase intensa de la excitación en el basamento, así:

- **Fuente Romeral**, para una distancia de 20 km y una magnitud de 6,2: la aceleración máxima 0,18 g y duración de la fase intensa 15 seg.
- **Fuentes regionales**, más lejanas y profundas y con sismos magnitud 7,0: aceleración máxima 0,15g y duración de la fase intensa 45 seg. Fuente figura: Leyes de atenuación CIMOC 2002.

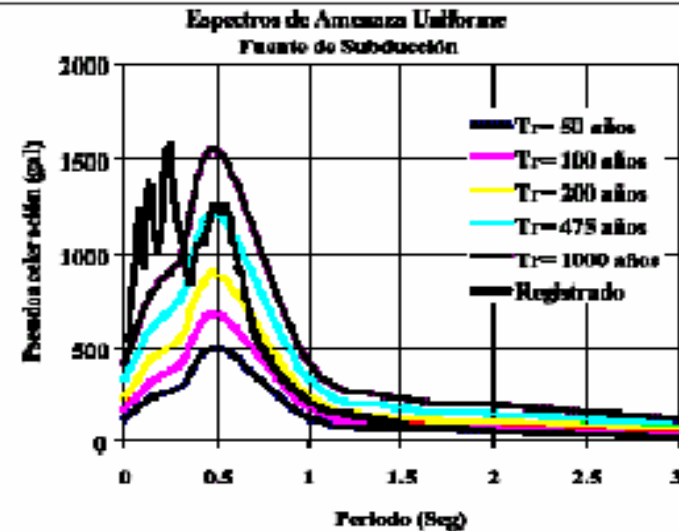
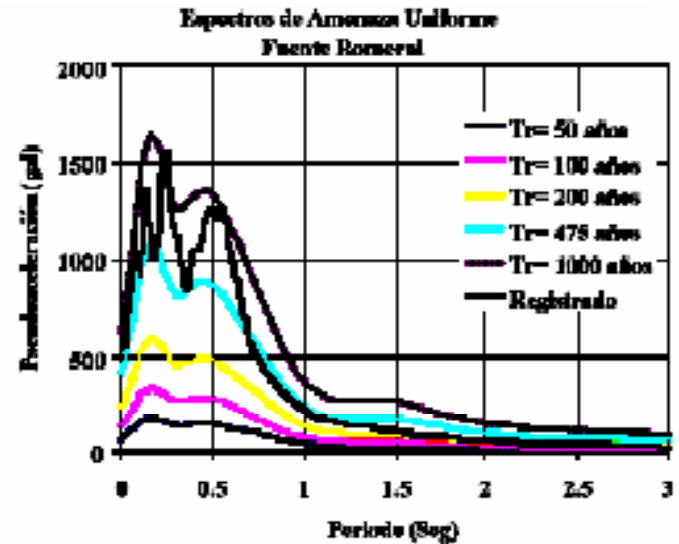
Para Manizales se han considerado dos fuentes sísmicas: zona de subducción y SF Romeral, y se recomienda atender eventos con un período de recurrencia de 475 años.

Ese sismo que aparece en azul claro, obliga a considerar espectros de diseño y normas constructivas con mayores niveles de exigencia, respecto a los actuales.



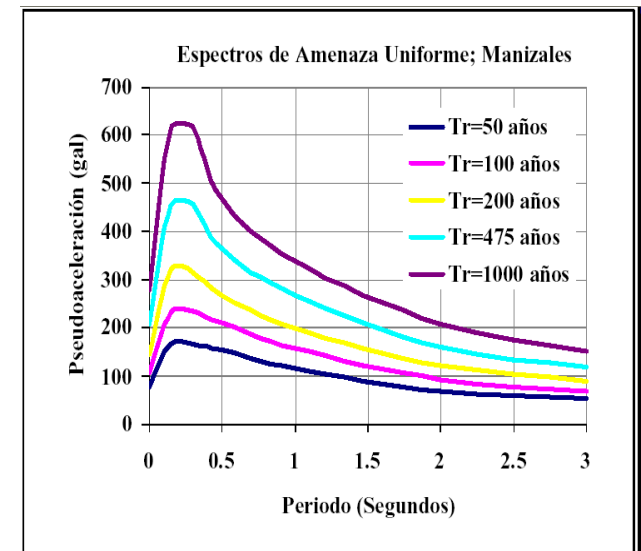
Qué amenaza atender?

- **Sismología.** Terremotos históricos locales e intensidades, cartografía de epicentros. Relación intensidad - recurrencia de magnitud. Correlación entre focos sísmicos y fuentes sísmicas. Estimación de futuras intensidades cerca del lugar y con la probabilidad de recurrencia. Selección de registros de movimientos fuertes de terremotos pasados que sean representativos y más probables.
- En las figuras, el espectro del sismo registrado en 1999 (negro), y los espectros de aceleración de las dos fuentes para varios períodos de recurrencia. Fuente Figuras: CIMOC 2002.
- De la figura superior podemos inferir el período de retorno típico de sismos como el del Quindío 1999, asociado a la fuente sísmica del S. de F. de Romeral.



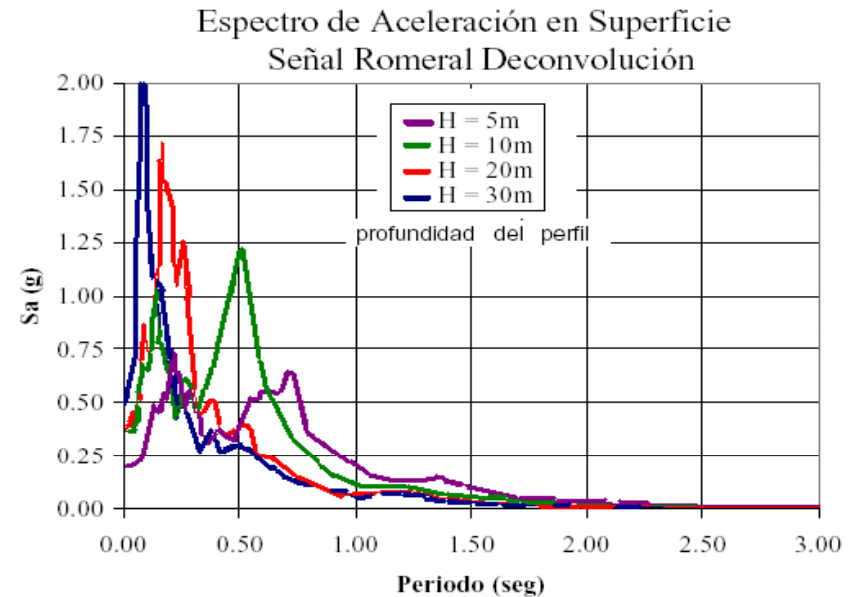
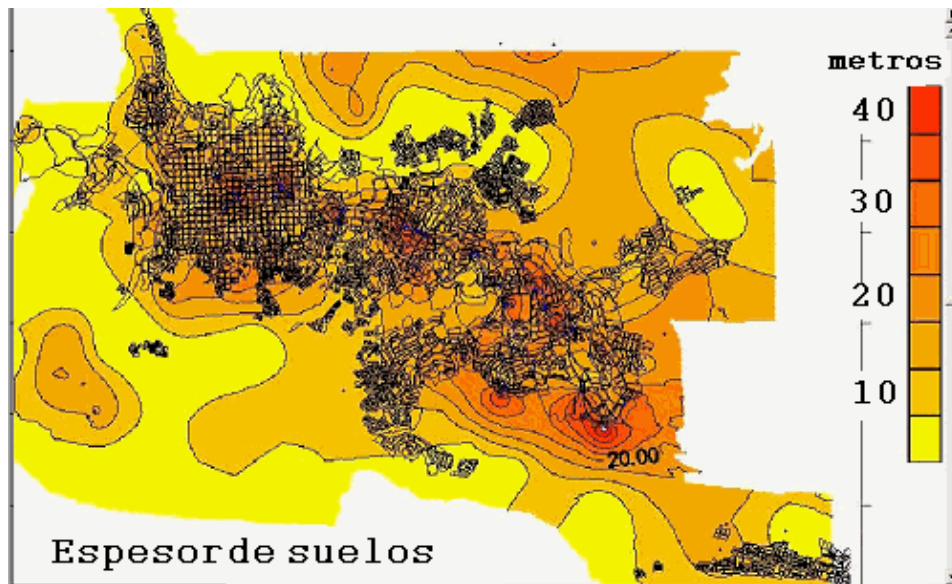
¿Y cada cuánto y dónde?

- A nivel mundial: en un año se dan 154 sismos $m=6$ y 17 $m=7$; cada tres años y medio hay uno $m=8.6$; y cada 90 años solo uno $m=9$.
- Tumaco 1906, Japón 1923 y Lisboa 1755 son los máximos terremotos registrados, todos con una magnitud $m=8.9$ y un número de víctimas estimadas de 700, 143 mil y 30 mil a 60 mil respectivamente.
- Según la teoría de la brecha se pueden hacer pronósticos buscando sombras sísmicas.
- Para más allá del 2010 se espera en Caldas otro sismo de magnitud 7, como los de 1962, 1979 y 1995.
- Estos sismos asociados a la zona de subducción, tienen períodos entre 15 y 20 años en esta región.
- Figura: espectros de amenaza uniforme para varios períodos de recurrencia, en Manizales, según CIMOC 2002. Fuente figura: CIMOC 2002.



Sismos como el del Quindío y Popayán, asociados al sistema de Fallas de Romeral, donde la probabilidad de cientos de víctimas fatales es significativa, deben ser la preocupación del planificador.

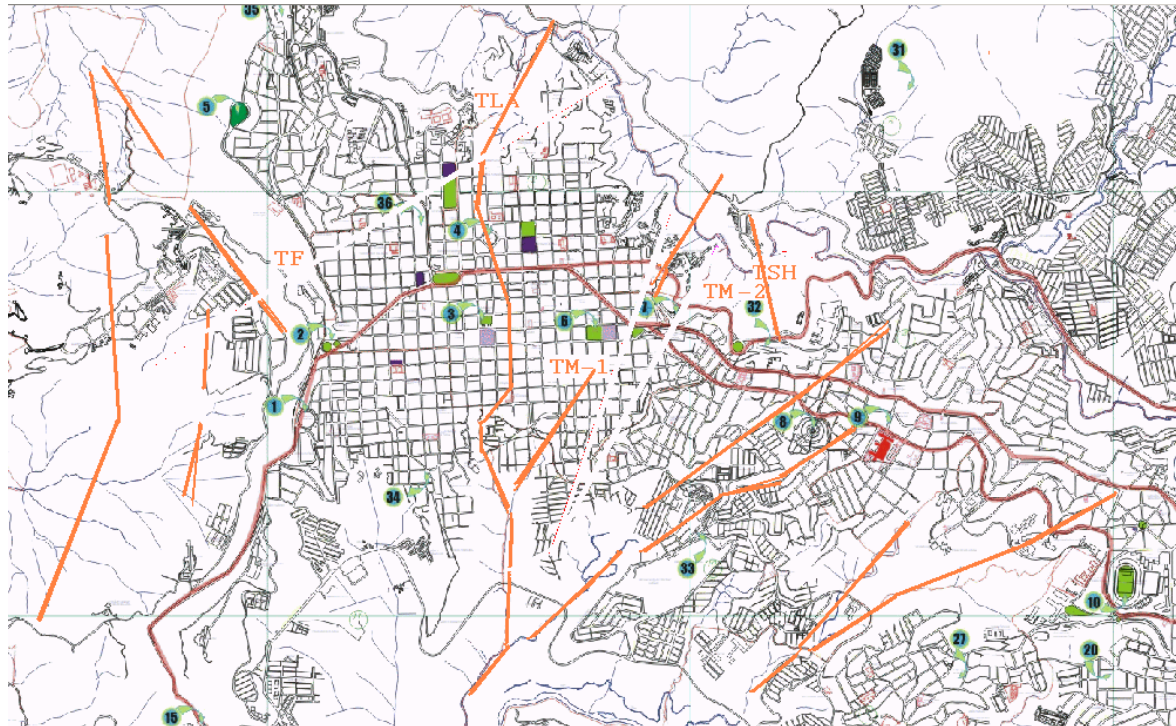
Amenaza sísmica en el Eje Cafetero



- En el terremoto del Quindío (99), la aceleración registrada en Armenia varió desde el 58% hasta el 9% de la gravedad, dependiendo de la clase de suelo: en suelos blandos y saturados fue alta y en depósitos de rocas o suelos consolidados, baja.
- En la Figura, Espesores de suelos en Manizales y espectros de aceleración esperada en superficie, según los espesores. CIMOC 2000. Fuente figuras: CIMOC 2002.
- En los suelos de mayor espesor (color rojo en la imagen Izq., se prevé mayor nivel de aceleración sísmica en superficie. Por la topografía igualmente, se puede incrementar hasta un 50% la amplificación, en los altos más escarpados del accidentado relieve de la ciudad.

RIESGO SÍSMICO EN UN LUGAR I

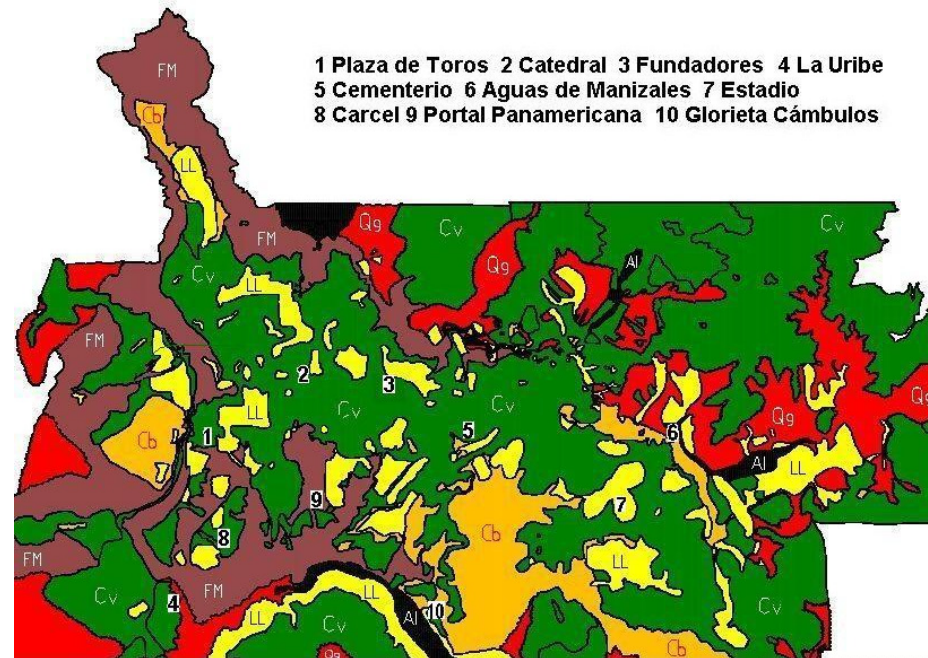
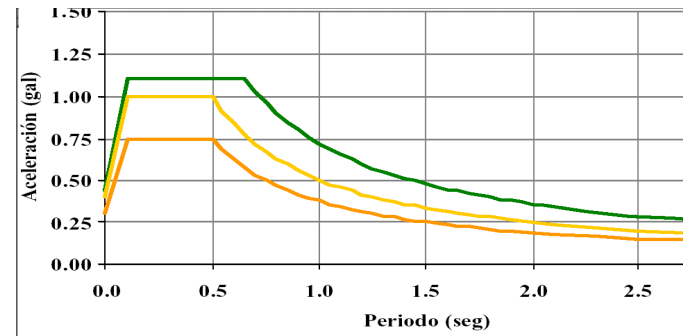
- **Estudios geológicos para evaluar el RS.** Tectónica regional, cartografía de fallas capaces un área de 100 km de radio. Tipo de fallas. Pruebas en pro y en contra de su actividad. Evidencias en el terreno de asentamientos, inundaciones y deslizamientos conexos. En Manizales existe evidencia de actividad neotectónica. En naranja, lineamientos y fallas de Manizales. INGESAM Ltda, 2006.



La principal falla de Manizales, pasa por las quebradas Marmato y El Mico. Solo en algunas fallas de la imagen y no en todas, se ha detectado actividad cuaternaria.

RIESGO SÍSMICO EN UN LUGAR II

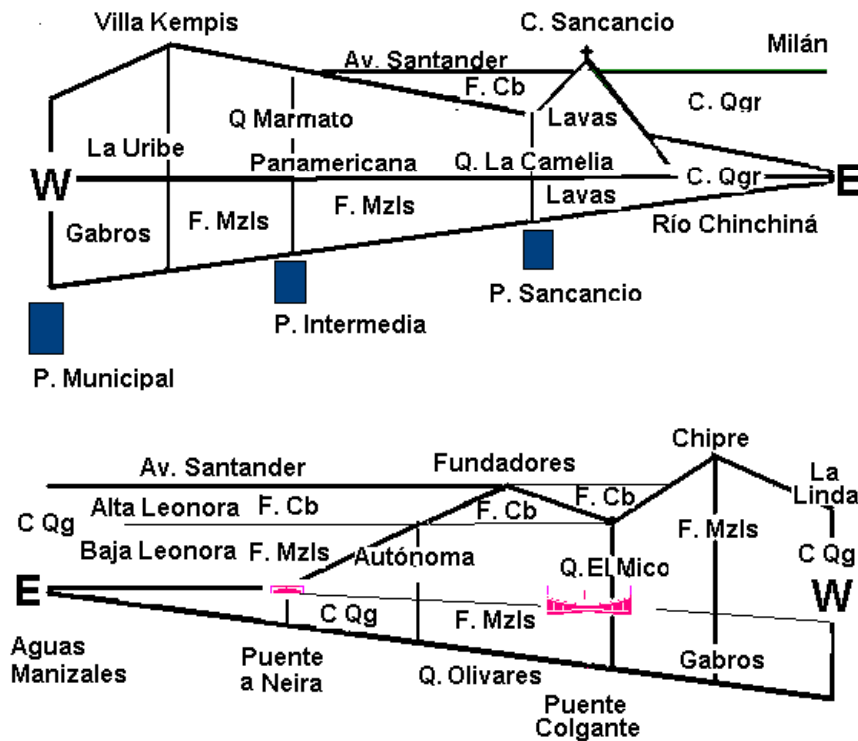
- **Ingeniería de suelos.** Informes sobre cimentación y estudios de estabilidad. Tratamiento de la inestabilidad por hundimiento o falla de taludes, parámetros de diseño para movimientos fuertes.
- Arriba, espectros de diseño para las diferentes zonas de la ciudad de Manizales.
- Abajo, en amarillo se muestran los rellenos y en verde las cenizas volcánicas de Manizales. El basamento rocoso, en rojo. Fuente Figura: CIMOC 2002.



Un territorio tectónicamente activo

Un levantamiento geológicamente reciente, que explica el escarpe de El Tablazo-El Arenillo-La Francia- La Linda.

Suelos variados, donde los llenos y depósitos de mayor espesor, son el desafío, y el suelo rocoso la ventaja.



Lecciones no aprendidas

A causa del sismo del Quindío (1999), en Armenia se estimó necesario demoler unas **320 edificaciones**, y quedó literalmente borrada la vía de 14 km, entre Río Verde y Pijao, por falla de los taludes de corte. Se perdieron 1185 vidas y las pérdidas sumaron unos U\$ 2000 millones.

Entre las recomendaciones de la comunidad científica que se hizo presente en la fase pos-sísmica, previa a la reconstrucción del Eje Cafetero, para el caso del Quindío **se recomendó la exclusión de una franja** del suelo asociada a una falla geológica activa que cruza el centro de Armenia, considerando que no era apta para la construcción de edificaciones. Años más adelante, **la norma fue excluida** del POT por las autoridades de la ciudad.

De esta forma, el ente planificador **separa costos y beneficios** asociados a la explotación de los recursos: mientras los beneficios de la renta de la tierra se le aseguran al propietario del suelo, los costos ambientales se le trasladan a la sociedad en su conjunto.

También el riesgo para el Quindío asociado a la amenaza volcánica del **Volcán el Machín, se excluyó** del Plan de Ordenamiento Territorial para no afectar la actividad económica asociada al turismo.

Escombros a la espera

Alarmante el panorama que surge de las lecciones que han dejado los sismos de Popayán 1983 y del Quindío 1999, ambos de $m=6$ pero superficiales.

En el caso de Manizales, un factor adicional a tener en cuenta es el del gas domiciliario: tras el sismo, los incendios suelen ser la segunda catástrofe.

Varios expertos plantean un preocupante desafío ambiental de las megaciudades en zonas de amenaza sísmica alta, en los países en desarrollo donde la acelerada expansión explica miles de edificios mal contruidos y malas prácticas constructivas, que hace de los espacios habitados "escombros en espera" frente a un gran terremoto de segura ocurrencia.

Conocer la amenaza como atender la vulnerabilidad, es la tarea a emprender en Manizales.



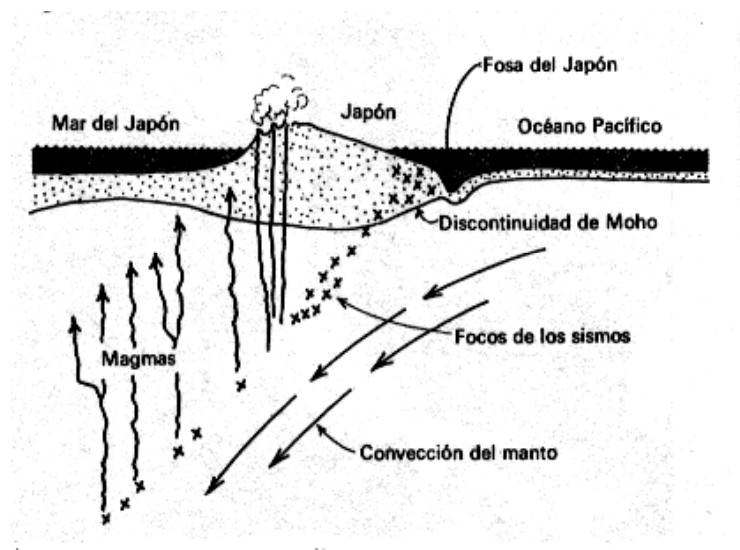
Imágenes:

Arriba, Popayán 1983 en laopinion.com.co.

Abajo, Armenia, 1999 en ciudadmilagro.wordpress.com.

Vulcanismo: procesos magmáticos

- **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.



Vulcanismo en zona magmática interplaca. El ploteo de los focos sísmicos permite inferir el fenómeno. Tomado de ¿Qué es la Tierra?, Takeuchi, Uyeda y Kanamori. En: <http://galeon.com/manualgeo>

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 o expuesto.
- El Riesgo total o de cúmulo, que debe interesar a la autoridad territorial.

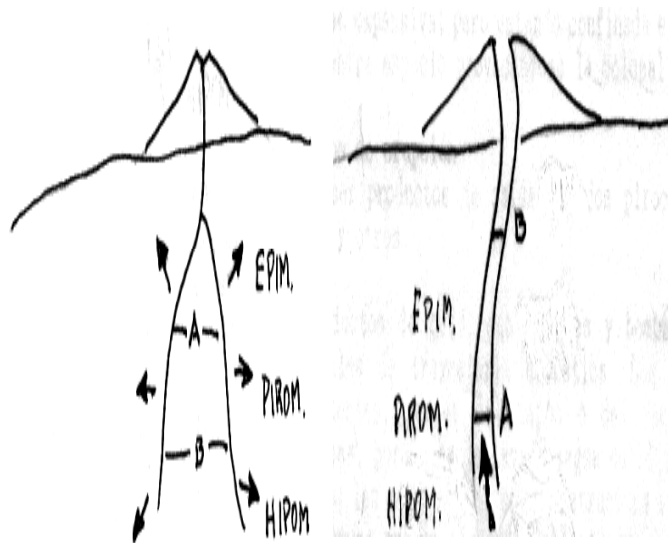
4- Dos niveles del Plan de Emergencias

- 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.

Mecanismos eruptivos

Modelo Estático

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.

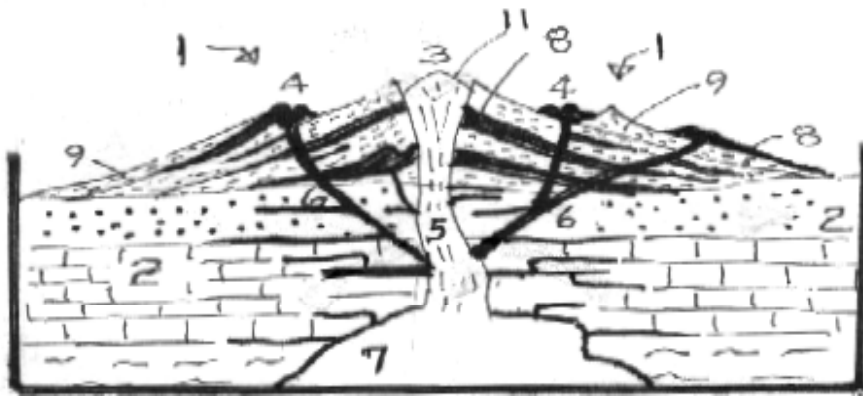


Epimagma, Piromagma e Hipomagma, zonas que definen entre A y B, una región en la que el magma se desgasifica y transforma en una espuma de lava, cuya evidencia es la piedra pómez. Fuente: <http://galeon.com/manualgeo>

Modelo Dinámico

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 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



1. Edificio, 2. basamento, 3. cráter principal, 4. cráter secundario, 5. chimenea, 6. respiradero, 7. cámara magmática, 8. derrames lávicos, 9. capas de piroclastos, 11. cúpula extrusiva.
2. Imagen Adaptada de Geología Estructural, V. Belousov, en: <http://galeon.com/manualgeo>

- 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-Termales del Ruiz, sobre la cual aparece Tesorito.

Órdenes de las amenazas

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

Tabla # 1- Una lluvia puede generar un deslizamiento, y éste un flujo de lodo. El orden 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.

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

Tabla #2. Las erupciones volcánicas aunque de moderada frecuencia, suelen presentar diferentes eventos de alta siniestralidad: Magnitudes de la Amenaza y del Desastre, en caso de erupciones volcánicas.

Fenómenos volcánicos

Las erupciones volcánicas a pesar de su alta siniestralidad, son eventos de moderada frecuencia.

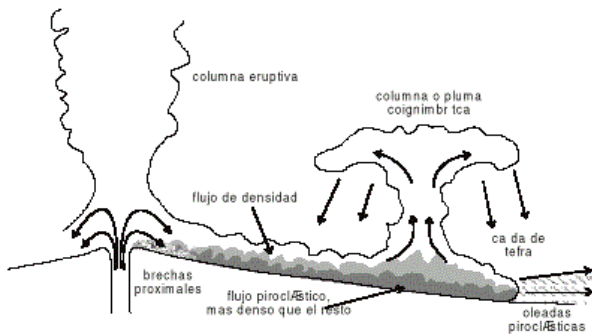


Izquierda: Vol Redoubt de Alaska y Vol. Mayon, mostrando una columna vertical y otra colapsada originando flujos, en: es.wikipedia.org

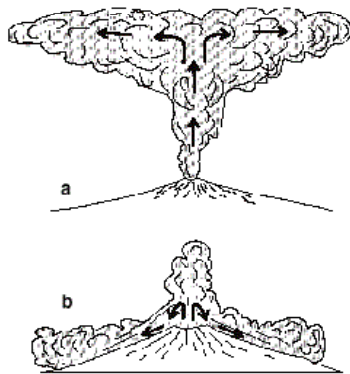
Centro: nubes ardientes, del V. Pinatubo 1991 Ind en <http://www.coolgeography.co.uk> y del Monserrat 1997 CA en <http://www.mnh.si.edu>

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

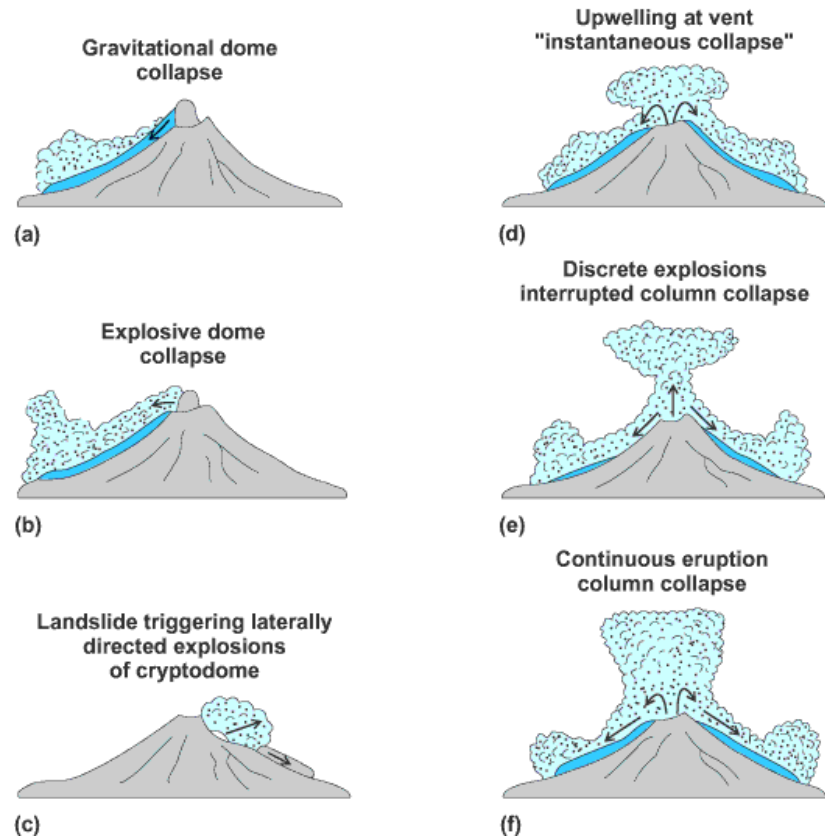
Columnas eruptivas, flujos, oleadas y erupciones laterales dirigidas



Columna pliniana con colapso inferior



Columnas eruptivas:
a) sostenida y b) con colapso

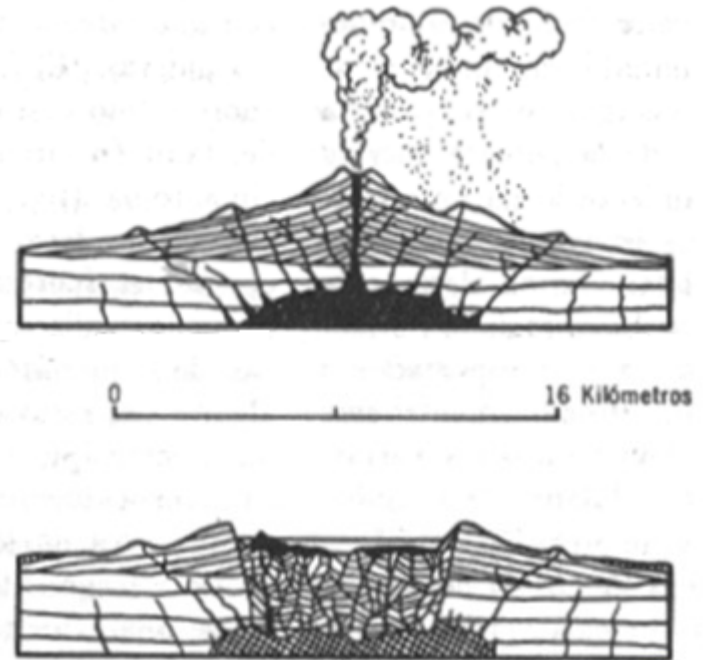


Los flujos piroclásticos, dada su elevada temperatura y carga en suspensión, pueden producir asfixia, enterramiento, incineración, abrasión con chorros de arena, y trituración por impacto físico. Las zonas más amenazadas suelen ser las laderas y vaguadas profundas en las proximidades del volcán. Esto explica el riesgo sobre los primeros 10 km en el entorno de un cráter y a mayor distancia para volcanes de mayor coeficiente explosivo. Imágenes: Izquierda: <http://www.insugeo.org.ar> Derecha: <http://accessscience.com/>

Formación de una Caldera

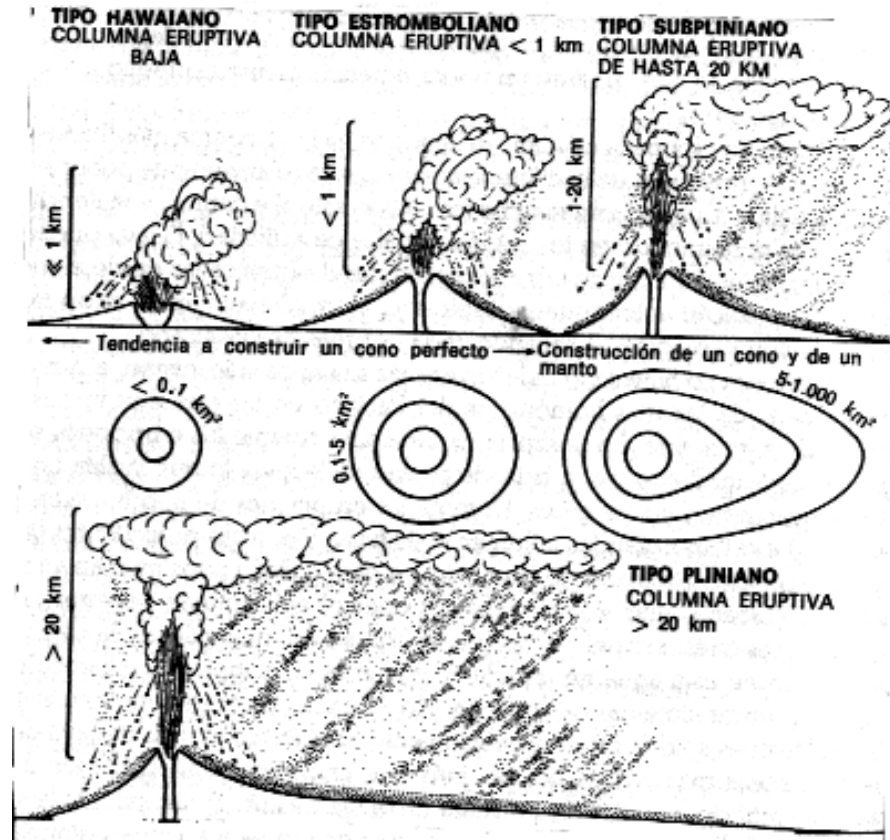
Por el vaciado una cámara magmática superficial (arriba), se dan el vacío inferior y el crecimiento en peso del edificio volcánico; así, a la erupción pliniana le sucede el paroxismo volcanotectónico

- **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; los hay de cuatro tipos:
 - **- De colapso.** Llamada estructura volcanotectónica, si es el 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.** La pérdida del edificio, y en su sustitución una depresión, se explica por un paroxismo tras el cual los fragmentos de la estructura se han disipado con violencia, ejemplo, el Machín.
 - Las lavas de Cerro Bravo y Machín, son de **coeficiente explosivo** moderado alto, mientras las el Ruiz, Tolima y Santa Isabel son de tipo moderado bajo.



Tomado de Booth y Fitch, La Inestable Tierra. En: <http://galeon.com/manualgeo>

Erupciones



Volcán Chaitén, en: fogonazos.es



Volcán Puyehue , en fayerwayer.com

No toda erupción se acompaña de tormentas eléctricas, fenómeno asociado a la generación de cargas electrostáticas muy probables durante erupciones explosivas. Tomado de Booth y Fitch, La inestable Tierra. En: <http://galeon.com/manualgeo>

Derrames de lava y capas de ceniza

- Las lavas de Islandia y Hawái son fluidas, por lo que ese vulcanismo no es explosivo, como si lo es el del complejo volcánico Ruiz Tolima.
- 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 refrigerarlo y pudo detenerlo.
- Abajo: derrame lávico del Surtsey 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).



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



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

CENIZAS VOLCANICAS



Cenizas volcánicas del Vol Puyehue 2011
Chile, en: viariosario.com

- 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 BB AA 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 las lentes de contacto, permanecer a resguardo, proteger a las mascotas y el alimento que consumen; y de requerirse donde la capa de ceniza lo permita manejar con precaución.
- Para nuestro caso, de presentarse tormentas eléctricas, se deben tomar las previsiones del caso, e igual, en caso de lluvias torrenciales que puedan desencadenar flujos de lodo y deslizamientos de tierra. Igualmente, la turbiedad de las cenizas puede comprometer las fuentes de agua.

Tipos de erupción volcánica.

Tipo de Erupción 1 de 2	La erupción aumenta de violencia	Ejemplo	Característica principal	Otras Características
Fumarólica	Erupciones sin magma	Solfatara, Italia	En general de larga vida, con escape moderado de gas que produce incrustaciones minerales	Pequeñas cantidades de ceniza y piscinas de lodo hirviendo
De gas		Hekla, Islandia 1947	Descarga de gas continua o rítmica	Puede preceder una erupción más violenta con descargas de magma
Ultravulcaniana		Kilauea, Hawaii, 1924	Expulsión violenta o débil de bloque de lava sólida	Estruendo y sismo
Flujo basáltico	Erupción con magma de más viscosidad	Lakagigar, Islandia, 1783	Fuentes de lava y flujos extensos de lava muy fluida	Conos diseminados y aplanados, escudos lávicos planos
Hawaiana		Mauna Loa, Hawaii	Fuentes de lava, flujos extendidos y de baja potencia desde los cráteres o fisuras	Conos diseminados y aplanados, escudos extensos

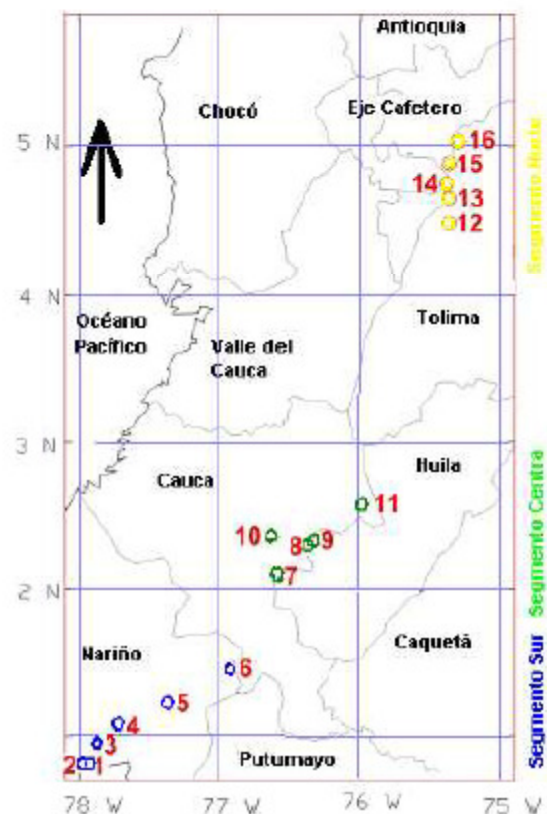
Tipo de erupción 2 de 2	La erupción aumenta en violencia	Ejemplo	Característica principal	Otras Características
Estromboliana		Stromboli, Italia, Paricutín, Méjico 1943 – 52	Explosiones moderadas de lava viscosa en forma de bombas y cenizas, flujos cortos	Conos de cínder
Vulcaniana		Vulcano, Italia, siglo XIX	Explosiones moderadas a violentas de bloques de lava y ceniza; flujos potentes, cortos y escasos	Conos de ceniza y bloques
Peleana		Mt. Pelée, Martinica, 1902	Explosiones moderadas a violentas de bloques de lava y ceniza y nubes ardientes en avalancha	Depósitos de ceniza y pómez, domos viscosos extruidos
Pliniana		Vesubio, 79 dC Krakatoa, 1883	Expulsión extremadamente violenta de cenizas a gran altura. La granulometría de la ceniza varía. Puede estar asociada con el colapso de calderas	Lechos de ceniza y piedra pómez

Fuente: Enciclopedia de las Ciencias naturales, Nauta, 1984. En: <http://galeon.com/manualgeo>

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.
- Nuestros Volcanes aparecen en 3 grupos.
- 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).

1. Chilea 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. Machín 13. Tolima
14. Santa Isabel 15. Ruiz 16. Cerro Bravo



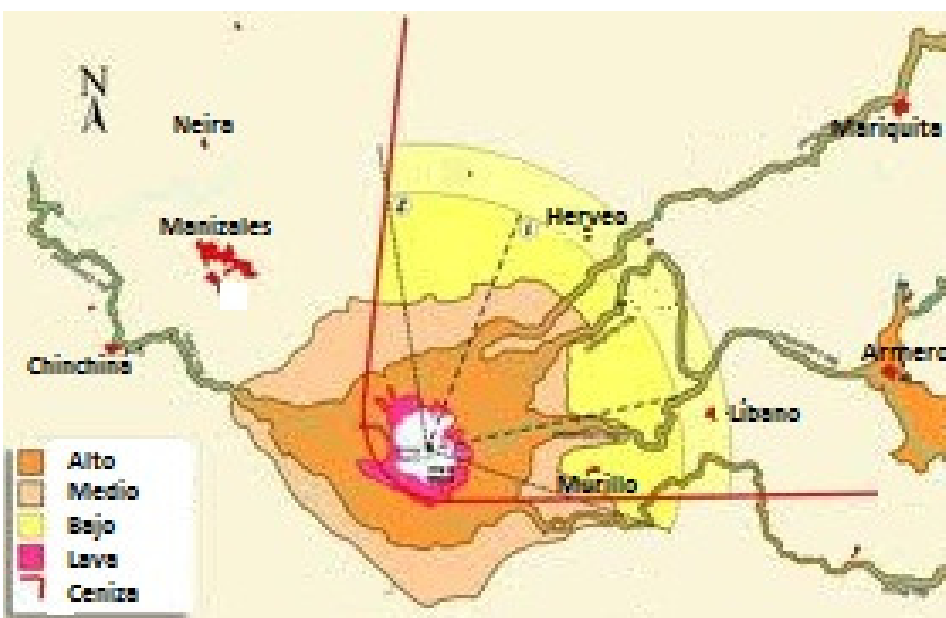
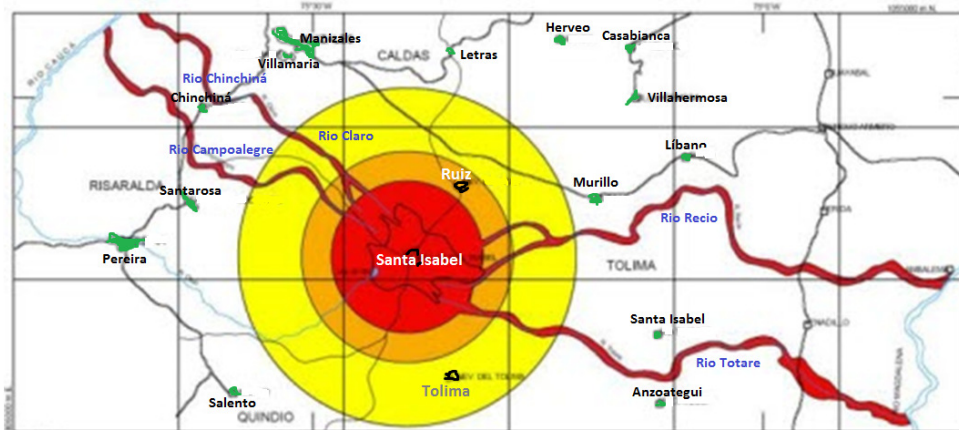
Caso Manizales

- En el tema de sismos y volcanes, para subrayar el desafío y naturaleza de la tarea que se demanda, me permito estas ideas sumarias:
- 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, pero con una dirección desfavorable, y a pesar de conocer los daños ocasionados en Manizales por los sismos profundos ya señalados, 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,
- Paralelamente, se deben mejorar las condiciones de sismo-resistencia y seguridad ignífuga en caso de sismo, dado lo ocurrido en Popayán y Armenia y el advenimiento del gas, para sortear tarde que temprano un sismo superficial del entorno vecino de la falla Romeral.
- Imagen: Cerro bravo, en: <http://www.ingominas.gov.co>



- Según Ingeominas la historia geológica del volcán Cerro Bravo probablemente comenzó 50 mil años atrás, y luego tras la destrucción del viejo volcán surge un nuevo edificio volcánico, en los últimos 14 mil años.
- En caso de una erupción pliniana del Ruiz la amenaza que se contempla para la ciudad es la caída de cenizas de cenizas, y no los sismos que se atenuarían con la distancia (30 km).
- Diferente es el caso de Cerro Bravo ubicado a 20 km, dado el mayor coeficiente explosivo de sus lavas y alcance espacial de los eventos.

El V.N. del Ruiz



Sí lo normal del Ruiz como volcán activo es erupcionar, parece sensato esperar eventos cuyo alcance espacial se aproxime a las previsiones señaladas en su mapa de amenazas, dado que la erupción del 13 de noviembre de 1985 apenas alcanzó un volumen de 1/10 de kilómetro cúbico, 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.

Y en el caso del 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.

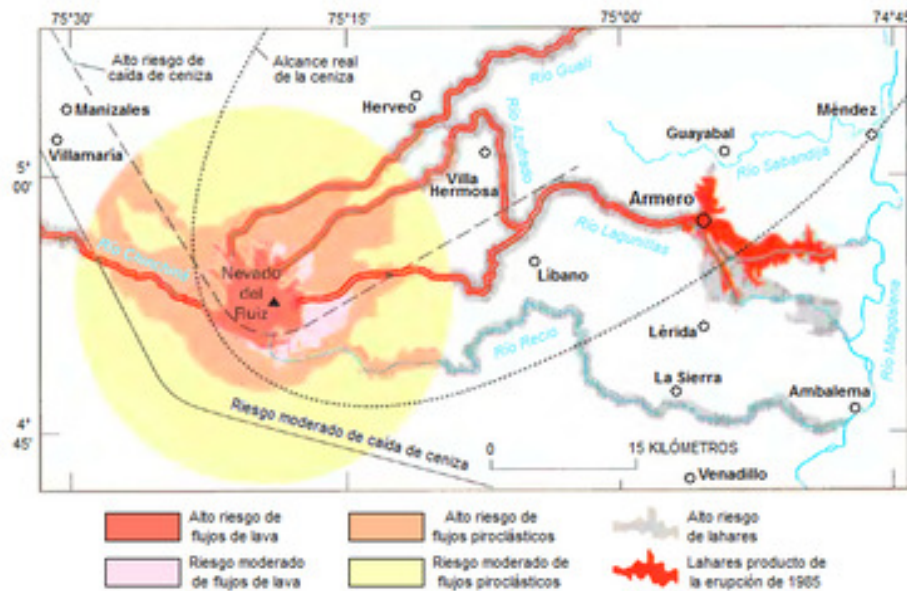
En el mapa del Ruiz y en amarillo, se contempla una erupción lateral de ángulo bajo (blast), orientada al NE.

Imágenes: Mapas del Santa Isabel (arriba) y del Ruiz (abajo), adaptados de imágenes de Ingeominas Y de La Patria.

El desastre de Armero

La tragedia de Armero Tolima fue un desastre natural producto de la erupción del volcán Nevado del Ruiz el 13 de noviembre de 1985. Tras sesenta y nueve años de inactividad, la erupción tomó por sorpresa a los poblados a pesar las advertencias y la elaboración previa del mapa de amenazas, y de la aparición de los primeros indicios de actividad volcánica en septiembre de 1985.

El flujo de lodo de 60 millones de m³, cubrió 30 km² en el valle de salida del río Lagunillas, ocupado por Armero desde 1848, una fundación dada tres años después de un evento similar y superior asociado a la erupción de 1845.



Imágenes en: <http://es.wikipedia.org/>

Epílogo: por una sostenibilidad con la vida

- Aunque se reconocen los esfuerzos hechos por mejorar la seguridad de Manizales y asegurar colectivamente los bienes frente a la eventualidad de un terremoto, definitivamente no estamos preparados para un evento similar al de Popayán (1983) o Quindío (1999), y menos para enfrentar los desafíos por la amenaza volcánica de Cerro Bravo.
- Lo anterior demanda además de velar por prácticas constructivas adecuadas, la restauración de las viejas construcciones de bahareque y el reforzamiento de edificaciones fundamentales y líneas vitales vulnerables, e iniciar un plan de exposición al riesgo volcánico y de cambios en el uso del suelo frente a la amenaza de Cerro Bravo.
- En la ciudad 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 contemple, además de la amenaza por el calentamiento global, la mitigación de la vulnerabilidad sísmica y volcánica contemplando, además de eventos como los sismos superficiales del Sistema de Fallas Romeral y o de una erupción del Volcán Cerro Bravo, 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 capacitación de las comunidades en los asuntos ambientales y de empoderamiento del territorio.

Fuentes I

- Adaptación al cambio climático para Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2011) <http://www.bdigital.unal.edu.co/5437/>
- Amenaza climática en el trópico andino, Duque Escobar, Gonzalo (2010) en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1861>
- Amenazas naturales en los Andes de Colombia, Duque Escobar, Gonzalo (2007), en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1579/>
- *Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales* Duque Escobar, Gonzalo (2012) <http://www.bdigital.unal.edu.co/5949/>
- Antes que La Colosa a galerizar Cajamarca. Duque Escobar, Gonzalo (2010). En <http://www.bdigital.unal.edu.co/2408/>
- Aspectos geofísicos de los Andes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2009), en: <http://www.galeon.com/geomecanica/alturas.htm>
- Asuntos Del Clima Andino En Colombia Duque Escobar, Gonzalo (2011), en: <http://godues.wordpress.com/2011/11/08/asuntos-del-clima-andino-en-colombia/>
- Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia. Hector Cepeda Vanegas, Marta L Calvache, Nunez Alberto, Ricardo A Mendez Fajuri, Hector Mora, Henry Villegas (2000). INGEOMINAS, Colombia.
- Bosques en la cultura del agua, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3591/>
- 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
- Clima, deforestación y corrupción, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3459/>
- Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. Hans Jurgen Meyer y Andrés Velásquez. OSSO. Desastres & Sociedad. Nº1. La Red. 1993.
- ¿Dónde está la gestión planificadora del riesgo volcánico? Duque-Escobar, Gonzalo. <http://godues.wordpress.com/2008/11/14/%C2%BFdonde-esta-la-gestion-planificadora-del-riesgo-volcanico-ed-rac-493/>
- Earthquake. DON-LEET. Editorial Dell Publishing. U.S.A. 1964.
- El Machín: la mayor amenaza volcánica de Colombia Duque Escobar, Gonzalo (2008) <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/el-machin.pdf>
- El Territorio Como Sujeto En El Contexto Del Magdalena Centro. Duque Escobar, Gonzalo (2012) <http://www.bdigital.unal.edu.co/5705/1/gonzaloduqueescobar.20123.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, en: <http://godues.wordpress.com/2011/10/24/emergencia-e-imprevision/>
- En el Volcán Nevado del Huila: incertidumbre y éxodo. Duque Escobar, Gonzalo (2007). En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1598/>
- Escombros a la espera" en zonas sísmicas densamente pobladas. Duque Escobar, Gonzalo., en: <http://godues.wordpress.com/2010/03/05/escombros-a-la-espera-en-zonas-sismicas-densamente-pobladas/>
- 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/>

Fuentes II

- *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., en <http://www.galeon.com/godues/godues.htm>
- Geotecnia y medioambiente. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Curso para el módulo de metodología de la investigación. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1704/>
- Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2008) <http://www.bdigital.unal.edu.co/1699/>
- Ingeniería Sísmica. SARRIA, Alberto. Ed. Uniandes. Bogotá, 1990.
- Intimididades del Ruiz para un examen de la amenaza volcánica. Duque Escobar, Gonzalo (2012) <http://www.bdigital.unal.edu.co/6128/>
- *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. En: <http://godues.blogspot.com/2008/02/la-amenaza-volcánica-y-la-gestión-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 sismicidad histórica en Colombia. Armando Espinosa Baquero (2002) Revista Geográfica Venezolana, Vol. 44(2) 2003, 271-283. En: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24602/1/nota42-2-1.pdf>
- La Tierra en movimiento. GRIBBIN, John. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- La Tierra planeta vivo. CASQUET-MORALES, Et al. Colección Salvat. España, 1985.
- Las Cuatro Estaciones para reflexionar sobre cambio climático, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3470/>
- 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 no está preparada para un terremoto. Duque Escobar, Gonzalo. 1999. www.galeon.com/gonzaloduquee/terremoto.pdf
- Manizales: política pública ambiental y gestión del riesgo. Gonzalo Duque Escobar. (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/>
- Mecánica de los Suelos. Duque Escobar, Gonzalo y Escobar P Carlos E. U.N. de Col. Manizales, 2002. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/>
- 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

Fuentes III

- Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. OPS. Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. PAHO, 1997.
- 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, 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. Medellín 1985.
- Pyroclastic rocks. **Robert I. Tilling**, Geologist, Branch of Igneous and Geothermal Processes, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, en: <http://www.accessscience.com>
- Prisas para tiempos de calma, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3688/>
- 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) Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo UN. Modulo Teoría del Medio Ambiente. En: <http://gonzaduque.es.tl/Seis-di%C3%A1logos-con-el-territorio.htm>
- Sismo, bahareque y laderas. Duque Escobar, Gonzalo.(1999), en: <http://www.galeon.com/gonzaloduquee/bahareque.pdf>
- Sismos y volcanes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2010) 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/temas-de-ordenamiento-y-planificacion-del-territorio/>
- Terremotos y políticas públicas para Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2012) <http://www.bdigital.unal.edu.co/6008/>
- 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. Hector Cepeda Vanegas y Eduardo Parra P. (1989) Journal Of Volcanology And Geothermal Research ISSN: 0377-0273. Ed: Elsevier. USA.
- 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>



GRACIAS

La anterior presentación es una adaptación del documento "Riesgo sísmico: los terremotos" 2007, publicado en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1680/> para ser utilizado con propósitos académico en la divulgación científica e incorporar en ella elementos relacionados con la amenaza volcánica.

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.