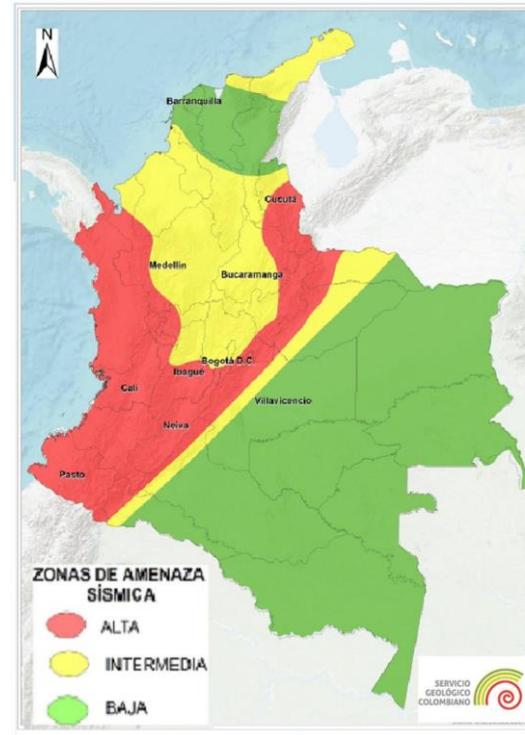


“Riesgo sísmico: los terremotos”



Gonzalo Duque-Escobar*

Manizales. Junio 1 de 2020. Act. 2024

Imagen: Terremoto en Popayán de 1983.
Obra de Fernando Botero pintada en 2005, y
Mapa de Amenaza Sísmica para Colombia SGC

* GDE, Coordinador del Museo Interactivo Samoga y del
OAM, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

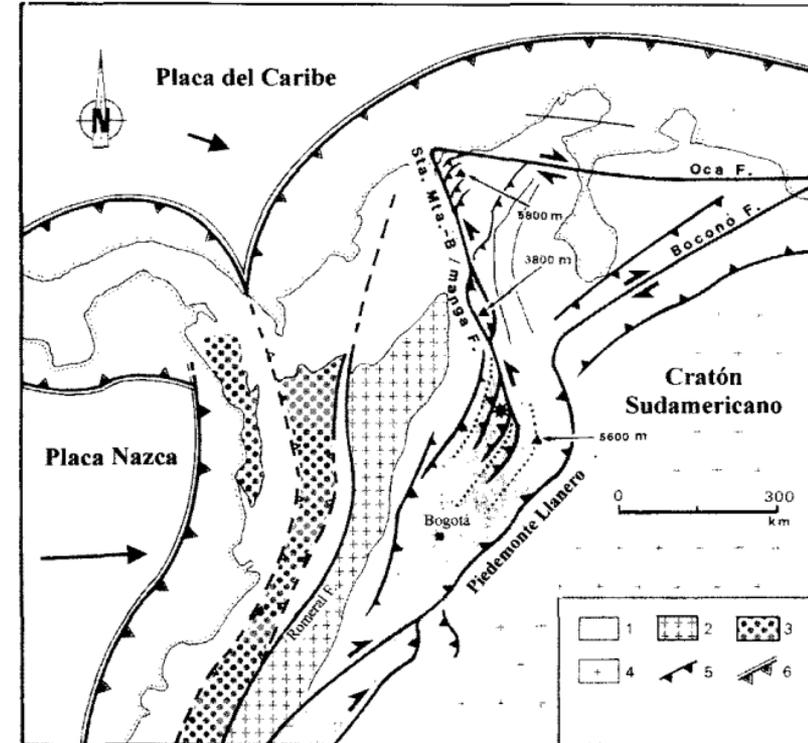
Introducción

Esta presentación se ocupa de dos temas:

- A- nociones generales sobre terremotos y riesgo sísmico,
- B- el riesgo sísmico en el caso de Manizales y el Eje Cafetero.

Manizales está ubicada en la provincia sismotectónica del occidente colombiano, una zona donde los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995, ponen en evidencia una fuente sísmica profunda, cuyos eventos de magnitud cercana a 7 grados y un período de retorno del orden de los 20 a 30 años, provienen de la zona de subducción de la placa de Nazca.

Pero en dicha provincia, las fallas del Sistema Romeral a lo largo del Valle del Cauca-Patía, son otra fuente sísmica superficial capaz de producir eventos superficiales de magnitud cercana a 6, que dada su mayor intensidad merecen mayor consideración dadas sus devastadoras consecuencias (Popayán 1983 y Quindío 1999).



Marco tectónico general de los Andes del Norte. *Sismotectónica de Colombia: A. Taboada, C. Dimaté y A. Fuenzalida. (1998). Universidad de Los Andes*

Marco tectónico de los Andes de Colombia. Las flechas gruesas indican los movimientos relativos de las placas con respecto a Sudamérica. U de los Andes 1998.

La tectónica de placas

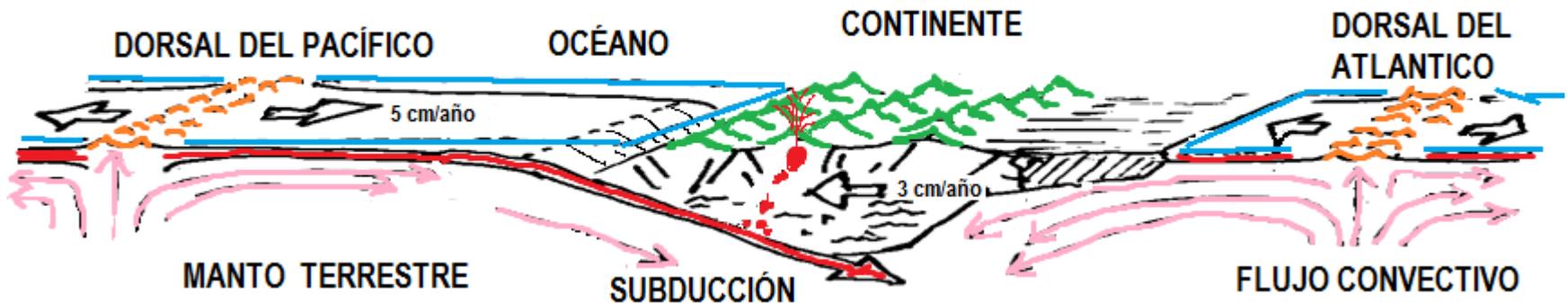
- Teoría que explica la forma en que está estructurada la porción externa más fría y rígida de la Tierra, y que señala la causa de los desplazamientos que se observan entre los bloques rígidos que la conforman, causados por la dinámica de las corrientes de convección del manto fluido del planeta.
- El origen de los Andes, es la consecuencia de la subducción de la placa oceánica de Nazca, bajo la placa continental de Sudamérica.
- En el ámbito de Colombia, la zona de deformación continental está limitada por el cratón sudamericano ubicado al oriente, y por las zonas de subducción de las placas Nazca y Caribe al occidente, sobre los márgenes costeros de nuestros mares.
- En EE UU, la Falla de San Andrés delimita la placa norteamericana de la placa del Pacífico.



Mientras la Placa Sudamericana deriva hacia el poniente a razón de 3 cm/año, la Placa Nazca lo hace hacia el oriente a 5 cm/año. Placas tectónicas, en: redescolar.ilce.edu.mx

La danza de los continentes

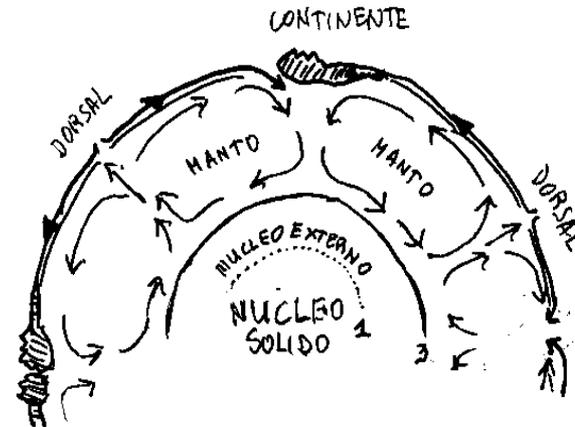
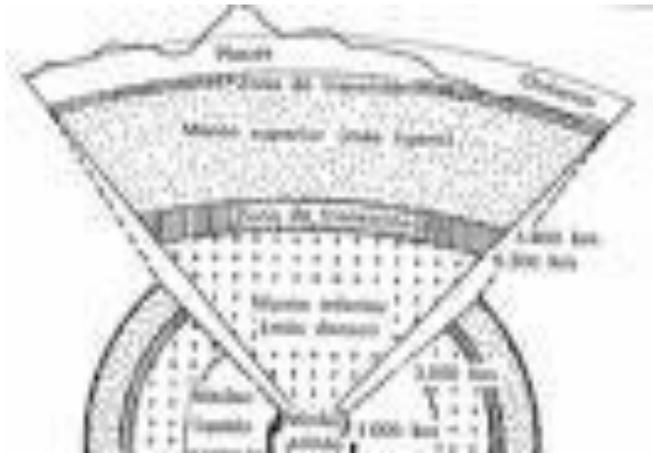
- La corteza de la Tierra, que se regenera en las dorsales y destruye en las zonas de subducción, se mueve a modo de una banda transportadora, gracias a las corrientes de convección del manto. Con ellas, se arrastran los continentes, que flotan sobre los fondos oceánicos, que al ser más densos, los subducen. Esa deriva continental causa terremotos, ya en la zona de subducción por la interacción interplaca, ya en las fallas al interior de las placas, donde se acumula la energía de deformación que pliega y fractura las cordilleras.
- Pero también las pequeñas alteraciones en la corteza de la Tierra, generadas por el paso de depresiones ciclónicas profundas o por los ciclos de mareas terrestres, pueden desencadenar auténticas sacudidas, en zonas con energía de deformación acumulada.
- Igualmente, la colisión de un meteoro o de un cometa, puede ocasionar este fenómeno.



La imagen, ilustra además de las dorsales como bordes constructivos de los fondos oceánicos, el fenómeno de subducción asociado al plegamiento formando cordilleras y propiciando el vulcanismo andino sobre el plano de Benioff, o superficie de la zona de subducción al friccionar el continente .

Las clases de sismos I

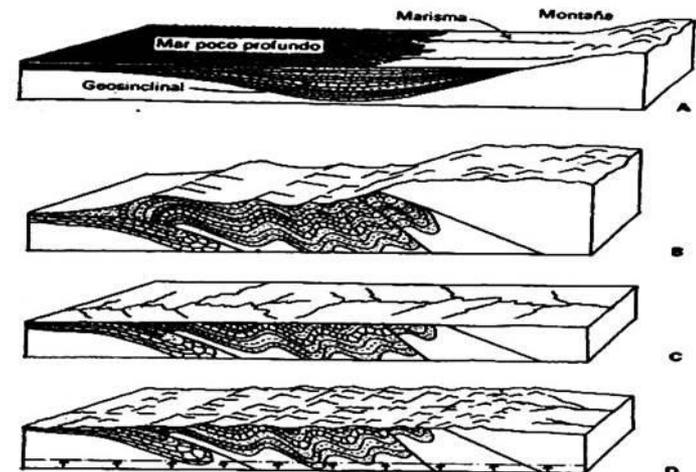
Plutónicos: estos eventos del manto plástico de la Tierra, con profundidad entre 300 km y 900 km, que representan el 3% del total de los sismos; son los de mayor energía aunque el efecto en superficie es tenue pero extenso: se sienten en una zona tan extensa como la comprendida entre Venezuela y Perú.



- Entre la corteza y el núcleo de la Tierra, está el Manto, una región del planeta donde las rocas en estado plástico fluyen conformando celdas en de flujo convectivo. Estos sismos profundos, se explican por cambios de fase de las rocas del manto (implosión) o por rupturas en el flujo plástico del manto (explosión).

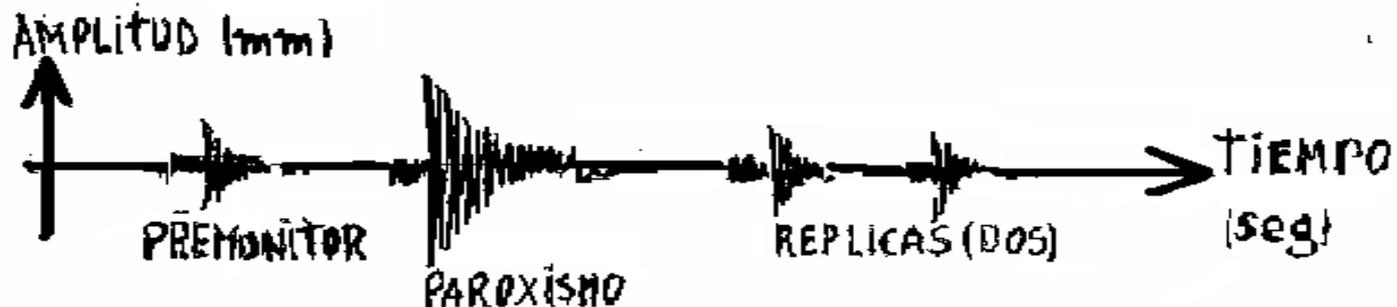
Las clases de sismos II

- **Interplaca:** son el 5% del total, típicos de zonas de subducción y aparecen a una profundidad entre 70 y 300 km. Sus focos van delimitando el plano de Benioff, conformado por las Placas Tectónicas que regresan para fundirse en el manto de la Tierra. Son los segundos en energía, ya que a esta profundidad la Tierra no almacena tanta como en el caso anterior, pero dado su carácter más somero son destructivos; ejemplo de sismos asociados a Benioff, Manizales 1979 y 1995.



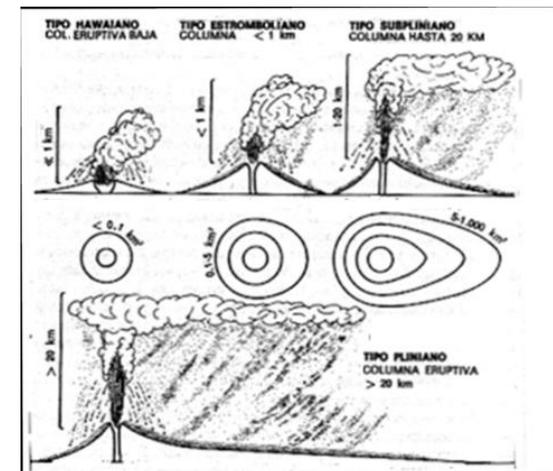
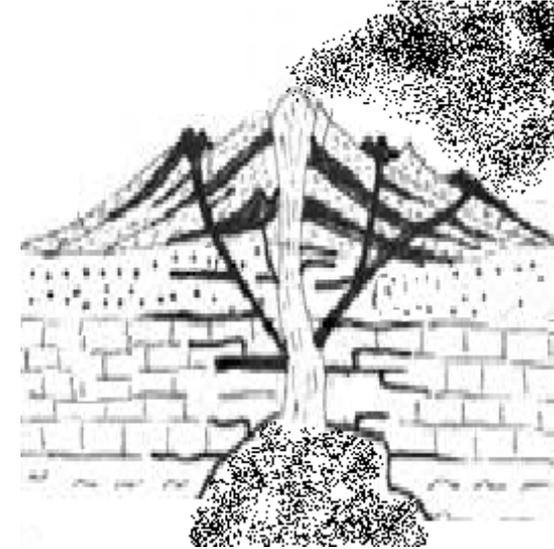
Las clases de sismos III

- **Intraplaca.** Son sismos de fallas geológicas y representan el 85% de los terremotos. Se dan en el interior de las placas tectónicas, cuando la energía se libera por sus zonas más débiles ya fracturadas (fallas). La corteza es la estructura frágil del planeta.
- Los Intraplaca son los sismos más destructivos, aunque se dan a menos de 70 kms de profundidad, dado que la energía queda concentrada en la superficie donde habitamos, próxima al foco.
- Ejemplo Popayán 1983 y Quindío 1999, que veremos más adelante, dos eventos asociados al Sistema de Fallas Romeral, un mega-trazo que va desde Nariño a Montería. Se distinguen porque tienen múltiples premonitores y réplicas, ya que el ambiente superficial es poco plástico. Después de Popayán y Armenia, el escenario de estos sismos asociados al Sistema Romeral, podría ser las fallas en vecindades de Cali y Manizales.



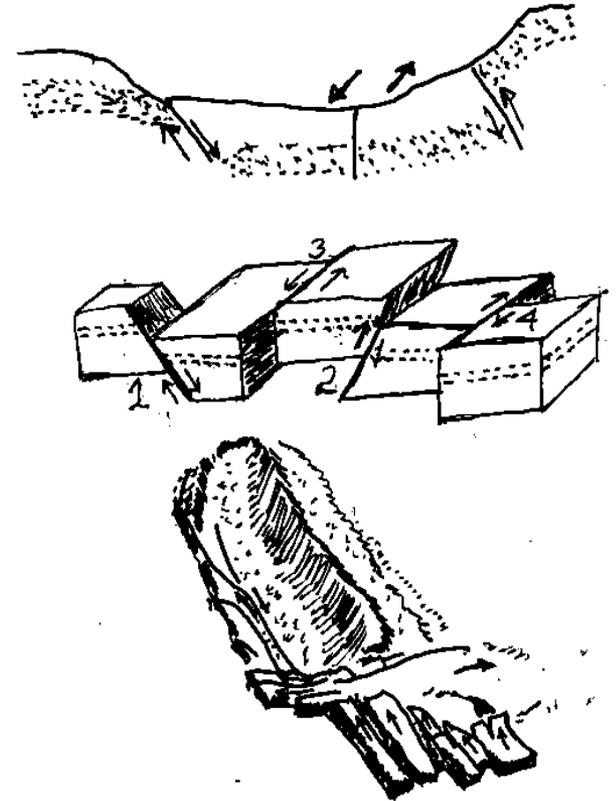
Las clases de sismos IV

- **Los sismos volcánicos.** Son el 7% de los sismos y se presentan a menos de 20 km de profundidad, entre las cámaras magmáticas y la superficie del volcán, justo cuando el magma se abre paso hacia la superficie. Al respecto, el magma que va ascendiendo por fusión y reemplazamiento en el medio plástico hasta encontrar equilibrio litostático para conformar la cámara magmática, sufre procesos de desgasificación, y penetra y rompe los pisos de la corteza ya en el medio elástico vecino a la superficie.
- A diferencia de los otros sismos la aureola de daños en los sismos volcánicos es de pocos km, porque el foco es muy puntual y gran parte de la energía se libera en la atmósfera.
- **El ruido sísmico.** Puede ser natural como el producido por mareas terrestres, olas, viento, avalanchas; o artificial como el producido por vehículos en movimiento, bombas, etc.
- Imágenes: Estratovolcán en [Manual de Geología para Ingenieros](#) y Tipos de erupciones, en La Inestable Tierra.



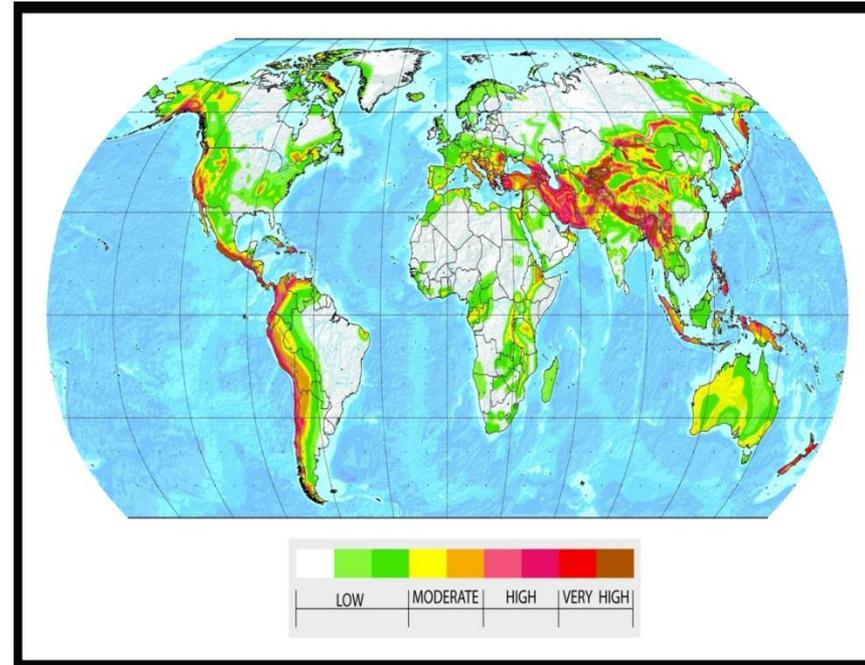
La ruptura de la corteza

- Entonces, la corteza de la Tierra se conforma por placas rígidas que se mueven; y por el movimiento de esas placas, llamadas placas tectónicas, se acumula en la corteza de la Tierra energía, gracias a procesos de deformación elástica.
- Ahora, cuando se produce la ruptura de una capa de rocas de la corteza de la Tierra, se presenta un conjunto de bloques desplazados a lo largo de las líneas de ruptura, en los que las fracturas reciben el nombre de fallas geológicas.
- Los sismos se denominan terremotos en nuestro planeta Tierra y lunamotos en la Luna. Los lunamotos que se generan a profundidades entre 600 y 1.000 kilómetros, pueden ser ocasionados por impactos de bólidos, o por el reajuste interno de la Luna debido a los efectos de marea si son profundos, o a la expansión y contracción térmica por el calentamiento del Sol si son superficiales.
- En la imagen: Arriba, silleta de falla compleja. Centro, 1: falla de tracción; 2: falla de compresión; 3 y 4: Fallas de cortante. Abajo, Trazos del Sistema de Fallas de San Andrés, en California.



Riesgo Sísmico en el Mundo

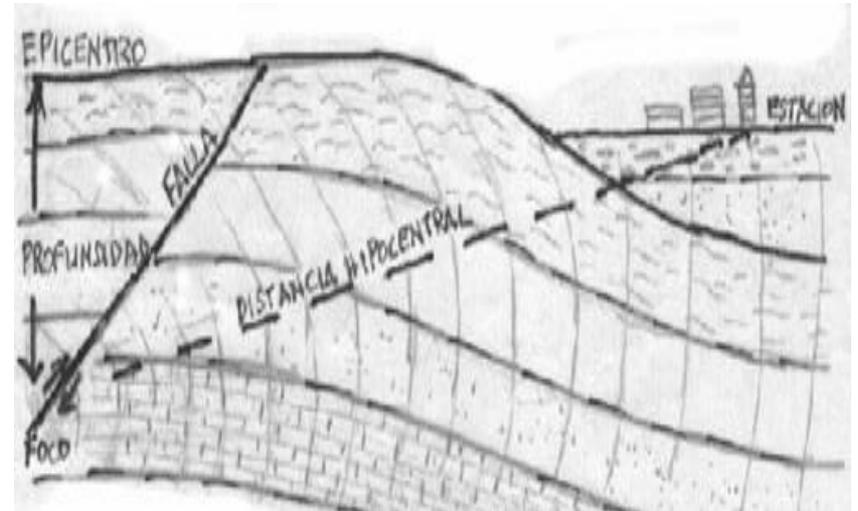
- Existen sobre la Tierra regiones prácticamente asísmicas, como las zonas grises de la figura: se trata de los cratones o núcleos estables de los continentes, como el Escudo Guyanés, el Escudo Brasileiro y el Escudo Canadiense, para el caso de las Américas. Dichas regiones denominadas penisísmicas son zonas en las que sólo se registran terremotos débiles (de poca intensidad) y no con mucha frecuencia.
- Contrariamente, existen regiones sísmicas, como las zonas rojas y amarillas de la imagen, asociadas al Cinturón Circumpacífico y a la línea Alpes –Caúcaso - Himalaya. Es en estas mismas regiones, donde se localizan varias cadenas volcánicas.
- Lo anterior, explica las diferencias básicas en la amenaza sísmica entre las regiones naturales de Colombia como la Orinoquía y Amazonia, y la región andina con los tres segmentos volcánicos de Colombia, donde destacan volcanes como el Galeras, el Huila y el Ruiz.



- Imagen: Zonas sísmicas del planeta.
Fuente: www.acm.org

Parámetros de un Sismo

1 Estáticos. La profundidad del sismo, el foco o hipocentro que es lugar del evento, el epicentro que es el lugar de la superficie localizado sobre el anterior, la distancia focal y la epicentral que son la distancia entre la estación en la superficie, e hipocentro y epicentro, respectivamente.

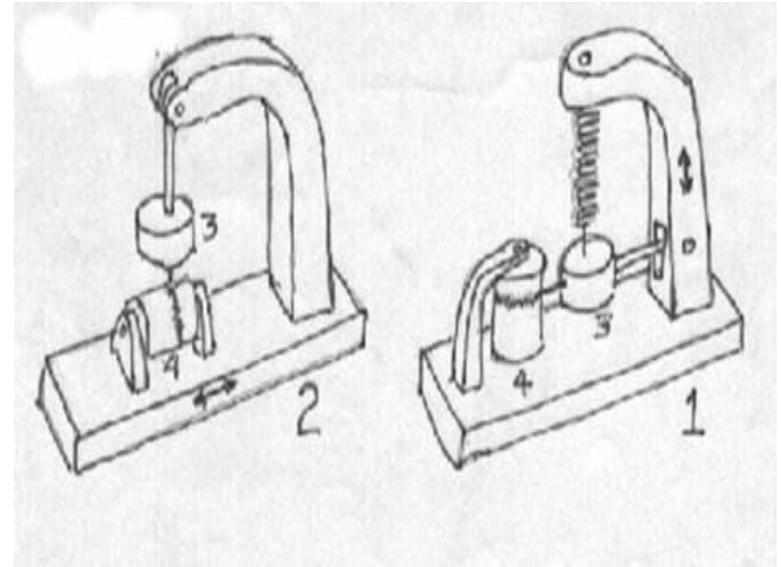


2 Dinámicos. Fecha y hora del evento, la coda o duración de la excitación, la amplitud del movimiento que es el desplazamiento de las partículas del suelo, la intensidad que alude a los daños ocasionados, la magnitud que alude a la energía liberada y que se calcula ya por la amplitud del movimiento o por la coda. La frecuencia o el período varían según la energía de la onda en la estación de registro.

Instrumentos de registro

- **El Sismógrafo.** Consiste en un péndulo equipado con un freno neumático o magnético para que al ocurrir una sola sacudida no trace varios movimientos en un sismograma. La amplitud y también la coda, permiten calcular la magnitud de un sismo.
- **El Acelerógrafo:** a diferencia del sismógrafo, el péndulo se suspende de un resorte; registra la aceleración del suelo.

La velocidad y desplazamiento de las partículas del suelo, se obtienen indirectamente del acelerograma.



Esquema de un sismógrafo:
1.sismógrafo para componente vertical, 2.sismógrafo para componente horizontal, 3. péndulo, 4. tambor de registro.

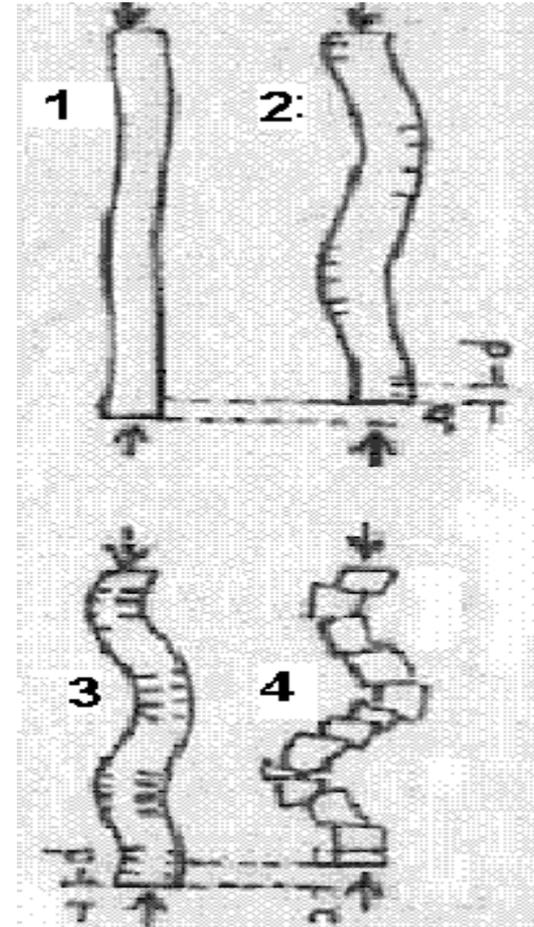
Teoría del rebote elástico

Harry Fielding Reid, en 1911 explica el terremoto de San Francisco de 1906, por la ruptura de la corteza al haberse superado su resistencia, como consecuencia de las deformaciones elásticas que se habían acumulado.

Un sismo es la manifestación de la energía ondulatoria liberada por una ruptura o falla geológica, cuando los bloques de la placa tectónica han acumulado energía de deformación, o por un colapso o por una colisión de un asteroide, ocurrido en las estructuras geológicas de la corteza de la Tierra.

Figura 1.:

- 1. deformación elástica.
- 2. fisuras de tensión.
- 3. fisuras de tensión y compresión,
- 4. fallamiento y liberación de la energía de deformación por ruptura.

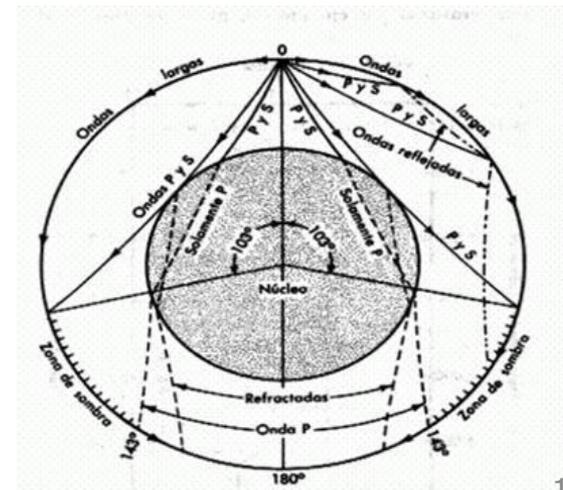
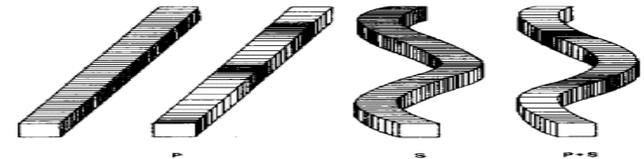


Ondas Sísmicas I

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

Veamos las ondas de cuerpo.

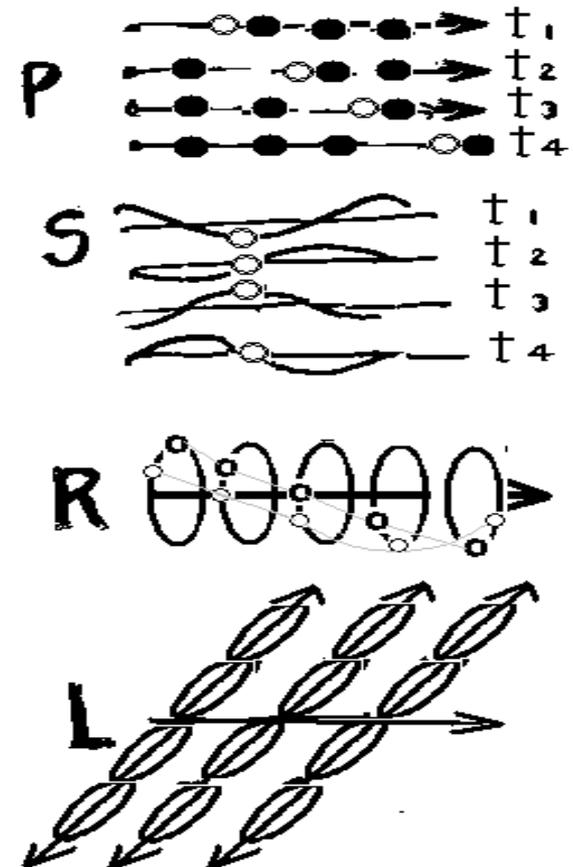
- Las **ondas P** son ondas compresionales que pueden viajar a través de líquidos o sólidos haciendo que las partículas se desplacen en la dirección del movimiento; son las más rápidas, puesto que su velocidad es 1.73 veces la de las ondas **S**.
- Las **ondas S** o de cortante, llegan de segundas a la estación de registro mostrando gran amplitud, y en ellas las partículas se mueven en dirección transversal al movimiento; estas ondas hacen más daños por su mayor amplitud y no se propagan en líquidos ni los cruzan.



Ondas Sísmicas II

Ahora, veamos las ondas que se generan en superficie.

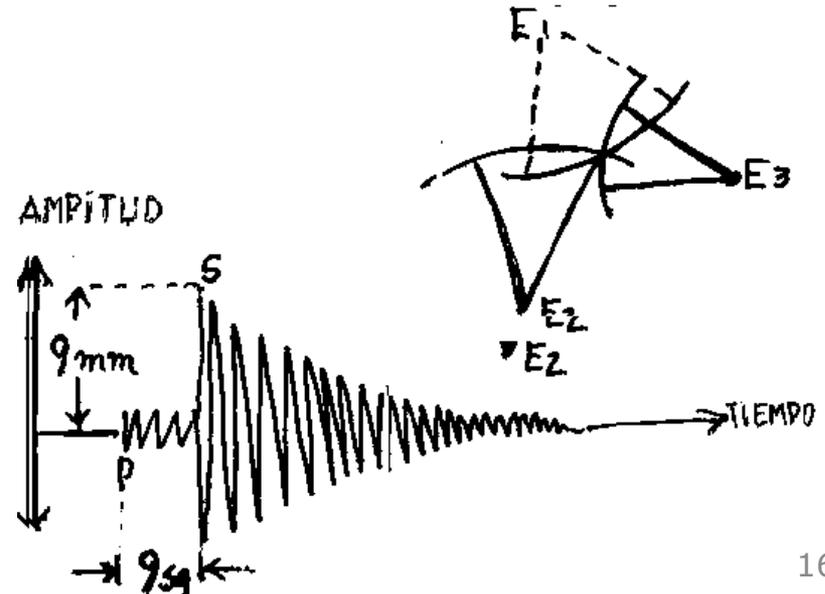
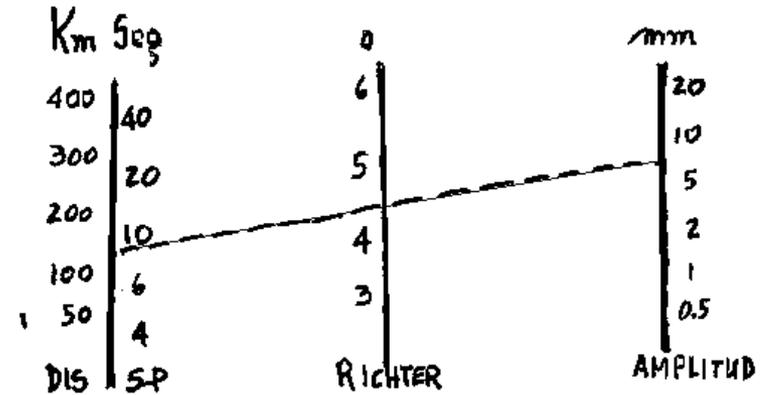
- **Ondas superficiales:** después de las ondas anteriores llegan las ondas Rayleigh (R) y las Love (L), generadas únicamente por la superficie del suelo o del agua.
- Las ondas **R** y **L**, son más lentas que las ondas internas y su velocidad de propagación es casi un 90% de la velocidad de las ondas **S**.
- En las **ondas R** las partículas se mueven describiendo elipses dispuestas sobre un plano vertical orientado en la dirección del movimiento; en estas ondas, si el medio es sólido la partícula retrógrada arriba y avanza abajo; si es líquido, lo contrario.
- En las **ondas L** las elipses están en un plano horizontal y avanzan por la superficie de la corteza de la tierra transversalmente a la dirección del movimiento.



Ondas Sísmicas III

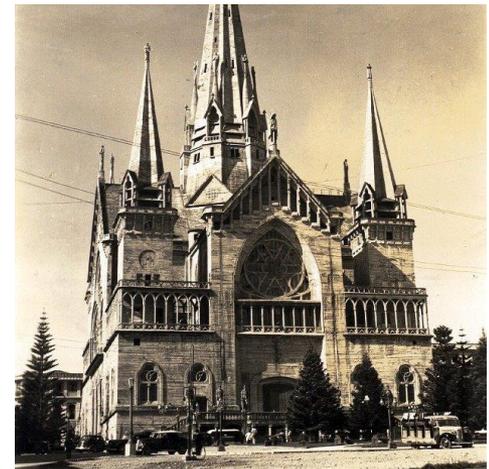
El cálculo del **epicentro** se hace triangulando las distancias que se obtienen a partir de la diferencia de tiempos en el registro de las ondas S y P, en tres sismógrafos ubicados en tres ciudades distantes, E1, E2 y E3. Aquí la profundidad del **foco** tiene que ser despreciable.

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 figura superior.



La Intensidad Mercalli modificada

- Alude a **los daños** y depende de la calidad de construcción y tipo de suelo, además de la distancia al foco y de la magnitud del sismo, por lo que un mismo sismo puede mostrar **diferentes intensidades**.
- La **Escala de Intensidades** tiene 12 grados, y algunos de ellos son:
 - I. 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. Produce pánico y daños. Cae mampostería, revienta tuberías, etc..
 - XII. Destrucción total. Es el límite superior de la escala Mercalli.

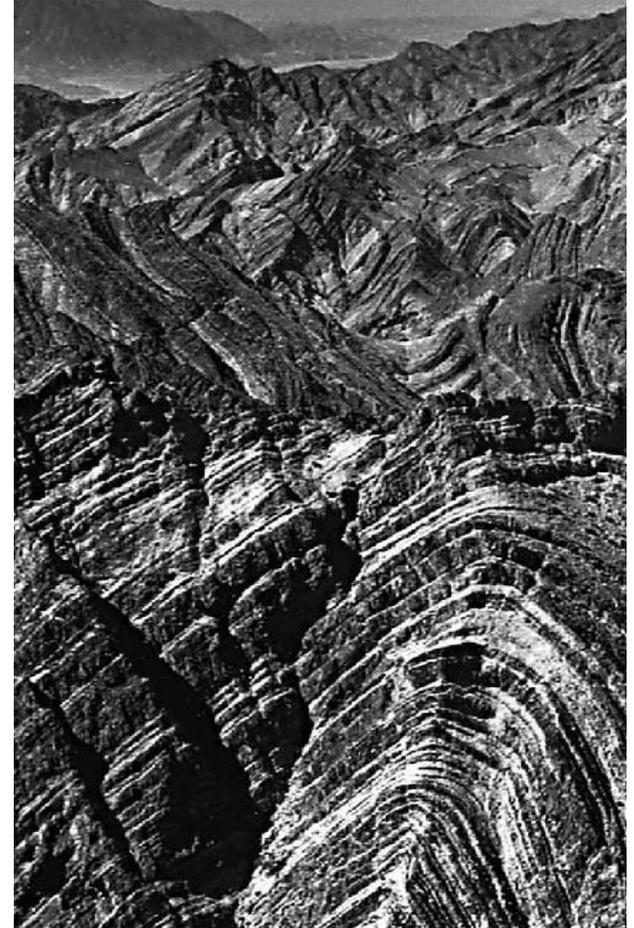


Imágenes: Daños severos en mampostería, en Corbis, y Catedral de Manizales concluida en 1939, en Centro de Historia de Manizales.

La Magnitud de Richter

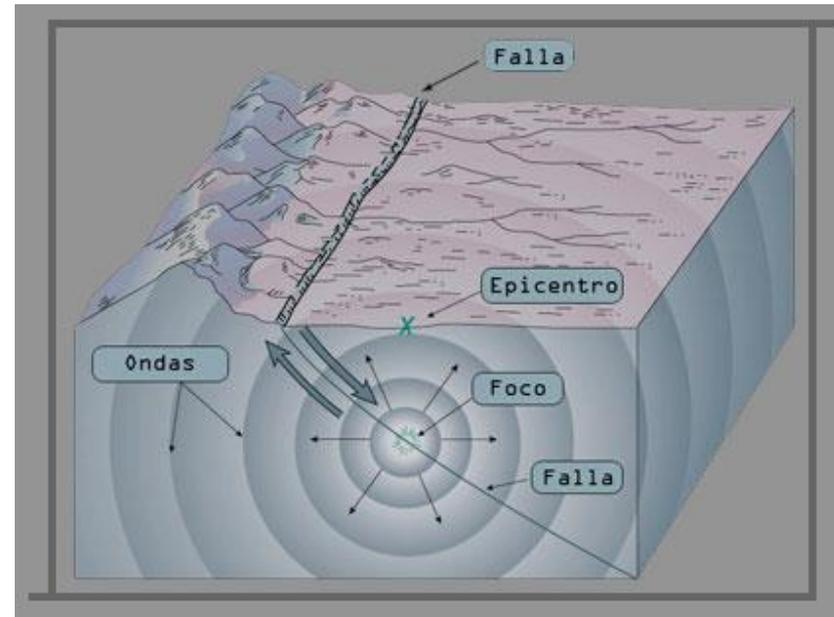
- Depende de **la energía en el foco**, por lo que cada sismo tiene una sola magnitud.
- **Magnitud cero** se da si la amplitud instrumental en un sismógrafo patrón (o sea de 40 mil amplificaciones), ubicado a 100 kms del foco es de 10^0 micras, es decir de una micra. Magnitud 3 si es de 10^{+3} micras o sea de 1 milímetro; magnitud -2 si esa amplitud es de 10^{-2} micras.
- **Entre una y otra magnitud**, la energía varía 31.5 veces; y siendo la escala exponencial, entre $m= +5$ y $m= +7$ o entre $m7$ y $m9$, esta se incrementa $(31.5)^{+2}$ o sea unas 1000 veces, puesto que es la misma variación para dos grados de diferencia en la magnitud.

Un sismo superficial Magnitud 6, puede hacer mas daños que uno profundo M7, a pesar de tener más energía el de Magnitud 7.



Sismos en el medio fluido

- En un barco se podrá registrar la onda de compresión (P) pero no la onda de cortante (S), de ese sismo.
- También la construcción de embalses sobre fallas geológicas, suele inducir sismos someros de relativa importancia, que generan “seiches”.
- Un “seiche” es una onda estacionaria que afecta a un cuerpo de agua encerrado o parcialmente encerrado.
- Lo anterior, dado que el agua por ser un líquido no es compresible como si lo son los gases, ni presenta resistencia al corte por tratarse de un líquido no viscoso. Imagen en: redescolar.ilce.edu.mx



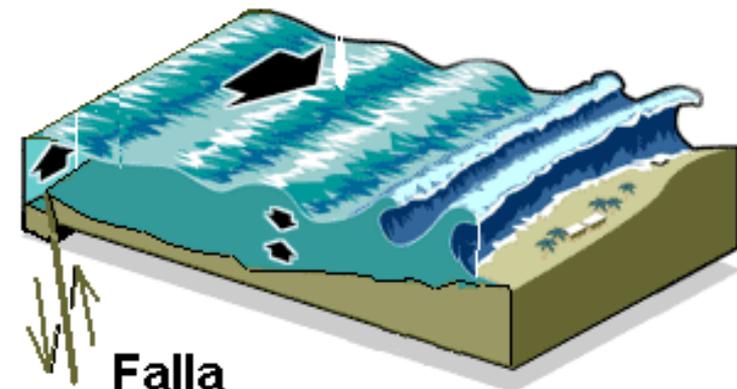
- Las ondas sísmicas se utilizan en la exploración petrolífera y son generadas de diferentes formas: por dinamita en pozos, un cable explosivo llamado geoflex, o por vehículos vibradores especiales sobre una plataforma de unos 3 por 4 metros de área, accionados mediante un sistema electrónico, eléctrico y mecánico-hidráulico.
- Existe también la sísmica de refracción para prospectar la geometría y litología del subsuelo aprovechando, que gracias al contraste de densidades, cambia la velocidad de las ondas y con ella los tiempos de arribo de las mismas a diferentes geófonos receptores distribuidos sobre el terreno, sean ellas directas o reflejadas.

El maremoto o tsunami

- Los sismos que se producen en la corteza ubicada en el fondo oceánico pueden causar “maremotos” cuando los bloques rocosos se desplazan verticalmente a lo largo de una falla, para bascular las aguas.
- En mar abierto la perturbación transmitida al agua es rápida, pero en aguas poco profundas la ola pierde velocidad y gana amplitud.
- A profundidades de 4-5 km las olas viajarán a 500 o 600 km/h, con longitudes de onda de 100 km a 200 km. Cuando la ola entra en aguas poco profundas, el intervalo entre crestas puede durar desde 10 minutos hasta media hora. Al llegar a la costa, la velocidad decrece hasta unos 50 km/h, mientras la altura crece de 3 a 30 m, por ejemplo.
- Además de los sismos tectónicos, existen otros mecanismos generadores de maremotos: erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, meteoritos, y explosiones submarinas y explosiones de origen meteorológico asociadas a fuertes vientos en la troposfera, o contrastes de aire cálido en niveles bajos de la atmósfera y débil o moderado en la superficie.



www.tonibosch.wordpress.com



www.bbc.co.uk

La falla de San Andrés en California

- Se localiza en la costa oeste de EE UU; allí, las rocas del océano se desplazan hacia el norte, y el continente hacia el sur. Por ese desplazamiento se acumulan esfuerzos que han de liberarse en la falla de San Andrés.
- Esta falla comprende cinco trazos principales que suman 2400 km: tres de ellos liberan energía de deformación de manera casi continua, mientras dos la acumulan para ser liberada violentamente cada veinte o cuarenta años, en forma de sismos superficiales y desastrosos.
- Pueden producirse en el futuro nuevos terremotos en San Francisco, tan violentos como el del año de 1906. Todo depende de la distancia a la cual se presente la ruptura en la extensa falla transformante, la que discurre a lo largo de 1300 km recorriendo de norte a sur el Estado de California, pasando al Este de Los Ángeles y continuando hasta penetrar el Golfo de California.
- Imagen: expresión topográfica anunciando la actividad de la Falla de San Andrés.



Sistema de fallas Arima-Takatsuki



- En KOBE Japón, el epicentro del terremoto de 1995 fue localizado en el centro del sistema de fallas Arima-Takatsuki, en el extremo norte de la isla Awaji. Este terremoto fue causado por una ruptura de 40 Km en el sistema de fallas de la microplaca Osaka.
- Aunque históricamente han ocurrido sismos destructivos en esta región, como el de 1596 con magnitud 7,5 la poca actividad sísmica reciente hacía que la población la considerara segura.
- Han pasado 400 años para que ocurra otro terremoto destructivo en el área, probablemente producido por el mismo sistema de fallas, cuando se estimaba que el intervalo activo era cercano a los mil años.

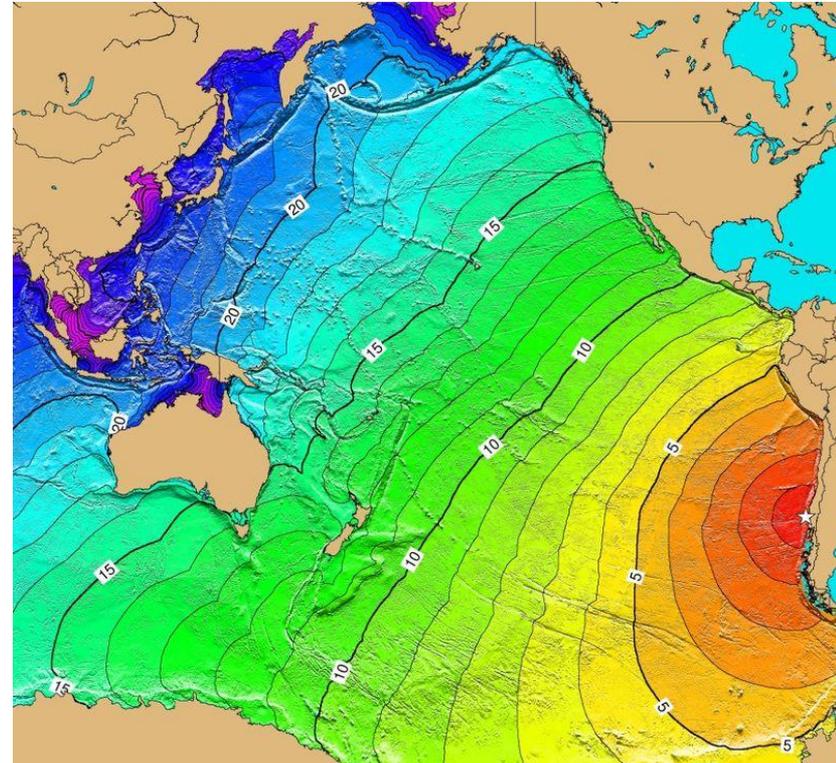
El terremoto de 2007 en Ica, Perú.

- El 15 de agosto de 2007 se presentó un terremoto de magnitud 8 en la costa del Perú, con una duración de 3 minutos 30 segundos y con epicentro en el mar entre Pisco y Chincha. No se produce maremoto, pero el evento supera las 500 víctimas mortales y 1542 heridas. Las poblaciones más afectadas: Chincha, Pisco e Ica, en el departamento de Ica. Mientras el balance preliminar daba cuenta de ocho clínicas, siete edificios, seis iglesias, un hotel, 14 carreteras y dos puentes destruidos, posteriormente se informa que dicho sismo deja en el Perú, como saldo, 595 muertos, 2291 heridos, 76 mil viviendas destruidas y 431 mil damnificados.
- Esta historia es la de cualquier otro país andino, como Colombia, Ecuador, Chile y Venezuela, todos con una historia común en materia de riesgo sísmico y desarrollo.



El terremoto de 1960 en Valdivia, Chile

- De magnitud 9,5, es el sismo de mayor magnitud registrado en el mundo: alcanzó una intensidad Mercalli de entre XI y XII en Valdivia, dejó al menos 2.000 muertos y dos millones de personas damnificadas, y provocó un maremoto con olas de 10 m de altura que tras afectar la costa chilena entre Concepción y Chiloé, recorre el océano Pacífico dejando víctimas en lugares tan lejanos como Japón, Hawái o Filipinas, a donde llegó 15 horas después.
- Tras el masivo evento de 8 minutos de duración, que fracturó toda la zona de subducción entre la península de Arauco y la península de Taitao, dos días después se produce la erupción del volcán Puyehue, a 200 km del epicentro.



Recorrido del maremoto desde Valdivia a lo largo del océano Pacífico. Fuente: <https://es.wikipedia.org>

Terremoto de 1983, en Poyayán

- En la mañana del Jueves Santo 31 de marzo, siendo las 8:15 de la mañana, un sismo de magnitud 5,5 e intensidad VIII grados en la escala de Mercalli, destruyó a Popayán.
- Las consecuencias del evento con epicentro a 46 km al suroeste de Popayán, hipocentro a 4 km de profundidad y 18 segundos de duración, fueron: trescientas víctimas mortales y más de diez mil personas sin techo.
- Los daños más graves se presentaron en Popayán y poblaciones aledañas. Hubo grandes daños en la Catedral Metropolitana, el Templo de Santo Domingo, el Centro Histórico y en Edificios Residenciales como Pubenza. En Cajete y Julumito, la mayoría de viviendas quedaron destruidas. Se generaron réplicas, deslizamientos y grietas en el terreno en Popayán, Cajete, Cajibío, Julumito, Figueroa, Rio Hondo y Santa Ana.
- El ambientalista payanes [Gustavo Wilches Chaux](#), quien subraya el papel de la planificación como herramienta preventiva de desastres, dice: "Los desastres no son ni naturales ni castigos de Dios"



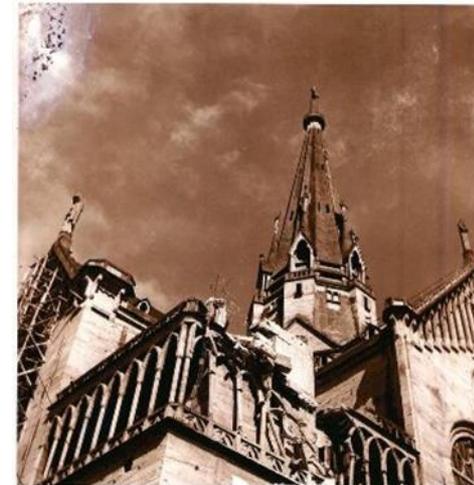
Principales peligros en un terremoto



- **Primer grupo.** Temblor del suelo, asentamientos diferenciales de la estructura, hundimientos del suelo, deslizamientos y avalanchas.
- **Segundo grupo.** Desplazamiento del suelo a lo largo de una falla.
- **Tercer grupo.** Maremotos (Tsunamis) y seiches (oscilaciones en lagos y embalses), inundaciones por daños en embalses y ruptura de diques y conducciones hidráulicas.
- **Cuarto grupo.** Incendios, colapso de estructuras y acabados.

En el riesgo por deslizamientos podemos incidir sobre la amenaza, pero en el riesgo sísmico sólo queda la alternativa de intervenir la vulnerabilidad.

- 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 de alto y moderado nivel de riesgo sísmico.
- 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.
- Según la teoría de la brecha se pueden hacer pronósticos buscando sombras sísmicas, o sea lugares en el umbral del período de retorno, con energía acumulada dados sus antecedentes por sismos fuertes.



Derecha: Imágenes de una torre menor de la Catedral de Manizales, colapsada en el sismo de 1962. La Catedral, una obra en ferrocemento iniciada en 1927 y concluida en 1939, ya ha sido objeto de reforzamiento sísmico y de obras complementarias de restauración. Centro de Historia de Manizales.



Estudio del Riesgo

Se pueden definir riesgo, amenaza y vulnerabilidad, como conceptos probabilísticos a los que se pueden asociar funciones para facilitar su manejo en términos de pronósticos. La probabilidad será cualitativa si decimos que es alta o baja, o será cuantitativa si le señalamos al evento su frecuencia temporal.

-Riesgo: Posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.

-Amenaza: Evento o fenómeno 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 resistencia o fragilidad de las personas y de los bienes expuestos. La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica.

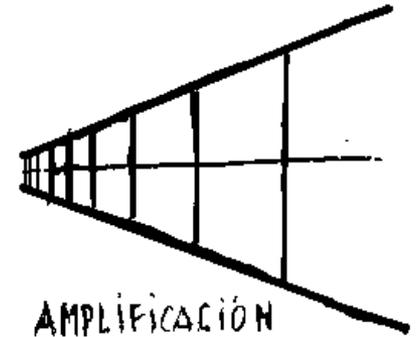
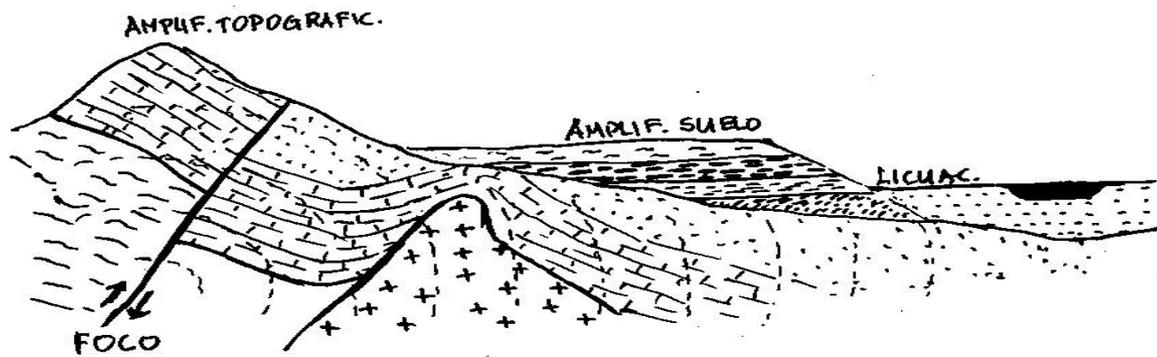
Evacuación por sismo

- Se requiere de una metodología para desarrollar simulacros con base en 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** (señalizar 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).



Terremoto del Quindío de 1999,
en: tecnovet.uchile.cl

Amplificación Sísmica



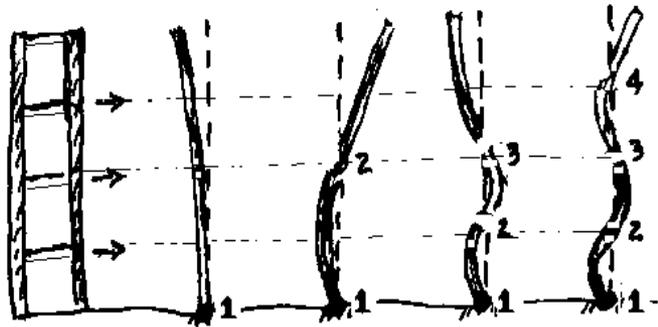
Pero el tipo de suelo y la topografía, modifican la amplitud de las sacudidas. Un frente de ondas **en la roca** suele tener altas frecuencias y en consecuencia alta energía. Cuando las ondas pasan a los depósitos sobreyacentes se amplifican: luego, bajando la frecuencia aumenta la amplitud, pues la energía trata de conservarse.

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

Sobre colinas relativamente pronunciadas del relieve, por efectos de esbeltez la fuerza sísmica puede incrementarse hasta en un 50%.

En la figura, se advierte sobre la amplificación por condiciones topográficas y por la mayor o menor rigidez del suelo; también a la derecha se ilustra la relación inversa entre frecuencia y amplitud para un mismo nivel de energía sísmica: alta frecuencia en roca y baja frecuencia en suelo blando.

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 |

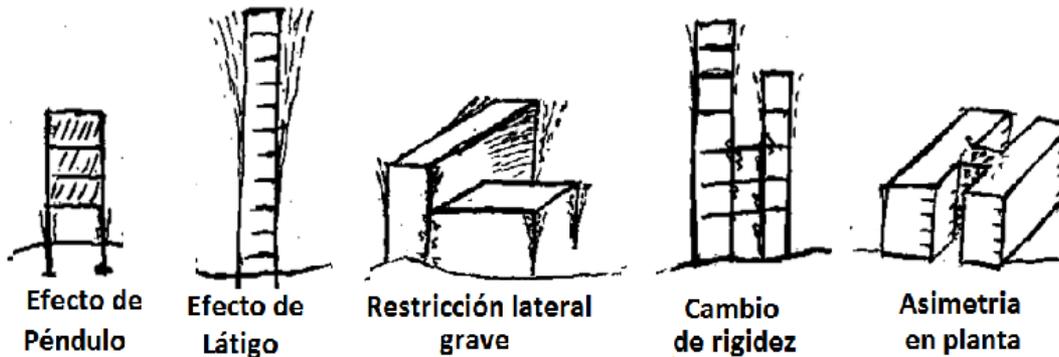
Las estructuras esbeltas suelen ser flexibles y esto las hace poco viables en suelos blandos. Igualmente otras estructuras poco rígidas como las de bahareque, suelen sufrir mayor daño cuando se construyen sobre suelos blandos y deformables.

Lo anterior se relaciona con el fenómeno de resonancia, que invita a evitar construcciones con un período fundamental similar al del suelo de cimentación. Véase este fenómeno en el video que muestra el [Colapso del puente de Tacoma](#) causado por el viento

Para suelos blandos se recomienda la construcción de estructuras rígidas, como lo son las viviendas de mampostería reforzada de uno o dos pisos. Sobre suelos rocosos resultan convenientes las edificaciones altas.

En la imagen, se ilustran los modos de vibración de una estructura esbelta de cuatro pisos. También la posible similitud entre la frecuencia natural de un suelo con una estructura, según sea la dureza del suelo y el número de pisos de la estructura.

Fenómeno de resonancia II



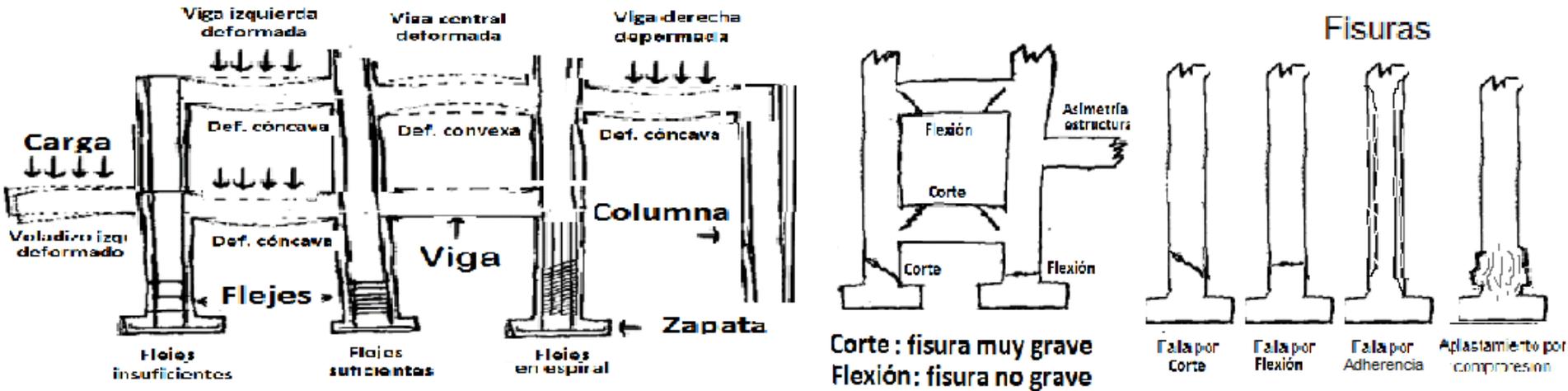
La ingeniería sismorresistente busca, entre otras cosas, que no se presente resonancia; es decir, que la frecuencia natural de la estructura quede desfasada de las frecuencias naturales de los diferentes suelos: si ambas coinciden se da el fenómeno de resonancia. En razón a ello, se recomienda construir estructuras rígidas en suelos blandos y estructuras flexibles en suelos rígidos.

Casas y construcciones bajas suelen tener las mismas frecuencias naturales de las rocas, y las edificaciones esbeltas las mismas frecuencias de los suelos blandos. Ver: el [Colapso del puente de Tacoma](#), famoso por su dramático colapso estructural inducido por el viento.

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 imagen derecha, ilustra el daño estructural ocasionado por un sismo a una columna deficiente en flejes, asociado el efecto de columna corta.

El código de sismorresistencia

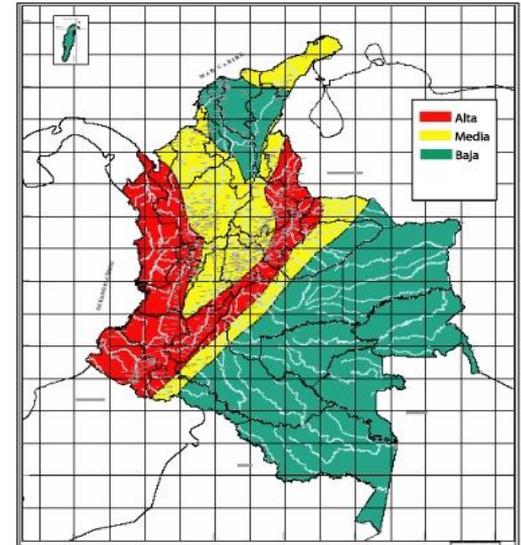


Colombia tiene un Código colombiano de construcciones sismorresistentes, elaborado por la Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica y aprobado por Decreto 1400 de 1984. Tiene una Red Sísmica Nacional administrada por el Ingeominas y Redes Regionales en el Valle (OSSO) y en el Eje Cafetero. También cuenta con el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, creado en 1990.

La Imagen, ilustra las fisuras de corte y aplastamiento en vigas y columnas ocasionadas por un sismo (patología grave) y de flexión y adherencia (patología no relevante), en una estructura; también muestra los flejes deficientes (espaciados) o los flejes correctos. Estos para resultar adecuados deben tener densidad mas alta en los tercios superior e inferior de las columna. También ilustra cómo una deformación cóncava en vigas cargadas, ocasionaría una convexa en un corredor sin carga cuando las carga vecinas son excesivas; además muestra a la izquierda la deformación típica e conveniente en voladizos cargados.

Riesgo Sísmico en Colombia

- Ingeominas define la amenaza sísmica como la probabilidad de que un parámetro como la aceleración, la velocidad o el desplazamiento del terreno producida por un sismo, supere o iguale un nivel de referencia. Estima además que 475 cabeceras municipales, donde habita un 35% de la población colombiana, se encuentran en zonas de amenaza sísmica alta; que 435 habitadas por el 51% de la población estaría en amenaza sísmica intermedia; y que 151 cabeceras con el 14% de la población estaría en amenaza sísmica baja.
- La aceleración pico efectiva horizontal del sismo de diseño acogiendo la NSR-98, como porcentaje de la aceleración de la gravedad, tienen una probabilidad de ser excedidas del 10% en un lapso de 50 años, valor correspondiente a la vida útil de una edificación.



www.seisan.ingeominas.gov.co

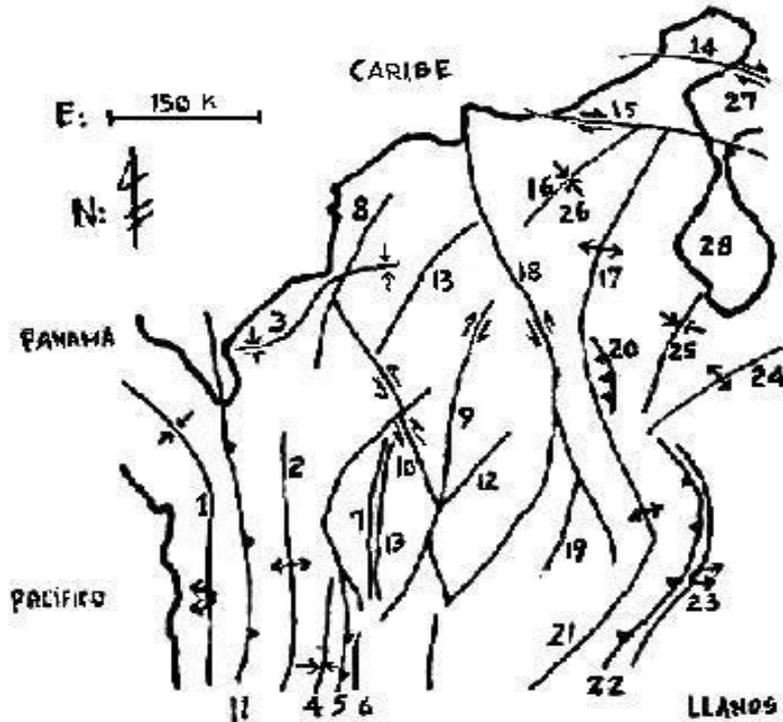
ZONIFICACIÓN DE INGEOMINAS.

Zona de Amenaza Sísmica Alta: en regiones donde se esperan temblores muy fuertes con valores de aceleración pico efectiva mayores de 0.20g. Un 23% del territorio Colombiano queda incluido en la zona de amenaza sísmica alta: ejemplos, Pasto, Quibdó y Buenaventura, además del andén del Pacífico colombiano.

Zona de Amenaza Sísmica Intermedia: para regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva comprendida entre el 0.10g y el 0.20g. El 22% del territorio se encuentra incluido en zona de amenaza intermedia: ejemplos, Bogotá, Medellín, Ibagué y el piedemonte llanero.

Zona de Amenaza Sísmica Baja: corresponde regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (A_a) de 0.10g. Un 55% del territorio Colombiano se encuentra zona de amenaza baja. Ejemplos Barranquilla, Cartagena, Valledupar y el oriente de Colombia.

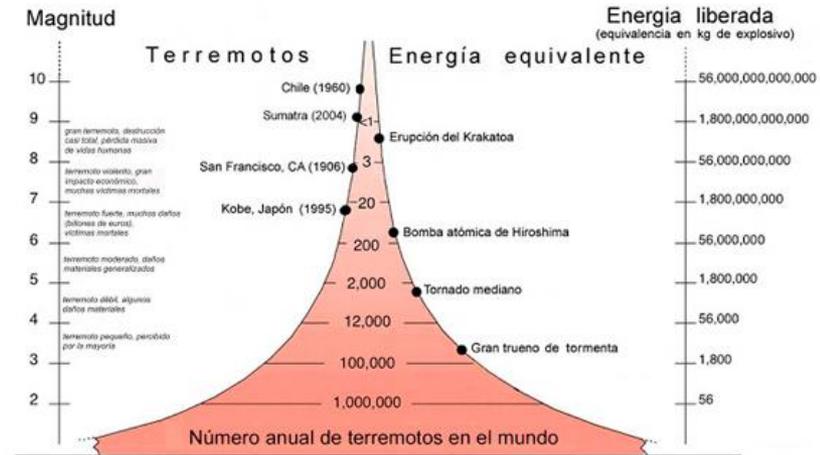
Fallas en Colombia



- La F. Atrato afecta a Valle del Cauca, Chocó y Antioquia.
- La F. Romeral atraviesa a Nariño, Cauca, Tolima, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar y Magdalena.
- La F. del Cauca recorre a Nariño y Cauca.
- La F. Palestina cruza por Tolima, Caldas, Antioquia y Bolívar.
- La F. Santa Marta-Bucaramanga afecta a Cundinamarca, Boyacá, los Santanderes, Cesar y Magdalena.
- La F. Guaicaramo cruza Meta, Cundinamarca, Boyacá y Arauca.
- También se han registrado sismos en Puerto Carreño, Putumayo y San Andrés.

¿Cada cuánto y dónde?

- En un año se dan 154 sismos $m = 6$ y 17 $m = 7$; cada tres años y medio hay uno $m = 8.6$; cada 90 años solo uno $m = 9$; Tumaco en 1906, Japón en 1923 y Lisboa en 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.



Colombia cuenta con la Norma NSR-10 sobre diseño y construcción sísmo resistente, instrumento que para el efecto aplica un período de retorno de 475 años. 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 del orden de los 20 años en la región. Imagen: La figura muestra una **estadística y clasificación de los terremotos según su magnitud** y energía equivalente, además del número de eventos por año.

Cálculo del Riesgo



En cuanto a la amenaza, conforme los períodos de retorno de los eventos hidrometeorológicos extremos Tr se han acortado por el calentamiento global, también el riesgo R se ha incrementado, tal cual lo ilustra la tabla de Valoración del Riesgo adjunta, donde el riesgo pasa de 0,63 a 0,98 cuando el período de retorno Tr de una amenaza pasa de 100 años a 25 años, incidiendo sobre una obra cuya vida útil n es de 100 años. Veamos la tabla para la valoración del riesgo.

$$R = 1 - (1 - 1/Tr)^n$$

| Valores de R | | n= Vida útil de una obra | | | | | | | |
|--|------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Años | 10 | 25 | 50 | 100 | 250 | 500 | 1000 |
| Tr= Período de retorno de la amenaza | 10 | | 0,65 | 0,93 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | 25 | | 0,34 | 0,64 | 0,87 | 0,98 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| | 50 | | 0,18 | 0,40 | 0,64 | 0,87 | 0,99 | 1,00 | 1,00 |
| | 100 | | 0,10 | 0,22 | 0,39 | 0,63 | 0,92 | 0,99 | 1,00 |
| | 250 | | 0,04 | 0,10 | 0,18 | 0,33 | 0,63 | 0,87 | 0,98 |
| | 500 | | 0,02 | 0,05 | 0,10 | 0,18 | 0,39 | 0,63 | 0,86 |
| | 1000 | | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,10 | 0,22 | 0,39 | 0,63 |

TABLA: Valoración del Riesgo R en función del período de las Amenazas Tr y la vida útil de una obra n .
Se recomienda diseñar para los valores de R de la diagonal roja.

Como fundamento, en la fórmula para estimar R , el factor $1/Tr$ es la probabilidad temporal del evento, así se trate de lluvias o de sismos. Las obras se diseñan del lado de la falla, donde $R > 50\%$, pues de lo contrario la ciudad no sería viable. Pero otro asunto diferente al del clima, es la vulnerabilidad sísmica donde también el riesgo se ha incrementado por otra vía, dado el advenimiento del gas natural sumado al crecimiento no planificado del hábitat en las ciudades de Colombia. Obsérvese cómo para los sismos con Tr entre 250 y 500 años, la vida útil de una obra de importancia, la que debe diseñarse para n igual a 100 años, comporta un riesgo R moderado a bajo (del 33% al 18%).

Probabilidad de ocurrencia vs. Periodo de retorno 1

Siendo los sismos fenómenos de comportamiento aleatorio, existe incertidumbre en la distribución de los eventos, tanto en el tiempo como en el espacio.

•La **metodología para evaluar la amenaza sísmica** involucra la **evaluación probabilística** de los siguientes aspectos (Larsson & Mattson, 1987):

•1. **¿Cuándo ocurre el terremoto?** Para el efecto se calcula su **probabilidad** de ocurrencia en un tiempo dado.

•2. **¿Cuál es el tamaño de los terremotos?** Se define la **máxima magnitud** probable en un intervalo de tiempo dado.

•3. **¿Dónde ocurre el terremoto?** Se calcula la **distancia de las fuentes sísmicas** al sitio bajo investigación.

•4. **¿Cuál es la influencia del sitio?** Se establece una **relación de atenuación** de las ondas sísmicas.

Los conceptos más importantes para definir la acción sísmica, incluyen el **período de retorno de un terremoto** y la **probabilidad de excedencia**. Ambos conceptos son asociados con la **vida útil** (o **vida económica**) de las estructuras.

(Este aparte, se ha tomado de: <http://ingenieriageofisica.scienceontheweb.net>)

• Comúnmente, el fenómeno sísmico se idealiza como un proceso en el cual **los eventos son independientes** entre si y con respecto al tiempo.

•La probabilidad de excedencia (o de ocurrencia) es la probabilidad que al menos un terremoto de ciertas características tendrá lugar en un período de tiempo determinado. Dicho parámetro condiciona el diseño sísmico.

•La **vida útil** considerada para construcciones urbanas o industriales están entre 50 y 100 años.

•Se consideran **dos probabilidades de excedencia** de interés:

Primero, la del terremoto de magnitud moderada, o terremoto de operación.

Segundo, la de un evento de alta magnitud, pero esporádico, o **evento accidental**.

Mientras para los terremotos de operación, se considera las probabilidades de excedencia entre el 50% y 64%, para el accidental, suele aplicarse un 10% de probabilidad.

Probabilidad de ocurrencia vs. Periodo de retorno 2

- **Veamos cómo se determinan el período de retorno y la aceleración correspondiente, para el espectro de diseño.**

- La fórmula que relaciona la probabilidad de ocurrencia “p” durante un periodo de años “n” con el periodo de retorno “T” es la siguiente:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - p)^{1/n}}$$

- Un sismo con una probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años, tiene **475 años de periodo de retorno**. El sismo así definido, es el que se utiliza en el Eurocódigo.

- En segundo lugar, con una probabilidad de ocurrencia del 10% en 100 años, al introducir los valores $p=0.1$ y $n=100$, se obtiene **T=950**. Ese es el evento utilizado como sismo de Estado Límite Último en proyectos en California.

- Similarmente, para un sismo que tiene una probabilidad de ocurrencia del 10% en 10 años, el período de retorno es **T= 95** años. El sismo así definido es el que se utiliza a veces para determinar la acción sísmica a considerar durante la construcción de puentes de gran importancia.

Conocidos ya “a1”, “T1” y “T2”, queda por determinar el valor de la aceleración “a2” que sirve para construir el espectro de diseño. Un acelerograma es una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un terremoto.

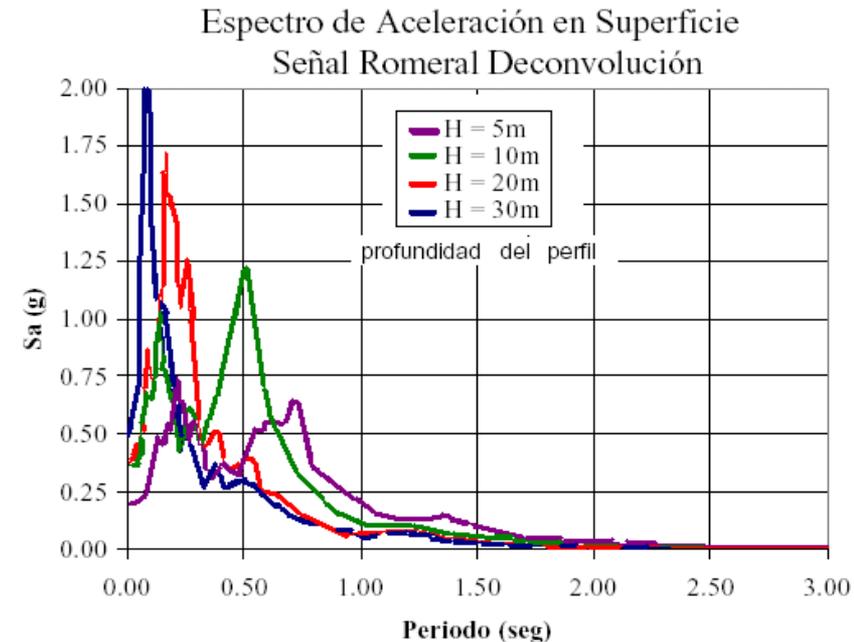
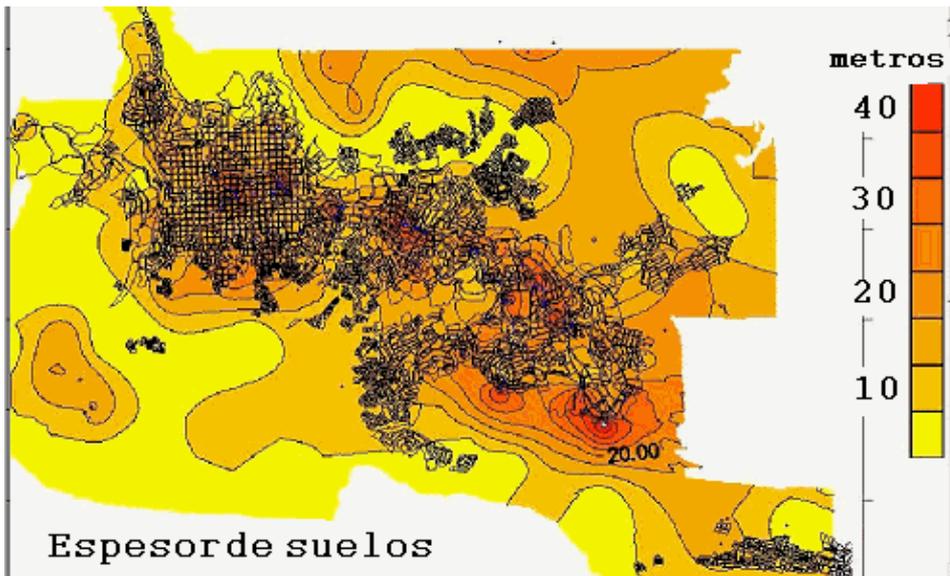
Con T1 tras convertir la probabilidad de ocurrencia (p1) en un tiempo (n1) en periodo de retorno (T1), podemos utilizar el periodo de retorno (T2) así obtenido con la fórmula anterior, para definir la aceleración del suelo (a2), mediante esta fórmula.

$$\frac{a2}{a1} = \left(\frac{T2}{T1} \right)^k$$

Obtenido dicho valor a2, se entra a definir el espectro de diseño correspondiente a dicha aceleración del suelo (a2). En esta expresión del Eurocódigo, “k” es un valor que puede variar entre 0.3 y 0.4.

Fuente: <https://seismic06g.wordpress.com>

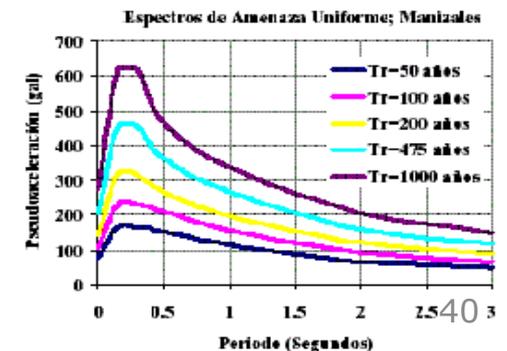
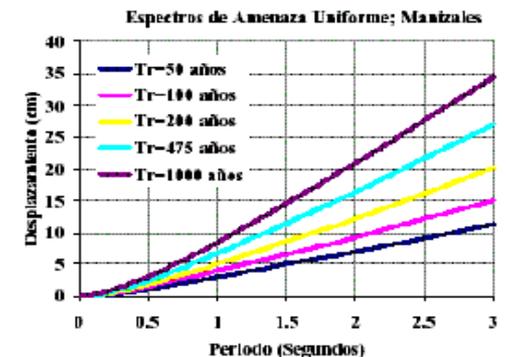
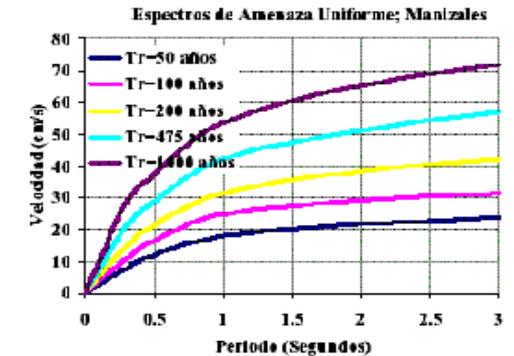
Amenaza sísmica en el Eje Cafetero I



- En el terremoto del Quindío (99), la aceleración registrada en Armenia varió desde el 58% en la Universidad del Quindío, hasta el 9% de la gravedad en la bocatoma de Calarcá. Todo esto se explica por la respuesta sísmica asociada a la clase de suelo. En suelos blandos y saturados la amplificación del movimiento es alta, y en depósitos altamente consolidados y en roca, baja: véase en la imagen derecha los espectros, en función del espesor de los suelos.
- En las Figuras, Espesores de suelos en Manizales (Izq) y espectros de aceleración esperada en superficie, según los espesores de los depósitos de suelo no consolidados (Der). CIMOC 2000. Fuente figuras: CIMOC 2002.

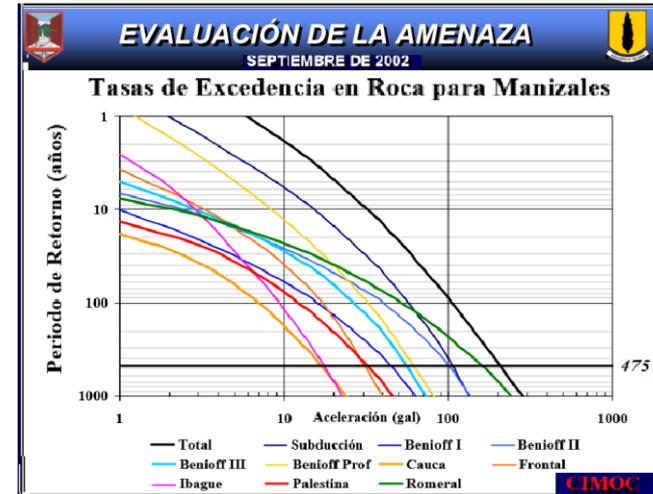
Amenaza sísmica en el Eje Cafetero II

- El Eje Cafetero está en una de las zonas de alto riesgo sísmico.
- Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1985 ponen en evidencia una fuente sísmica generadora de sismos 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. Como ejemplo, los sismos de Popayán 1983 y Quindío 1999, capaces de producir eventos de magnitud 6, pero de mayor intensidad.
- En la Figura, **Espectros para Manizales:** Espectros de Velocidad, Desplazamiento y Aceleración, para sismos probables con períodos de retorno de 50, 100, 200, 475 y 1000 años. Fuente figura: CIMOC 2002.

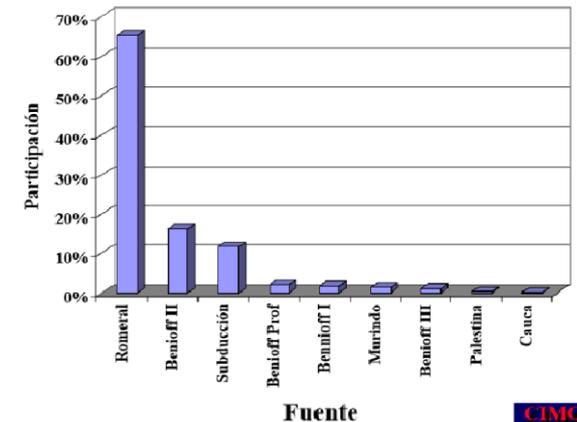


Microzonificación sísmica de Manizales, CIMOC (2002)

- A raíz de los daños ocasionados por los eventos sísmicos citados, en las capitales del Eje Cafetero se han hecho esfuerzos para evaluar la amenaza sísmica local. Desde principios de la década de los 90, Manizales comenzó los estudios de microzonificación sísmica requeridos para la reglamentación del diseño sismorresistente en la ciudad.
- La Alcaldía de Manizales a través de la OMPAD y la Secretaría de Obras Públicas, con un aporte del Fondo Nacional de Calamidades y recursos propios, se dispuso a la culminar la microzonificación sísmica a través del CIMOC de la Universidad de los ANDES, contando para el efecto con la participación de CORPOCALDAS, Aquaterra, la Universidad Nacional Sede Manizales y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- A partir del catálogo de sismos y de la documentación histórica disponible, se concluye que las fuentes principales para la ciudad de Manizales, son dos: 1. Romeral: Fuente Cercana. 2. Subducción y Zona de Benioff: Fuentes Regionales.



Participación de las Fuentes para un Tr = 475 años



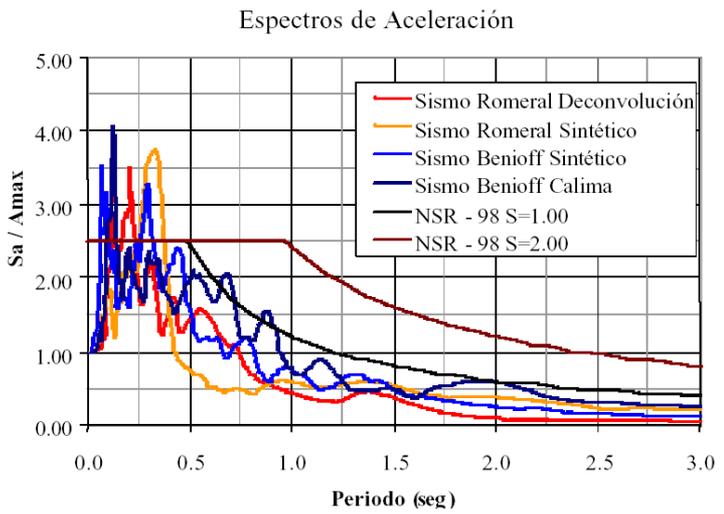
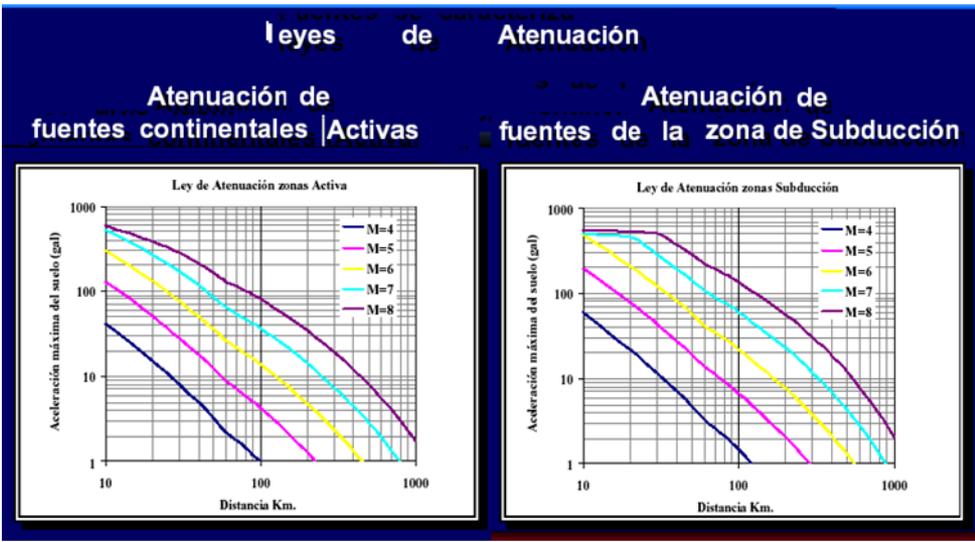
| | Participación en la Tasa | Amx Tret = 475 años |
|---------------|--------------------------|---------------------|
| Romeral | 65.2% | 175 gal |
| Benioff TOTAL | 22.2% | 150 gal |
| Romeral | 65.2% | 175 gal |
| Benioff TOTAL | 22.2% | 150 gal |



Espectros para la amenaza sísmica de Manizales

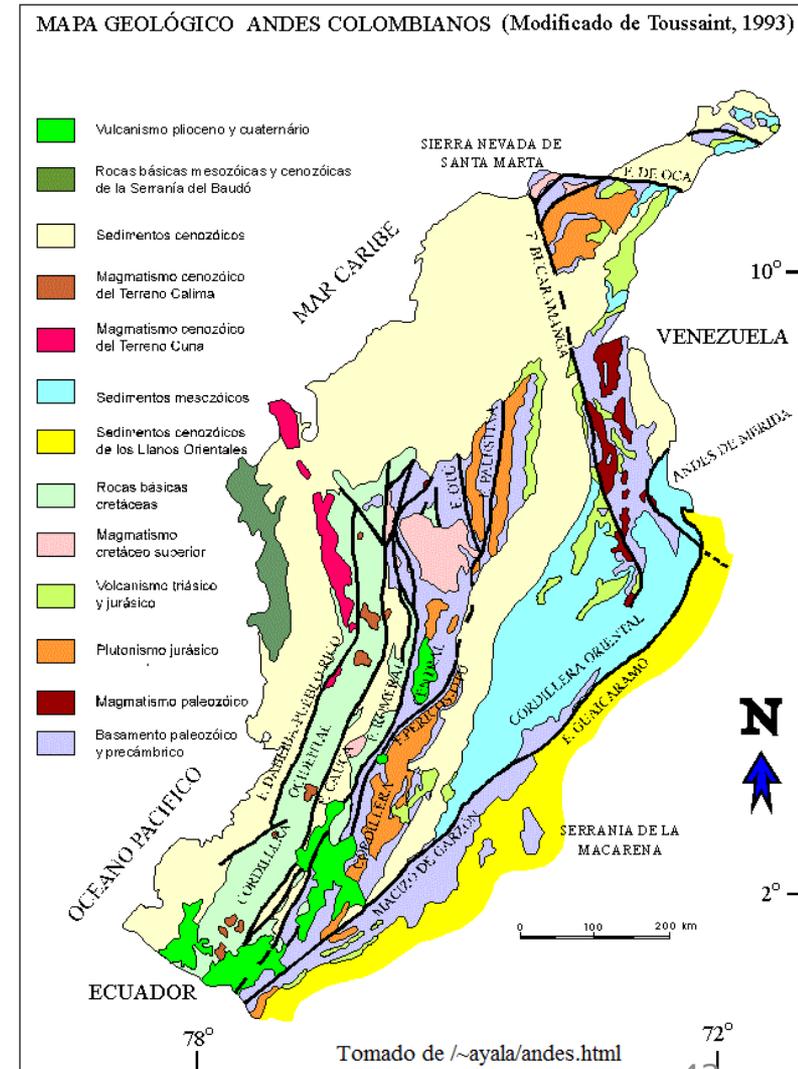
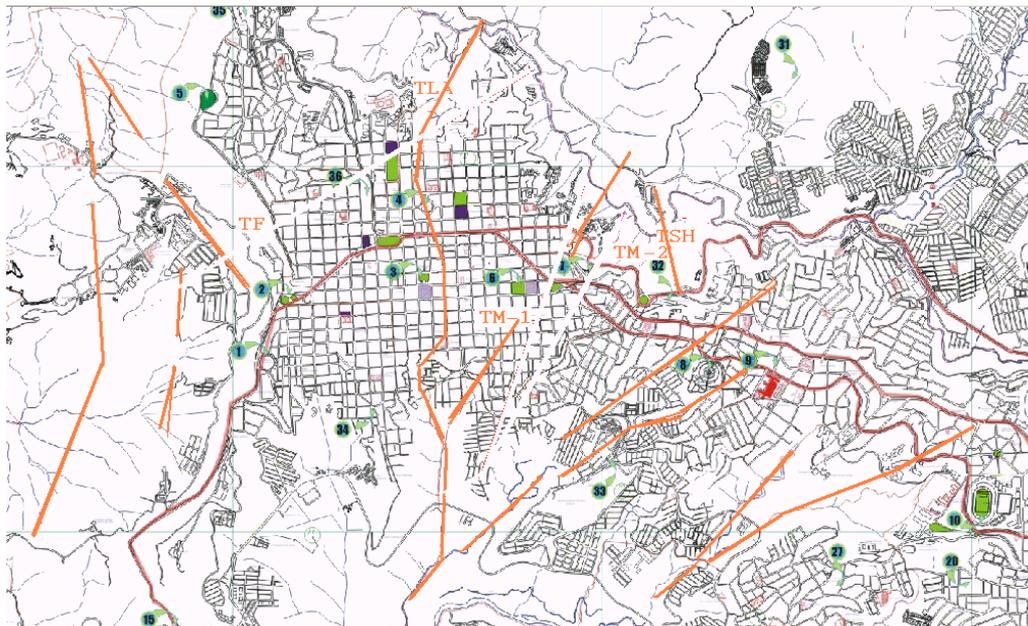
El CIMOC 2002, en el estudio Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales, estimó la fuerza máxima y la duración de la fase intensa de la excitación en el basamento, así:

- **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**, (Subducción) más lejanas y profundas y con sismos magnitud 7,0: aceleración máxima 0,15g y duración de la fase intensa 45 seg.
 - También para ambas fuentes sísmicas, obtuvo las leyes de atenuación y los espectros de aceleración según la NSR-98.
- Fuente imágenes: CIMOC 2002.



Riesgo Sísmico en un lugar - I

Estudios geológicos para evaluar el RS. Tectónica regional, cartografía de fallas capaces en 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. Imagen Izq. En naranja, lineamientos y fallas de Manizales. INGESAM Ltda., 2006. Imagen Derecha, Geología andina de Colombia. Toussaint 1993, In: <http://www.mat.unb.br/~ayala/andes.html>

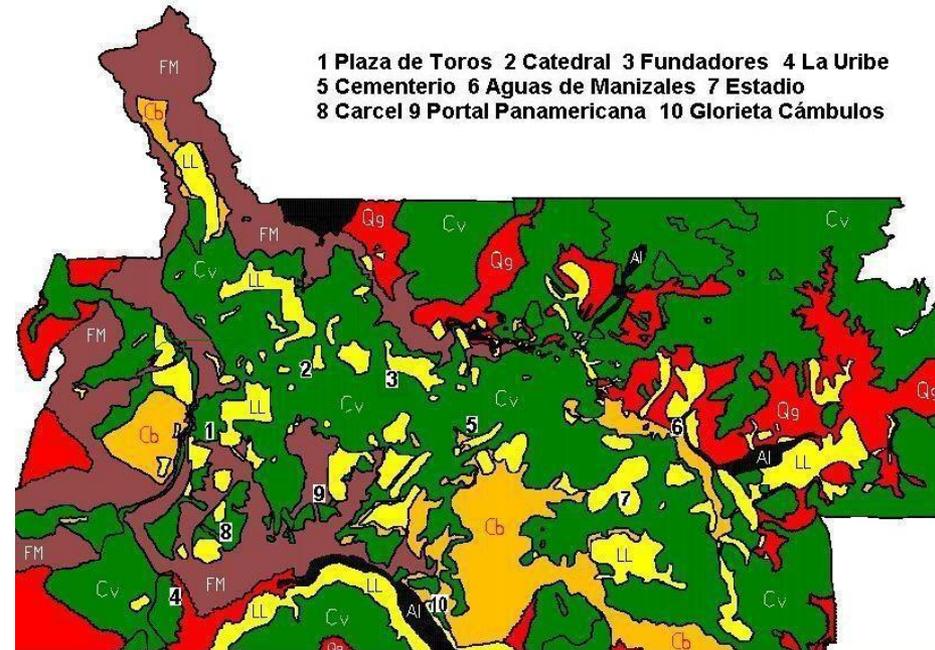
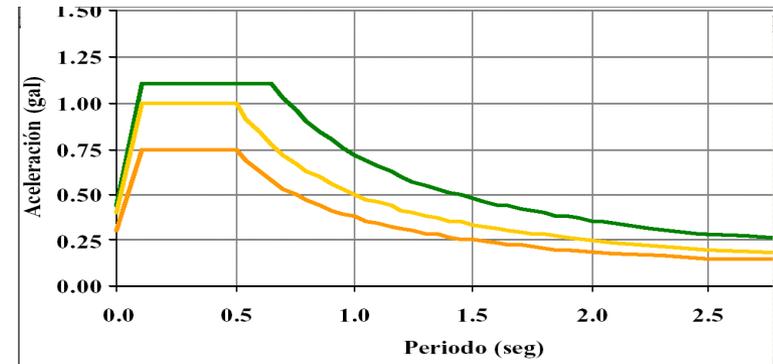


Riesgo Sísmico en un lugar - II

- **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.

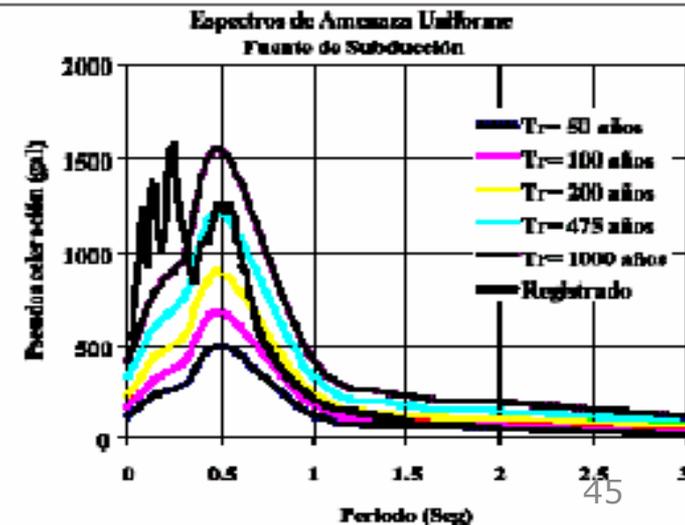
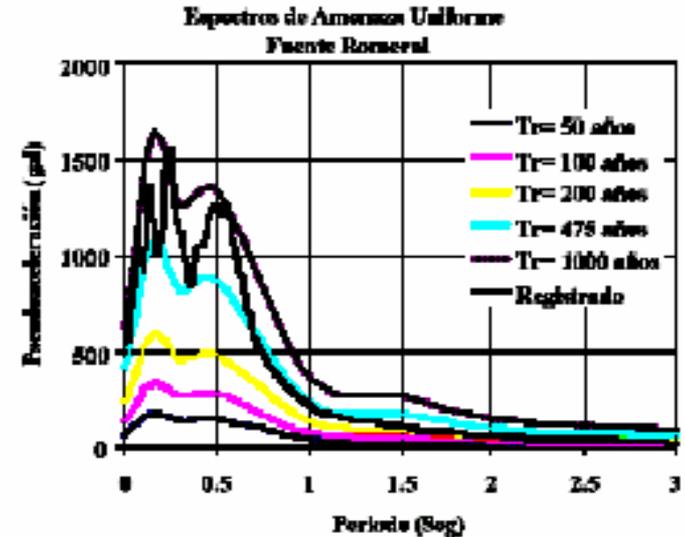
- Arriba, espectros de diseño para las diferentes zonas de la ciudad de Manizales. Para suelos blandos y espesos se propone el espectro verde, para suelos duros o de poca potencia el amarillo, y para los suelos duros, caso depósitos altamente consolidados o cimentaciones rocosas, el naranja que es el que aplica en Colombia.

- Abajo, en amarillo se muestran los rellenos LL, en Naranja la F. Casabianca Cb, en Púrpura F. Manizales FM, en Verde las cenizas volcánicas Cv de Manizales, y en Rojo el basamento rocoso conformado por el C. Quebradagrande. Fuente CIMOC 2002.



Riesgo Sísmico en un lugar – III

- **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, y los espectros de aceleración de las dos fuentes para varios períodos de recurrencia, permiten inferir no solo que la fuente sísmica que generó dicho terremoto fue Romeral, sino también que el período de retorno del sismo del Quindío (1999) podría ser de 750 años. No obstante, el CIMOC propone para Manizales, asumir como sismo de diseño un evento de 450 años (azul claro), para hacer económicamente viable la ciudad. Imágenes: Fuente CIMOC 2002.

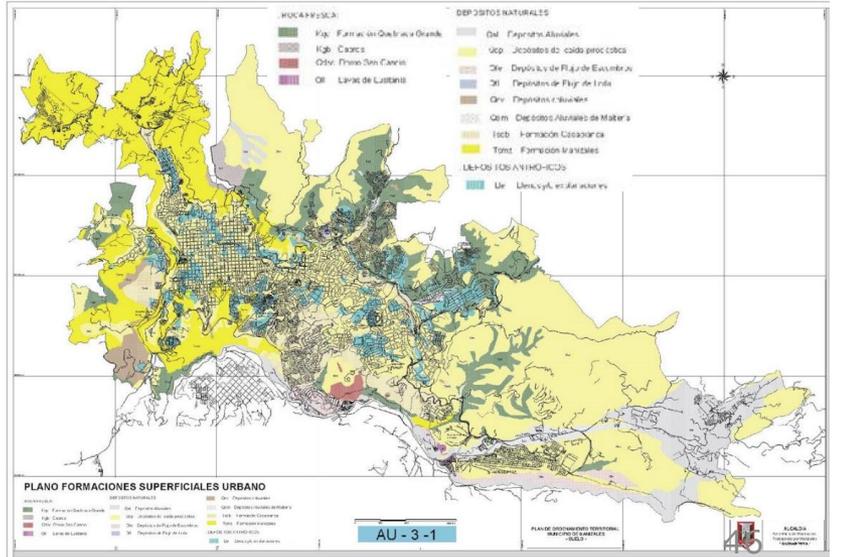
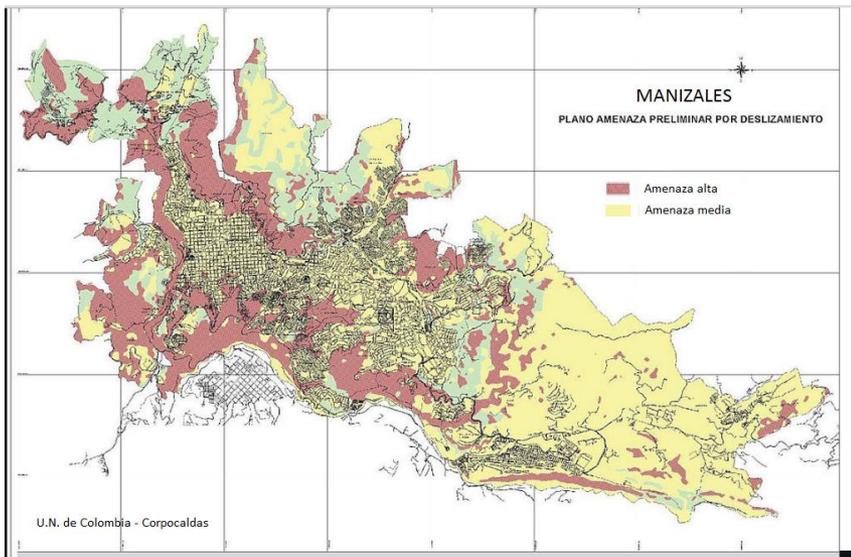


Vulnerabilidad de las laderas de Manizales

En el POT, se deben considerar ajustes en el factor de seguridad de las laderas, teniendo en cuenta además de los resultados de la microzonificación sísmica desarrollada por el SIMOC que invitan a contemplar el efecto de amplificación de los suelos, los cambios en la amenaza climática donde el período de los eventos extremos se ha acortado de forma sustantiva.

Si las laderas de fuerte pendiente del trópico andino poseen un factor de seguridad de largo plazo igual a uno, con los modelados y con la deforestación se ha vulnereado ese frágil equilibrio límite de estabilidad.

Véase en rojo cómo las zonas de mayor susceptibilidad a los deslizamientos en Manizales, coinciden con las laderas de fuerte pendiente de la ciudad. Mapa Preliminar de Amenazas por Deslizamiento y Formaciones Superficiales de Manizales Urbano UN- Corpocaldas. Idea UN y POT de Manizales.



Manizales: sistemas estructurales

Las viviendas de muros de adobe, son de paredes de bloques de piedra o arcilla ligados por barro; las de bahareque, son de paredes con cerchas de madera o de guadua, forradas en láminas metálicas, en tabla o en esterillas empañetadas con limos y cagajón o con mortero de cemento; la de mampostería simple, se construye de muros ligados con morteros de arena y cemento que no tienen refuerzo; la de mampostería reforzada, está provista de refuerzo embebido en celdas rellenas de concreto, además de refuerzo horizontal cada cierto número de hiladas; la vivienda de mampostería confinada, la conforma un sistema de muros provisto de vigas y columnas de amarre perimetrales que confinan las paredes; en la vivienda aporticada, el sistema de vigas y columnas reforzadas forma un entramado monolítico en tres dimensiones; la vivienda aporticada arriostrada, es la anterior provista de elementos de refuerzo diagonales que articulan uno o dos nudos del pórtico.

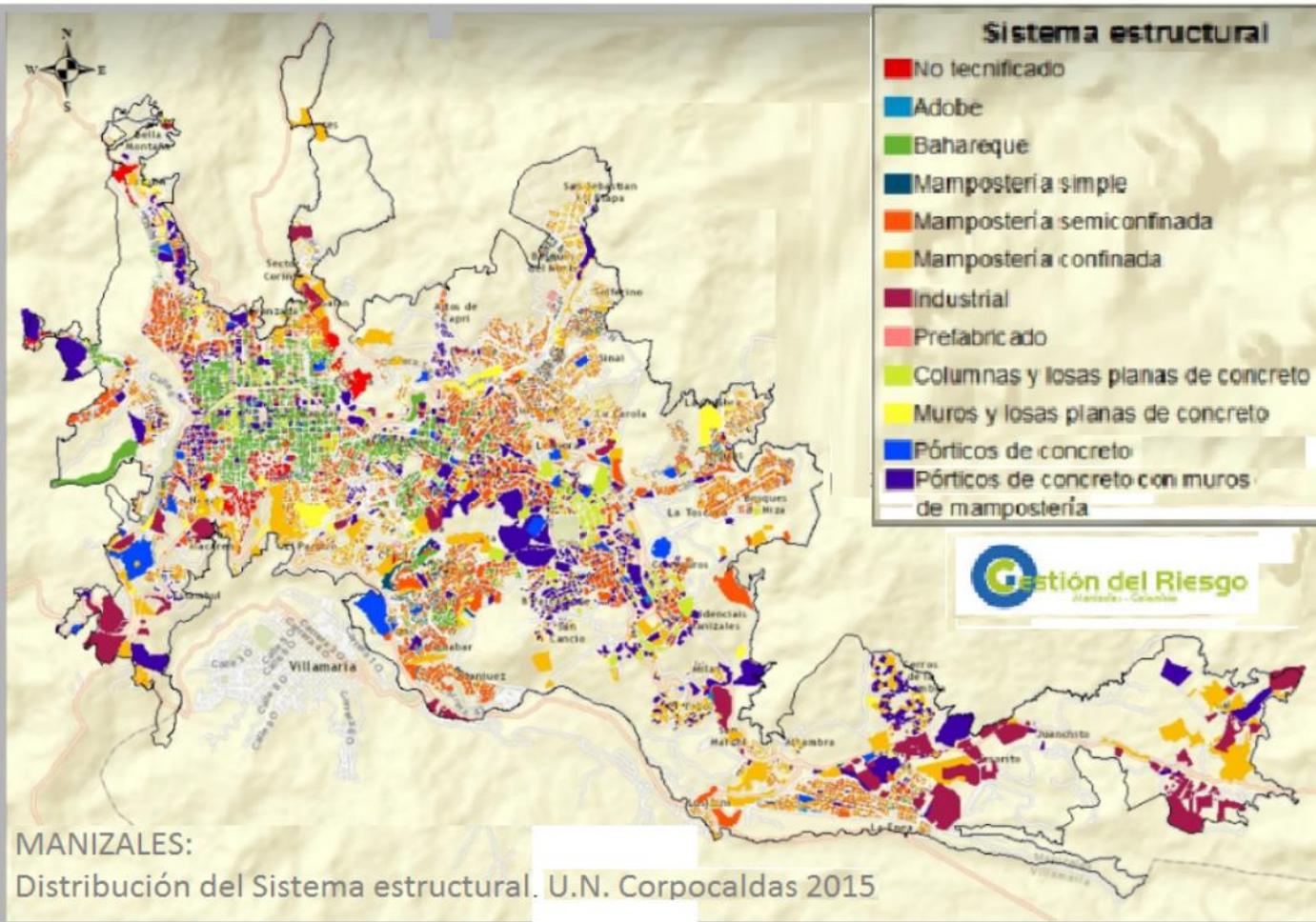
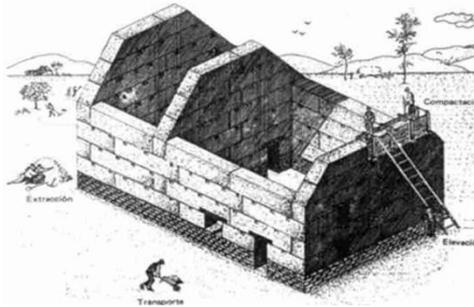


Imagen: Manizales: Distribución del Sistema estructural. U.N de Colombia-Corpocaldas, 2015.

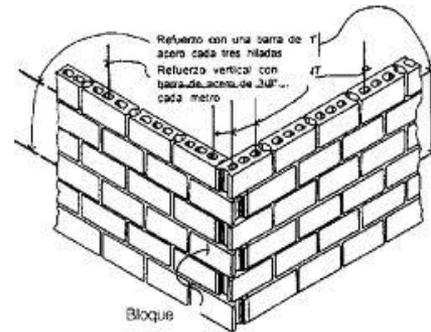
Tipologías constructivas



Tapia pisada.
Biblioteca SENA



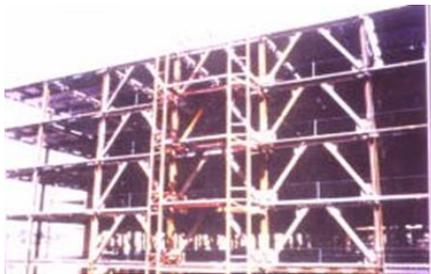
Mampostería confinada.
Alcaldía de Manizales



Mampostería con refuerzo
mamposteria.blogspot.com



Bahareque en tabla.
Unimedios



Pórticos arriostrados,
Alcaldía de Manizales



Estructura aporticada,
Alcaldía de Manizales.



Bahareque en guadua.
Sociedad-Espacio-Naturaleza



Prefabrica en acero ligero.
Alibaba

Riesgo Sísmico en Bogotá

- Bogotá, que ha registrado cerca de siete eventos en los últimos 300 años, aunque se encuentre en una zona de amenaza sísmica moderada, presenta riesgo alto dada la naturaleza lacustre de sus suelos, en especial sobre el entorno del río Bogotá, y la vulnerabilidad estructural de las viviendas.
- Mientras un sismo del Sistema Regional de Fallas, el que razonablemente resulta probable, con epicentro a unos 60 km de distancia y magnitud siete, causaría una destrucción del orden del 20% en la ciudad; un evento superficial asociado a una falla local (La Cajita, La Mesa, Río Tunjuelito, Río Bogotá, Santa Bárbara... algunas incluso inactivas) con magnitud superior a seis y epicentro a menos de 15 km, sismo cuya frecuencia y probabilidad puede ser menor, ocasionaría daños al 30% de la ciudad, y por lo tanto mayores pérdidas de vidas. Finalmente, frente a las grandes fuentes sísmicas ubicadas a más de 250 km, como la zona de subducción o la Falla Romeral, generando eventos de 8 grados o más, los daños probables sólo afectarían cerca del 10% de la capital.
- Según estudios de la U. de Los Andes e INGEOMINAS, se estima que, para un período de retorno de 475 años, la aceleración máxima en roca para la ciudad de Bogotá es de 0.2g.

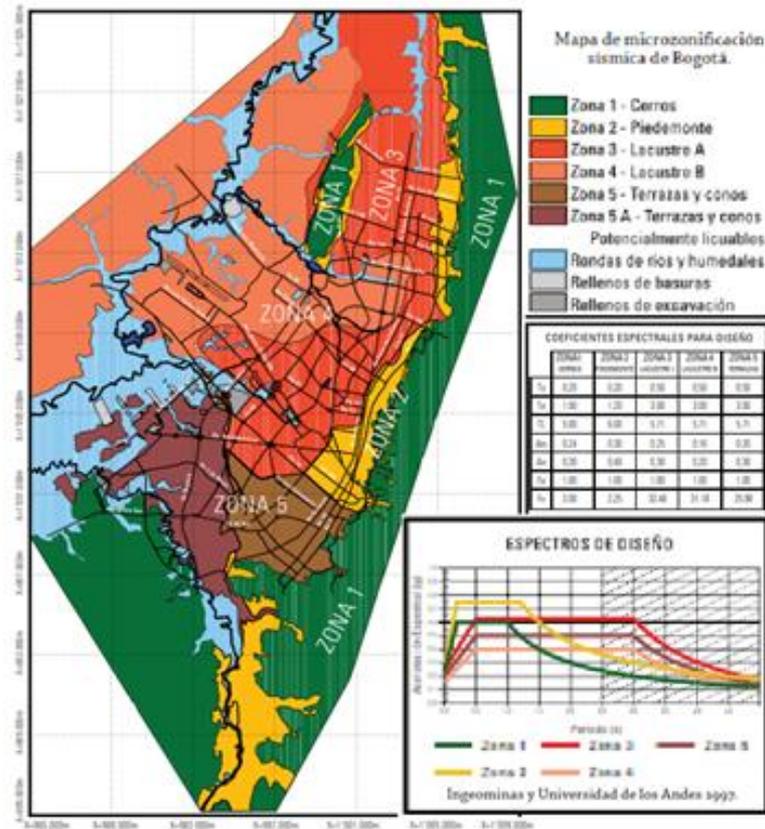


Imagen : Microzonificación Sísmica de Bogotá. Las zonas críticas son las azules asociadas al río Bogotá y las de color naranja y rojo de origen lacustre. La Zona verde que se asocia a los cerros, obliga a contemplar el riesgo por deslizamientos y amplificación local. Mapa de Ingeominas. Universidad de Los Andes 1997.



Lecciones no aprendidas

A causa del sismo del Quindío (1999), en Armenia se estimó necesario demoler 320 edificaciones, y la vía entre Río Verde y Pijao de 14 km quedó literalmente borrada 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, como zona apta para la construcción de edificaciones.

Años más adelante, la norma fue excluida del POT por las autoridades de esta ciudad. De esta forma se separan costos y beneficios asociados a la explotación de los recursos: mientras los beneficios de la renta de la tierra se le aseguran propietario del suelo, los costos ambientales se le trasladan a la sociedad en su conjunto.

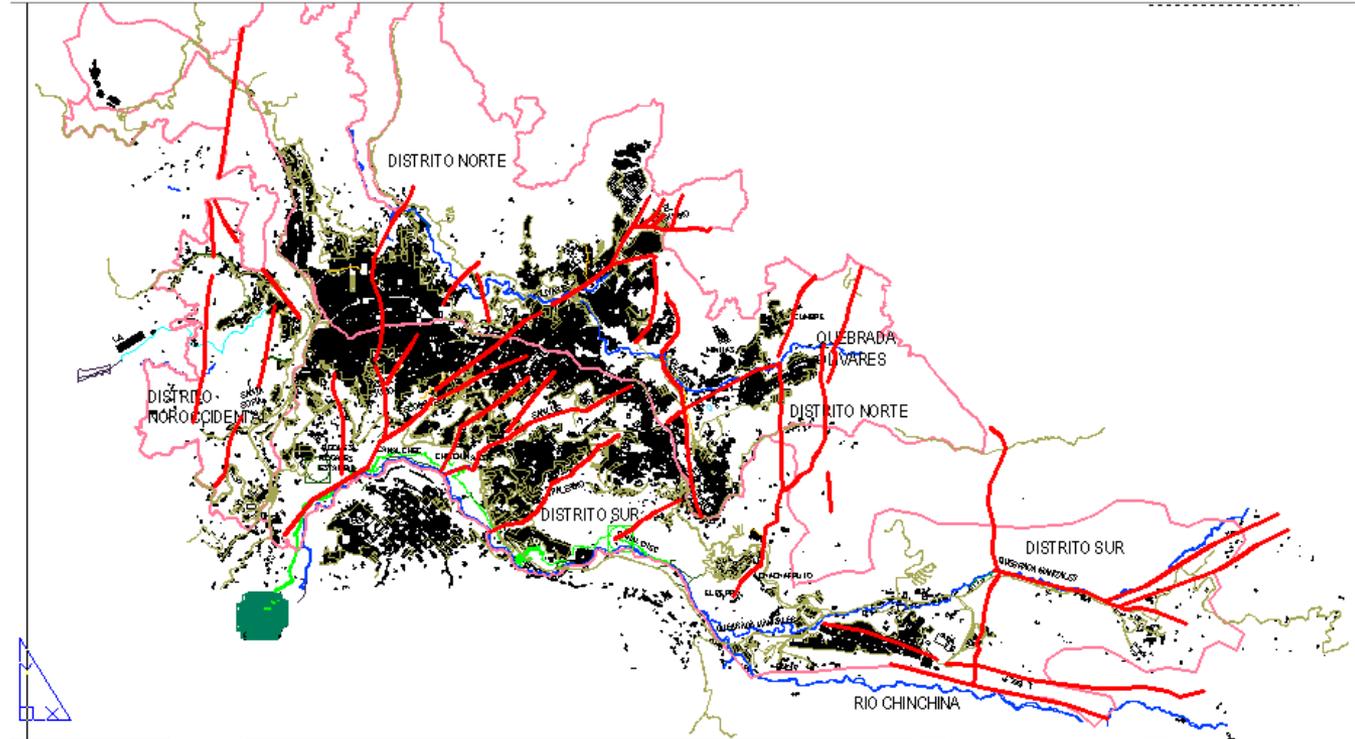
También el riesgo para el Quindío asociado a la Amenaza volcánica del Volcán el Machín, se excluyó del Plan de Ordenamiento Territorial para no afectar la actividad económica asociada al turismo.

Pero contrariamente, por fortuna existe el Observatorio Sismológico de la UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, que de forma ininterrumpida mediante un trabajo multidisciplinar de alto nivel, hace el monitoreo sísmico, investiga el comportamiento del subsuelo en el Quindío, y estudia la amenaza de potenciales terremotos superficiales.

Epílogo



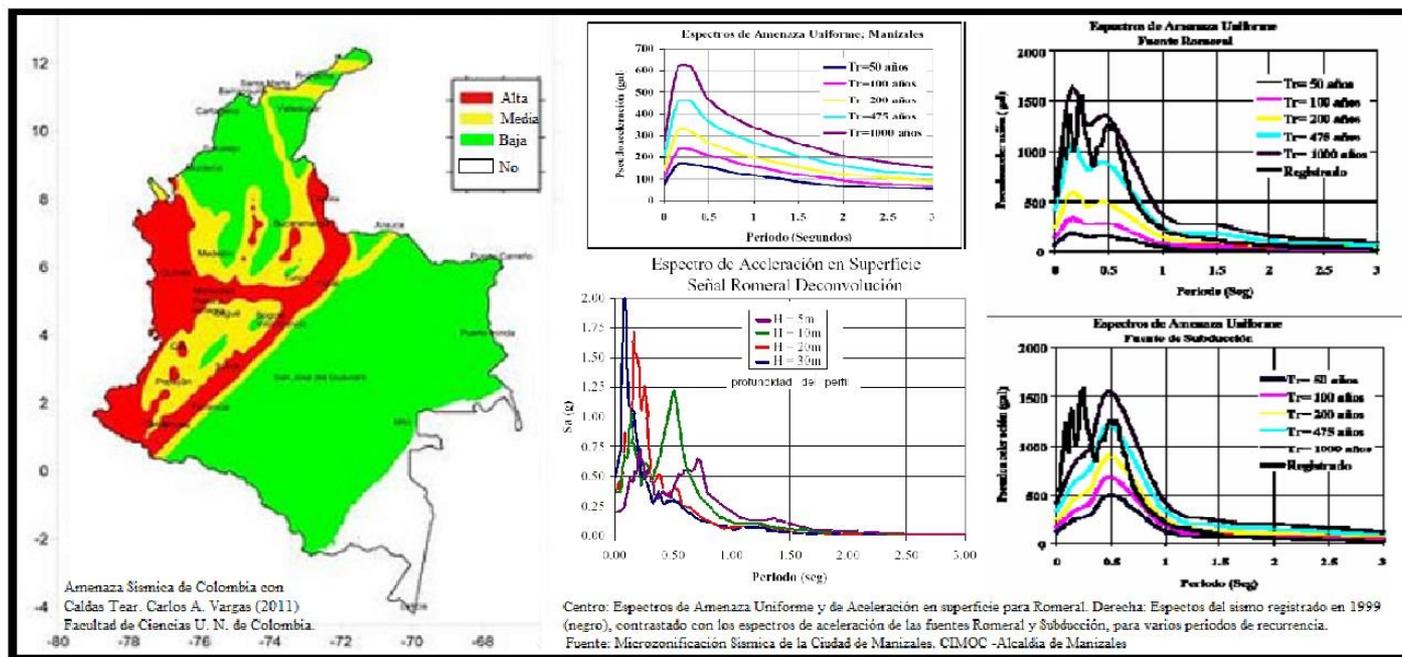
- Si bien los desastres suelen clasificarse por su origen en naturales y antrópicos, sus consecuencias reflejan la combinación de factores que evidencian la interacción del ser humano con la naturaleza.
- En los POT, se deben considerar ajustes en el factor de seguridad de las laderas, teniendo en cuenta además de los resultados de la microzonificación sísmica desarrollada por el SIMOC que invitan a contemplar el efecto de amplificación de los suelos, los cambios en la amenaza climática donde el período de los eventos extremos se ha acortado de forma sustantiva.
- Si las laderas de fuerte pendiente del trópico andino poseen un factor de seguridad de largo plazo igual a uno, con los modelados y con la deforestación se ha vulnerado ese frágil equilibrio límite de estabilidad. De ahí la importancia de prevenir la separación de costos y beneficios en la explotación del suelo; y controlar el modelo de expansión que especula con la plusvalía urbana.
- Para los terremotos los factores principales del riesgo son: la influencia de las fuentes sísmicas y la caracterización de las provincias sismo-tectónicamente homogéneas. Allí deben considerarse, además de la amenaza, la vulnerabilidad física de las construcciones, asentamientos humanos expuestos en cada contexto, y variaciones en la respuesta dinámica del terreno, ya que los suelos blandos al igual que el relieve agravan la intensidad local del desastre. En Colombia, además del mapa de sismicidad elaborado por la Red Sismológica Nacional se ha expedido la norma sísmica NSR-10 sobre diseño y construcción sismo resistente,
- También, aunque ha habido esfuerzos específicos en materia de microzonificación sísmica en las grandes ciudades y estudios sobre la tipología constructiva, en muchas zonas de amenaza sísmica alta, falta abordar dicha labor; tal es el caso de las poblaciones ubicadas en fallas del sistema Cauca-Romeral, el Margen Llanero y de la región del Pacífico.



Gracias

- * GDE, Profesor Especial de la Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geotecnia, Geofísica y Economía. Socio de la SMP de Manizales, Miembro Correspondiente de la Academia Caldense de Historia y Miembro Honorario de la SCIA adscrita a la Sociedad Colombiana de Ingenieros SCI. <https://sites.google.com/unal.edu.co/godues1> In: Contexto de CTS. Manizales, Junio 1 de 2020, Act. 2024. Imagen: Manizales – Lineamientos estructurales y Fallas geológicas en la zona urbana. Aguas de Manizales- PADEM.

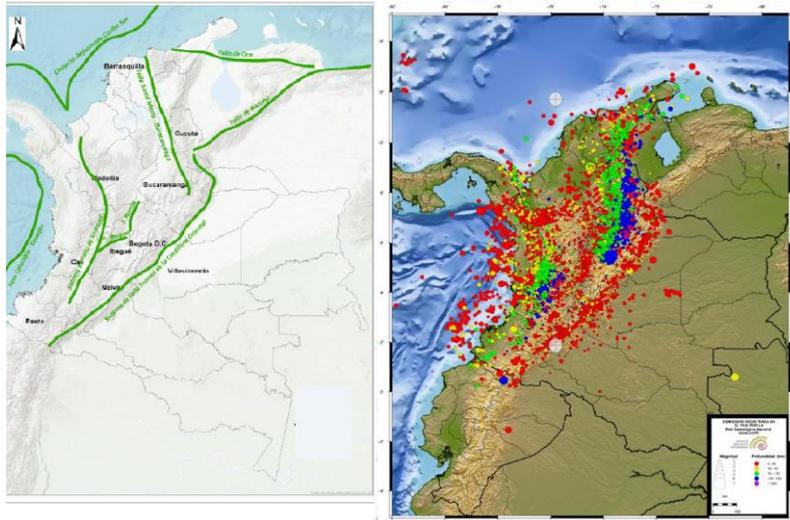
ANEXO: Amenaza sísmica en el Eje Cafetero



Por: Gonzalo Duque-Escobar *

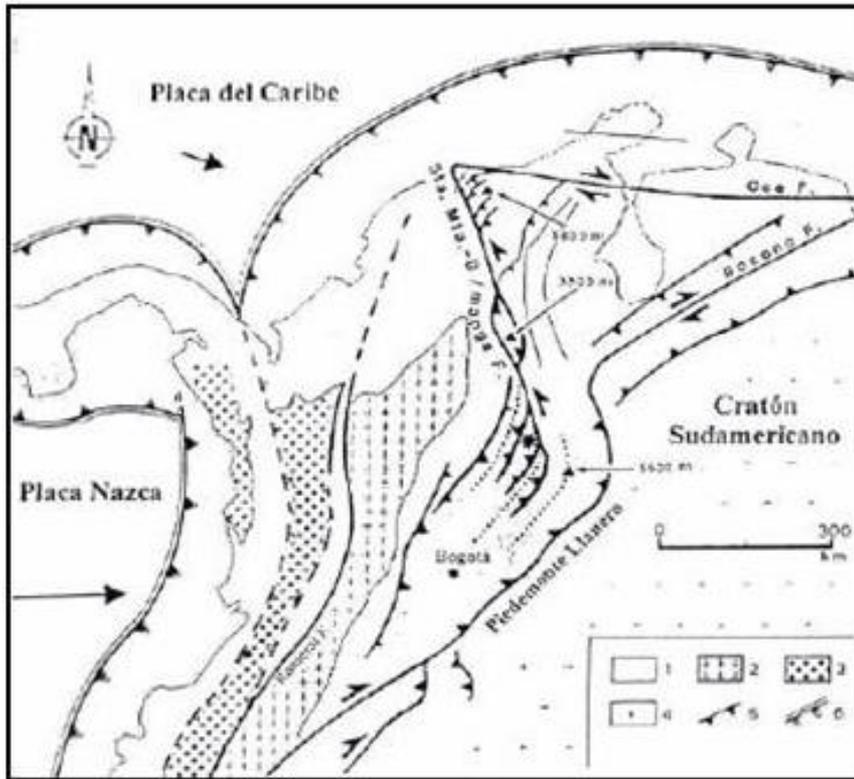
Manizales, abril 25 de 2016. Act. 2024.

Resumen:



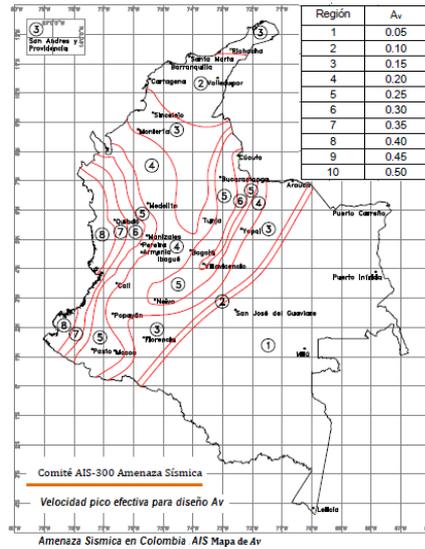
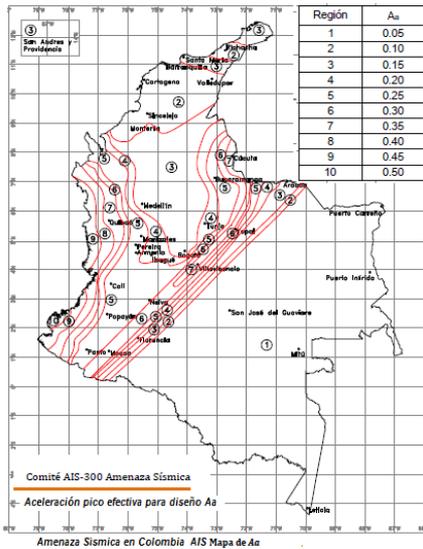
Ima 01- Colombia: Izq. Principales sistemas de fallas geológicas activas (SGC,2017; París, 1999)
Der. Sismicidad registrada del 1-01-2020 al 30-06-2020 (SGC, 2020).

- *El Eje Cafetero, está ubicado en el centro occidente de Colombia, sobre una provincia sismotectónica donde los terremotos de 1938, 1961-62, 1979 (2) y 1995 (2) ponen en evidencia una fuente sísmica generadora de eventos profundos fuertes y dobles cada dos o tres décadas, con sismos de magnitud cercana a 7 grados provenientes de la zona de subducción; pero también, además de lo que ocurre en el Magdalena Centro (1805) y Huila (1967), las fallas del sistema Cauca-Romeral son otra fuente que merece mayor consideración, dadas las devastadoras consecuencias de sismos superficiales asociados a fallas activas, de magnitud 6 pero de mayor intensidad, como los de Popayán 1983 y Quindío 1999.*
- [Ver: Sismo superficial de magnitud intermedia en Anserma Nuevo del 19 de enero de 2024.](#)
- [Agua y Clima en Colombia.](#)



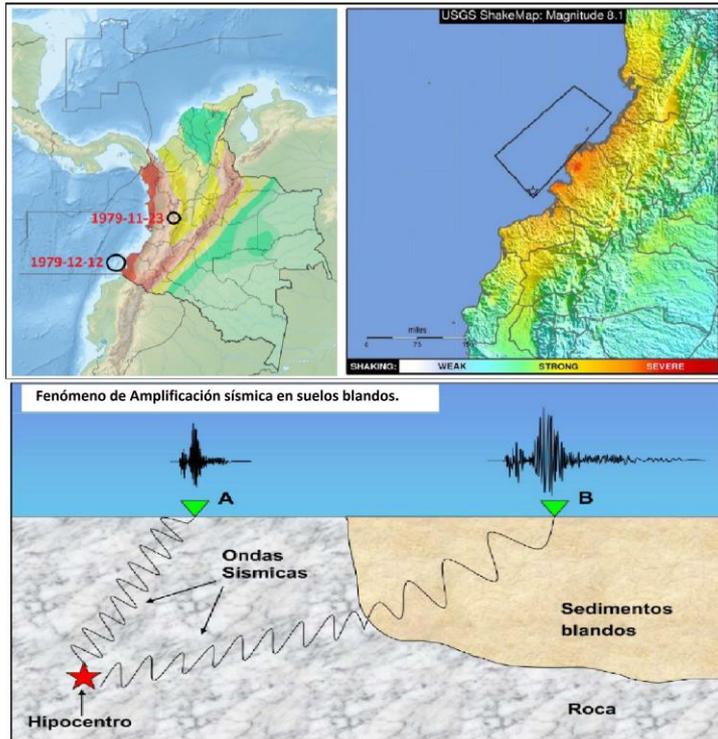
Ima 02- Provincias sismotectónicas y fuentes sísmicas de Colombia. Manual de Geología de GDE.

- En Colombia los sismos son frecuentes en la región del Pacífico y Andina, eventuales en la del Caribe y escasos en la Orinoquía y la Amazonía. Casi toda la población del país habita zonas de alto y moderado riesgo sísmico. Y los sismos intraplaca o generados en la confrontación de dos placas tectónicas- Nazca y Sudamericana- y no por fallas activas, que son someros e intensos en la región del Pacífico, pese a su magnitud, son de menor intensidad, aunque se sienten en toda 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. La falla Atrato afecta a los departamentos del Valle del Cauca, Chocó y Antioquia. La falla de Romeral atraviesa los departamentos de Nariño, Cauca, Tolima, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar y Magdalena.
- Ver: [Gestión ambiental del riesgo en el territorio.](#)
- [El volcán y el desastre de Armero.](#)



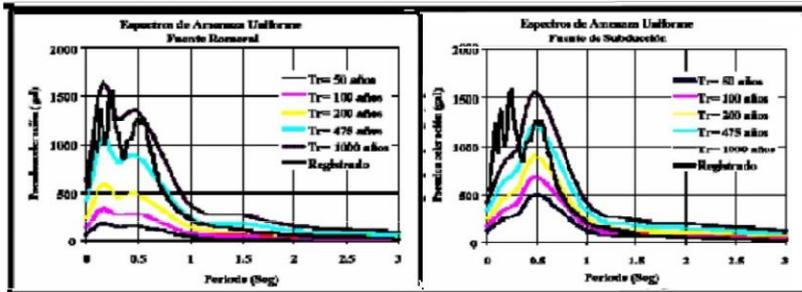
Ima 03- Amenaza Sísmica en Colombia.: mapas de Aceleración Pico y Velocidad Pico, efectivas. AIS

- La falla del Cauca recorre los departamentos de Nariño y Cauca. La falla de Palestina cruza los departamentos de Tolima, Caldas, Antioquia y Bolívar. La falla de Santa Marta-Bucaramanga afecta a los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santanderes, Cesar y Magdalena. La falla Guaicaramo cruza los departamentos del Meta, Cundinamarca, Boyacá y Arauca. También se han registrado sismos en Puerto Carreño, Putumayo y San Andrés.
- El Eje Cafetero está localizado en una de las zonas de alto riesgo sísmico de Colombia. Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995 ponen en evidencia una fuente sísmica de importancia, generadora de eventos de magnitud cercana a 7 grados e intensidades de VII, la que por la profundidad (70 a 100 km.) y posición de los focos (basamento de la Cordillera Occidental) se ha relacionado con la zona de subducción de la Placa de Nazca (Pacífico). Las aceleraciones registradas en superficie por estos eventos profundos han alcanzado valores del 11% de la gravedad.
- Ver: [Amenazas naturales en los Andes de Colombia.](#)
- [La adaptación de la ciudad al trópico andino.](#)

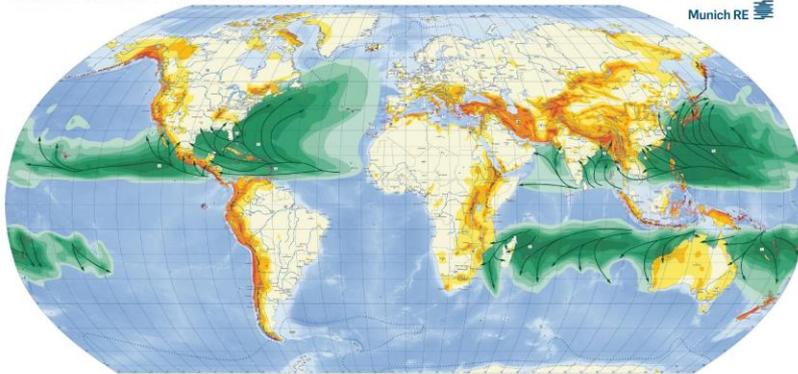


Ima 04- Arriba: Mapa de riesgo sísmico en Colombia, por Noel Maldonado (Adap); y Sismo de Tumaco, fuente USGS , en Earthquake.usgs.gov04- Abajo: Fenómeno de amplificación Sísmica en suelos blandos (Beatriz Benjumea) .

- Pero las fallas del sistema Cauca-Romeral y las que delimitan la fosa tectónica del Magdalena, son dos fuentes sísmicas someras que merecen consideración en esta poblada región. Los terremotos superficiales de Popayán 1983 y Quindío 1999, con magnitud Richter 6 e intensidad Mercalli VIII, anuncian una segunda fuente sísmica de implicaciones diferentes; con ellos, las aceleraciones en los depósitos mal consolidados han alcanzado aceleraciones hasta 5 veces superiores a las registradas en los sismos profundos, aunque en intervalos de tiempo muy pequeños.
- Esta temática ha sido uno de los principales objetivos de técnicos y científicos que laboran en el Programa de la Red Sísmica del Eje Cafetero y el Tolima, para llegar a lo que se conoce como respuesta sísmica. Es importante señalar que las tres ciudades capitales de la conurbación, afectadas por la Falla Romeral, están sobre potentes abanicos asociados a depósitos fluvio-torrenciales de origen volcánico, asociados a los ríos Chinchiná, Otún y Quindío. El de Manizales anuncia levantamiento desde el terciario tardío hasta el holoceno. Allí, la formación Manizales con sus depósitos fluvio-torrenciales a la altura de Chipre y Villa Kempis, anuncia un levantamiento tectónico respecto a Villamaría y Morrogacho.
- Ver: [Laderas del Trópico Andino: caso Manizales.](#)
- [La gestión ambiental del hábitat.](#)



NATHAN WORLD MAP OF NATURAL HAZARDS



Rutas de Huracanes y Zonas Sísmicas del planeta, en <https://co.pinterest.com>

Ima 05- Arriba: Espectros de Amenaza Sísmica Uniforme para Romeral y Zona de Subducción (CIMOC 2002)- Abajo: Rutas de Huracanes y Zonas Sísmicas del Planeta. Mapa de Munich RE, en Razón Pública.

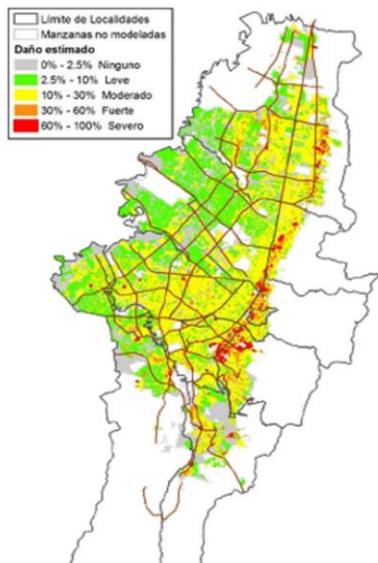
•En la zona Andina de Colombia, las características sismotectónicas de la región apenas empiezan a conocerse, y el catálogo de información sísmica se remonta apenas a algunas décadas, manteniendo lagunas, imprecisiones e inconsistencias. No se sabe aún cómo se atenúa la intensidad en función de la magnitud y distancia focal del sismo y a lo sumo podríamos suponer que la actividad sísmica del futuro tendrá alguna semejanza con la del pasado. Aún deberá caracterizarse mejor las fuentes sismotectónicas superficiales identificadas y conocer otras que puedan provocar sismos destructores, aunque locales.

•Como no es posible aún predecir los fenómenos sísmicos de un modo determinista, se ha recurrido a modelos probabilísticos para elaborar pronósticos cuya eficacia depende de la validez, cantidad, calidad y extensión de los datos que alimentan el modelo. Pero dada la limitación en nuestras bases de datos, se ha buscado representar la historia sísmica con la recurrencia de las magnitudes generadas por las diferentes sismo fuentes, asumiendo su localización y unas determinadas leyes de atenuación de intensidad, donde las variables se modelan con características aleatorias dada la incertidumbre de los registros y del fenómeno en sí (modelo estadístico bayesiano).

•Nota, al examinar la imagen del Espectro de Amenaza Uniforme, para Romeral y Subducción. Al superponer el sismo del Quindío 1999, se infieren dos cosas: a) que la fuente sísmica fue Romeral, y b) que el periodo de retorno de este evento es de unos 750 años.

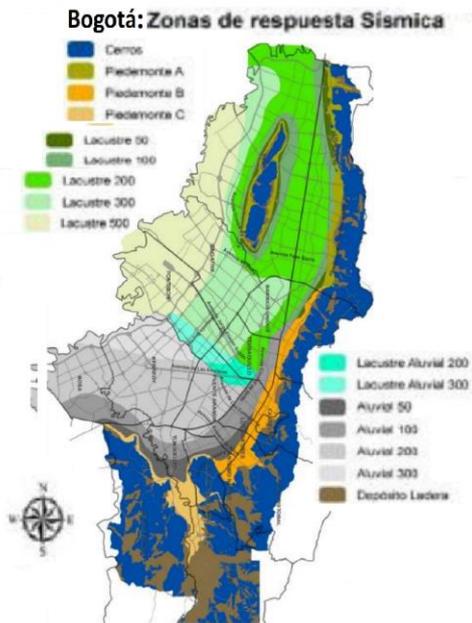
•Ver: [Huracanes y terremotos acechan.](#)

•[Dinámicas del clima andino colombiano.](#)



Bogotá

Modelación del riesgo sísmico en edificaciones
Versión 2018



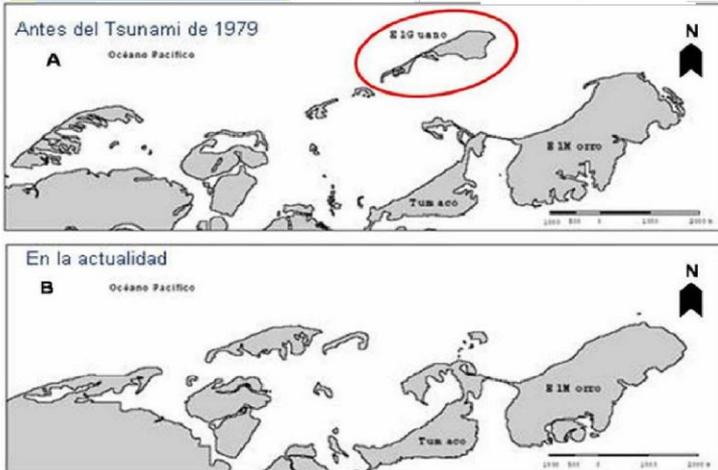
Bogotá: Zonas de respuesta Sísmica
Escenario de riesgo de mayor impacto

- La interacción suelo-estructura (SSI) es un factor clave en la evaluación del riesgo sísmico ya que considera el impacto sobre las estructuras por el movimiento del suelo generado en un terremoto, y evalúa con precisión el peligro sísmico para adaptar el diseño minimizando los daños causados. Se parte del presupuesto de que la intensidad es la variable más determinante en los daños sísmicos, y que la calibración de los resultados finales y consistencia entre tasas de excedencia de magnitudes e historia sísmica regional se obtiene con el catálogo sísmico del lugar.
- Ciertamente la incertidumbre e imprecisión, inherentes a un tratamiento estadístico, no resultan aceptables al evaluar el impacto sobre el total de pérdidas probables que pueden tener las obras de infraestructura comunitaria, razón por la cual cada caso (cada línea vital o cada centro de servicio) debe ser tratado particularmente. La vulnerabilidad física de una estructura se describe en términos de la aceleración basal, del período fundamental de vibración de la estructura y de la función de daños correspondiente.
- Ver: [Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.](#)
- [“Escombros a la espera” en zonas sísmicas densamente pobladas.](#)

Ima 06- Modelación del riesgo sísmico en Bogotá al 2018: daños esperados y tipología de suelos.
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

Anotaciones al Riesgo Sísmico.

Sismo de 1979/12/12 TUMACO- Nariño. Corporación OSSO

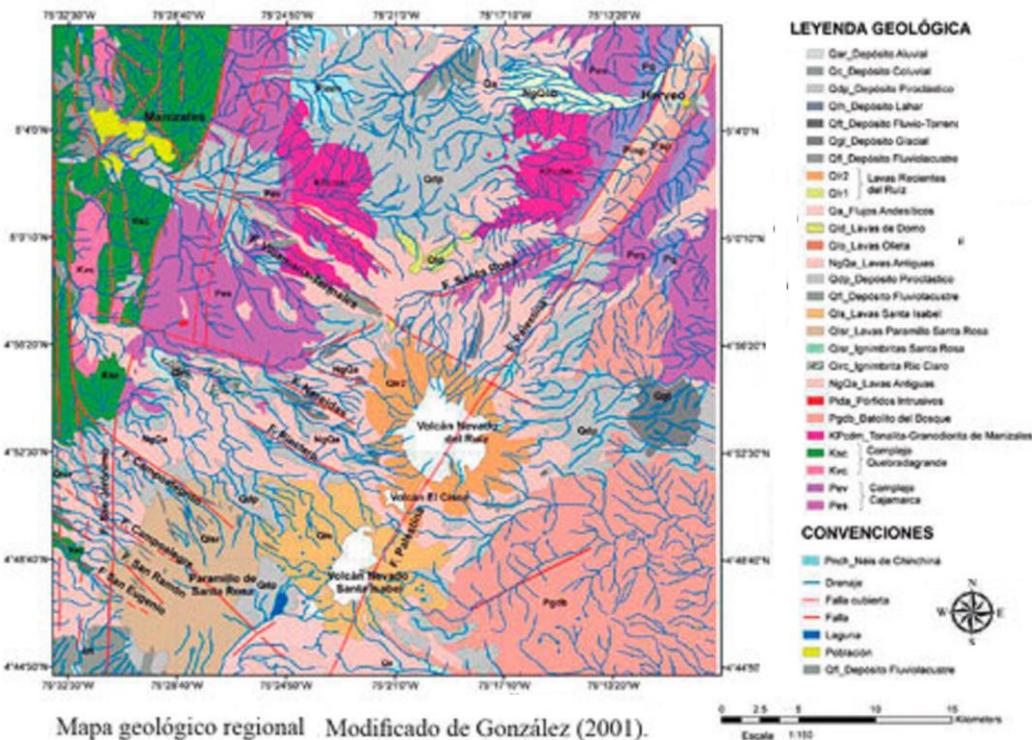


| Parámetros generales | | | |
|----------------------|------------|---|-----------------|
| Fecha | 1979/12/12 | Profundidad (Km) | 23.6 |
| Hora local | 02:59 | Intensidad máxima (EMS-98) | 10 |
| Magnitud | 8.1 (MW) | Número de puntos de intensidad (EMS-98) | 56 |
| Epicentro | Latitud | 1.555 | Área epicentral |
| | Longitud | -79.276 | |

Ima 07- Impactos por Tsunami de 1979 en Tumaco- Nariño. Corporación OSSO.

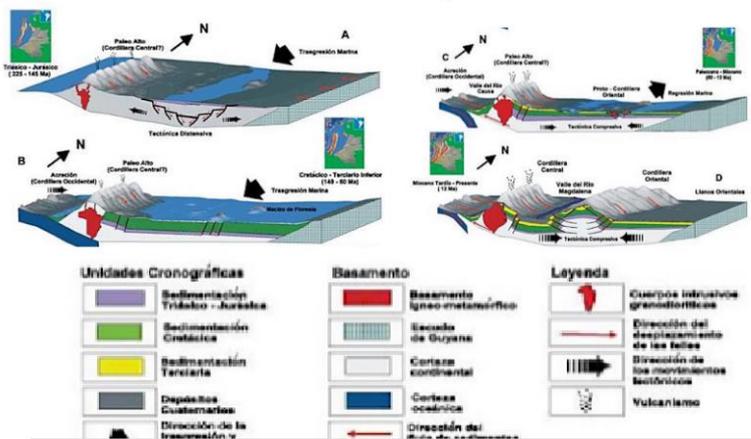
- En el Riesgo se conjugan dos factores: la Amenaza y la Vulnerabilidad. Aunque sabemos que en el tiempo, a escala humana la Amenaza sísmica permanece como invariante, la Vulnerabilidad cambia y con ella el Riesgo sísmico; éste, que crece cuando los escenarios vulnerables lo hacen, también se puede reducir si se implementan gestiones integrales para acometer su mitigación, sobre todo por la mejora estructural de la estructura y de sus defensas, y en particular con diseños que consideren la amplificación sísmica, donde intervienen factores como tipo de suelo, topografía y características de la estructura.
- Ahora, si en la región y el país se han dado avances significativos en lo técnico y en lo administrativo, como la institucionalidad alcanzada con el desarrollo de un Sistema Nacional, la incorporación del Riesgo en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial de 2011 y la expedición de normas sismo resistentes con el NSR-10, que ya permite incorporar el bahareque y las estructuras de madera, aún falta mucho por hacer en la dimensión socio-ambiental.
- Veamos estas tres anotaciones sobre la materia, para el Eje Cafetero:
- Ver: [Colombia – Sismos de 1979](#).
- [La amenaza volcánica del Cerro Machín](#).

MAPA GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL sector del VNR.



Ima 08- Geología del área del Volcán Nevado del Ruiz. Modificado de González 2001.

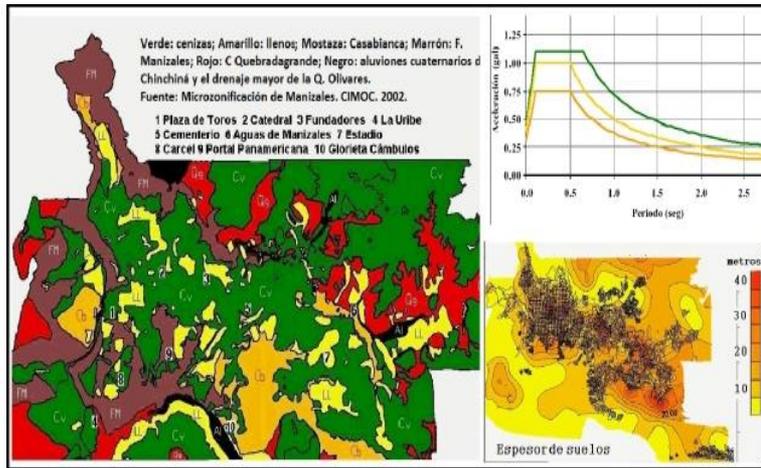
- En cuanto a la Amenaza, el Eje Cafetero se ubica al norte de una provincia sísmo tectónicamente homogénea, ubicada entre la fosa del Pacífico Colombiano y la Cordillera Central de los Andes más septentrionales de América, un territorio sísmicamente activo que parte del Macizo Colombiano y llega hasta las Montañas de Antioquia, donde transcurren de Sur a norte los Sistemas de Fallas de Romeral y del Cauca-Patía.
- La Falla Cauca y sector central de la Falla de Romeral, desde Cartago a Puerto Valdivia, delimitan un graben comprimido o depresión estructural, entre las dos cordilleras; allí, al observar las trazas de la Falla de Romeral con una distribución alineada de cuerpos ígneos afines a la corteza oceánica en su contorno, se prevé que dicha ruptura profundice la corteza.
- Ver: [Calentamiento global en Colombia.](#)
- [No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes.](#)



Esquema de evolución geológica del Magdalena desde el Mesozoico (250 m.a) hasta el presente (basado en los trabajos de Irving, 1971, Thouret, 1981, Fabre, 1983, Etayo, 1985, Mojica y Franco, 1920, Cooper et al., 1995, Guerrero et al. 1997, Mojica 1999). Fuente: Colciencias, 2005. Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental

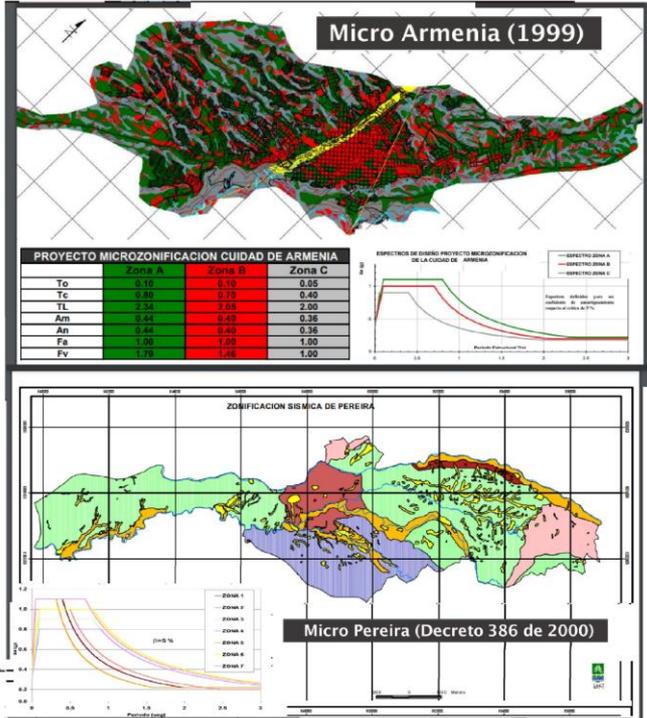
Ima 09- Evolución geológica del Magdalena desde el Mesozoico (250 m.a) hasta el presente. Fuente: Colciencias, 2005.

- Según la investigación del potencial geotérmico del Ruiz hecha por la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC, 1979-1985), y la Geología de Manizales y sus alrededores estudiada por José Luis Naranjo y Carlos Borrero de la Universidad de Caldas, un esquema de los rasgos estructurales de la región señala las fallas o lineamientos inferidos, cuya verificación en varios casos se ha venido haciendo por investigadores del Observatorio Vulcanológico y Sismológico del Ingeominas, establecido en Manizales desde 1985.
- Y respecto a la Vulnerabilidad, como desafíos de importancia se puede añadir que, aunque conocemos las fuentes sísmicas, para abordar la gestión integral del riesgo a nivel del Eje Cafetero, además del estudio y valoración espacio temporal de la amenaza, está de por medio el conocimiento y desarrollo de instrumentos para la gestión participativa del hábitat y manejo de la dimensión socioambiental, para no dejar el asunto sólo en la dimensión técnica de carácter reduccionista.
- Ver: [Doble terremoto en Turquía y Siria.](#)
- [De la amenaza climática a la gestión del riesgo.](#)



Ima 10- Variación espacial de las formaciones superficiales y espesor de suelos en Manizales, y espectros de diseño en función de los suelos de la ciudad, según sean ellos suelo blando (verde), semi-blando (amarillo) o duro (café). CIMOC (2002)

- En lo urbano, ésta compleja dimensión pasa por la presión de las frágiles laderas del escarpado territorio, en especial en los ambientes periurbanos de Manizales, y por el control urbano sobre todo en las zonas deprimidas de los centros urbanos de las áreas metropolitanas en rápida expansión, caso Pereira-Dosquebradas, donde las múltiples actividades comerciales mixtas e informalidad, sumada a la alteración estructural de los viejos inmuebles de mampostería no reforzada y de bahareque para su adecuación y expansión, recurriendo a prácticas inadecuadas, hacen del escenario un cúmulo de potenciales escombros, ya por la amenaza de las sacudidas en suelos con amplificación sísmica, ya por la de la propagación de los incendios.
- En los medios rurales, donde la deforestación y potrerización relacionadas con usos conflictivos del suelo, afectan severamente el territorio exponiéndolo a la creciente amenaza del cambio climático, y con él a las comunidades asentadas en condición vulnerable, además de las vías de comunicación, líneas vitales e infraestructura de conectividad, como elementos expuestos a la ocurrencia de flujos torrenciales causados por deslizamientos en caso de sismo.
- Ver: [Cambio Climático en Colombia: La Amenaza](#).
- [Análisis de la Vulnerabilidad frente a la Amenaza Hidrogeológica](#).

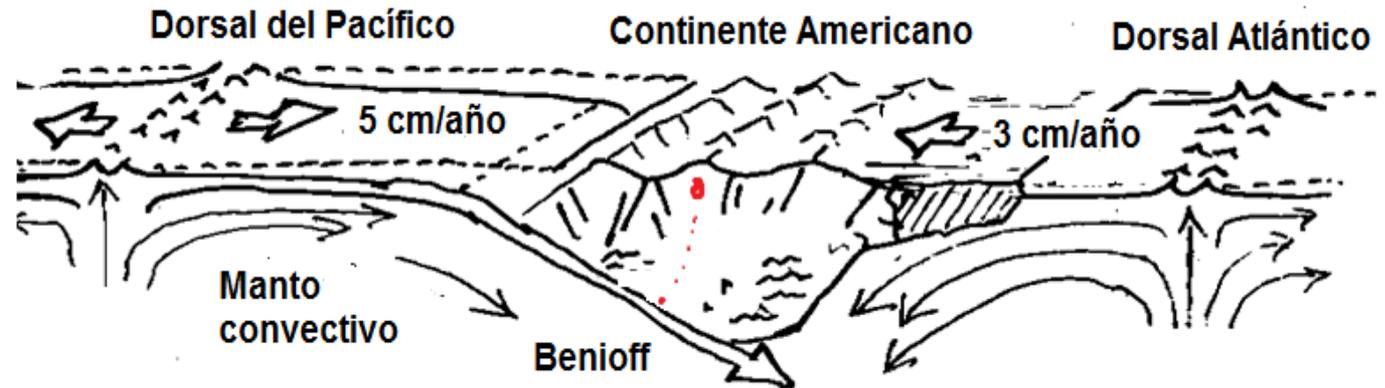


•Y finalmente, sobre los actores en la escena: Además de los aportes fundamentales del Geofísico Jesús Emilio Ramírez S.J., con investigaciones como el Proyecto Nariño (1973) y la Historia de los terremotos en Colombia (1969), de la permanente labor por décadas de monitoreo a cargo del OVS de Manizales, y de los estudios a nivel regional de Hans Meyer y su equipo de trabajo desde el Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano OSSO, en el Eje Cafetero también merecen mención los siguientes trabajos, entre otros:

•– Desde la U.N. en Manizales los del Idea liderados por el Profesor Omar Darío Cardona, donde además de actividades fundamentales como la Microzonificación Sísmica de Manizales (SIMOC 2002), se avanza con el concurso de los profesores de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en la instrumentación y el estudio detallado de la amenaza para Manizales; y desde la Sede Bogotá el valioso aporte de Carlos A. Vargas con la propuesta de Caldas Tear (2011), donde se modifican el modelo geotectónico y la amenaza sísmica en el centro del país. – También en Pereira, los trabajos de Anna Campos y sus compañeros y colaboradores haciendo lo propio en el 2000, para obtener un mapa preliminar de riesgos del área urbana y otras investigaciones para valorar los efectos de sitio en el A.M. de Pereira; y finalmente en Armenia, la labor continuada y reconocida de los Profesores de la Universidad del Quindío: Hugo Monsalve quien maneja el Observatorio Sismológico del Eje Cafetero, y Armando Espinosa quien ha estudiado en detalle la historia sísmica regional.

- Ver: [Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales.](#)
- [La amenaza volcánica de Cerro Bravo.](#)

Ima 11- Microzonificación Sísmica de Armenia (1999) y Pereira (2000). Fuente: IDEGER. Bogotá.



Fin del Anexo

*Por: Gonzalo Duque Escobar, Profesor Especial de la Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geotecnia, Geofísica y Economía, y con autoría y coautoría de 20 textos y más de mil doscientos documentos publicados en repositorios de la U.N. de Colombia y páginas propias, o en físico. Socio de la SMP de Manizales, Miembro Correspondiente de la Academia Caldense de Historia y Socio Honorario de la SCIA adscrita a la Sociedad Colombiana de Ingenieros SCI. Portada de Anexo: Mapa no oficial de Amenaza Sísmica para Colombia según Carlos A. Vargas, en UN Periódico (2011), y Espectros de la Microzonificación Sísmica para Manizales, del SIMOC (2002). Contraportada de este Anexo: Borde destructivo de las placas tectónicas frente al Pacífico de Colombia, plano de Benioff, y Fallas geológicas en los Andes más septentrionales de América, como fuentes sísmicas. Elaboración propia.



Fuentes I de III

- [Al Bahareque le Fue Muy Bien](#). Jorge E. Robledo; José F. Muñoz y Gonzalo Duque Escobar (2009). Idea U.N. Boletín 45.
- [Amenaza sísmica en el Eje Cafetero](#). Por Gonzalo Duque-Escobar. Abril 25 de 2016. Profesor de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y Director del Observatorio Astronómico de Manizales (OAM).
- [Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia](#). Ana Campos G., Niels Holm-Nielsen, Carolina Díaz G., Diana M. Rubiano V., Carlos R. Costa P., Fernando Ramírez C. y Eric Dickson. 2012. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial.
- [Análisis de la sismicidad en el Pacífico colombiano](#). Por: Edgar Castilla; Ronald Sánchez. Bol. Cient. CIOH 2014;32:135-147
- [Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales](#). Duque Escobar, Gonzalo. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Manizales, 2012-02-27
- [Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón](#). Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular 602 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (602).
- [Aspectos geofísicos de los andes en Colombia](#), Duque Escobar, Gonzalo (2009). In: 1er Congreso Internacional de Desempeño Humano en Altura, Noviembre 19 de 2009, Manizales.
- [Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico](#). Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. Bogotá, 2021.
- [Colombia: riesgos geodinámicos y hábitat](#). Gonzalo Duque Escobar. Febrero 19 de 2018, Escuela de Arquitectura y Urbanismo – U. N. de Colombia.
- [Colombia – Sismos de 1979](#). Por Gonzalo Duque-Escobar. In: Manualgeo. Universidad Nacional de Colombia. Noviembre 25, 2021.
- [Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico](#). Hans Jurgen Meyer y Andrés Velásquez.. OSSO. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993.
- [De la amenaza climática a la gestión del riesgo](#). Por: Gonzalo Duque Escobar. Socio SMP y Profesor U. N. de Colombia In: Periódico UNAL / 12-12-2022.
- [De la evaluación de amenazas al control de riesgos – la Estadística y las catástrofes naturales](#). MEYER, Hansjürgen. (2007) OSSO. Desastres & Sociedad. MEYER, Hans Jurgen y VELÁSQUEZ, Andrés. Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. OSSO. N°1. La Red. 1993.
- [De la gestión del riesgo por las amenazas naturales](#). Gonzalo Duque-Escobar. Ed. Circular RAC 587. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. November 6, 2010.
- [Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima](#). Duque Escobar, Gonzalo (2013) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] Documento UN-SMP- para el Día del Medio Ambiente. Colrosario. Neira, Caldas. Junio 5 de 2013.
- [Deslizamiento en Rosas, una tragedia mitigada](#). Por: Gonzalo Duque-Escobar; Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, Miembro Correspondiente de la Academia Caldense de Historia, Miembro Honorario de la SCIA y Miembro de la SMP de Manizales. Manizales, enero 16 de 2023.
- Disaster Management Center. University of Wisconsin. Organización de los servicios de salud para situaciones de desastre. OPS- Washington 1975.
- [Doble terremoto en Turquía y Siria](#). Por: Gonzalo Duque-Escobar; Profesor Especial de la Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geotecnia, Geofísica y Economía. Manizales, febrero 6 de 2023.
- [Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia](#). Cardona, O. D., Ordaz, M. G., Moreno, A. M., Yamín, L. E. & Wilches-Chaux, G. (2004). Bogotá: Consorcio ERN - Colombia, ACCI, DNP y Banco Mundial.
- Earthquake. DON-LEET. Editorial Dell Publishing. U.S.A. 1964.
- [Gestión ambiental del riesgo en el territorio](#). Duque Escobar, Gonzalo. Febrero 26, 2018. IDEA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- [Gestión del riesgo](#). Anexo. Duque Escobar, Gonzalo (2014) Anexo al Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- [Haítí sin resiliencia para el desastre](#). Duque Escobar, Gonzalo. U.N. de Colombia. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). Manizales, 2010-01-16.
- [Geomecánica de las laderas en Manizales](#) Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio and Murillo López, Cristina (2009). In: Foro: Gestión del riesgo por inestabilidad de terrenos en Manizales, 13/08/2009.

Fuentes II de III



- [Geotecnia para el Trópico Andino](#). Gonzalo Duque Escobar, and Carlos Enrique Escobar Potes (2016) U.N. de Colombia. Manizales, Colombia.
- [Gestión del riesgo](#). Anexo. Duque Escobar, Gonzalo (2014) Anexo al Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- [Haití sin resiliencia para el desastre](#). Duque Escobar, Gonzalo. U.N. de Colombia. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). Manizales, 2010-01-16.
- [Geomecánica de las laderas en Manizales](#) Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio and Murillo López, Cristina (2009). In: Foro: Gestión del riesgo por inestabilidad de terrenos en Manizales, 13/08/2009.
- [Geotecnia para el Trópico Andino](#). Gonzalo Duque Escobar, and Carlos Enrique Escobar Potes (2016) U.N. de Colombia. Manizales, Colombia.
- [Gestión ambiental del riesgo en el territorio](#). Duque Escobar, Gonzalo. Febrero 26, 2018. IDEA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- [Gestión del riesgo](#). Anexo. Duque Escobar, Gonzalo (2014) Anexo al Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- [Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia](#). Duque Escobar, Gonzalo (2008) Documento de trabajo. Manizales, Colombia
- [Gestión del riesgo por inestabilidad de terrenos en Manizales: Conclusiones y Recomendaciones](#). Por: Gonzalo Duque Escobar. Relatoría del Foro de la U.N. de Colombia Sede Manizales. Manizales, jueves 13 de agosto de 2009.
- [Gestión del Riesgo por Sismos, Volcanes y Laderas en la Política Ambiental de Manizales](#). Duque Escobar, Gonzalo (2012) Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- [Haití sin resiliencia para el desastre](#). Duque Escobar, Gonzalo. U.N. de Colombia. Observatorio Astronómico de Manizales (OAM). Manizales, 2010-01-16.
- [Historia de los terremotos en Colombia](#) Jesús Emilio Ramírez S,J., (1975) Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Colombia,
- [Historia sísmica de Bogotá](#). Por Armando Espinosa Baquero. 2004. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- [Huracanes y terremotos: ¿y cómo está Colombia?](#) Gonzalo Duque Escobar (2017) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- Ingeniería Sísmica. SARRIA, Alberto. Ed. Uniandes. Bogotá, 1990. [La encrucijada ambiental de Manizales](#). Gonzalo Duque Escobar (2017) Razón Pública. Bogotá, Colombia.
- [La adaptación de la ciudad al trópico andino](#). Gonzalo Duque-Escobar; Profesor de la Universidad Nacional de Colombia. Manizales, febrero 7 de 2022.
- [La amenaza climática en la Ecorregión Cafetera](#). Por: Gonzalo Duque Escobar. Conferencia del Museo Interactivo Samoga, In: Semana Ambiental del Instituto Universitario de Caldas. Manizales. Junio 7 de 2022.
- [La amenaza volcánica de Cerro Bravo](#). Duque Escobar, Gonzalo (2013-06-24). Observatorio Astronómico de Manizales (OAM).
- [La amenaza volcánica del Cerro Machín](#). Duque Escobar, Gonzalo. Documento elaborado en el marco del programa RAC II de la Red Ambiental de Caldas. Manizales, diciembre 4 de 2021.
- [La amenaza volcánica y la gestión del riesgo, en la planeación y ordenamiento del territorio de Colombia](#). Por Gonzalo Duque-Escobar. Documento de trabajo UN-SMP. Manizales, 1 feb 2008.
- [La catástrofe del Eje Cafetero en un país sin memoria](#). Por María Rosario Saavedra y Gonzalo Duque Escobar. CINEP, Bogotá, 1999.
- La Inestable Tierra. Basil Boot y Franf 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,
- La Tierra en movimiento. GRIBBIN, John. Biblioteca Científica Salvat. España, 1986.
- La Tierra planeta vivo. CASQUET-MORALES, Et al. Colección Salvat. España, 1985.
- [Las lecciones del volcán nevado del Ruiz y el desastre de Armero](#). Duque Escobar, Gonzalo. En: Curso de Contexto CTS. U.N. de Colombia.

Fuentes II de III



- Lessons from Some Recent Earthquakes in Latin America. ESTEVA, L., RASCON, O y GUTIERREZ, A. IV Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica .1969.
- [Los desastres naturales y la protección de la salud](#). Organización Panamericana de la Salud. Publicación Científica 575, Washington, D.C. 2000.
- [Los Desastres No Son Naturales](#). Omar Darío Cardona. 1993. Compilador: Andrew Maskrey. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- [Manizales: política pública ambiental y gestión del riesgo](#). Duque Escobar, Gonzalo (2012) Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. La Patria.
- [Manual de geología para ingenieros](#). Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Colombia.
- [Mecánica de los suelos](#). Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2002) U.N. de Colombia.
- [Microzonificación sísmica de la ciudad de Manizales](#). Centro de estudios sobre desastres y riesgos - CEDERI, Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles – CIMOC. Universidad de Los Andes 2002.
- Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. José Luis Naranjo. Universidad de Caldas. Manizales 2005.
- [No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes](#). Duque Escobar, Gonzalo (2010) Circular RAC 554 .
- [Nueva falla geológica altera mapa de amenaza sísmica en Colombia](#). Carlos A. Vargas (2011) U.N. Periódico.
- [OSSO 25 años después](#): María Mercedes Durán (2012). contribuciones hacia un modelo de fomento del conocimiento para la reducción de riesgos.
- Prácticas culturales y gestión del riesgo sísmico. Lina A. Zambrano-Hernández y Edwin A. Gómez-Serna. 1994.
- Programa de prevención sísmica para Medellín: estudio de la amenaza, zonificación, análisis y vulnerabilidad sísmica para Medellín. PNUD- Universidad EAFIT., Medellín, 1994.
- Red Sismológica Regional del Eje Cafetero, Viejo Caldas y Tolima, ISSN 0123-9074, vol. 6, Número 1, año 2001.
- [Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica](#). Duque Escobar, Gonzalo. Memorias VII curso internacional sobre microzonificación y su aplicación al planeamiento urbano para la mitigación de desastres. CISMID – JICA. Lima 1995.
- [Riesgo sísmico](#), Giner-Robles, J.L. ; Pozo Rodriguez, M. ; Carenas Fernández, B. ; Domínguez Díaz, C. ; García Ruiz, A. ; Regadío García, M. y De Soto García, I.S. Universidad Autónoma de Madrid.
- [Sismo de Ansermanuevo, del 19-01-2024](#). Por: Gonzalo Duque-Escobar (2024); Profesor Especial de la Universidad Nacional de Colombia, Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geotecnia, Geofísica y Economía. Socio de la SMP de Manizales, Miembro Correspondiente de la Academia Caldense de Historia y Miembro Honorario de la SCIA adscrita a la Sociedad Colombiana de Ingenieros SCI.
- Seminario Internacional de Manejo Sanitario en Situaciones de Desastre. Universidad Javeriana- OPS- ACODAL- Ministerio de salud de Colombia. Melgar .1991.
- [Sismo, bahareque y laderas](#). Duque Escobar, Gonzalo (1999) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]
- [Sismo superficial de magnitud intermedia en Anserma Nuevo del 19 de enero de 2024](#). Duque Escobar, Gonzalo (2024) Documento del Museo Interactivo Samoga de la U.N. de Colombia.
- [Sismos](#). Duque Escobar, Gonzalo (2017) In: Manual de geología para ingenieros. U. N. de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.
- [Sismos y volcanes en Colombia](#). Duque Escobar, Gonzalo (2010) Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- [Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales](#). Gonzalo Duque Escobar (2012) [Objeto de aprendizaje - Teaching] U. N. de Colombia.
- [Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo](#), Gonzalo Duque Escobar (2012). Documento de discusión. Manizales, Colombia.
- [Vulnerabilidad de las laderas de Manizales](#).Gonzalo Duque Escobar, (2017) In: Problemática Ambiental por Riesgo en las Laderas de Manizales, Mayo 11 de 2017, Concejo de Manizales.

ENLACES U.N. y Otras Fuentes 1 de 2



[A propósito de Kaguya: ciencia y contaminación en la Luna.](#)

[Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento global.](#)

[Agua para todos: el desastre del río Mira.](#)

[Agua y Clima en Colombia.](#)

[Al Bahareque le Fue Muy Bien.](#)

[Amenaza sísmica en el Eje Cafetero.](#)

[Amenazas naturales en los Andes de Colombia.](#)

[Análisis de la Vulnerabilidad frente a la Amenaza Hidrogeológica.](#)

[Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón.](#)

[Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia.](#)

[Bosques, Cumbre del Clima y ENSO.](#)

[Bosques: regulación hídrica y pluviométrica.](#)

[Café y Cambio Climático.](#)

[Calentamiento global en Colombia.](#)

[Cambio Climático en Caldas – Colombia.](#)

[Cambio climático en Colombia: La Amenaza.](#)

[Ciencias Naturales & CTS.](#)

[Clima: las heladas.](#)

[Colombia pos covid... ¿qué hacer?](#)

[Colombia: riesgos geodinámicos y hábitat.](#)

[Colombia – Sismos de 1979.](#)

[Colombia Tropical ¿y el agua qué?](#)

[Conflicto socioambiental en la reserva de Río Blanco.](#)

[Cumanday, ¿el león dormido?](#)

[De la aldea cafetera a la ciudad fragmentada.](#)

[Desafío futuro: ciudades sostenibles e incluyentes.](#)

[Desarrollo energético y clima salvaje.](#)

[Deslizamiento en Rosas, una tragedia mitigada.](#)

[Dinámicas del clima andino colombiano.](#)

[Ecorregión Cafetera: minería y medio ambiente.](#)

[Eje Cafetero: Cambio climático y vulnerabilidad territorial.](#)

[El desastre en el río Mira.](#)

[El Ruiz, amerita medidas de prevención y no pánico.](#)

[Conviviendo con el volcán.](#)

[Cuando llegan las lluvias.](#)

[El volcán y el desastre de Armero.](#)

[Erupción volcánica con tsunami en Tonga.](#)

[Geotecnia para el trópico andino.](#)

[Gestión ambiental del riesgo en el territorio.](#)

[Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.](#)

[Gestión del Riesgo por Sismos, Volcanes y laderas en la Política Ambiental de Manizales.](#)

[Haití sin resiliencia para el desastre.](#)

[Hidro-Ituango: una lectura a la crisis.](#)

[Huracanes y terremotos acechan.](#)

[El siniestro de Mocoa, designio de la imprevisión.](#)

ENLACES U.N. y Otras Fuentes 2 de 2



| | | | |
|--|---|--|--|
| <p><u>La adaptación de la ciudad al trópico andino.</u></p> <p><u>La amenaza climática en la Ecorregión Cafetera.</u></p> <p><u>La amenaza volcánica de Cerro Bravo.</u></p> <p><u>La amenaza volcánica del Cerro Machín.</u></p> <p><u>La catástrofe del Eje Cafetero en un país sin memoria.</u></p> <p><u>La creciente amenaza climática.</u></p> <p><u>La encrucijada ambiental de Manizales.</u></p> <p><u>La gestión ambiental del hábitat</u></p> <p><u>La historia del Cerro Sancancio.</u></p> <p><u>Laderas del Trópico Andino.</u></p> <p><u>Los guetos urbanos o la ciudad amable.</u></p> <p><u>Llega el invierno, ¿pero la vulnerabilidad qué?</u></p> | <p><u>Manizales, ciudad de laderas y paisajes del trópico andino.</u></p> <p><u>Manizales: complejidades de su territorio y ordenamiento.</u></p> <p><u>Manizales: política pública ambiental y gestión del riesgo.</u></p> <p><u>Motocicletas y seguridad vial.</u></p> <p><u>Movimientos masales.</u></p> <p><u>Manual de geología para ingenieros.</u></p> <p><u>Minería en Tolda Fría ¿y el agua qué?</u></p> <p><u>No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes.</u></p> <p><u>ONG: desarrollo sostenible, gestión del riesgo y cambio climático.</u></p> <p><u>Paisaje Cultural Cafetero de Colombia 2011-2021.</u></p> | <p><u>¿Qué deja la temporada invernal y para dónde va?</u></p> <p><u>¿Qué hacer con la vía al Llano?</u></p> <p><u>Reconstrucción con adaptación al cambio climático en Colombia.</u></p> <p><u>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y volcanes.</u></p> <p><u>Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia.</u></p> <p><u>Sismo, bahareque y laderas.</u></p> <p><u>Sismo superficial de magnitud intermedia en Anserma Nuevo del 19 de enero de 2024.</u></p> <p><u>Sismos.</u></p> <p><u>Sismos y volcanes en Colombia.</u></p> <p><u>Sustentabilidad y decrecimiento económico.</u></p> | <p><u>Templanza y solidaridad frente al desastre.</u></p> <p><u>Terremotos en el occidente colombiano.</u></p> <p><u>Un pacto con la sociedad y la naturaleza.</u></p> <p><u>Un país con grandes retos ambientales.</u></p> <p><u>Un SOS por los derechos de la Reserva de Río Blanco.</u></p> <p><u>Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo.</u></p> <p><u>¿Violación de derechos ambientales en Río Blanco?</u></p> <p><u>Violencia y medio ambiente.</u></p> <p><u>Vulcanismo.</u></p> <p><u>Vulnerabilidad de las laderas de Manizales.</u></p> <p><u>¿Y la transición ecológica, qué?</u></p> |
|--|---|--|--|