



Falla San Andrés. California, USA. Corbis.com

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 15

SISMOS

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Para entender la importancia de los sismos, como materia en la formación del ingeniero, pueden compararse los efectos de varios tipos de desastres naturales, tanto históricos como proyectados.

Tabla 17. Comparación entre varios tipos desastres naturales.

Tipo de desastre	Principal pérdida conocida de vidas humanas	Máxima pérdida de vidas proyectada
Inundación por causa de lluvias	Junio 1931, Honan China, el Yangtse y el río Amarillo matan entre 1 y 2 millones de personas	2 - 3 millones de personas
Terremoto	Enero 24 de 1556, Shensi China, un terremoto causa 830 mil muertes	1 - 1.5 millones de personas
Tsunami de origen sísmico	1876, Bahía de Bengala, grandes olas de marea matan 215 mil personas	250 – 500 mil personas
Tsunami de origen volcánico	Agosto 27 de 1883, Krakatoa, olas de marea matan 36.400 personas	100 a 200 mil personas
Erupción volcánica	1669, Italia. La erupción del Etna destruye Catania, matando 100 mil personas	1 - 2 millones de personas

Tipo de desastre	Principal pérdida conocida de vidas humanas	Máxima pérdida de vidas proyectada
Tifón o huracán	Octubre 8 de 1881, Haiphong Vietnam, un tifón causa 300 mil víctimas	0.5 a 1 millón de personas
Tormenta	Noviembre 26 de 1703, Inglaterra, una tormenta causó 8 mil muertes en el Canal	10 - 20 mil personas
Corrimiento de tierras	Diciembre 16 de 1920, Kansin China, un corrimiento de tierras mató 200 mil personas	250 – 500 mil personas
Alud	Diciembre 13 de 1941, Huarás Perú. Un alud mata 5 mil personas	10 20 mil personas

Booth-Fitch. La Inestable Tierra, Salvat, 1986

15.1. TEORIA DEL REBOTE ELASTICO

En la corteza de la Tierra se acumula energía, gracias a procesos de deformación elástica. La figura 89 que ilustra el proceso de liberación de esa energía, muestra como se produce la ruptura de una capa de rocas, después de superar el límite elástico. Allí resulta un conjunto de bloques desplazados a lo largo de las líneas de ruptura.

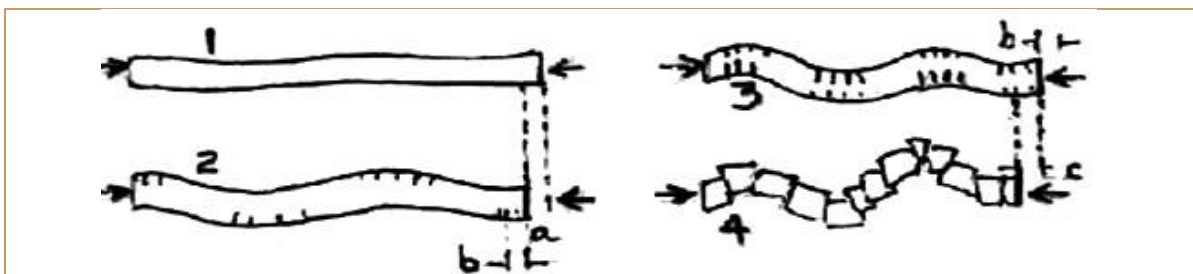


Figura 91. Teoría del rebote elástico: 1. deformación elástica, 2. fisuras de tensión, 3. fisuras de tensión y compresión, 4. fallamiento y liberación de la energía de deformación por ruptura.

La corteza terrestre está prácticamente, siempre y en todas partes, sometida a algún tipo de tensión. Las mayores **concentraciones de tensiones** se producen a lo largo de los límites entre las placas corticales, e incluso en su interior donde pueden producirse acumulaciones de tensiones que superen la competencia elástica de las rocas. La ruptura de las rocas debajo de los volcanes se produce debida a los movimientos de ascenso de magma y a la liberación explosiva de gases volcánicos. Siendo esto así, en todo momento existen en el mundo diversos sectores, grandes o pequeños, en que los esfuerzos elásticos acumulados en la corteza terrestre hacen que las rocas que allí se encuentran estén muy próximas a su punto de rotura probable.

En estas circunstancias, **basta un pequeño esfuerzo** adicional para desencadenar un terremoto, comprendiéndose, por tanto, que los cambios causados por la tensión consecuente de un gran terremoto pueden provocar una reacción en cadena que se traducirá en una serie de sacudidas

grandes o pequeñas. También es factible que las pequeñas alteraciones en el campo de esfuerzos de la corteza, generadas por el paso de depresiones ciclónicas profundas o por los ciclos de mareas terrestres, puedan desencadenar auténticas sacudidas.

15.2. DOS LECCIONES: SAN FRANCISCO Y KOBE

La falla de San Andrés en California, comprende cinco trazos principales. Ubicados allí en el continente y mirando al pacífico, las rocas del fondo oceánico se desplazan hacia el norte. Es una falla de rumbo derecho. Por ese desplazamiento **se acumulan esfuerzos** en la corteza cuya zona de debilidad, por la cual han de liberarse, es la falla de San Andrés. Tres de los trazos señalados liberan energía de manera casi continua, mientras dos de ellos acumulan energía que ha de ser liberada violentamente cada veinte o treinta años. Ante la pregunta ¿pueden producirse en el futuro nuevos terremotos en San Francisco tan violentos como el del año de 1906?: la respuesta inequívoca debe ser si, pues el terremoto de 1906 fue causado por la falla y no al revés.

El epicentro del terremoto de Hanshin-Awaji fue localizado en el centro del sistema de fallas Arima-Takatsuki, en el extremo norte de la isla Awaji. Aunque históricamente han ocurrido sismos destructivos en esta región, como el terremoto de 1596 con magnitud 7,5 la poca actividad sísmica reciente hacia 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 de la falla era cercano a los mil años. La ocurrencia de réplicas y la extensión de la línea de ruptura sobre la falla Nojima, sugieren que éste terremoto fue causado por una ruptura de 40 Km. en el sistema de fallas que forma parte de la microplaca Osaka.

15.3. PARAMETROS DE UN SISMO

Pueden ser estáticos o dinámicos:

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

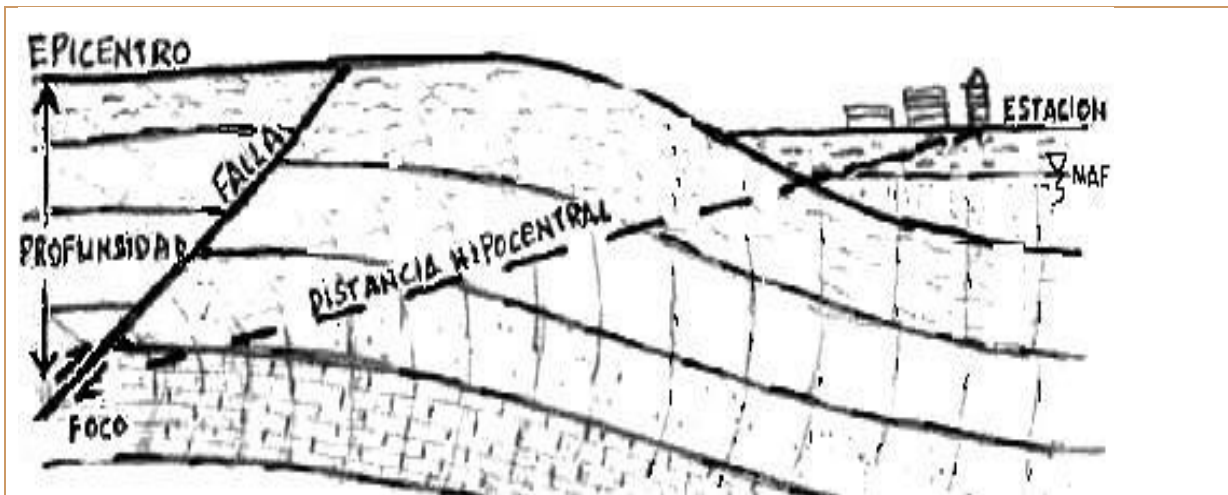


Figura 92. Parámetros de un sismo. Son el Foco, el epicentro, la profundidad, la Distancia epicentral, la distancia hipocentral, la Amplitud del movimiento y su duración (coda). Además de sus coordenadas de espacio y de tiempo según el lugar y hora de ocurrencia del evento.

15.3.2 Dinámicos. El tiempo u hora del evento, la coda o duración de la excitación, la amplitud 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 por la amplitud del movimiento y en otros casos por la coda. La frecuencia o el período varían según la energía de la onda en la estación de registro.

15.4. LA SISMOLOGIA

En la Tierra el agua juega un papel fundamental en la explicación de los sismos. La construcción de embalses sobre fallas geológicas, induciendo sismos someros de relativa importancia, y la presencia de sismos en la Luna sin hidrosfera así lo señala.

En nuestro planeta se denominan terremotos y en la Luna lunamotos. Los sismos que se producen en el fondo oceánico son terremotos. Si la falla de San Andrés no fuera de rumbo, y sus desplazamientos se dieran de manera súbita, bajo mecanismos de fallamientos normales o inversos, se darían levantamientos o hundimientos del fondo oceánico provocando disturbios en el agua del mar. Semejantes disturbios se denominan **maremotos** (tsunami). Cuando los movimientos sísmicos interesan las aguas de lagos y represas reciben el nombre de seiches.

15.4.1 Clases de sismos. Las clases de sismos en el planeta son:

- **Los plutónicos.** Son el 3% del total de sismos, con profundidad entre 300 km. y 900 km. con un máximo de 900; son los de más energía por la profundidad, aunque el efecto en superficie es tenue pero extenso; se sienten en una zona tan extensa como la comprendida entre Venezuela y Perú. Estos sismos se explican por cambios de fase de las rocas del manto (implosión) o por rupturas en el flujo plástico del manto (explosión). Para diferenciar ambos mecanismos focales nos basamos en la primera onda sísmica que llega a la estación de registro.

- **Los interplaca.** Son el 5% del total de los sismos y aparecen a una profundidad entre 70 y 300 km. Son típicos de zonas de subducción, los focos de ellos van delimitando el plano de Benioff. 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 Manizales 1979. El registro de estos sismos, en la superficie, muestra pocas frecuencias altas. Ello se explica por un filtraje de las capas recorridas, ejercido sobre el frente ondulatorio, que podríamos interpretar como un consumo de energía en el transporte de las ondas sísmicas.

- **Los intraplaca.** Son sismos de fallas, y representan el 85% de los sismos. Se dan en el interior de las placas tectónicas, cuando la energía se libera por sus zonas más débiles (fallas). Son los más destructivos aunque acumulan menos energía que los anteriores dado que se dan a menos de 70 Km. de profundidad, ejemplo Popayán 1983 y Quindío 1999. Se distinguen porque tienen múltiples premonitores y réplicas, ya que a esta profundidad las rocas, antes que plásticas son rígidas. Los premonitores son las rupturas que anteceden al paroxismo y las réplicas son las que lo suceden. Aunque tengan una magnitud inferior en un grado, su magnitud suele tener una intensidad de un grado más. Para estos sismos por fallas, el mecanismo focal sugiere el tipo de movimiento de la falla. Ver fig 97.

- **Los volcánicos.** Son el 7% de los sismos y se presentan a menos de 20 Km. de profundidad. A diferencia de los otros la aureola de daños es de pocos Km. porque el foco es muy puntual y gran parte de la energía se libera en la atmósfera. Cuando las burbujas del magma alcanzan la zona rígida de la corteza y los volátiles disueltos cambian a la fase gaseosa, si la presión del fundido es suficiente, se provoca el emplazamiento del magma en regiones superiores y el escape de gases que deforman y fracturan la corteza.

- La velocidad de ascenso del magma, como su volumen, suelen inferirse por la magnitud de los sismos y desplazamiento temporal de los focos sísmicos. La interpretación de éstos fenómenos puede corroborarse a veces por la dinámica que muestre la extensión del campo o de deformaciones (disminuyendo) y la intensidad de las deformaciones (aumentando) en superficie.

- **Los sismos artificiales.** Son producidos por detonaciones de bombas nucleares, etc. Tienen una profundidad de menos de 2 Km. y foco muy puntual; así gran parte de la energía se libera en la atmósfera.

- **Ruido sísmico.** Puede ser natural como el producido por mareas terrestres, olas, viento; o artificial como el producido por vehículos en movimiento, etc.

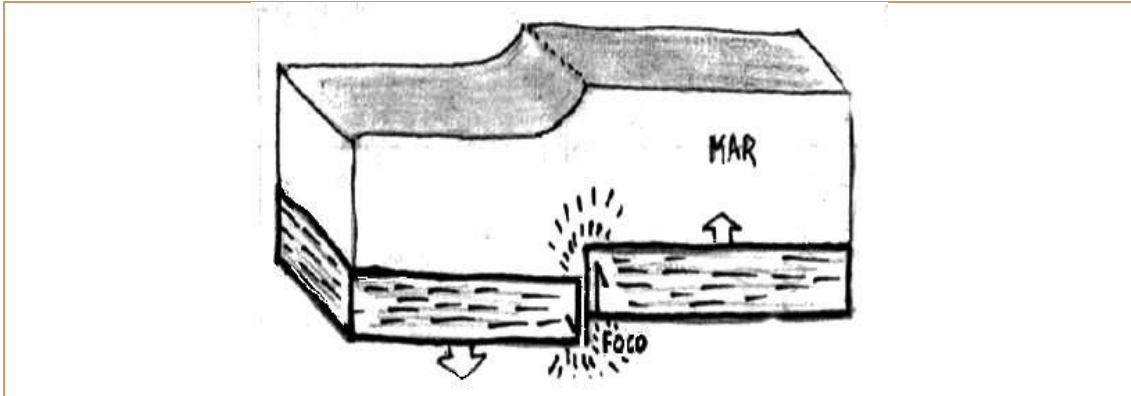


Figura 93. Esquema ilustrativo del mecanismo de generación de un maremoto o tsunami. La perturbación en el agua del mar es más eficiente en fallas inversas o normales (desplazamiento vertical con hundimiento y levantamiento del suelo) pero no en fallas de rumbo (desplazamiento horizontal del suelo a lo largo de la falla). En mar abierto la perturbación es rápida, pero en aguas poco profundas las olas pierden velocidad y distancia, pero ganan amplitud. Si el desplazamiento de la corteza a lo largo de la línea de falla es significativo, cuando la magnitud sísmica es elevada y la ruptura presenta fuerte expresión topográfica, se dan profundas modificaciones en la topografía costera, por corrimientos insulares y variaciones del nivel de aguas, generando desastres significativos. Adaptado de La Tierra, Salvat.

15.4.2 Ondas sísmicas. Pueden ser de cuerpo (interiores) como las P y las S, y superficiales como las de R y L.

- **Ondas de cuerpo.** Las ondas P son compresionales, las partículas se desplazan en la dirección del movimiento, son las primeras en aparecer en el registro por ser las más rápidas. Las S o de cortante, más lentas, llegan de segundas; las partículas se mueven en dirección transversal al movimiento, hacen más daños por tener mayor amplitud, por ser ondas de cortante no cruzan líquidos.

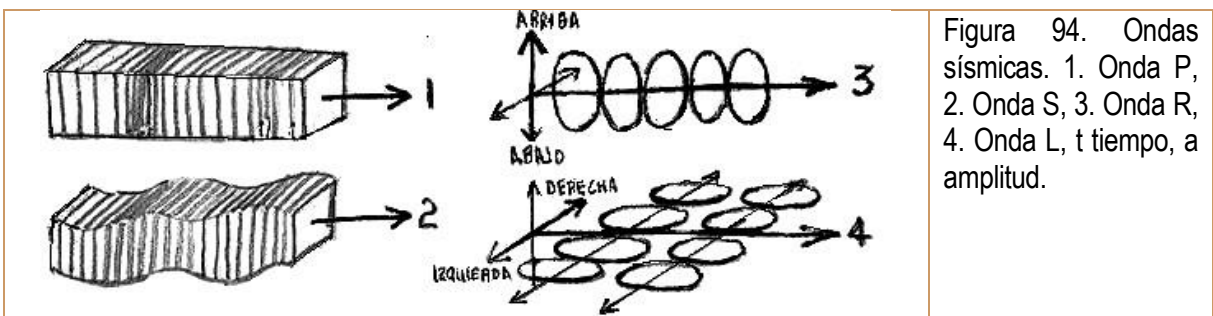


Figura 94. Ondas sísmicas. 1. Onda P, 2. Onda S, 3. Onda R, 4. Onda L, t tiempo, a amplitud.

Las ondas sísmicas son la transformación de la energía potencial en energía cinética. Las ondas P son debidas a la elasticidad de volumen del material, mientras las ondas S, son debidas a la elasticidad de la forma del medio de transmisión.

La velocidad media aparente de propagación de las ondas P oscila entre 8 y 13 Km./seg y para las ondas S entre 4.5 y 8.5 Km./seg.

- **Ondas superficiales.** Después de las anteriores llegan las ondas R y las L (Rayleigh y Love), en las ondas R las partículas se mueven describiendo elipses sobre un plano vertical en la dirección del movimiento. Si el medio es sólido la partícula retrógrada arriba y avanza abajo; si es líquido lo contrario. En las ondas L la elipse está en un plano horizontal transversal a la dirección del movimiento.

Las ondas superficiales se forman a partir de las interiores; son ondas largas porque tienen mayor amplitud y su propagación es lenta (3 a 4 Km./seg). Por los efectos desastrosos que producen se llaman sacudidas del "terremoto". Cualquiera que sea su intensidad, las sacudidas pueden ser bruscas u ondulatorias; las primeras se caracterizan por empujes casi verticales y las segundas por empujes que se comunican oblicuamente.

15.4.3 Instrumentos de registro. Los instrumentos son los sismógrafos y los acelerógrafos. Pueden ser equipos analógicos (mecánicos) y analógicos (electrónicos).

- **Sismógrafo.** Consiste en un péndulo equipado con un freno neumático o magnético para que al ocurrir una sola sacudida no trace varios movimientos. De esta manera, cuando hay un sismo, el graficador, después de la primera sacudida quedará quieto para trazar el segundo movimiento, después trazará el tercero sin recibir los efectos de los anteriores, y así sucesivamente, podrá registrar el sismo, movimiento por movimiento.

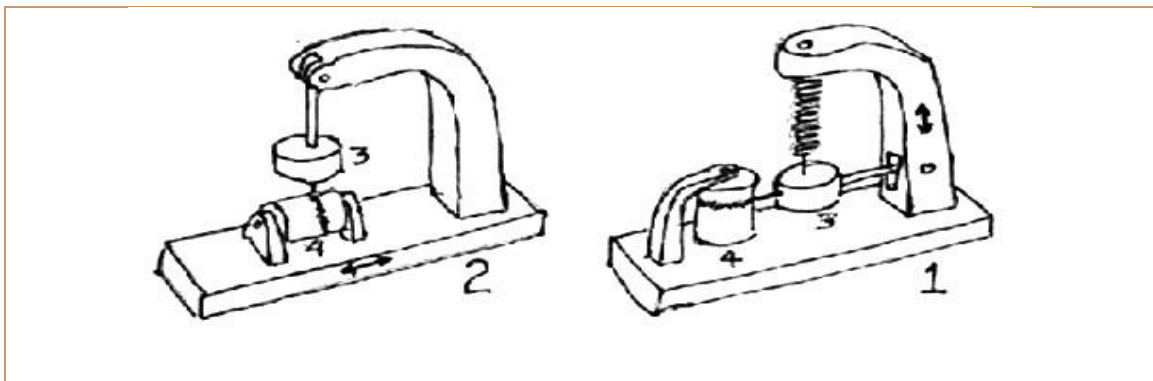


Figura 95. Esquema de un sismógrafo: 1.sismógrafo para componente vertical, 2.sismógrafo para componente horizontal, 3. péndulo, 4. tambor de registro. Según La Tierra, Círculo de Lectores.

En el registro se identificarán los intervalos de tiempo y la amplitud de las sacudidas individuales, y la duración total del sismo. Se requieren tres sismógrafos para el registro completo del evento, según sus componentes X, Y, Z, con el propósito de observar un movimiento que de por sí es tridimensional.



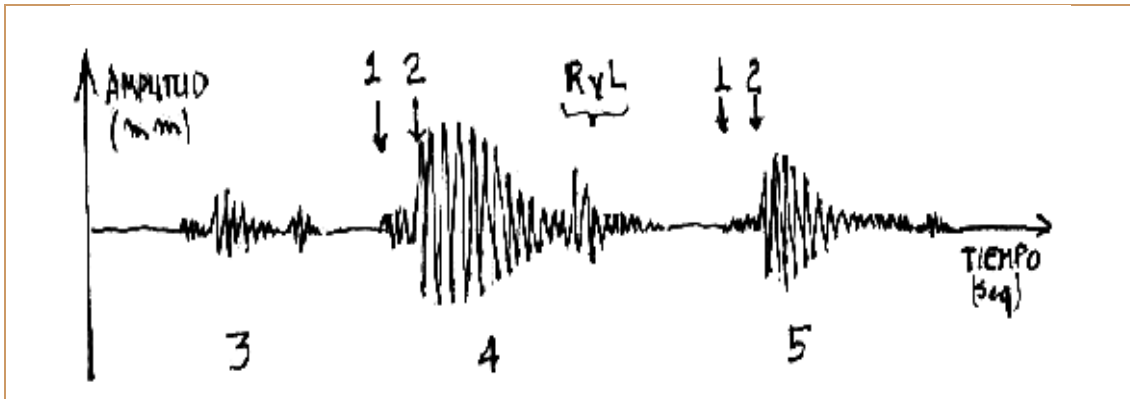


Figura 96. Sismograma. 1. Onda P, 2. Onda S, 3. Premonitor, 4. Paroxismo, 5. Répica. La diferencia de tiempo de arribo entre las ondas P y S, se mantiene en las tres sacudidas (3, 4 y 5), pues depende solo de la distancia Estación-Foco.

- **Acelerógrafo.** A diferencia del sismógrafo, el péndulo se suspende de un resorte; el acelerograma registra la aceleración del suelo, obteniéndose de él además (indirectamente) la velocidad y el desplazamiento de las partículas; con este registro se puede conocer la respuesta del suelo colocando el instrumento en el piso y la del conjunto suelo-estructura, colocando el instrumento sobre la estructura. Indirectamente se puede entonces conocer el comportamiento de la estructura.

La ingeniería sismorresistente busca, entre otras cosas, evaluar la influencia de las condiciones locales de las formaciones naturales en el riesgo sísmico, que no se presente resonancia, es decir, que la frecuencia natural de oscilación de la estructura quede desfasada de las frecuencias dominantes de los diferentes sismos, que se generen desde las fuentes sísmicas locales.

15.4.4 Mecanismos focales. Pueden ser implosión, explosión y cortante: implosión, cuando la primera onda P asciende, ($P_1 \uparrow$); explosión, cuando la primera onda P desciende ($P_1 \downarrow$); cortante cuando se advierten zonas de compresión y distensión conjugadas, a lados opuestos de una falla (\pm).

- **Implosión.** El terreno baja en el primer movimiento y el sismógrafo vertical dará su primer trazo de la onda P hacia arriba.

- **Explosión.** Caso contrario al anterior, la primera onda P será hacia abajo, porque el terreno ha subido.

- **Desgarre.** Si hay falla de rumbo necesitamos cuatro sismógrafos dispuestos como en la fig. 97, dos de ellos mostrarán compresión (+) en el registro, los otros dos, rarefacción o distensión (-). Ello se explica por el efecto de acordeón.

Para conocer el epicentro de un sismo se toman registros de tres estaciones lejanas, en cada uno se establece la diferencia de tiempo de arribo entre las ondas P y S. Así, en función de sus velocidades, las distancias epicentrales con centro de compás en las estaciones y con radios a escala, según las distancias epicentrales obtenemos en el plano el epicentro del sismo. Aquí la profundidad del foco tiene que ser despreciable.

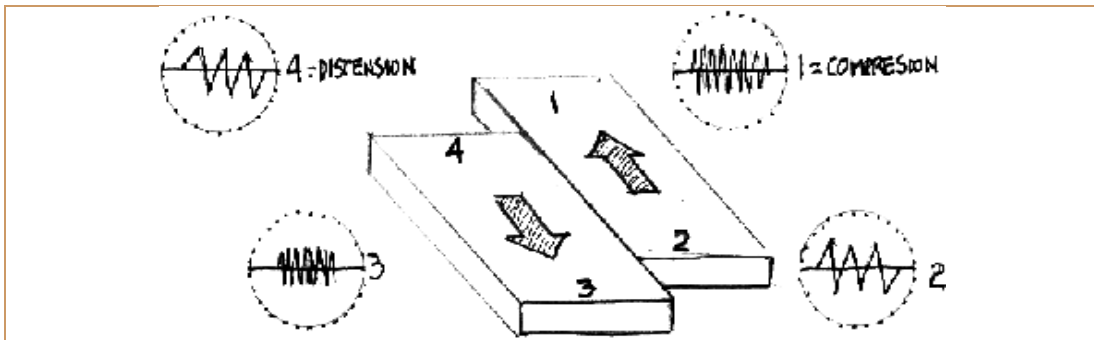


Figura 97. Sismo por corrimiento. Se ilustra el mecanismo focal de desgarre, asociado a una falla de rumbo.

15.4.5 Amplificación sísmica. Un frente de ondas en la roca suele tener altas frecuencias y en consecuencia alta energía. Cuando las ondas pasan a los depósitos sobre yacientes se amplifican: bajando la frecuencia aumenta la amplitud, pues la energía trata de conservarse.

En depósitos mal consolidados, la intensidad puede incrementarse en un grado, y en medio grado más cuando el nivel freático está a menos de 10 metros de profundidad. Igualmente las estructuras menos rígidas, como las de bahareque, suelen sufrir mayor daño cuando se construyen sobre sitios de suelos deformables para los cuales se recomienda la construcción de estructuras rígidas.

La rigidez de los suelos depende de la potencia de los depósitos como de las características de compacidad para los suelos gruesos, o de consistencia para los suelos finos. Posiblemente la topografía y geometría de los depósitos se constituyan en factores relevantes.

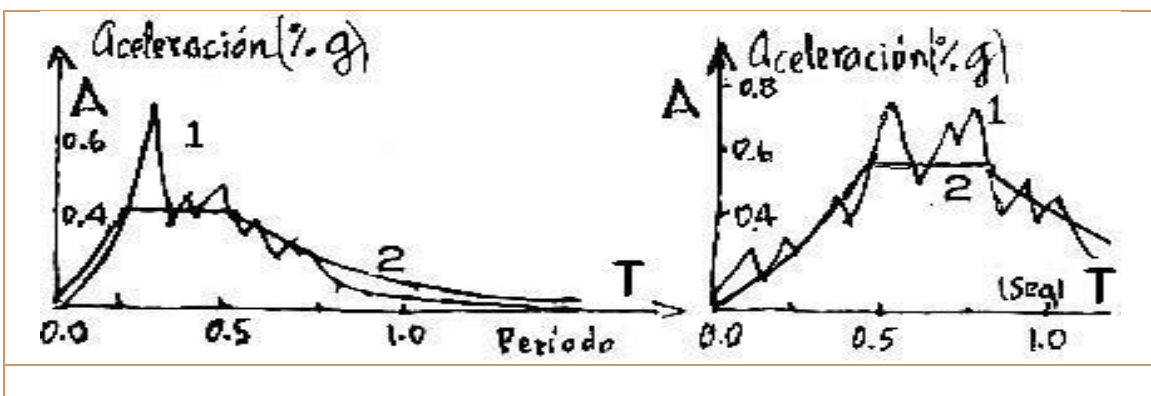


Figura 98A. Espectro de respuesta de un sismo: Izquierda, suelo firme, Derecha, suelo blando, 1. espectro modelado, 2. espectro propuesto, A. aceleración, T. Período. Obsérvense la diferencia de altura en las mesetas y de las frecuencias a las cuales se dan las máximas amplitudes.

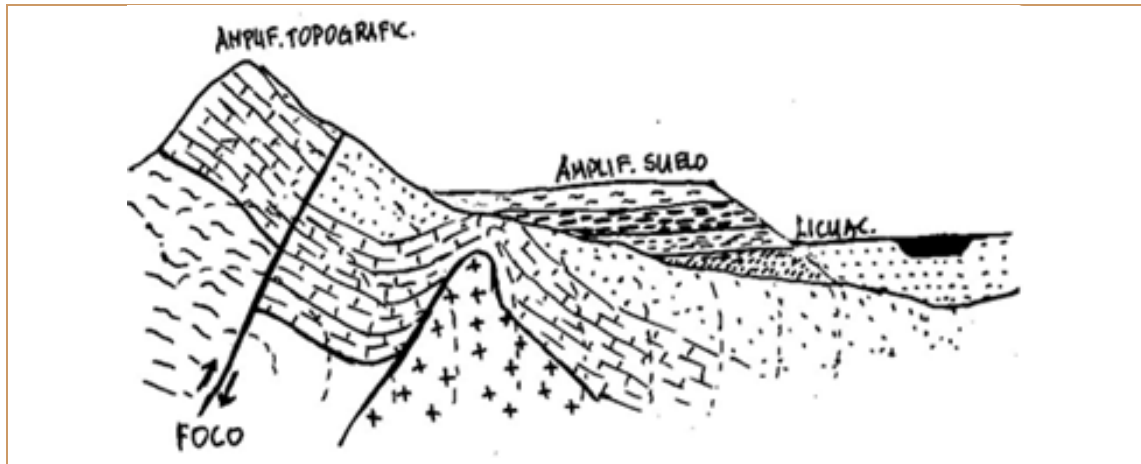
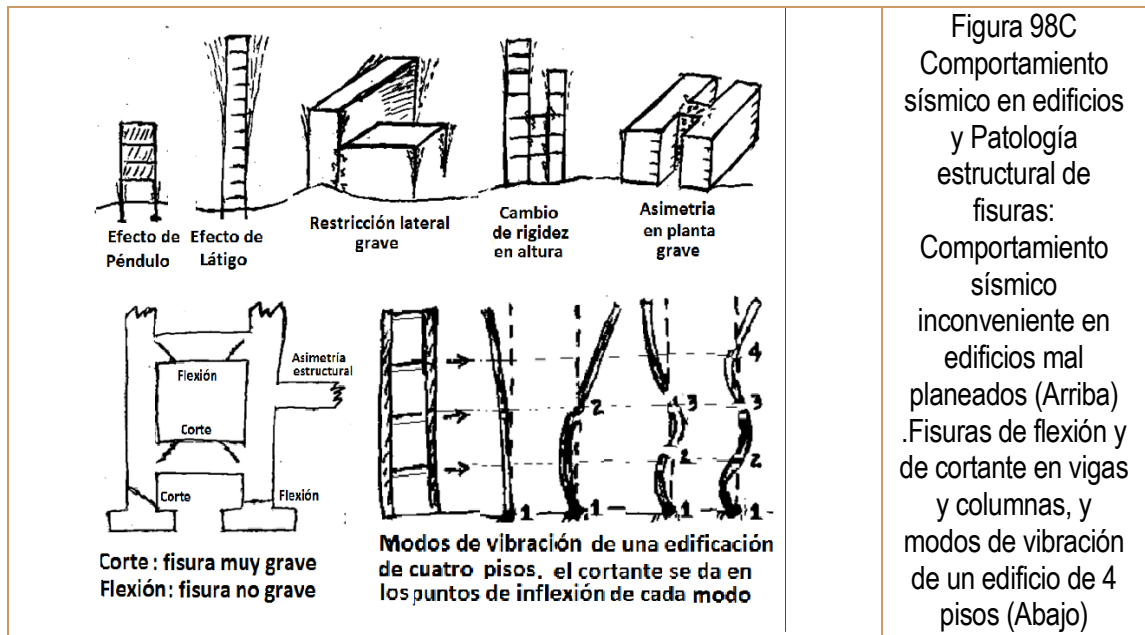


Figura 98B Zonas susceptibles de amplificación sísmica y licuación de suelos. En suelos blandos con espesores de decenas de metros, la intensidad sísmica que describe los daños en la Escala de 12 puntos de Mercalli, se puede incrementar en un grado, y subir medio grado más cuando presenten niveles freáticos elevados. Adicionalmente, las edificaciones altas pueden presentar el fenómeno de resonancia.

La rigidez de los suelos depende de la potencia de los depósitos como de las características de compacidad para los suelos gruesos, o de consistencia para los suelos finos. Al reducirse la velocidad de las ondas sísmicas transitando suelos blandos, por el principio de conservación de la energía estas se amplifican. Posiblemente la topografía y geometría de los depósitos se constituyan en factores relevantes.

Si las estructuras como casas y construcciones bajas suelen tener frecuencias naturales de oscilación de 10 Hz, y edificaciones esbeltas frecuencias menores que 1 Hz, resulta conveniente construir casas en suelos blandos y edificios en suelos duros, evitando el fenómeno de resonancia, dado que el período natural de una edificación suele ser cercano al número de pisos dividido por 10.

Colombia tiene un Código colombiano de construcciones sismo resistentes, 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-Tolima. También un Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, creado en 1990.



15.4.6 Escalas de intensidad y magnitud

- **Intensidad.** La intensidad que alude a los **daños** es subjetiva y depende de la calidad de construcción y el tipo de suelo; un sismo puede mostrar intensidades diferentes, en lugares diferentes. Se califica con la escala **Mercalli-Cancani** (Mercalli modificada) que tiene 12 grados, algunos son:

- I. Se observa comportamiento anómalo en algunos animales, difícilmente la gente los siente.
- III. Si sólo se siente en edificios, en la casa las lámparas se balancean.
- VI. Sentido por toda la gente. En la casa, caen los objetos de la estantería.
- IX. Produce pánico y daños. Cae la mampostería, revientan tuberías, etc..
- XII. Destrucción total. Es el límite superior de la escala.

- **Magnitud.** La magnitud depende de la **energía en el foco**, se mide en una escala continua y no en grados. La magnitud se mide en la escala de **Richter**; cada sismo tiene una sola magnitud. Magnitud cero se da si la amplitud instrumental en un sismógrafo patrón, ubicado a 100 Km. del foco, es 10^0 micras, es decir, de una micra. Magnitud 3 si es de 10^3 micras o sea de 1 milímetro; magnitud -2 si esa magnitud es de 10^{-2} micras.

Entre una y otra magnitud con diferencia de 1 unidad, la energía varía 31.5 veces; entre $m = 0$ y $m = +9$ esta se incrementa 31.5 a la 9 veces.

En un año hay 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.

Según la teoría de la brecha se pueden hacer pronósticos buscando sombras sísmicas, es decir, lugares sísmicos con un período transcurrido sin la ocurrencia de un terremoto probable. Para el 2000 se esperaba otro sismo de magnitud 6 o 7 en Caldas porque los de esta magnitud, asociados a una misma fuente sismotectónica (zona de subducción), tienen períodos entre 20 y 30 años en esta región. En efecto, en 1994 y 1995 se dieron dos sismos asociados a esa fuente, uno al occidente de Tuluá y otro al occidente de Manizales.

15.4. RIESGO SISMICO

15.5.1 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.

15.5.2 Estudio de riesgo sísmico para un punto particular

- **Estudios geológicos.** Tectónica regional y régimen de deformación, cartografía de fallas capaces importantes en un área de 100 Km. de radio. Determinación del tipo de fallas. Pruebas en pro y en contra de la actividad reciente de las fallas. Evidencias en el terreno de asentamientos, inundaciones y deslizamientos conexos.

- **Estudios de ingeniería de suelos.** Informes de campo sobre los terrenos de cimentación (capacidad portante, etc.) y estudios de estabilidad. Tratamiento especial de la inestabilidad por hundimiento o por falla de pendiente, modificación de los parámetros de diseño para movimientos fuertes cuando sea necesario.

- **Estudios sismológicos.** Determinación de terremotos históricos locales, cartografía de epicentros sísmicos. Estudio temporal de la relación recurrencia de intensidad-recurrencia de magnitud, para la zona. Evaluación de las intensidades históricas en la vecindad. Correlación entre focos sísmicos y fuentes sísmicas sobre la cartografía, estimación de futuras intensidades (aceleración, velocidad y desplazamiento) cerca del lugar y con la probabilidad de recurrencia. Selección de registros de movimientos fuertes de terremotos pasados que mejor representen las intensidades probables.

15.5.3 El aporte del geotecnista a la ingeniería sísmica.

- **Fuentes y trayectorias.** Entre los parámetros sismológicos asociados a estudios de riesgo sísmico, tenemos los que definen y cuantifican las ondas sísmicas que inciden en los suelos que soportan nuestras ciudades. Deben caracterizarse los **focos de actividad sísmica** describiendo los mecanismos focales, naturaleza de las dislocaciones y esquemas sismotectónicos del orden regional, además, conocerse las trayectorias de las ondas caracterizando el movimiento ondulatorio, describiendo las estructuras del subsuelo, su topografía superficial y profunda, y características de los materiales rocosos. Aquí la evaluación de la trayectoria de las ondas sísmicas supone el empleo de algunas **ecuaciones de atenuación**. Ya a distancia del foco, se debe evaluar el potencial sísmico a nivel de la roca que sirve de basamento a cada ciudad, cuantificando la magnitud, aceleración máxima y período de retorno de los eventos sísmicos. Finalmente se entra a estudiar las condiciones locales de los depósitos de suelo que cubren el basamento (geometría de depósitos y propiedades dinámicas de sus materiales) con el fin de identificar la respuesta sísmica.

- **Interacción suelo- estructura.** Con este itinerario se cae a un problema típico de **dinámica de suelos**, en el que se deben conocer las propiedades dinámicas de cada estrato de suelo y del conjunto, así como la respuesta sísmica de un lugar específico y el efecto de las vibraciones en el suelo considerado como estructura, y también en el conjunto suelo-estructura (aludiendo aquí a las construcciones). Siendo el sismo un movimiento ondulatorio asociado a la liberación de energía en un medio elástico, puede darse el fenómeno de **resonancia** por semejanza entre los períodos de vibración (o frecuencias) del sismo, del suelo y de la estructura (cualquier construcción o depósito de suelo tiene un período natural de oscilación que lo caracteriza).

- **Tipos de suelos.** En estos estudios se pueden considerar dos tipos de suelos para efectos prácticos; los **depósitos blandos mal consolidados** en los que los esfuerzos cortantes crecen sin que necesariamente lo hagan los movimientos del suelo, suelos que después de la excitación quedan intactos, y los **depósitos granulares sueltos y saturados** que desarrollan grandes deformaciones, dando lugar a deslizamientos de tierra o a su licuación. Debe advertirse que las cargas dinámicas asociadas a sismos son complejas, pues difieren en magnitud, dirección y frecuencias. La idealización del sismo permite considerar un tren de esfuerzos cortantes (como también de ondas de compresión) que se desplaza desde el foco y hasta las ciudades, a través de las diferentes unidades de rocas,

cruza los estratos de los depósitos que las cubren, y alcanza en su viaje las estructuras de las construcciones que habitamos. En ese viaje cambian su trayectoria, magnitud y frecuencia. Las oscilaciones del terreno también se caracterizan por ser cíclicas y rápidas resultando por ello sometidos los suelos a condiciones de cargas dinámicas bajo condiciones no drenadas (si el suelo está saturado el agua no tiene tiempo de salir).

El comportamiento del suelo ante sismos y en **condiciones saturadas** es preocupante porque, para grandes deformaciones por esfuerzos de corte, se puede producir una acumulación gradual de la presión de poros dentro del depósito de suelo, en detrimento de los esfuerzos efectivos, tal que si el número de aplicaciones de carga resulta suficiente, los esfuerzos efectivos se anulan, quedando el suelo licuado si su resistencia al corte es de tipo friccional; el suelo así se ha transformado en un pantano. Después del proceso y cuando las presiones de poros se han disipado el suelo volverá a su condición hidrostática sufriendo densificación por reacomodo de su estructura (el pantano se vuelve tierra firme y se asienta).

- **Algunas lecciones.** Para resaltar la importancia de una evaluación de las características de los depósitos blandos ante solicitudes dinámicas y la necesidad de ubicar acelerógrafos sobre depósitos blandos y rocas del basamento, como fase fundamental para los estudios de microzonificación sísmica, se muestran los siguientes **ejemplos**: en los terremotos de Chile y Alaska (1991) hubo fallas de laderas, asociadas a efectos combinados del incremento de los esfuerzos cortantes en el suelo y las amplificaciones locales por topografía, en estratos arcillosos. En el terremoto de Méjico (1985) y en el de Loma Prieta (1989) en los depósitos de suelos finos blandos, con espesores de hasta 100 y 200 metros respectivamente, las amplificaciones de las aceleraciones horizontales máximas fueron de 2 a 4 veces, mientras las de las aceleraciones espectrales máximas fueron de 8 a 15 veces y de 3 a 6 veces respectivamente. Estos terremotos cambiaron completamente los conceptos sobre la respuesta de las arcillas blandas ante cargas sísmicas. Experiencias teóricas en el Valle de Ashigara Japón (1992) muestran que en la práctica es difícil evaluar la respuesta dinámica de depósitos aluviales o coluviales que incluyan diferentes tipos de suelos y cambios topográficos simultáneamente.

- **El resultado.** El producto importante derivado del conocimiento de las características de la respuesta sísmica de los depósitos de suelos, en las zonas habitadas, es la mitigación o reducción del riesgo sísmico. Gracias a la instalación de una red sísmica y de acelerógrafos, se le permite a la ingeniería sísmica aplicar sus metodologías, técnicas y estrategias, no sólo para evaluar la vulnerabilidad de las construcciones y obras ya ejecutadas y construir las nuevas de manera segura, sino también para modificar el nivel de seguridad o de servicio de las estructuras que lo ameriten, de acuerdo a su resistencia, a su funcionalidad y a su vulnerabilidad.

15.5.4 Mapa de microzonificación sísmica. Para la preparación del mapa de microzonificación se requiere adoptar un método interdisciplinario, teniendo en consideración la sismología, la geología, ingeniería y el medio ambiente edificado. A continuación se proponen tres etapas operacionales, presentadas por el Laboratorio de Sismología y Vulcanología de la Universidad de Costa Rica.

- **1º Etapa.** Elaboración de mapas adecuados a los requisitos de las zonas urbanizadas interesadas, delineación de los aspectos concretos del método. Recopilación y tratamiento de datos multidisciplinarios requeridos, incluyendo los obtenidos de experiencias internacionales.

A los mapas temáticos se les asigna una serie de parámetros, su calificativo y un valor que se determina con base en:

Tabla 18. Valoración de parámetros para la microzonificación.

Parámetro	Calificativo	Valor
Tipo de suelo, de acuerdo a su consolidación		S
Roca (S1)	bajo	1
Suelo firme (S2)	medio	2
Suelo blando (S3)	alto	3
Muy blando (S4)	muy alto	4
Períodos naturales del suelo (segundos)		P
0,1 - 0,4	muy bajo	1
0,1 - 0,5	medio	2
0,1 - 0,6	alto	3
>0,6	muy alto	4
Topografía (pendiente en grados)		T
0 - 10	muy bajo	1
10 - 20	bajo	2
20 - 30	medio	3
30 - 40	muy alto	4
Aceleraciones máximas (porcentaje de la gravedad)		M
0 - 0,15	muy bajo	1
0,15 - 0,30	bajo	2
0,30 - 0,40	alto	3
>0,40	muy alto	4

R. Ramírez. Metodología para la microzonificación sísmica, Universidad de Costa Rica, 1995.

- **2º Etapa.** Se adopta una metodología para la combinación de los factores anteriores, considerando que la amplificación sísmica ocurre cuando en determinado tipo de suelo y con un cierto período de

duración se alcanza un grado de susceptibilidad, y que bajo estas condiciones la sismicidad actúa como elemento detonante.

Se considera que el grado de amenaza es el producto de la energía del sistema por la susceptibilidad y la acción de los elementos detonantes o de disparo. Aquí se asumirá que el primer factor es unitario.

$$\text{Amenaza (A)} = 1 \times \text{susceptibilidad (Z)} \text{ por detonante (D)}$$

El valor de la susceptibilidad se compone a su vez de tres parámetros (valor del tipo de suelo (S), período natural del suelo (P) y topografía (T)). A su vez el factor detonante se compone del parámetro aceleración máxima (M). Haciendo la compilación de factores se tiene la ecuación:

$$A = 1 \times Z \times D$$

$$A = 1 \times (S \times P \times T) \times (M)$$

El grado de amenaza y los intervalos preliminares, de conformidad con el resultado que se obtiene de aplicar los valores de atrás en la anterior ecuación son:

Bajo	1 - 16
Medio	16 - 36
Intermedio	36 - 54
Alto	54 - 72
Muy alto	>72

- **3º Etapa.** Se lleva esta información de una forma adecuada a los usuarios para que se establezcan planes de manejo del uso de la tierra, ordenación física del territorio y planes de prevención de desastre sísmico. Este plan se puede llevar a cabo por medio de conferencias, foros y un pequeño folleto que explique en forma concisa el uso del mapa de microzonificación sísmica.

- **Limitaciones.** La metodología permite una aproximación de las áreas con amenaza de amplificación sísmica. El método identifica áreas donde se debe tomar en consideración las características de las condiciones geológicas superficiales (suelos) y ayuda a definir los factores de amplificación dinámica para perfiles de suelo firme, blando y muy blando, también permite orientar recursos a estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos para el desarrollo de la infraestructura urbana.

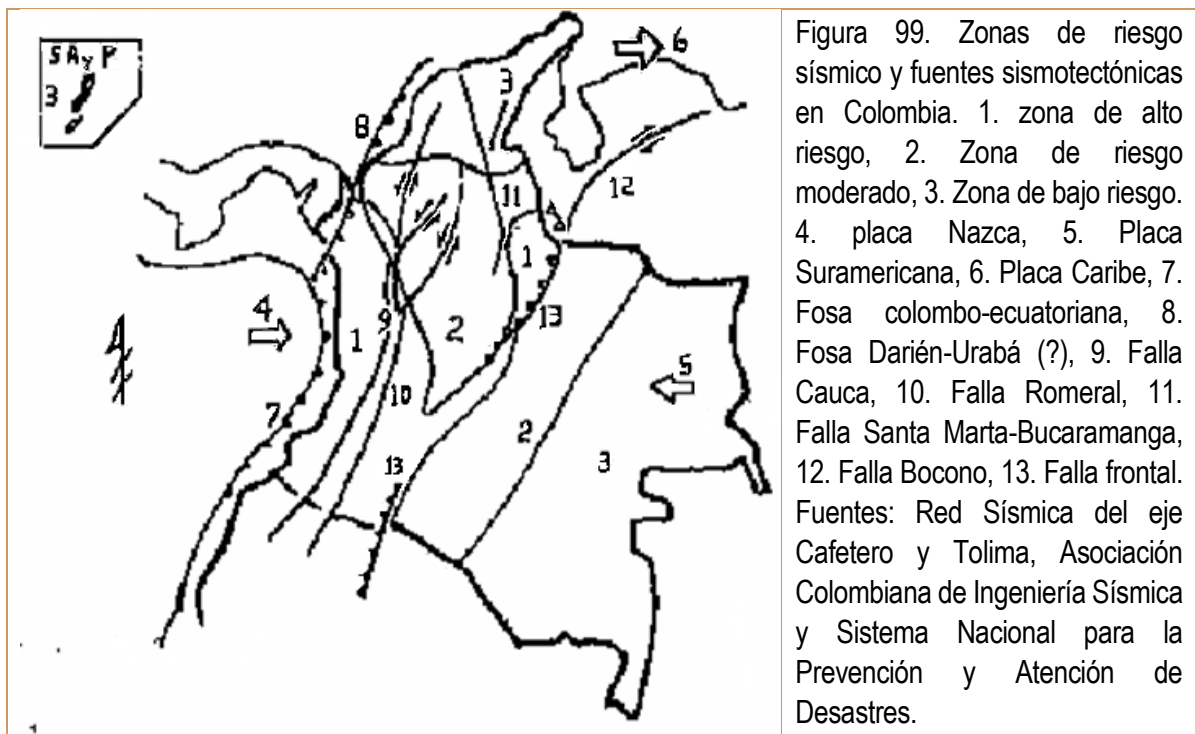
15.6. RIESGO SISMICO EN COLOMBIA Y EL EJE CAFETERO

Existen sobre la Tierra regiones prácticamente asísmicas. Son los cratones o núcleos estables de los continentes, como el Escudo Guyanés, el Escudo Brasileiro y el Escudo Canadiense, para el caso de

América. Contrariamente, las regiones sísmicas son el Cinturón Circumpacífico y la línea Alpes-Caucaso-Himalaya.

15.6.1 Fuentes sísmicas de Colombia. En Colombia los sismos son frecuentes en la región del pacífico y andina, eventuales en la caribe y escasos en la Orinoquía y la Amazonía. Casi toda la población del país habita zonas del alto y moderado 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.

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.



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.

15.6.2 Amenaza sísmica en el Eje Cafetero.

El Eje Cafetero está localizado en una de las **zonas de alto riesgo** sísmico de Colombia. Los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1985 ponen en evidencia una fuente sísmica de importancia, generadora de sismos de magnitud cercana a 7 grados e intensidades de VII, la que por la profundidad (70 a 100km.) 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, han alcanzado valores del 11% de la gravedad.

Pero las fallas del sistema Cauca-Romeral y las que delimitan la fosa tectónica del Magdalena son dos fuentes sísmicas que merecen consideración en esta poblada región. Los terremotos superficiales de Popayán 1983 y Quindío 1999, con magnitud 6 e intensidad VIII, anuncian una segunda fuente sísmica de implicaciones diferentes. 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 poder llegar a lo que se conoce como respuesta sísmica. Es importante señalar que las tres ciudades capitales de la conurbación cafetera, están sobre potentes abanicos asociados a depósitos fluvioaluviales de origen volcánico, asociados a los ríos Chinchiná, Otún y Quindío. El de Manizales anuncia levantamiento desde el terciario tardío hasta el holoceno. La formación Manizales con sus depósitos fluvioaluviales a la altura de Chipre y Villa Kempis, anuncia el levantamiento respecto a Villamaría y Morrogacho.

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 como 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 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 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 sismofuentes, 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).

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 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 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, el período fundamental de vibración de la estructura y la función de daños.

15.7- MANIZALES: POLÍTICA PÚBLICA AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL RIESGO

Tras una historia urbana signada por desastres como la erupción del Ruiz en 1985, los terremotos profundos de 1961/62, 1979 y 1995 o el sismo superficial de 1999 de importancia para el Eje Cafetero, y ahora las Niñas 2007/8 y 2010/11 con su enorme impacto para nuestra conectividad vial y frágiles laderas y para el suministro del agua de esta ciudad del trópico andino, si en algo pareciera existir consenso entre los manizaleños es que, entre los asuntos públicos después de la corrupción, nuestro principal problema se relaciona con la ausencia de una política pública ambiental que abrigue, entre otros aspectos socioambientales, la problemática del riesgo asociado a los fenómenos naturales, y que empiece por reconocerle al agua y la tierra el carácter de patrimonio por ser fundamento de la vida, y no de un recurso objeto del mercado.

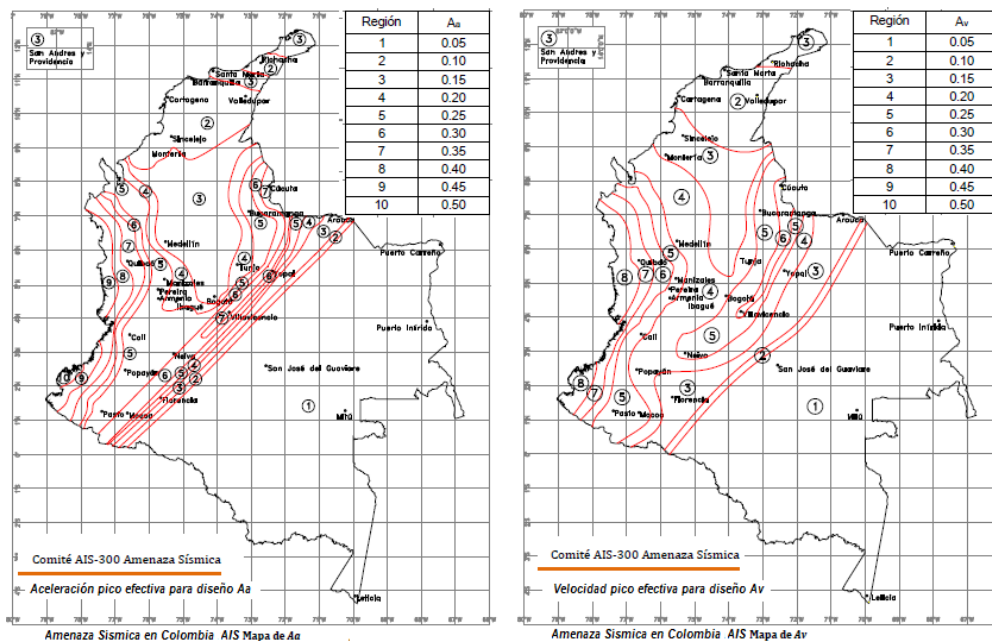


Imagen 86: Amenaza sísmica en Colombia: valores pico de aceleración y velocidad sísmicas de diseño Aa y Av para un evento con un período de retorno de 750 años. Comité AIS-300, en Estudio General de la Amenaza sísmica de Colombia 2009..

Pero hacer viable y eficaz la formulación, implementación, seguimiento y evaluación de una política pública coherente, obliga a apostarle a objetivos estratégicos viables desde la perspectiva social, económica y ambiental para alcanzar su sostenibilidad, a materializar decisiones democráticas sobre derechos civiles en el plan de desarrollo, a expresar unos usos no conflictivos del suelo espacializados al detalle en el plan de ordenamiento territorial, y finalmente a implementar una pedagógica en torno a ese proceso para ayudar a su comprensión y apropiación social, como cualificación de un desarrollo ambiental soportado en el empoderamiento del territorio. Si nuestra problemática contempla la amenaza del cambio climático con sus consecuencias hidrogeológicas en cuencas deforestadas y frágiles montañas, de las fuentes sísmicas y en especial Romeral por la incidencia de terremotos de intensidad severa como detonantes de incendios y sacudidas que pueden hacer de edificaciones vulnerables desechos de concreto a la espera, y de los eventos volcánicos del Ruiz y en especial de Cerro Bravo ahora en calma, también dicha política deberá encarar otros aspectos relevantes, como:

- 1- deterioros ambientales urbanos donde el espacio público brilla por su compleja problemática;
- 2- degradación de ecosistemas y áreas de interés ambiental por efectos de una expansión urbana;
- 3- contaminación hídrica y de suelos por altos niveles de concentración de vertimientos industriales y agroindustriales; y
- 4- guetificación de la ciudad consecuencia de un modelo urbano inequitativo concebido más para el transporte motorizado que para las personas.

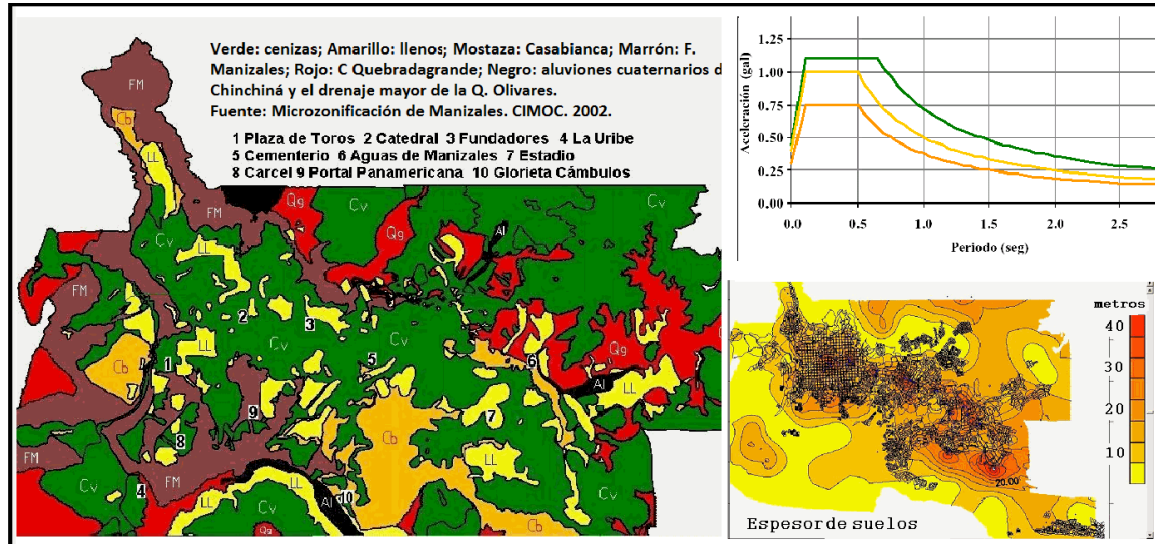
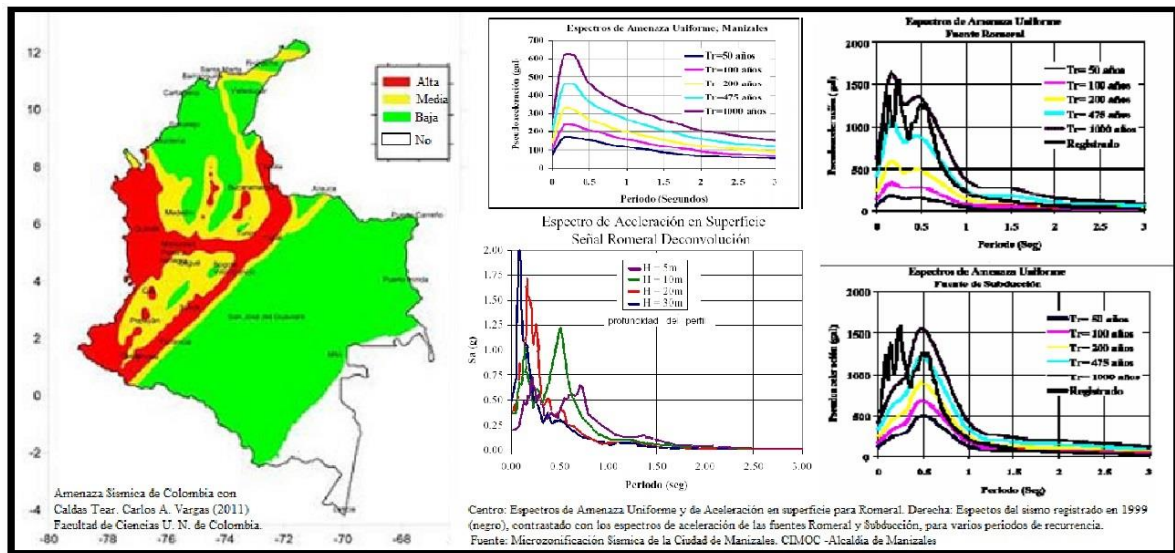


Imagen 87. Arriba: Zonificación de Manizales según Cimoc (Der); y Espectros de diseño y espesores de suelos en Manizales (Der). Abajo: Mapa no oficial de Amenaza Sísmica para Colombia según Carlos A. Vargas, en UN Periódico (2011), y Espectros de amenaza y de aceleración en la Microzonificación Sísmica para Manizales, del SIMOC (2002).

Nuestras políticas públicas ambientales, deberán incorporar varios objetivos clave para la gestión integral del riesgo, como son el desarrollo de las capacidades relacionadas con: a) la previsión a corto plazo que atañe a la instrumentación de los fenómenos geodinámicos, alertas tempranas y modelación de los eventos probables, y la previsión general de los desastres donde resultan

vitales los mapas de amenaza para resolver la ocupación conflictiva del suelo e implementar modelos de exposición al riesgo; b) con la atenuación de los efectos adversos de los eventos mediante medidas de prevención tanto con mejoras físicas o estructurales como de gestión eficiente de los sistemas estratégicos y líneas vitales, y medidas de preparación asociadas a la planificación de acciones rápidas y eficaces para restaurar los servicios y controlar o mitigar los daños al sistema construido y los efectos al ambiente; y c) con los diferentes niveles de las emergencias, donde el plan general debe diseñarse en función del riesgo de cúmulo y los planes operativos en función del riesgo específico, coordinados con el anterior.

En el tema de sismos y volcanes, para subrayar el desafío y naturaleza de la tarea que se demanda, me permito estas ideas sumarias: aunque la amenaza del Ruiz no resulte significativa para la ciudad frente a una erupción pliniana comparable a los eventos históricos de 1595 y 1845, y a pesar de conocer los daños ocasionados en Manizales por los sismos profundos ya señalados, habrá que empezar a tomar acciones de largo plazo y extremada urgencia frente a la amenaza volcánica de Cerro Bravo y paralelamente mejorar las condiciones de sismo-resistencia y seguridad ignífuga dado lo ocurrido en Popayán y Armenia y el advenimiento del gas, para sortear tarde que temprano un sismo superficial del entorno vecino de la falla Romeral.

Y para finalizar, el tema de las laderas en el que habrá que avanzar buscando la adaptación al cambio climático y en la investigación científica resolviendo en detalle las zonas urbanas potencialmente inestables y ordenando nuestras cuencas y microcuencas, puesto que al observar las dos últimas Niñas citadas, pese a su condición intrínseca similar, los graves efectos dejan ver una dinámica creciente del calentamiento global que anuncia consecuencias cada vez mayores, tal cual lo advertimos al observar la Sabana de Bogotá convertida en una “Venecia” y 30 municipios colombianos como Gramalote que requieren reasentamiento, cuando no por los múltiples estragos sobre la vía al Magdalena, en las quebradas La Mula, Manizales y El Perro.

[Ref. La Patria, Manizales, 2012-04-30]

15.8. RIESGO SÍSMICO EN BOGOTÁ

Bogotá ha sufrido el impacto de tres terremotos con intensidad VIII como los de Popayán 1983 y Armenia 1999: En agosto de 1917, fue sacudida por un sismo de 6.9 grados en la escala de Richter, localizado a unos 60 Kilómetros en la Cordillera Oriental, con epicentro cerca al Páramo de Sumapaz: las consecuencias del evento, 16 muertes y múltiples heridos, 400 casas derrumbadas y 50 severamente dañadas. El 9 de febrero de 1967 a las 10:24 a.m. otro evento 7.2 grados de magnitud, en los Cauchos (Huila-Caquetá) con un saldo de 13 muertos. A lo anterior se suman 4 eventos ocurridos en 1743, 4826, 1923 y 1967 con intensidad VII, como lo fueron los sismos de Manizales y Pereira de 1962, 1979 y 1985.

Considerando que la capital ha registrado cerca de siete eventos en los últimos 300 años, y que a pesar de que el Altiplano se encuentre ubicado en la zona de amenaza sísmica moderada de Colombia, el riesgo es alto dada la naturaleza lacustre de sus suelos, en especial sobre el entorno del río Bogotá, y la vulnerabilidad estructural de las viviendas donde el medio ciudadano construido sin normas sismo-resistentes podría superar el 60%, ha llevado a que los diferentes actores sociales capitalinos aborden el estudio de la amenaza sísmica y emprendan las acciones del caso para mitigar el riesgo correspondiente.

Según los estudios de la Universidad 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. A esto se añade que más de la mitad de las construcciones de la ciudad es de fecha anterior

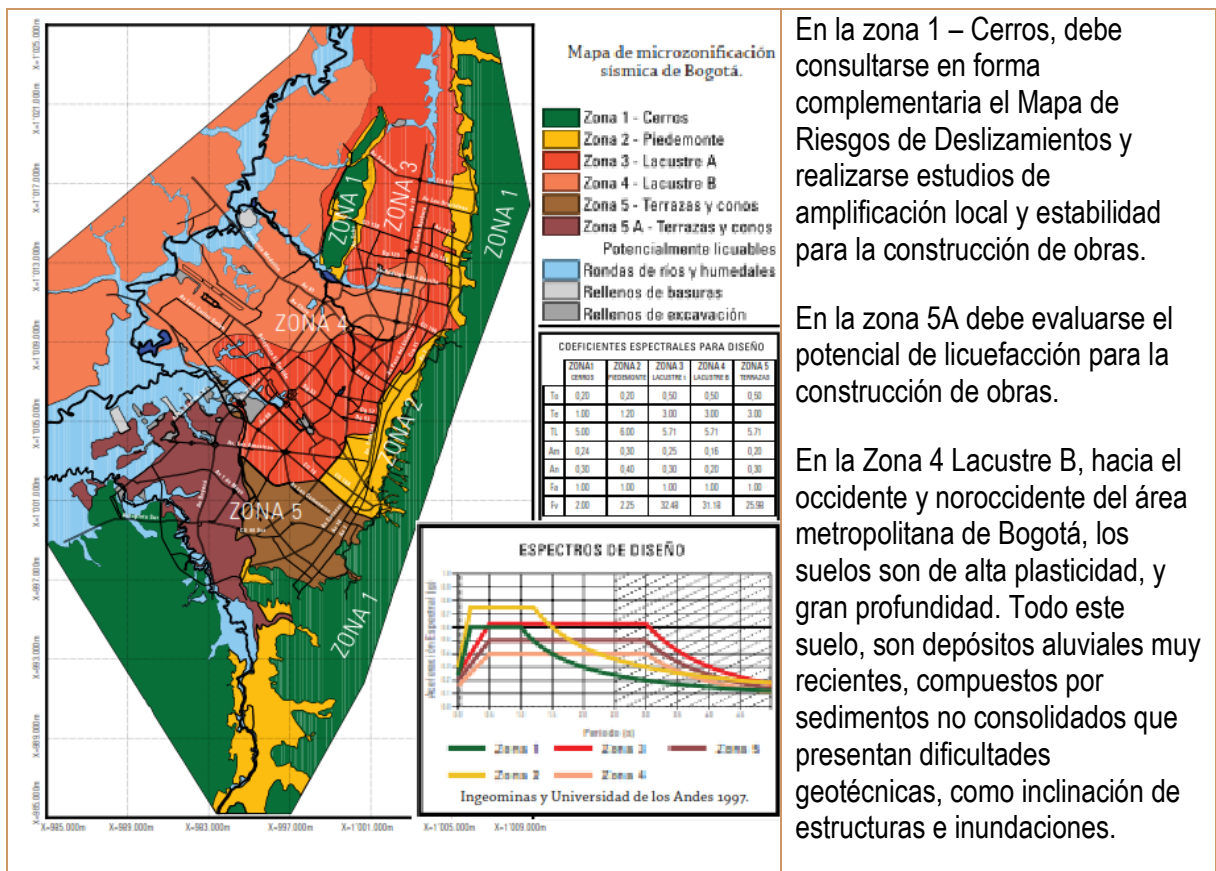
a 1985, y que el 60% de las personas de la capital colombiana vive en zonas de alta pendiente, con un gran potencial a deslizamientos. Aunque en general, los eventos sísmicos de Intensidad VIII en la escala de Mercalli, son aquellos que ocasionan daños ligeros en construcciones buenas, medianos en las regulares y grandes en las malas, además de la tipología constructiva, cuando se trata de suelos blandos que amplifican las ondas sísmicas y de laderas en fuerte pendiente que resultan inestables, estas y otras características del suelo que pueden conocerse de antemano, permiten anticipar la problemática para mitigar el riesgo de un probable desastre.

Para reducir la vulnerabilidad social en caso de terremoto, el Fundapris de Venezuela 1994) recomienda implementar simulacros de evacuación para instituciones, en tres fases así:

1- La planeación: motivación (Convocar informar, discutir, notificar y solicitar apoyo), coordinación (Comité ejecutivo y brigadas con tareas simples y cronograma), revisión (mapa zonificado con amenazas, refugios rutas, etc.) e implementación (señalar y adecuar el escenario y dotarlo de elementos).

2- La ejecución: simulacros (cantidad y fecha, notificar a las autoridades), desalojo (sistema de alarma, protocolos y normas) y respuesta (Atender las emergencias, inventario de daños, zonas de refugio y de atención pos – desastre).

3- La evaluación: análisis (Organizar, evaluar, corregir e identificar nuevas necesidades), redacción (elaborar informe escrito, actualizar) y difusión (Discutir internamente, remitir copia del informe, contrastar el Programa).



En la zona 1 – Cerros, debe consultarse en forma complementaria el Mapa de Riesgos de Deslizamientos y realizarse estudios de amplificación local y estabilidad para la construcción de obras.

En la zona 5A debe evaluarse el potencial de licuefacción para la construcción de obras.

En la Zona 4 Lacustre B, hacia el occidente y noroccidente del área metropolitana de Bogotá, los suelos son de alta plasticidad, y gran profundidad. Todo este suelo, son depósitos aluviales muy recientes, compuestos por sedimentos no consolidados que presentan dificultades geotécnicas, como inclinación de estructuras e inundaciones.

Imagen 88: Microzonificación Sísmica de Bogotá. Las zonas críticas son las azules asociadas al río Bogotá y las de color naranja y rojo de origen lacustre. Mapa de Ingeominas. Universidad de Los Andes 1997.

De conformidad con la imagen adjunta, tenemos:

Zona 1A: Cerros Orientales y Suroccidentales. 1B: Cerros de Suba.

Zona 2A: Piedemonte Orientales. 2B: Piedemonte del Sur. 2C: Piedemonte de los cerros de Suba.

Zona 3A: Lacustre A (Oriental). 3B: Lacustre A (Occidental).

Zona 4: Lacustre B.

Zona 5A: Terrazas y Conos Orientales Potencialmente licuables.

Zona 5B: Terrazas y Conos Occidentales potencialmente licuables. Rondas de Ríos y Humedales Rellenos de Basuras Rellenos de Excavación. Entre las fuentes sísmicas que amenazan a Bogotá, preocupan las fallas Frontal de la Cordillera Oriental, Ibagué, Salinas y Magdalena. Según los expertos, un gran sismo originado en el Sistema Regional de Fallas, o cualquiera de las descritas, con epicentro a unos 60 km de distancia y Magnitud superior a siete -lo que puede ser racionalmente probable-, causaría una destrucción del orden del 20% en la ciudad.

Aún más, si se diera 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 que la del caso anterior, aunque la energía resultaría 30 veces inferior los daños ascenderían al 30% de la ciudad, y por lo tanto mayor sería la pérdida de vidas, impacto que en su mayoría afectaría lugares con suelos blandos donde se amplifican las sacudidas, en sitios ya identificados gracias a la microzonificación de la ciudad.

Y finalmente, el riesgo frente a grandes fuentes sísmicas lejanas, a más de 250 km, como la zona de subducción o la Falla Romeral, generando eventos importantes con una magnitud del orden de 8 grados o más, y por lo tanto con una energía 900 veces mayor que la de un sismo local de magnitud 6, es menor que el riesgo de los dos casos anteriores, ya que los daños sólo afectarían cerca del 10% de la capital.

...

15.9- SISMO, BAHAREQUE Y LADERAS.

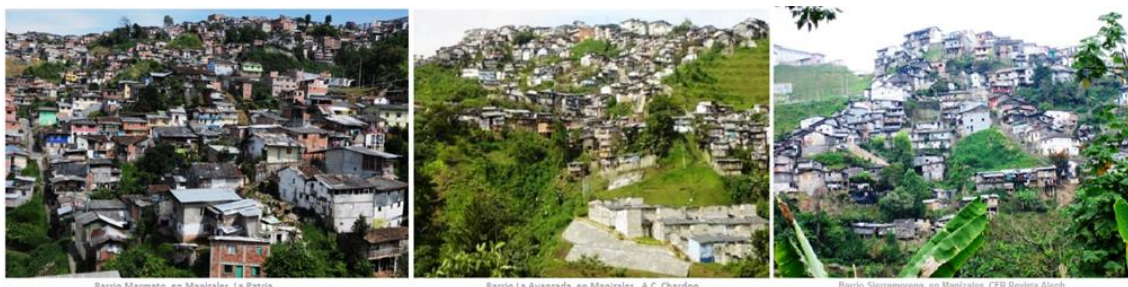


Imagen 89: Viviendas de bahareque en las laderas de Manizales. La Patria, A. C. Chardon y C.E. Ruiz. UN Sede Manizales.

RESUMEN: Anotaciones sobre los impactos sobre el hábitat por el sismo del Eje Cafetero del 25 de enero de 1999 con epicentro en el Sur del Quindío, evento superficial de Magnitud 6,4 asociado a un trazo del Sistema de Fallas de Romeral. Aparte de las asimetrías relacionadas con los conflictos socio-

ambientales entre los medios urbanos y rurales, quedan las lecciones positivas del bahareque dado su comportamiento “temblorero” consecuencia del carácter vernáculo de dicha arquitectura, y la estabilidad de las laderas no intervenidas por procesos de modelado.

Del examen del pasado sismo del 25 de enero se deduce que la intensidad en la escala modificada de Mercalli alcanzó grado VIII, siendo los mayores efectos los ocasionados sobre la conurbación Armenia-Calarcá y en los poblados cerca del epicentro, dada la superficialidad del evento y su magnitud cercana a seis, como la fragilidad de las transformaciones agrarias y urbanas sobre el medio ambiente.

Recuérdense las vías a Pijao y a sus veredas cerradas por derrumbes varios días y semanas, y las casonas de bahareque en el marco de su plaza, o en el de Barcelona, en pie y en medio de ruinas de construcciones de mampostería derrumbada. También, que el efecto del desastre pudo más sobre la economía terciaria de Calarcá y Armenia absolutamente colapsada, que sobre la de Pereira, e incluso, que sobre la economía cafetera de los pueblos del Quindío, donde aparte de la infraestructura afectada, los cafetales quedaron en pie.

En la subregión sur del Quindío, sobre la zona cordillerana epicentro del sismo, las laderas de las montañas no colapsaron, pero sí los taludes de las vías todas. Es que las laderas son las cuevas naturales de montañas con suelos que durante miles de años vienen ajustándose a los eventos telúricos de la zona, mientras los taludes son el fruto de las recientes transformaciones sobre un frágil equilibrio alcanzado por la montaña. Cuando cortamos las laderas para construir lotes y caminos afectamos el equilibrio.

Pero lo más sorprendente es el caso del bahareque, no sólo porque ha sobrevivido con absoluto éxito a las sacudidas del suelo, sino porque se le ha desconocido su calidad de bien cultural autóctono que potencia el turismo del Quindío. Como arquitectura vernácula el bahareque de la colonización antioqueña es hermoso, sismo-resistente y de bajo costo, y no tiene que arbitrarse exclusivamente por normas externas como las del actual código de construcciones, en el que la palabra bahareque no aparece, ni prohibirse como tecnología constructiva capaz de dar una respuesta eficaz a nuestra comunidad y en especial a los más pobres.

La cultura se entiende como el resultado de una relación dialéctica de simbiosis y parasitismo entre las colectividades humanas y el medio ecosistémico que ocupan, por lo que el medio ambiente evoluciona desde el estado natural al paranatural. El bahareque lleva con nosotros más de un siglo y surge de la tapia cuando se incorporan la guadua y el arboloco como materiales de construcción con propiedades “tembloreras” para casas de ambiente sísmico construidas donde no se debe modelar la topografía, porque se hiere el terreno para el lote y se reduce el factor de seguridad de la ladera que es cercano a uno.

Si un medio natural se transforma con bienes culturales exógenos inapropiados, el medio resulta vulnerable a las amenazas que encuentran frágil ese bien traído de otro escenario y no adaptado a las nuevas circunstancias. El bahareque de la colonización, con sus cuatro versiones de bahareque: con tierra y cagajón, entablillado, metálico y encementado- como lo clasifica el arquitecto baharecólogo Jorge E. Robledo C.- adquiere su mejor expresión en el último, donde las formas variadas admiten los estilos coloniales, republicanos y victorianos que han adornado los centros históricos y residenciales de muchas de nuestras poblaciones del Eje Cafetero.

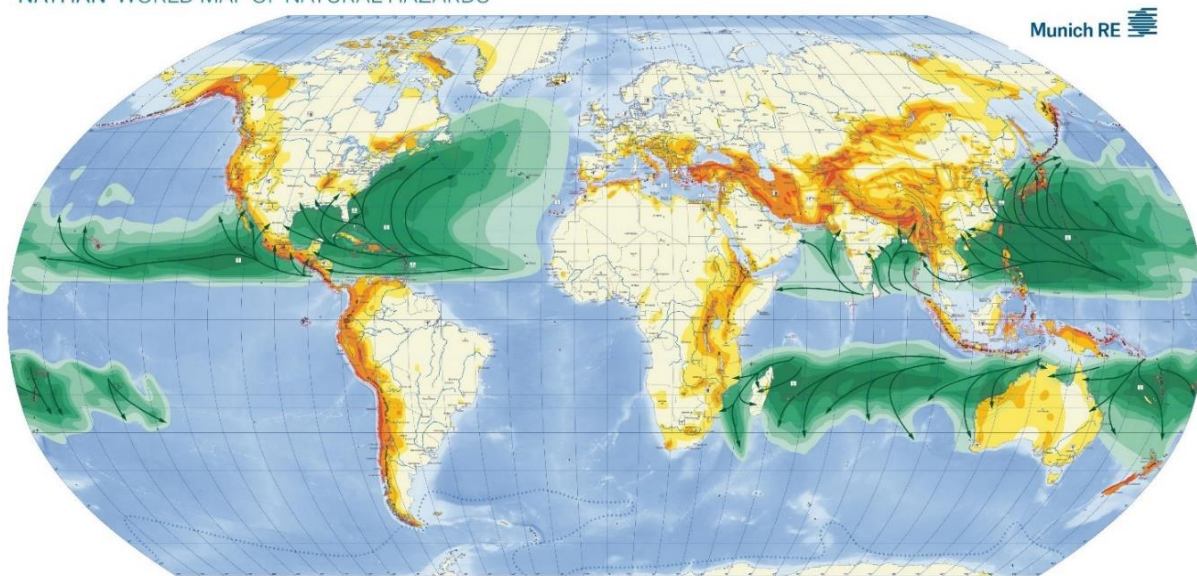
La lección que nos deja este sismo en materia de sismo-resistencia, es que debemos desarrollar una tecnología de viviendas y caminos, apropiada para el hábitat del medio tropical andino, donde la mecánica de suelos de nuestras universidades se ha quedado corta al diseñar los taludes para el corte de las laderas sin diferenciar las dificultades inherentes de los suelos tropicales, y donde el bahareque de la zona cafetera debe ser reconocido como arquitectura vernácula, con la propiedad inherente de la sismo-resistencia que tiene ya una carga histórica centenaria ajustándose a las exigencias del medio natural nuestro.

Finalmente dos conclusiones. La primera, que el código colombiano debe reconocer al bahareque, y que para el bahareque se expidan oportunamente las normas de buena calidad y las que previenen el precoz deterioro por la acción de la humedad, los hongos y las termitas, para dar paso a la reconstrucción del Quindío. Y segunda, que los taludes admisibles en zona montañosa sean los que no aumenten la pendiente a las laderas de montaña, y que de nuestras frágiles laderas con los planes de ordenamiento territorial limitemos y normemos los usos y manejos del suelo a fin de garantizar su estabilidad y con ella la vida.

Manizales 30 de mayo de 1999. Artículo publicado en Crónica del Quindío.

15.10. HURACANES Y TERREMOTOS: ¿Y CÓMO ESTÁ COLOMBIA?

NATHAN WORLD MAP OF NATURAL HAZARDS



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

Imagen 90: Rutas de huracanes mostrando el efecto de coriolis y Zonas sísmicas del planeta, concidiendo con los cinturones volcánicos, en <http://econintersect.com> y <https://pinterest.com>

RESUMEN: Esta nota se ocupa de dos amenazas naturales de gran impacto que acechan en la región: los Huracanes y los Sismos. Primero, porque los fenómenos ciclónico del Atlántico que dejan destrucción a su paso por el Caribe, también puede impactar sobre el Archipiélago de San Andrés y Providencia, y generar lluvias intensas y fenómenos colaterales en el norte de Colombia. Y segundo, porque además de la amenaza por maremotos asociados a sismos originados en el fondo oceánico del entorno vecino, también nuestras fuentes sísmicas continentales pueden afectar los centros urbanos del país ubicados en zonas de riesgo sísmico alto y moderado.

Tras los desastres recientes en México, en el Caribe y en Estados Unidos es imperioso volver sobre las amenazas que afectan a Colombia y sobre las medidas que debemos adoptar para hacer frente a estos riesgos.

Dos graves amenazas ambientales

Tanto los planificadores urbanos como las autoridades colombianas deben reflexionar con urgencia sobre las dos amenazas ambientales que –también para nosotros- representan los huracanes y los grandes terremotos.

La primera de estas amenazas, dado lo ocurrido con *Irma*, un huracán de categoría 5 que azotó el norte del Caribe y el sur de Estados Unidos entre el 30 de agosto y el 12 de septiembre pasados, con brazos de hasta 300 kilómetros de diámetro, y vientos máximos de 302 km/h, calificado como el más poderoso que ha sido registrado en el Atlántico. Irma cobró 37 vidas en el Caribe y 14 en Estados Unidos.

La segunda amenaza, dado el sismo de magnitud 8,2 en la escala de Richter que sacudió México el viernes 8 de septiembre y al cual se sumaron cientos de réplicas debido al carácter superficial de este fenómeno telúrico, el cual cobró 98 vidas y afectó principalmente los estados de Oaxaca, Chiapas y Tabasco.

El estudio de los terremotos en áreas sismo-tectónicamente activas, que son vecinas a grandes urbes, y de las tormentas ciclónicas que surgen en los mares para llevar caos y destrucción a las ciudades costeras, es tan antiguo como la humanidad misma, aunque en principio contaron con una explicación mítica relacionada con la ira de los dioses.

Según la mitología griega, Tifón hijo de Gea, quien intentó destruir a Zeus en venganza por haber derrotado a los Titanes, además de erupcionar lava, creó los huracanes y los terremotos con el batir de sus enormes alas. Para los griegos -quienes fueron los primeros en dar una explicación natural a los terremotos-, dichos estremecimientos ocurrían cuando Poseidón, el dios de los mares, hacía tambalear a Atlas, quien recibió como castigo de Zeus sostener al mundo en sus hombros.

Vientos enfurecidos y sacudidas de la tierra

La ocurrencia de eventos climáticos extremos como los que ya se advierten a nivel global, es resultado del calentamiento del planeta, calentamiento que en los próximos cincuenta años aumentará la temperatura entre 1,5°C y 2,5°C según las características de las distintas regiones de la Tierra.

Este calentamiento traerá desastres mayores: tormentas ciclónicas de mayor intensidad, lluvias inusuales, sequías severas, inundaciones, deslizamientos, incendios forestales, y degradación ambiental: pérdida de ecosistemas terrestres, elevación del nivel del mar y desaparición de los glaciares.

La intensidad de una tormenta ciclónica depende de la velocidad de sus vientos. Sus daños pueden variar de conformidad con la escala Saffir-Simpson -que califica el poder destructivo de los huracanes desde 1 a 5 cuando éste toca tierra-.

- Cuando la categoría es 1, hay inundaciones en zonas costeras y daños menores en zonas urbanas por vientos entre 119 y 153 kilómetros por hora y olas que pueden llegar a 1,5 metros de altura.
- Cuando la categoría es 5, hay destrucción masiva de viviendas e infraestructuras con vientos sostenidos por encima de 250 kilómetros por hora, o por olas que pueden superar los 6 metros de altura.

Adicionalmente, durante las últimas décadas hemos presenciado desastres sísmicos mayores que han afectado a países en desarrollo. Esto no se debe a que en el mundo se estén presentando más terremotos, sino al acelerado crecimiento de la población residente en zonas sísmicas, de manera que la magnitud de los daños ha venido en aumento.

Ejemplo de lo anterior son las urbes latinoamericanas de los Andes, Centro América y en el Caribe, aquellas de la línea Alpes-Himalaya, y algunas ubicadas en el Pacífico asiático; este margen oceánico y las costas occidentales de las Américas conforman el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, caracterizado por su intensa actividad sísmica y volcánica.

Países tan lejanos entre sí como Irán, Chile, Japón y Nueva Zelanda son particularmente vulnerables a esta actividad sísmica. Asimismo, la lista de grandes ciudades azotadas por la pobreza incluye a Estambul en Turquía, Karachi en Pakistán, Teherán en Irán, Katmandú en Nepal y Lima en Perú.

No obstante, no podemos descartar a Bogotá como posible escenario a pesar de encontrarse en una zona de amenaza sísmica intermedia, ya que podría sufrir el embate de movimientos tectónicos superficiales de mediana magnitud, partiendo de fuentes sísmicas vecinas relacionadas con pequeñas fallas locales, e incluso de grandes eventos no muy lejanos provenientes de megafallas activas como las del frente llanero o la Falla Salinas.

Refugiados y víctimas

Entre 2003 y 2013, se registró una media de 388 desastres naturales al año que afectaron a 216 millones de personas y cobraron 106.654 vidas. Según el Consejo Noruego para los Refugiados, mientras las pérdidas económicas por los desastres naturales de los últimos 30 años tuvieron un valor medio anual de 130 mil millones de dólares, la posibilidad de tener desplazados ha aumentado en un 60 por ciento en cuarenta años.

Según el informe “Estado de la población mundial 2015, un refugio en la tormenta”, en los últimos 20 años los damnificados por desastres naturales sumaron en promedio cerca de 200 millones por año, cifra que triplica los 65 millones anuales de víctimas de epidemias, adversidades tecnológicas y conflictos armados a nivel global.

A pesar de que la mayoría de los desplazamientos por desastres de origen sísmico y climático son internos y en ocasiones pueden cruzar fronteras, no existen instituciones que puedan mitigar su sufrimiento.

El cambio climático ha ocasionado más de 4.000 millones de heridos o damnificados en el mundo durante los últimos veinte años, ya que ha contribuido al desplazamiento humano acelerando sequías y la desertificación, al igual que la erosión costera y la salinización de aguas subterráneas y tierras de cultivo. Mientras las catástrofes de origen sísmico han cobrado la vida a más de un millón de personas desde principios del presente siglo.

La amenaza climática y sísmica en Colombia

Tras la erupción del Ruiz y la desaparición de Armero en 1985, el Gobierno instauró el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD) que institucionaliza la gestión del riesgo, ya que esa falencia gravitó como causa fundamental del desastre.

Inicialmente se diseñó una dependencia del Ministerio de Gobierno para atender las fases de emergencias, luego a raíz del terremoto del Eje Cafetero de 1999 se implementó la fase de reconstrucción, y finalmente tras las Niñas 2007/8 y 2010/11, el SNPAD pasó a un plano de mayor desarrollo organizacional al ocuparse también de la prevención y mitigación de los desastres, al tiempo que se creó el Fondo Nacional de Calamidades.

La gestión del riesgo para enfrentar los huracanes tiene un manejo distinto del de los terremotos, puesto que estos eventos tectónicos se presentan de forma súbita. Los huracanes son fenómenos climáticos donde intervienen gran número de variables de comportamiento aleatorio como vientos, temperatura y humedad, y que igualmente se aborda con pronósticos.

En Colombia el desafío está en estudiar de forma integral la amenaza climática, a pesar de que dicha tarea está a cargo del IDEAM y de que las sequías son poco frecuentes y los ciclones tienen incidencia marginal. La Oficina de Pronósticos y Alertas suele elaborar los avisos y boletines ambientales sobre huracanes para advertir sobre la posibilidad de lluvias intensas y marejadas con sus peligros colaterales.

Si bien lo anterior procede para el archipiélago de San Andrés y Providencia por ser nuestro lugar más comprometido en virtud de su latitud, para el caso de la Guajira la ocurrencia de las tormentas significa el advenimiento de lluvias esperadas para calmar la sed de la tierra.

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 la frecuencia, naturaleza y magnitud de los eventos, además de 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, instrumento que para el efecto aplica un período de retorno de 475 años.

También ha habido esfuerzos específicos en materia de microzonificación sísmica en las grandes ciudades y estudios sobre la tipología constructiva. Sin embargo, 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.

[Razón Pública, Bogotá, 2017.09.18]

15.11 DIFICULTADES Y RETOS SOCIOAMBIENTALES DE CALDAS

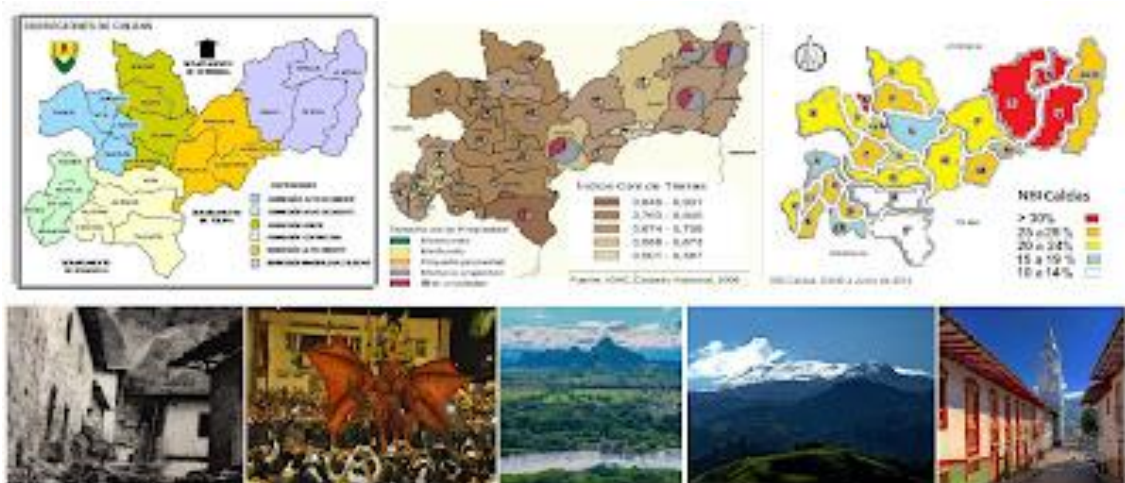


Imagen 91: Caldas: Municipios; NBI; GINI de tierras, en blog de Godues

El departamento de Caldas, así haya crecido en su PIB el 10,9% en 2021 respecto al 2020 cuando decreció más del -4% como consecuencia de la pandemia, y aunque su capital Manizales aún mantiene la tasa de desempleo abril-junio de 2022 en dos dígitos (10,4%) contra un 11,5% del nivel nacional, debe enfrentar múltiples problemáticas sociales, ambientales y económicas, entre ellas la pobreza, la informalidad laboral, la seguridad alimentaria, y la adaptación al cambio climático, por sus amenazas hidrogeológicas, como inundaciones y deslizamientos que se traducen en desgracias como la que enfrenta Supía y en cierre de vías. Aunque la economía caldense es la mayor entre los departamentos del Eje Cafetero, una expresión generalizada de la pobreza rural es la inseguridad alimentaria.

Si de la población que ya debe acercarse al millón de habitantes en el departamento de Caldas, lo que equivale al 2,1% del total nacional, cerca de 750 mil personas habitan las cabeceras donde Manizales aporta 440 mil de su área urbana, 240 mil caldenses viven en las zonas rurales del departamento incluidos 51 mil indígenas que viven en resguardos. Allí, donde las necesidades pasan por el acceso a la tierra ya que el Gini promedio de la propiedad en la ecorregión cafetera supera el 0.7, se reclama la focalización de políticas y programas para reducir la pobreza, implementando estrategias de Ciencia y Tecnología imbricadas con la Cultura para cerrar la brecha de productividad e ingresos.

Y así la pobreza multidimensional en Caldas haya caído entre 2012 y 2019 al pasar del 23% al 14,3%, se deben mirar la diversidad de estrategias de los hogares, la dotación de activos y el contexto de vulnerabilidad como también las estructuras y procesos de crecimiento que las afecta, ya que la proporción de personas en miseria por necesidades básicas insatisfechas NBI en el departamento supera 6,7 veces las de los medios rurales de las cabeceras. Como referente, el principal indicador en NBI para Caldas, es la independencia económica que tiene mayor incidencia en Norcasia y Samaná, seguido del alto hacinamiento en Marmato, Belalcázar y Riosucio.

Además, cabe señalar que, si entre 2010 y 2019 el empleo en Caldas había crecido al pasar de 373 mil a 415 mil personas ocupadas, con la pandemia en 2020 descendió a 388 mil empleados mostrando una brecha de género, pues se observó un efecto diferencial negativo sobre las mujeres, ya que mientras en los hombres la tasa de ocupación cayó 4,2% en las mujeres caldenses varió 10,1% según el DANE. Si en los medios urbanos la situación en 2020 afectó las industrias manufactureras cuya participación en el PIB departamental es del 12,4%, también se afectó el sector rural de Caldas que con igual participación en el PIB genera un poco más del 20% del empleo en el sector de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.

Y para hacer de Caldas una región sostenible y resiliente, además de desarrollar habilidades y capacidades adaptativas a los ritmos que impone el entorno, tal cual lo señala el Plan de Desarrollo 2020-2023 "Unidos por Caldas", además del conocimiento del riesgo de desastres por fenómenos hidro-climatológicos, socio naturales, tecnológicos y biológicos, para que no se repitan desastres como el de Supía que se había visualizado por el IDEA-U.N. en 2021, se requieren acciones tales como recuperar áreas protegidas, la defensa del agua y los ecosistemas, e incorporar la gestión del riesgo para intervenir las condiciones de amenaza y vulnerabilidad.

Como ejemplo, La Dorada, donde urge dragar el Magdalena para recuperar su capacidad hidráulica previniendo la socavación de orillas del río y frecuentes inundaciones como en 2011 y 2017, que afectan los barrios Corea, Las Delicias, El Conejo y Bucamba. Si en el flanco oriental de la cordillera Central se localizan los sectores más lluviosos de Caldas con registros que superan 3000 mm anuales, la principal amenaza por el cambio climático se relaciona con los mayores incrementos en precipitaciones de Colombia, desencadenado con ello una amenaza por cuantías que llegarán al 20% en 2040, al 30% en 2070 y al 40% en 2100 -según el IDEAM-, la que se dará sobre el piedemonte cordillerano entre Villamaría y Salamina donde hemos arrasado los bosques de niebla.

* Manizales, septiembre 11 de 2022.

Lecturas complementarias

Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales.

Manizales está ubicada en una zona donde los sismos de 1938, 1961-62, 1979 y 1995 ponen en evidencia una fuente sísmica profunda con eventos de magnitud cercana a 7 grados desde la zona de subducción; pero las fallas del sistema Cauca-Romeral son otra fuente que merece mayor consideración, dadas las devastadoras consecuencias de estos sismos, como los de Popayán 1983 y Quindío 1999, de magnitud cercana a 6 pero de mayor intensidad. Se deberán contemplar sismos cuyo periodo de retorno no sea inferior a 475 años, aunque al del Quindío, pudo corresponderle unos 750 años, Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9142/gonzaloduquescoabar.201210.pdf>

Un tinto para la reconstrucción del Eje Cafetero.

Consideraciones sobre las características socioambientales y socioeconómicas del desastre asociado al terremoto del 25 de enero de 1999, y sobre la vulnerabilidad y otras condiciones culturales preexistentes, relacionadas con el un modelo de producción en el que se advierte un deterioro de los términos de intercambio, además de un modelo productivo soportado en prácticas productivas ambientalmente conflictivas.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51802/gonzaloduquescoabar.201452.pdf>

Haití sin resiliencia para el desastre.

En caso de terremotos fuertes, la resiliencia es la capacidad que tienen los sistemas urbanos y comunidades de un territorio afectado y alterado estructural y funcionalmente por un evento sísmico severo, de recuperarse de forma participativa y equitativa restableciendo los sistemas que se han alterado tecnológicamente y socialmente de forma significativa por el paroxismo o de absorber las perturbaciones que este ocasiona, sin modificar significativamente sus características culturales tras una reconstrucción oportuna y eficiente para regresar a un estado de normalidad con aprendizajes y logros materiales con impactos en materia social ambiental y económica, significativos, que se expresen en la reducción de la vulnerabilidad global. Debemos solidarizarnos con los hermanos haitianos y no olvidarnos de su desgracia; es que se trata de la reconstrucción ambiental y social de un territorio en sumo grado vulnerable, en una situación calamitosa agravada por las consecuencias y pasivos ambientales de los errores históricos, a las que se suman las del evento de ahora que también las pone en evidencia.

Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77150/haitisinresilienciaparaeldesastre.pdf>

No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes.

En todas las zonas de peligro por amenaza sísmica de las ciudades del tercer mundo, tenemos, además de líneas vitales construidas con diseños relativamente obsoletos, viviendas y edificios públicos de relativa antigüedad, que no se han reforzado. Como consecuencia de lo anterior, en zonas de amenaza sísmica alta, conforme crecen los centros urbanos, algunos investigadores se refieren a dichas megalópolis como “escombros a la espera”. Ver en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52954/nohaymasterremotosimplementedesastresmasgrandes.pdf>

Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón.

Además del compromiso que impone en materia de prevención de desastres los niveles de preparación y respuesta de la nación asiática al enfrentar la amenaza sísmica en su región, queda la enseñanza de las imprevisiones en las centrales nucleares afectadas. Reflexiones sobre este desastre y otros como el de Haití, para mostrar las urgencias de la gestión del riesgo sísmico en Colombia. Ver en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7017/gonzaloduquescoabar.201115.pdf>

ENLACES U.N.:

<p><u>Acciones frente al clima y el desarrollo.</u></p> <p><u>Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento global.</u></p> <p><u>Agenda Ambiental Caribe: Reflexiones Ambientales.</u></p> <p><u>Aqua como bien público.</u></p> <p><u>Aguas subterráneas.</u></p> <p><u>Aquacate en la tierra del café.</u></p> <p><u>Aire urbano contaminado... ¿qué hacer?</u></p> <p><u>Amenaza climática en el trópico andino.</u></p> <p><u>Análisis de la Vulnerabilidad frente a la Amenaza Hidrogeológica.</u></p> <p><u>Anotaciones para un crecimiento previsivo y con desarrollo.</u></p> <p><u>Cambio Climático en Caldas – Colombia.</u></p> <p><u>Cambio Climático y Pasivos Ambientales del Modelo Urbano.</u></p> <p><u>Centro Sur de Caldas: ¿Un Área Metropolitana?</u></p> <p><u>Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas.</u></p> <p><u>Clima andino y problemática ambiental.</u></p> <p><u>Clima: las heladas.</u></p> <p><u>Colombia bajo el agua: el cómo, el por qué y el qué.</u></p> <p><u>Construyendo el territorio UMBRA.</u></p> <p><u>Crisis del clima: y el cambio climático ¿qué?</u></p> <p><u>Curso de capacitación CIDEAMA.</u></p> <p><u>Degradación del hábitat y gestión ambiental.</u></p> <p><u>Desarrollo y revoluciones tecnológicas.</u></p> <p><u>Desarrollo y ruralidad en la región cafetalera.</u></p> <p><u>Desarrollo energético y clima salvaje.</u></p>	<p><u>Desarrollo sostenido en la prospectiva de la problemática ambiental y la supervivencia.</u></p> <p><u>Desarrollo urbano y huella ecológica.</u></p> <p><u>Desarrollo y revoluciones tecnológicas.</u></p> <p><u>Dinámicas del clima andino colombiano.</u></p> <p><u>Dinámicas Territoriales y Paisaje Cultural Cafetero.</u></p> <p><u>Dios perdona, la naturaleza no.</u></p> <p><u>Hacia la cuarta revolución tecnológica.</u></p> <p><u>Inestabilidad de laderas en el trópico andino – Caso Manizales.</u></p> <p><u>Economía colombiana: crisis y retos.</u></p> <p><u>Ecorregión y bioturismo.</u></p> <p><u>El Cuidado de la Casa Común: Agua y Clima.</u></p> <p><u>El futuro de la ciudad: caso Manizales.</u></p> <p><u>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</u></p> <p><u>El territorio de los Ansermas de la cultura Umbrá.</u></p> <p><u>El territorio del Gran Caldas, “La Tierra del Café”.</u></p> <p><u>El territorio del río Grande de la Magdalena.</u></p> <p><u>Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero.</u></p> <p><u>La Economía en la Era del Conocimiento.</u></p> <p><u>La encrucijada ambiental de Manizales.</u></p> <p><u>La gestión ambiental del hábitat.</u></p> <p><u>Mecánica planetaria.</u></p> <p><u>Medio ambiente, mercado y Estado.</u></p> <p><u>Módulo de Gestión del Riesgo Hídrico.</u></p> <p><u>Muelle de Tribugá: ¿es posible el desarrollo sostenible?</u></p>	<p><u>Nuestras aguas subterráneas.</u></p> <p><u>Nuestro frágil patrimonio hídrico.</u></p> <p><u>Patrimonio hídrico: carencias en la abundancia.</u></p> <p><u>Planificación estratégica para la movilidad.</u></p> <p><u>Planeación preventiva y cultura de adaptación ambiental.</u></p> <p><u>Por La Aurora, invocando el principio precautorio.</u></p> <p><u>Por un territorio verde y funcionalmente integrado.</u></p> <p><u>Procesos de control vigilancia forestal en la región andina de Colombia.</u></p> <p><u>¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</u></p> <p><u>Riesgo en la zona andina tropical por laderas inestables.</u></p> <p><u>Riosucio mestiza e indígena.</u></p> <p><u>Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.</u></p> <p><u>Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera.</u></p> <p><u>Tierra y ruralidad en Colombia.</u></p> <p><u>Transición energética e hidrógeno de bajas emisiones.</u></p> <p><u>Un diálogo con la dinámica urbana.</u></p> <p><u>Un nuevo modelo educativo.</u></p> <p><u>Un nuevo modelo urbano.</u></p> <p><u>Un pacto con la sociedad y la naturaleza.</u></p> <p><u>Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero.</u></p> <p><u>Vida y desarrollo para el territorio del Atrato.</u></p> <p><u>Vulnerabilidad de las laderas de Manizales.</u></p> <p><u>Yuma, el río de Colombia impactando el territorio.</u></p> <p><u>¿Y el agua en Colombia qué?</u></p>
---	---	---

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

ANEXOS

Anexo 1: [Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.](#)

Anexo 2: [Cambio Climático en Colombia: La Amenaza.](#)

Anexo 3: [Riesgo sísmico: los terremotos.](#)

Anexo 4: [Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima.](#)

Anexo 5: [El desastre de Armero por la erupción del Ruiz.](#)

Anexo 6: [Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.](#)

Anexo 7: [Preservación Ambiental e Hídrica del PCC.](#)

Anexo 8: [Túnel Manizales](#)

Anexo 9: [Geomecánica.](#)

Anexo 10: [Guía astronómica.](#)

Anexo 11: [Astrofísica y Estrellas.](#)

Anexo 12: [La Luna .](#)

Anexo 13: [Colombia tropical, ¿y el agua qué?](#)

Anexo 14: [Pacífico biogeográfico y geoestratégico.](#)

Anexo 15: [El camino por el Río Grande de La Magdalena.](#)

Anexo 16: [El Río Cauca en el desarrollo de la región.](#)

Anexo 17: [El desarrollo urbano y económico de Manizales.](#)

Anexo 18: [Plusvalía urbana para viabilizar el POT](#)

Anexo 19: [El futuro de la ciudad.](#)

Anexo 20: [Introducción a la economía del transporte.](#)

Anexo 21: [Introducción a la teoría económica.](#)

Anexo 22: [El territorio caldense: ¿un constructo cultural?](#)

Anexo 23: [Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.](#)

Anexo 24: [Colombia intermodal: hidrovías y trenes.](#)

Anexo 25: [Sustentabilidad y decrecimiento económico.](#)

Anexo 26: [UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga.](#)

Anexo 27: [Textos “verdes”](#)

Anexo 28: [Videoteca del Museo Interactivo Samoga.](#)

HOME:

[Manual de geología para ingenieros.](#)

CONTENIDO: Cap01 [Ciclo geológico](#), Cap02 [Materia y Energía](#), Cap03 [El sistema Solar](#), Cap04 [La Tierra sólida y fluida](#), Cap05 [Los minerales](#), Cap06 [Vulcanismo](#), Cap07 [Rocas ígneas](#), Cap08 [Intemperismo ó meteorización](#), Cap09 [Rocas sedimentarias](#), Cap10 [Tiempo geológico](#), Cap11 [Geología estructural](#), Cap12 [Macizo rocoso](#), Cap13 [Rocas Metamórficas](#), Cap14 [Montañas y teorías orogénicas](#), Cap15 [Sismos](#), Cap16 [Movimientos masales](#), Cap17 [Aguas superficiales](#), Cap18 [Aguas subterráneas](#), Cap19 [Glaciares y desiertos](#), Cap20 [Geomorfología; Lecturas complementarias; Bibliografía.](#)

[A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.](#)

