

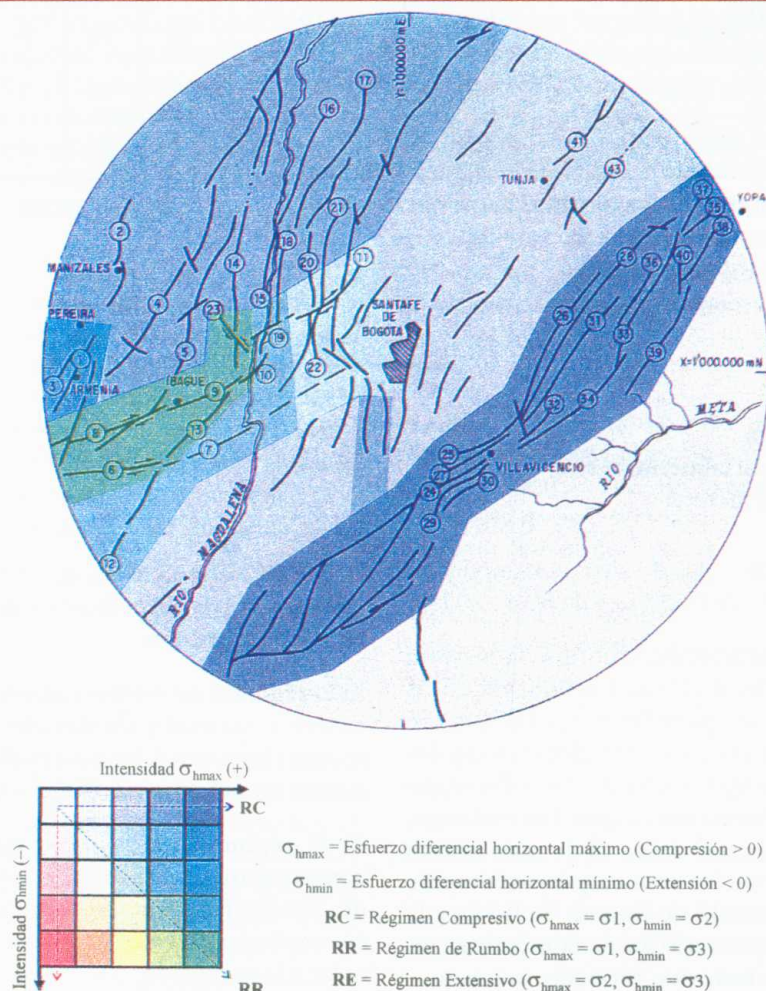


FIGURA 1.8 MAPA PRELIMINAR DE ZONIFICACIÓN SISMOTECTÓNICA

abruptamente en dirección del cratón. La zona axial de la Cordillera Oriental presenta un nivel bajo de actividad tectónica compresiva con un ligero aumento al sur de Bogotá.

El valle del Magdalena, al norte, registra un nivel intermedio de actividad tectónica compresiva. La intensidad de la actividad tectónica aumenta progresivamente hacia el sur (zona de Armenia, Ibagué) y los esfuerzos cambian de régimen compresivo a régimen de rumbo. Esta transición se manifiesta en el aumento progresivo de la componente de rumbo con respecto a la componente inversa de movimiento sobre las fallas, en dirección del sistema de Ibagué.

La zona de régimen de rumbo se extiende desde la Cordillera Central hacia la Sabana de Bogotá englobando fallas de rumbo como las de Vianí y Facatativá. Se observa una disminución progresiva de la intensidad de la actividad tectónica y un aumento de la componente inversa en dirección de la Sabana.

1.2 CATÁLOGO DE SISMOS

Para la identificación de las fuentes sismogénicas y la caracterización de su actividad, la evaluación de la amenaza sísmica requiere el uso de distintos tipos de estudios: geológicos y tectónicos, históricos e instrumentales. Los resultados que proporcionan estos estudios son complementarios, en cuanto existe un compromiso entre el grado de detalle que pueden aportar (respecto a tiempo de ocurrencia, tamaño mínimo detectable y la localización del evento) y el período de tiempo de cubrimiento. Los datos geológicos proporcionan información sobre los patrones de esfuerzos regionales y las tasas de liberación de energía sísmica a largo plazo, mientras que los datos históricos e instrumentales permiten la ubicación más precisa de las fuentes sismogénicas y la estimación de la frecuencia de ocurrencia en los últimos cientos de años. De manera que el mejoramiento en la calidad de la información disponible en estos campos y su manejo cuidadoso contribuyen a una estimación más robusta de la amenaza sísmica.

Santafé de Bogotá y su región disponen de una excelente información histórica, sin duda alguna la mejor del país. Durante la Colonia, los mejores historiadores y cronistas escribieron sus obras en Santa Fé. Las autoridades españolas fueron además muy cuidadosas en la adquisición y la conservación de información, gracias a lo cual la ciudad dispone de excelentes archivos coloniales. En el siglo XIX ya se publicaba un razonable número de periódicos y revistas, el estado producía y conservaba documentos muy abundantes y de buena calidad, y aparecieron estudios históricos importantes. En el siglo XX el desarrollo de la prensa es notable. Todo lo anterior permite afirmar sin ninguna exageración que la ciudad cuenta con información suficiente para hacer un estudio confiable de su sismicidad histórica.

La actualización y análisis del Catálogo Sísmico de Colombia se inscribe en este marco. En el proceso de actualización, además de cubrir los períodos que no estaban incluidos previamente, se han discriminado las réplicas y eventos premonitorios de los registros disponibles, con el fin de ajustar mejor la serie de eventos a los requerimientos de la distribución de Poisson, usada comúnmente para modelar el proceso de ocurrencia de sismos. En cuanto a las magnitudes, se genera una serie homogénea usando como parámetro la magnitud Ms.

En la preparación de este catálogo de sismos de Colombia se han tomado como referencias principales el Catálogo de Terremotos para América del Sur en la parte colombiana, para el período 1566 a 1981 (CERESIS, 1985), la Actualización de la Información Sísmica de Colombia, período 1980 a 1987 (ITEC-ISA, 1988), el catálogo del Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (Universidad del Valle, Cali - Colombia) para el período 1987 a 1990; el catálogo de la Red Sismológica Nacional de INGEOMINAS de 1993 a 1995, el catálogo del ISC de 1904 a 1993; el catálogo del NEIC de 1566 a 1995, y los estudios recientes de sismicidad histórica de Colombia (Espinosa, 1993, INGEOMINAS, 1995).

1.2.1 Sismicidad histórica de Santafé de Bogotá y alrededores

1.2.1.1 Catálogo de sismos históricos

Una manera práctica de abordar el problema de la sismicidad histórica de una región es empezar el estudio elaborando un mapa general de intensidades, el cual se va actualizando a medida que los datos se van completando. El valor de intensidad significa el efecto local que sobre diferentes sitios produce un mismo sismo (Sarria, 1990), existen numerosas escalas de intensidad, no obstante, la más empleada en la actualidad sigue siendo la de Mercalli Modificada, la cual está dividida en doce grados; que varía entre el grado I, donde el sismo es

prácticamente imperceptible y no produce el más mínimo daño y el grado XII donde el daño es total.

El mapa general de intensidades contiene la ubicación de la localidad donde hay datos disponibles, el listado de sismos conocidos ordenados cronológicamente, llevando en cada caso la intensidad en el sitio en cuestión. Sin embargo, la densidad de la información no es homogénea, resultando siempre privilegiadas las ciudades y poblaciones históricamente importantes. Hecha la salvedad de esta limitante, un mapa general de intensidades es muy útil por dos razones principales: a) da una idea general del nivel de sismicidad y de la amenaza sísmica en la región, permitiendo en algunos casos hacerse una idea de los períodos de recurrencia, y b) de él se deducen fácilmente el catálogo de sismos históricos y el mapa de epicentros.

Mapa general de intensidades a nivel histórico

El mapa general de intensidades de la Sabana de Bogotá (Figura 1.9) muestra que en los últimos siglos la sismicidad del área ha sido relativamente importante. La máxima intensidad registrada en la zona es IX; corresponde a Chipaque en el sismo de 1644 (determinada por efectos de la topografía), pero es un caso excepcional. La intensidad VIII es estadísticamente la más frecuente intensidad máxima en las localidades de la Sabana. La máxima intensidad registrada en Santafé de Bogotá es VIII entre la fundación de la ciudad y la actualidad.

Como era de esperar, Santafé de Bogotá tiene el mejor registro de la región. En el período históricos ocurrieron doce sismos de intensidad igual o mayor a VI, de los cuales siete están en el rango VII-VIII. Clasificados por intensidad se presentan en la tabla 1.3.

Los eventos de intensidad VI son 5 (1616, 1644, 1928, julio 1967 y noviembre 1979). Se constata que este número es demasiado bajo, ya que se está en el límite de confiabilidad de la sismicidad histórica a esta escala. Muchos eventos de esta intensidad pudieron ser olvidados en un período de varios siglos. En este caso los datos de intensidad VI no son aptos para análisis estadísticos o, en otros términos, para el cálculo de amenaza sísmica.

Para la elaboración del catálogo de sismos históricos se tuvieron en cuenta los eventos que en el área correspondiente al mapa general de intensidades fueron sentidos en una o más localidades con una intensidad igual o mayor a VII, independientemente de que su epicentro esté localizado o no dentro de esta área. Con estas características, el catálogo quedó conformado por 14 eventos.

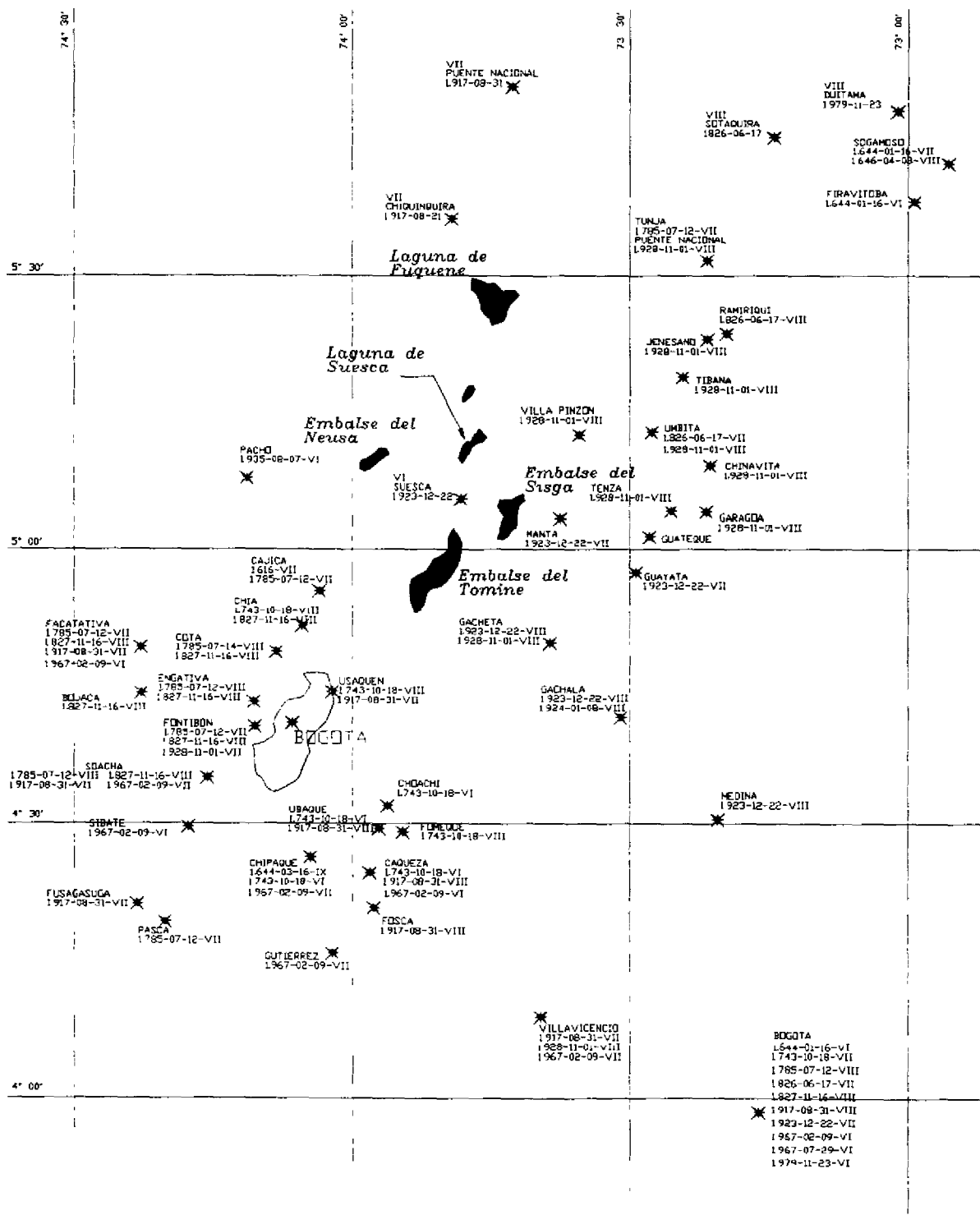


FIGURA 1.9 MAPA GENERAL DE INTENSIDADES DE LA SABANA DE BOGOTÁ Y ALREDEDORES (PERÍODO 1500 - 1994)

INTENSIDAD	FECHAS	No. DE EVENTOS
VIII	1785,1827,1917	3
VII	1743,1826,1923,1967 (febrero)	4

TABLA 1.3 CLASIFICACIÓN DE EVENTOS POR INTENSIDAD.

El Catálogo de sismos sentidos en Santafé de Bogotá y sus áreas vecinas desde 1500 hasta 1994, se presenta a continuación en la tabla 1.4.

La contribución de este catálogo a la sismicidad regional tiene dos componentes. Por una parte es el primer catálogo histórico de Santafé de Bogotá y sus alrededores, por otra parte contiene modificaciones importantes con relación a los catálogos nacionales anteriores. Las modificaciones tienen que ver con: a) nuevos eventos, es decir eventos no incluidos en los catálogos anteriores, b) cambio de epicentro, c) cambio de intensidad epicentral, d) supresión de eventos, ya sea porque se ha comprobado que no existieron, o que su intensidad epicentral fue menor, lo cual los coloca por debajo del límite inferior del catálogo.

Mapa de epicentros históricos

El mapa general de epicentros (Figura 1 10) contiene todos los eventos del catálogo. Su principal interés es indicar las zonas que en los últimos quinientos años han producido sismos con intensidades iguales o mayores a VII en la Sabana de Bogotá. La ubicación de los epicentros indican las proyecciones de los puntos (o focos) sobre la superficie terrestre, de los sitios donde han ocurrido sismos. Estos están localizados sin excepción en la Cordillera Oriental, tomando como límites de esta el Valle del Magdalena y el Piedemonte Llanero. Zonas sismogénicas importantes a escala de los Andes colombianos, como la falla de Romeral en la Cordillera Central y las de la Cordillera Occidental no han sido significativas durante el período histórico pues los sismos ge-

AÑO	MES	DÍA	HORA	EPICENTRO	LAT N	LONG W	Io MSK**
1616	02	-	-	Cajicá (Cundinamarca)	5.00	74.00	VII
1644	01	16	06:-	Pamplona (N. Santander)	7.40	72.70	IX
1644	03	16	-	*Chipaque (Cund.)	4.50	74.00	IX
1646	04	03	03:-	Sogamoso (Boyacá)	5.70	73.00	VIII
1743	10	18	0:045:	Páramo de Chingaza (Cund.)	4.40	73.90	VIII
1785	07	12	07:45:	Páramo de Chingaza (Cund.)	4.70	73.80	IX
1826	06	17	23.45:	Sopó (Cund.)	4.80	73.90	VIII
1827	11	16	18:-	*Timaná (Huila)	1.90	75.90	X
1917	08	31	06:36.29	*Páramo de Sumapaz	4.26	74.15	IX
1923	12	22	04.55:35	Paratebueno (Cund.)	4.40	73.20	VIII
1924	01	07		Gachalá	4.70	73.50	VIII
1928	11	01	11:08.18	El Milagro (Casanare)	5.50	71.50	VII
1967	02	09	11.35.11	Los Cuachos (Huila-Caquetá)	2.93	74.00	IX
1967	07	29	05:24:24	Chucurí (Santander)	6.84	74.09	VIII

*Sismos con algún indicio de huellas en superficie (neotectónica)

**Escala de Intensidades de Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK)

TABLA 1.4 CATALOGO DE SISMOS HISTÓRICOS

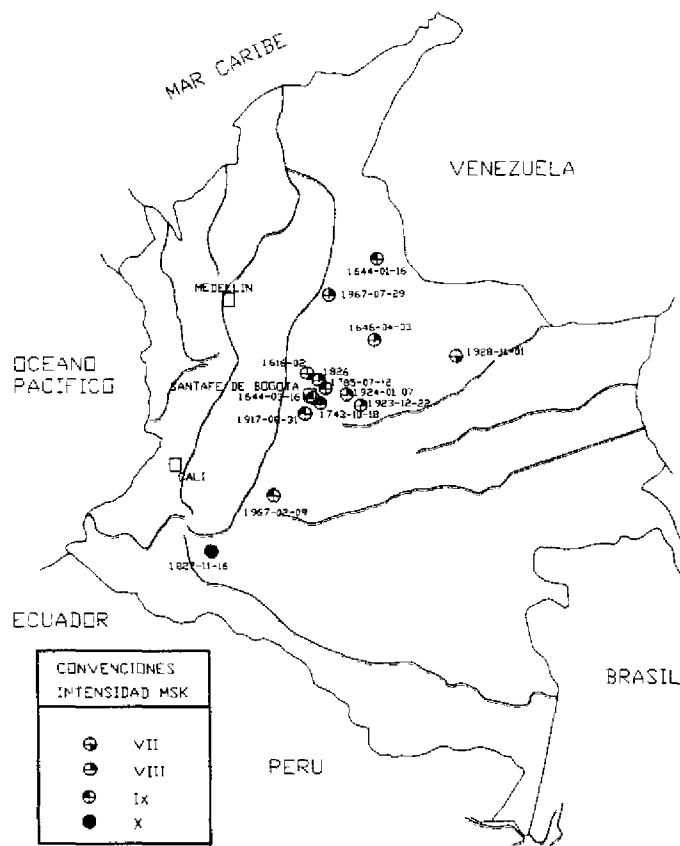


FIGURA 1.10 MAPA DE EPICENTROS DE SISMOS HISTÓRICOS EN LA SABANA DE BOGOTÁ 1500 - 1994

nerados en ellas no han producido intensidades altas en el área de Santafé de Bogotá, aunque sí se han sentido muy claramente. Por ejemplo, los sismos del 4 de febrero de 1938 y del 23 de noviembre de 1979, cuyos epicentros están en el Viejo Caldas, en las Cordilleras Central y Occidental respectivamente, tuvieron intensidades epicentrales IX y fueron sentidos en Bogotá con intensidades V y VI. La zona de la fosa de subducción del Pacífico, la cual ha producido una alta sismicidad en el siglo XX, tampoco ha sido significativa, pero hay que hacer la salvedad de que la información histórica del Pacífico es muy pobre, quizá la mas pobre del país. El sismo de Tumaco, en 1906, tuvo intensidad epicentral X y fue sentido en Bogotá con intensidad V. El norte de la Cordillera Oriental, zona de los Santanderes, aunque muy activo en el período histórico tampoco ha generado eventos destructores en Santafé de Bogotá.

1.2.1.2 Efectos locales de sismos históricos en la Sabana de Bogotá

La información conocida sobre los sismos históricos permite identificar varios efectos locales interesantes en la Sabana de Bogotá. Los más notables son: a) el compor-

tamiento geotécnico y estructural no homogéneo de la capital, b) la acumulación de daños por sismos sucesivos, c) la licuación de suelos en algunas partes de la Sabana y d) los efectos topográficos

Comportamiento geotécnico y estructural no homogéneo de Santafé de Bogotá

Este efecto sólo puede verse en los sismos del siglo XX, debido a que en el siglo XIX la ciudad era demasiado pequeña (en 1827 debía tener unos quince mil habitantes), pero en los sismos de 1917 y 1928 el efecto parece bastante claro.

En el sismo del 31 de agosto de 1917 es evidente que en algunos sectores de la ciudad los daños fueron mayores, independientemente de la calidad de las construcciones. Incluso, de los barrios más afectados, Chapinero, Liévano, Las Cruces, los dos primeros eran barrios modernos y en el primero estaban las viviendas más elegantes de la ciudad. El comportamiento diferencial de la ciudad fue observado muy claramente en su momento y sorprendió notablemente

Acumulación de daños en Santafé de Bogotá por sismos sucesivos

Dadas las características de la recurrencia de eventos destructores en Bogotá en el período histórico, con largos periodos de quietud y acumulación de eventos durante cortos periodos, es de esperar que algunos sismos se tornen aún más destructores por encontrar la ciudad ya seriamente afectada por eventos recientes. Esta situación es bastante particular, y hasta ahora no se ha identificado en zonas de alta sismicidad estudiadas en Colombia, como Popayán, Cali y el Viejo Caldas, pero en Bogotá se ha presentado en varias ocasiones.

De los sismos más destructores de Bogotá (1785, 1827, 1917) dos ocurrieron después de un período de quietud, 1785 y 1917. En ellos no se vio un efecto de acumulación, aunque sí debió ocurrir en pequeña escala. El de 1785 ocurrió cuarenta y dos años después del de 1743 y dada la lentitud de la reconstrucción de templos y conventos en la Colonia pudo encontrar algunos de ellos aún averiados. El del 31 de agosto de 1917 tuvo eventos precursores que alcanzaron a causar daños de alguna importancia.

El terremoto de 1827 sí debió encontrar a Bogotá en malas condiciones, tras el sismo de junio del año anterior que tuvo una intensidad de VII. Hay que anotar, que esto globalmente no quita importancia al terremoto de 1827 porque el de 1826 solo afectó un área pequeña. Desafortunadamente no se han identificado hasta ahora casos específicos de construcciones o de sectores en los cuales los daños de 1827 se hayan sobrepuesto a los de 1826.

Durante el siglo XX sí se conocen casos en los cuales los daños de un sismo vinieron a agravar los de un sismo anterior. Ejemplos típicos se vieron el 10 de noviembre de 1928, época en que muchos daños de 1917 eran aún visibles en la ciudad. Se pueden citar dos casos concretos, pero hay más: las iglesias de la Veracruz y de Chapinero. En la Veracruz se abrieron nuevamente las grietas producidas por el sismo de 1917, dejando la iglesia seriamente averiada, y en Chapinero la iglesia en reconstrucción vio reactivarse los daños de 1917. Aunque los efectos señalados no son espectaculares, por ser el segundo sismo menor que el primero, si podría serlo al suceder la situación inversa.

Licuefacción de suelos en la Sabana

Este efecto fue observado durante el sismo del 16 de marzo de 1644 en el área de Tunjuelo (INGEOMINAS, 1995), y debe ser tenido en cuenta, en vista de que la situación geológica de Tunjuelo (conos aluviales recientes provenientes de rocas sedimentarias detríticas del

Cretáceo) es común en el sector oriental de la ciudad.

Durante el sismo de 1644, en las orillas del río Tunjuelo se describen muy claramente varios fenómenos típicos de licuefacción, como son la formación de cráteres de arena y la eyección de agua y arena puntualmente o a lo largo de fisuras.

Efectos topográficos

Estos se han presentado en varias ocasiones, siendo los más espectaculares aquellos ocurridos en la cima de Monserrate y Guadalupe, cuyas iglesias han sido destruidas en cada uno de los tres sismos de intensidad VIII (1785, 1827, 1917) y en uno de intensidad VII (1743).

Los efectos en la topografía son interesantes desde dos puntos de vista. Una parte de ellos viene de fenómenos inducidos, o secundarios, originados por los movimientos sísmicos; es el caso de los deslizamientos y de los flujos producidos por represamiento. Detectar estos fenómenos contribuye directamente a la evaluación de las amenazas geológicas en una región. La otra parte de los efectos en la topografía proviene de posibles rupturas de falla en superficie, y en ese caso es fundamental como guía de los estudios de neotectónica y de amenaza sísmica. Los casos de deslizamientos en sismos históricos son bastante comunes en los alrededores de Bogotá. Quizás los ejemplos más espectaculares estén en los sismos de 1743, 1827 y 1917. Entre los sismos históricos hay varios que ofrecen datos interesantes desde ese punto de vista, siendo los más relevantes los de 1644, marzo 16 (Chipaqué-Ubaque), 1827, y 1917.

1.2.2 Actualización y análisis del Catálogo de sismos de Colombia

Para la evaluación de la amenaza se debe preparar un catálogo que contenga tanto los sismos históricos como los instrumentales, localización y magnitud, para tener una idea de la actividad sísmica de la zona e incluirla dentro del cálculo de amenaza correspondiente.

La selección de los eventos que aparecen en el catálogo se hizo de la siguiente manera

a) Del Catálogo de Terremotos para América del Sur-Colombia - Proyecto SISRA (CERESIS, 1985) y la Actualización de la Información Sísmica de Colombia, 1980 a 1987 (ITEC-ISA, 1988), se seleccionaron los eventos de magnitud m_b mayor que 4.0 (M_s mayor que 2.4). Para los eventos que únicamente reportaban magnitud M_s se hizo la conversión a m_b de acuerdo con la ecuación $m_b = 2.5 + 0.63 M_s$ (Bullen, 1985). Excepto modificaciones menores, los datos de los eventos seleccionados se ha conservado casi en su totalidad. Para el período 1900-1981 se han incluido nuevas réplicas reportadas en los catálogos internacionales.