



CAPÍTULO 1

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA REGIONAL

La amenaza sísmica de una zona determinada depende de un gran número de variables, algunas de las cuales pueden ser imposibles de cuantificar en la actualidad, con el fin de desarrollar modelos que permitan darle un tratamiento científico al problema. Sin embargo, desde el punto de vista de ingeniería sísmica se han desarrollado modelos simplificados que permiten considerar las variables fundamentales en forma probabilística.

Inicialmente se determinó un área de influencia que permitió limitar el problema a la zona dentro de la cual la ocurrencia de sismos es relevante para el sitio específico de estudio; una con 200 km de radio y centro en la ciudad capital se seleccionó en este caso. Luego, se identificaron las fuentes sismogénicas que pudieran generar eventos sísmicos de importancia dentro de esa área de influencia.

Una vez identificadas, las fuentes sismogénicas se caracterizaron mediante ecuaciones basadas en los datos sísmicos existentes para la zona. En este caso se trabajaron de manera comparativa las fuentes empleadas en la actualización del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (CSR) (Presidencia de la República, 1984) y las correspondientes a los resultados de investigaciones resultantes de este proyecto que refinan el conocimiento sobre el tema.

1.1 ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA DE LAS PRINCIPALES FUENTES SISMOGÉNICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

1.1.1 Emplazamiento tectónico regional

Este numeral tiene por objeto mostrar el emplazamiento tectónico regional de un territorio amplio que conforma la esquina noroccidental de América del Sur que podría considerarse similar al territorio nacional de Colombia, para luego concentrarse en un área mucho menor conformada por un círculo de 200 km de radio con un área de 125.000 km², aproximadamente, cuyo centro corresponde al área urbana de Santafé de Bogotá. Al círculo anotado se le denomina área de influencia sísmica y se supone que incluye las fuentes sismogénicas regionales que pueden generar amenaza sísmica sobre la ciudad.

Más adelante se analiza la situación de la zona de subducción, ubicada por fuera del círculo antes mencionado, que puede dar origen a grandes sismos cuyas ondas llegarían a la ciudad de Bogotá con periodos de vibración que excitarían de manera notable los depósitos de suelos blandos, conformando de esta manera una fuente de amenaza sísmica especial.

El marco tectónico regional a mayor escala está gobernado por la interacción de las placas Nazca, Caribe y Sur América. La placa Nazca se desplaza a una alta velocidad relativa en el sentido Occidente-Oriente; la placa Sur América se desplaza con una velocidad relativa intermedia en el sentido Oriente-Occidente aproximadamente. Por último la placa Caribe tiene un movimiento relativo hacia el Sur-Oriente más lento que las otras dos. Las velocidades relativas horizontales promedio de las placas Nazca y Sur América son de aproximadamente 60 y 20 milímetros por año, respectivamente. El proyecto CASA (INGEOMINAS, 1996), realizado recientemente entre varias instituciones, entre ellas NASA e INGEOMINAS, muestra los valores relativos de movimiento entre las placas.

La interacción de las placas ha generado una serie de fallas geológicas en el país, algunas de las cuales están en la actualidad activas o tienen tales características que permiten suponerlas así. La Figura 1.1 ilustra la tendencia sísmo tectónica; en ella se aprecian las trazas idealizadas de las 32 fallas activas o probablemente activas que se tuvieron en cuenta para la actualización de la normativa sísmo resistente de la nación CSR, la cual ha sido sometida al Congreso Nacional para su aprobación (AIS, 1996).

La región occidental del país parece estar conformada por terrenos alóctonos (bloques provenientes de remotas regiones, que se han desplazado aleatoriamente sobre la superficie terrestre (Sarría, 1990)) que se acrecionaron al terreno continental (Restrepo et al, 1989 ; Toussaint et al, 1989); concretamente para los investigadores nombrados, la zona donde se localiza la ciudad de Bogotá se ubica dentro de lo que denominan Terreno Tahami.

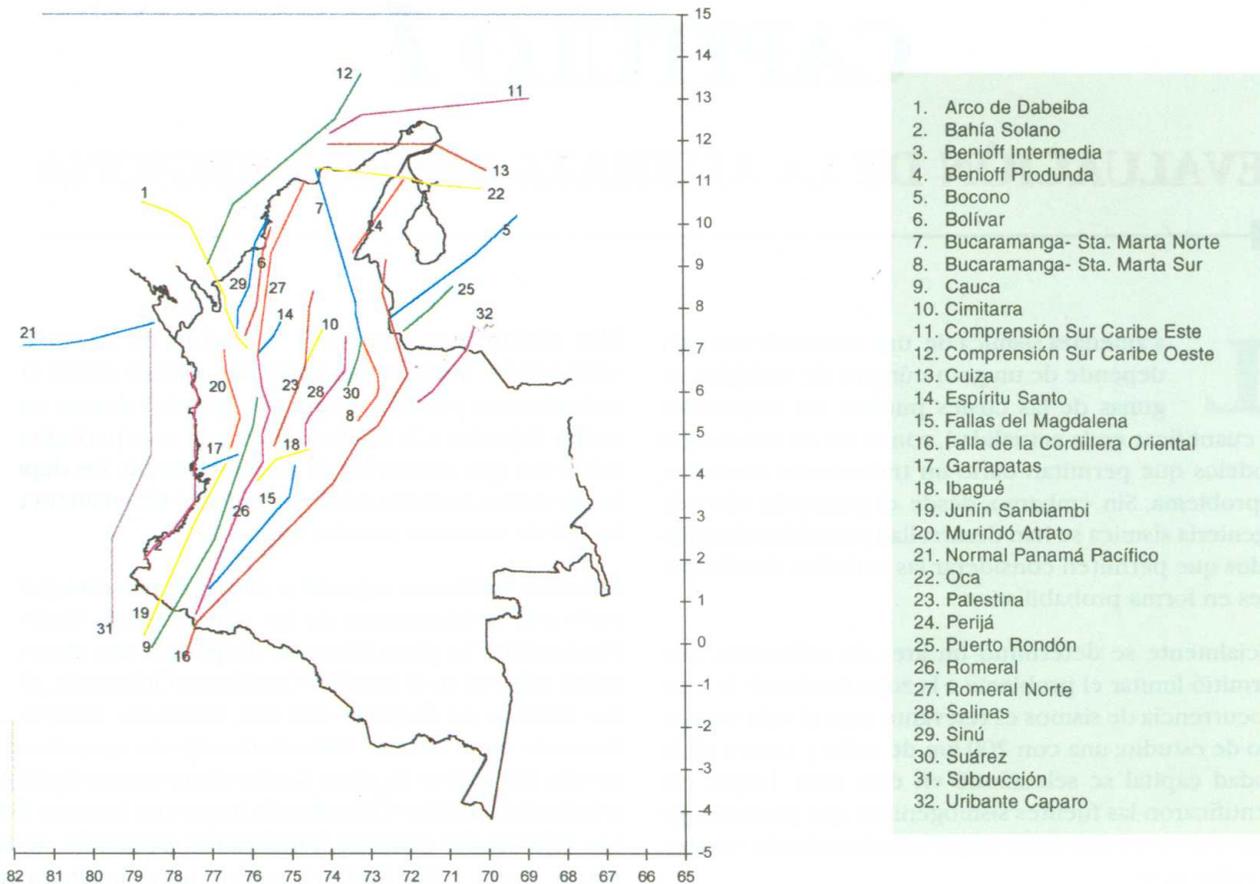


FIGURA 1.1 TRAZAS IDEALIZADAS DE LOS SISTEMAS DE FALLAMIENTO

1.1.2 Actividad neotectónica

El objetivo de la neotectónica es identificar y caracterizar la actividad reciente de las principales fallas geológicas corticales, situadas dentro de una extensión de 200 km de radio alrededor de Santafé de Bogotá. La investigación se realizó a niveles de detalle regional y local, para lo cual se subdividió el área en tres regiones: Suroriental (Piedemonte Llanero), Noroccidental (Valle del río Magdalena) y Central (Sabana de Bogotá).

La caracterización de probables fuentes sísmogénicas comprende la identificación de los principales indicios morfológicos de actividad neotectónica y la determinación de la longitud de los segmentos de falla con rasgos activos y potencialmente activos. El análisis morfo-neotectónico se realizó mediante fotointerpretación, con verificación y toma de datos de campo. Se estimaron orientaciones de esfuerzos tectónicos a partir de mediciones de planos estriados, diaclasas y pliegues observados en afloramientos.

A los principales segmentos de las fallas activas y potencialmente activas, se le estimaron las Magnitudes Máximas Probables (MMP), con ecuaciones empíricas de re-

gresión estadística que correlacionan el valor de la magnitud con algunos parámetros de terremotos, tales como la longitud de ruptura en profundidad, la longitud de la ruptura en superficie y el tipo de movimiento.

Se definieron las fallas corticales susceptibles de moverse bajo el campo de esfuerzo tectónico actual, el cual se presume activo a partir del Plio-cuaternario, aproximadamente los últimos cinco millones de años.

Existen relaciones empíricas entre la magnitud de un terremoto y otros parámetros tales como: a) la longitud de la ruptura superficial del terreno, b) la longitud de ruptura en profundidad, c) el área de ruptura, d) la cantidad de desplazamiento (Slemmons, 1977; Bonilla et al, 1984; Wells et al, 1994). Estas relaciones se pueden utilizar para evaluar la amenaza sísmica.

Las Figuras 1.2 y 1.3 ubican las principales fallas activas y potencialmente activas que se identificaron a lo largo de sistemas mayores como el del Piedemonte Llanero, el valle del río Magdalena, Ibagué, Romeral y otros.

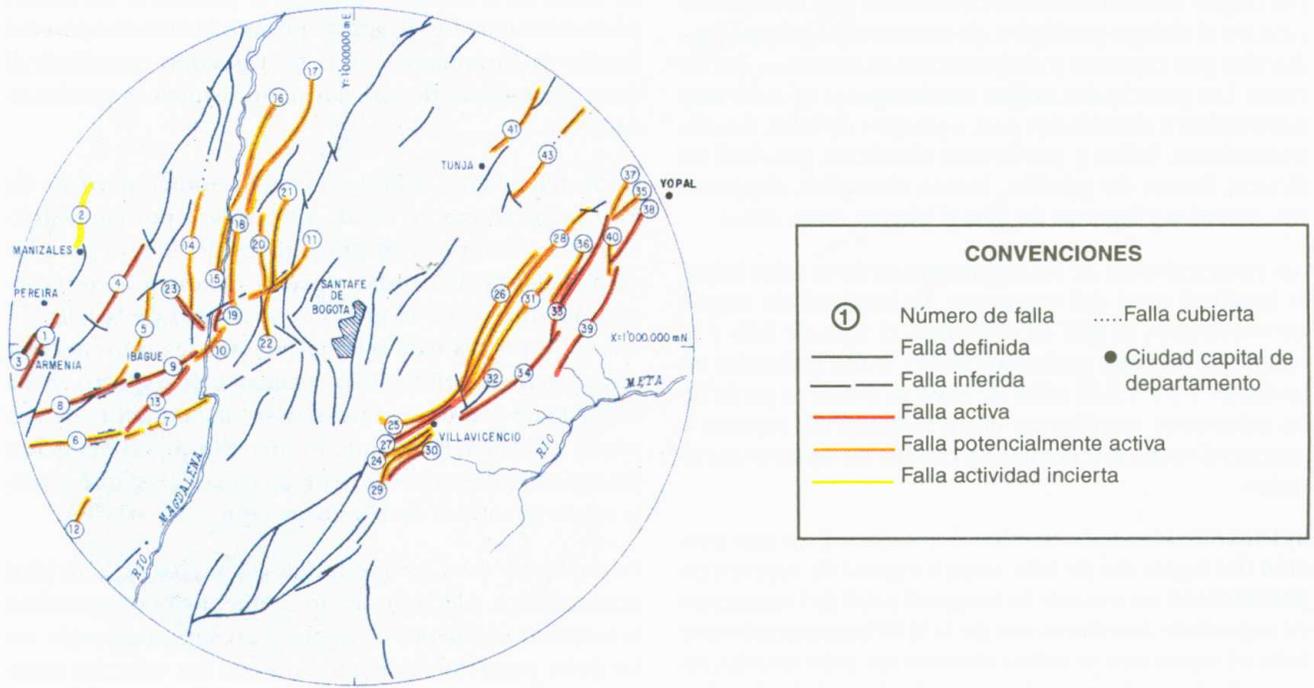


FIGURA 1.2 MAPAS DE ACTIVIDAD DE FALLAS DE LAS REGIONES NOROCCIDENTAL Y SUROCCIDENTAL - TABLA 1.1

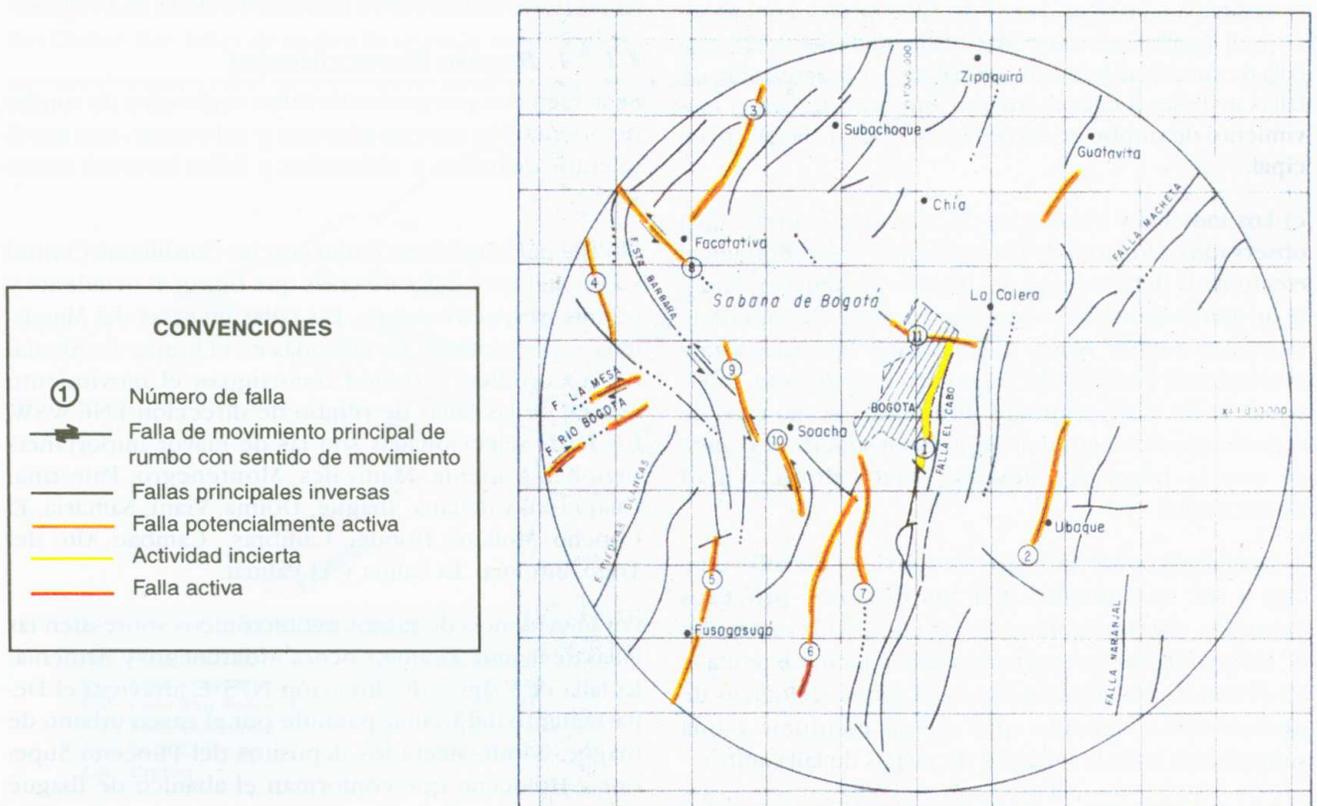


FIGURA 1.3 MAPA DE ACTIVIDAD DE FALLAS DE LA REGIÓN CENTRAL - TABLA 1.2



1.1.3 Características morfotectónicas

Los rasgos neotectónicos se desarrollan por la acumulación, en el tiempo geológico, de formas topográficas producidas por rupturas y deformaciones sucesivas del terreno. Los principales rasgos morfológicos de actividad neotectónica detectados son escarpes de falla, facetas triangulares, valles y corrientes alineadas, ganchos de flexión, lomos de presión, lomos alineados, depresiones cerradas y lagunas de falla y silletas, entre otros.

Las características de los segmentos activos, tales como la longitud total del segmento, la longitud de rasgos neotectónicos, la tasa de actividad, el tipo de falla y la magnitud máxima probable (MMP), están indicadas en las tablas 1.1 y 1.2. El valor de MMP se estimó a partir de las relaciones estadísticas entre longitud de ruptura y magnitud sísmica, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

a) Durante un evento sísmico se puede activar una porción del segmento de falla, cuya longitud de ruptura en profundidad no excede la longitud total del segmento en superficie. La estimación de la MMP, suponiendo que todo el segmento se activa durante un solo evento, representa una cota superior para el valor estimado.

b) Durante un mismo evento sísmico se pueden activar distintos sectores de fallas vecinas. Por esta razón es importante considerar escenarios de ruptura en los cuales se activan varios segmentos de falla, incrementándose de esta manera el valor MMP. El movimiento de una falla de rumbo se puede acompañar por la activación de fallas inversas o fallas normales, que amortiguan el movimiento de rumbo en las terminaciones de la falla principal.

c) Los indicios y evidencias de actividad neotectónica observados a lo largo de un segmento, corresponden al efecto de la deformación del terreno acumulada durante un gran número de sismos. Las rupturas de superficie asociadas con un sismo pueden estar limitadas a una determinada porción del segmento considerado. La estimación de MMP podrían sobre estimarse, en caso de suponer que la longitud de ruptura en superficie coincide con la longitud total de rasgos de actividad neotectónica.

d) Los rasgos morfotectónicos de actividad de fallas tienden a ser erosionados por los distintos procesos exógenos, disminuyendo en forma notoria la expresión de las geoformas. La vegetación densa también limita la observación, enmascarando rasgos geomorfológicos de neotectónica, aspecto que puede conducir a una subestimación de la longitud de rasgos de falla activa.

e) La expresión de las rupturas superficiales está condicionada por diversos factores locales que pueden inhibir

la propagación de la falla hasta la superficie. En el caso de fallas inversas, por ejemplo, la presencia de suelos poco consolidados de gran espesor o la disminución del ángulo de buzamiento de la falla pueden contribuir al amortiguamiento de la dislocación sísmica en profundidad.

f) Las deficiencias del estudio neotectónico por falta de fotografías aéreas de escala adecuada o por las restricciones de tiempo y las dificultades de acceso para las verificaciones de campo, pueden conducir a cierta incertidumbre sobre el grado de actividad de la falla y a una subestimación de la longitud total de rasgos neotectónicos en superficie. Para evaluar este aspecto se ha definido un parámetro cualitativo con el nombre de factor de calidad A, B ó C, que es una indicación del grado de conocimiento que se tiene de cada falla y que intenta medir la calidad de la información.

En cualquier caso, la longitud de los rasgos de actividad neotectónica, a lo largo de un segmento, corresponde a la longitud promedio de ruptura en superficie, este valor debe ponderarse de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente y es susceptible de modificarse con un estudio más detallado de las fallas.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las regiones estudiadas (INGEOMINAS et al, 1996 - a).

1.1.3.1 Región Noroccidental

Se caracteriza por presentar fallas regionales de rumbo de orientación noreste-suroeste y este-oeste, con movimientos dextrales y sinistralas, y fallas inversas nort-sur.

El Valle del Magdalena limita con las Cordilleras Central y Oriental, por fallas inversas que buzán al occidente y oriente, respectivamente. Las fallas inversas del Magdalena, especialmente las ubicadas en el borde occidental de la Cordillera Oriental, amortiguan el movimiento dextral de las fallas de rumbo de dirección ENE-WSW. Las fallas seleccionadas son las de mayor importancia regional: Armenia, Manizales, Montenegro, Palestina, Chapetón, Cucuana, Ibagué, Doima, Viani, Samaria, El Chocho, Mulatos, Honda, Cambras, Cambao, Alto del Trigo, Bituima, La Salina y El Palmar.

Por la evidencia de rasgos neotectónicos sobresalen las fallas de Ibagué, Doima, Cocora, Montenegro y Armenia. La falla de Ibagué, de dirección N75°E, atraviesa el Departamento del Tolima, pasando por el casco urbano de Ibagué, donde afecta los depósitos del Plioceno Superior y Holoceno que conforman el abanico de Ibagué (Vergara, 1989). En la Figura 1.4 se presenta el diagrama que indica la orientación de las fallas.