

CAPITULO 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 períodos 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 (Sarria, 1990)) que se acrecieron 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.

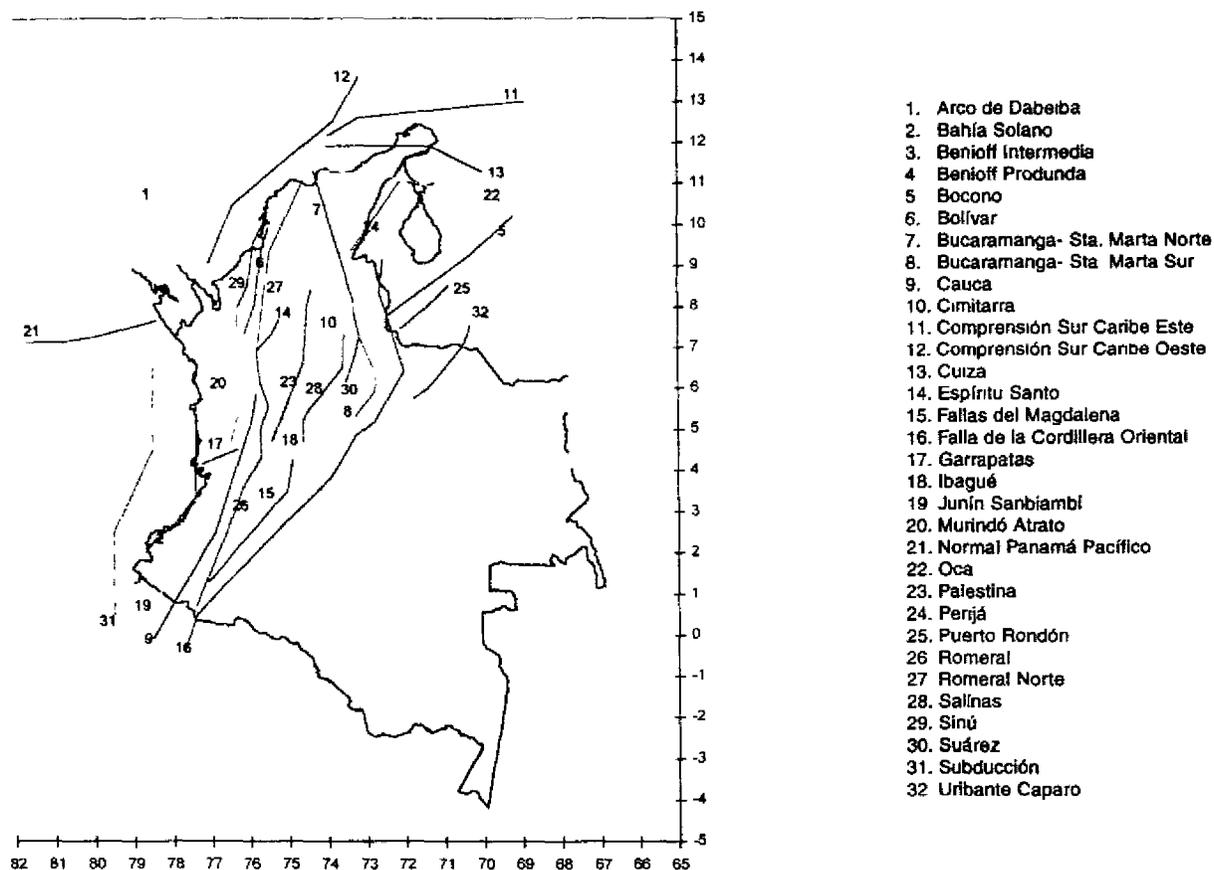


FIGURA 1.1 TRAZAS IDEALIZADAS DE LOS SISTEMAS DE FALLAMIENTO

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 sismogénicas 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 morfoneotectónico se realizó mediante foteointerpretación, 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

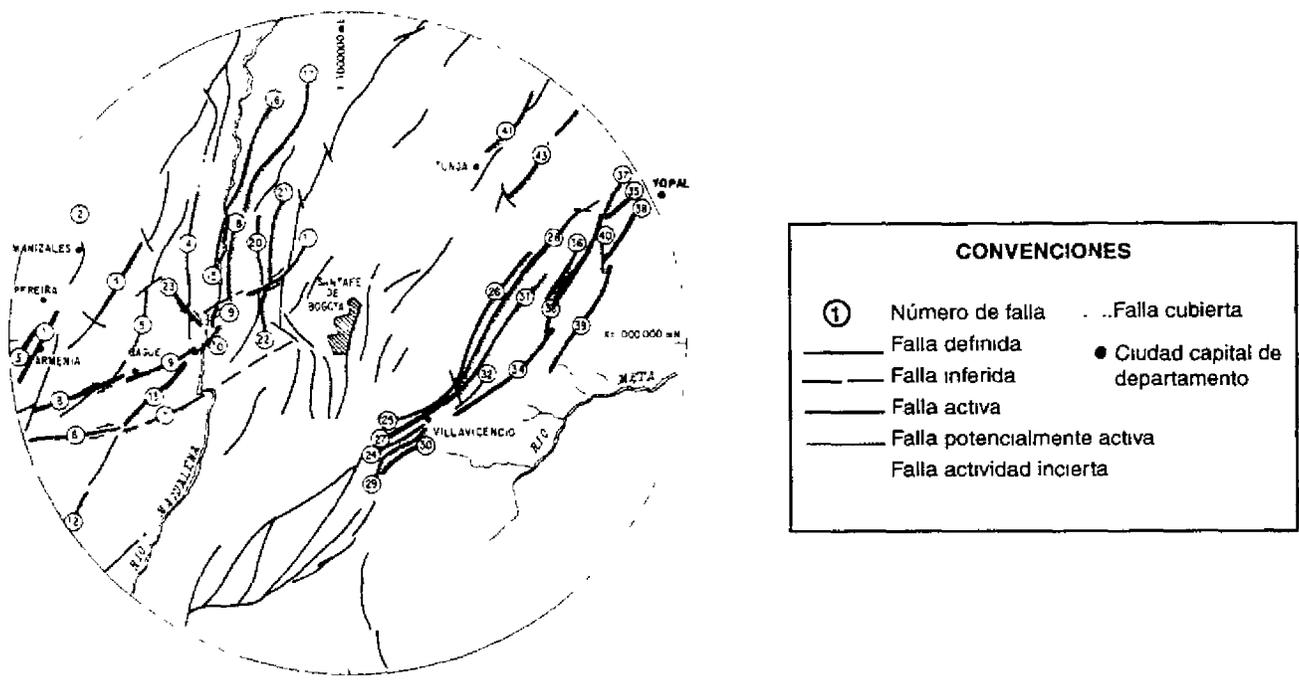


FIGURA 1.2 MAPAS DE ACTIVIDAD DE FALLAS DE LAS REGIONES NOROCCIDENTAL Y SURORIENTAL - TABLA 1.1

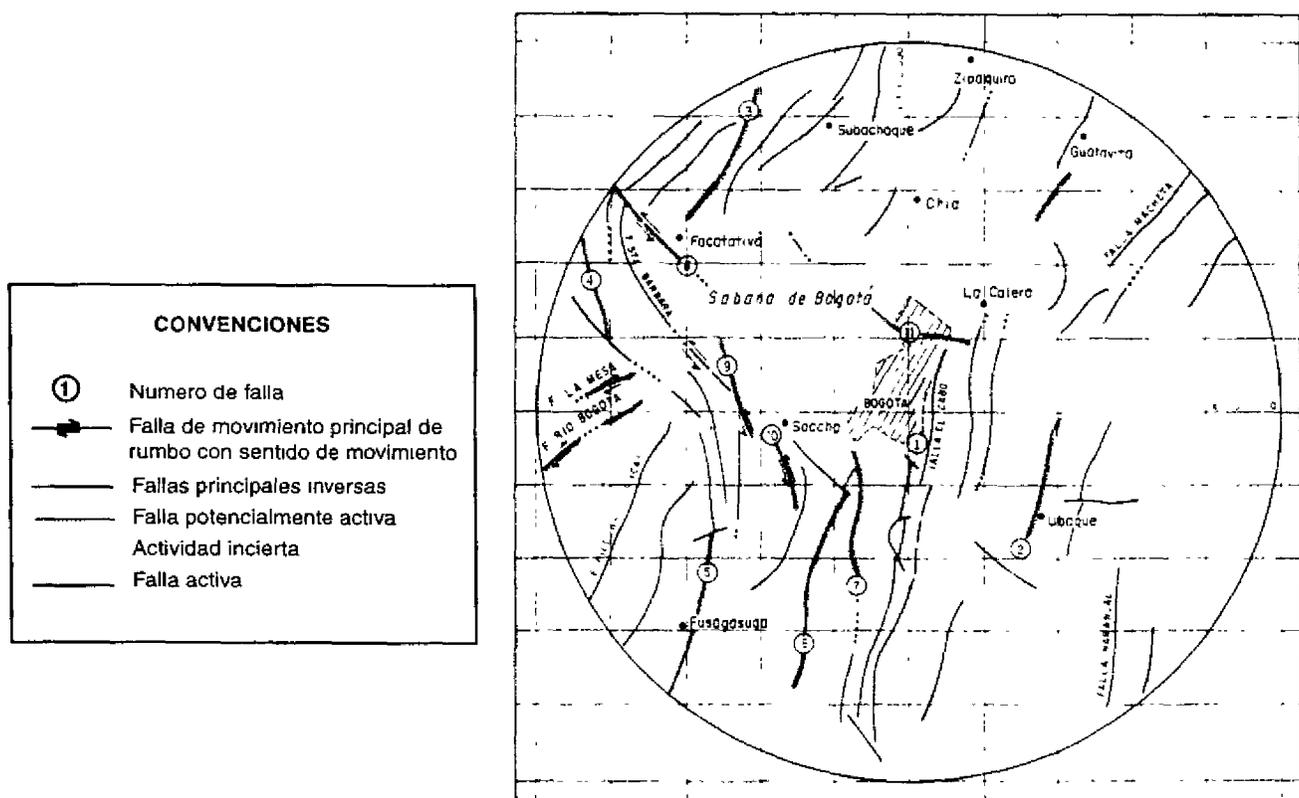


FIGURA 1.3 MAPA DE ACTIVIDAD DE FALLAS DE LA REGIÓN CENTRAL - TABLA 1.2



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 coincida 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 buzando 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, Vianí, Samaria, El Chocho, Mulatos, Honda, Cambras, Cambao, Alto del Trigo, Bituma, 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.



Este conjunto de fallas representa el límite entre el borde noroeste del Cratón de Guayana, de naturaleza estable, y el cinturón móvil de afinidad continental de los Andes en Colombia (París et al, 1994), y es considerado como el límite entre las Placas de Suramérica y el bloque Andino (Aggarwal, 1983). Los principales sistemas de falla del sector son el de Servitá - Santa María, Guaicáramo y Yopal.

El sistema de Servitá - Santa María corresponde a una serie de segmentos de fallas inversas, en dirección N20-40°E, buzamiento de 45° NW y componente dextral, que se prolonga por 180 Km, desde Cumaral hasta el norte de Santa María. Los segmentos de falla documentados son: Colepato, Servitá, Acacías, Colonia y Guayuriba. En el abanico de Restrepo de edad cuaternaria, se observaron rasgos de actividad neotectónica sobre la falla de Guayuriba (Figura 1.6). Esta falla tiene una longitud de 60 Km, en 29 km de los cuales presenta indicios fuertes y moderados de actividad. Su rumbo general varía entre N30°- 45°E, es de movimiento inverso, con plano de falla buzando entre 30 y 45° al noroeste y, aparentemente, componente de rumbo lateral derecho.

El Sistema del Guaicáramo está compuesto de una serie de segmentos de dirección general N40°E, que se presentan al noreste del Sistema de Servitá-Santa María. Pone en contacto rocas del Cretáceo que cabalgan rocas Terciarias y Cuaternarias ubicados en el frente montañoso y en la cuenca de los Llanos Orientales, respectivamente.

La Falla del Guaicáramo ha sido dividida en tres tramos, cuyas direcciones oscilan entre N45°E y N10°E: Guaicáramo Norte, Guaicáramo Centro y Guaicáramo Sur. El segmento de Guaicáramo Centro es el más extenso, con una longitud total de 80 Km, de los cuales 44 Km tienen indicios fuertes y moderados de actividad neotectónica. Su plano de falla buza alrededor de 35° al noroeste (Renzoni, 1975).

El sistema de Yopal incluye las fallas San Pedro, Yopal y Chámeza, de dirección general N40°E, y la Falla Upamena de dirección N-S (salto compresivo entre las fallas Yopal y San Pedro). Dicho sistema corresponde al frente de deformación actual de la cordillera. La falla de San Pedro es el segmento más oriental, con una orientación general de N38°E, el cual ha sido cartografiado en 80 Km con el nombre de San Pedro-Sisigua, entre los ríos Upía y Cusiana. Presenta rasgos de actividad moderados, tales como el escarpe de falla que bordea las mesetas de Sisigua y de San Pedro por un tramo de unos 38 Km y alturas que oscilan entre 50 y 80 metros.

En la zona axial de la Cordillera Oriental se revisaron fallas mayores, entre las que se destacan las de Soapaga, Boyacá y San Francisco, todas ellas de movimiento principal inverso. La actividad neotectónica de estas fallas es baja a muy baja.



FIGURA 1.6 RASGOS NEOTECTÓNICOS SOBRE LA FALLA DE GUAYURIBA



1.1.3.3 Región Central

Se caracteriza por la presencia de la Sabana de Bogotá la cual está limitada, con los sectores montañosos circundantes, por rasgos rectilíneos sugiriendo control tectónico. Está caracterizada por sistemas de fallas inversas de dirección nor-noreste y fallas de movimiento lateral izquierdo de dirección noroeste-sureste. Se seleccionaron las fallas principales, ubicadas en la Sabana de Bogotá y en zonas circundantes, entre las que se destacan la falla de Bogotá y las fallas del Río Tunjuelito, Facatativá, Usaquén, Fusagasugá, La Cajita y Corraleja. La actividad neotectónica es baja, con excepción del sector del Páramo de Sumapaz donde se detectaron rasgos de neotectónica en depósitos de edad reciente, falla La Cajita (Acosta et al, 1991) y Río Tunjuelito.

La falla de Bogotá es el límite estructural más sobresaliente que bordea la Sabana por el costado este. Su dirección promedio es N10°E, con plano buzando al oriente. Los indicios neotectónicos que muestra la falla de Bogotá no fueron claramente establecidos, por lo cual se catalogó como de actividad incierta.

1.1.4 Análisis microtectónico

El conocimiento del régimen de esfuerzos tectónicos que actúan dentro de la corteza terrestre, permite ca-

racterizar en forma más precisa el tipo de movimiento y la geometría de las fallas activas. El estudio de la fracturación de la roca en afloramientos deformados, da información sobre el régimen de esfuerzos tectónicos y permite calcular la orientación y la magnitud relativa de los ejes de esfuerzos: σ_1 (principal), σ_2 (intermedio) y σ_3 (extensivo). La medición en campo de estas estructuras y el análisis posterior permitió calcular numéricamente el estado de esfuerzos que les dió origen (Etchecopar et al, 1981; Ritz, 1991; Taboada, 1993). Se estudiaron afloramientos, en cercanías de las fallas del Magdalena, del Borde Llanero y la Sabana de Bogotá.

De manera general, el esfuerzo principal compresivo (σ_1) es subperpendicular a la cadena de montañas, concluyéndose que las principales fallas activas y potencialmente activas tienen movimiento inverso dominante. A lo largo del Piedemonte Llanero se observa una rotación del eje principal compresivo: al sur de Medina, la dirección de σ_1 es sureste (perpendicular a la traza de falla del Guaicáramo), mientras que hacia el norte (Aguazul) la dirección es E-SE. Este cambio de dirección podría indicar un aumento de la componente dextral, hacia el noreste de los Sistemas de Guaicáramo y Yopal, a medida que las fallas remontan la Cordillera Oriental.

La Figura 1.7 muestra un depósito Cuaternario deformado tectónicamente sobre el escarpe de la falla Yopal, 8 km

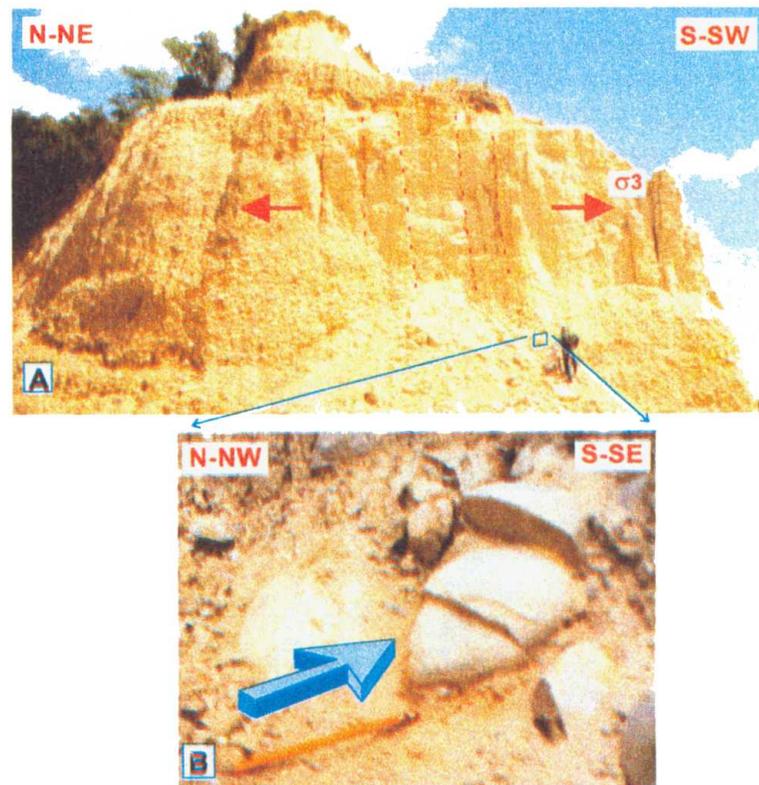


FIGURA 1.7 DEPÓSITO CUATERNARIO DEFORMADO TECTÓNICAMENTE

al suroeste de Aguazul, sobre la carretera principal. La deformación de los conglomerados es muy intensa, presentando cantos fracturados y cizallados, sugiriendo que la magnitud de los esfuerzos tectónicos que generaron esta deformación fue particularmente intensa. Dicha deformación pudo haberse originado durante rupturas superficiales asociadas a sismos sucesivos a lo largo de la falla Yopal.

La dirección de σ_1 en el Sistema de fallas de la Sabana de Bogotá y del Magdalena, es relativamente homogénea y cercana a E-SE. Esta dirección podría sugerir una ligera componente lateral izquierda a lo largo de algunas trazas de falla, cuya dirección es norte-sur, tales como la Falla del Alto del Trigo, en la proximidad de Vianí, y la Falla de Mulatos cerca a Lérida. Los movimientos de los diversos sistemas de falla, que afectan la Cordillera Oriental, indican un acortamiento notable de dirección media E-SE.

1.1.5 Síntesis de resultados

Los resultados de este estudio indican que las fallas de mayor potencial sismogénico están situadas en la región Suroriental y hacen parte del sistema del Piedemonte Llanero. Varios segmentos de las fallas de Servitá-Santa María, Guaicáramo y Yopal presentan valores estimados de MMP superiores a 7 Ms con periodos de retorno del orden de 600 años (suponiendo una tasa de actividad de 3 mm/año). Algunos de ellos están situados a una distancia de 50 - 100 km de Santafé de Bogotá por lo cual representan fuentes sismogénicas particularmente

peligrosas para la ciudad. Estas fallas, cuyo movimiento predominante es de tipo inverso, tienen una actividad dentro del rango moderado - alto.

Cabe resaltar los segmentos activos de Guayuriba y Servitá, cuya distancia media a Bogotá es inferior a 80 km y cuya ubicación coincide con una zona de sismicidad anormalmente baja a lo largo del Sistema de Piedemonte Llanero. Esta zona podría corresponder a un silencio sísmico en el cual se está acumulando energía elástica que se liberaría durante un evento sísmico mayor.

La región Noroccidental presenta fallas cuyas magnitudes máximas probables no exceden el valor de 7 Ms. Cabe destacar la falla de Ibagué, considerada como la más activa de este sector, cuyos indicios y evidencias de actividad lateral derecha se siguen prácticamente a lo largo de toda la traza. El plano de falla de Ibagué está alineado con la ciudad de Bogotá y es de esperarse que, tratándose de una falla de rumbo, los efectos de un movimiento sísmico sean particularmente notorios en Bogotá. En efecto, la amplitud de las ondas de cizalla es mayor en dirección paralela al sentido de movimiento sobre el plano de falla. Este efecto de direccionalidad puede acentuarse si la propagación de la ruptura se hace en dirección N-NE (hacia Bogotá).

Otras fallas de importancia en la región Noroccidental son las de Cambao Sur, Honda, Doima, Cocora y Cucuana cuyos valores de MMP son superiores a 6.0 y cuyo rango

SISTEMA	No	NOMBRE DE LA FALLA	LONGITUD TOTAL (km)	LONGITUD CON RASGOS NEOTECTÓNICOS (km)				TAS	TIPO DE FALLA	AZIMUT; BUZAMIENTO	(MS) MMP
				FUERTE	MODERADO	DEBIL	TOTAL				
Romeral	1(*)	Armenia	60	3	10	9	22	A-IA	ID	30;W	6,8
	3(*)	Montenegro	45	10	10		20	A-IA	ID	45;W	6,7
Ibagué	8(*)	Cocora	60	8	25		33	I	D	65;V	6,9
	9(*)	Ibagué	45	35	5		40	A	D	75;V	7,0
	10(+)	Piedras	20		6	8	14	I	DI	55;V	6,4
Samaria-La Colorada	13(*)	Doima	35	5	9	2	16	A	ID	30;E	6,7
Noroeste	23(*)	El Palmar	20	1	8		9	I	S	150;V	6,2
Servitá-Santa María	24	Colepato	40(*)		18		18	I	I	50;30W	6,7
	25	Servitá	60(*)		26		26	I-A	I	45;40W	6,9
	27	Guayuriba	60(*)	11	18		29	A	ID	45;40W	7
	30	Acacias	30(*)	4	9		13	I	I	30;30W	6,6
Guaicáramo	33	Guaicáramo Centro	80(*)	24	20		44	A	ID	35;35W	7,2
	34	Guaicáramo Sur	65(*)	3	5		8	I	I	35;35W	7,1
	37	Pajarito	60(*)	5	9		14	I	ID	30;50W	6,7
Yopal	38	Yopal	65(*)	12	12		24	A	I	40;40W	7,1
	39	San Pedro	80(*)		38		38	A	I	40;30W	7,2

TABLA 1.1 CARACTERIZACIÓN NEOTECTÓNICA DE FALLAS DE LAS REGIONES NOROCCIDENTAL Y SURORIENTAL.



ORIENTE	1(-)	Bogotá	50			10	10	B	I	10;E	6,4
SUR	6(*)	La Cajita	35	5		5	10	I	ID	10;E	6,4
	7(+)	Río Tunjuelito	35		5	5	10	I	I	5;W	6,4

TABLA 1.2 CARACTERIZACIÓN NEOTECTÓNICA DE FALLAS DE LA REGIÓN CENTRAL.

MMP: Magnitud máxima probable
 TAS : Tasa de actividad semicuantitativa

D: Dextral
 S: Sinistral
 N: Normal
 I: Inversa
 TAS:
 A: alta
 I: intermedia
 B: baja

(*) Falla activa
 (+): Falla potencialmente activa
 (-) Actividad incierta

de actividad es moderado - alto La distancia media de todas estas fallas a Santafé de Bogotá es de 80 a 120 km.

La región Central está caracterizada porque la mayoría de las fallas presenta actividad baja a moderada cuyas magnitudes estimadas son inferiores a 6.5 Ms. Los rasgos neotectónicos son de menor contundencia sugiriendo una actividad sísmica muy inferior a las otras regiones, con periodos de retorno más largos. Sin embargo, la actividad potencial de estas fallas es de gran interés debido a la cercanía entre los tramos potencialmente activos y la ciudad de Santafé de Bogotá. Se destaca la falla de la Cajita por su característica de falla activa, con una MMP de 6.4 y sismo histórico probable asociado

Tal como se mencionó anteriormente en las tablas 1.1 y 1.2 se presenta la caracterización neotectónica de las diferentes regiones citadas.

1.1.6 Zonificación Sismotectónica Preliminar

El conocimiento de la tasa de actividad y del tipo de movimiento a lo largo de las diferentes fallas analizadas permite subdividir la región de estudio en función del estilo y la intensidad de la actividad neotectónica.

El estilo de la deformación está determinado por el régimen de esfuerzos tectónicos a escala regional. La orientación y la magnitud relativa de los esfuerzos principales determina la dirección y el sentido de movimiento sobre los planos de falla

Para efectos de caracterizar la zona se definen tres regímenes de esfuerzos fundamentalmente distintos (Ritz et al, 1993):

1) El régimen compresivo, caracterizado por un eje extensivo σ_3 vertical y los dos ejes restantes (σ_1, σ_2) de

dirección horizontal. La deformación asociada está caracterizada por fallas inversas de dirección perpendicular a la compresión.

2) El régimen de rumbo, caracterizado por un eje intermedio σ_2 vertical y los dos ejes restantes (σ_1, σ_3) de dirección horizontal. Se observan generalmente fallas de rumbo conjugadas relativamente inclinadas.

3) El régimen extensivo, caracterizado por un eje compresivo σ_1 vertical y los dos ejes restantes (σ_2, σ_3) de dirección horizontal. Asociado usualmente al funcionamiento de fallas normales de dirección perpendicular a la extensión.

La Figura 1.8 ilustra la zonificación sismotectónica preliminar de la región de estudio. Las zonas caracterizadas por un régimen compresivo, de rumbo o extensivo están indicadas en azul, verde o rojo, respectivamente. La intensidad del color es proporcional a la intensidad de los esfuerzos desviadores principales de dirección horizontal que varían de acuerdo con el régimen considerado. Se asume que este parámetro es indicativo del grado de actividad sismotectónica en distintos sectores. En cada caso se indican los valores correspondientes al esfuerzo horizontal máximo y mínimo ($\sigma_{hmax}, \sigma_{hmin}$) con respecto al valor promedio de los esfuerzos principales (esfuerzo diferencial o desviador).

A manera de ejemplo, el régimen compresivo está caracterizado por un valor de esfuerzo diferencial $\sigma_{hmax} = \sigma_1$ relativamente elevado y un valor de $\sigma_{hmin} = \sigma_2$ despreciable

Se observa que el contexto tectónico de la región se sitúa entre el régimen compresivo y el régimen de rumbo. El sector del Piedemonte Llanero presenta la mayor actividad tectónica en compresión, la cual disminuye