

6. SÍNTESIS DE INFORMACIÓN MACROSÍSMICA

Las fuentes sísmicas de una región como el SW de Colombia generan eventos cuyos parámetros físicos (magnitudes, localización hipocentral) y temporales (tasas de recurrencia o periodos de retorno esperables para eventos fuertes) son poco conocidas, entre otras razones, por los cortos periodos del registro histórico e instrumental. Acceder y documentar toda la información histórica contribuye a proveer una visión más completa para evaluaciones de la amenaza sísmica para una ciudad como Cali. Por otro lado, esta visión debe ser obtenida en relación con efectos sísmicos que sólo pueden obtenerse en las últimas décadas, especialmente para territorios que en periodos históricos no fueron urbanizados.

Cali, la extensa ciudad de hoy que ocupa terrenos de diversas características, no ha sufrido un terremoto fuerte en su historia reciente. La documentación histórica indica que los sismos de 1766 y 1925 estuvieron entre los más potentes en la ciudad. Estos sismos ocurrieron cuando la ciudad se concentraba en el Cali Viejo, los alrededores del centro de la misma, con edificaciones de uno y dos pisos (además de iglesias) y sobre terrenos firmes.

Los objetivos de este capítulo, previa presentación sintética de las fuentes sísmicas relevantes para la ciudad, son: (1) presentar una evaluación espacio-temporal de los daños por sismos y de las fuentes sismogénicas asociadas para la zona de estudio; (2) compilar y actualizar la información macrosísmica

existente para Cali, incluyendo información detallada, hasta donde las fuentes lo permitieron, de los efectos reportados.

6.1 FUENTES SISMOGÉNICAS Y SISMICIDAD

Toda la región andina de Colombia está determinada, en términos de fallas geológicas y de sismos, por el proceso de convergencia de dos grandes placas tectónicas, la de Nazca (oceánica) y la de Suramérica (continental). Entre estas dos, el llamado "Bloque Norandino", se ha desarrollado como una microplaca, con movimiento en dirección hacia el NNE (Freymuller *et al*, 1993). Dentro del esquema de esfuerzos regionales producidos por la fricción entre estas placas, destacan tres tipos de fuentes sísmicas de importancia para la región de Cali (Meyer, 1983 y OSSO para CLE, 1996):

Zona de Subducción. Es la franja de convergencia de las placas Nazca y Suramérica frente al litoral colombo-ecuatoriano, cuya traza superficial corre unos 150 - 200 km paralela a la costa. Es la más importante de las fuentes sísmicas en Colombia, en términos de las magnitudes máximas y recurrencias de sismos grandes, con magnitudes mayores de 8,0. Su sismicidad es superficial, hasta profundidades de 40 km aproximadamente. Esta zona generó los sismos del 31 de enero 1906 ($M_b=8,9$), 7 de junio de 1925 ($M_s=6,8$) y 12 de diciembre de 1979 ($M_s=6,4$). Por su magnitud el de 1906 estuvo entre los 10 más grandes en el S. XX.

Zona de Wadatti-Benioff. Corresponde a la parte profunda del plano de fricción entre las placas que convergen, es decir, la continuación de la Zona de Subducción. En el SW de Colombia se distribuye entre el centro y norte del Valle del Cauca, SE de Chocó y parte de los territorios del Viejo Caldas, con eventos a profundidades entre 40 y 200 km, aproximadamente (Figura 24). A esta zona corresponden, entre otros, los terremotos del 4 de febrero de 1938 ($M_s=7,0$), 20 de diciembre de 1961 ($M_s=6,5$), 30 de julio 1962 ($M_s=6,7$), 23 de noviembre de 1979 ($M_b=7,3$) y 8 de febrero de 1995 ($M_b=6,4$).

Fallas intraplaca. Se trata de diversidad de fallas en la corteza terrestre con diferentes direcciones y profundidades hasta unos 30 km. Este tipo de fuente puede generar los sismos más cercanos a la ciudad de Cali, en los sistemas de fallas Cauca y Romeral que cruzan el Valle del Cauca siguiendo su dirección general N 20°/30°. El primer sismo claramente asociado a este tipo de fallas fue el Popayán del 31 de marzo de 1983 con magnitud $M_b=5,5$ (Meyer *et al*, 1986). En el decenio pasado ocurrieron otros eventos confinados instrumentalmente en trazas del Sistema Romeral, el 6 de junio de 1994 en Páez ($M_b=5,9$) y el 25 de enero de 1999 ($M_b=5,9$) en la región del Eje Cafetero. Sobre el Sistema Cauca sólo se tiene reporte de un pequeño evento ($M_b=3,7$), el 14 de mayo de 1999 en La Buitrera, área rural de Cali.

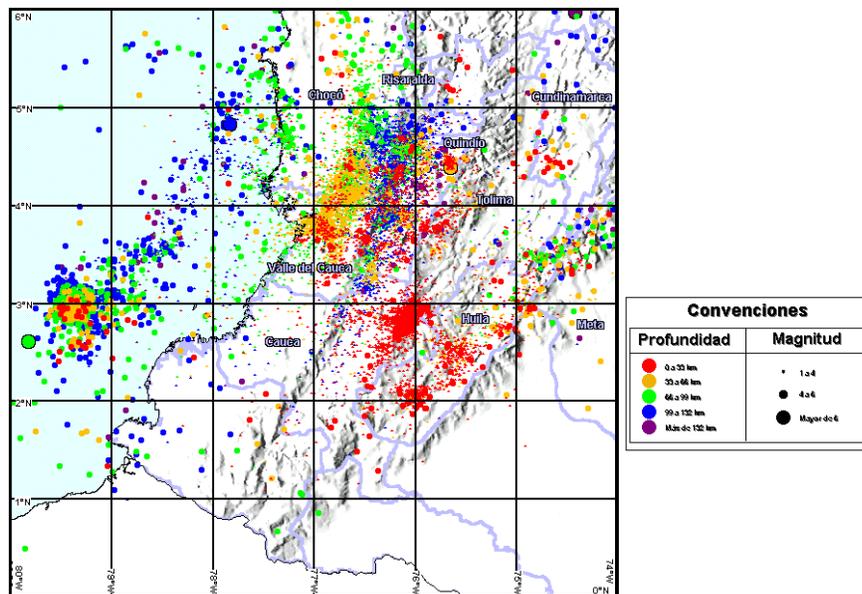


Figura 24. Sismicidad en el suroccidente colombiano, 1987-2000.

En la zona de interacción entre la placa Suramérica y el Bloque Norandino, en el Huila, se han generado sismos como el del 9 de febrero de 1967 con efectos en Cali.

Otras fuentes corticales con sismos que han tenido algún efecto en Cali, identificadas en el periodo de operación de la Red Sismológica del SurOccidente, desde 1987, son, hasta ahora: (1) al occidente del departamento

del Valle del Cauca, entre el Golfo de Tortugas, Buenaventura y Anchicayá, con varios sismos sentidos; (2) fallas en la región del Atrato Medio; (3) Sismos mayores (alrededor de 5,5) del Nido de Bucaramanga en Santander, las últimas dos por fuera del área cubierta en la Figura 24.

6.2 EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN MACROSÍSMICA.

6.2.1 Fuentes de información.

La información macrosísmica disponible se puede dividir en dos grandes grupos, según si son fuentes históricas o instrumentales. El primero corresponde a información de aquellos sismos conocidos a través de fuentes secundarias (archivos, prensa) y el segundo a sismos registrados en redes de observación sismológica, complementado con reportes macrosísmicos.

La información disponible para sismos de uno y otro grupo es muy diferente: mientras que la sismicidad instrumental provee parámetros que describen el sismo en términos de su localización, profundidad, magnitud y tiempo universal coordinado, en el primero sólo es posible inferir, con base en fuentes secundarias que describen los efectos, algunas de las características principales del sismo.

El primer sismo del cual se tiene noticias para Colombia ocurrió el primero de septiembre de 1530 frente a costas venezolanas, cerca de la Isla Margarita. Según Ramírez (1975) este sismo, que además generó un tsunami, debió haberse sentido en todo el norte de Suramérica.

Posteriormente, en 1566, se reporta el primer sismo dentro del actual territorio colombiano. Sus efectos se concentraron en el suroccidente del país (Arboleda 1956; Ramírez, 1975), con destrucción de casas de tapia y teja en Cali y Popayán.

Las principales fuentes para los periodos de Conquista, Colonia e inicios de la República han sido archivos locales (Popayán, Cali, Buga), el Archivo Histórico Nacional de Colombia y el Archivo General de Indias (Sevilla, España), combinados con libros de relatos de viajeros.

Las fuentes periodísticas fueron tardías en Colombia. El primer periódico de la entonces Nueva Granada fue la Gaceta de Santa Fe y la primera noticia el “Aviso del Terremoto”, con 4 ejemplares que se imprimieron a raíz del terremoto que afectó a Bogotá el 12 de junio de 1785. Sin embargo de otras publicaciones que tuvieron pocos años de edición, es sólo hasta finales del Siglo XIX que se cuenta con fuentes periodísticas. En el Valle del Cauca destacan periódicos como El Ferrocarril, hacia el segundo quinquenio de la década de 1870.

La sismicidad instrumental se inició en el mundo a finales del siglo XIX y principios del XX, pero en Colombia también fue tardía. Aunque en 1923 se instaló el primer sismógrafo (Ramírez, 1975), no fue sino hasta mediados del S. XX que se conformó una red operada por el Instituto Geofísico de los Andes de la Universidad Javeriana. Cuatro décadas después, en 1987, empieza a operar una red regional en el suroccidente de Colombia, operada por el OSSO, en la Universidad del Valle. Esta red ha proveído desde entonces información detallada de la sismicidad en su región de investigación.

La Figura 25 muestra dos cambios dramáticos en términos del volumen de reportes de sismos con efectos. El primero en el S. XIX relacionado con la aparición de los periódicos regionales hacia 1870. Los sismos ocurridos empiezan a ser noticia en periódicos como El Ferrocarril o el Correo del Cauca, en Cali o el Boletín Industrial y la Voz de Antioquia, en Medellín. El sismo del 9 de febrero 1878 marca el inicio de la documentación en prensa de sismos sentidos en Cali en este periodo. El segundo es la combinación de dos subperiodos y énfasis: (1) consolidación de medios masivos de comunicación y catálogos nacionales como el de Ramírez (1975); (2) el inicio de la Red

Sismológica del Suroccidente (octubre 1987) y del OSSO, con énfasis en el SW. Estos últimos datos se han registrado en bitácoras a partir de informes telefónicos o de cualquier otro tipo y no incluyen ningún sismo del cual no se tenga reporte o verificación, así haya sido instrumentalmente importante (p. ej., magnitud mayor de 4). En este trabajo se desecharon algunos informes que no cumplieran el requisito de coincidir con registros sísmicos.

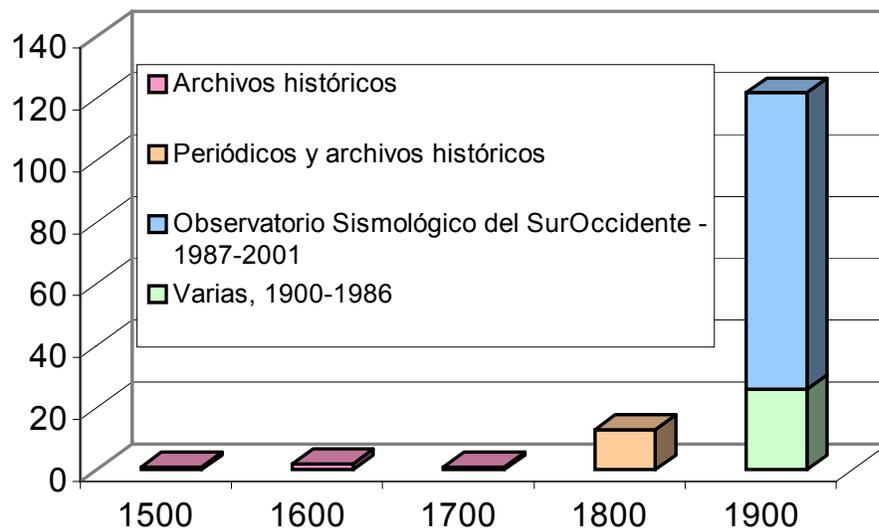


Figura 25. Sismos sentidos en Cali por fuentes de información 1566-2001.

Las fuentes básicas de este trabajo durante el periodo histórico fueron los catálogos de Ramírez (1975) y Meyer (1983), este último centrado en archivos locales de la región, complementados con información del archivo macrosísmico del OSSO.

Para el periodo instrumental, principalmente desde la segunda década del Siglo XX, se recurrió al Catálogo de Sismos para América del Sur (CERESIS, 1981), localizaciones del National Earthquake Information Center (NEIC), Boletines sísmicos del Ingeominas y el catálogo sísmico del SW del OSSO.

6.2.2 Sismos sentidos.

Los sismos sentidos en Cali provienen de las diferentes fuentes sismogénicas mencionadas anteriormente. En la Figura 26 se muestra la distribución espacial de epicentros para el periodo 1566-2001. La Figura 27 corresponde a un acumulado de los reportes sentidos en el periodo de observación de la Red Sísmica de SW (RSSW). La cantidad de reportes guarda estrecha relación con el número de líneas telefónicas disponibles en el OSSO y cantidad de personal.

Del total de sismos sentidos documentados (Anexo A) para la zona de estudio destacan por su pequeña magnitud, profundidad del hipocentro y/o distancia epicentral a Cali, los siguientes reportados como sentidos en algunas edificaciones:

- El sismo del 12 del abril de 1995 ($M_b=5,0$) con epicentro a mas de 165 km del área de estudio, entre las costas del Cauca y la Isla Gorgona, a 40 km de profundidad, sentido en varias edificaciones solamente en la zona de estudio.
- Recientemente, el 6 de febrero del 2001, con magnitud 3,8 M_b y epicentro a 80 km al NNW de Cali y a 70 km de profundidad, sentido en Cali solamente en la zona de estudio en 3 edificios (entre cinco y siete pisos) y en la parte baja de una casa de dos plantas. En uno de los edificios las antenas de telecomunicaciones se agitaron levemente.

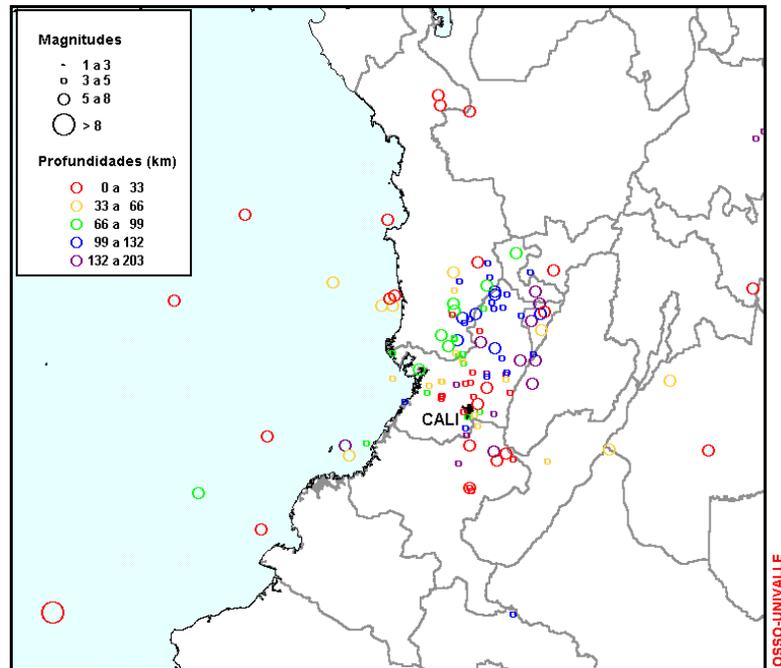


Figura 26. Sismos sentidos en Cali

6.2.3 Sismos con daños.

Las fuentes históricas y los catálogos pre-existentes permitieron documentar para Cali 25 sismos con algún tipo de daño. De éstos, siete ocurrieron durante los cuatro primeros siglos, cuatro entre 1900 y 1960, y 15 entre 1960 y el 2001 (Tabla 6). Los periodos escogidos corresponden con aquellos donde la ciudad tuvo un tamaño relativamente estable acotado al centro y sus alrededores (1536-1899), y a periodos de expansión urbana (1900-1959, 1960-2001).

Tabla 6. Reportes de sismos con daños en Cali por periodos

Periodo	Sismos con daños	Reportes/año
1536-1899	7	0,02
1900-1959	4	0,07
1960-2001	15	0,37

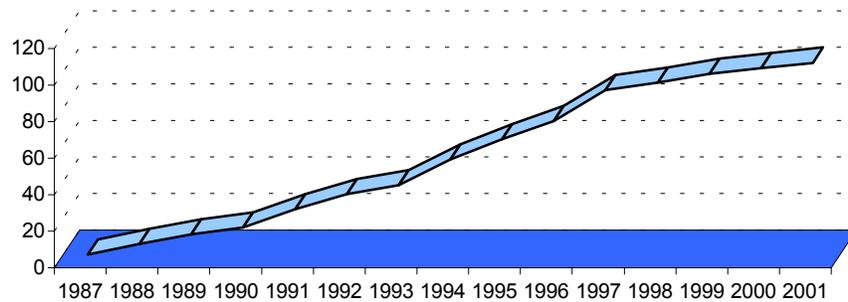


Figura 27. Acumulado de sismos sentidos reportados en Cali, 1987-2001.

La distribución cronológica de estos sismos está estrechamente ligada con la disponibilidad de fuentes documentales y con el desarrollo y crecimiento de la ciudad. Obviamente entre 1566 y 1899 los reportes se sitúan en el Cali Viejo. El terremoto de 1566 destruyó casas de tapia y teja, mientras que en el de 1688 se reportaron agrietamientos en edificios de mas de un piso. Pero es quizás el terremoto de 1766 el que más efectos produjo en la ciudad de entonces (Velásquez & Meyer, 1992).

Entre 1900 y 1960 la ciudad empezó (Capítulo 4) a sobrepasar los límites del Cali Viejo. Se construyeron las primeras urbanizaciones en las afueras de la ciudad, San Fernando por el Sur y Granada por el norte, y algunos barrios en el nororiente. Durante este periodo los daños documentados se concentran en el Cali Viejo en iglesias y edificios de mas de un piso.

Desde finales de la década de 1940 y especialmente a partir de los años 1960 la urbanización se extendió aceleradamente hacia los terrenos aledaños y en la década de 1980 se consolidó la ocupación de las tierras en la zona de estudio y en la llanura de inundación del Cauca, al Oriente.

En la Figura 28 se han ubicado sobre un mapa del occidente colombiano los epicentros de los sismos que han causado daños en la ciudad. Según las fuentes sísmicas los principales reportes, en su mayoría para las últimas décadas durante las cuales la ciudad no ha sufrido un sismo fuerte, son:

Causados por fallas intraplaca (fuente “1” en la Tabla 7). El terremoto del Atrato Medio del 18 de octubre de 1992, a más de 400 km de Cali, (profundidad < 20 Km), generó deslizamientos y licuación de suelos en una extensa área. El terremoto de Páez del 6 de junio de 1994, a 85 km de la ciudad (profundidad < 20 km), desencadenó múltiples deslizamientos y una avalancha de lodo y piedras que arrasó numerosas poblaciones a lo largo del río Paéz. Ambos ocasionaron daños menores en Cali, incluida la zona de estudio. La incidencia de fuentes cercanas a la ciudad es actualmente objeto de estudio a través de proyectos de investigación en curso (Meyer, 2000; Velásquez y Toro, 2000).

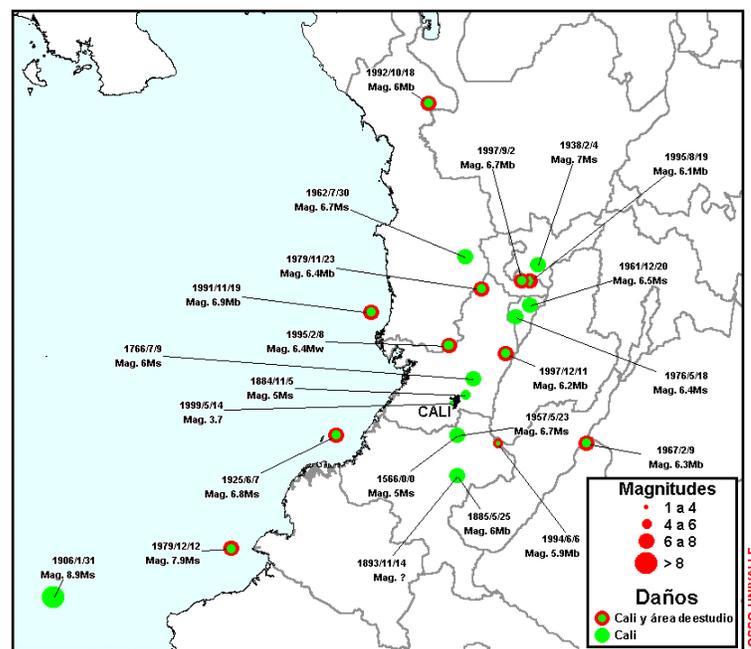


Figura 28. Mapa de localización de sismos con daños en Cali, 1566-2001.

La fuente Wadati-Benioff (fuente “3” en la Tabla 7). Aunque los eventos de esta fuente afectan a Cali, la potencia en general aumenta hacia el N del Valle, el Viejo Caldas y S de Antioquia. El sismo de 1961 ocasionó daños menores en casas y una iglesia, mientras que los de 1979 y 1995 produjeron más daños, especialmente en la zona de estudio.

Zona de Subducción (fuente “2” en la Tabla 7). De los sismos de la zona de subducción el más cercano (1925), causó daños mayores en Cali que en otras zonas. En ese año la ciudad apenas empezaba a desbordar el Cali Viejo y llama la atención el reporte para la zona de estudio (Anexo A): “Las afueras en Juanchito también se regularon pérdidas de consideración sobre todo en las cantinas. En Cañaveralejo se sintió muy fuertemente el movimiento. Allí se dañó una casa y sufrieron daños otras”. El gran terremoto de 1906 afectó los edificios altos de esa época, principalmente cúpulas y torres de iglesias. Los sismos del 1 de diciembre de 1979 y 19 de noviembre de 1991 generaron algunos daños, especialmente al sur de la ciudad.

Del grupo de fallas intraplaca (fuente “1” en la Tabla 7) sólo uno, el de 1999, ha causado daños exclusivamente en Cali, en su sector rural, pero por su baja magnitud las pérdidas, concentradas en el área epicentral, se limitaron a subsidencias (socavones de minería de carbón) y grietas en algunos muros.

Por último está el sismo del Huila de 1967, ocasionado por la actividad de fallas en el borde llanero (fuente “4” en la Tabla 7), ocasionó grietas en casas y edificios y daños en iglesias.

Tabla 7. Sismos con daños en Cali y sus fuentes sismogénicas.

ID	año:mes:día	Hora LT	Prof.	MM	Mag.	Tipo	N	W	Fuente	Dist. a Cali
1	1566	--	--	7	5	Ms	3	76.5		51
2	1672-1678	--	--	--	--	--	--	--	--	
3	1688:05:04	--	--	--	--	--	--	--	--	
5	1766:07:09	04:21	--	8	6	Ms	3.7	76.3	1	37
8	1884:11:05	23:45	--	--	5	Ms	3.5	76.4		14
9	1885:05:25	15:05	--	6	6	Ms	2.5	76.5		106
15	1893:11:14	16:15	--	--	3.5	Ms	2.5	76.5		106
19	1906:01:31	10:36	?	?	8.9	Ms	1	81.5	2	617
20	1925:06:07	18:41	170	VII-VIII	6.8	Ms	3	78	2	172
23	1938:02:04	21:23	--	VII	7	Ms	5.1	75.5	3	215
30	1957:05:23	21:37	60	VII	6.7	Ms	3	76.5		51
35	1961:12:20	08:25	176	VI, VI+	6.5	Ms	4.6	75.6	3	163
36	1962:07:30	15:18	69	VII	6.7	Ms	5.2	76.4	3	194
40	1967:02:09	10:24	36	VII	6.3	Mb	2.95	74.83	4	190
54	1976:05:18	23:07	161		5.8	Mb	4.49	75.77		139
57	1979:11:23	18:40	105	VII	6.3	Mb	4.81	76.2	3	154
58	1979:12:12	02:59	24	VI	6.4	Ms	1.6	69.36	2	371
85	1991:11:19	17:28	33		6	Mb	4.8	77.4	2	165
95	1992:10:18	15:11	10		6.6	Mb	7.07	76.86	1	407
108	1994:06:06	15:47	12		5.9	Mb	2.91	76.07	1	85
117	1995:02:08	13:40	70		6.4	Mw	4.07	76.63	3	72
122	1995:08:19	16:43	118		4.7	Mb	4.09	75.74	3	190
148	1997:09:02	07:13	203		6.7	Mb	4.02	75.72	3	185
154	1997:12:11	02:56	170		6.2	Mb	4.02	75.9	3	92
161	1999:05:14	21:02	3		3.7	Mb	3.4	76.57	1	14

Fuentes sismogénicas a partir de Meyer (2000)

Convenciones: LT = hora local, Prof.: profundidad, Mag.: magnitud, N: coordenada N
W: coordenada W, Dist. a Cali: distancia a Cali

Fuente : fuente sismogénica:

- 1 Falla cortical superficial
- 2 Zona de subducción (superficie frente al litoral pacífico)
- 3 Zona de Wadati Benioff (60-200 km, bajo el Valle del Cauca, S del Chocó y Eje Cafete)
- 4 Fallas del borde llanero, Huila aprox. 33 - 60 km

6.2.4 Daños por sismos en la zona de estudio.

A partir de 1979 todos los sismos con daños en Cali, han tenido efectos concentrados en la zona de estudio (exceptuando el último del 14 de mayo de 1999 que tuvo epicentro y daños confinados en el Corregimiento La Buitrera del área rural del municipio); afectando a diversos tipos de edificaciones, casas y edificios altos, y en éstos últimos afectando diferentes pisos.

Los parámetros principales y la fuente sismogénica asociada, de los sismos con daños en el área de estudio se incluyen en la Tabla 3. Toda la información presentada está basada en el Catálogo Macrosísmico (Anexo A).

Tabla 8. Sismos con daños en la zona de estudio y sus fuentes sismogénicas

ID	año:mes:día	Hora LT	Prof.	MM	Mag.	Tipo	N	W	Fuente	Dist. a Cali
1	1925:06:07	18:41	170	VII-VIII	6.8	Ms	3	78	2	172
2	1967:02:09	10:24	36	VII	6.3	Mb	2.95	74.83	4	190
3	1979:11:23	18:40	105	VII	6.3	Mb	4.81	76.203	3	154
4	1979:12:12	2:59	24	VI	6.4	Ms	1.598	69.355	2	371
5	1991:11:19	17:28	33		6,0	Mb	4.8	77.4	2	165
6	1992:10:18	15:11	10		6,6	Mb	7,07	76.86	1	407
7	1994:06:06	15:47	12		5,9	Mb	2.91	76.065	1	85
8	1995:02:08	13:40	70		6,4	Mw	4.069	76.633	3	72
9	1995:08:19	16:43	118		4,7	Mb	4.093	75.738	3	190
10	1997:09:02	07:13	203		6,7	Mb	4.017	75.717	3	185
11	1997:12:11	02:56	170		6,2	Mb	4.017	75.9	3	92

Convenciones: LT = hora local, Prof.: profundidad, Mag.: magnitud, N: coordenada N

W: coordenada W, Dist. a Cali: distancia a Cali

Fuente : fuente sismogénica:

- 1 Falla cortical superficial
- 2 Zona de subducción (superficie frente al Litoral Pacífico)
- 3 Zona de Wadati Benioff (60 a 200 km, bajo el Valle del Cauca, sur del Chocó y Eje Cafetero)
- 4 Fallas del borde llanero, Huila aprox. 33 - 60 km

Fuentes sismogénicas a partir de Meyer (2000)

Según el inventario de edificaciones dañadas por sismos en Cali, 1566-2001 (Anexo A, III) se puede ver que la frecuencia de efectos en la zona de estudio es mayor que en otras parte de la ciudad desde 1979 hasta la fecha; periodo en el cual no han ocurrido sismos fuertes. Para los primeros cuatro siglos hay un déficit de información detallada de edificaciones afectadas o destruidas. La localización de las edificaciones (afectadas o destruidas) se ha representado sobre en mapa de la ciudad (Figura 6) según tres periodos:

- (1) los efectos por sismos durante los 4 primeros siglos desde la fundación, efectos que naturalmente se restringen a la zona construida correspondiente con el Cali Viejo;
- (2) afectación por los sismo desde 1900 hasta 1979, y finalmente

(3) daños desde 1979 hasta la fecha; que como se puede ver se encuentran concentrados en la Zona de Estudio.

La Figura 30 corresponde a un detalle de la figura anterior para el área de estudio, donde se han incluido los nombres de las edificaciones afectadas. De la figura se observa claramente que los daños están al W de la calle novena, coincidiendo con barrios de mayor concentración de edificios altos; mientras que en la zona de estudio al E de la novena predominan casas de dos plantas y conjuntos residenciales de edificios de 4 plantas.

Un análisis de los datos de la tabla del Anexo A, III arroja que las edificaciones con daños en la zona de estudio tienen la siguiente distribución, según el número de pisos: 35% más de 10 pisos, 35% entre 5 y 10 pisos, y 30% casas o edificios de 1 a 4 pisos.

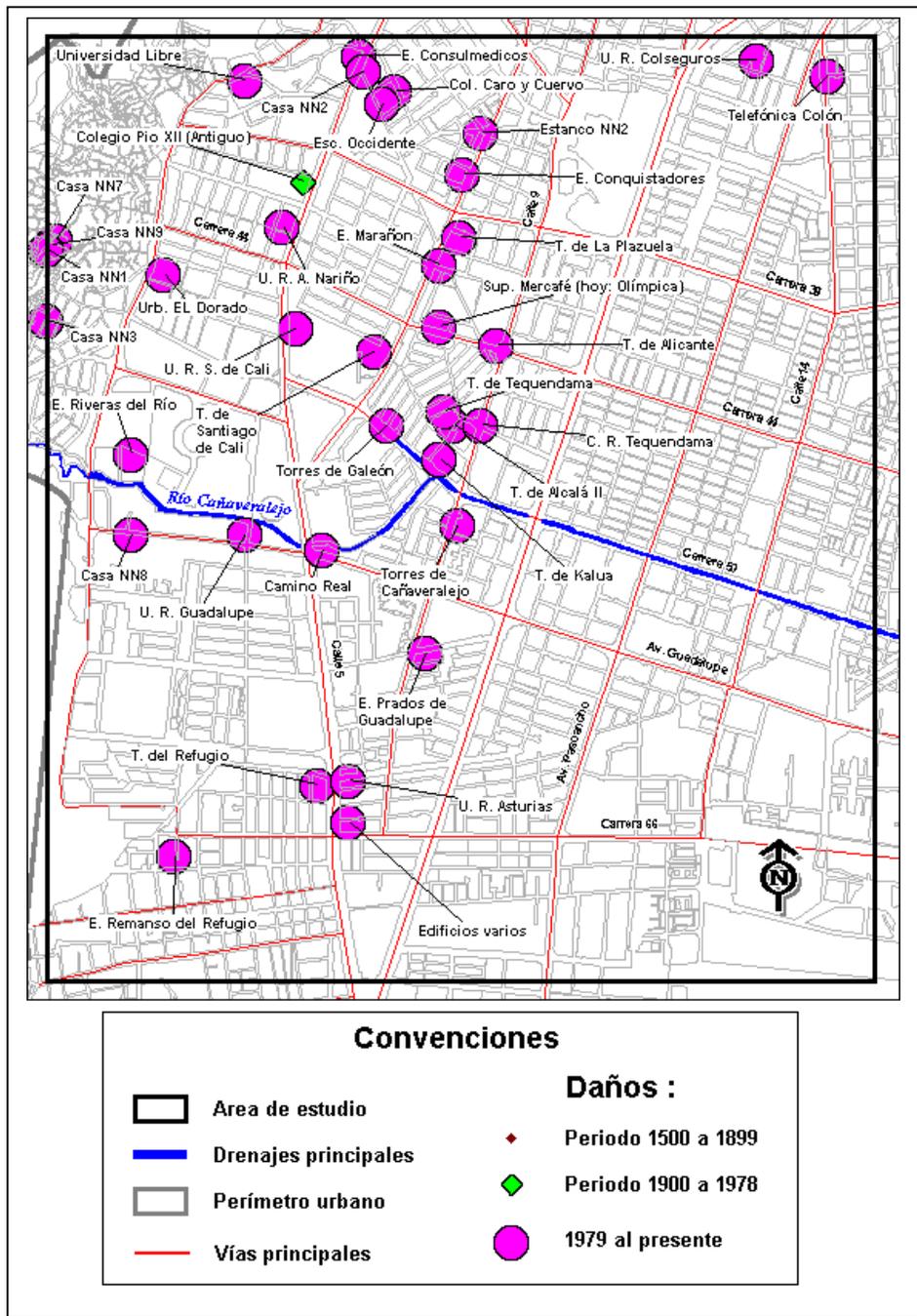


Figura 30. Distribución de daños por sismos en la Zona de Estudio.