

BASE DE DATOS DE INTENSIDADES SÍSMICAS PARA COLOMBIA Y EL OCCIDENTE DE VENEZUELA¹

Jorge A. Prieto², Carlos E. Ventura³, W. D. Liam Finn³, Alfonso M. Ramos⁴ y Felipe Prada-S⁴

Resumen: Este artículo presenta una base de datos de intensidades sísmicas recopiladas para Colombia y el Occidente de Venezuela. Esta base de datos macrosísmica está basada en la recopilación y análisis de información contenida en mapas de isosistas generada por diferentes investigadores en el Norte de Suramérica. La base de datos incluye 68 eventos sísmicos ocurridos entre 1766 y 2004. Para estos eventos, se presentan 283 pares de datos de intensidad – radio equivalente. El presente trabajo constituye la base para futuras investigaciones cuyo objetivo sea mejorar el entendimiento de la atenuación de la energía sísmica en la región.

Palabras claves: intensidades sísmicas, isosistas, sismicidad histórica.

DATABASE OF SEISMIC INTENSITIES FOR COLOMBIA AND WESTERN VENEZUELA

Abstract: This article presents an extensive database of seismic intensities compiled for Colombia and Western Venezuela. This macroseismic database is based upon the compilation and analysis of information contained in isoseismal maps produced mainly by researchers in Colombia and Venezuela. The database includes 68 earthquake events, which happened between 1766 and 2004. For these events 283 pairs of Modified Mercalli intensity points and the radii of equivalent isoseismals are presented. This work constitutes the basis for future investigations aimed at improving the understanding of the attenuation of seismic energy in the region. It is considered that the database presented may play a central role in future studies of hazard based on intensity.

Keywords: historic seismicity, isoseismals, seismic intensities.

INTRODUCCIÓN

La intensidad sísmica continúa jugando un papel significativo en varias disciplinas relacionadas con sismos. A manera de ejemplo, la sismología, análisis de riesgos y la planeación y mitigación financiera del riesgo sísmico hacen uso de la intensidad sísmica principalmente cuando los datos de redes de acelerómetros son limitados, ya sea geográficamente o en el tiempo. Aún más, los análisis de atenuación de la intensidad pueden ser muy útiles en zonas con redes de sismómetros de alta frecuencia y con número significativo de mapas de isosistas históricos. Gasperini (2001) analizó aspectos como el grado de fracturamiento de la corteza, régimen de flujo de calor y diferentes transiciones de ondas a partir de los patrones de atenuación de la intensidad en Italia. La intensidad ha sido usada también para estimar valores espectrales de aceleración en sismos históricos, tal como el sismo de San Francisco en 1906 (Boatwright et al., 2006). Recientes estudio de atenuación de la intensidad han sido desarrollados en la zona de subducción de Cascadia (Bakun et al., 2002), India (Ambraseys y Douglas, 2004), e Italia (Gasperini, 2001; Passolini et al., 2008a); Passolini et al., 2008b)). Adicionalmente, el significado práctico de la intensidad para personal no ingenieros es relevante. Oficinas de planeación y el público en general puede encontrar las medidas de intensidad más cercanas que las ordenadas espectrales de aceleración para percibir el nivel de amenaza debido su relación directa con el daño (Musson y Henni, 2001).

Uno de los principales retos en el estudio de la atenuación de la intensidad sísmica es la recopilación de una base de datos. La base de datos recopilada en este artículo incluye 68 sismos que ocurrieron principalmente en Colombia y

¹ Artículo recibido el 25 de enero de 2011 y aceptado para publicación el 3 de octubre de 2011.

² Consultor independiente, Vancouver, British Columbia, Canada. E-mail: jprieto12@hotmail.com

³ Departamento de Ingeniería Civil, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada. E-mail: ventura@civil.ubc.ca ; finn@civil.ubc.ca

⁴ Instituto Geofísico. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. E-mail: a-ramos@javeriana.edu.co; lf.pradas@javeriana.edu.co

Venezuela entre 1766 y 2004. Además se incluye en la base de datos algunos sismos adicionales ocurridos en Ecuador y Perú.

Base de Datos

Inicialmente se consultó la base de datos USGS/NEIC (<http://neic.usgs.gov/neis>. Último acceso en enero 15, 2005), delimitando una zona rectangular entre las coordenadas 12°N, 62°W y 17°S, 81.5°W, el cual ampliamente abarca Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. Se accedió las bases de datos del USGS/NEIC, que ofrecían información histórica de sismos en la región: Catálogo SISRA (1471-1981) de sismicidad de la región andina y la base de datos de sismos mundiales significativos (2150 A.C. – 1994 D.C.). Se obtuvo un listado de más de 12000 eventos; sin embargo un gran porcentaje de ellos carecían de información básica, como profundidad, magnitud, fecha, y hora de ocurrencia. La búsqueda se expandió a fuentes de información secundaria, tales como artículos en revistas, reportes técnicos y trabajos de consultoría. En el caso específico de Colombia, la primera instrumentación sísmica fue instalada por científicos jesuitas alrededor de 1920, pero sin embargo los primeros relatos relacionados con sismos datan del periodo prehispánico, mezclado con la mitología de los habitantes indígenas. Tal es el caso de los indios Guayupes, habitantes de las planicies orientales de Colombia, quienes pensaban que el dios Chibchacun había sido condenado por el dios Bochica a soportar la tierra en sus hombros. Cuando Chibchacun quería cambiar de lado la Tierra, se generaba un sismo (Ramírez, 1975a). Los conquistadores españoles llegaron a la región de Bogotá en 1538, pero las primeras descripciones de un sismo datan de 1566. Probablemente las contribuciones más relevantes a la descripción de los sismos históricos en el periodo colonial provienen de los reportes y narraciones de misioneros y se refieren especialmente a daños en las iglesias (Ramírez, 1975a; Dimaté, et al., 2005). Es importante notar el esfuerzo hecho por Ramírez (1948, 1953, 1975a, 1975b, 2004), quien fue el pionero en la recopilación de la sismicidad histórica en Colombia y desarrolló las primeras investigaciones sismológicas. Dicho esfuerzo ha sido continuado por otros importantes trabajos, entre los cuales destacamos a Sarria (1985), Espinosa (1992), Gómez (1997), Salcedo (1994), Salcedo and Gómez (2000), Briceño (2004) y Dimaté et al. (2005), entre otros.

Para sismos en Venezuela, Ecuador y Perú, los trabajos desarrollados por MasVall (1950), Fiedler (1961), Villacis et al. (1994), Grases and Rodríguez (2001), Rodríguez y Audemard (2001), Ccallo (2002), Escobar and Rengifo (2003), Saragoni et al. (2004), se tomaron en cuenta, particularmente los mapas de isosistas dibujados o referenciados por estos autores. Un gran número de mapas de isosistas fueron procesados por Sarria (1985), cuyo punto de partida fue la recopilación histórica realizada por Ramírez (1975a). Los eventos históricos recopilados por Ramírez (1975a) fueron incorporados en una base de datos corregida y extendida en la que los sismos fueron localizados geográficamente y correlacionados con los sistemas principales de fallas. En 1982 se concluyó el catálogo sísmico para Colombia, como parte del proyecto SISRA patrocinado por el Centro Regional de Sismología para Sur América (CERESIS). El catálogo contenía 4784 sismos, de los cuales 999 eventos era históricos y 3782 instrumentales. Sarria (1985) menciona que la confiabilidad de los sismos recopilados en el catálogo no es tan alta como se desearía debido a que cerca de 2000 eventos fueron registrados en 5 o menos estaciones. Sin embargo es importante mencionar que en aquel tiempo Colombia solo tenía 7 estaciones sismológicas y 10 acelerométricas. En el marco del proyecto SISRA, se recolectó información sobre efectos de 132 sismos históricos de periódicos locales, crónicas históricas y en algunos casos de entrevistas con testigos. De los 132 sismos, solamente 19 eventos presentaron suficiente información en términos de calidad y cantidad que permitieron esquematizar mapas de isosistas. Salcedo y Gómez (2000) complementaron esta base de datos obteniendo 34 mapas de isosistas. El criterio para la selección de los eventos y sus correspondientes mapas fue escoger aquellos cuya magnitud fuera igual o mayor a 5, con una excepción, o eventos donde la menor intensidad fuera mayor a V. Las magnitudes fueron tomadas de la base de datos del CERESIS, la cual es una de las más confiables para la región. Sismos recientes han resultado en mapas de isosistas de alta calidad basados en entrevistas no solamente a personas en las áreas más golpeadas por los eventos, sino también en regiones donde los eventos se sintieron débilmente. Se recopilieron datos de un total de 68 sismos, ya sea por la disponibilidad de los mapas de isosistas o por la información procesada (áreas de isosistas). A pesar que Colombia y el Occidente de Venezuela son zonas propensas a sismos, no se ha adoptado una escala de intensidad formal que considere las condiciones culturales, estructurales y geológicas de estos países (Salcedo y Gómez, 2000). Por lo tanto, cada investigador selecciona la escala de su preferencia para evaluar y dibujar mapas de isosistas de acuerdo a su experiencia y buen juicio.

La gran mayoría de los mapas recolectados para el presente estudio fueron originalmente dibujados en la escala de Mercalli Modificada (MMI). Alrededor del 13% de los datos originales fueron representados en otras escalas, como R-F (Rossi-Forel), MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik), y EMS-92 (Escala Macrosísmica Europea). Se observó en muchos casos que los investigadores tomaron los mapas con escalas de intensidad diferente a MMI y posteriormente la convirtieron. Este procedimiento se puede implementar fácilmente cuando las diferencias entre los grados de las escalas de intensidad (la escala original y la deseada) no son significativas.

Sin embargo, cuando hay mapas de isosistas cuyos contornos pueden ser agrupados o divididos para obtener una isosista equivalente (por ejemplo cuando una isosista X de un mapa dibujado originalmente en la escala R-F debe convertirse en un isosista en la escala MMI), los investigadores deben acceder a la información primaria origen de las isosistas (entrevistas, periódicos, artículos, entrevistas, etc.) De esta manera sería posible re-evaluar en una forma más precisa los efectos reportados del sismo a la luz de la escala deseada. Para el caso del presente estudio, información de tipo primaria no estuvo disponible.

El mapa del área de estudio y la localización de los 68 eventos se muestra en la Figura 1 y la lista de dichos sismos, junto con las principales características se presenta en la Tabla 1.

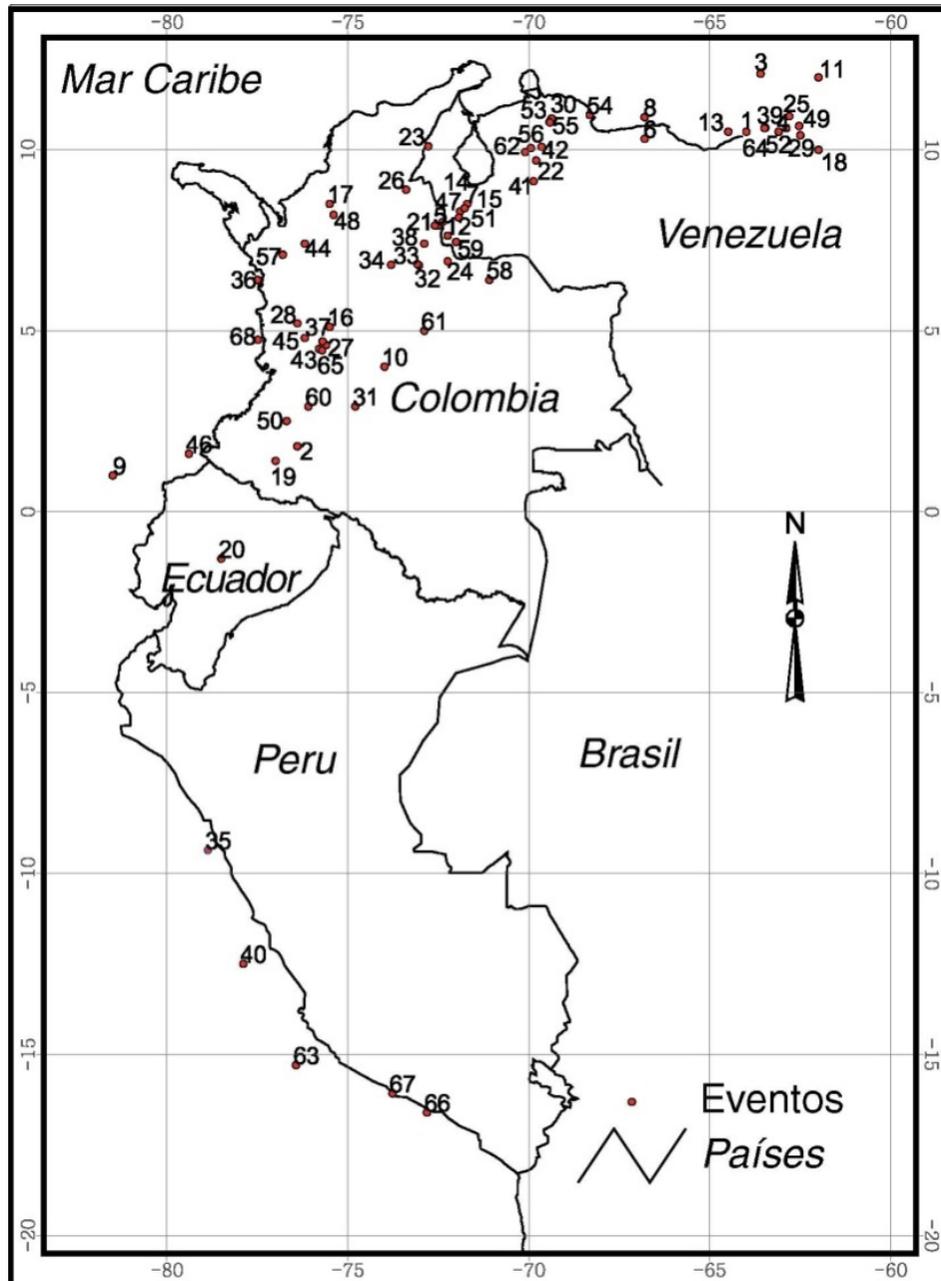


Figura 1: Área de estudio con la localización de los eventos enumerados en la Tabla 1.

Tabla1: Sismos seleccionados para la base de datos.

No.	Fecha	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (km)	M	Tipo de magnitud	Io	Escala	No. Isosistas	Referencia
1	21/10/1766	10.5	-64.0	Superficial	7.8-8.0	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
2	16/11/1827	1.9	-75.8	36	6.2	Mb	IX	MSK.	4	Espinosa (1994), Gómez (1997)
3	15/07/1853	12.1	-63.6	Superficial	6.8-7.0	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
4	10/08/1874	10.5	-63.1	Superficial	6.1-6.3	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
5	18/05/1875	8.0	-72.5	6	6.3	Mb	XI	MM	7	Ramírez (1975b), Marin & Castillo (2000)
6	12/04/1878	10.3	-66.8	Superficial	6.4-6.5	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
7	29/04/1894	8.6	-71.6	20	6.2	Mb	X	MCS	6	Marin & Castillo (2000)
8`	29/10/1900	10.9	-66.8	Superficial	7.8	Ms	VIII	MM	2	Grases & Rodríguez (2001)
9	31/01/1906	1.5	-78.5	19	7.4	Mb	X	MSK.	8	Espinosa (1992)
10	31/08/1917	4.3	-74.0	47	6.3	Mb	VIII	MSK.	4	Espinosa (1994), Gómez (1997)
11	24/02/1918	12.0	-62.0	Superficial	6.2	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
12	10/07/1919	7.62	-72.25	Superficial	5.3	ML	VII	MM	2	Escobar & Rengifo (2003)
13	17/01/1929	10.5	-64.5	Superficial	6.3	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
14	14/03/1932	8.1	-71.8	48	6.1	Mb	VIII	MM	6	Fiedler (1961) – Marin & Castillo (2000)
15	04/11/1933	8.38	-71.78	30	5.8	ML	VI+	MM	2	Escobar & Rengifo (2003)
16	05/02/1938	5.3	-75.7	69	6.2	Mb	VIII	R-F	3	Ramirez (1938)

Continuación - Tabla1: Sismos seleccionados para la base de datos.

No.	Fecha	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (km)	M	Tipo de magnitud	Io	Escala	No. Isosistas	Referencia
17	26/12/1942	9.1	-75.8	2	5.9	Mb	VIII	MM	3	Woodward-Clyde (1981), Marin & Castillo (2000)
18	23/12/1945	10.0	-62.0	Superficial	6.5	Ms	VII	MM	3	Grases & Rodríguez (2001)
19	14/07/1947	1.3	-77.3	18	5.5	Mb	IX	R-F	4	Ramírez (1948), Gómez (1997)
20	05/08/1949	-1.3	-78.5	60	6.8	Ms	XII	MM	9	Ramírez (1949)
21	09/07/1950	7.6	-72.8	18	6.2	Mb	X	MM	10	Ramírez (1953), Marin & Castillo (2000)
22	03/08/1950	9.6	-69.9	27	6.1	Mb	X	MCS	6	Mas Vall (1950), Gómez (1997)
23	04/12/1954	10.09	-72.79	Superficial	6.7	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
24	21/04/1957	7.1	-72.5	106	6.6	Mb	VIII	MM	4	Sarria (1985), Marin & Castillo (2000)
25	04/10/1957	10.6	-63.5	Superficial	6.7	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
26	16/06/1961	8.9	-73.3	36	6.2	Mb	VIII	MM	4	Sarria (1985), Marin & Castillo (2000)
27	20/12/1961	4.6	-75.6	86	6.9	Mb	IX	MM	4	Sarria (1985), Gómez (1997)
28	30/07/1962	4.8	-76.1	78	6.9	Mb	VIII	MM	5	Sarria (1985), Gómez (1997)
29	14/07/1963	7.0	-73.2	Superficial	4.2	Ms	VI	MM	2	Grases & Rodríguez (2001)

Continuación - Tabla1: Sismos seleccionados para la base de datos.

No.	Fecha	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (km)	M	Tipo de magnitud	Io	Escala	No. Isosistas	Referencia
30	09/09/1966	11.78	-68.55	Superficial	5.4	Ms	VI	MM	2	Grases & Rodríguez (2001)
31	09/02/1967	2.6	-75.0	63	6.3	Mb	IX	MM	3	Sarria (1985), Gómez (1997)
32	21/03/1967	6.7	-73.1	41	5.4	Mb	V	MM	3	Sarria (1985), Marin & Castillo (2000)
33	29/07/1967	6.4	-73.8	106	6.2	Mb	VIII	MM	5	Sarria (1985), Marin & Castillo (2000)
34	07/05/1968	7.2	-72.6	70	5.7	Mb	VII	MM	3	Sarria (1985), Marin & Castillo (2000)
35	31/05/1970	-9.36	-78.87	64	6.4 - 7.8 - 7.9	mb - Ms -Mw	VIII	MM	5	Ccallo (2002)
36	26/09/1970	6.5	-77.8	6	6.1	Mb	VIII	MM	5	Sarria (1985)
37	03/04/1973	4.8	-75.6	63	6.2	Mb	VII	MM	3	Sarria (1985), Gómez (1997)
38	30/08/1973	7.4	-72.9	55	5.7	Mb	VIII	MM	5	Sarria (1985), Marin & Castillo (2000)
39	12/06/1974	10.61	-63.47	Superficial	6.1	Ms	VI	MM	1	Grases & Rodríguez (2001)
40	03/10/1974	-12.5	-77.9	21	6.2 - 7.8 - 8.1	mb - Ms -Mw	VIII	MM	5	Ccallo (2002)
41	05/03/1975	9.13	-69.87	Superficial	5.6	Ms	VII	MM	3	Grases & Rodríguez (2001)
42	05/04/1975	10.08	-69.65	Superficial	5.7	Ms	VI	MM	2	Grases & Rodríguez (2001)
43	19/05/1976	4.8	-75.9	107	5.9	Mb	VII	MM	3	Sarria (1985)
44	31/08/1977	7.6	-76.0	48	5.7	Mb	VIII	MM	3	Sarria (1985)

Continuación - Tabla1: Sismos seleccionados para la base de datos.

No.	Fecha	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (km)	M	Tipo de magnitud	Io	Escala	No. Isosistas	Referencia
45	23/11/1979	5.0	-76.3	99	6.4	Mb	IX	MM	7	Sarria (1985), Gómez (1997)
46	12/12/1979	2.2	-78.5	22	6.4	Mb	IX	MM	6	Sarria (1985)
47	26/11/1980	7.9	-72.5	29	5	Mb	V	MM	3	Sarria (1985), Marin & Castillo (2000)
48	18/10/1981	8.0	-72.3	29	5.5	Mb	VIII	MM	5	Sarria (1985), Marin & Castillo (2000)
49	09/05/1982	10.66	-62.53	97	5.3	Ms	V	MM	1	Grases & Rodríguez (2001)
50	31/03/1983	2.6	-76.7	10	5.5	Mb	VIII	MM	4	Meyer <i>et al.</i> (1986), Gómez (1997)
51	15/06/1983	8.12	-71.94	Superficial	5	Ms	VI	MM	2	Grases & Rodríguez (2001)
52	11/06/1986	10.6	-62.9	34	5.8	Ms	VII	MM	2	Grases & Rodríguez (2001)
53	18/07/1986	10.77	-69.43	Superficial	6.2	Ms	VI	MM	1	Grases & Rodríguez (2001)
54	30/04/1989	10.96	-68.32	Superficial	5.9	Ms	VII	MM	3	Grases & Rodríguez (2001)
55	24/11/1990	10.76	-69.42	Superficial	4.2	Ms	VI	MM	2	Grases & Rodríguez (2001)
56	17/08/1991	10.05	-69.95	Superficial	5.3	Ms	VII	MM	3	Grases & Rodríguez (2001)
57	18/10/1992	7.0	-76.6	21	6.4	Mb	X	MM	5	Coral & Salcedo (1992)
58	21/07/1993	6.3	-71.1	27	6.1	Mb	VIII	MM	4	Romero <i>et al</i> (1994), Gómez (1997)
59	31/05/1994	7.45	-72.01	7	6.3	Mw	V	MM	2	Escobar & Rengifo (2003)

Continuación – Tabla 1: Sismos seleccionados para la base de datos.

No.	Fecha	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (km)	M	Tipo de magnitud	Io	Escala	No. Isosistas	Referencia
60	06/06/1994	2.7	-76.1	9	6.4	Mb	X	MM	9	Salcedo (1994), Marin & Castillo (2000)
61	19/01/1995	4.8	-73.2	22	6.4	Mb	IX	EMS-92	5	Pulido & Tapias (1995), Gómez (1997)
62	29/12/1995	9.94	-70.11	33	5.7	Mw	VII	MM	7	Grases & Rodríguez (2001)
63	12/11/1996	-15.3	-76.44	33	6.5 - 7.5 - 7.7	mb - Ms -Mw	VII	MM	6	Ccallo (2002)
64	09/07/1997	10.6	-63.49	Superficial	6.8	Ms	VIII	MM	4	Grases & Rodríguez (2001)
65	25/01/1999	4.46	-75.72	Superficial	5.9	Mb	VIII	MM	6	Briceno (2004)
66	03/04/1999	-16.61	-72.82	93	6.0 - 6.4 - 6.6	mb - Ms -Mw	VI	MM	4	Ccallo (2002)
67	23/06/2001	-16.08	-73.77	33	6.9 - 7.9 - 8.2	mb - Ms -Mw	VIII	MM	7	Ccallo (2002)
68	15/11/2004	4.75	-77.49	27	7.2	Mw	VIII-IX	MSK.	4	OSSO (2004)

Un total de 45 mapas de isosistas fueron escaneados y digitalizados en un sistema CAD. En la Figura 2 se presentan ejemplos de los mapas de isosistas para algunos de los eventos más importantes en el último siglo.

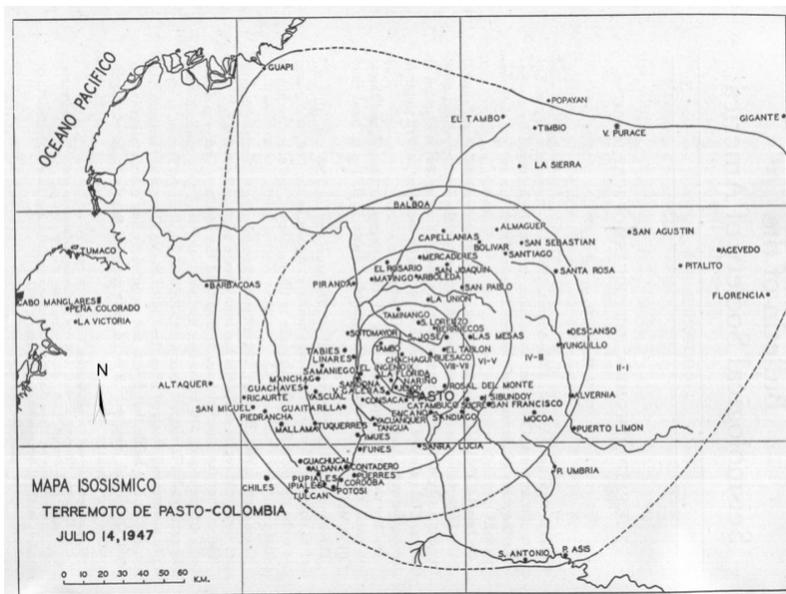


Figure 2a: Mapa de isosistas para el evento de Pasto 14/07/1947 (Ramírez, 1948).



Figura 2b: Mapas de isosistas para el evento de Tumaco 31/01/1906 (Espinosa, 1992).



Figure 2c: Mapa de isosistas para el evento del Quindío 25/01/1999 (Briceño, 2004).

Ambraseys and Douglas (2004) analizaron ecuaciones para magnitud en términos de intensidad y distancias para el norte de India y el sur de la región del Tíbet. Ellos compararon las ecuaciones resultantes en función de radios de isosistas equivalente contra datos puntuales de intensidad y concluyen que las ecuaciones basadas en puntos individuales de intensidad estaban desviadas debido a la falta de información detallada de las áreas escasamente habitadas o para los sismos con epicentros fuera de la costa. Si se usan radios equivalentes, se observan distribuciones más uniformes a diferentes magnitudes. Por lo tanto, ellos recomendaron usar radios equivalentes en lugar de intensidades puntuales cuando se desarrollan ecuaciones de atenuación. En el presente trabajo se calculó para cada uno de los contornos de los mapas de isosistas el área equivalente al círculo y de acá se obtiene el radio de isosista equivalente, siguiendo el procedimiento propuesto por Ambraseys y Douglas (2004). Para contornos abiertos, el radio de la isosista se puede aproximar promediando los radios medidos a un número de puntos igualmente espaciados en ángulo (5 grados) alrededor del contorno (Figura 3 - Derecha). En caso que los contornos sean cerrados, el radio se derivó de su área, suponiendo una forma circular (Figura 3 - Izquierda). La Figura 4 muestra las isosistas originales y los radios equivalentes de isosistas para el sismo del Quindío del 25 de Enero de 1999.

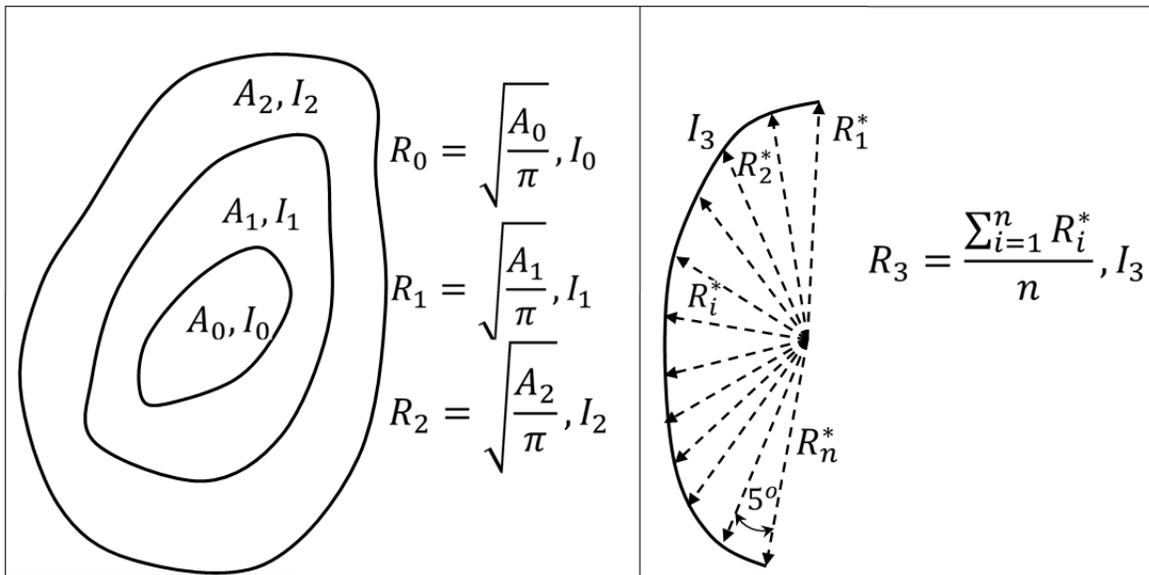


Figura 3: Esquema para calcular el radio equivalente de isosista. Izquierda: Isosista con contorno cerrado. Derecha: Isosista con contorno abierto.

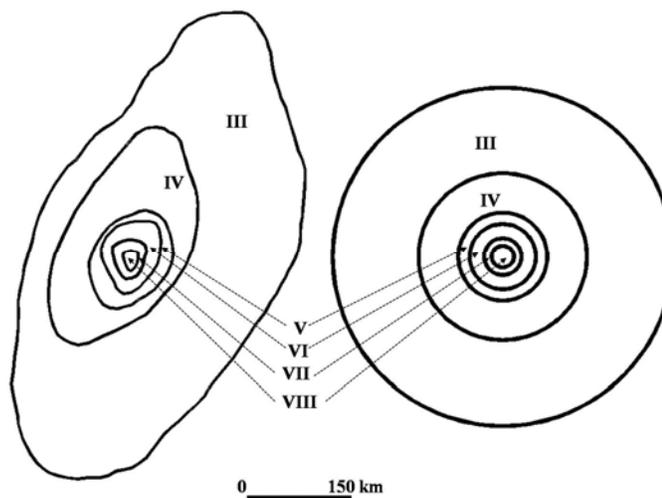


Figura 4: Isosista original y radio equivalente de isosista para el sismo del Quindío -25/01/1999.

En total se obtuvieron 283 áreas y radios equivalentes provenientes de las isosistas procesadas. Los datos de isosistas constituyen la información básica para desarrollar ecuaciones de atenuación o estimaciones de la distribución de la intensidad en la región norte de Suramérica. En un estudio complementario (Prieto et al., 2011) se presenta el análisis de la presente base de datos de isosistas para sismos superficiales y para sismos de subducción.

La Tabla 2 presenta un resumen de la base de datos. Cada uno de los 68 sismos recopilados está descrito en términos de su nivel de intensidad, el radio de isosista equivalente R, la intensidad epicentral I_0 y la diferencia de intensidades $I - I_0$.

Tabla 2: Base de datos de radios equivalentes e intensidades.

Número del sismo	Fecha	Intensidad (IMM)	Radio equivalente de isosista (km)	Intensidad máxima ($I_{max}=I_0$)	Diferencia entre intensidades ($I-I_0$)
1	21/10/1766	VIII	126.2	VIII	0
		VII	309.0		-1
		VI	429.7		-2
		V	578.1		3
2	16/11/1827	IX	14.07	IX	0
		VIII	41.53		-1
		VII	175.78		-2
3	15/07/1853	VI	370.12	VIII	-3
		VIII	34.1		0
		VII	57.6		-1
4	10/08/1874	VI	133.9	VIII	-2
		V	194.9		-3
		VIII	9.7		0
5	18/05/1875	VII	26.9	XI	-1
		VI	55.7		-2
		V	75.0		-3
		XI	3.2		0
		X	7.8		-1
		IX	15.8		-2
6	12/04/1878	VIII	28.8	VIII	-3
		VII	50.9		-4
		VI	86.3		-5
		V	121.48		-6
		VIII	18.0		0
7	28/04/1894	VII	32.1	VIII	-1
		VI	71.5		-2
		V	90.7		-3
		VIII	60.8		0
8	29/10/1900	VII	107.7	VIII	-1
		VI	153.5		-2
		V	188.4		-3
9	31/01/1906	VIII	107.6	X	0
		VII	236.0		-1
		X	55.7		0
		IX	76.1		-1
		VIII	187.5		-2
		VII	213.65		-3
		VI	320.66		-4
V	401.6	-5			
IV	409.23	-6			
III	457.22	-7			

Continuación - Tabla 2: Base de datos de radios equivalentes e intensidades.

Número del sismo	Fecha	Intensidad (IMM)	Radio equivalente de isosista (km)	Intensidad máxima (Imax=Io)	Diferencia entre intensidades (I-Io)
10	31/08/1917	VIII	49.2	VIII	0
		VII	106.4		-1
		VI	184.47		-2
		V	256.27		-3
11	24/02/1918	VIII	48.5	VIII	0
		VII	91.9		-1
		VI	146.7		-2
		V	216.9		-3
12	10/07/1919	VI	38.8	VII	-1
		V	76.41		-2
13	17/01/1929	VIII	5.1	VIII	0
		VII	59.6		-1
		VI	99.0		-2
		V	162.0		-3
14	14/03/1932	VIII	40.5	VIII	0
		VII	95.4		-1
		VI	173.53		-2
		V	314.89		-3
		IV	481.87		-4
15	14/11/1933	V	78.3	VI	-1
		IV	299.28		-2
16	05/02/1938	VIII	56.6	VIII	0
		VII	91.1		-1
		VI	146.9		-2
17	26/12/1942	VIII	28.55	VIII	0
		VII	52.17		-1
		VI	65.26		-2
18	23/12/1945	VII	35.5	VII	0
		VI	91.9		-1
		V	193.3		-2
19	14/07/1947	VIII	14.8	VIII	0
		VII	27.1		-1
		VI	49.7		-2
		V	76.5		-3
20	05/08/1949	IV	127.6	XII	-4
		XII	3.0		0
		XI	5.7		-1
		X	7.8		-2
		IX	10.0		-3
		VIII	15.3		-4
		VII	19.3		-5
VI	24.5	-6			
V	33.2	-7			
IV	54.6	-8			

Continuación - Tabla 2: Base de datos de radios equivalentes e intensidades.

Número del sismo	Fecha	Intensidad (IMM)	Radio equivalente de isosista (km)	Intensidad máxima (Imax=Io)	Diferencia entre intensidades (I-Io)
21	09/07/1950	X	2.9	X	0
		IX	6.9		-1
		VIII	13.2		-2
		VII	22.2		-3
		VI	33.3		-4
		V	51.1		-5
		IV	87.2		-6
		III	121.8		-7
		I	329.43		-9
22	03/08/1950	IX	34.9	X	-1
		VIII	47.2		-2
		VII	80.5		-3
		V	136.5		-5
		IV	304.8		-6
		III	648.61		-7
23	04/12/1954	VIII	38.8	VIII	0
		VII	69.9		-1
		VI	157.0		-2
		V	204.1		-3
24	21/04/1957	VIII	70.4	VIII	0
		VII	150.9		-1
		VI	196.06		-2
		V	355.45		-3
25	04/10/1957	VIII	33.3	VIII	0
		VII	54.4		-1
		VI	117.3		-2
		V	179.3		-3
26	16/06/1961	VIII	29.6	VIII	0
		VII	53.0		-1
		VI	143.5		-2
		V	284.2		-3
27	20/12/1961	IX	24.2	IX	0
		VIII	75.9		-1
		VII	121.1		-2
		VI	166.0		-3
28	30/07/1962	VIII	89.8	VIII	0
		VII	154.7		-1
		VI	202.4		-2
		V	266.65		-3
		IV	338.72		-4
		III	471.52		-5
29	14/07/1963	VI	39.1	VI	0
		V	58.2		-1
30	09/09/1966	VI	7.5	VI	0
		V	22.8		-1

Continuación - Tabla 2: Base de datos de radios equivalentes e intensidades.

Número del sismo	Fecha	Intensidad (IMM)	Radio equivalente de isosista (km)	Intensidad máxima (Imax=Io)	Diferencia entre intensidades (I-Io)			
31	09/02/1967	IX	41.9	IX	0			
		VIII	92.1		-1			
		VII	155.9		-2			
		VI	219.46		-3			
		V	284.94		-4			
32	21/03/1967	IV	387.86	V	-5			
		V	36.9		0			
		IV	113.1		-1			
		III	272.51		-2			
		33	29/07/1967		VIII	70.5	VIII	0
VII	126.5			-1				
VI	192.3			-2				
V	270.78			-3				
IV	382.07			-4				
III	424.94			-5				
34	07/05/1968	II	546.6	VII	-6			
		VII	47.4		0			
		VI	100.1		-1			
		V	170.6		-2			
		IV	329.27		-3			
35	31/05/1970	III	516.7	VIII	-4			
		VIII	103.36		0			
		VII	149.41		-1			
		VI	225.15		-2			
		V	331.09		-3			
36	26/09/1970	IV	447.82	VIII	-4			
		VIII	55.58		0			
		VI	145.55		-2			
		V	205.01		-3			
		IV	283.09		-4			
37	03/04/1973	II	518.81	VII	-6			
		VII	27.2		-1			
		VI	79.8		-2			
		V	138.0		-3			
		IV	189.11		-4			
38	30/08/1973	III	291.87	VIII	-5			
		VIII	48.4		0			
		VII	98.9		-1			
		VI	158.55		-2			
		V	250.6		-3			
39	12/06/1974	IV	383.6	VI	-4			
		VI	51.1		0			
		40	03/10/1974		VIII	173.6	VIII	0
					VII	201.56		-1
					VI	220.74		-2
V	264.34			-3				
41	05/03/1975	IV	305.75	VII	-4			
		VII	8.2		0			
		VI	32.2		-1			
42	05/04/1975	V	48.5	VI	-2			
		VI	39.9		0			
		V	79.8		-1			

Continuación - Tabla 2: Base de datos de radios equivalentes e intensidades.

Número del sismo	Fecha	Intensidad (IMM)	Radio equivalente de isosista (km)	Intensidad máxima (Imax=Io)	Diferencia entre intensidades (I-Io)	
43	19/05/1976	VII	45.9	VII	0	
		VI	137.8		-2	
		V	268.64		-3	
44	31/08/1977	VII	77.0	VIII	-1	
		VI	117.7		-2	
		V	203.3		-3	
45	12/12/1979	IX	17.3	IX	0	
		VIII	64.17		-1	
		VII	155.77		-2	
		VI	218.77		-3	
		V	323.31		-4	
46	23/11/1979	IV	459.87		-5	
		IX	36.4		IX	0
		VIII	111.1			-1
		VII	136.96			-2
		VI	176.91			-3
		V	261.95			-4
		IV	345.24			-5
III	454.85		-6			
II	581.93		-7			
47	26/11/1980	V	28.9	V	0	
		IV	46.2		-1	
		III	81.3		-2	
48	18/10/1981	VII	20.2	VIII	-1	
		VI	51.1		-2	
		V	110.7		-3	
		IV	172.5		-4	
		III	346.73		-5	
49	09/05/1982	V	33.7	V	0	
50	31/03/1983	VII	16.4	VIII	-1	
		VI	25.3		-2	
		V	38.1		-3	
		IV	47.87		-4	
		III	106.75		-5	
51	15/06/1983	VI	41.6	VI	0	
		V	69.3		-1	
52	11/06/1986	VII	7.4	VII	0	
		V	60.9		-2	
53	18/07/1986	VI	69.8	VI	0	
54	30/04/1989	VII	22.6	VII	0	
		VI	45.5		-1	
		V	78.0		-2	
55	24/11/1990	VI	3.8	VI	0	
		V	14.9		-1	
56	17/08/1991	VII	3.2	VII	0	
		VI	21.7		-1	
		V	33.8		-2	
57	18/10/1992	X	13.5	X	0	
		IX	45.6		-1	
		VIII	81.5		-2	
		VII	113.05		-3	
		VI	236.09		-4	

Continuación - Tabla 2: Base de datos de radios equivalentes e intensidades.

Número del sismo	Fecha	Intensidad (IMM)	Radio equivalente de isosista (km)	Intensidad máxima (Imax=Io)	Diferencia entre intensidades (I-Io)
58	21/07/1993	VIII	25.8	VIII	0
		VII	54.9		-1
		VI	99.91		-2
		V	162.54		-3
		IV	242.84		-4
		III	292.2		-5
59	31/05/1994	II	351.86	V	-6
		V	31.8		0
60	06/06/1994	IV	83.72	X	-1
		X	28.2		0
		IX	38.8		-1
		VIII	50.1		-2
		VII	68.6		-3
		VI	85.6		-4
		V	155.7		-5
IV	189.5	-6			
61	19/01/1995	III	296.6	IX	-7
		IX	11.2		0
		VIII	44.3		-1
		VII	70.4		-2
		VI	114.5		-3
		V	169.39		-4
62	29/12/1995	IV	299.73	VII	-5
		III	382.28		-6
		VII	12.4		0
		VI	26.3		-1
		V	51.3		-2
		IV	80.9		-3
		III	89.27		-4
II	107.55	-5			
63	12/11/1996	I	133.97	VII	-6
		VII	56.64		0
		VI	119.7		-1
		V	233.72		-2
		IV	303.27		-3
		III	394.67		-4
64	09/07/1997	II	532.85	VIII	-5
		VIII	8.9		0
		VII	19.4		-1
		VI	44.8		-2
65	25/01/1999	V	83.0	VIII	-3
		VIII	13.7		0
		VII	24.6		-1
		VI	45.4		-2
		V	61.9		-3
		IV	119.2		-4
66	03/04/1999	III	243.4	VI	-5
		VI	100.94		0
		V	155.79		-1
		IV	207.48		-2
		III	262.84		-3

Continuación - Tabla 2: Base de datos de radios equivalentes e intensidades.

Número del sismo	Fecha	Intensidad (IMM)	Radio equivalente de isosista (km)	Intensidad máxima (Imax=Io)	Diferencia entre intensidades (I-Io)
67	23/06/2001	VIII	43.41	VIII	0
		VII	117.04		-1
		VI	191.79		-2
		V	287.15		-3
		IV	447.4		-4
		III	481.42		-5
68	15/11/2004	II	612.55		-6
		VIII		VIII	0
		V	176.57		-3
		IV	255.23		-4
		III	322.55		-5

La totalidad de la base de datos en el espacio (I-I₀, R) se presenta en la Figura 5, ya que la mayor cantidad de datos se concentran en diferencias de intensidades hasta -6.

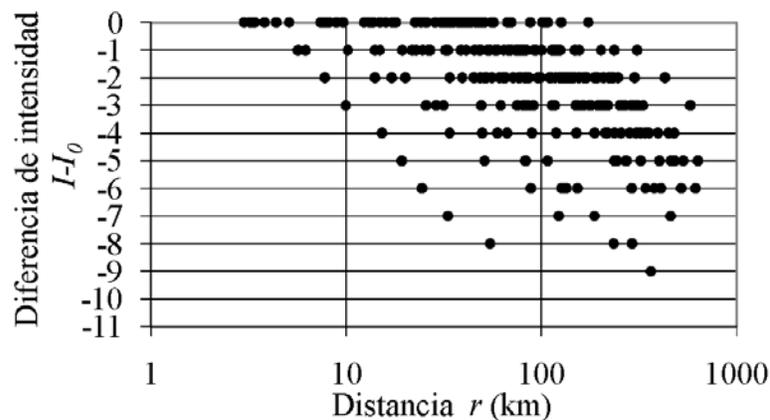


Figura 5: Diferencia entre intensidad epicentral e intensidad local como una función del radio de isosista equivalente para la base de datos de la Tabla 2.

COMENTARIOS FINALES

Este estudio es un intento por proveer una base de datos de intensidades sísmicas para sismos en Colombia y en el Occidente de Venezuela. Se espera que la base de datos provea algunos insumos válidos para el avance en el entendimiento de la atenuación de la intensidad sísmica en la parte norte de Suramérica. En un estudio complementario (Prieto et al., 2011) se muestra la utilización de estos datos en el desarrollo de estudios convencionales de atenuación de intensidad y de un método alternativo para generar valores de amenaza.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Anselm Smolka y a Mauricio Rodríguez por su continuo interés y ayuda. Además quisiéramos agradecer al Dr. John Douglas por proveer importantes referencias y valiosos comentarios. Agradecemos a los miembros del Earthquake Engineering Research Facility en el Departamento de Ingeniería Civil de University of British Columbia (Canadá) por el apoyo logístico. El presente trabajo se desarrolló bajo el Proyecto No 00113 de la Pontificia Universidad Javeriana Bogotá - Colombia.

La base de datos de las intensidades sísmicas se soporta fuertemente en estudios fundamentales de muchos investigadores en Colombia y Venezuela, especialmente Jesús E. Ramírez, Alberto Sarria y José Grasses realizados por muchos años con recursos limitados. Los autores agradecen especialmente a todos ellos.

REFERENCIAS

- Ambraseys, N. N., y Douglas, J. (2004). "Magnitude calibration of north Indian earthquakes", *Geophysical Journal International*, Vol. 159, pp. 165-206.
- Bakun, W. H., Haugerud, R. A., Hopper, M. G. y Ludwin, R. S. (2002). "The December 1872 Washington State earthquake", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 92, pp. 3239-3258.
- Boatwright, J., Bundock, H., y Seekins, L. (2006). "Using Modified Mercalli Intensities to estimate acceleration response spectra for the 1906 San Francisco earthquake", *Earthquake Spectra*. Vol. 22, No. S2, pp. 279-S295.
- Briceño, L.A. (2004). "Isosistas del sismo del Quindío (25/01/1999)", Comunicación personal.
- Ccallo, F. J. (2002). "Estimación de Mw a partir de isosistas de intensidad máxima para sismos de subducción ocurridos en Perú Compendio de trabajos de investigación", CNDG - Biblioteca Instituto Geofísico del Perú. 3, pp. 59-70.
- Coral, C., y E. Salcedo (1992). "Mapa preliminar de isosistas del terremoto del 18 de octubre de 1982", Reporte interno, Ingeominas, Bogotá, Colombia.
- Dimaté, C., Rivera, L. y Cisternas, A. (2005). "Re-visiting large historical earthquakes in the Colombian Eastern Cordillera", *Journal of Seismology*, Vol. 9, pp. 1-22.
- Escobar, A., y Rengifo, M. (2003). "Reevaluación de dos sismos históricos en las inmediaciones de La Grita y Zea", *Revista Geográfica Venezolana*. Vol. 44, No. 2, pp. 219-245.
- Escobar, A., y M. Rengifo (2003). "El sismo del 10 de julio de 1919", *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 44, No. 1, pp. 97-106.
- Espinosa, A. (1992). "Sismicidad histórica y reciente del área de Popayán", en "Microzonificación sismogeotécnica de Popayán", Comunidad Económica Europea-Ingeominas, Bogotá, Colombia, pp. 7-28.
- Espinosa, A. (1994). "Sismicidad histórica de Santafé de Bogotá y su área, 1500-1994, en "Microzonificación sísmica de Bogotá", *Ingeominas*, Bogotá, Colombia, 39 p.
- Fiedler, G. (1961). "Áreas afectadas por terremotos en Venezuela", *Memorias del Tercer Congreso Venezolano de Geología*, Vol. 4, pp. 1791-1814.
- Gasperini, P. (2001). "The attenuation of seismic intensity in Italy: a bilinear shape indicates the dominance of deep phases at epicentral distances longer than 45 km", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 91, pp. 826-841.
- Geophysical Institute – Javeriana University (2004). "Informe de inspección ocular. Sismo de Pizarro del 15 de noviembre de 2004. Intensidades sísmicas para la zona urbana del municipio de Cali (Valle)", Colombia, 46 p. Reporte interno disponible en: <http://fing.javeriana.edu.co/geofisico/ARCHIVOS/visita15Nov04.pdf>
- Gómez, A. A. (1997). "Atenuación de la intensidad sísmica para el territorio colombiano", Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gómez, A. A., y Salcedo, E. (2002). "Leyes de atenuación de la intensidad macrosísmica en Colombia", en *Memorias del Primer Simposio Colombiano de Sismología*, Bogotá, Colombia, 18 p.
- Grases, J., y Rodríguez, J. A. (2001). "Estimaciones de magnitud de sismos venezolanos a partir de mapas de isosistas", *2º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica*, Madrid, España.
- Ingeominas (2004). "El sismo de Pizarro (bajo Baudó, Chocó) del 15 de noviembre de 2004: parámetros de la fuente, movimiento fuerte y daños", Bogotá, Colombia, 75 p.
- Marin-Arias, J. P. y Castillo, H. (2000). "Coeficientes de atenuación sísmica para 28 sismos históricos en Colombia". Tesis de Maestría, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Mas Vall, J. (1950). "Mapa Isosísmico del Terremoto de El Tocuyo (3 de agosto de 1950)", Instituto Nacional de Minería y Geología, Ministerio de Fomento, Caracas, Venezuela.
- Meyer, H. J., Duarte, J. y Paraffan, A. (1986). "Características físicas del sismo de Popayán", en "El sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983", Ingeominas (Editor), Bogotá, Colombia, pp. 119-147.
- Musson, R.M.W. y Henni, P.H.O. (2001). "Methodological considerations of probabilistic seismic hazard mapping", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 21, No. 5, pp. 385-403.

- OSSO - Observatorio Sismológico del Sur-occidente Colombiano (2004). <http://osso.univalle.edu.co>
- Pasolini, C., Gasperini, D., Lolli, B. and V. D'Amico (2008a). "The attenuation of seismic intensity, Part I: Theoretical and empirical backgrounds", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, pp. 682-691.
- Pasolini, C., Gasperini, D., D'Amico, V. y B. Lolli, B. (2008b). "The attenuation of seismic intensity, Part II: Modeling and validation", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, pp. 692-708.
- Prieto, J., Foshi, O., Ventura, C., Finn, W.D., Ramos, A. y Prada, F. (2011). "Atenuación y distribución de probabilidad de intensidad para Colombia y el Occidente de Venezuela", *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, Vol. 10, No. 2, pp. 143-162.
- Pulido, N. y M. Tapias (1995). "Aplicación de la Escala Macrosísmica Europea de 1992 en la determinación de las intensidades del sismo de Tauramena (Casanare) del 19 de enero de 1995", *Memorias del Seminario de Sismotectónica del Borde Llanero Colombiano*, Bogotá, Colombia, pp. 84-99.
- Ramírez, J. E. (1948). "The Pasto, Colombia, earthquake of July 14, 1947", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 38, pp. 247-256.
- Ramírez, J. E. (1949). "El gran terremoto Ecuatoriano del Pelileo", *Instituto Geofísico de los Andes*, Serie A, *Sismología*, Número 7, Bogotá, Colombia, pp. 129-139.
- Ramírez, J. E. (1953). "El terremoto de Arboledas, Cucutilla y Salazar de las Palmas", 8 de julio de 1950, Boletín No.10, *Instituto Geofísico de los Andes*. Serie A, *Sismología*, Bogotá, Colombia, 92 p.
- Ramírez, J. E. (1975a). "Historia de los Terremotos en Colombia", Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia, 250 p.
- Ramírez, J. E. (1975b). "El terremoto de Cúcuta cien años después. 18 de mayo 1875 - 18 de mayo 1975", Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, Universidad Javeriana, Editora Desarrollo, Bogotá, Colombia, 63 p.
- Ramírez, J. E., Prieto, J. A., Briceño, L.A., Caneva, A. I. y Ramos, A. M. (2004). *Actualización de la Historia de los Terremotos en Colombia*, Instituto Geofísico Universidad Javeriana, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 186 p.
- Rodríguez, J. A., y Audemard, F. (2001). "Sobreestimaciones y limitaciones en los estudios de sismicidad histórica con base en casos Venezolanos", *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 44, No.1, pp. 47-75.
- Romero, J., J. M. Martínez, G. Avila, y J. Escallón (1994). "El sismo del 21 de julio de 1993, Puerto Rondón, Llanos Orientales de Colombia", *Revista Ingeominas*, Vol. 4, pp. 15-34.
- Salcedo, E. (1994). "Mapa de Isosistas del Terremoto de Junio 6 de 1994", Departamento de Geografía, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Salcedo, E., y A. Gómez (2000). "Sismotectónica del Territorio Colombiano, Atlas Macrosísmico de Colombia", *Ingeominas*, Bogotá, Colombia, 108 p.
- Saragoni, R., M. Astroza, y S. Ruiz (2004). "Comparative study of subduction earthquake ground motion of North, Central and South America", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No.104, Vancouver, Canada.
- Sarria, A. (1985). "Earthquakes and seismic risk in Colombia", *Symposium on Seismic and Volcanic Hazard and Risk in South America*, Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), Lima, Perú, pp. 330-371.
- USGS/NEIC Earthquake Information Center, on-line database.* <http://neic.usgs.gov/neis>
- Villacis, C., T. Yamada, y F. Kaneko (1994). "Attenuation relations for Ecuador", Appendix II, en "The Quito, Ecuador, earthquake risk management project", Escuela Politécnica Nacional, Geohazards International. Orstom-Quito and Oyo Corporation, Quito, Ecuador, pp. 162-181.
- Woodward-Clyde Consultants. (1981). "Preliminary study of Geomorphology and Quaternary stratigraphy, Ituango project, Colombia", reporte preparado para Integral Ltda., Colombia.

