



***EL SISMO DE LA FRONTERA COLOMBIA-VENEZUELA
DEL 5 DE FEBRERO DE 2015***

Aspectos sismológicos y movimiento fuerte

Bogotá D.C., Febrero de 2015



SISMO DE LA FRONTERA COLOMBIA-VENEZUELA 5 FEBRERO 2015

El día 04 de Febrero de 2015 a las 11:21 p.m. Hora local (2015-02-05 04:21:50 Hora U.T.), se presentó un sismo de magnitud Mw 5.4. El Servicio Geológico Colombiano (SGC) - Red Sismológica Nacional de Colombia, lo localizó a 27.3 km al noroeste de la cabecera municipal de Puerto Santander (Norte de Santander), en las coordenadas 8.36°N y 72.13°W con una profundidad de 4 km (figura 1).



Figura 1. Epicentro del sismo de la Frontera Colombia-Venezuela del 5 Febrero 2015.

El Servicio Geológico Colombiano localizó el epicentro usando datos de la red sismológica nacional y de la red Fundación Venezolana de investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). En la figura 2 se muestra el mapa con la ubicación de las estaciones utilizadas para la localización del evento y la imagen del registro sísmico.

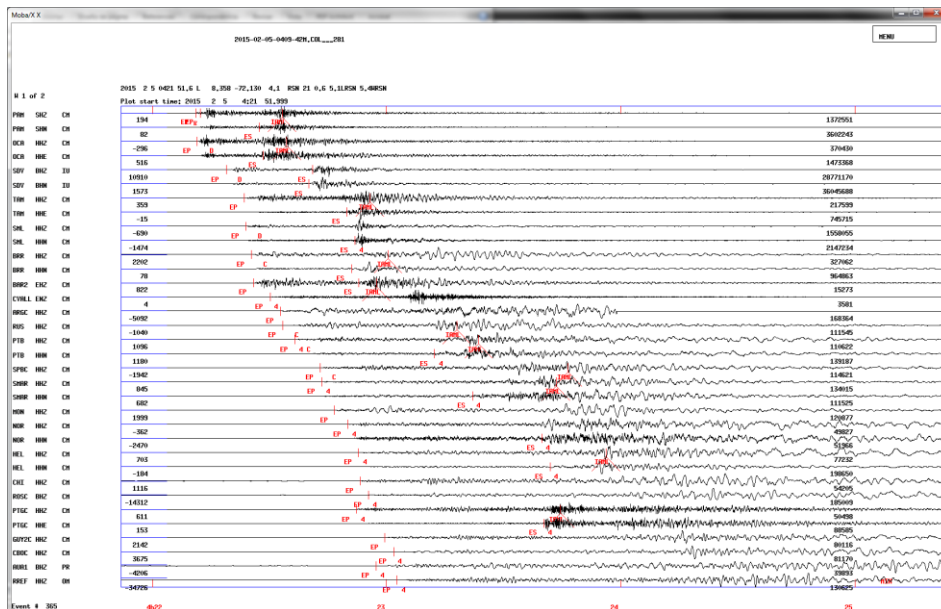


Figura 2. Ubicación de las estaciones usadas en la localización del sismo (arriba) y registro sísmico (abajo)

Se reportó como sentido en: Cúcuta, Ocaña, Pamplona, Los Patios, Tibú, Villa del Rosario (Norte de Santander), Bucaramanga, Girón, Piedecuesta, Floridablanca, El Playón, Lebrija, San Gil, Puerto Wilches (Santander), Arauca, Saravena (Arauca), Valledupar, La Jagua Ibirico, El paso (Cesar), Sogamoso (Boyacá), Medellín, Envigado (Antioquia).

MARCO TECTÓNICO DE LOS ANDES DE MÉRIDA

La cordillera de los Andes de Mérida localizada al oeste de Venezuela, tiene una orientación general SW-NE con una longitud cercana a los 350 km (Audemard, 2003). Esta cadena montañosa se extiende desde la frontera colombo-venezolana hasta la ciudad de Barquisimeto en Venezuela al noreste (ver figura 3). El ancho máximo es de 100 km y la elevación máxima es el Pico Bolívar con 4978 msnm en la parte central del Parque Nacional Sierra Nevada (Perez et al., 2005)

A diferencia de la Cordillera de los Andes extendida al oeste de suramérica cuyo origen se relaciona a la subducción tipo-B de las placas de naturaleza oceánica bajo la placa suramericana, la cordillera de los Andes de Merida está asociado a la colisión entre el escudo de Guyana de origen continental y el Bloque de Maracaibo al noroeste de Suramerica posterior al Mioceno tardío (Audemard, 2002). Los Andes de Merida están separados de la Cordillera Oriental de Colombia por la zona sur del sistema de fallas Santa Marta – Bucaramanga y el macizo de Santander (Audemard, 2003).

Al parecer el levantamiento de Los Andes de Merida se dio en dos fases. La primera durante el Mioceno tardío asociado a la convergencia entre el Arco de Panamá y el borde W de la placa de Suramerica (De Toni & Kellog, 1993). La segunda fase se desarrolló durante el Plioceno y el Cuaternario por la convergencia del Bloque de Maracaibo y el escudo de Guyana, dando lugar a una zona de transpresión oblicua orientada NE-SW. (Colleta et al, 1997; Audemard, 2000)

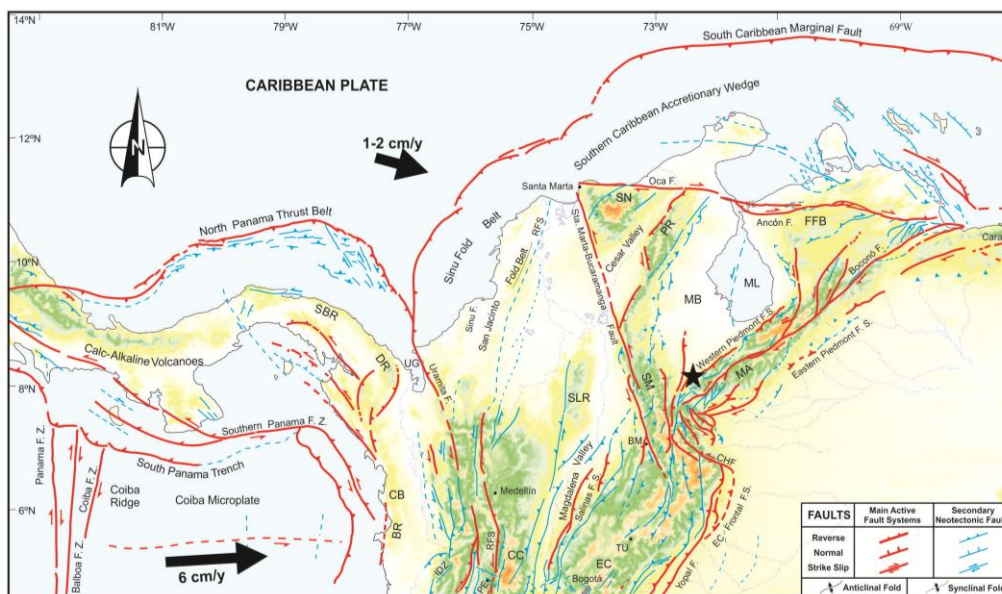


Figura 3. Marco tectónico de los Andes de Mérida. Modificado de Taboada, 2000

MECANISMO FOCAL

El SGC calculó el mecanismo focal usando las polaridades de los arribos de las ondas P registrados en las estaciones ubicadas a lo largo del territorio colombiano. El mecanismo corresponde a una ruptura de rumbo lateral derecho (figura 4):

Plano falla: strike= 154 dip= 78 slip= -2

Plano falla: strike= 244 dip= 88 slip= -168

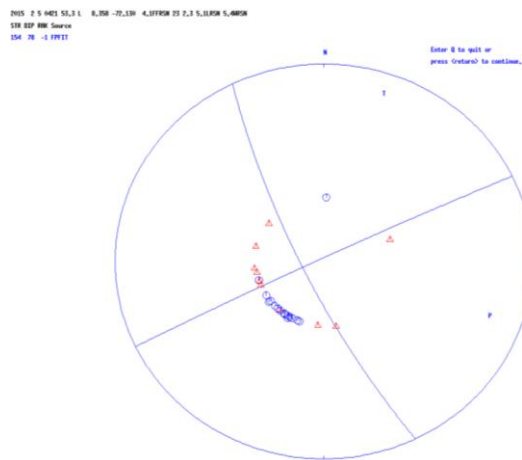
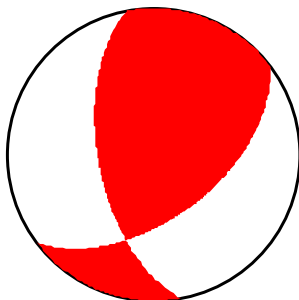


Figura 4. Mecanismo focal usando polaridades de las estaciones del SGC

En la figura 5 se muestra el mecanismo focal calculado por el proyecto del Global Centroid Moment Tensor (GCMT).



Tiempo centroide: 04:21:53.9 CMT

Duración media: 1.1

Tiempo centroide menos tiempo hipocentro: 5.3

Tensor de Momento: Exp=24 -0.680 0.286 -0.966
0.309 -0.224 -0.570

Mw= 5.3 Ms = 5.3

Plano falla: strike= 53 dip= 54 slip= 140

Plano falla: strike= 170 dip= 59 slip= 44

Figura 5. Mecanismo focal reportado por GCMT. Tomado de: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>

SECUENCIA DE RÉPLICAS

Hasta el día 8 de Febrero se han registrado 114 réplicas localizables con profundidad superficial menor a 10km (figura 6). Esta serie de réplicas corresponde a un proceso secundario de relación de las concentraciones de los esfuerzos producidos por la ruptura dinámica del sismo principal. Estos sismos generalmente se localizan en toda el área de ruptura y sus alrededores, y su ocurrencia decae de manera exponencial con el tiempo (figura 7).

En la figura 8 se muestra la variación de las magnitudes de las réplicas registradas durante los 5 días siguientes al sismo principal.

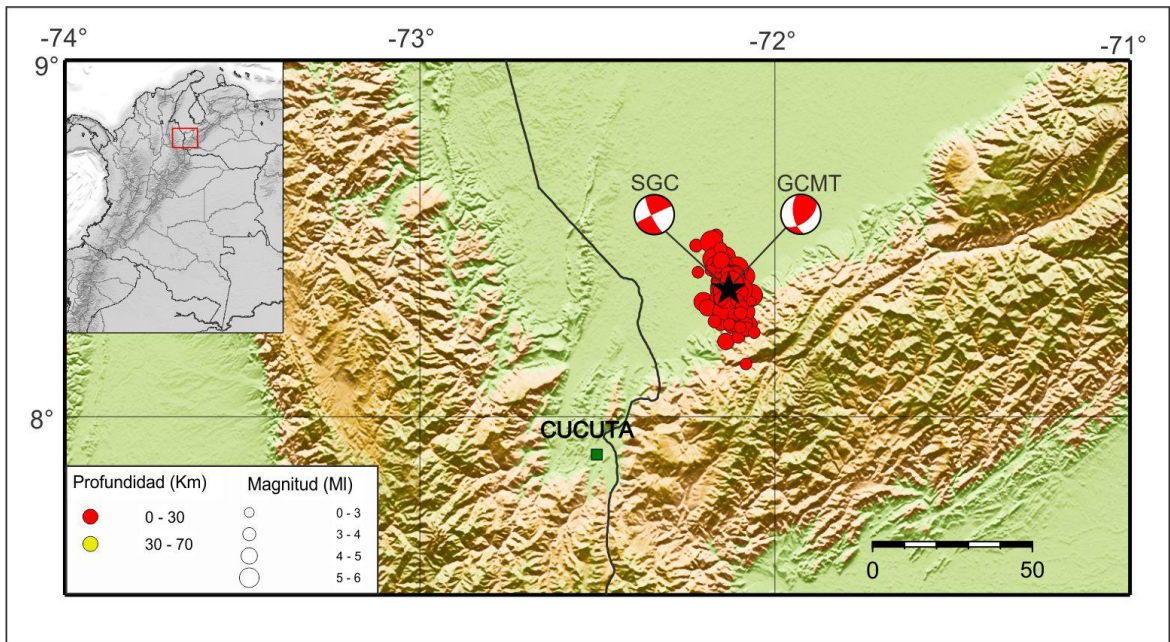


Figura 6. Réplicas registradas y localizadas por el SGC.

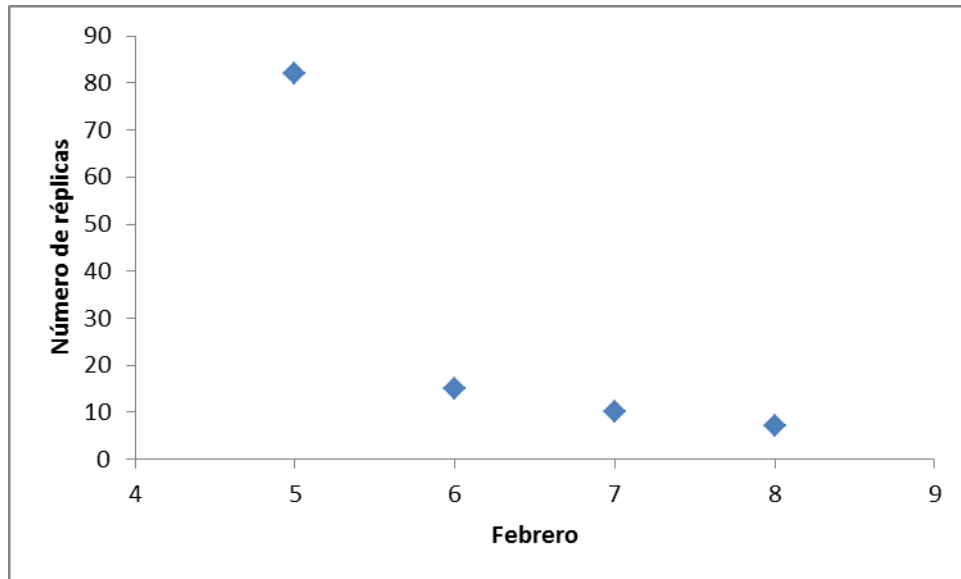


Figura 7. Distribución en días del número de réplicas del sismo del 5 de Febrero de 2015 con magnitudes locales $M_L > 1.3$, hasta 4 días después del sismo principal.

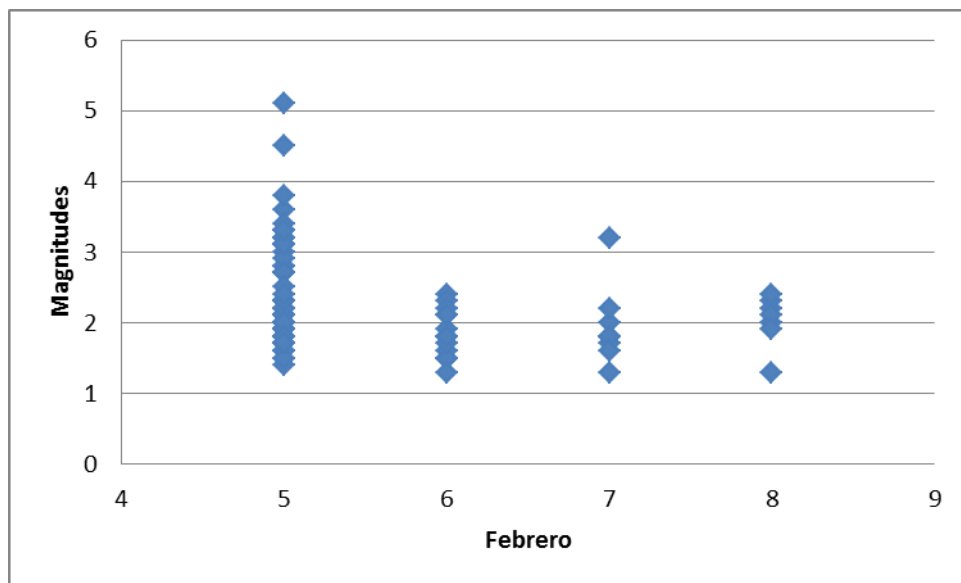


Figura 8. Distribución en días de las magnitudes en la secuencia de réplicas del sismo del 5 de Febrero de 2015 con magnitudes locales $M_L > 1.3$, hasta 4 días después del sismo principal.

MOVIMIENTO FUERTE

Después del sismo, se extrajeron los acelerogramas de las estaciones de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC) que cuentan con conexión remota a nuestra sede central en Bogotá. Se realizó el procesamiento básico de los acelerogramas el cual consiste en la conversión de la señal de unidades de cuentas a unidades de aceleración en gales o cm/s²; remoción de línea base y aplicación de un filtro pasa banda que conserve la señal casi en su forma original.

Las aceleraciones máximas (PGA) de las tres componentes del movimiento (Este-Oeste, Vertical y Norte-Sur) registradas hasta la fecha de emisión de este informe se presentan en la Tabla 1; así como la distancia hipocentral.

Tabla 1. Aceleraciones máximas registradas (PGA) y distancia hipocentral de algunas estaciones de acelerógrafos que registraron el sismo del 04 de Febrero de 2015

Estación	Código	Geología	Aceleraciones en Gales			Amax	Distancia Hipocentral (km)
			Este - Oeste	Vertical	Norte - Sur		
Cúcuta (UFPS)	CCUC2	SUELO	7.64	4.87	12.23	10.20	64
Tame, Est. Sismológica	CTAME	ROCA	1.73	0.66	2.93	2.40	216
Valledupar	CVALL	ROCA	0.28	0.23	0.20	0.24	268
Uribía	CURIB	ROCA	0.16	0.12	0.16	0.16	371
Santa Marta	CSTM1	ROCA	0.19	0.15	0.15	0.17	386
Norcasia, EST. Sismológica	CNOCA	ROCA	0.08	0.06	0.07	0.08	432
El Rosal	CROSA	ROCA	0.09	0.06	0.10	0.10	458
Guyana	CGUYA	ROCA	0.06	0.04	0.08	0.07	498
Villamaría	CRECR	ROCA	0.12	0.03	0.07	0.10	518
Manizales, SGC	CMAN1	SUELO	0.35	0.08	0.34	0.34	522
Ibagué - ANM	CIBA1	SUELO	0.03	0.07	0.06	0.04	552
Armenia	CARME	SUELO	0.11	0.03	0.07	0.09	574
Ortega	CORTC	ROCA	0.04	0.02	0.04	0.04	601
Bahía Solano	CBSOL	SUELO	0.04	0.02	0.07	0.06	627
Pizarro	CPIZC	ROCA	0.03	0.02	0.03	0.03	688
LA MACARENA, EST. SISMOLOGICA	CMACA	ROCA	0.05	0.02	0.04	0.04	715
Bahía Málaga	CBMAL	ROCA	0.02	0.01	0.02	0.02	751
Florencia	CFLOR	ROCA	0.02	0.01	0.01	0.02	846

Servicio Geológico Colombiano

Las estaciones de acelerógrafos más cercanas al evento son las ubicadas en Cúcuta UFPS (Amáx 10.20 cm/s²), Tame Arauca (Amáx 2.68 cm/s²) y Valledupar (Amáx 0.24 cm/s²). En la figura 9 se muestran las aceleraciones máximas registradas y el espectro de respuesta para un amortiguamiento del 5%, de las tres componentes de la estación ubicada en Cúcuta – CCUC2.

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO - RED NACIONAL DE ACELEROGRAFOS
Estación de Cúcuta, Suelo (CCUC2) Geol:Suelo Topo:Ondu.
SISMO FRONTERA CON VENEZUELA 05/02/15 04:21:50 UT MW=5.4
Epic. 8.358 N -72.13 E Prof. 4.1 Km Dist. 64 Km

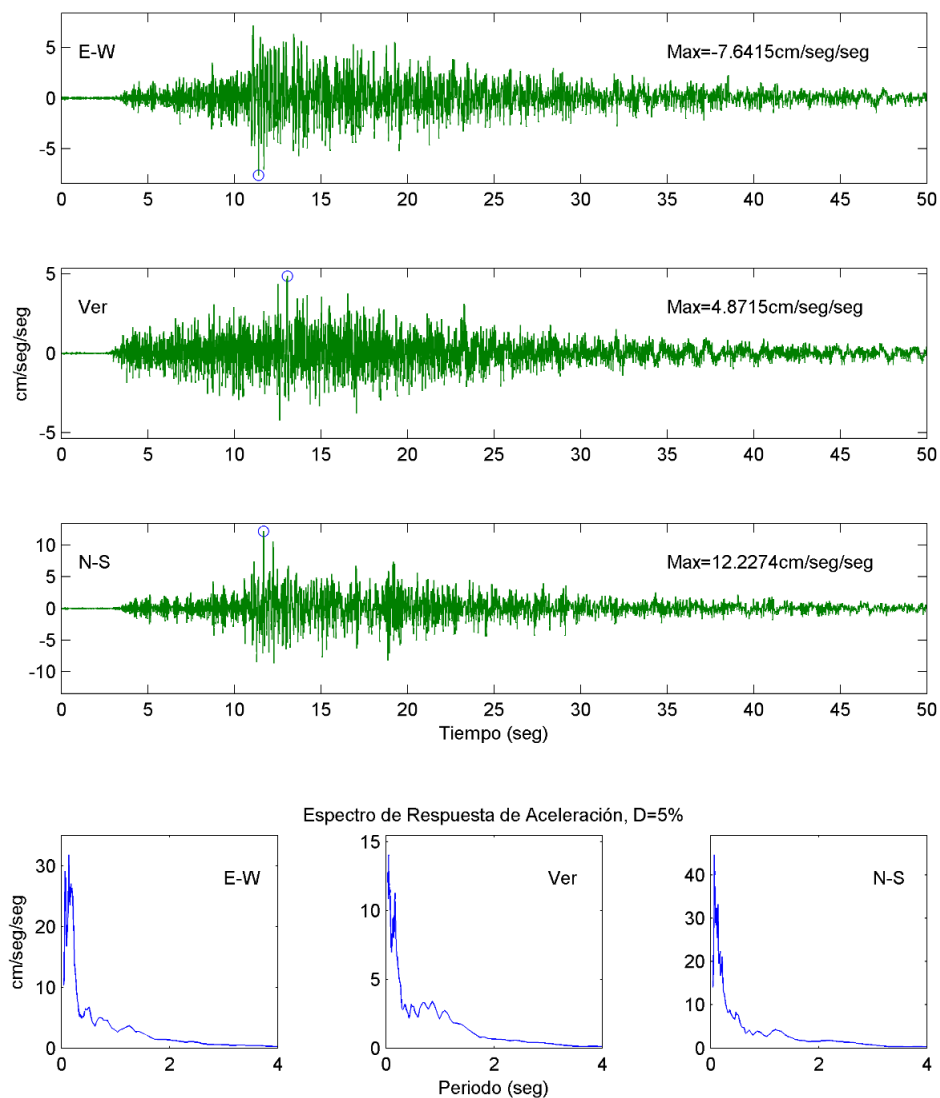


Figura 9. Aceleraciones máximas (PGA) registradas y el espectro de respuesta para un amortiguamiento del 5%, de las tres componentes de la estación de acelerógrafos ubicada Cúcuta UFPS – CCUC2.

MAPAS AUTOMÁTICOS DE INTENSIDAD INSTRUMENTAL

Para la generación de los mapas de intensidad Instrumental en tiempo real por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), se realiza una localización del sismo y el cálculo de su magnitud de forma automática utilizando señales en tiempo real de las estaciones sismológicas y de movimiento fuerte disponibles, calculando además, los parámetros de movimiento del suelo tales como Aceleración, Velocidad y Aceleración Espectral pico del suelo (PGA, PGV y PSA, por sus siglas en inglés). Para las zonas donde no se tiene disponibilidad de estaciones sismológicas o de movimiento fuerte, los parámetros de movimiento del suelo se calculan utilizando ecuaciones de atenuación de la energía sísmica hasta el nivel de roca siendo estos posteriormente afectados por factores de amplificación estimados a partir de la velocidad de onda de corte a 30 m. de profundidad (V_{s30}) con el fin de tener en cuenta los efectos de sitio y poder estimar las aceleraciones en superficie.

Con los valores registrados por las estaciones sismológicas y de movimiento fuerte y con los valores estimados se generan los diferentes mapas de PGA, PGV y PSA, esta última para diferentes periodos estructurales. Finalmente, las intensidades instrumentales se calculan usando ecuaciones de conversión de aceleración a intensidad en la escala Mercalli Modificada. Todo el proceso se realiza de forma completamente automática y es posible actualizar los mapas al tiempo que se revisen los cálculos de localización y magnitud o adicionando información complementaria en tiempo no real. Los mapas automáticos generados por el SGC para PGA y PGV se muestran en la Figura 10.

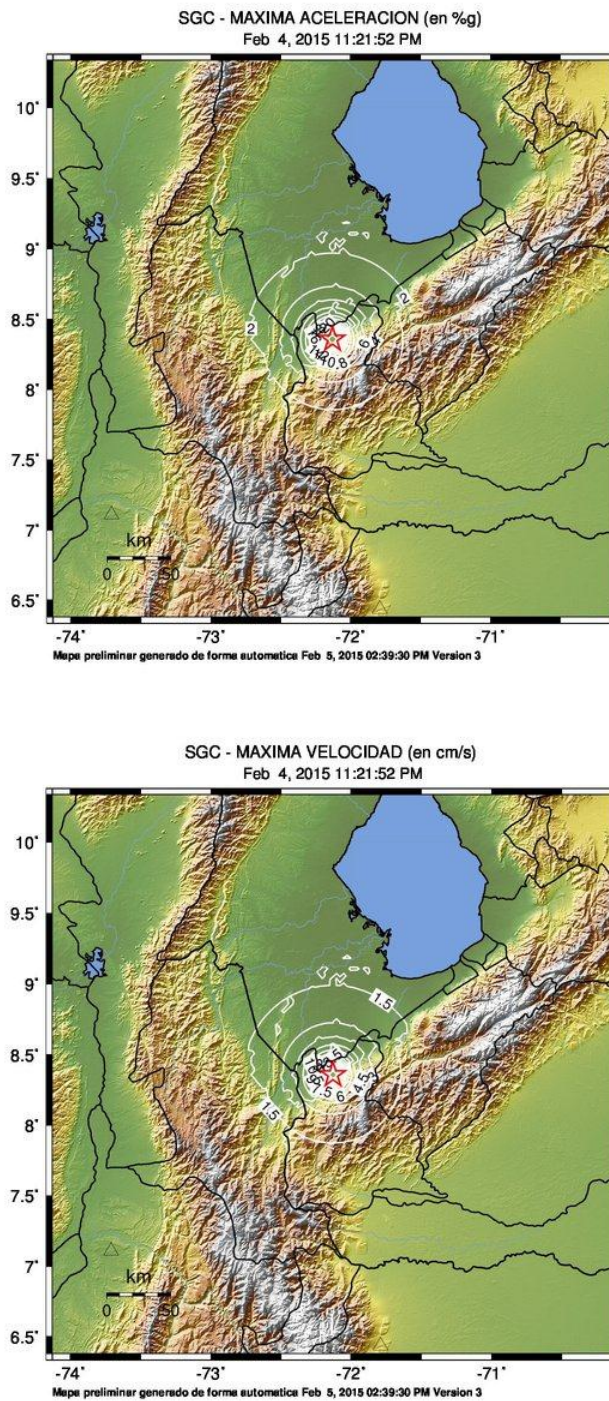


Figura 10. Mapa de aceleraciones (arriba) y velocidades (abajo) máximas generados automáticamente por el SGC para el sismo del 4 de Febrero de 2015 con $M_w = 5.4$

En la Figura 11, se muestra el Mapa de Intensidades Instrumentales en donde la máxima Intensidad Instrumental alcanzada fue VII para la zona cercana al epicentro y que corresponde a las mayores aceleraciones registradas.

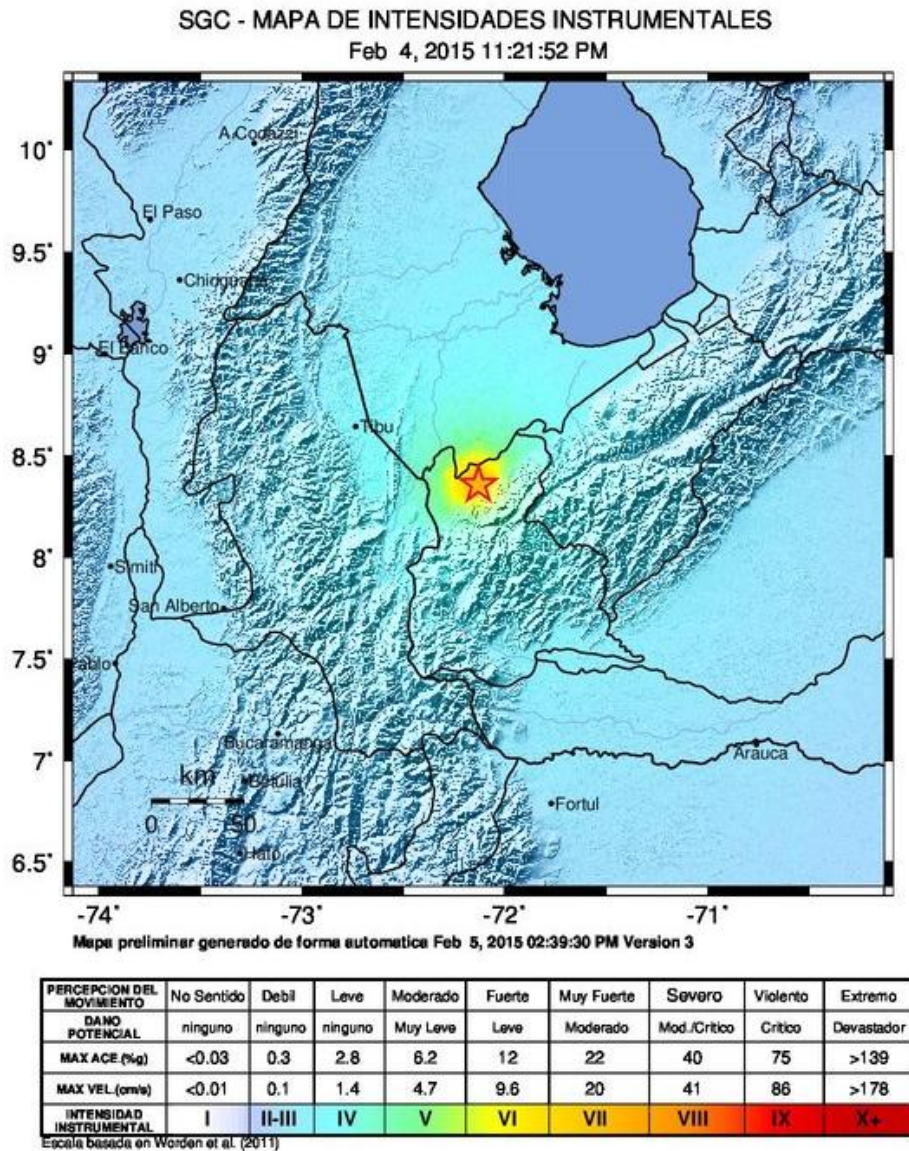


Figura 11. Mapa de intensidades instrumentales generado automáticamente por el SGC para el sismo del 4 de febrero de 2015 con $M_w = 5.4$. Las máximas intensidades instrumentales (VII) se alcanzaron para el área cercana a la zona epicentral, correspondientes a una aceleración aproximada de 36 (%g).

Información adicional puede ser consultada en la web a través del enlace <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/shakemap/sc/shake/intensidad.html>

EVALUACIÓN DE INTENSIDADES A PARTIR DE LOS REPORTES RECIBIDOS VÍA INTERNET

La intensidad sísmica es una medida cualitativa que se evalúa teniendo en cuenta los efectos observados en las personas, objetos, construcciones y naturaleza, en un área determinada. Estos efectos se analizan y se asigna un grado de intensidad para cada sitio según una escala de intensidad, en este caso, la Escala Macrosísmica Europea de 1998 (EMS-98), para posteriormente generar el mapa de intensidades.

Para evaluar la intensidad del sismo, se utilizaron los reportes recibidos a través del Formulario para la evaluación de intensidad sísmica, disponible en la web: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/paginas/intensidades/fsentido.html>, en el cual los usuarios registraron los efectos observados.

En total se recibieron 198 formularios de 25 municipios del país que se detallan en la Tabla 2. No fue posible evaluar la intensidad de 11 poblaciones, ya que contaban con un solo reporte y se requieren mínimo dos por sitio para hacer la evaluación.

Tabla 2. Número de reportes e intensidad por municipio.

Departamento	Municipio	Lat.	Long.	No. Reportes	Intensidad
Antioquia	Envigado	6.19	-75.59	2	2
	Medellín	6.26	-75.58	1	-
Arauca	Arauca	7.08	-70.76	5	3
	Araucuita	7.03	-71.42	1	-
	Saravena	6.97	-71.88	2	3
Boyacá	Sogamoso	5.72	-72.93	1	-
Cesar	Curumaní	9.22	-73.55	1	-
	El Paso	9.66	-73.76	1	-
	La Jagua de Ibirico	9.56	-73.35	2	4
	Valledupar	10.47	-73.24	3	3
Magdalena	Santa Marta	11.26	-74.18	1	-
Norte de Santander	Cúcuta	7.90	-72.49	59	5
	Los Patios	7.81	-72.51	1	-
	Ocaña	8.24	-73.35	9	4
	Pamplona	7.37	-72.64	4	4
	Tibú	8.62	-72.76	1	-
	Villa del Rosario	7.83	-72.47	2	5

Cont. Tabla 2. Número de reportes e intensidad por municipio.

Departamento	Municipio	Lat.	Long.	No. Reportes	Intensidad
Santander	Bucaramanga	7.13	-73.12	59	4
	El Playón	7.48	-73.21	1	-
	Floridablanca	7.06	-73.09	25	4
	Girón	7.07	-73.18	5	4
	Lebrija	7.13	-73.21	1	-
	Piedecuesta	6.99	-73.04	8	4
	Puerto Wilches	7.30	-73.92	1	-
	San Gil	6.57	-73.14	2	3
Total				198	

Con estos datos se elaboró el mapa de intensidades (*figura 11*), disponible en línea: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/paginas/intensidades/mapa.php?id=20150205042152&lat=8.37&lon=-72.16>

También se recibieron 15 formularios en los que indicó haber sentido la réplica ocurrida el 5 de febrero a las 12:40 a.m. hora local, en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta y Cúcuta.

La intensidad más alta se evaluó en Cúcuta y Villa del Rosario (Norte de Santander), donde se reportó que el sismo fue sentido muy fuerte, la gente se asustó, algunas personas que estaban durmiendo se despertaron y otros corrieron a la calle. El movimiento también produjo la caída de objetos livianos, vibración de muebles y vertimiento de líquidos, entre otros (intensidad 5).

La intensidad 4, que hace referencia a que el sismo es sentido por la mayoría de personas que se encuentran dentro de edificaciones, se observa balanceo de objetos colgantes y traqueteo de porcelanas, puertas y ventanas, fue evaluada en Pamplona, Ocaña, Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta, Girón y La Jagua de Ibirico.

En Valledupar, San Gil, Saravena y Arauca se sintió levemente y únicamente se observó balanceo de objetos colgantes (intensidad 3). De Envigado se recibieron dos reportes indicando haberse sentido de forma leve en los pisos altos de edificaciones y en posición de reposo, por lo cual la intensidad evaluada fue 2.

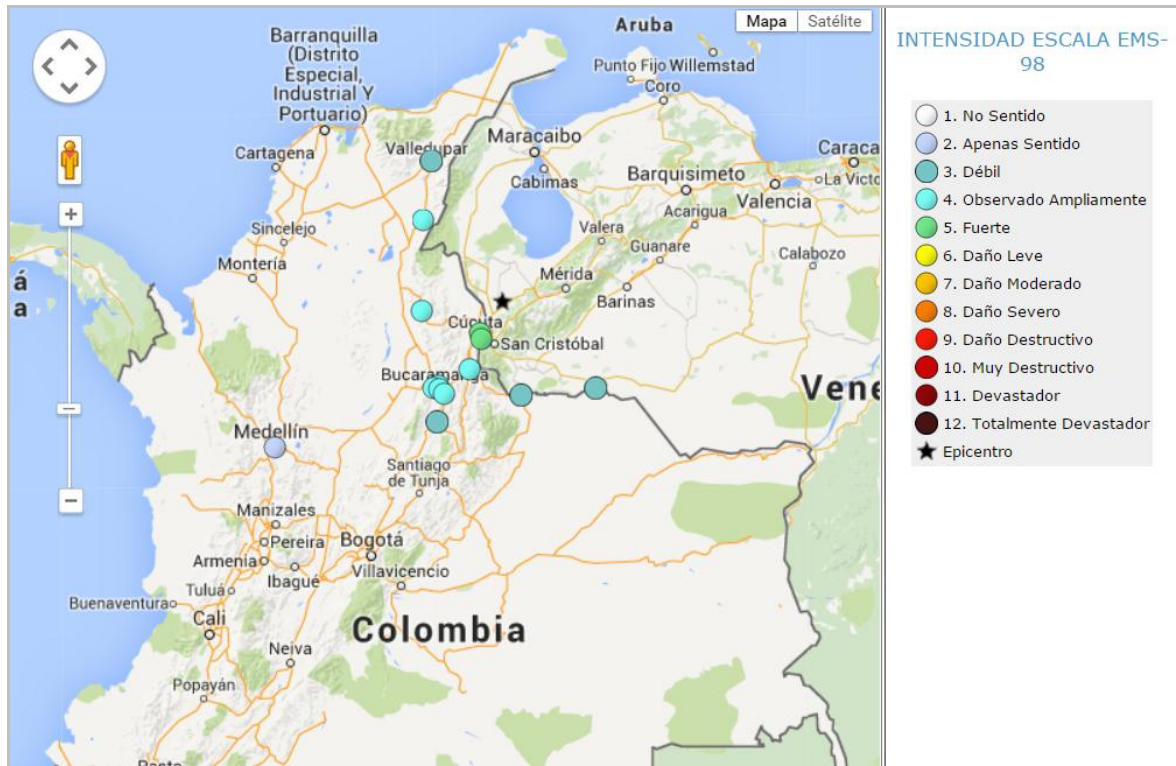


Figura 12. Mapa de intensidades del sismo del 4 de febrero de 2015

En el mapa de la figura 12, se observa una distribución parcial y poco homogénea de los puntos de intensidad debido a que el “Formulario para la evaluación de intensidad sísmica” que está dispuesto en la web, fue diseñado para recopilar únicamente información de los efectos observados en municipios colombianos.

De momento, no es factible obtener datos de poblaciones de países vecinos por este medio, por lo cual se deben buscar alternativas que permitan conseguir información que conduzca al óptimo análisis macrosísmico del evento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Audemard, F.A., 2000. Major Active Faults of Venezuela. 31st International Geological Congress. Brazilian Geological Society and Others, Rio de Janeiro, Brazil.

Audemard, F.A., 2003. Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Mérida Andes, Venezuela. *Quaternary International*. 101-102, 43-65.

Colletta, B., Roure, F., De Toni, B., Loureiro, D., Passalacqua, H., Gou, Y., 1997. Tectonic inheritance, crustal architecture, and contrasting structural styles in the Venezuelan Andes. *Tectonics* 16 (5), 777e794.

De Toni, B., Kellogg, J., 1993. Seismic evidence for blind thrusting of the north- western flank of the Venezuelan Andes. *Tectonics* 12 (6), 1393e1409.

Pérez, O., Hoyer, M., Hernandez, J., Rodrigez, C., Márques, V., Sue, N., Velandia, J., Deiros, D., 2005. Alturas del Pico Bolívar y otras cimas andinas venezolanas a partir de observaciones GPS. *Interiencia* 30 (4).

Taboada, A., Rivera, L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, A., Olaya, J., Rivera, C., 2000. Geodynamics of the northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics* 19, 787–813.