



**EL SISMO DE LA FRONTERA COLOMBIA-PANAMÁ  
DEL 28 DE JULIO DE 2015**

Aspectos sismológicos y movimiento fuerte

Bogotá D.C., Julio de 2015



## SISMO DE LA FRONTERA COLOMBIA-PANAMÁ DEL 28 DE JULIO DE 2015

El día 28 de Julio del año 2015 a las 7:10 p.m. hora local (2015-07-29 00:10 hora UTC), se presentó un sismo de magnitud Mw 6.1 en la frontera con Panamá. El Servicio Geológico Colombiano (SGC) - Red Simológica Nacional de Colombia (RSNC) lo localizó a 36.8 km al noroeste de la cabecera municipal de Unguía (Chocó), con epicentro en las coordenadas 8.15°N y 77.40°W y con una profundidad de 12.5 km (Fig. 1).

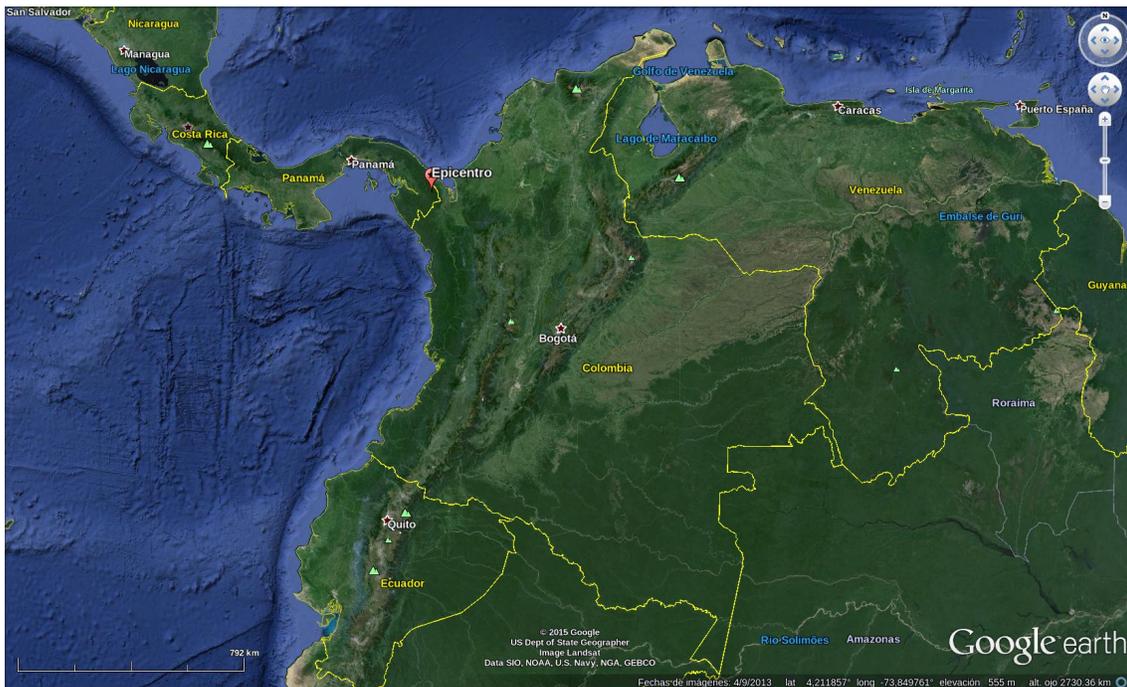


Figura 1: Epicentro del evento.

El Servicio Geológico Colombiano localizó el epicentro usando datos de la RSNC y de la Red Sismológica del Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá (IGC-UPA). 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 en algunas de ellas.

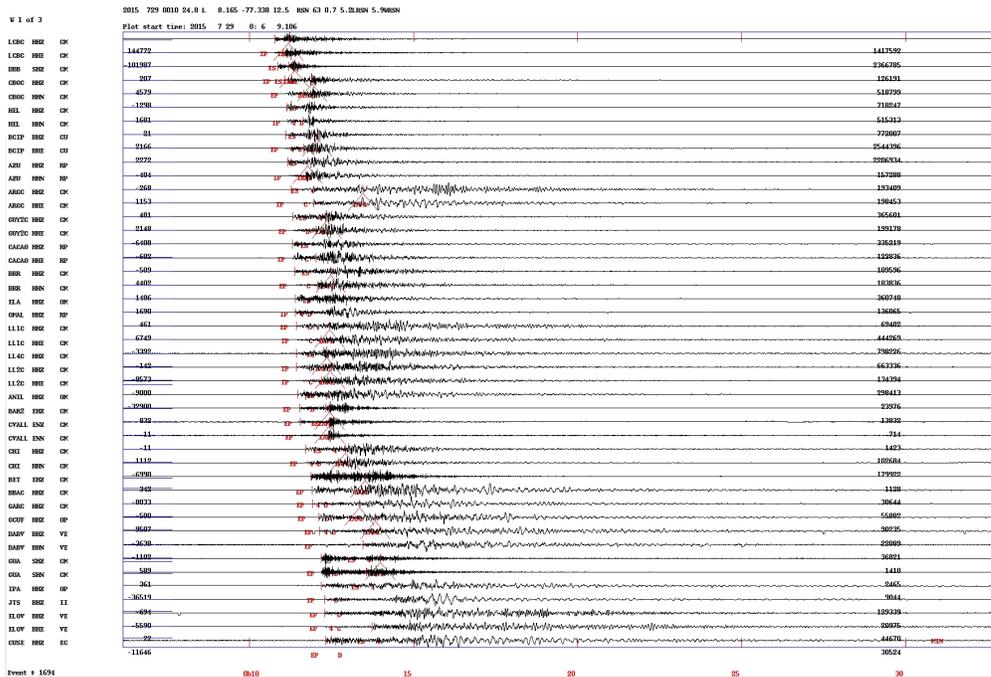
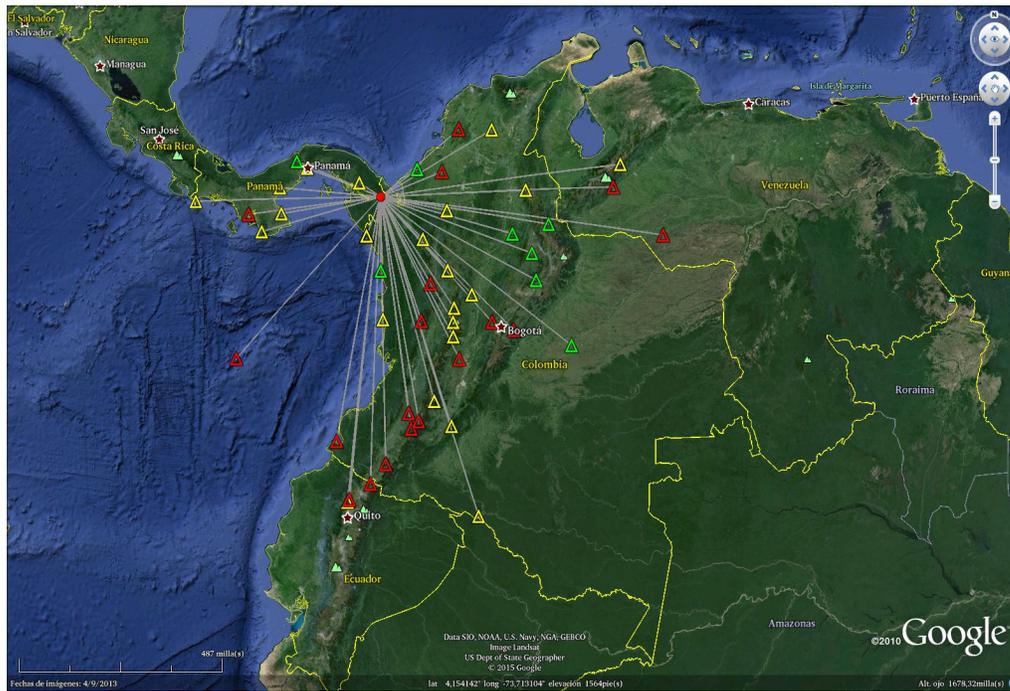


Figura 2: Ubicación de las estaciones usadas en la localización del sismo (arriba) y registro sísmico (abajo).

El evento sísmico se reportó como sentido en Apartadó, Bello, Chigorodó, Envigado, Turbo, Itagüí, La Ceja, Medellín, Sabaneta, Rionegro (Antioquia), Montería (Córdoba), Capurganá (Chocó), Manizales (Caldas), Armenia (Quindío), Pereira (Risaralda) y Bogotá D.C.

### REPORTE DE AFECTACIONES

La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) reporta afectaciones en el municipio de Unguía. En el enlace <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2015/Evaluacion--danos-y-necesidades-en-Unguia,-Choco.aspx> se encuentra la descripción de las afectaciones reportadas por la UNGRD.

### MARCO TECTÓNICO

El NW de Colombia está conformado por terrenos de afinidad oceánica entre los que se encuentra el bloque Panamá-Chocó cuyo origen se asocia a un arco de islas volcánico relacionado con la denominada Gran Provincia Ígnea del Caribe que data del Cretácico (Restrepo & Toussaint, 1988; Kerr, 1997). Este bloque se localiza en la conjunción de las placas de Cocos, Nazca, Caribe y Suramérica, el Bloque Panamá-Chocó comprende el istmo de Panamá al este de la zona del Canal y al NW de Colombia, incluyendo los flancos más noroccidentales de la Cordillera Occidental por encima de los 4°N. Este terreno se compone por tres elementos estructurales y litogenéticos importantes: los arcos de Dabeiba y Baudó, la cuenca del Atrato-Chucunaque y la zona de deformación de Istmina (Duque-Caro, 1990).

El bloque Panamá-Chocó (BPC) colisiona con el NW de Suramérica en dirección E-ESE, y se encuentra limitado al este por una zona de de transpresión dominada por la falla lateral-izquierda de Uramita, y al sur por la zona de fallas lateral-derecha de Istmina. Esta última es paralela a la falla de Garrapatas que presenta actividad neotectónica (Taboada *et al.*, 2000). El comienzo de la colisión no ha sido datado con precisión, pero se cree que inició entre el Mioceno temprano y el Plioceno temprano (Restrepo & Toussaint, 1988; Taboada *et al.*, 2000). Se considera que el BPC no subduce bajo Suramérica, por lo que actúa como un identor rígido, responsable de deformaciones que afectan hacia el norte a 5°N, incluso ejerciendo deformación sobre la Cordillera Oriental 600km al este (Suter *et al.*, 2008) (Fig. 3). Adicionalmente se considera que esta colisión está relacionada a las últimas fases de levantamiento de los Andes colombianos que corresponden a la fase de tectónica andina que afectó las tres cordilleras (Taboada *et al.*, 2000; Cortés *et al.*, 2005).

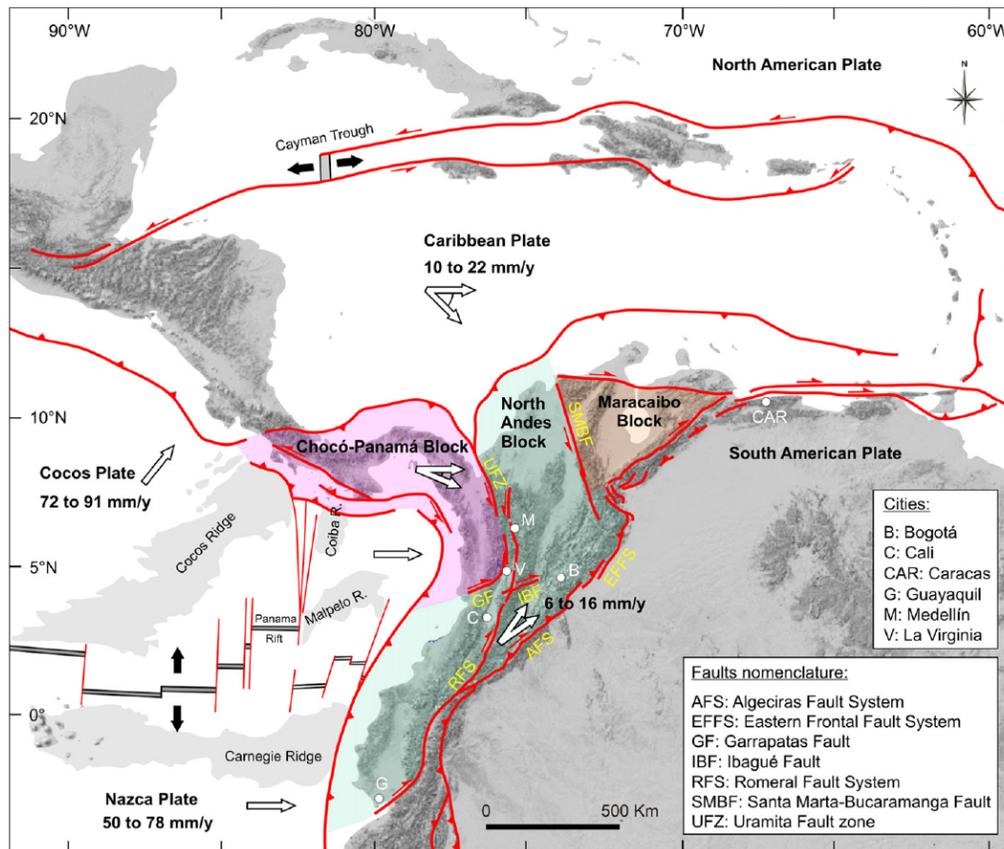


Figura 3: Mapa de tectónica del NW de Suramérica. Se muestran las placas y bloques y sus respectivas velocidades y direcciones de movimiento. Tomado de Suter et al. (2008).

En otros estudios, autores como Barat *et al.* (2014) se refieren al Bloque Chocó como una de las dos subdivisiones tectónicas del istmo de Panamá junto con el Bloque Chorotega. La descripción geológica que refieren los mismos autores divide el istmo de Panamá en tres secciones: el Bloque Chorotega compuesto de rocas de arco volcánico, una zona de transición donde se traza una hipotética zona de fallas en el centro de Panamá y el Bloque Chocó constituido también por rocas de arco volcánico de afinidad oceánica. En el borde entre el Bloque Chocó y el Bloque Chorotega se encuentra la Zona de Cizalla del Darién (DSZ, por sus siglas en inglés) (Fig. 4). Por su parte, Vargas-Jiménez y Durán-Tovar (2005) sugieren que la existencia de sismicidad en la zona del Darién es la que permite confirmar la existencia del bloque Chocó separado del de Panamá que limita al oeste con la Serranía del Darién y al este con la zona de Murindó, demostrado por la presencia de esfuerzos en la zona con tendencia subparalela Norte-Sur.

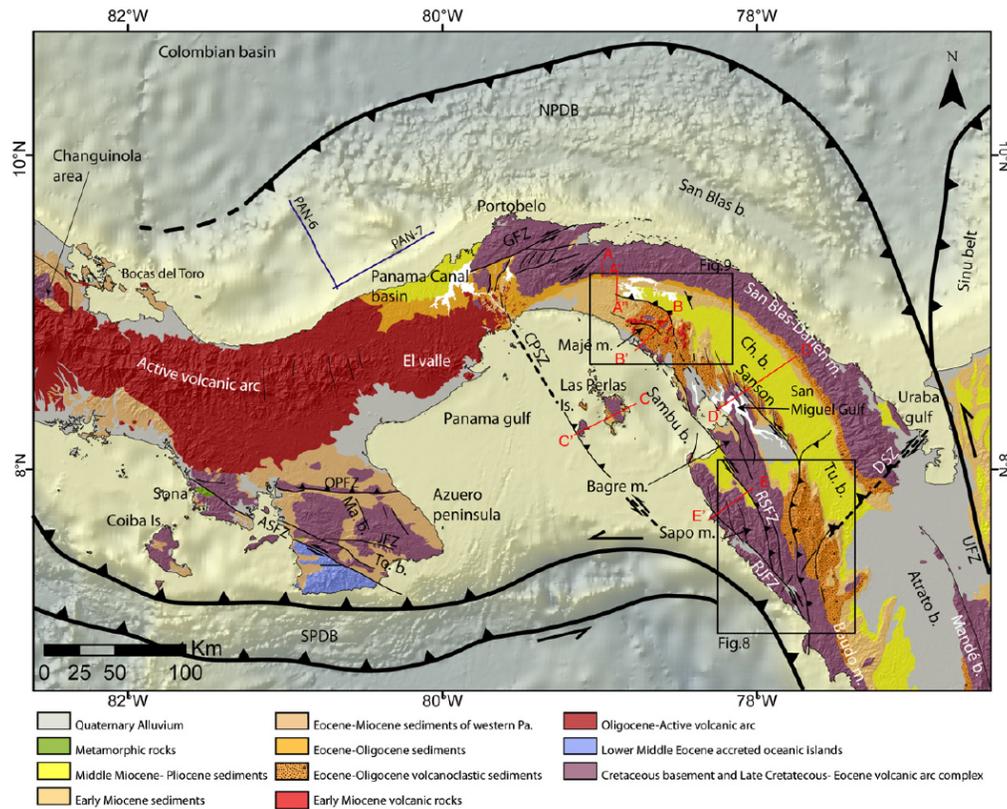


Figura 4: Mapa geológico simplificado del Istmo de Panamá y la frontera con Colombia. Se observa el Bloque Chocó independiente del Bloque de Panamá. Tomado de Barat *et al.* 2014

## MECANISMO FOCAL

La solución del mecanismo focal del evento se obtiene mediante la determinación del tensor de momento sísmico mediante el método de la fase W. De esta manera, se obtuvo de forma automática la solución del tensor momento sísmico usando el programa W-Phase desarrollado por Rivera y Kanamori, 2008. Se usaron formas de onda registradas por estaciones del Servicio Geológico Colombiano, FUNVISIS (Venezuela), IGEPN (Ecuador) y IGC-UPA (Panamá).

En la actualización manual del cálculo del tensor momento sísmico para este sismo se usó la información de la localización, el tiempo de origen y la magnitud calculados por el SGC. También se usó la localización del centroide y una solución opcional del tensor de momento de referencia del sismo suministrado por el Global Centroid-Moment-Tensor (GCMT) con el fin de comparar las soluciones.

En la figura 5 se muestran los sismogramas sintéticos y observados concatenados por estación para la componente vertical.

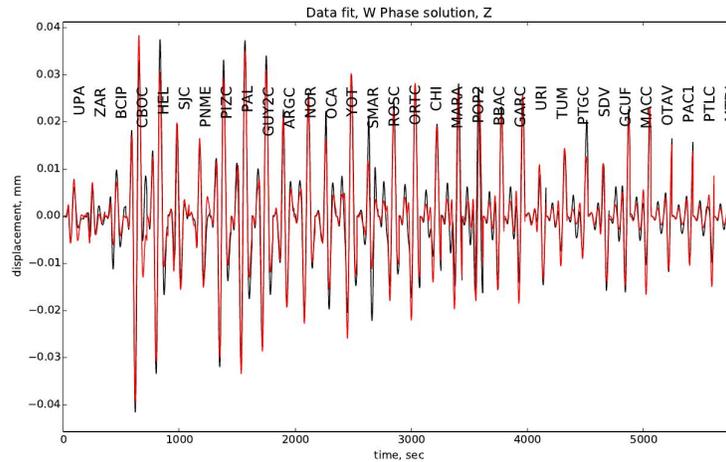


Figura 5: Sismogramas sintéticos (rojo) y observados (negro) de la fase W, concatenados por estación para la componente vertical.

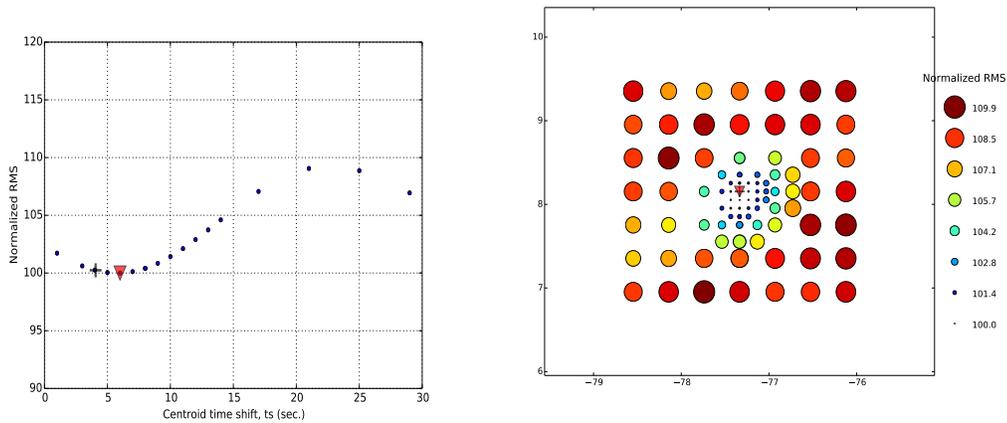


Figura 6: Corrimiento en tiempo (izquierda) y posición del centroide obtenido con la fase W (derecha). La cruz negra es la solución obtenida con la fase W y el triángulo rojo es la solución del GCMT para el evento sísmico.

En la figura 7 se compilan los resultados de la inversión, las componentes del tensor momento, el momento escalar, los planos de falla, la magnitud de momento, la calidad del ajuste y los parámetros usados en la inversión. En la figura 6 se muestra el corrimiento en tiempo y la posición del centroide obtenido y en la figura 8 se muestran las formas de onda sintéticas y observadas de algunas de las señales utilizadas en la inversión.

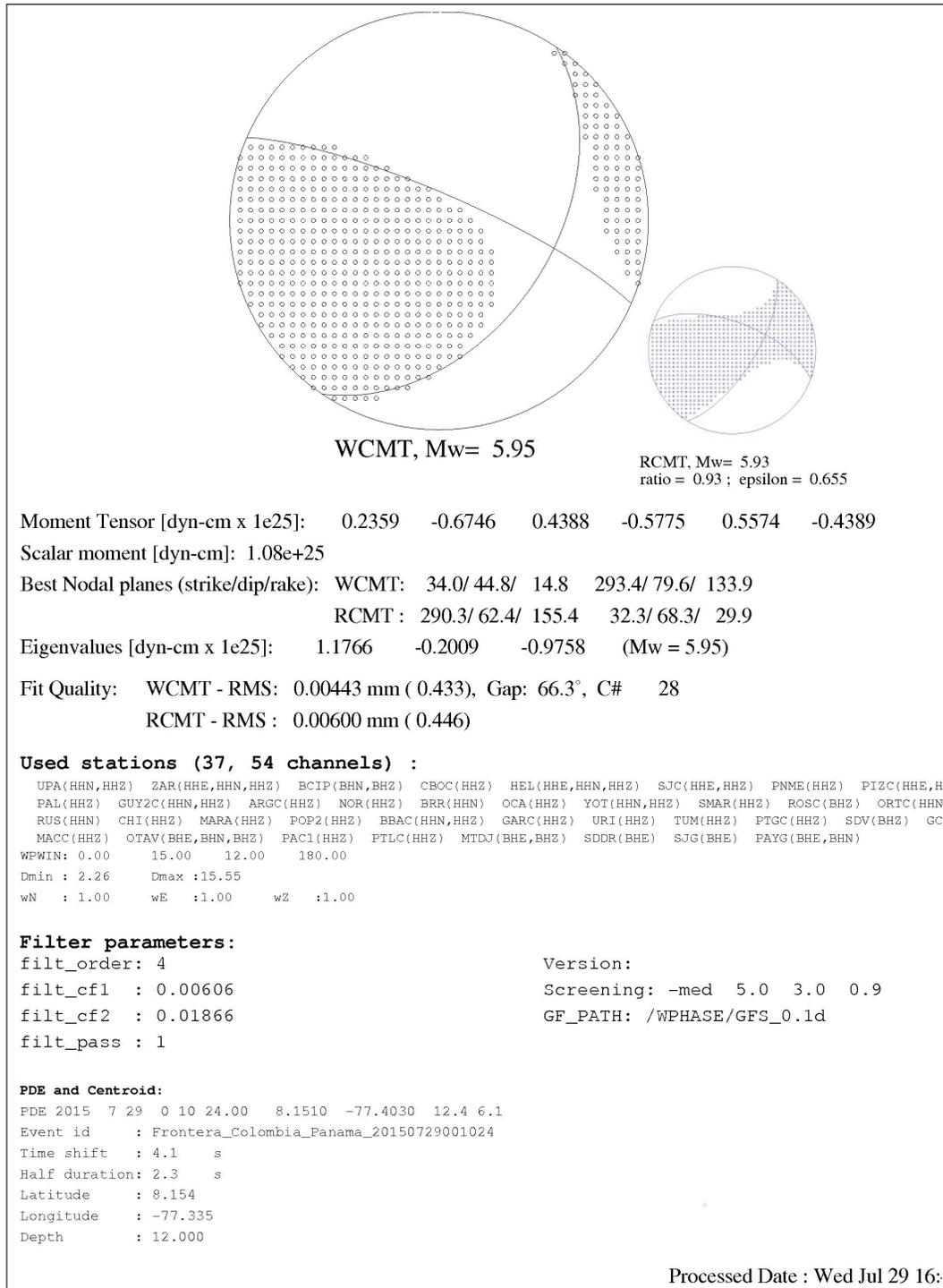


Figura 7: Parámetros de la fuente para el sismo del 28 de julio de 2015 en la frontera con Panamá. Se compara el mecanismo focal obtenido (WCMT, izquierda) con el consultado en GCMT (RCMT, izquierda).

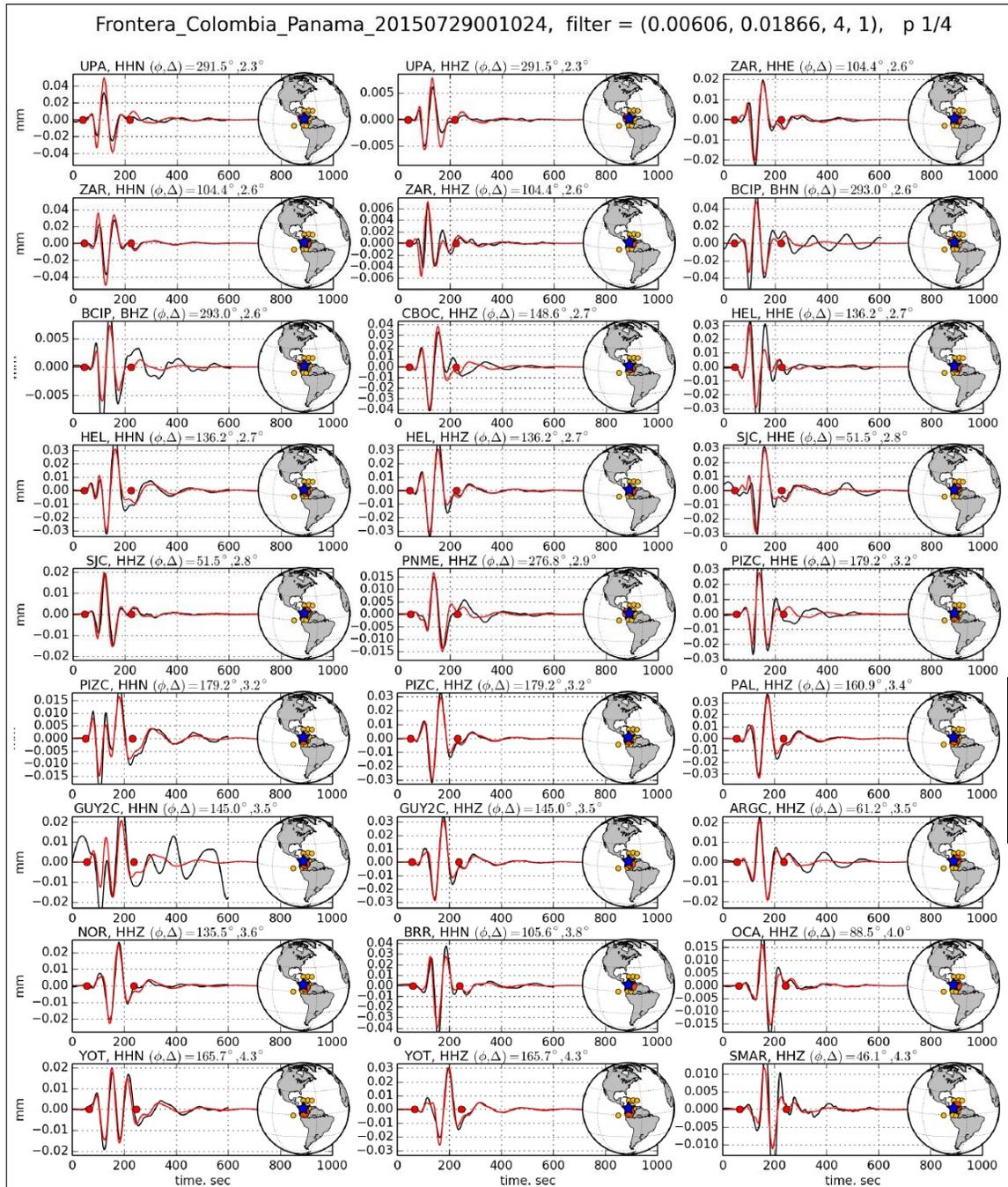


Figura 8: Formas de onda sintéticas (rojo) y observadas (negro) de la fase W para algunas de las estaciones.

## MOVIMIENTO FUERTE

Después del evento sísmico 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  $\text{cm/s}^2$ ; remoción de línea base y aplicación de un filtro pasa banda que no altere considerablemente la señal.

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. En la figura 9 se muestran las estaciones de la RNAC que cuentan con conexión remota que registraron el sismo.

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

Estación	Código	Geología	Aceleraciones en gales			Acel. Max. ( $\text{cm/s}^2$ )	Distancia Hipocentral (Km)
			Este-Oeste	Vertical	Norte-Sur		
PUNTA ARDITA	CPTAR	ROCA	-41.766	-16.562	-58.028	50.555	124.228
BAHIA SOLANO	CBSOL	SUELO	2.0106	-1.1047	-2.6325	2.343	214.608
PIZARRO, EST. SISMOLOGICA	CPIZC	ROCA	-0.3713	0.1966	-0.3137	0.344	354.414
SAN JOSE DEL PALMAR	CPALC	ROCA	0.2213	0.1275	-0.2925	0.259	379.508
MANIZALES, SGC	CMAN1	SUELO	1.1894	-0.2836	-0.8394	1.029	397.248
Barrio Niza, Manizales	CNIZA	ROCA	0.1521	0.0995	0.1249	0.139	401.596
VILLA MARIA	CRECR	ROCA	0.3309	-0.1379	0.2752	0.304	417.658
BAHIA MALAGA	CBMAL	ROCA	-0.0768	-0.0451	-0.0747	0.076	460.033
EL ROSAL	CROSA	ROCA	-0.1674	-0.1019	0.1958	0.182	496.963
VALLEDUPAR	CVALL	ROCA	-0.3961	0.2241	0.4436	0.421	522.687
BOGOTA, REACTOR NUCLEAR	CREAC	SUELO	-0.483	0.7649	-0.2375	0.381	530.761
BOGOTA, SGC	CBOG1	SUELO	-0.5087	-0.2671	-0.6237	0.569	531.972
CALI, SGC	RAC02	SUELO	-0.1349	0.0673	-0.1336	0.135	538.618
CERRO NEGRO, EST. SISMOLOGICA	CCNEG	ROCA	0.2127	-0.1234	-0.2544	0.234	604.209
BETANIA, EST. SISMOLOGICA	CBET2	ROCA	-0.0392	-0.0393	-0.0482	0.044	639.794
GARZON 2	CGAR2	ROCA	-0.0451	0.0232	-0.0316	0.039	693.558
PASTO, OBONUCO	CPAS1	ROCA	-0.0108	0.0137	-0.014	0.013	773.432

Las estaciones de acelerógrafos más cercanas al evento son las ubicadas en Punta Ardita (Acel. máx.  $50.555 \text{ cm/s}^2$ ) y Bahía Solano (Acel. máx.  $2.343 \text{ cm/s}^2$ ). En la figura 10 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 Punta Ardita - CPTAR.



Figura 9: Mapa de estaciones de la RNAC con transmisión de datos en tiempo real que registraron el sismo del 28 de julio de 2015.

## MAPAS AUTOMÁTICOS DE INTENSIDAD INSTRUMENTAL

Para la generación de los mapas de intensidad instrumental en tiempo real por el SGC, se realiza la localización del sismo y el cálculo de su magnitud de forma automática utilizando señales en tiempo real de la estaciones sismológicas y de movimiento fuerte disponibles, calculando además, los parámetros de movimiento del suelo tales como Aceleración Pico, Velocidad Pico y Aceleración Espectral (PGA, PGV y PSA respectivamente, 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

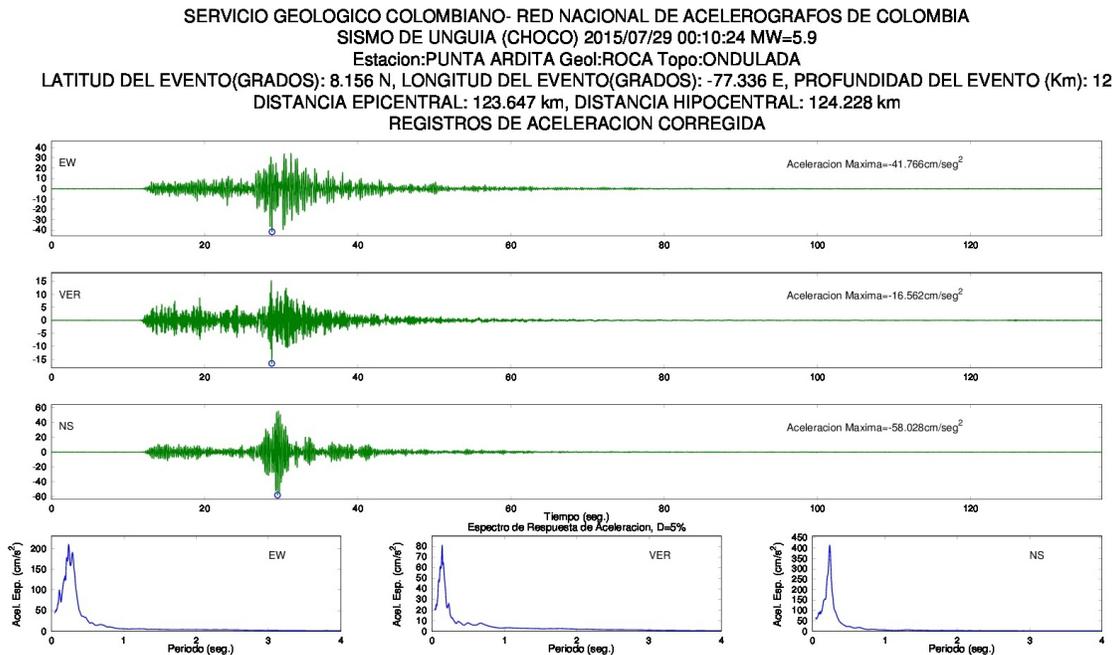


Figura 10: Aceleraciones máximas (PGA) registradas y espectro de respuesta para un amortiguamiento del 5 %, de las tres componentes de la estación de acelerógrafos ubicada Punta Ardita - CPTAR.

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 11

En la figura 12 se muestra el mapa de intensidades instrumentales en donde la intensidad instrumental alcanzada fue de VI en la zona cercana al epicentro, en la cual la percepción del movimiento es fuerte y el daño potencial es leve. Información adicional puede ser consultada en la web a través del enlace <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/shakemap/sc/shake/intensidad.html>

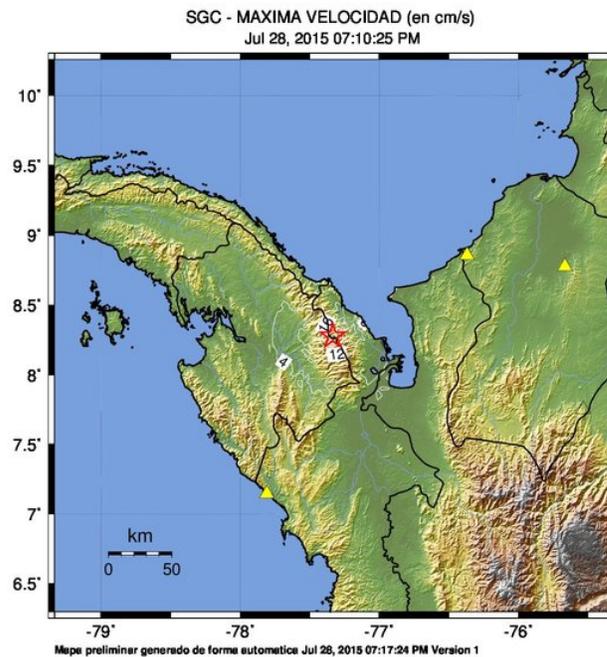
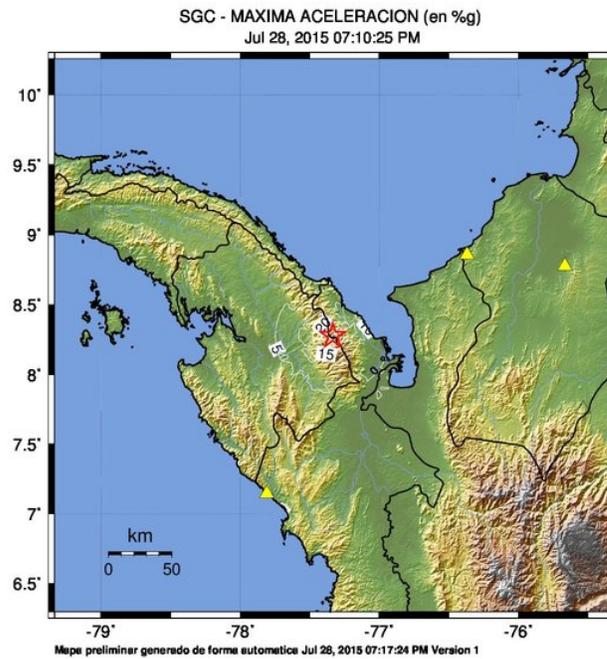


Figura 11: Mapa de aceleraciones (arriba) y velocidades (abajo) máximas generados automáticamente por el SGC para el sismo del 28 de Julio de 2015 con  $M_w = 5.9$

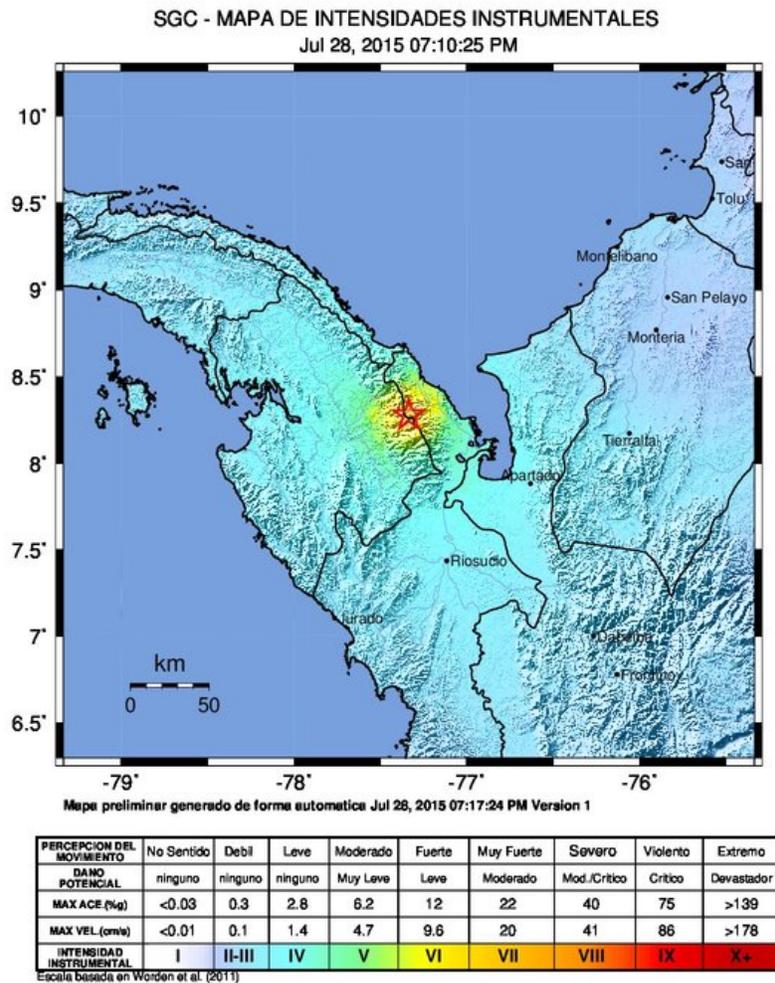


Figura 12: Mapa de intensidades instrumentales generado automáticamente por el SGC para el sismo del 28 de Julio de 2015 con  $M_w = 5.9$

## 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.

## Servicio Geológico Colombiano

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 58 formularios de 15 municipios del país que se detallan en la tabla 2. Con estos datos se elaboró el mapa de intensidades (Fig. 13), disponible en línea bajo el enlace [http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/paginas/intensidades/mapa.php?id=20150729001024&lat=8.15&lon=-77.40&pro=12.4&mag=6.1&epi=LA\\_FRONTERA\\_CON\\_PANAMA](http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/paginas/intensidades/mapa.php?id=20150729001024&lat=8.15&lon=-77.40&pro=12.4&mag=6.1&epi=LA_FRONTERA_CON_PANAMA).

Tabla 2: Número de reportes e intensidad por municipio.

Departamento	Municipio	No. de Reportes	Intensidad
<b>Antioquia</b>	Apartadó	5	5
	Bello	2	3
	Chigorodó	2	5
	Envigado	6	3
	Medellín	25	3
	Turbo	2	5
	Rionegro	2	3
<b>Bogotá D.C.</b>	Bogotá	6	2
<b>Caldas</b>	Manizales	2	2
<b>Córdoba</b>	Montería	2	3
<b>Chocó</b>	Unguía	2	5
<b>Risaralda</b>	Pereira	3	2
<b>Santander</b>	Bucaramanga	5	2
	Barrancabermeja	2	2
	Floridablanca	3	2
<b>Total Reportes</b>		58	

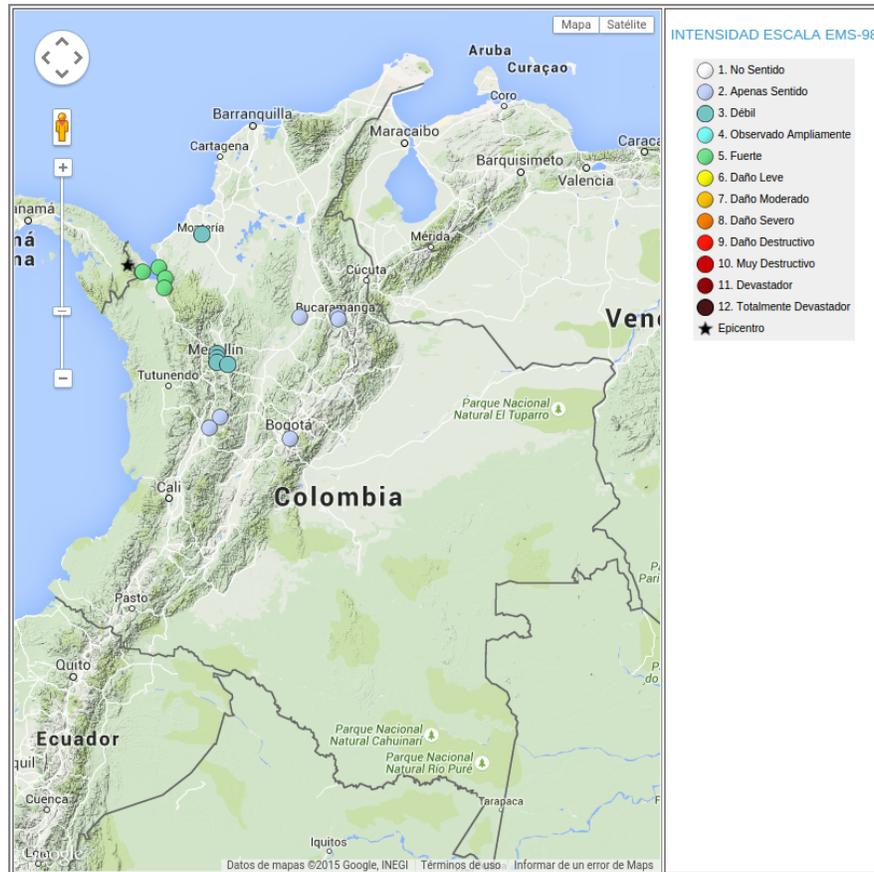


Figura 13: Mapa de evaluación de intensidades sísmicas para el evento sísmico en la frontera con Panamá a partir de los reportes de sentido que se enviaron via Internet.

## Referencias

- Restrepo, J. and Toussaint, J.; 1988. *Terranes and continental accretion in the Colombian Andes*. Episodes, Vol. 11, No. 3, pp. 189-193.
- Kerr A. C., Marriner G. F., Tarney J., Nivia A., Saunders A. D., Thirlwall M. F., and Sinton C. W.; 1997. *Cretaceous Basaltic Terranes in Western Colombia: Elemental, Chronological and Sr-Nd Isotopic Constraints on Petrogenesis*. J.Petrol. 38. 677-702.
- Duque-Caro, H.; 1990. *The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphy and paleogeographic implications*. Journal of South American Earth Sciences. Vol. 3, No. 1, pp. 71-84
- Taboada A., Rivera L.A., Fuenzalida A., Cisternas A., Philip H., Bijwaard H., and Olaya J.; 2000. *Geodynamics of Northern Andes; Subduction and Intra-Continental deformation (Colombia)*. Tectonics, 19 (5): 787-813.
- Suter F., Sartori M., Neuwerth R., and Gorin G.; 2008. *Structural Imprints at the Front of the Chocó-Panamá Indenter: Field data from the North Cauca Valley Basin, Central Colombia*. Tectonophysics 460. 134 - 157 p.
- Cortes M., Angelier J., and Colletta B.; 2005. *Paleostress evolution of the Northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia); implications on plate kinematics of the South Caribbean region*. Tectonics 24 (TC1008), 1 - 27.
- Barat F., Mercier de Lépinay B., Sosson M., Muller C., Baumgartner P., and Baumgarther-Mora C.; 2014. *Transition from the Farallon Plate subduction to the collision between South and Central America: Geological evolution of the Panam Isthmus*. Tectonophysics No.622 145 - 167.
- Vargas Jimenez C. A. and Duran Tovar J. P.; 2005. *State of strain and stress in Northwestern of South America*. Earth Sci. Res. J. vol.9, n.1, pp. 41-49