

SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO



***EL SISMO DE COLOMBIA, HUILA
DEL 30 DE OCTUBRE DE 2016***

ASPECTOS SISMOLÓGICOS Y EVALUACIÓN DE EFECTOS

Bogotá, noviembre de 2016



MINMINAS



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



***EL SISMO DE COLOMBIA, HUILA
DEL 30 DE OCTUBRE DE 2016
ASPECTOS SISMOLÓGICOS Y EVALUACIÓN DE EFECTOS***

Por:

Dirección de Geoamenazas

Bogotá, noviembre de 2016



PRESENTACIÓN

La Red Sismológica Nacional de Colombia – RSNC, adscrita al SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, es la encargada de observar, monitorear, investigar y evaluar la actividad sísmica del país de manera continua y permanente, con el fin de conocer el fenómeno sísmico y la amenaza que éste representa. Así mismo, ante la ocurrencia de un evento destacado, brindar información oportuna al Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, a las diferentes entidades y a la comunidad en general.

Cordialmente,

M.Sc. Viviana Dionicio Lozano

Coordinadora

Grupo de Evaluación y Monitoreo de la Actividad Sísmica

Director General del Servicio Geológico Colombiano

Dr. Oscar Paredes Zapata

Directora Técnica de Geoamenazas

Dra. Marta Lucia Calvache

Coordinadora Grupo Evaluación y Monitoreo de la Actividad Sísmica

M.Sc. Viviana Dionicio Lozano

ANALISTAS

Est. Geól. Adolfo Robayo.

Ing. Sist. Oscar David Riobamba.

Ing. Sist. Carlos Guillermo Araujo M.

Físico. Daniel David Siervo Plata.

Lic. Física. Edwin Fabián Mayorga., M.Sc.

Geól. Daniel Martínez Jaramillo.

Geól. Andrea Carolina Pérez

Geól. Laura Velasquez., Est. M.Sc.

Geofísica. Carolina Ortíz Guerrero

ÁREA DE SISMOLOGÍA

Física Patricia Pedraza., M.Sc.

Físico. Camilo Muñoz López.

Ing. Fís. Ruth Emilse Bolaños.

Físico. Nelson David Pérez., M.Sc.

Físico. Juan Santiago Velásquez., M.Sc.

Geóloga. Lina Paola Aguirre., M.Sc.

Físico. Juan Carlos Bermúdez., M.Sc.

Física. María Nader., Est. Doc.

ÁREA DE ELECTRÓNICA

Ing. Andrés Felipe Gómez

Ing. Jorge Andrés de la Rosa.

Ing. Juan Carlos Lizcano.

Ing. Javier Danilo León.

Ing. Johnnatan Fernandez.

Téc. Edgar Gil.

Téc. Robert Prada.

Servicio Geológico Colombiano

ÁREA DE SISTEMAS

Ing. Sist. Mónica Yaneth Acosta., Esp.
Téc. Est Ing. Orlando Chamorro.
Ing. Sist. Oscar Javier Higuera.

ÁREA ACELERÓGRAFOS

Física. Elizabeth Mazo
Ing. Civil. Helber García., Est. M.Sc.
Ing Civil. Gustavo Redondo, Esp.
Física. Luisa Fernanda Castillo., Est.
M.Sc.

ÁREA DE AMENAZA SÍSMICA

Geóloga. Mónica Arcila
Geógrafa M.Sc. Ana Milena Sarabia
Geógrafa. Diana Rocío Barbosa
Ing. Civil. Martha Eugenia Tovar
Ing. Sist. David Germán Zornosa

ÁREA DE TECTÓNICA CUATERNARIA

Geólogo. Jaime Romero León Geólogo.
Geóloga. Sleyde Paola Quintero
Geóloga. Katerine Vallejo Quinceno

ASISTENTE COORDINACIÓN

Adm. Fin. Diana Puentes
Téc. Asis. Adm. Doris González

GRUPO MOVIMIENTOS EN MASA

Geol. Sofía del Rosario Navarro Alarcón
Geol. Jorge Leonardo Chaparro Cordón
Geol. Jorge Arturo Castro Guerra
Geol. Gustavo Adolfo Trejos González
Ing. Milena Polo Carrascal
Ing. Ángela María Galindo Sáchica
Ing. Carlos Murcia Cañón
Ing. Leonardo Méndez Barón

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
1. MARCO TECTÓNICO	13
2. REPORTE DE RÉPLICAS	15
3. MECANISMO FOCAL.....	17
4. MOVIMIENTO FUERTE	21
4.1 ACELERACIONES MÁXIMAS.....	21
4.2 MAPAS AUTOMÁTICOS DE INTENSIDAD INSTRUMENTAL	25
4.3 EVALUACIÓN DE INTENSIDADES A PARTIR DE REPORTES DE INTERNET	27
4.4 EVALUACIÓN MACROSÍSMICA DE DAÑOS EN LA ZONA	32
CONCLUSIONES.....	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Epicentro del evento.....	10
Figura 2. Ubicación de las estaciones usadas en la localización del evento.	11
Figura 3. Registro sísmico de las estaciones usadas en la localización del sismo.	12
Figura 4. plancha geológica 303 a escala 1:100.000 de Ingeominas (2002) hoy SGC. ...	14
Figura 5. Localizaciones de las réplicas.	16
Figura 6. Localización del centroide de la fuente (estrella roja) y contorno de residuales de la inversión de forma de onda. Los círculos azules muestran las estaciones usadas en la inversión.	17
Figura 7. Solución SWIFT para el centroide del tensor momento y parámetros de la fuente sísmica.	18
Figura 8. Función temporal de la fuente. La línea azul corresponde a la función de fuente reconstruida (m_r). Las líneas roja y verde son respectivamente la función de fuente filtrada obtenida de la inversión (m_f) y la función de ajuste de m_f a m_r	19
Figura 9. Ajuste de formas de onda sintéticas (rojo) y observadas (negro) empleadas por SWIFT para la obtención de los parámetros de fuente sísmica.	20
Figura 10. Estaciones de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC) que registraron el sismo del 30 de octubre de 2016 (triángulos rojos). El círculo negro indica el epicentro el evento.....	22
Figura 11 Aceleraciones registradas en las estaciones más cercanas al evento.	23
Figura 12. Aceleraciones máximas (PGA) registradas y el espectro de respuesta para un amortiguamiento del 5 %, de las tres componentes de la estación de acelerógrafos ubicada en Cerro Negro – Meta.....	24
Figura 13. Aceleraciones máximas (PGA) registradas y el espectro de respuesta para un amortiguamiento del 5 % de las tres componentes de la estación de acelerógrafos ubicada en Garzón - Huila.....	24
Figura 14. Mapa de aceleraciones (arriba) y velocidades (abajo) máximas generados automáticamente por el SGC para el sismo del 30 de octubre de 2016.	25
Figura 15. Mapa de intensidades instrumentales generado automáticamente por el SGC para el sismo del 30 de octubre de 2016.	26
Figura 16. Mapa de evaluación de intensidades sísmicas a partir de los reportes de sentido vía Internet del sismo del 30 de octubre 2016.....	30

Figura 17. Caída de rocas vía Neiva- Colombia.....	33
Figura 18. Ampliación de grieta preexistente en muro (Tello, Huila).	33
Figura 19. Grieta en muro de cerramiento (Alpujarra, Tolima).....	33
Figura 20. Caída parcial de muro en bahareque (Colombia, Huila).....	34
Figura 21. Reapertura y ampliación de grietas en conexiones de muros (Baraya, Huila).	34

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Aceleraciones máximas registradas (PGA) y distancia hipocentral de algunas estaciones de acelerógrafos que registraron el sismo.....	21
Tabla 2. Número de reportes e intensidad por municipio.....	28
Tabla 3.. Versión resumida de la escala de intensidad EMS-98	31

RESUMEN

El 30 de octubre de 2016 se presentó un sismo importante en el municipio de Colombia, (Huila). En este informe se presenta información detallada del evento registrado por la Red Sismológica Nacional de Colombia del Servicio Geológico Colombiano además del marco tectónico de la región del epicentro y el cálculo del mecanismo focal del evento. También se presentan análisis de movimiento fuerte y de intensidad sísmica en la zona.

ABSTRACT

On the 30th of October, 2016 an important seismic event occurred in the municipality of Colombia, (Huila). This report presents the detailed information of the event recorded by the Colombian National Seismic Network of the Colombian Geological Survey together with the calculation of the mechanism of the event and tectonic information of the region of the epicenter. Strong motion data and seismic intensity observations are also presented.

INTRODUCCIÓN

El día 30 de octubre del año 2016 a las 7:20 p.m. hora local (2016-10-31 00:20 hora UTC), se presentó un sismo de magnitud M_w 5.4. El Servicio Geológico Colombiano (SGC) - Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) lo localizó a 18.4 km al noreste de la cabecera municipal de Colombia (Huila), con epicentro en las coordenadas $3^{\circ}24'18''N$, $74^{\circ}38'9.60''W$ y con una profundidad de 13.2 km (Figura 1.)

El Servicio Geológico Colombiano localizó el epicentro usando datos de la RSNC, Red Nacional de Sismógrafos del Ecuador (RENSIG), Caribbean Network (USGS), Centro de Sismología de la Universidad de Brasilia y la Red sismológica de la Universidad de Panamá. En la Figura 2. se muestra el mapa con la ubicación de las estaciones utilizadas para la localización del evento y en la Figura 3. la imagen del registro sísmico en algunas de ellas.

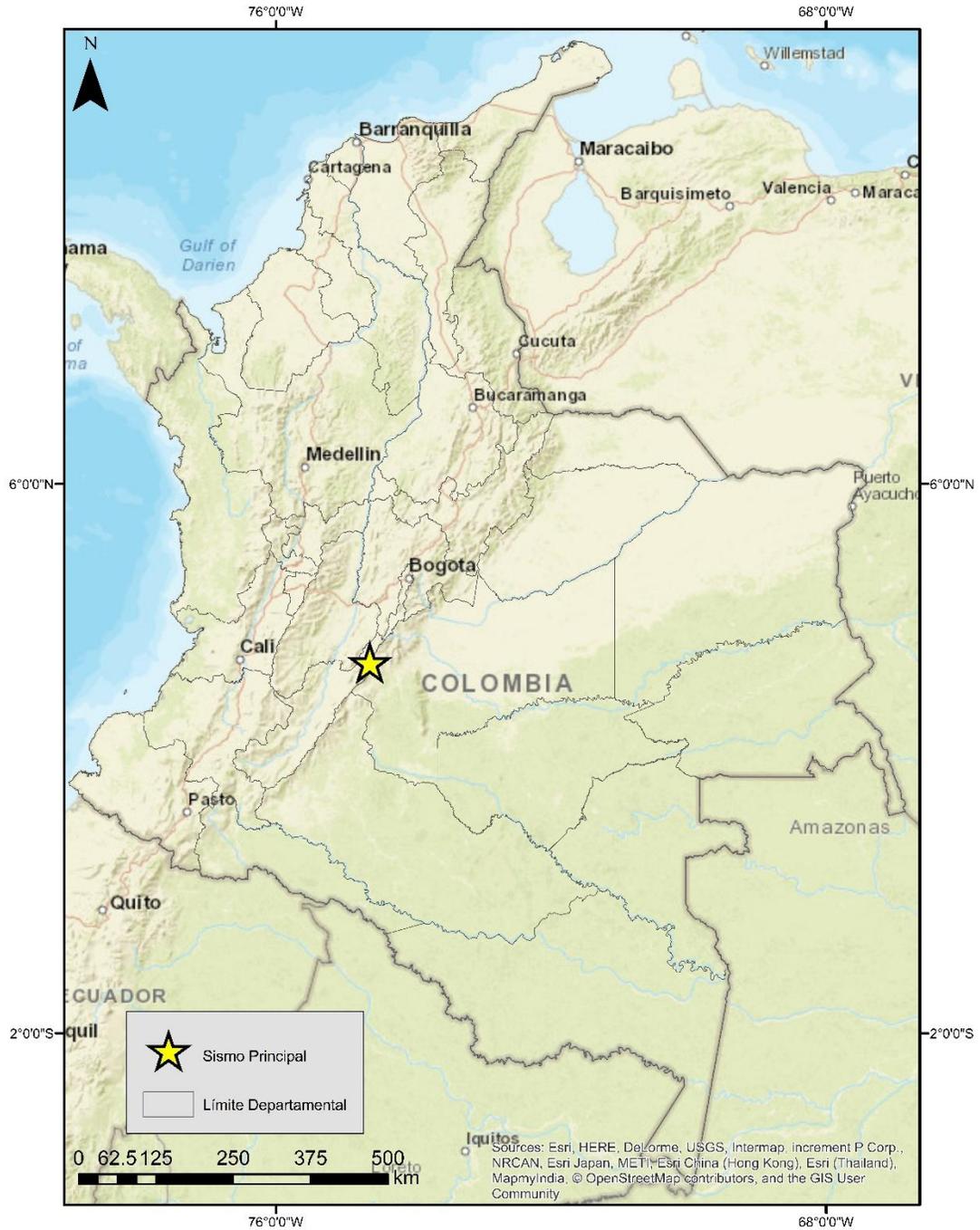


Figura 1. Epicentro del evento.

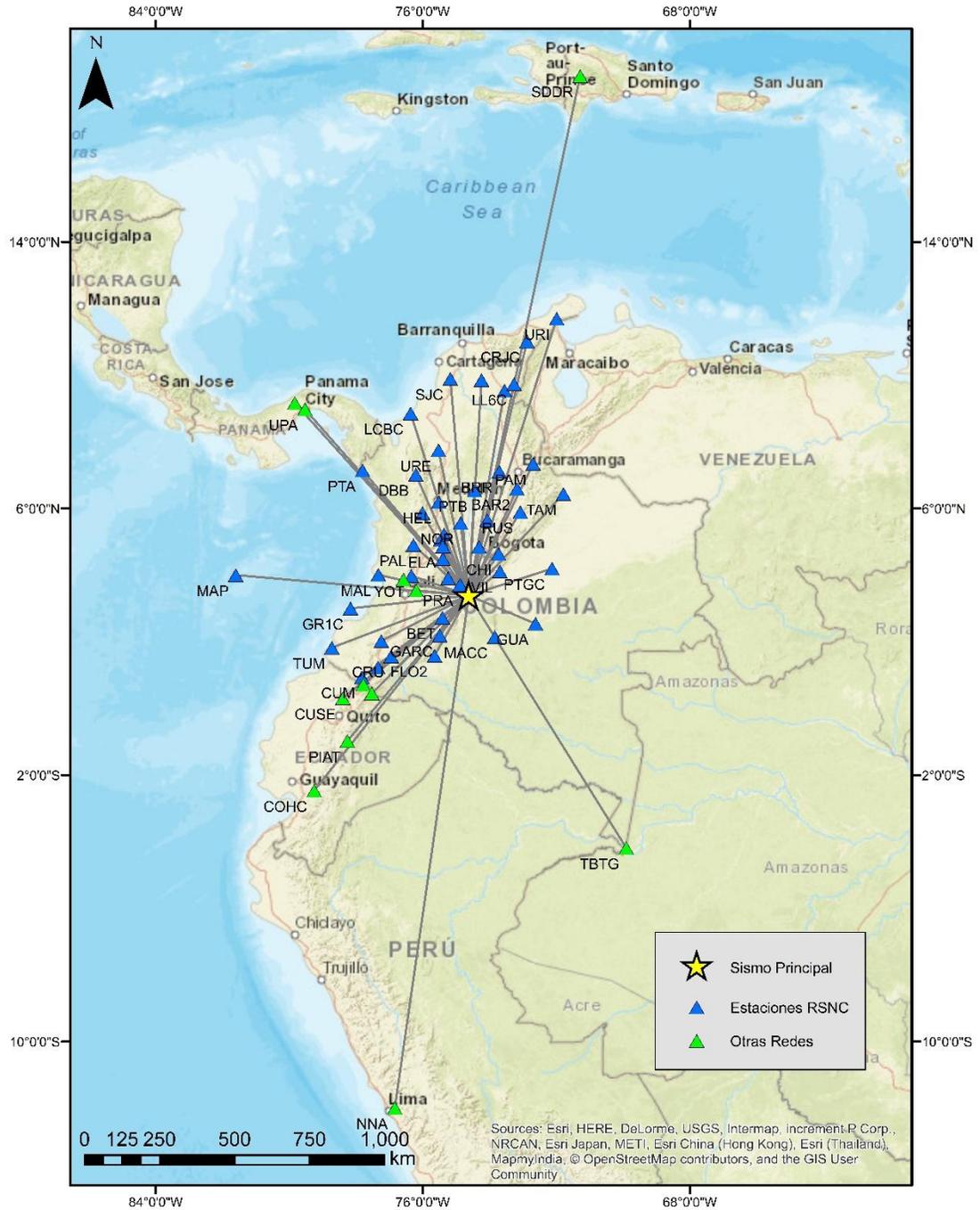


Figura 2. Ubicación de las estaciones usadas en la localización del evento.

REPORTE DE AFECTACIONES

La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) no reporta afectación sobre las personas, cero fallecidos y cero heridos. Se ha establecido a la fecha noventa y seis viviendas y dos vías por deslizamiento y hundimiento fueron afectadas; cuarenta viviendas presentan afectación leve, dieciséis tienen una afectación moderada y cuarenta con afectación severa. En el siguiente enlace (consultado por última vez a las 11:00 horas el 5 de noviembre de 2016) se encuentra la descripción de las afectaciones reportadas por la UNGRD:

<http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2016/Gobierno-Nacional-atende-situacion-presentada-en-el-departamento-del-Huila-luego-del-sismo.aspx>

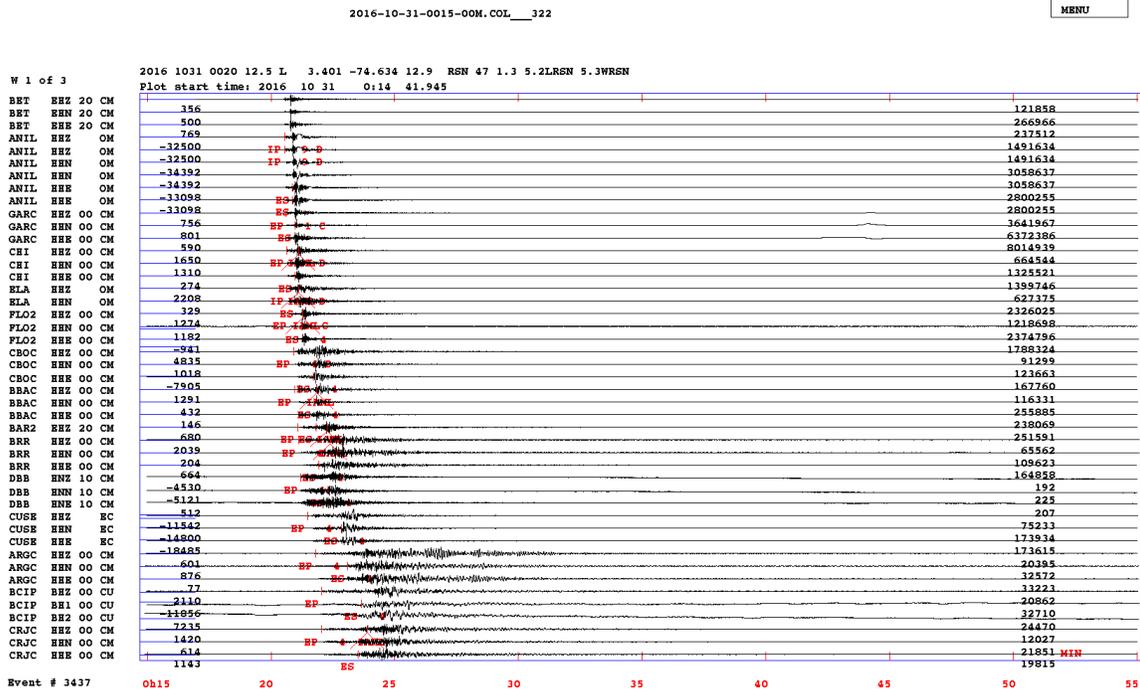


Figura 3. Registro sísmico de las estaciones usadas en la localización del sismo.

1. MARCO TECTÓNICO

El epicentro del sismo del 30 de octubre se ubica en la Región Andina, específicamente en la zona central de la Cordillera Oriental, dentro del sistema de fallas de Algeciras cerca del segmento Altamira, de acuerdo con plancha geológica 303 a escala 1:100.000 de Ingeominas (2002) hoy SGC (Figura 4.) El sistema de fallas de Algeciras se observa al SW de Colombia y posee características neotectónicas a lo largo de segmentos rectos de la falla de Algeciras que se asocian con un desplazamiento lateral derecho y una importante componente vertical, que involucra tanto la cubierta sedimentaria como las rocas del basamento (Vergara, 1996 y Chorowicz *et al.*, 1996 en Velandia *et al.*, 2005).

En un contexto amplio, se consideran los Andes del Norte como un bloque tectónico que se mueve hacia el noreste con respecto a la placa de América del Sur (Pennington, 1981, Kellogg *et al.*, 1985, Freymueller *et al.*, 1993, Mann, 1995, Kellogg y Vega, 1995 y Trenkamp *et al.*, 2002 en Velandia *et al.*, 2005). En ese mismo sentido, varios autores consideran que el movimiento se produce a lo largo del Sistema Andino Frontal del Este, formado por las fallas del piedemonte de la Cordillera Oriental, el sistema de fallas Guaicaramo en Colombia y el sistema de fallas de Boconó en Venezuela. Este límite se interpreta como el resultado de transpresión generada por el movimiento lateral derecho del Sistema Andino Frontal oriente durante el Cuaternario (Freymueller *et al.*, 1993, Kellogg y Vega, 1995 y Taboada *et al.*, 2000 en Velandia *et al.*, 2005). Sin embargo, Velandia *et al.*, 2005, investigan la parte sur-central de los Andes en Colombia donde demuestran que el SFA (Sistema de Fallas de Algeciras) constituye el límite actual de dicho régimen tectónico transpresivo de los Andes del Norte; comenzando el Golfo de Guayaquil, y continuando en Colombia y Venezuela, en lugar del Sistema Andino Frontal del Este.

Es de anotar, que se han encontrado evidencias de actividad neotectónica identificadas a lo largo del sistema de fallas de Algeciras, que confirman actividad en fallas sintéticas y antitéticas. Además, se observan fallas de cabalgamiento como producto de una actividad tectónica compresiva de dirección NW-SE.

FALLA DE ALTAMIRA

Es una falla regional de tipo inverso, con un trazo sinuoso de rumbo aproximado N45°E y buzamiento entre 50° y 70° hacia el sureste. Es una falla de gran importancia, ya que marca el contacto entre la secuencia cretácico-paleógeno-neógena con el bloque cabalgante conformado por rocas precámbricas y paleozoicas del Macizo de Quetame. (Geología de la plancha 303 Colombia, memoria explicativa).

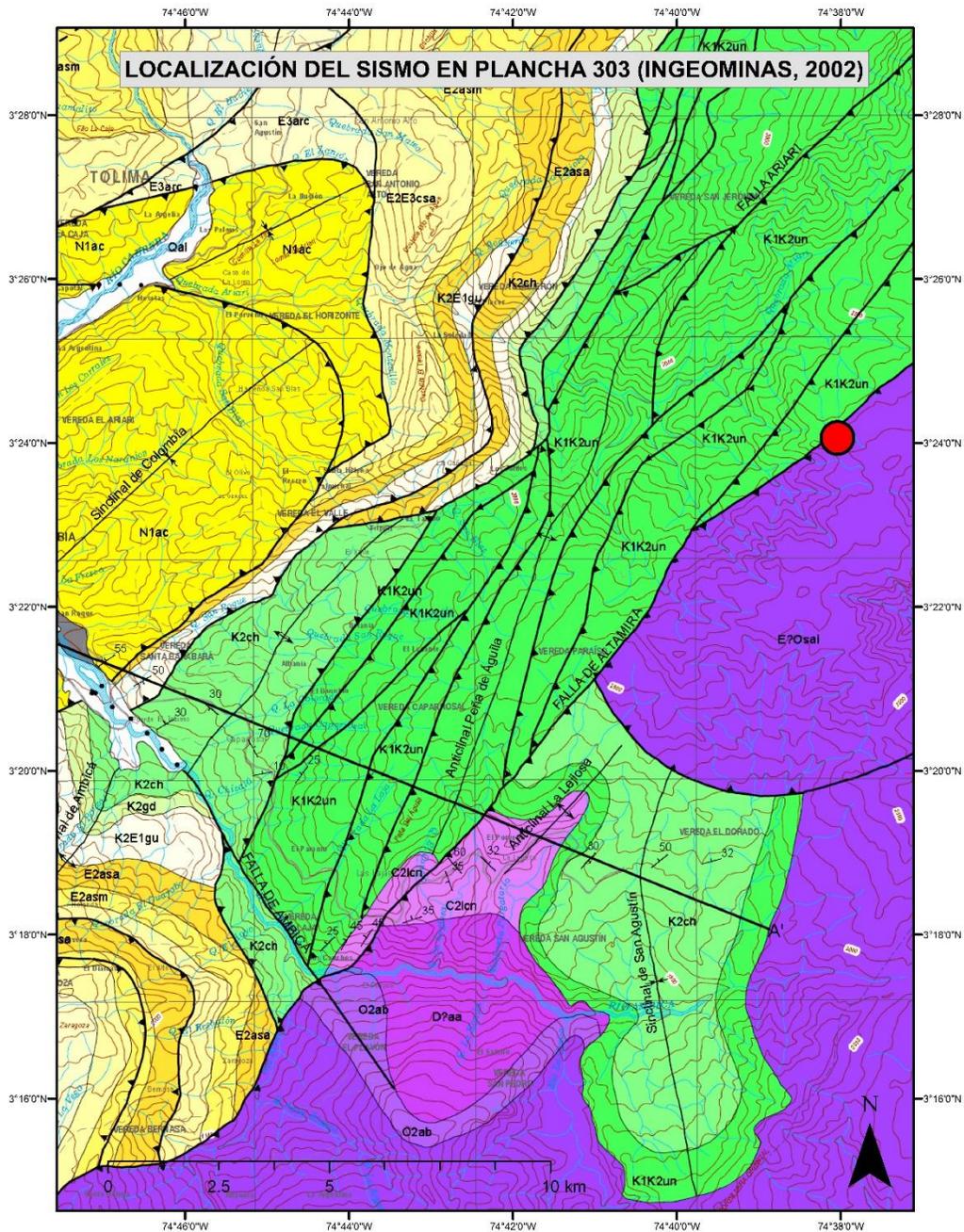


Figura 4. Plancha geológica 303 a escala 1:100.000 de Ingeominas (2002) hoy SGC.

2. REPORTE DE RÉPLICAS

Hasta el día 05 de Noviembre se han registrado 16 réplicas localizables con profundidad menor de (Figura 5.) 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. Dos horas quince minutos después del evento principal, 9:05 p.m. hora local (2016-10- 31 02:05 hora UTC) se presentó una réplica de magnitud Mw 5.0. El RNSC reportó el epicentro a 21 km al noreste de la cabecera municipal de Colombia (Huila) con coordenadas 3.39N y 74.61W y profundidad 14 km. Esta réplica fue reportada como sentida por el RSNC en Facatativá, Funza, Fusagasugá, Madrid, Mosquera, Sibaté, Soacha, Girardot (Cundinamarca), Ibagué, Melgar, Carmen De Apicalá (Tolima), Cali (Valle Del Cauca), Armenia (Quindío), San José Del Guaviare (Guaviare), Neiva (Huila), Villavicencio (Meta) y Bogotá D.C.

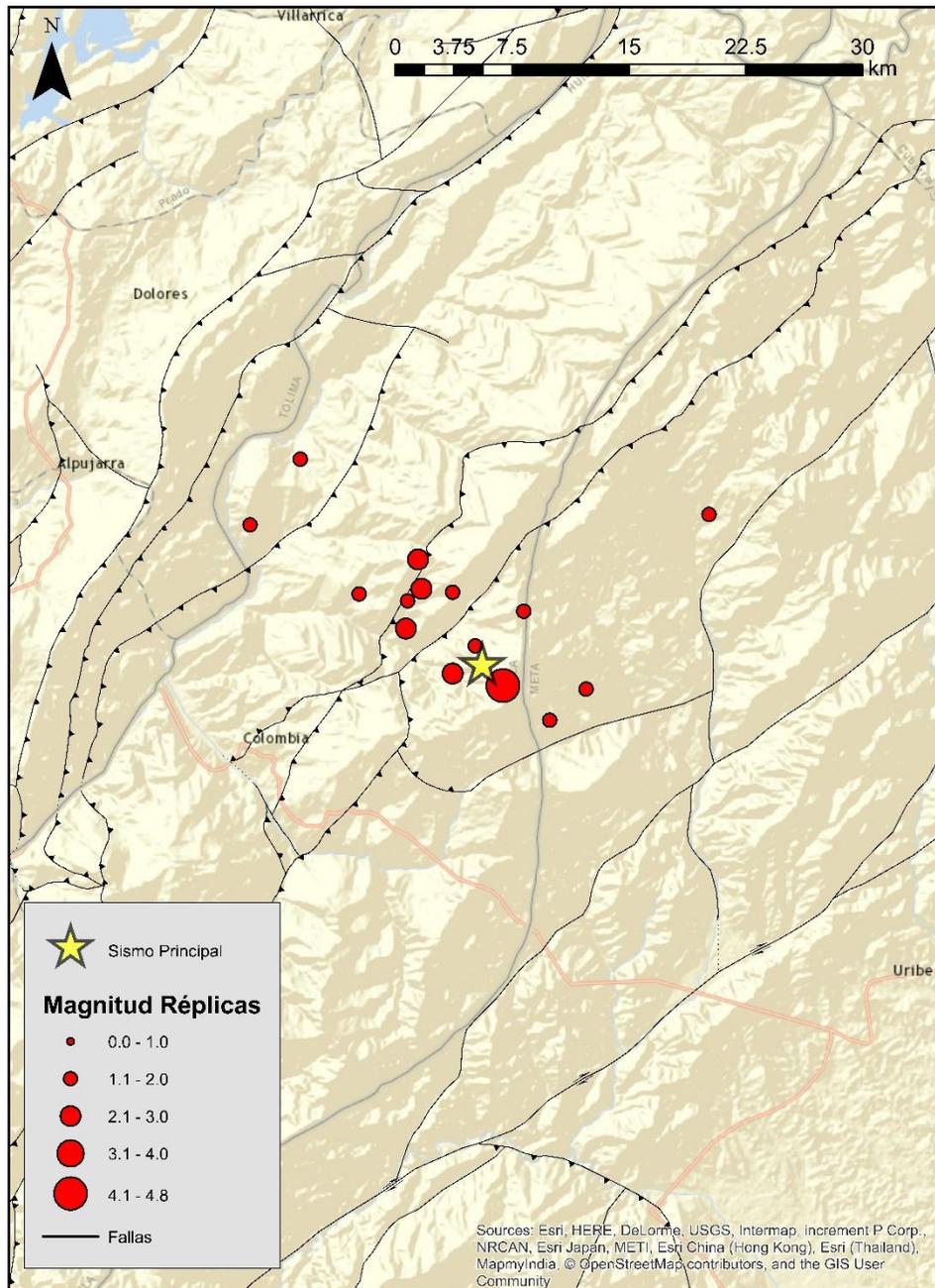


Figura 5. Localizaciones de las réplicas.

3. MECANISMO FOCAL

La solución del mecanismo focal del evento se obtiene mediante la determinación del tensor de momento sísmico del centroide (CMT). Para ello se usa software SWIFT, siglas en inglés para “Source parameter determination based on *Waveform Inversion of Fourier Transformed* seismograms” (Nakano et al. 2008). SWIFT es un sistema automatizado para la determinación rápida del mecanismo focal que asume un mecanismo de fuente de doble-cupla para estabilizar la inversión usando datos de pocas estaciones. La solución para el mecanismo focal en dicho software se obtiene por inversión de sismogramas en el dominio de frecuencia filtrados en periodos largos.

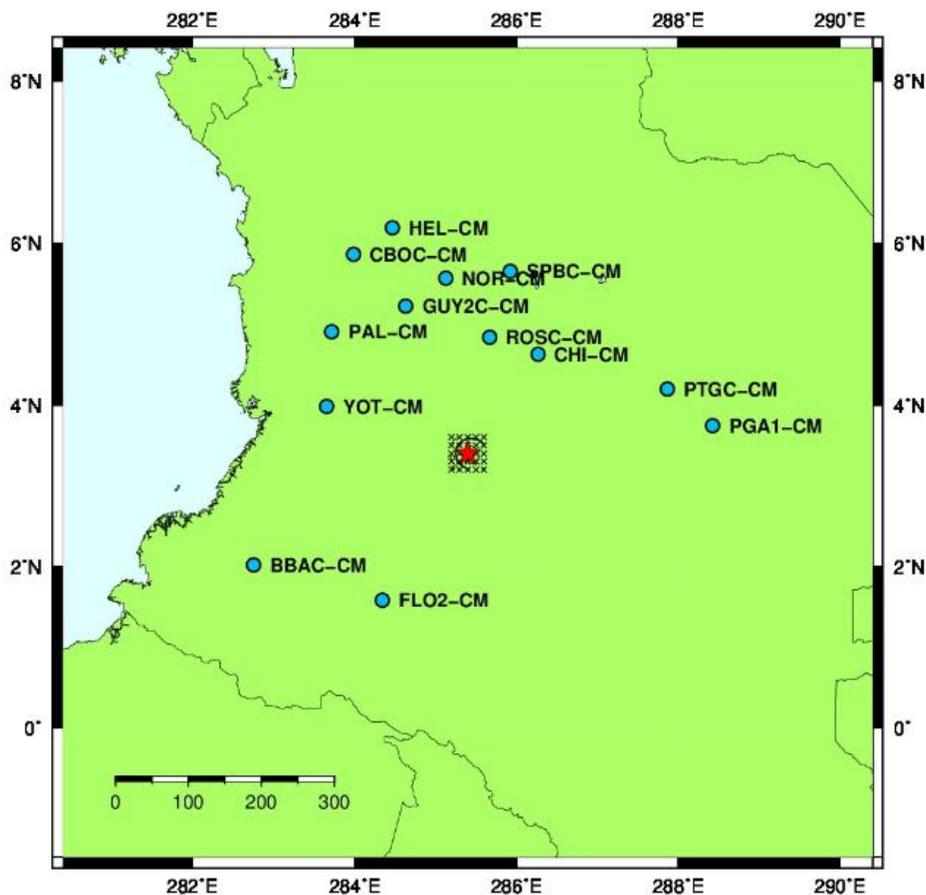
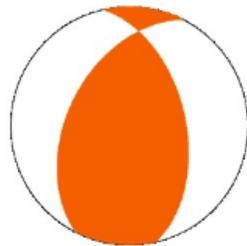


Figura 6. Localización del centroide de la fuente (estrella roja) y contorno de residuales de la inversión de forma de onda. Los círculos azules muestran las estaciones usadas en la inversión.

Los parámetros de falla con mejor ajuste y la localización del centroide de la fuente se obtienen ajustando los sismogramas observados con sismogramas sintéticos generados. Se generan grillas de búsqueda de la posición de la fuente en profundidad. La orientación de la falla y del deslizamiento son estimados por una grilla de búsqueda con respecto a los ángulos de rumbo, buzamiento y deslizamiento.

Para esta inversión se usaron formas de onda registradas por estaciones sismológicas del SGC donde se presenta un gap azimutal al Suroeste del evento. El centroide de la fuente fue ubicado en las coordenadas 74.70°W, 3.40°N, y profundidad de 40 km. En la Figura 6. se muestra dicha localización y el contorno de los residuales.

El mecanismo focal obtenido de la inversión (Figura 7.) corresponde a un plano de 339° de azimut buzando 59° al Este, indicando una ruptura de tipo inversa con una pequeña componente de rumbo sinestral y un momento sísmico $M_0 = 2.32 \times 10^{17}$ Nm.



(Lon, Lat, Depth) = (74.60°W, 3.40°N, 45 km)

(Strike 1, Dip 1, Rake 1) = (347°, 51°, 62°)

(Strike 2, Dip 2, Rake 2) = (207°, 47°, 120°)

Moment magnitude (M_w) = 5.5

Seismic moment (M_0) = 2.31×10^{17} Nm

Figura 7. Solución SWIFT para el centroide del tensor momento y parámetros de la fuente sísmica.

La función fuente reconstruida (m_r), la función de fuente filtrada (m_f)-obtenida de la forma de onda filtrada en un rango entre 0.01 y 0.02Hz - y la función de ajuste de m_f para reconstruir m_r se muestran en la Figura 8.

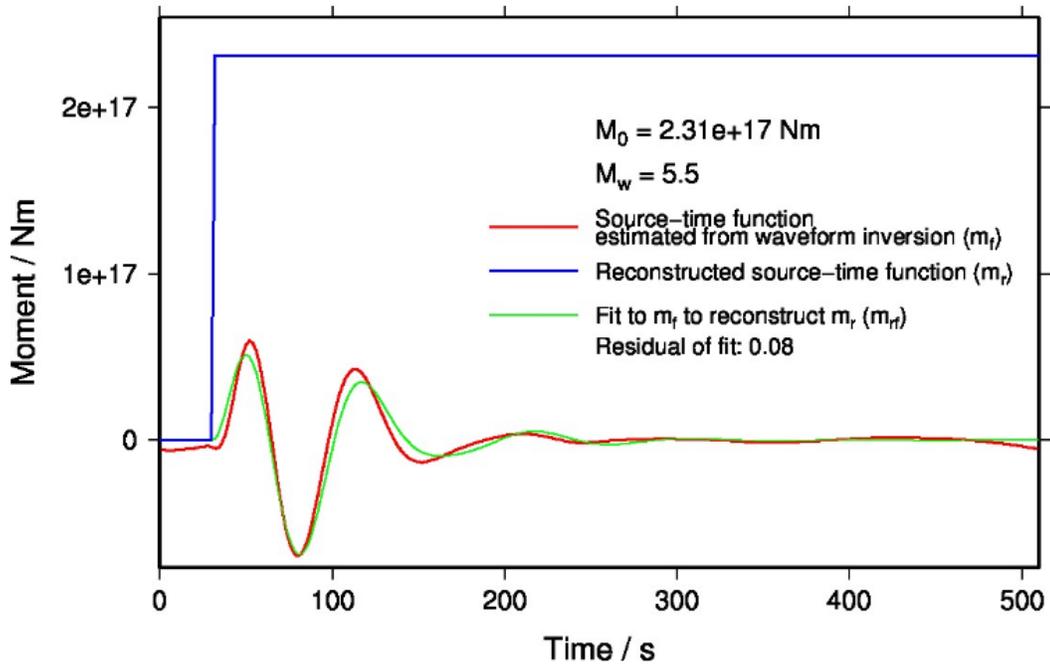


Figura 8. Función temporal de la fuente. La línea azul corresponde a la función de fuente reconstruida (m_r). Las líneas roja y verde son respectivamente la función de fuente filtrada obtenida de la inversión (m_r) y la función de ajuste de m_r a m_r .

El ajuste de Formas de onda observadas con las formas de onda sintéticas se muestra en la Figura 9. Estos sismogramas fueron procesados con un filtro tipo pasa-banda en un rango de frecuencias de 0.01 a 0.02 Hz.

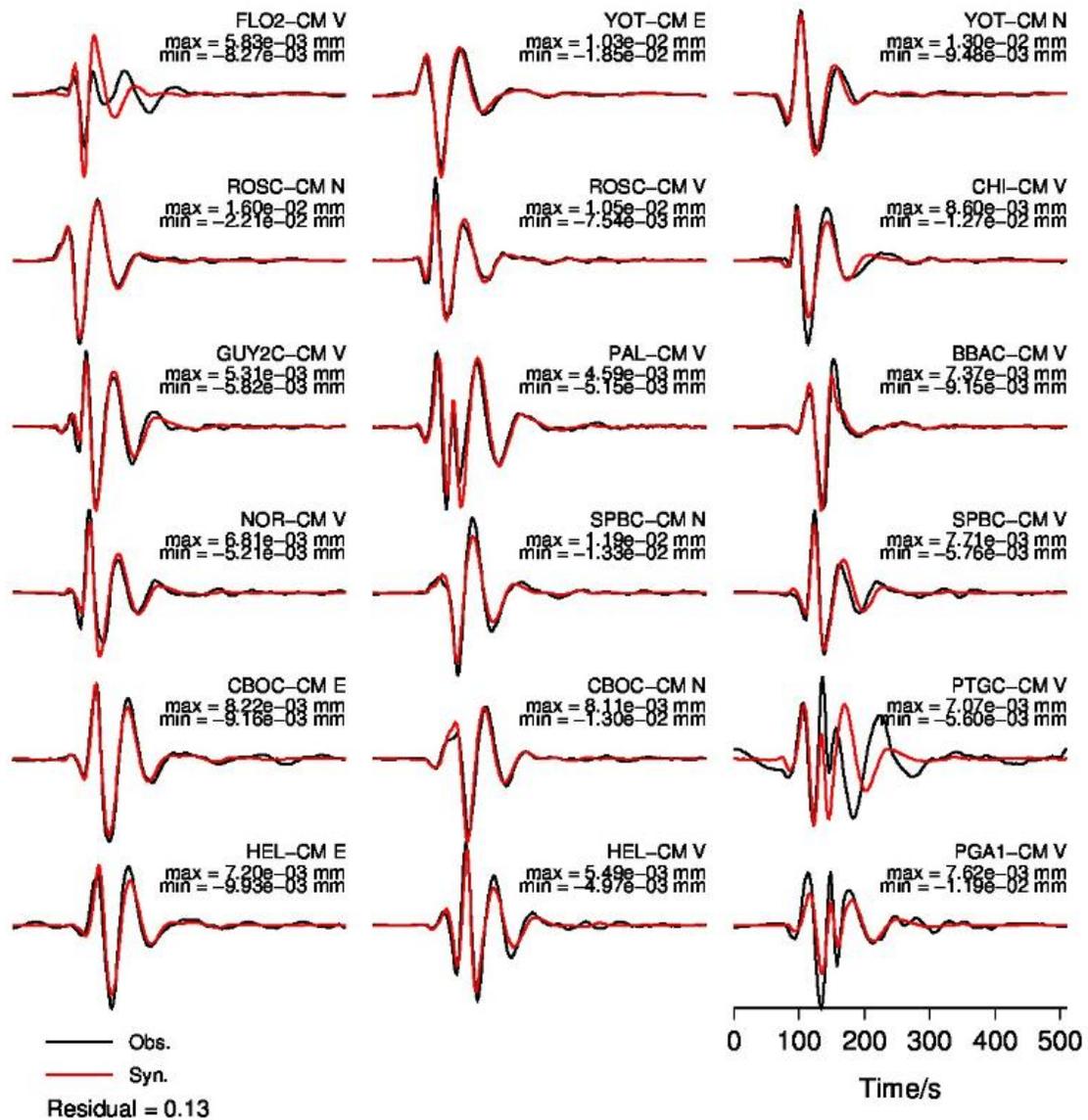


Figura 9. Ajuste de formas de onda sintéticas (rojo) y observadas (negro) empleadas por SWIFT para la obtención de los parámetros de fuente sísmica.

4. MOVIMIENTO FUERTE

4.1 ACELERACIONES MÁXIMAS

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 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 10 se muestran las estaciones de la RNAC que cuentan con conexión remota y 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. (cm/s^2)	Distancia Hipocentral (km)
			Este-Oeste	Vertical	Norte-Sur		
Ortega	CORT	ROCA	16,698	-12,438	17,281	16,9895	88,842
Betania (sismómetro)	CBET2	ROCA	6,2984	3,8609	-6,7673	6,53285	114,304
Cerro Negro (sismómetro)	CCNEG	ROCA	23,882	9,862	26,51	25,196	131,519
Ibagué	CIBA1	SUELO	-16,951	4,8519	12,898	14,924	134,719
Bogotá, SGC	CBOG1	SUELO	4,0444	2,4568	5,2612	4,6528	151,71
Garzón 2	CGAR2	ROCA	21,686	-13,625	17,093	19,389	164,224
Guyana	CGUYA	ROCA	0,5376	-0,8345	-0,6086	0,5731	218,902
Florencia	CFLOR	ROCA	4,0168	2,8689	-3,6554	3,8361	230,41
La Cruz	CCRUZ	ROCA	-2,1408	1,2532	2,1774	2,1591	327,299
Isla Gorgona	CGR1C	ROCA	-0,024	0,0199	-0,0235	0,0235	394,423
Dabeiba	CDABEI	ROCA	0,0371	-0,0292	-0,0483	0,0427	438,815



Figura 10. Estaciones de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC) que registraron el sismo del 30 de octubre de 2016 (triángulos rojos). El círculo negro indica el epicentro el evento.

Las estaciones de acelerógrafos más cercanas al evento son las ubicadas en Ortega - Tolima (aceleración máxima 17.281 cm/s^2) y Betania - Huila (aceleración máxima -6.76 cm/s^2). Sin embargo, las mayores aceleraciones fueron registradas por las estaciones de Cerro Negro - Meta (aceleración máxima 26.51 cm/s^2) y Garzón - Huila (aceleración máxima 21.68 cm/s^2).

La Figura 11. muestra los acelerogramas de las estaciones más cercanas al epicentro. Las Figuras 12 y 13. muestran los acelerogramas de las estaciones que registraron las mayores aceleraciones, así como los espectros de respuesta de aceleración con un amortiguamiento del 5 %.

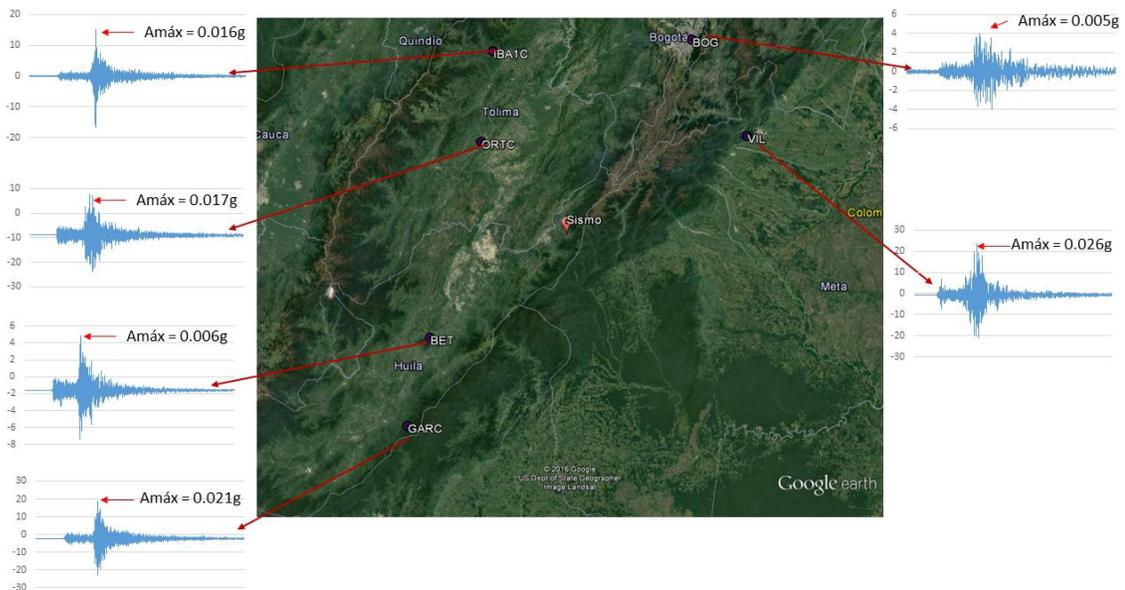


Figura 11. Aceleraciones registradas en las estaciones más cercanas al evento.

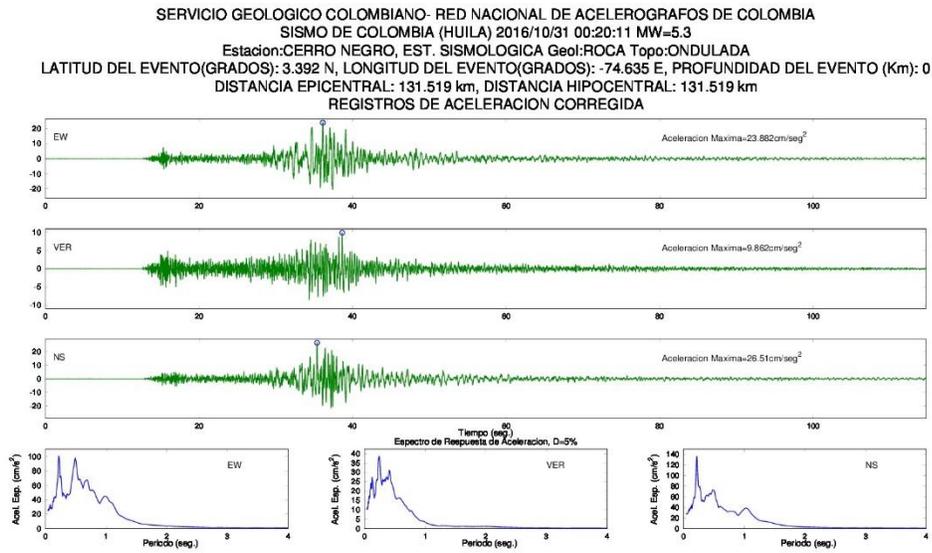


Figura 12. Aceleraciones máximas (PGA) registradas y el espectro de respuesta para un amortiguamiento del 5 %, de las tres componentes de la estación de acelerógrafos ubicada en Cerro Negro – Meta.

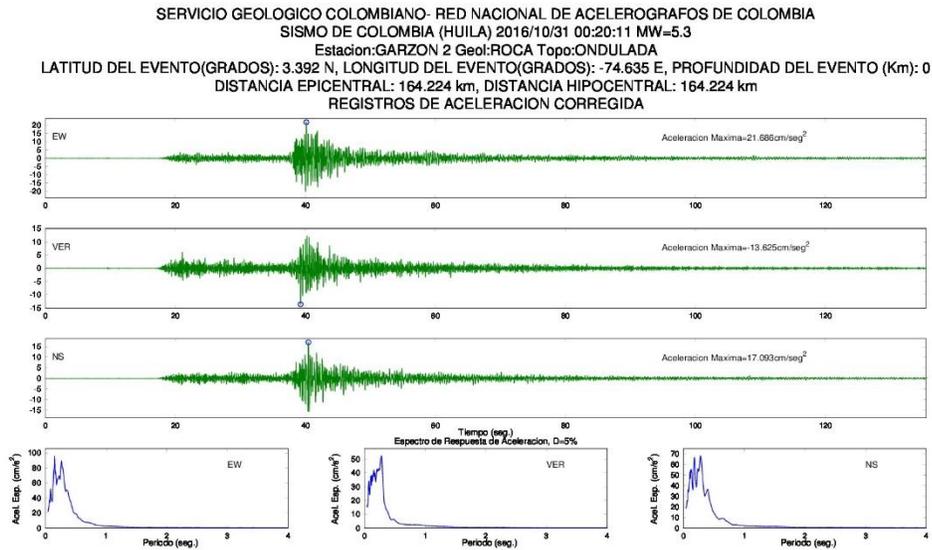


Figura 13. Aceleraciones máximas (PGA) registradas y el espectro de respuesta para un amortiguamiento del 5 % de las tres componentes de la estación de acelerógrafos ubicada en Garzón - Huila.

4.2 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 las estaciones sismológicas y de movimiento fuerte disponibles, calculando además los parámetros de movimiento del suelo tales como Aceleración Pico y Velocidad Pico (PGA y PGV 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 las aceleraciones en superficie.

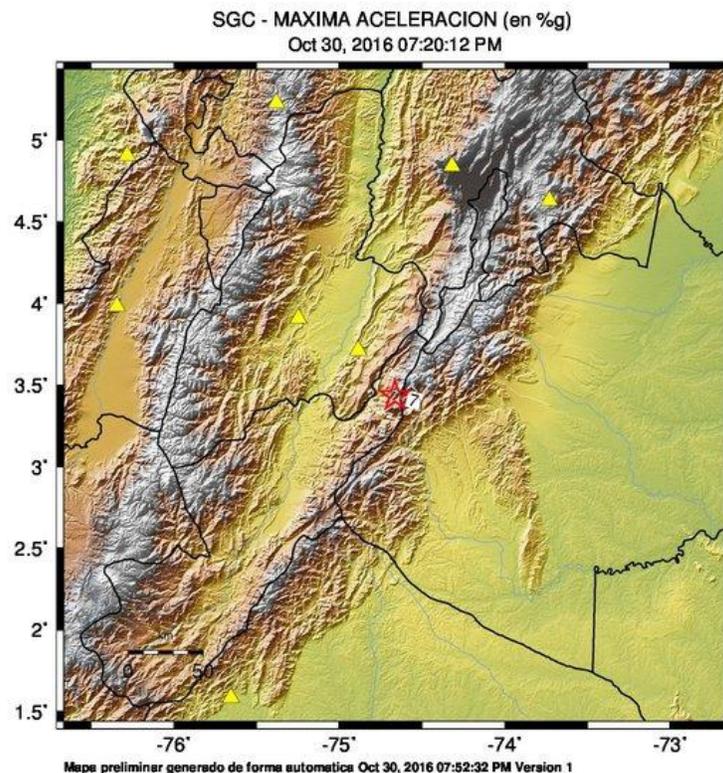


Figura 14. Mapa de aceleraciones (arriba) y velocidades (abajo) máximas generados automáticamente por el SGC para el sismo del 30 de octubre de 2016.

Servicio Geológico Colombiano

Con los valores registrados por las estaciones sismológicas y de movimiento fuerte y con los valores estimados se generan los diferentes mapas de PGA y PGV, 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 (Worden *et al* 2011). 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. El mapa automático generado por el SGC para PGA se muestra en la Figura 14.

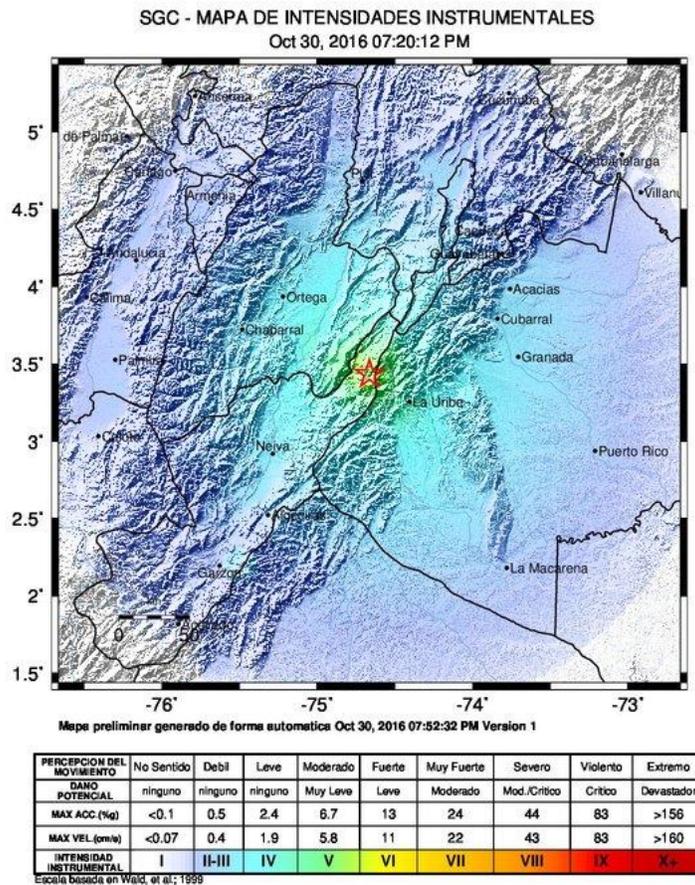


Figura 15. Mapa de intensidades instrumentales generado automáticamente por el SGC para el sismo del 30 de octubre de 2016.

En la Figura 15. se muestra el mapa de intensidades instrumentales. 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> (consultado a las 11:00 horas el 5 de noviembre de 2016).

4.3 EVALUACIÓN DE INTENSIDADES A PARTIR DE REPORTES DE 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 dirección web: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/paginas/intensidades/fsentido.html> (consultada a las 11:00 horas el 12 de noviembre de 2016), en el cual los usuarios registraron los efectos observados. En total se recibieron 1372 reportes de 99 municipios de los cuales se emplearon 1307 de 37 municipios que se detallan en la Tabla 2. los cuales cumplían el requerimiento de tener más de dos formularios por municipio, con los cuales se elaboró el mapa de intensidades (Figura 16.) disponible en línea: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/paginas/intensidades/mapa.php?id=20161031001704&lat=3.41&lon=-74.69&pro=21.5&mag=5.4&epi=COLOMBIA-HUILA> (consultado a las 11:00 horas el 12 de noviembre de 2016).

Tabla 2. Número de reportes e intensidad por municipio.

Departamento	Municipio	No. Formularios	Intensidad Escala EMS-98
Antioquia	Medellín	4	2
Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	883	4
Boyacá	Duitama	2	3
Boyacá	Moniquirá	2	3
Boyacá	Sogamoso	4	3
Boyacá	Tunja	13	3
Caldas	Chinchiná	2	3
Caldas	Manizales	11	3
Caquetá	Florencia	16	4
Casanare	Yopal	2	2
Cauca	Popayán	9	3
Cundinamarca	Bojacá	2	3
Cundinamarca	Cajicá	4	3
Cundinamarca	Chía	12	3
Cundinamarca	Facatativá	9	4
Cundinamarca	Funza	8	3
Cundinamarca	Fusagasugá	15	4
Cundinamarca	Girardot	10	4
Cundinamarca	La Mesa	2	3
Cundinamarca	Madrid	6	4
Cundinamarca	Mosquera	6	3

Servicio Geológico Colombiano

Cundinamarca	Sibaté	4	4
Cundinamarca	Soacha	22	4
Cundinamarca	Zipaquirá	3	3
Huila	Garzón	3	4
Huila	Neiva	51	5
Huila	Pitalito	2	3
Meta	Acacías	4	4
Meta	Villavicencio	59	4
Quindío	Armenia	23	4
Quindío	Calarcá	6	4
Risaralda	Pereira	26	3
Tolima	Espinal	5	4
Tolima	Ibagué	51	4
Valle del Cauca	Cali	18	3
Valle del Cauca	Jamundí	2	3
Valle del Cauca	Palmira	6	4

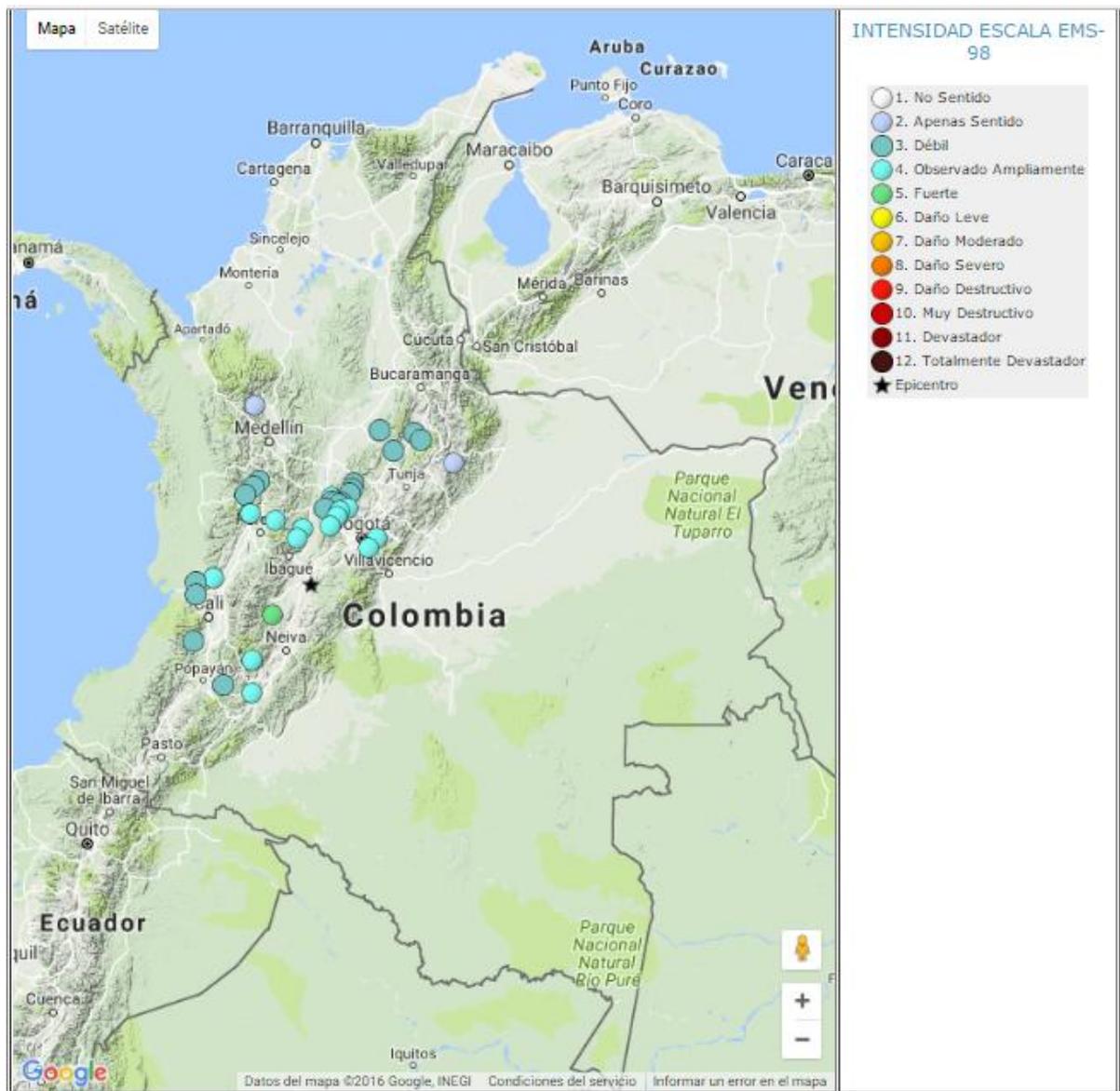


Figura 16. Mapa de evaluación de intensidades sísmicas a partir de los reportes de sentido vía Internet del sismo del 30 de octubre 2016.

En la Tabla 3 se presenta una versión resumida de la escala de intensidad EMS-98 en la cual se describen los indicadores típicos de cada grado de intensidad.

Tabla 3. Versión resumida de la escala de intensidad EMS-98

Intensidad EMS-98	Definición	Tipo de efectos
1	No sentido	No se siente.
2	Sentido levemente	Sentido por muy pocas personas que se encuentran en reposo dentro de viviendas.
3	Débil	Sentido en el interior de viviendas por pocas personas. La gente en reposo siente una oscilación o temblor leve. Objetos colgantes se mecen levemente.
4	Observado ampliamente	Sentido por muchas personas en el interior de edificaciones y por pocos en el exterior. Pocas personas se despiertan. Las ventanas, puertas y platos vibran.
5	Fuerte	Sentido por casi todos en el interior de edificaciones y por pocos en el exterior. Muchas personas dormidas se despiertan. Algunos se asustan y salen a la calle. Los edificios tiemblan en su totalidad. Objetos pequeños se desplazan. Las puertas y ventanas se abren y cierran y los líquidos oscilan y se pueden derramar. Se pueden presentar leves grietas en muros de edificaciones altamente vulnerables.
6	Daños leves	Mucha gente se asusta y corre a la calle. Algunas personas pierden el equilibrio. Algunos objetos caen. Muchas viviendas sufren daños leves no estructurales, como grietas en muros y caída de partes del revestimiento.
7	Daños moderados	La mayoría de la gente se asusta y corre al exterior. Los muebles son desplazados y caen objetos de repisas. Muchos edificios ordinarios bien contruidos sufren daños moderados: grietas largas en muros, caída de revestimiento en gran proporción, caída de partes de chimeneas. Los edificios más vulnerables pueden mostrar grandes grietas en los muros y fallas en las paredes y muros divisorios.
8	Daños severos	A mucha gente le cuesta mantenerse de pie. Se pueden desplazar o volcar los muebles pesados. Unos pocos edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios en los muros, mientras que las estructuras antiguas y débiles pueden colapsar.

9	Destructivo	Pánico general. Muchas construcciones débiles colapsan. Incluso los edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios: fallas graves en los muros y fallas estructurales parciales.
10	Muy destructivo	Muchos edificios ordinarios bien contruidos colapsan.
11	Devastador	La mayoría de los edificios ordinarios bien contruidos colapsan, incluso algunos con buen diseño sismorresistente.
12	Totalmente devastador	Casi todos los edificios son destruidos.

4.4 EVALUACIÓN MACROSÍSMICA DE DAÑOS EN LA ZONA

Con el fin de complementar el seguimiento a la actividad sísmica que se presentó y de realizar estudios adicionales conducentes a determinar la intensidad del evento, expertos del grupo de macrosísmica del SGC se desplazaron a la región para recopilar información sobre los efectos que se produjeron en los alrededores de la zona epicentral. En el primer informe se reportó que el sismo fue sentido muy fuerte, hubo pánico y en algunos casos pérdida de equilibrio de las personas, así como caída y desplazamiento de objetos livianos como libros, floreros y otros objetos en estantes y en algunos casos desplazamiento de objetos pesados como televisores y equipos de sonido.

Se hizo un recorrido por el departamento del Huila en las poblaciones de Neiva, Colombia, Baraya, Tello, Aipe y en el municipio de Alpujarra en el departamento de Tolima. En el municipio de Colombia se encontró la mayor afectación por causa del sismo, ya que se observaron construcciones antiguas principalmente de bahareque con agrietamiento y colapso parcial de muros, caída de pedazos de recubrimiento y separación de muros. Otro efecto que se presentó en el municipio, fue la caída de rocas en la vía de acceso a 2 km. de la cabecera municipal (Figura 17.) y un deslizamiento en la vía Colombia-Santana obstruyendo el acceso a las veredas del norte del municipio.



Figura 17. Caída de rocas vía Neiva- Colombia.

Se encontraron daños leves en el resto de poblaciones como fisura y agrietamiento de paredes, reapertura y ampliación de grietas y caída de recubrimiento. En las Figuras 18, 19, 20 y 21 se presentan fotografías en las que se aprecian algunos daños causados por el sismo.



Figura 18. Ampliación de grieta preexistente en muro (Tello, Huila).



Figura 19. Grieta en muro de cerramiento (Alpujarra, Tolima).



Figura 20. Caída parcial de muro en bahareque (Colombia, Huila).



Figura 21. Reapertura y ampliación de grietas en conexiones de muros (Baraya, Huila).

Para información adicional de la evaluación de intensidades puede consultarse el informe final “Evaluación de efectos e intensidades del sismo ocurrido el 30 de octubre de 2016 en Colombia, Huila”, disponible en:

<http://aplicaciones1.sgc.gov.co/sicat/html/ConsultaBasica.aspx>

CONCLUSIONES

El marco tectónico de la frontera entre Colombia y Panamá, región donde ocurrió el evento, sugiere una zona sísmicamente activa por la cinemática de los bloques y la presencia de diversas fallas, lo cual explica la magnitud y profundidad del evento presentados en la información sísmológica.

El estudio de movimiento fuerte realizado por la red de acelerógrafos y por los reportes de internet enviados por la comunidad, permitió la identificación de las zonas del país donde el evento fue sentido con mayor intensidad. Este estudio es de vital importancia para la implementación de estándares en construcción de edificaciones en las diferentes regiones del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FUQUEN, J.A., AND OSORIO, J.F.; 2002 Geología de la plancha 303 Colombia; Departamentos de Huila, Tolima y Meta, Memoria Explicativa, Informe Ingeominas.
- NAKANO, M., KUMAGAI, H., AND INOUE, H.; 2008. Waveform inversion in the frequency domain for the simultaneous determination of earthquake source mechanism and moment function, *Geophys. J. Int.*, 173, 1000-1011.
- VELANDIA, F. ACOSTA, J., TERRAZA, R. AND VILLEGAS, H.; 2005. The Current tectonic motion of the Northern Andes along the Algeciras Fault System in SW Colombia, *Tectonophysics* 399 (2005) 313-329.
- WORDEN, C.B., GERSTENBERGER, M.C., RHOADES, D.A., AND WALD, D.J.; 2011. Probabilistic relationships between peak ground motion and Modified Mercalli Intensity, *B. Seismol. Soc. Am.*, 101.