

# Sismo de Mompós, Colombia del 15-04-20 con M5.7

## Reporte final de reconocimiento virtual pos-terremoto

Julián Carrillo<sup>1,7</sup>, Carlos Arteta<sup>2,7</sup>, Albert Ortiz<sup>3,7</sup>, Ricardo Bonett<sup>4,7</sup>, Carlos Blandón<sup>5,7</sup>, César Pájaro<sup>6</sup>, Mónica Arcila<sup>8</sup>, Julián Montejo<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Profesor Titular, Universidad Militar Nueva Granada, UMNG, Bogotá, Colombia, [julian.carrillo@unimilitar.edu.co](mailto:julian.carrillo@unimilitar.edu.co); <sup>2</sup> Profesor Asistente, Universidad del Norte, UNINORTE, Barranquilla, Colombia, [carteta@uninorte.edu.co](mailto:carteta@uninorte.edu.co); <sup>3</sup> Profesor Asistente, Universidad del Valle, UNIVALLE, Cali, Colombia, [albert.ortiz@correounivalle.edu.co](mailto:albert.ortiz@correounivalle.edu.co); <sup>4</sup> Profesor Titular, Universidad de Medellín, UDEM, Medellín, Colombia, [rbonett@udem.edu.co](mailto:rbonett@udem.edu.co); <sup>5</sup> Profesor, Universidad EIA, Medellín, Colombia, [carlos.blandon@eia.edu.co](mailto:carlos.blandon@eia.edu.co); <sup>6</sup> Estudiante de doctorado, Universidad del Norte, [capajaro@uninorte.edu.co](mailto:capajaro@uninorte.edu.co); <sup>7</sup> Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica, CEER, [www.ceer.co](http://www.ceer.co); <sup>8</sup> Profesional especializado, Servicio Geológico Colombiano, SGC.

### 1. Prefacio

Seis días después de la ocurrencia del sismo, la Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica (CEER) publicó el Reporte Preliminar de Reconocimiento virtual pos-terremoto del sismo de Mompós, Colombia, registrado el 15-04-20 [1]. En este documento se presenta el Reporte Final de Reconocimiento virtual pos-terremoto. Las principales actualizaciones con respecto a la versión preliminar del reporte son: (i) se actualiza la historia sísmica de la cuenca del Caribe con base en el estudio de amenaza sísmica de Colombia reportado por el Servicio Geológico Colombiano en 2018 [2]; (ii) se actualiza el registro de la estación URE (ver **Tabla 1**); y (iii) se adiciona comparación de escalamiento de aceleración espectral con distancia entre los datos observados y el modelo de atenuación de Arteta *et al.* [3] para subducción intermedia a profunda.

### 2. Descripción general

El día 15 de abril de 2020 a las 5:59am (hora local) se presentó un evento sísmico cuyo epicentro fue localizado al sur de Mompós, Colombia, con intensidad instrumental IV (leve), de acuerdo con el *shakemap* del Servicio Geológico Colombiano, SGC [4]. El evento tuvo una magnitud de 5.7 y fue localizado a una profundidad de 65 km, con epicentro en [9.04° Lat., -74.49° Long.], a 14 km al norte del municipio de Pinillo y a 23 km al sudoeste de Mompós, departamento de Bolívar.

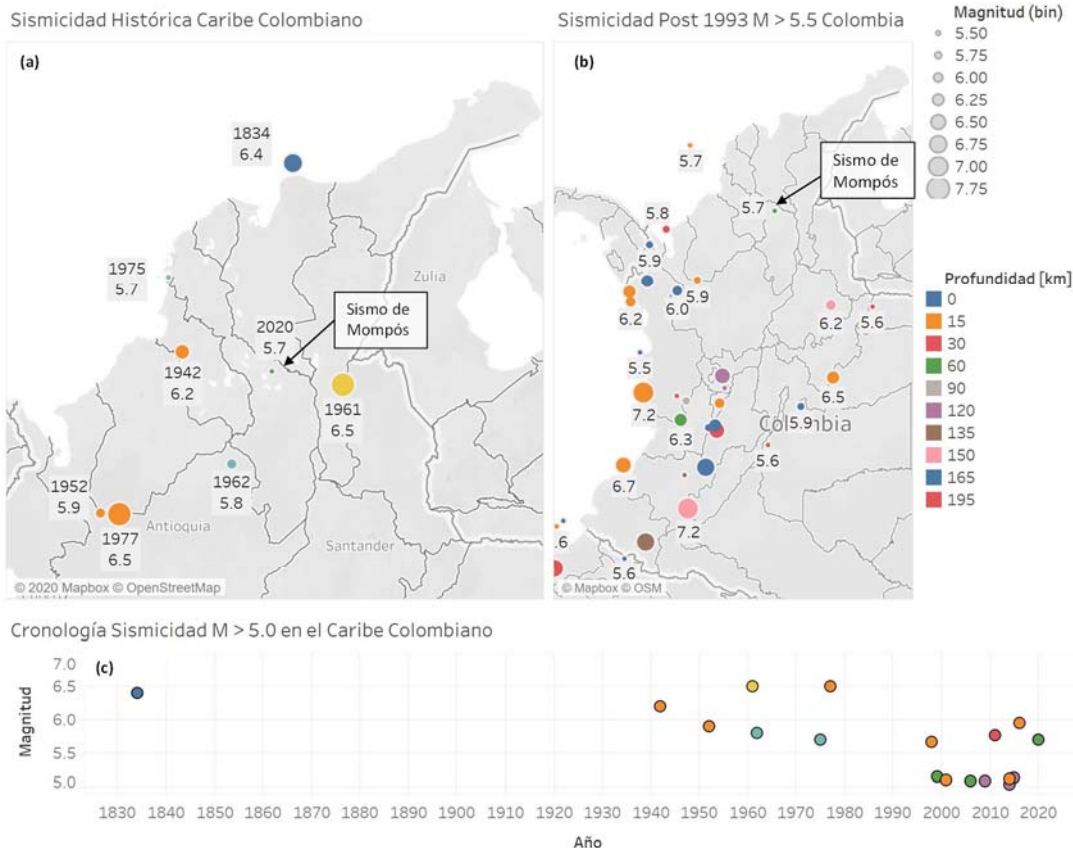
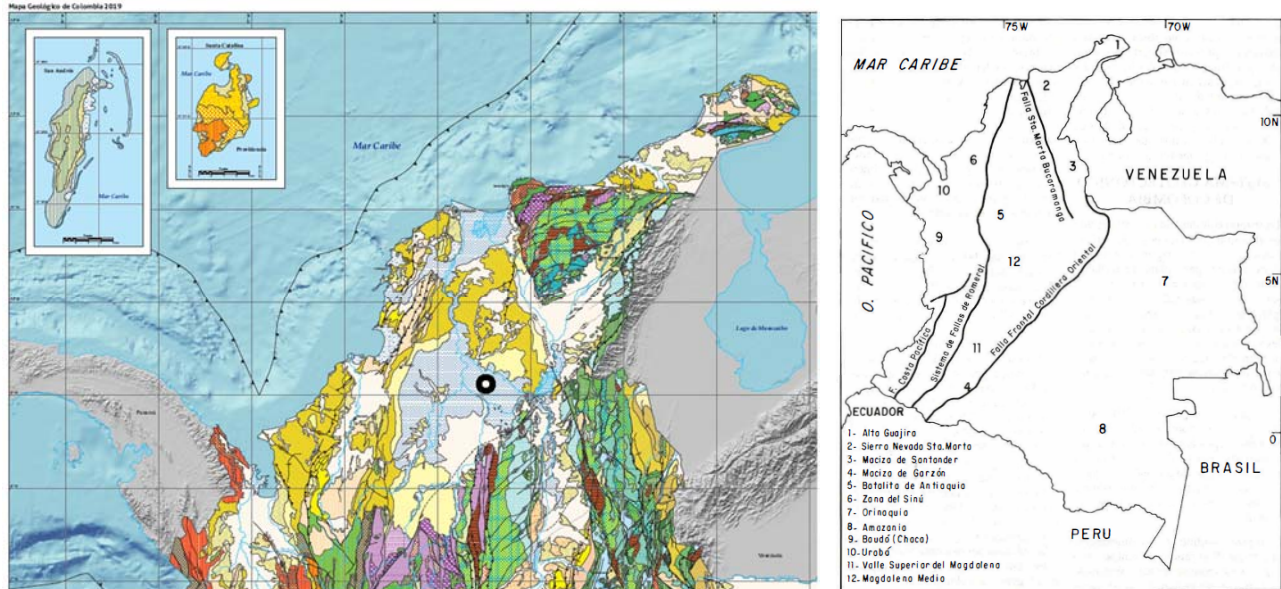
### 3. Sismicidad

#### 3.1 Descripción tectónica de la zona

La zona del epicentro se encuentra en la depresión Momposina. Es un área caracterizada por ser llanura de inundación del río Magdalena, donde se encuentran suelos con una composición geológica de depósitos de arenas, limos y materia orgánica, los cuales son definidos como depósitos paludales por el Mapa Geológico de Colombia (**Fig. 1a**). El sismo se presentó sobre un área considerada como de baja actividad sísmica, en la depresión Momposina, la cual se caracteriza por coeficientes promedio de aceleración horizontal pico efectiva de periodos cortos y largos de 0.10 g y 0.15 g [5], respectivamente, para sismos de diseño con periodos de retorno de 475 años. De acuerdo con el mapa de fallas de la región (**Fig. 1b**), el epicentro se localiza a unos 83 km al oeste de la falla Bucaramanga–Santa Marta [6] aunque se desconoce con exactitud la fuente sismogénica.

#### 3.2 Sismicidad histórica en la región

De acuerdo con el último estudio de sismicidad histórica del SGC [7], los dos sismos más importantes reportados cerca del epicentro (R~100 km) del sismo de Mompós, son (i) el sismo de Lorica con M = 6.2 de 1942, intensidad máxima EMS-98 de 8, y (ii) el sismo de 1961 en la frontera de los departamentos de Cesar y Norte de Santander con M = 6.5 e intensidad EMS-98 de 7, (**Fig. 2a**). Desde el inicio de operación de la red sísmológica nacional del Servicio Geológico Colombiano en 1993, no se habían registrado sismos con M > 5.6 en la zona continental de la Gran Cuenca del Caribe (**Fig. 2b**), sin embargo, en el Urabá antioqueño, y cerca de la frontera entre Antioquia y Córdoba, se registraron eventos de magnitud 5.8 y 5.9, respectivamente, en 2011, y 2016. La **Fig. 2c** presenta la cronología de los eventos con M ≥ 5 en el Caribe Colombiano, siendo el de mayor magnitud el de 1961, antes mencionado, seguido por el sismo de 1834 en la Costa de Santa Marta, para el cual se reportó colapso de la cúpula de la catedral [7].



### 3.3 Reportes de magnitud y localización local y global

De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano, SGC [4], el evento tuvo una magnitud de 5.7 y fue localizado a una profundidad de 65 km, sin embargo, aunque el Global CMT [9, 10] y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) le asignaron la misma magnitud, la profundidad estimada del hipocentro es de 49.5 km [11] según el CMT y 53 km según

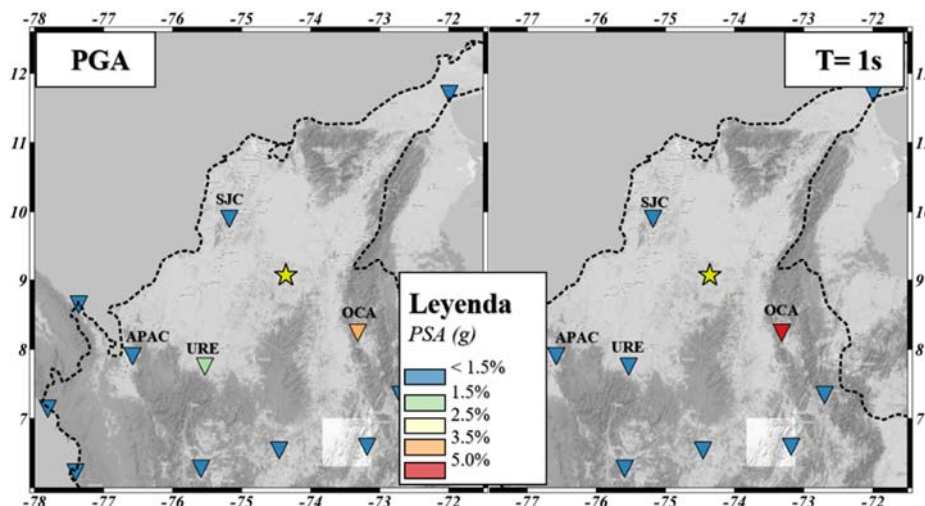
el USGS [12]. Aunque existe incertidumbre para la profundidad del sismo, en lo que sigue se asume que corresponde a un evento intraplaca de profundidad intermedia.

### 3.4 Registros y espectros de respuesta

El análisis que se presenta en esta sección se realiza con base en los registros del sismo obtenidos del Servicio Geológico Colombiano, para aquellas estaciones que transmiten en tiempo real [13]. La localización de las estaciones (respecto a la profundidad reportada por el SGC), junto con sus valores espectrales de intensidad son presentados en la **Tabla 1**. Las dos estaciones con mayor aceleración pico efectiva (PGA por sus siglas en inglés) fueron OCA y URE con 0.036 g y 0.015 g, respectivamente. Las estaciones se localizan a una distancia hipocentral ( $R_{hypo}$ ) de 195 km (OCA) y 170 km (URE), estimada de acuerdo con la profundidad definida por el SGC y se localizan en zonas de amenaza sísmica intermedia según NSR-10 [5]. La estación más cercana es SJC, localizada a 138 km, donde se observan valores de PGA cercanos al 1% de la aceleración de la gravedad. La **Fig. 3** presenta para las estaciones cercanas al epicentro los valores de PGA y aceleración espectral en  $T = 1$  s, el color del marcador depende del valor de pseudo aceleración registrado en la estación.

**Tabla 1.** Localización de estaciones y valores de aceleración máxima del terreno y aceleración espectral para  $T = 1$  s (con información obtenida del Servicio Geológico Colombiano).

Estación	Lat.	Long.	$R_{hypo}$ [km]	PGA [s]	$S_a$ (T=1 s) [g]
APAC	7.90	-76.58	272	0.06%	0.08%
BAR2	6.59	-73.18	315	0.73%	0.31%
BOG (Pozo)	4.64	-74.08	495	0.12%	0.30%
BOG (Superficie)	4.64	-74.08	495	0.12%	0.30%
CAP2	8.65	-77.36	328	0.38%	0.02%
CCALA	4.51	-75.63	523	0.01%	0.01%
GUY2C	5.23	-75.38	440	0.03%	0.08%
MAN1C	5.07	-75.52	460	0.16%	0.28%
MEDEC	6.28	-75.59	337	0.11%	0.07%
NIZA	5.06	-75.47	460	0.03%	0.06%
OCA	8.24	-73.32	171	3.59%	4.95%
PAL	4.91	-76.28	504	0.02%	0.03%
PAM	7.34	-72.70	282	0.28%	0.49%
PIZC	4.97	-77.36	557	0.01%	0.02%
PTA	7.14	-77.81	429	0.26%	0.03%
PTB	6.54	-74.46	285	0.39%	0.06%
RECR	4.96	-75.35	468	0.05%	0.14%
SJC	9.90	-75.18	138	0.96%	0.27%
SOL	6.22	-77.41	455	0.02%	0.03%
URE	7.75	-75.53	195	1.49%	0.10%
URI	11.70	-71.99	410	0.09%	0.06%



**Fig. 3.** Mapa de calor de PGA y aceleración espectral para periodo  $T = 1$  s (con información obtenida del Servicio Geológico Colombiano).

En la Fig. 4 se comparan los espectros de respuesta de las estaciones SJC, OCA y URE, con el espectro de diseño según NSR-10, y con las estimaciones de aceleración espectral del modelo de atenuación sísmica de Arteta *et al.* [3] (subducción intermedia a profunda). Los resultados en la figura confirman que la intensidad del sismo es baja con respecto al sismo de diseño. Para los períodos cortos,  $T < 0.1$  s, en la estación SJC, las aceleraciones espectrales registradas están cerca de  $-1\epsilon$  (es decir, cerca de la media menos una desviación estándar) del modelo de subducción; en URE están cerca a la mediana y en OCA están por encima de  $1\epsilon$ . Esto quiere decir que los registros en OCA son más raros que el promedio de registros colombianos para la magnitud, distancia y tipo de suelo.

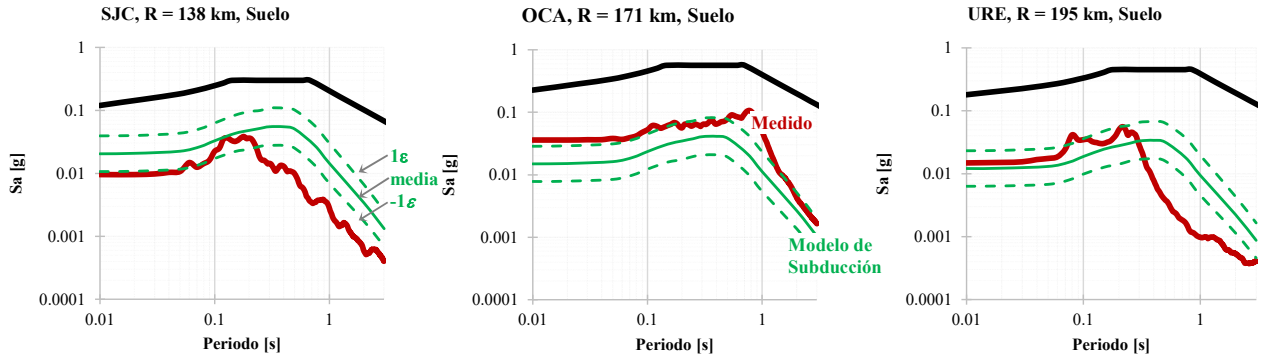


Fig. 4. Comparación de los espectros de respuesta de las estaciones SJC, OCA y URE (con información obtenida del Servicio Geológico Colombiano).

La Fig. 5 compara la atenuación con distancia medida versus la media del modelo de Arteta *et al.* [3] para PGA y aceleración espectral para  $T = 1$  s. Las estaciones están organizadas según su posición relativa respecto al arco volcánico, así como al tipo de suelo subyacente en una categoría binaria (i.e. suelo o roca). Para PGA, se observa que, en general, la atenuación de las señales del sismo de Mompós es mayor que el promedio nacional estimado según Arteta *et al.* [3]. Para  $T = 1$  s, se observa la misma tendencia para roca, aunque para suelo se reduce la diferencia, especialmente en las estaciones localizadas detrás del arco volcánico.

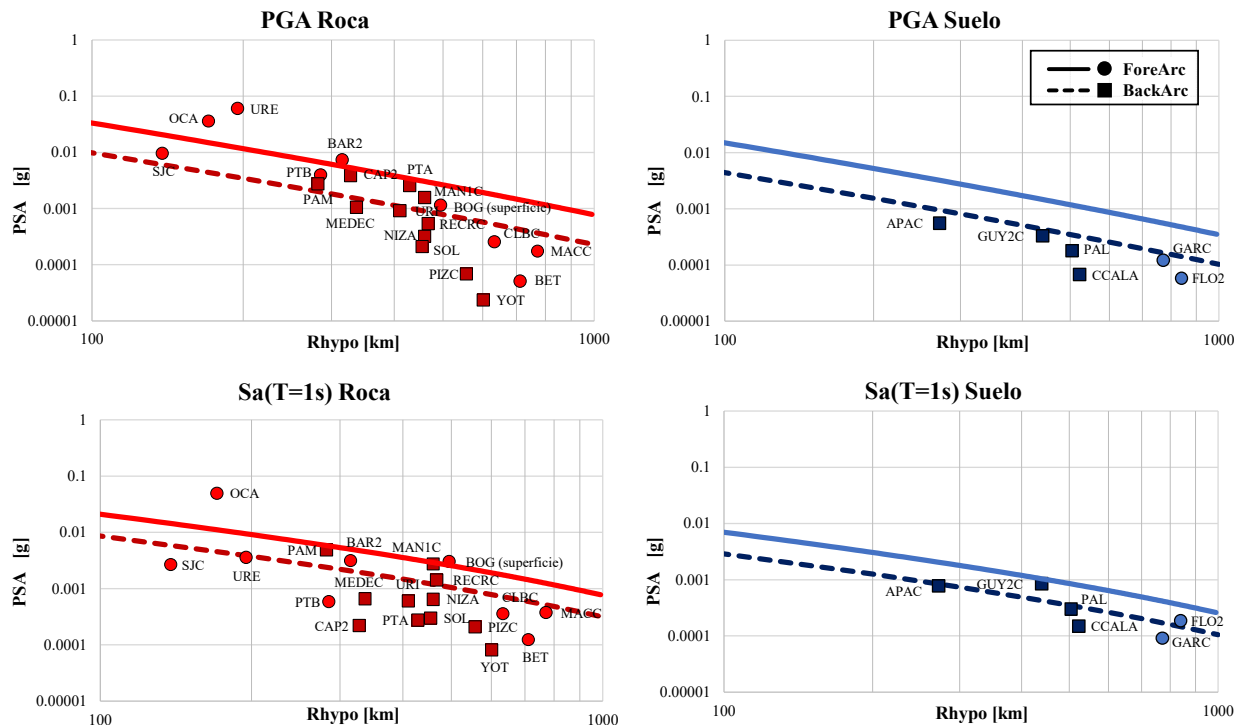


Fig. 5. Escalamiento del movimiento fuerte del terreno con distancia (con información obtenida del Servicio Geológico Colombiano).

#### 4. Registro de daños en viviendas

Los daños principales en edificaciones se presentaron en el municipio de Mompós, Bolívar, y en municipios cercanos como La Loma de Simón, San Fernando, Pinillos, Hatillo y San Jacinto del Cauca, todos en el departamento de Bolívar. Debido a la situación sanitaria que afronta actualmente el país, el CEER no logró realizar una visita de reconocimiento con ingenieros capacitados; el registro de daños y fotografías fue realizado informalmente por habitantes de la zona. De esta manera, los daños aquí reportados no incluyen la cantidad, y tipos viviendas y otros sistemas estructurales afectados y, por tanto, no fue posible hacer un análisis estadístico de los daños ocasionados por el evento sísmico.

De forma similar a la mayoría de los pueblos pequeños en el territorio Colombiano, las viviendas son de baja altura y los sistemas estructurales comunes son mampostería no reforzada, adobe, y sistemas combinados con mampostería-adobemadera. La mayoría de estas viviendas son informales y carecen de diseño y construcción sismo-resistente, por lo que vulnerabilidad ante demandas sísmicas es elevada. Esto se debe a la limitada capacidad económica de la población y a que la NSR-10 [5] caracteriza esta zona como amenaza sísmica baja. A pesar de la baja intensidad sísmica registrada (aceleración pico efectiva entre 0.015 g y 0.030 g), en la **Fig. 6** se muestran algunos de los daños registrados en estas viviendas de baja altura. Como se observa en la figura, los daños observados son característicos de sistemas que han sido planeados para resistir exclusivamente cargas gravitacionales.



**Fig. 6.** Daños registrados: (a) mampostería no reforzada, (b) adobe, (c) parapetos, (d) sistemas combinados. Fotos cortesía del Arq. Foad Hazbun P.

En las **Figs. 6a** y **6b** se muestra la falla por cortante de muros de mampostería no reforzada y de adobe, respectivamente. En la **Fig. 6c** se evidencia el colapso del parapeto de una vivienda de mampostería no reforzada. En la **Fig. 6d** se observa la falla por cortante de una columna de una vivienda con sistema combinado de muros y columnas de adobe con vigas de madera. Como se observa en las **Figs. 6c** y **6d**, algunas viviendas de mampostería no reforzada y adobe adicionan elementos verticales para mejorar la capacidad estructural de las viviendas; sin embargo, estos elementos no cuentan con ningún tipo de refuerzo y, por tanto, no contribuyen a la disminución de la vulnerabilidad de las viviendas.

#### 5. Comentarios finales

El sismo del 15-04-20 fue un evento de características sísmicas no frecuentes en esta zona, y debe ser incluido en el catálogo de eventos de importancia de la zona para la actualización de zonificación de amenaza sísmica del Caribe Colombiano. Los daños reportados en este informe preliminar no incluyen la cantidad, y tipos viviendas y otros sistemas estructurales afectados, ya que el CEER no logró realizar una visita de reconocimiento con ingenieros capacitados. Sin embargo, es evidente observar que la mayoría de estas viviendas son informales y carecen de diseño y construcción sismo-resistente. De esta manera, a pesar de que intensidad sísmica registrada fue leve, se alcanzaron a observar daños significativos en varias edificaciones. Lo anterior es una evidencia de que la vulnerabilidad de estas viviendas ante demandas sísmicas es elevada. El Gobierno y los Grupos de Investigación deben aunar esfuerzos para proponer e implementar estrategias económicas para disminuir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de mampostería no reforzada, adobe, y sistemas combinados en el país. Adicionalmente, considerando la situación actual relacionada con la contingencia sanitaria que obliga a la población de todo Colombia a permanecer en casa, se recomienda a las autoridades locales de los municipios afectados, implementar planes de reparación y/o rehabilitación para las viviendas afectadas con daños que comprometan su estabilidad y la seguridad de los ocupantes.

## 6. Referencias

- [1] Carrillo J., Ortiz A., Arteta C., Bonett R., Blandón C. y Pájaro C. (2020). Sismo de Mompós, Colombia del 15-04-20 con M5.7. Reporte preliminar de reconocimiento virtual pos-terremoto. Reporte sismos CEER 001-2020. Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica, CEER. DOI: 10.13140/RG.2.2.13725.67041, 5 pp.
- [2] SGC (2018). Modelo de Amenaza Sísmica de Colombia.  
<https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/geoamenazas/Paginas/Sistema-de-Consulta-de-la-Amenaza-Sismica-de-Colombia.aspx>
- [3] Arteta C., Lozano C., Ojeda A. y Pájaro C. (2018). New Ground Motion Prediction Equation for Deep Subduction Earthquakes in Colombia. *11th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Los Angeles.
- [4] Servicio Geológico Colombiano: <https://bdrsnc.sgc.gov.co/shakemap/sc/shake/SGC2020h1pcue/intensity.html> [Fecha de consulta: 11/06/2020].
- [5] NSR-10 (2010). Reglamento Colombiano de Diseño y Construcción Sismo-resistente, NSR-10. Comité AIS 100. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Colombia; Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS.
- [6] París G. y Romero J. (1994). Fallas activas en Colombia. *Boletín geológico*, 34(2-3), 4-25.
- [7] Servicio Geológico Colombiano, SGC (2020). Sistema de Información de Sismicidad Histórica de Colombia. Disponible en: <http://sish.sgc.gov.co/visor/> [Fecha de consulta: 24/04/2020].
- [8] Alcárcel F. y Gómez J., Compiladores (2019). Mapa Geológico de Colombia 2019. Escala 1:2 000 000. Servicio Geológico Colombiano, SGC. Bogotá.
- [9] Dziewonski A., Chou T. y Woodhouse J. (1981). Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *J. Geophys. Res.*, 86, 2825-2852, doi:10.1029/JB086iB04p02825
- [10] Ekström G., Nettles M. y Dziewonski A. (2012). The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 200-201, 1-9, doi:10.1016/j.pepi.2012.04.002
- [11] GCMT (2020). <https://www.globalcmt.org/cgi-bin/globalcmt-cgi-bin/CMT5/form?type=ymd&yr=2020&mo=04&day=15&oyr=1976&omo=1&oday=1&jyr=1976&jday=1&ojyr=1976&ojday=1&otype=nd&nday=1&lmw=0&umw=10&lms=0&ums=10&lmb=0&umb=10&llat=-90&ulat=90&llon=-180&ulon=180&lhd=0&uhd=1000&lts=-9999&uts=9999&lpe1=0&upe1=90&lpe2=0&upe2=90&list=0>
- [12] USGS (2000). <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70008wpb/executive>.
- [13] Servicio Geológico Colombiano, SGC (2020). Catálogo de aceleraciones. Disponible en: <https://sismo.sgc.gov.co/>

## Agradecimientos

Los autores agradecen a las universidades que hacen parte de la Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica, CEER (UEIA, UDEM, UNINORTE, UMNG, UNIVALLE), al Ing. Jaime Curvelo (Barranquilla) por proporcionar información relevante y comentarios para este informe preliminar, incluyendo las fotos suministradas por el Arq. Fuad Hazbun P. Adicionalmente, el CEER agradece el apoyo del Grupo de Evaluación y Monitoreo de Actividad Sísmica del Servicio Geológico Colombiano (SGC) por facilitar los acelerogramas, en especial a Viviana Dionicio, Luisa Castillo y Elizabeth Mazo.