



Boletín de Geología

ISSN: 0120-0283

ISSN: 2145-8553

Universidad Industrial de Santander

Campos-Durán, Daniela; Quintero-Quintero, Ronnie
Intensidades macrosísmicas del sismo de Capellades del 30 de noviembre
de 2016 ($M_w = 5,4$) y el contexto sísmico de la región central de Costa Rica
Boletín de Geología, vol. 42, núm. 1, 2020, Enero-Abril, pp. 57-68
Universidad Industrial de Santander

DOI: 10.18273/revbol.v42n1-2020003

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349665544004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Intensidades macrosísmicas del sismo de Capellades del 30 de noviembre de 2016 (Mw = 5,4) y el contexto sísmico de la región central de Costa Rica

Daniela Campos-Durán^{1,2*}, Ronnie Quintero-Quintero³

doi: <http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v42n1-2020003>

Forma de citar: Campos-Durán, D., y Quintero-Quintero, R. (2020). Intensidades macrosísmicas del sismo de Capellades del 30 de noviembre de 2016 (Mw = 5,4) y el contexto sísmico de la región central de Costa Rica. *Boletín de Geología*, 42(1), 57-68. doi: 10.18273/revbol.v42n1-2020003.

RESUMEN

El 30 de noviembre del 2016, a las 18:25 hora local, se generó un sismo que se localizó a 4,4 km al noroeste de Capellades de Alvarado, Cartago, Costa Rica; con una magnitud de Mw = 5,4. De acuerdo con la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (IMM), este evento generó intensidades sísmicas desde III hasta VII. La región central del país presentó las mayores afectaciones, desde deslizamientos puntuales hasta daños en viviendas, caminos y servicios básicos, como agua potable y electricidad. Históricamente esta región ha sido afectada por importantes sismos, ocurridos entre 1841-1851, 1910-1912 y 1951-1955. Desde 1950 los eventos de mayor afectación son el terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952, Ms= 5,9, el terremoto de Piedras Negras del 22 de diciembre de 1990, Mw=6,0 y el terremoto de Cinchona del 08 de enero de 2009, Mw=6,1. Esta investigación muestra un análisis de las intensidades macrosísmicas y la distribución espacio-temporal de los últimos cuatro eventos importantes localizados en la región central de Costa Rica; haciendo énfasis en el de Capellades, por ser el más reciente.

Palabras clave: intensidades sísmicas; Capellades; Mercalli; terremotos; región central.

Macroscopic intensities of the earthquake of Capellades of November 30, 2016 (Mw = 5.4) and the seismic context of the central region of Costa Rica

ABSTRACT

On November 30, 2016, at 18:25 local time, an earthquake was located 4.4 km northwest of Capellades de Alvarado, Cartago, Costa Rica, the magnitude was Mw = 5.4. This event generated seismic intensities from III to VII in the Modified Mercalli Intensity Scale (MMI). The central region of the country presented the greatest effects, with specific landslides; home, roads and basic services, such as drinking water and electricity were damaged. Historically, this region has been affected by important earthquakes, occurred between 1841-1851, 1910-1912 and 1951-1955. Since 1950 the events of largest affectation are the Patillos earthquake of December 30, 1952, Ms = 5.9, the Piedras Negras earthquake of December 22, 1990, Mw = 6.0 and the Cinchona earthquake of 08 January 2009, Mw = 6.1. This research shows a macroseismic intensities analysis and the spatial temporal distribution of the last four historical events located in the central region of Costa Rica, emphasizing in the Capellades earthquake, for being the most recent.

Keywords: Seismic intensities; Capellades; Mercalli; earthquakes; central region.

¹Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica. (*) daniela.campos.duran@una.cr

²Departamento de Dinámica de la Tierra y del Océano, Universidad de Barcelona, España.

³Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica.
ronnie.quintero.quintero@una.cr

INTRODUCCIÓN

El 30 de noviembre del 2016, a las 18:25 hora local; se generó un sismo localizado a 4,4 km al noroeste de Capellades de Alvarado, Cartago, Costa Rica (Figura 1), su magnitud fue de $M_w = 5,4$ y presentó importantes repercusiones en las comunidades más cercanas al epicentro, destacando entre ellas Capellades, Juan

Viñas, Pacayas y Santa Cruz de Turrialba, donde se reportaron desde cortes en el suministro eléctrico y de agua potable, hasta pequeñas grietas en estructuras (principalmente viviendas), deslizamientos puntuales y caída de objetos y fue sentido desde fuerte hasta leve en otros poblados del país, principalmente en el Valle Central y en las provincias de Guanacaste, Limón y Puntarenas.

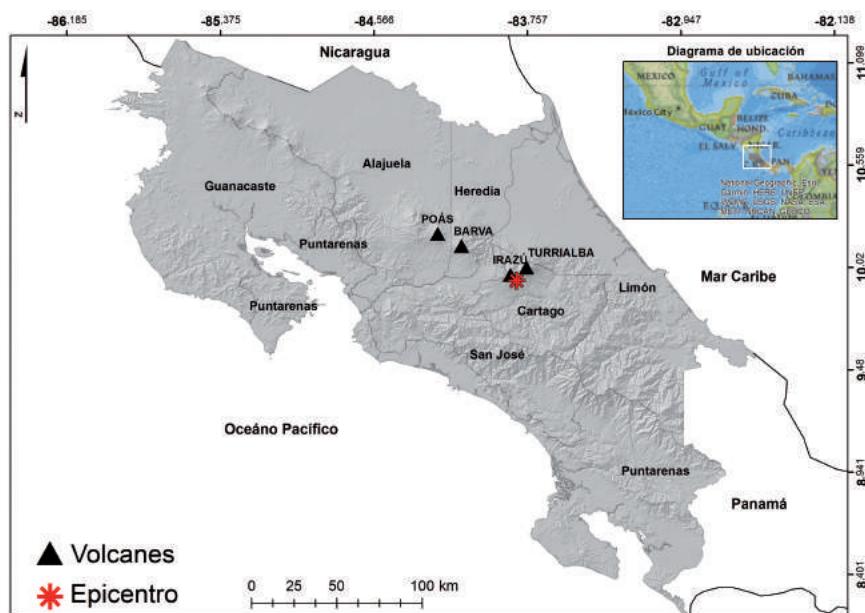


Figura 1. Localización del epicentro del sismo de Capellades, indicado por un asterisco de color rojo. Los volcanes Turrialba, Irazú, Barva y Poás se muestran por triángulos de color negro. Las diferentes provincias de Costa Rica presentan su respectiva división geográfica.

Los reportes de la población, a través de la red social Facebook del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica de la Universidad Nacional (OVSICORI-UNA), los informes de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) e información periodística, permitieron generar una base de datos de las intensidades macrosísmicas que se registraron en diferentes puntos del país. Para ello, se utilizó la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (IMM), seguidamente la información fue procesada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo que permitió observar los patrones espaciales que se registraron en el territorio nacional.

Asimismo, se realizó una recopilación de investigaciones sobre terremotos históricos que afectaron la región central de Costa Rica (el terremoto de Patillos de 1952, el terremoto de Piedras Negras

de 1990 y el terremoto de Cinchona del 2009), los datos analizados correspondieron a las intensidades macrosísmicas de cada uno de los eventos sísmicos, lo que facilitó realizar un análisis espacio-temporal comparativo más robusto de los cuatro terremotos más recientes en el área de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la región central de Costa Rica, ubicada en el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR), en el que se localizan macizos volcánicos (Poás, Barva, Turrialba e Irazú) y se caracteriza por la presencia de fallas que han generado en el pasado importantes terremotos, entre los que destacan el de Patillos de 1952, el de Piedras Negras de 1990, el de Cinchona de 2009 y el más reciente el sismo de Capellades de 2016 (Figura 2).

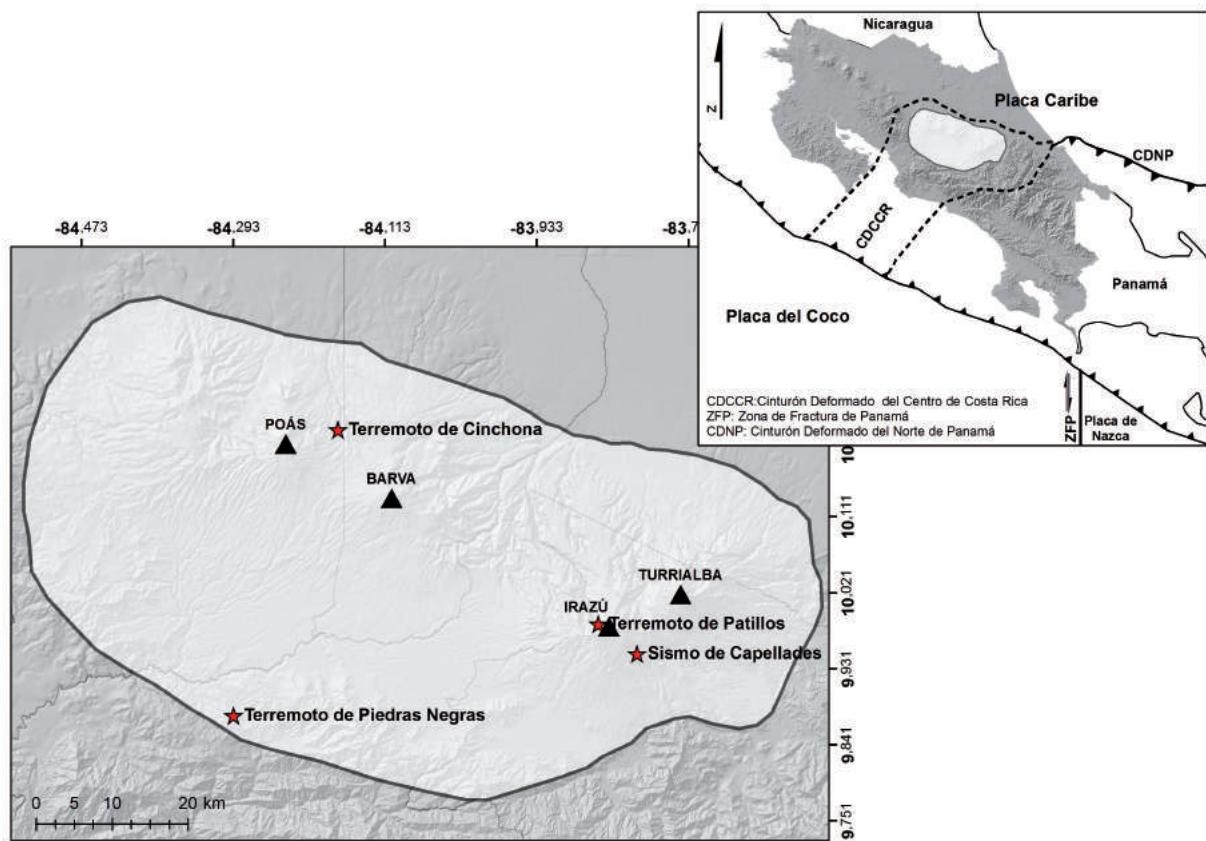


Figura 2. En el margen inferior izquierdo se muestra la región central de Costa Rica, los sismos históricos mediante estrellas rojas y los volcanes por triángulos negros. En el margen superior derecho se aprecia la ubicación de Costa Rica en la zona de subducción conformada por las placas Coco y Caribe y la zona de triple contacto entre las placas Coco, Caribe y Nazca. Se aprecia además la ubicación de la región central del país dentro del Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica.

CONTEXTO TECTÓNICO

Costa Rica se ubica en una zona de subducción (choque de placas Coco y Caribe) y en una de triple contacto entre las placas Coco, Caribe y Nazca lo que genera una importante sismicidad a lo largo de esta zona. Las condiciones tectónicas provocan que el arco magmático de Costa Rica, conformado por edificios volcánicos ($>150 \text{ km}^3$) entre los que destacan Poás, Turrialba e Irazú, estén cortados por fallas activas que pueden generar sismicidad tanto por procesos tectónicos, como por la interacción de los procesos volcánicos y tectónicos (Linkimer *et al.*, 2018), debido a esto el área ha sido denominada Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (Montero, 2001).

Entre los macizos Turrialba e Irazú se localizan fallas neotectónicas de rumbo noroeste, sobresalen las denominadas Azul, Turrialba y Tucurrique, que

pertenecen a los sistemas de Atirro y Río Sucio (Montero, 2003). En el volcán Turrialba se presentan fallas como Río Blanco (13 km de longitud), Blanquito (9 km de longitud) y la Alto Grande que forma un sistema con las anteriores (Montero y Alvarado, 1995) (Figura 3). La falla que originó el sismo de Capellades no fue mapeada anteriormente y consiste en una de tipo transcurrente dextral, casi vertical y rumbo 155° , con 8 km de largo y 4 km de ancho (Quintero-Quintero y Porras-Hernández, 2018).

El macizo Poás cubre un área aproximada de 300 km^2 y se encuentra limitado en sus faldas sur y norte por las fallas inversas de Alajuela y San Miguel respectivamente, además, se han identificado varias fallas neotectónicas, entre las que destacan Carbonera y Ángel (Alvarado *et al.*, 1988), esta última generó el terremoto de Cinchona del 8 de enero de 2009.

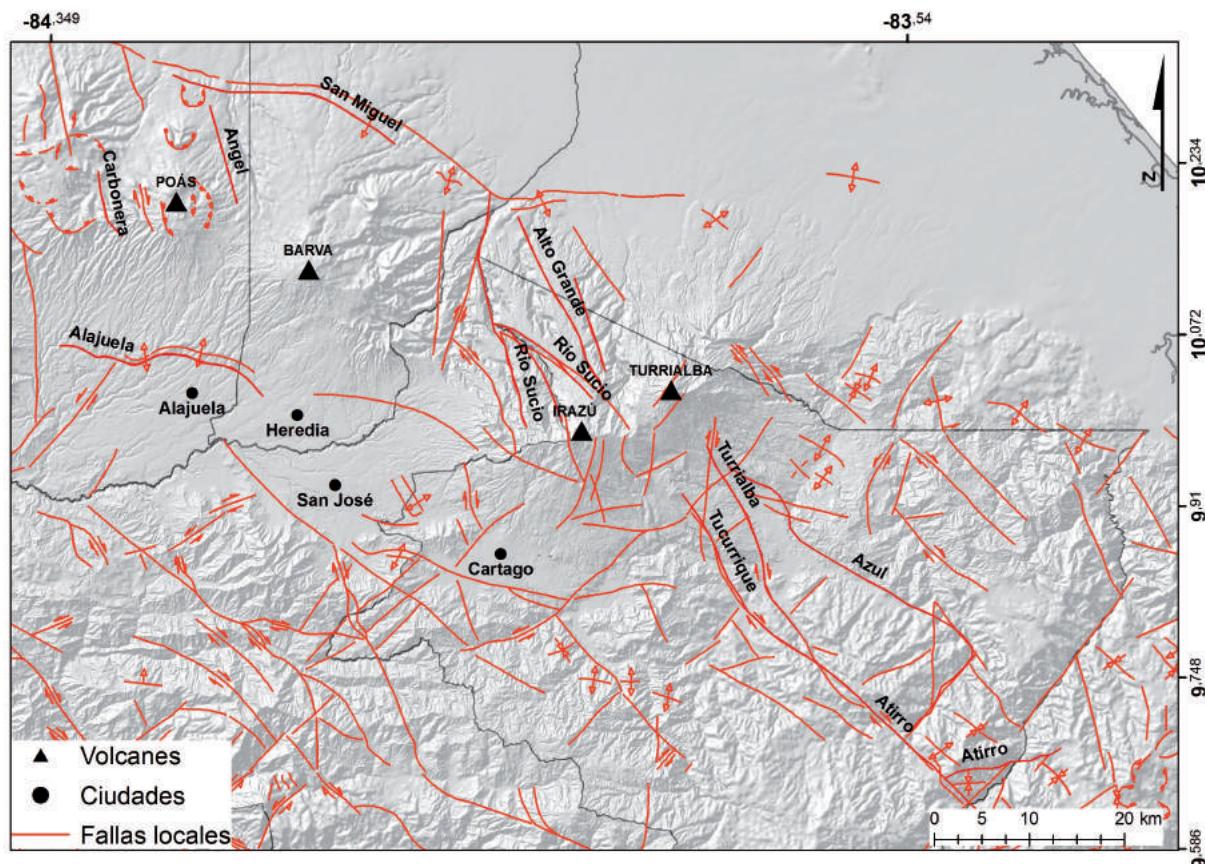


Figura 3. Principales estructuras tectónicas del centro del país identificadas a partir de Denyer *et al.* (2003), las fallas citadas en el texto aparecen señaladas en el mapa.

METODOLOGÍA

Esta investigación se llevó a cabo mediante la recopilación y sistematización de los datos macrosísmicos del sismo de Capellades del 30 de noviembre de 2016, información obtenida a través de los reportes realizados por la población en la red social Facebook del OVSICORI-UNA, informes técnicos de la CNE e informes periodísticos. Esta fue clasificada de acuerdo con la Escala de Intensidades de Mercalli modificada (IMM) (Tabla 1), la cual permite medir la intensidad de la sacudida del suelo desde el punto de vista humano y de la respuesta estructural a través de una escala cualitativa (Arrieta y Sosa, 2017).

Esta escala va desde I (no sentido) hasta XII (destrucción total), las valoraciones se determinan a partir de las descripciones realizadas, por ejemplo “vibración de las vajillas, vidrios de ventanas y puertas” (IMM=IV), “la gente huye hacia el exterior, daños considerables en las estructuras débiles o mal planeadas” (IMM=IV), hasta “puentes destruidos, anchas grietas en el terreno, hundimientos y derrumbes en terreno suave” (IMM=XI).

Posterior a ello, se implementó un SIG (Arc Gis 10.1) para generar el mapa de intensidades macrosísmicas.

Además, se obtuvo la intensidad instrumental, calculada a partir de datos de las estaciones de baja y alta ganancia de la red sísmica del OVSICORI-UNA. La que generó el sismo se realizó por medio del paquete SHAKEMAP (Wald *et al.*, 2005), el cual usa los datos hypocentrales, magnitud, aceleración y velocidad pico para la estimación de la intensidad instrumental. Tanto para el cálculo de la intensidad instrumental, así como los valores de aceleración y velocidad pico, SHAKEMAP realiza una extrapolación con base en ecuaciones empíricas. También, se usaron valores de la velocidad de onda corta de los primeros 30 m Vs30, aproximados en función de la topografía para estimar los valores de amplificación de las ondas sísmicas. Los resultados obtenidos son mostrados por medio de mapas que muestran los efectos de los sismos, los cuales se catalogan de leves a muy severos y se representan por medio de una escala de colores que va del color blanco, que significa que el evento no fue sentido, al color rojo intenso, que indica que se registraron daños

severos; o en Escala Mercalli Modificada desde el I al XII. Con estos colores también se representan los valores de aceleración en porcentaje de la gravedad (%g) y los valores de velocidad pico en cm/s.

En cuanto a los terremotos históricos que han afectado la región central de Costa Rica se realizó una búsqueda

y sistematización de artículos científicos e informes técnicos de los terremotos de Patillos de 1952, de Piedras Negras de 1990 y de Cinchona de 2009, cuya información correspondió a las intensidades macrosísmicas y las repercusiones sociales y ambientales, lo que permitió realizar una comparación de los efectos de estos eventos ocurridos en el área de estudio.

Tabla 1. Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (IMM).

Grado	Descripción
I. Muy débil	Detectada por instrumentos muy sensibles
II. Débil	Sentido únicamente por personas en reposo
III. Leve	Sentido en el interior de las edificaciones mediante vibraciones similares al paso de un camión.
IV. Moderado	Movimiento de objetos como platos, lámparas y otros.
V. Fuerte	Ruptura de platos, ventanas y otros.
VI. Bastante fuerte	Caída de acabados y daños estructurales menores.
VII. Muy fuerte	Daños considerables en edificios mal construidos.
VIII. Destruktivo	Caída de paredes, chimeneas y otros.
IX. Ruinoso	Pánico generalizado, edificios bien construidos presentan daños considerables, tuberías rotas, además se pueden presentar procesos de licuefacción.
X. Desastroso	Destrucción de estructuras de madera y mampostería, grietas en el suelo, ruptura de tuberías e importantes deslizamientos.
XI. Muy desastroso	Solo permanecen muy pocas construcciones en pie, daños en puentes.
XII. Catastrófico	Daño total, presencia de ondas en la superficie, distorsión de líneas de nivel, objetos arrojados al aire.

RESULTADOS

Intensidades macrosísmicas del sismo de Capellades del 30 de noviembre de 2016

De acuerdo con los datos analizados se obtuvo que las intensidades máximas calculadas (correspondientes a VII), se registraron en los poblados de Capellades, Juan Viñas, Pacayas y Santa Cruz de Turrialba (Figura 4). En estos poblados la CNE (2016) indicó que se dieron daños en 17 viviendas en el cantón de Pacayas, cinco en Turrialba, 13 en Oreamuno y 36 en Jiménez, así como afectaciones en los servicios básicos de electricidad, agua y telecomunicaciones, donde se vieron afectadas unas 4000 personas en Capellades de Alvarado.

La red vial presentó daños en tres rutas correspondientes a Pacayas - Turrialba, volcán Turrialba - San Rafael y Pacayas - San Martín, así como sobre la ruta 230, las rutas Santa Cruz de Turrialba, Alvarado, Jiménez y Oreamuno se vieron afectadas por deslizamientos puntuales sobre las vías (Solano *et al.*, 2016).

Cartago, Paraíso, Orosí, La Unión, Tucurrique y Guápiles registraron una intensidad máxima de VI en la escala IMM, donde se reportaron caída de objetos. En San José, San Pedro de Montes de Oca, Tibás, La Guácima de Alajuela y Siquirres se registraron intensidades máximas entre IV y V, donde se reportó el sismo sentido como fuerte. Por su parte una intensidad máxima de III se registró en Quepos, Golfito y Nicoya donde fue perceptible de manera leve por la población.

La Tabla 2 muestra la asignación de las intensidades máximas de la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada para cada uno de los poblados que presentó reportes por afectación por el sismo de Capellades del 30 de noviembre del 2016.

En cuanto al mecanismo focal con strike/dip/rake $155^{\circ}/82^{\circ}/174^{\circ}$ obtenido usando modelaje de datos de onda sísmica indica una falla de corrimiento lateral derecho y casi vertical (Quintero-Quintero y Porras-Hernández, 2018) (Figura 5).

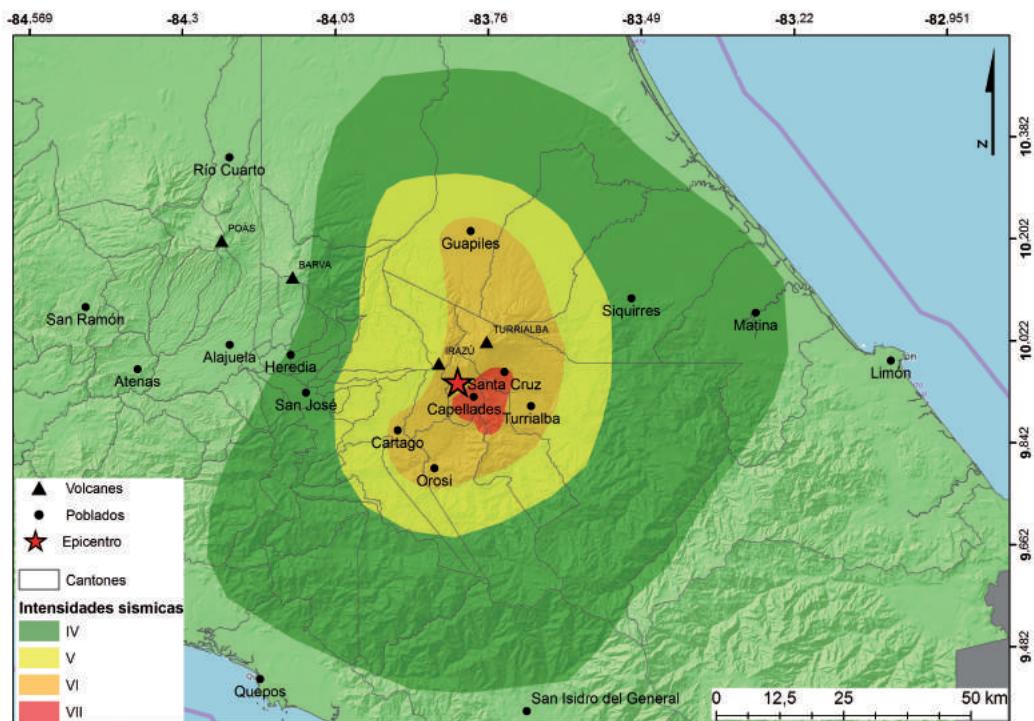


Figura 4. Intensidades macrosísmicas del sismo de Capellades del 30 de noviembre del 2016, 18:25 hora local. El epicentro se muestra con una estrella roja.

Tabla 2. Intensidades máximas de la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada y su distribución por los principales sitios reportados.

Poblado	Intensidad IMM	Distancia epicentral (km)	PGA (%g)*	Descripción macrosísmica	Fuente
Capellades		4,4	13,0	Cortes en el suministro eléctrico y de agua potable, pequeñas grietas en estructuras, deslizamientos y caída de objetos.	
Pacayas	VII	3,9	13,0	Deslizamientos pequeños y casas falseadas a lo largo de la ruta Pacayas – Santa Cruz.	Arguedas (2016a)
Juan Viñas		5,4	10,0	Caída de objetos, de mercadería en supermercados, afectación del tendido eléctrico y agrietamientos en paredes de viviendas y el suelo.	Gamboa (2016)
Santa Cruz		11,2	10	Casas agrietadas, ruptura de ventanas y cortes en el suministro eléctrico.	Rojas (2016)
Cartago		14,0	2,0		Solano <i>et al.</i> (2016)
Paraíso		9,2	2,0		
Orosí	VI	11,6	1,9		
Tres Ríos		21,4	2,0	Sismo sentido como fuerte. Caída de objetos.	
Tucurrique		8,4	2,0		Solano <i>et al.</i> (2016)
Guápiles		36,8	0,25		
Heredia		37,4	0,25		
Montes de Oca	IV	29,0	0,6		
Tibás		32,2	0,6	Sismo sentido como fuerte.	Solano <i>et al.</i> (2016)
La Guácima		51,5	0,2		
Siquirres		39,4	0,8		
Quepos		64,8	0,2		
Golfito	III	154,0	0,2		Arguedas (2016b)
Nicoya		184,7	0,04		

*PGA (%/g) según datos del Laboratorio de Ingeniería Sísmica del Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII-UCR, 2019).

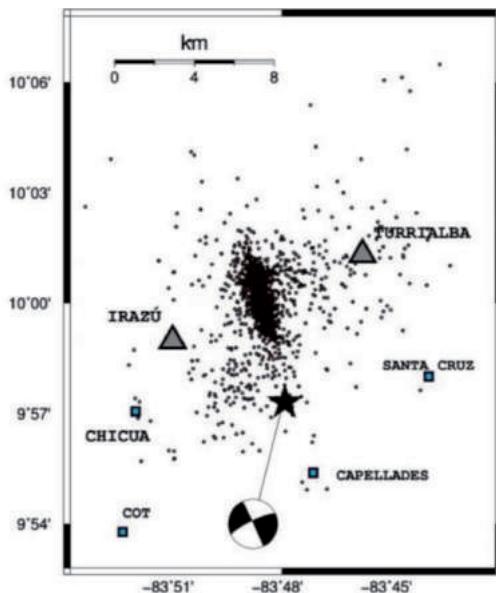


Figura 5. Epicentros de los sismos localizados en la zona epicentral, desde el 01 diciembre hasta el 06 de diciembre 2016 (tomados del catálogo sísmico del OVSICORI-UNA) indicados por círculos de color negro, el epicentro del sismo principal se muestra por una estrella de color negro con su respectivo mecanismo focal. Los volcanes se indican por triángulos de color gris y algunos poblados por cuadrados de color turquesa.

Los datos instrumentales muestran intensidades máximas de V, con aceleración máxima PGA de 13,0%g en la zona epicentral. En Batán de Limón, sitio localizado

a 45,5 km del epicentro, la aceleración máxima (PGA) es menor al 1%g y en Ochomogo de Cartago a 18,6 km del epicentro es de 1,95%g (Figura 6).

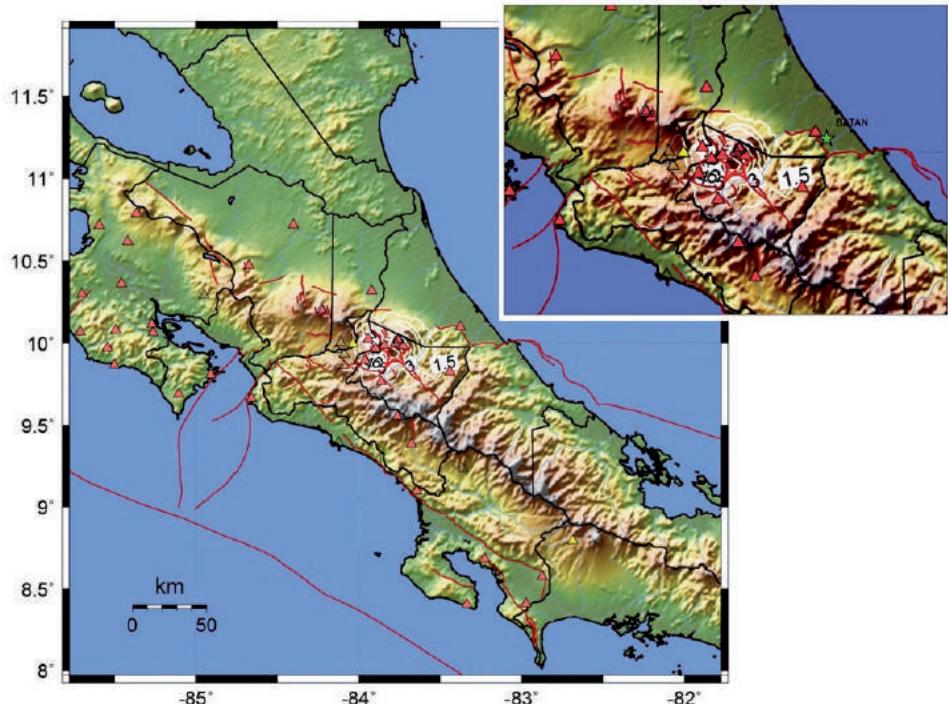


Figura 6. Aceleraciones pico para el sismo de Capellades del 30 de noviembre de 2016, indicadas por porcentaje de la gravedad (%g). El cálculo de la aceleración se realizó usando el paquete SHAKEMAP (Wald *et al.*, 2005). Los triángulos de color rojo y amarillo corresponden a las estaciones sísmicas. La imagen superior derecha muestra un zoom de Batán de Limón, representado por una estrella verde, donde se registró un PGA menor a 1%g.

Intensidades macrosísmicas de terremotos históricos en la región central de Costa Rica

La región central del país ha estado expuesta a sismos superficiales que han generado terremotos destructivos, destacando los períodos 1841-1851, 1910-1912 y

1951-1955 (Guendel, 1986), los más destructivos alcanzaron intensidades máximas entre VII y IX en la escala IMM (Figura 7); que correspondería a 232 y 818 cm/s^2 , respectivamente de acuerdo con la fórmula de Wald *et al.* (1999); que indica aceleraciones máximas de un 83%; que se catalogan de leves a severos.

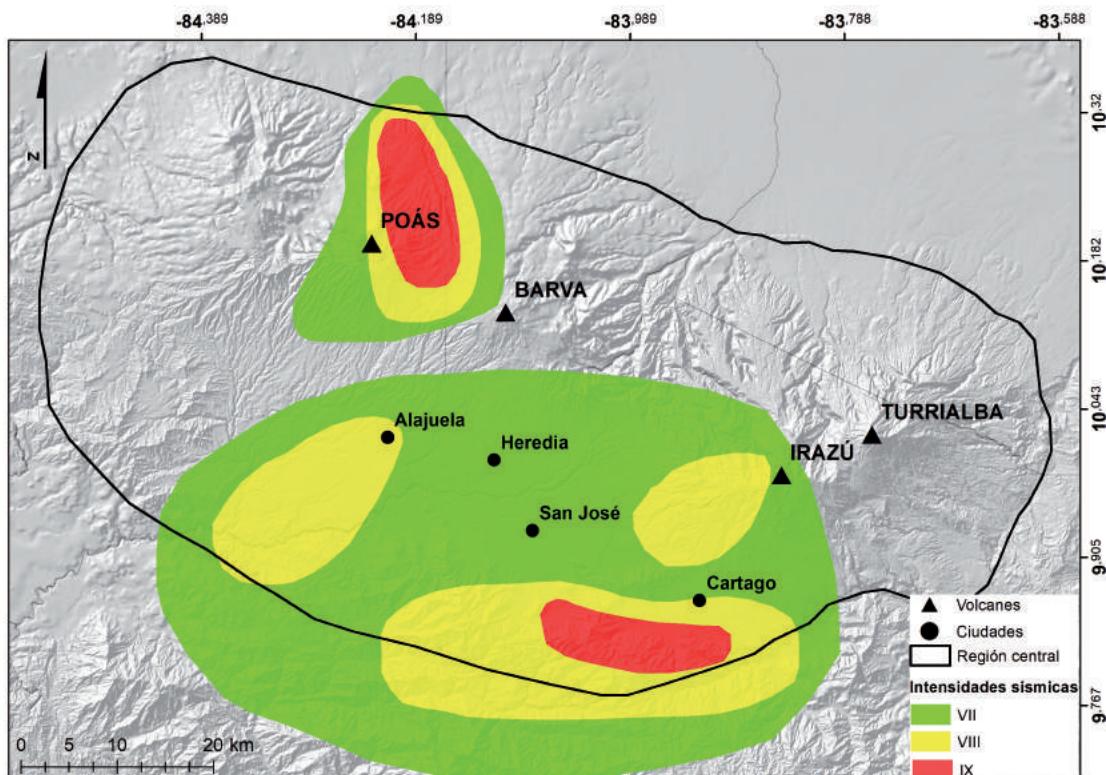


Figura 7. Mapa de intensidades mayores a VII en el centro de Costa Rica, considerando terremotos superficiales desde 1950 hasta el 2012 (Guendel, 1986). Las Intensidades en la Escala Mercalli Modificada (IMM) están mostradas por los numerales del VII al IX. Algunos de los sismos históricos, están asociadas a fallas inferidas o mapeadas en Montero (1999); Alvarado *et al.* (1988) y Denyer *et al.* (2003) y tienen entre 7 y 25 km de largo; con capacidad de generar sismos de magnitud entre $M_w = 6,1$ y $M_w = 6,8$ (Wells y Coppersmith, 1994).

En la historia reciente, sismos importantes han ocurrido en la región central del país (Figura 8), entre los que destacan el terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952, $M_s = 5,9$ (magnitud según Montero y Alvarado, 1995), el terremoto de Piedras Negras del 22 de diciembre de 1990, $M_w = 6,0$; el sismo de Cinchona del 08 de enero de 2009, $M_w = 6,1$, ubicado en las faldas del volcán Poás; y el último el sismo de Capellades del 30 de noviembre de 2016, $M_w = 5,4$.

En la Tabla 3 se presenta un resumen comparativo de los cuatro terremotos estudiados, donde se muestra su magnitud, ubicación, IMM máxima observada, tipo de fallamiento y los principales efectos socioeconómicos y ambientales, siendo las pérdidas de vidas, daños y

colapso de viviendas, así como de carreteras, los efectos más comunes.

Los datos expuestos indican que los sismos moderados a fuertes son recurrentes en la parte central del país, lo que, sumado al desarrollo de asentamientos humanos en terrenos con alta pendiente, característicos en el área de estudio, son factores que han potenciado los daños en la infraestructura, generando intensidades altas de hasta IX grados en la escala IMM. Sismos de magnitud fuerte han ocurrido con recurrencia de 40 años en la región central del país; pero se han dado otros esporádicos moderados que también han causado daños y que se presentan con un período de recurrencia de aproximadamente 20 años (Quintero-Quintero y Porras-Espinoza, 2018).

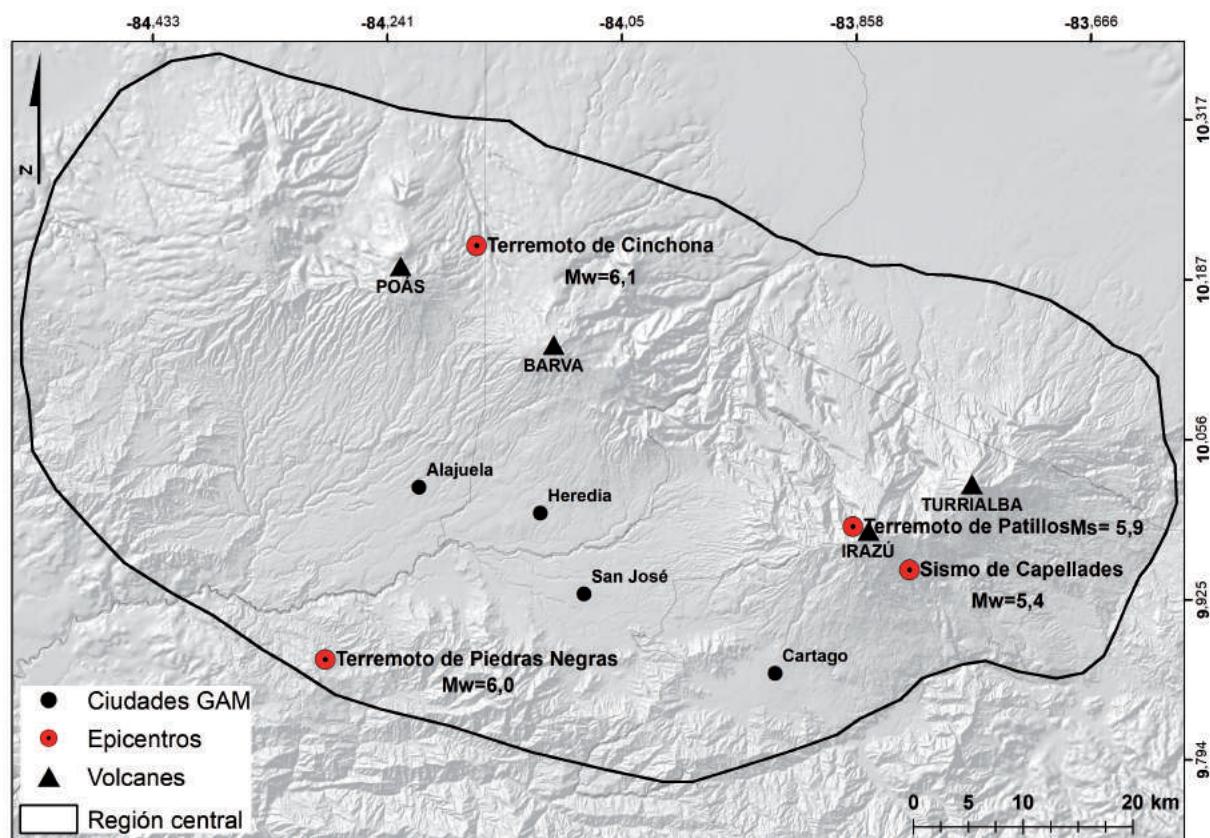


Figura 8. Ubicación de los epicentros de los cuatro terremotos más recientes que han afectado la región central de Costa Rica, se aprecia que tres de ellos tuvieron su origen cerca de estructuras volcánicas, tales como los volcanes Poás, Irazú y Turrialba.

Tabla 3. Resumen comparativo de la caracterización de los terremotos de Capellades, Cinchona, Piedras Negras y Patillos y su impacto social.

Terremoto	Fecha	Magnitud (Ms/Mw)	Ubicación	Intensidad sismica máxima (IMM)	Tipo de fallamiento	Principales efectos	Fuente
Capellades	30/12/2016	5,4 Mw	4,4 km al noroeste de Capellades de Alvarado, Cartago.	VII	Falla de corrimiento lateral derecho y casi vertical.	Deslizamientos, viviendas destruidas, daños en carreteras, tendido eléctrico y sistemas de agua potable.	Quintero (2016)
Cinchona	08/01/2009	6,1 Mw	1 km al sur de Cinchona, Alajuela.	IX	Fallamiento normal con componente de rumbo dextral.	Deslizamientos, 27 fallecidos, destrucción de viviendas, escuelas, iglesias e industria.	Red Sismológica Nacional (2009)
Piedras Negras	22/12/1990	6,0 Mw	4 km al noroeste de Santiago de Puriscal.	VII	Fallamiento de corrimiento lateral izquierdo casi vertical.	Deslizamientos y hundimientos, 100 heridos, un fallecido y cerca de 300 viviendas destruidas.	Ramírez y Brenes (1994)
Patillos	30/12/1952	5,9 Ms	Falda noroeste del volcán Irazú.	VIII	Desplazamiento de rumbo.	Deslizamientos, 21 fallecidos, daños y destrucción de viviendas, carreteras, escuelas e iglesias.	Montero Alvarado (1995)

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La recopilación de información sobre los daños causados por el sismo de Capellades, del 30 de noviembre del 2016, 18:25 hora de Costa Rica; indica una intensidad máxima de VII en la Escala Mercalli Modificada; lo que señala que fue percibido muy fuerte por la población cercana a la zona epicentral y con posibilidades de causar daños moderados en estructuras de buen diseño; lo cual se constató con visitas de campo. Esta intensidad, a su vez, muestra una PGA empírico de hasta 232 cm/s^2 , la cual es el doble al observado que fue de $10\%g$.

La sismicidad histórica de Costa Rica muestra que los sismos de fallamiento superficial han sido de lo más destructivos; y en aquellos lugares en que las condiciones fisiográficas han cambiado muy poco con el tiempo, pero se cuenta con construcciones sin buen diseño o en sitios no aptos para su ubicación, se mostraron daños similares, ejemplo de ello el terremoto de Cinchona de 2009 y el sismo de Capellades de 2016; ambos ocurrieron en sitios con marcadas pendientes; en consecuencia, se destaca además que para el evento de Cinchona perecieron 27 personas; la mayoría producto de deslizamientos.

Para este sismo las estaciones sísmicas de baja ganancia a 22 km de distancia del epicentro indicaron aceleraciones de 17 a $22\%g$, algunas de ellas sobrepasaron el $30\%g$ en la zona epicentral; lo que causó mayor daño que el de Capellades de 2016. Además de las construcciones civiles, el sector agropecuario, el turismo y el paisaje se vieron afectados; lo que conlleva a que la economía local producto del turismo y comercio se vea mermada al quedar los caminos incomunicados y por la poca afluencia del público a los sitios turísticos.

Los deslizamientos pueden causar daños en un tiempo posterior, esto porque quedan depositados en el fondo de los ríos y durante la época lluviosa son llevados río abajo generando flujos de lodo, o como se conoce popularmente cabezas de agua, las cuales pueden afectar la infraestructura y las poblaciones expuestas río abajo, ejemplo de ello fueron los flujos de lodo que viajaron por el río Sarapiquí producto del terremoto de Cinchona, afectando comunidades en la parte baja.

Para disminuir las condiciones de riesgo es necesario que las construcciones modernas sean supervisadas por los profesionales en ingeniería, ya que en Costa Rica las estructuras deben de ser capaces de soportar intensidades

hasta de IX grados en la escala IMM, asimismo es de importancia que se dé una regulación asertiva en los usos del suelo por parte de los gobiernos locales, principalmente en aquellas áreas con condiciones de desarrollo urbano. Por tanto, se rescata que los mapas de intensidades de los terremotos son una herramienta que permiten zonificar sísmicamente áreas.

CONCLUSIONES

Terremotos históricos de moderados a fuertes registrados en la región central de Costa Rica como el de Patillos, Piedras Negras, Cinchona y Capellades han sido disparadores de deslizamientos; eventos favorecidos por las condiciones topográficas, caracterizadas por marcadas pendientes, alta humedad y composición principalmente volcánica.

En la región central del país los asentamientos humanos se han desarrollado en lugares no aptos para la construcción, lo que conlleva que sismos de moderados a fuertes causen daños a la infraestructura y muertes, la mayoría por deslizamientos. No se necesita amplificaciones del suelo de bastante amplitud para que estos eventos causen daños en el paisaje y en las construcciones civiles; en el caso en estudio aceleraciones máximas entre 10 a $30\%g$ causaron destrucción y fallecidos.

Las áreas donde han ocurrido los últimos cuatro sismos importantes de la región central del país se localizan en sitios con marcadas pendientes, por tanto no son óptimos para soportar aceleraciones de 20 a $50\%g$, por tanto la concentración de poblaciones en estos espacios puede conllevar a la pérdida de vidas humanas, máxime si el evento ocurre en el momento en que se da la concentración de personas, como fue el caso de Cinchona en 2009; por lo que es necesario incluir en los planes de ordenamiento territorial zonificaciones sísmicas que a su vez contribuyan a impulsar el cumplimiento de reglamentos para la construcción, lo que representa una importante contribución en materia de gestión de riesgo.

Las redes sociales son una fuente importante de información que permiten generar a partir de los reportes de la población datos macrosísmicos en un tiempo corto después de ocurrido un evento, lo que representa una contribución en el campo de la sismología y en la gestión de riesgos, principalmente durante los procesos de atención de emergencias.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Gobierno de Costa Rica por el financiamiento para la instalación y el mantenimiento de las estaciones sísmicas del OVSICORI-UNA, así como al equipo de profesionales del OVSICORI-UNA por mantener en operación la red sísmica desde 1984 y a las personas que realizaron sus reportes en la red del OVSICORI-UNA. Asimismo, se agradece a los revisores por sus valiosos aportes que sin duda ayudaron a mejorar los resultados mostrados en esta investigación.

REFERENCIAS

- Alvarado, G., Morales, L., Montero, W., Climent, A., y Rojas, W. (1988). Aspectos sismológicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 9, 75-98. doi: 10.15517/rgac.v0i09.12967.
- Arguedas, C. (2016a). *Tremor del miércoles dejó daños en 60 viviendas*. Consultado el 26 de diciembre de 2016. <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/temblor-del-miercoles-dejo-danos-en-60-viviendas/W5P4DY6N25CLTMSYQKRD34WINU/story/>
- Arguedas, C. (2016b). *Temblor de Capellades causó efectos en un área de 35 km²*. Consultado el 26 de diciembre de 2016. <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/temblor-de-capellades-causo-efectos-en-un-area-de-35-km2/2OOLARLWOJHNZCK27G7KGVHVQA/story/>
- Arrieta, J., y Sosa, R. (2017). Evaluación de las intensidades macrosísmicas en los estados de Nuevo León y Coahuila a partir de sismos recientes. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 85, 54-58.
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (2016). *CNE declara ALERTA AMARILLA por sismo*. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. Consultado el 14 de marzo de 2017. <https://www.cne.go.cr/index.php/281-uncategorised/1251-2016-12-01-cne-declaracion-alerta-amarilla-por-sismo>
- Denyer, P., Montero, W., y Alvarado, G.E. (2003). *Atlas Tectónico de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Gamboa, C. (2016). *Noche de pánico por sismo de 5,5. Caída de objetos y pequeños deslizamientos en vías, Capellades, Cartago*. Consultado el 26 de diciembre de 2016. http://www.diarioextra.com/Noticia/detalle/317475/noche-de-panico-por-sismo-de%205,5?fb_comment_id=1166784150078716_1167080720049059#f14a7209f08a288
- Guendel, F. (1986). Seismotectonics of Costa Rica: An analytical view of the southern terminus of the Middle America Trench. PhD. Tesis, Universidad de California, USA.
- INII-UCR. (2019). Aceleraciones registradas por el Laboratorio de Ingeniería Sísmica del Instituto de Investigaciones en Ingeniería. Recuperado el 20 de setiembre de 2019. <http://www.lis.ucr.ac.cr/mapas/2016-11-30-18:26:01/>.
- Linkimer, L., Arroyo, I., Soto, G., Porras, J., Araya, M., Mora, M., y Taylor, M. (2018). El sismo de Capellades del 2016 y su secuencia sísmica: Manifestación de fallamiento de rumbo en el arco volcánico de Costa Rica. *Boletín de Geología*, 40(2), 35-53. doi:10.18273/revbol.v40n2-2018002.
- Montero, W. (1999). El Terremoto del 4 de marzo de 1924 (Ms 7,0): ¿Un Gran temblor interplaca relacionado al límite incipiente entre la placa Caribe y la microplaca de Panamá? *Revista Geológica de América Central*, 22, 25-62.
- Montero, W. (2001). Neotectónica de la región central de Costa Rica: frontera oeste de la microplaca de Panamá. *Revista Geológica de América Central*, 24, 29-56. doi: 10.15517/rgac.v0i24.8551.
- Montero, W. (2003). El sistema de falla Atirro-Río Sucio y la cuenca de tracción de Turrialba-Irazú: Indentación tectónica relacionada con la colisión del levantamiento del Coco. *Revista Geológica de América Central*, 28, 05-29. doi:10.15517/rgac.v0i28.7781.
- Montero, W., y Alvarado, G.E. (1995). El terremoto de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (Ms= 5,9) y el contexto neotectónico de la región del volcán Irazú, Costa Rica. *Revista Geológica de*

- América Central, 18, 25-42. doi:10.15517/rgac.v0i18.13522.
- Quintero, R. (2016). Fuerte sismo último día de noviembre. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica.
- Quintero-Quintero, R., y Porras-Hernández, H. (2018). Sismo de Capellades 01 diciembre 2016, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 4(61E), 123-143. doi:10.15359/rgac.61-4.6.
- Quintero-Quintero, R., y Porras-Espinoza, H. (2018). Recurrencia de sismos en el Valle Central de Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 4(61E), 63-80. doi:10.15359/rgac.61-4.3.
- Red Sismológica Nacional. (2009). El terremoto de Cinchona del 8 de enero de 2009.
- Ramírez, R., y Brenes, W. (1994). Registro de aceleraciones, terremoto del 22 de diciembre de 1990, Valle Central, Costa Rica. Laboratorio de Ingeniería Sísmica, UCR.
- Rojas, P. (2016). *Casa colapsó por completo tras sismo en Cartago*. Consultado el 26 de diciembre de 2016. <https://www.crhoy.com/nacionales/casa-colapso-por-completo-tras-sismo-en-cartago/>
- Solano, H., Láscarez, C., y Araya, A. (2016). *Tremor de 5,3 grados fue sentido en el Valle Central*.
- Consultado el 26 de diciembre de 2016. <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/temblor-de-53-grados-fue-sentido-en-el-valle-central/I12ZHSWX4ZEHRIZTJXZGQWSR2Y/story/>
- Wald, D., Quitoriano, V., Heaton, T., Kanamori, H., Scrivner, C., and Worden, B. (1999). Trinet “Shakemaps”: Rapid Generation of Peak Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California. *Earthquake Spectra*, 15(3), 537-555. doi:10.1193/1.1586057.
- Wald, D., Worden, B., Quitoriano, V., and Pankow, K. (2005). ShakeMap manual: technical manual, user’s guide, and software guide. U.S. Geological Survey, Techniques and Methods 12-A1, 132 pp.
- Wells, D., and Coppersmith, K. (1994). New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.

Daniela Campos-Durán
ORCID: 0000-0001-8912-0807

Ronnie Quintero-Quintero
ORCID: 0000-0002-0422-1033

Trabajo recibido: mayo 18 de 2019
Trabajo aceptado: octubre 29 de 2019