

Sismicidad y ruido sísmico en Costa Rica durante la pandemia del año 2020

Seismicity and seismic noise in Costa Rica during the pandemic of 2020

Lepolt Linkimer*, Mario Arroyo-Solórzano e Ivonne G. Arroyo

Universidad de Costa Rica (UCR), Red Sismológica Nacional (RSN) y Escuela Centroamericana de Geología (ECG), San Pedro, San José, Costa Rica

*Autor para contacto: lepolt.linkimer@ucr.ac.cr

(Recibido: 22/02/2021; aceptado 23/03/2021)

RESUMEN: Durante el 2020, la Red Sismológica Nacional (RSN) localizó 3480 sismos locales, equivalente a la energía sísmica liberada por un evento de magnitud (Mw) 6,5. La sismicidad se concentró principalmente en seis zonas con 100-350 temblores. Un total de 232 sismos (~7%) fueron sentidos por la población, incluyendo 17 con Mw entre 5,0 y 6,0. La mayoría de los eventos percibidos fueron superficiales (~85% < 30 km) y con Mw baja (~56% < 3,9). Las fallas en las placas cabalgantes provocaron 140 de los sismos sentidos, mientras que la zona sismogénica interplacas de la subducción ocasionó 61, incluyendo el evento más significativo cerca de Jacó en agosto (Mw 6,0). Este sismo y el de Boruca en marzo (Mw 5,6) provocaron las intensidades más altas observadas (VI). Durante el 2020, el nivel de ruido sísmico bajó de 200 a 50 nm debido a las medidas de confinamiento por la pandemia del COVID-19.

Palabras clave: estadística sísmica; energía sísmica; escala de intensidad Mercalli Modificada (IMM); Magnitud momento (Mw); subducción.

ABSTRACT: During 2020, the National Seismological Network (RSN) located 3,480 local earthquakes, equivalent to the seismic energy released by an earthquake of magnitude (Mw) 6.5. The seismicity was mainly concentrated in six zones with 100-350 tremors. A total of 232 earthquakes (~ 7%) were felt by the population, including 17 with Mw between 5.0 and 6.0. Most of the felt earthquakes were shallow (~85% <30 km) and small (~56% Mw <3.9). Faulting in the overriding plates caused 140 of the felt earthquakes, while the interplate seismogenic zone caused 61, including the most significant event near Jaco in August (Mw 6.0). This earthquake and the Boruca event in March (Mw 5.6) caused the highest intensities observed (VI). During 2020, the seismic noise level dropped from 200 to 50 nm due to confinement measures of the COVID-19 pandemic.

Keywords: Earthquake Statistics; Seismic Energy; Modified Mercalli Intensity (MMI); Moment Magnitude (Mw); Subduction.



INTRODUCCIÓN

Cada año, la Red Sismológica Nacional (RSN) de la Universidad de Costa Rica (UCR) presenta un resumen estadístico de la sismicidad registrada por su red de instrumentos (Fig. 1). Estos resúmenes de la sismicidad se realizan desde 1976 y son útiles para referir los sismos relevantes de cada año y la cantidad y las características de estos eventos.

La RSN es un programa de investigación inscrito en la UCR cuya raíz está plantada en la historia de colaboración entre esa institución y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Entre los objetivos de la RSN está el registro de la actividad sísmica del país a partir de una red conjunta sostenida gracias al esfuerzo titánico del personal de ambas instituciones (e.g., Linkimer, Arroyo, Alvarado, Arroyo y Bakkar, 2018). El año 2020 tuvo la particularidad de la pandemia del COVID-19, que añadió complicaciones adicionales al mantenimiento de la red de instrumentos, pero a pesar de los nuevos obstáculos, la RSN no interrumpió sus operaciones.

Los sismos son fenómenos muy frecuentes en el territorio costarricense debido a su ubicación en una zona donde limitan cinco bloques tectónicos: las placas del Coco, Caribe y Nazca, la microplaca de Panamá y el Bloque Antearco Centroamericano (Fig. 1). La subducción de la placa del Coco inicia en la fosa Mesoamericana y ocurre a velocidades de 83-89 mm/año (DeMets, Gordon, Argus y Stein, 1994). Al sureste del país, se encuentra un punto triple donde se unen la fosa Mesoamericana y la Zona de Fractura de Panamá (ZFP), esta última limitando las placas del Coco y Nazca. El límite entre las placas Caribe y Panamá ocurre en el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR; e.g., Marshall, Fisher y Gardner, 2000; Montero, 2001) y en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP; Adamek, Frohlich y Pennington, 1988). Además, en el norte de Costa Rica, a lo largo de las fallas del arco volcánico, el Bloque Antearco Centroamericano se mueve hacia el noroeste con velocidades de 11 mm/año (Franco et al., 2012).

Afortunadamente, la pandemia del año 2020 no coincidió con terremotos o sismos que provocaran daños o víctimas en Costa Rica. Esta situación fue ventajosa para el país, que pudo concentrar sus esfuerzos en atender la pandemia y no en las calamidades que desencadenan los terremotos, como las sucedidas en el pasado producto de los 68 sismos destructivos con que cuenta la historia costarricense desde 1821 (e.g., Montero, 1989; Peraldo y Montero, 1994; Linkimer y Alvarado, 2014).

Por todo lo anterior, el contexto sísmo-tectónico de Costa Rica amerita el estudio minucioso de la sismicidad, lo cual es la base para el cálculo de la amenaza sísmica a la cual está expuesta la población y para el diseño de estructuras sísmo-resistentes. Con esto en mente, se presenta en este trabajo la tradicional publicación anual de la RSN, mostrando la distribución de los sismos del año 2020 geográfica y temporalmente, así como por magnitud, profundidad y origen. Se presentan además, los principales focos de la sismicidad en el continente y en los océanos, la energía sísmica liberada y las intensidades de los sismos más relevantes del año. Por último, en esta ocasión se demuestran los efectos del distanciamiento social para prevenir el COVID-19 en el registro del ruido sísmico a lo largo del año.

METODOLOGÍA

La sede y centro de registro de la RSN se ubica en la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR, en donde se procesa en forma automática la señal transmitida desde 168 estaciones sismológicas (Fig. 1), de las cuales 120 son administradas por la UCR y 48 por el ICE. Esta red sísmica conjunta incluye 38 estaciones de banda ancha, 122 de periodo corto y 8 acelerógrafos.

La metodología que se sigue en la RSN para la localización de los sismos inicia con los programas de detección y localización automática del sistema SeisComp3 (Gempa, 2019). En este primer paso, se generan datos preliminares automáticos cuyos resultados son publicados en dos o tres minutos en las redes sociales Facebook y Twitter y en la aplicación para teléfonos móviles “RSN” (e.g., Linkimer y Arroyo, 2020).

El segundo paso consiste en la revisión de la localización preliminar por parte de un analista entrenado en sismología y la publicación de la localización revisada, entre 5 y 20 minutos después del tiempo de origen del sismo. El análisis de los sismogramas, la localización y el cálculo de la magnitud momento (M_w) se llevan a cabo usando los programas *Mulplt* y *Hyp* (Lienert y Havskov, 1995) integrados en el software sismológico *Seisan* (Havskov, Voss y Ottemöller, 2020). En las localizaciones revisadas se incorporan además lecturas de estaciones administradas por otras redes sismológicas ubicadas en Costa Rica, Panamá y Nicaragua, compartidas directamente o disponibles a través del consorcio IRIS (*Incorporated Research*

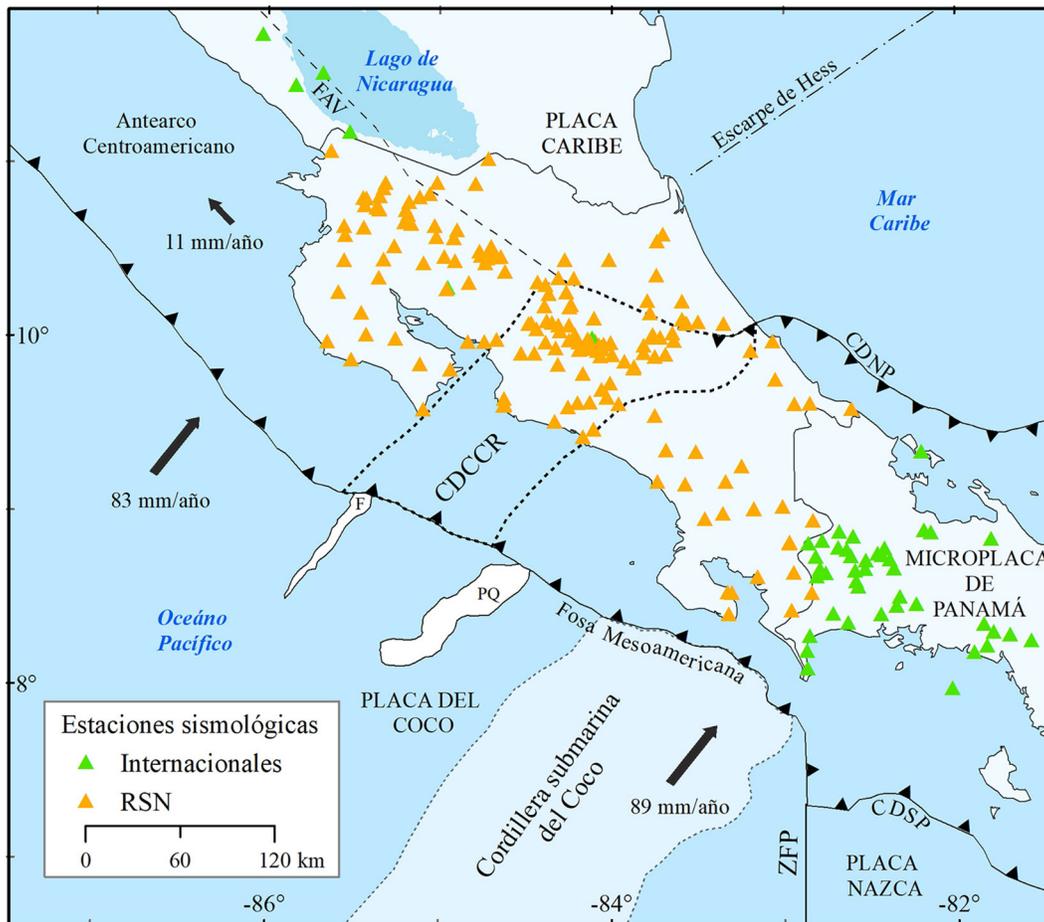


Fig. 1: Contexto tectónico de Costa Rica y estaciones de la Red Sísmológica Nacional (RSN: UCR-ICE). La región contenida dentro de la línea gruesa punteada representa el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR). La línea discontinua representa el límite noreste simplificado del Bloque Antearco Centroamericano a lo largo de las Fallas del Arco Volcánico (FAV). CDNP es el Cinturón Deformado del Norte de Panamá, F es el monte submarino Fisher, P significa plateau de Quepos, y ZFP, Zona de Fractura de Panamá.

Institutions for Seismology). Para las lecturas de los sismogramas se sigue un esquema de pesos dependiendo de la claridad de los arribos y para la localización de sismos se utiliza un modelo de velocidades de la onda primaria basado en Matumoto, Ohtake, Latham y Umana (1977) y una razón de velocidades (V_p/V_s) de 1,75.

El resultado de este segundo paso es confirmar y corregir, si es necesario, los datos publicados inicialmente. La publicación de cada sismo revisado se realiza en la página web de la RSN, en la aplicación móvil y en las redes sociales mencionadas previamente (e.g., Linkimer y Arroyo, 2020). La sismicidad analizada en este trabajo corresponde con estas localizaciones revisadas para todos los sismos del año 2020.

El tercer y último paso lo conforma el cálculo de la intensidad en la escala Mercalli Modificada (IMM) que se realiza rutinariamente a partir de un cuestionario de 12 preguntas, llamado “¿Lo sentiste?”, el cual está inspirado en el que usa el Servicio Geológico de los Estados Unidos (Atkinson y Wald, 2007; Wald, Quitoriano, Worden, Hopper y Dewey, 2011). Al mismo tiempo, se determinan intensidades con base en los registros instrumentales de las estaciones sísmológicas a través del software ShakeMap (Wald, Wald, Worden y Goltz, 2003), el cual utiliza un modelo de predicción del movimiento de suelo (Zhao et al., 2006) y uno de intensidad (Wald et al., 1999). Los mapas de isosistas presentados en este trabajo fueron construidos usando los datos de intensidades recopilados en ese tercer paso.

CARACTERÍSTICAS DE LA SISMICIDAD

Durante el año 2020, la RSN localizó 3773 sismos, cantidad que incluye los eventos ocurridos en Costa Rica (sismos locales), algunos ubicados en América Central (regionales) y otros originados a más de 10 grados de distancia (telesismos). Del total de eventos localizados, 3480 fueron sismos locales (Fig. 2 y 3) y de estos 232 (~7 %) se reportaron como percibidos por la población (Fig. 4 y 5). En comparación con el último quinquenio, la sismicidad del año 2020 se encuentra dentro de los niveles registrados en ese periodo, que han variado en cantidades anuales de 2261 a 4103 sismos locales y de 210 a 285 sismos sentidos.

Distribución temporal

Los meses con la mayor cantidad de sismos locales fueron noviembre (329), septiembre (323), agosto (315) y junio (313). Por otro lado, el mes de diciembre tuvo la menor cantidad de sismos localizados, con 248 (Fig. 3A). Los demás meses tuvieron una cantidad de sismos que varió entre 265 y 293 (Fig. 3A). El promedio mensual de sismos registrados fue de 290.

Con respecto de la sismicidad percibida, septiembre fue claramente el mes con más sismos, con un total de 44, seguido por enero con 34. En el otro extremo, están los meses de noviembre, mayo y junio, con únicamente 6, 7 y 8 eventos, respectivamente (Fig. 5A). Los meses restantes tuvieron entre 12 y 27 eventos sentidos (Fig. 5A). El promedio mensual de sismos sentidos fue de 19.

Distribución por magnitud

Durante el año se localizaron 36 sismos relevantes con $M_w \geq 5,0$ (Fig. 3B). Un poco más de la mitad (19) de estos eventos tuvieron su epicentro mar adentro y alejados de centros de población, por lo que no fueron sentidos. Los otros 17 sismos, por el contrario, fueron sentidos en territorio costarricense e incluyen 9 eventos con M_w entre 5,5 y 5,7 y el sismo de Jacó del 24 de agosto, que con M_w 6,0 fue el más grande del año (Fig. 4 y 5B).

La mayoría de los sismos localizados tuvieron magnitudes entre 2,0 y 2,9 (~42%) y entre 3,0 y 3,9 (~49 %, Fig. 3B). Con respecto a los sismos sentidos, la mayoría tuvieron magnitudes entre 3,0 y 3,9 (~38%) y entre 4,0 y 4,9 (~37%, Fig. 5B). En relación con las magnitudes bajas ($M_w < 2,9$), se localizaron 1549 sismos (Fig. 3B), de los cuales se percibieron 42 (18%; Fig. 5B) y estos en su mayoría tuvieron sus epicentros cerca de las zonas urbanas. El sismo sentido de menor M_w fue de 1,7, sucedió el 30 de enero y tuvo su epicentro en Capellades de Alvarado, en la parte central del país.

Distribución por profundidad

La mayoría de la sismicidad localizada (74,5%) tuvo profundidades menores a 30 km (Fig. 3C). De estos eventos superficiales hubo 196 que fueron sentidos, lo cual representa el 84,5% del total (Fig. 5C). Solamente 23 sismos sentidos tuvieron su hipocentro a más de 40 km de profundidad y de estos, cuatro ocurrieron a más de 100 km (Fig 5C). El primero de estos eventos ocurrió el 14 de abril a 106 km de profundidad con epicentro al oeste de Guápiles de Pococí y con una M_w de 3,4. Los otros tres sismos ocurrieron en los meses de julio y octubre con epicentros en Nicaragua, tuvieron M_w de 4,7-4,9 y fueron sentidos en Guanacaste.

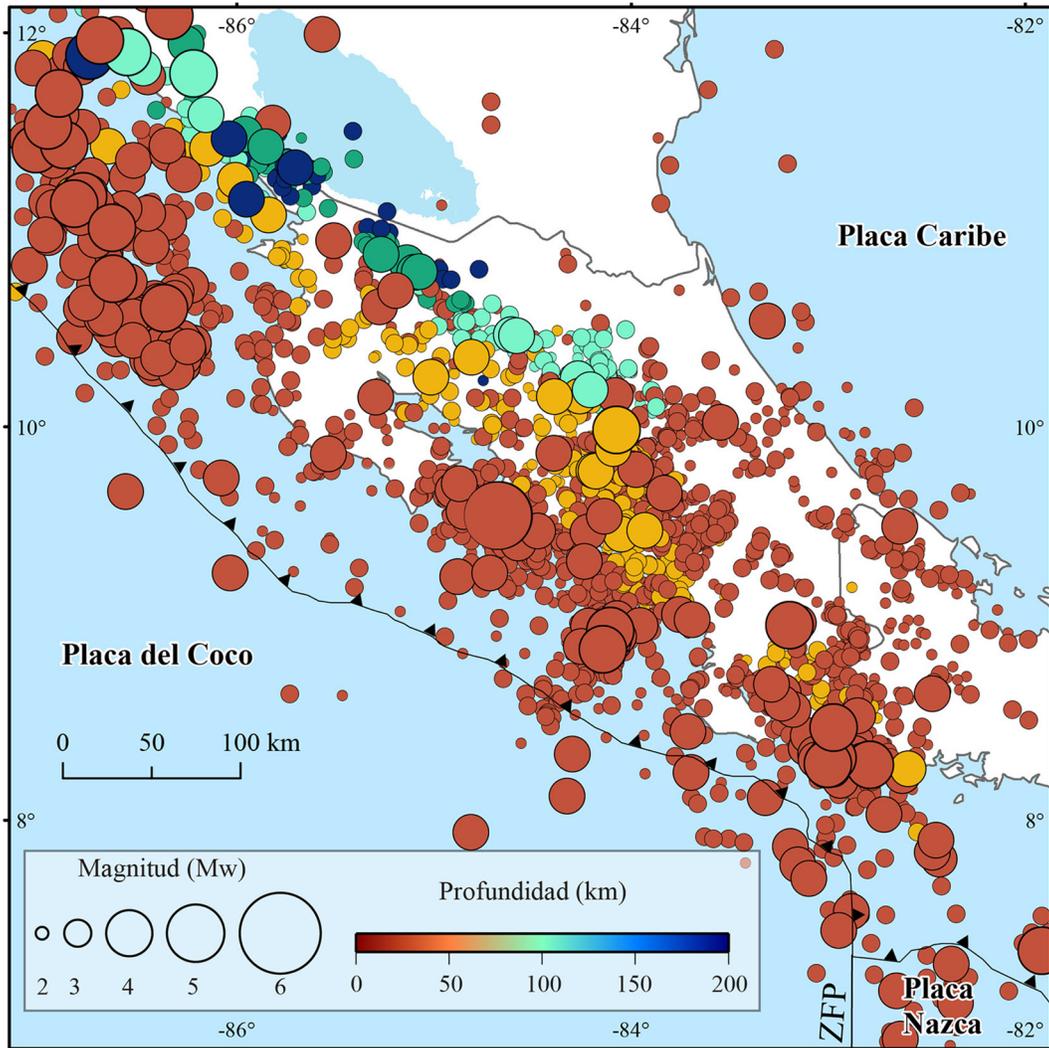


Fig. 2: Epicentros (círculos) de los sismos localizados por la RSN durante el año 2020 en la región de Costa Rica. El tamaño de los círculos es relativo a la magnitud momento (M_w) y su color se muestra de acuerdo con la profundidad de los eventos sísmicos.

Distribución por origen

El origen de los sismos sentidos se distribuye de la siguiente manera (Fig. 4): 140 (~60%) fueron ocasionados por fallas superficiales en las placas Caribe y Panamá, 61 (~26%) ocurrieron en la zona sismogénica interplacas o en la zona del levantamiento (*outer rise*) a lo largo del margen Pacífico del país, 28 (~12%) ocurrieron debido a la deformación interna de la placa del Coco al subducirse debajo de las placas Caribe y Panamá (Fig. 5D) y tres (~1%), se asocian con la ZFP.

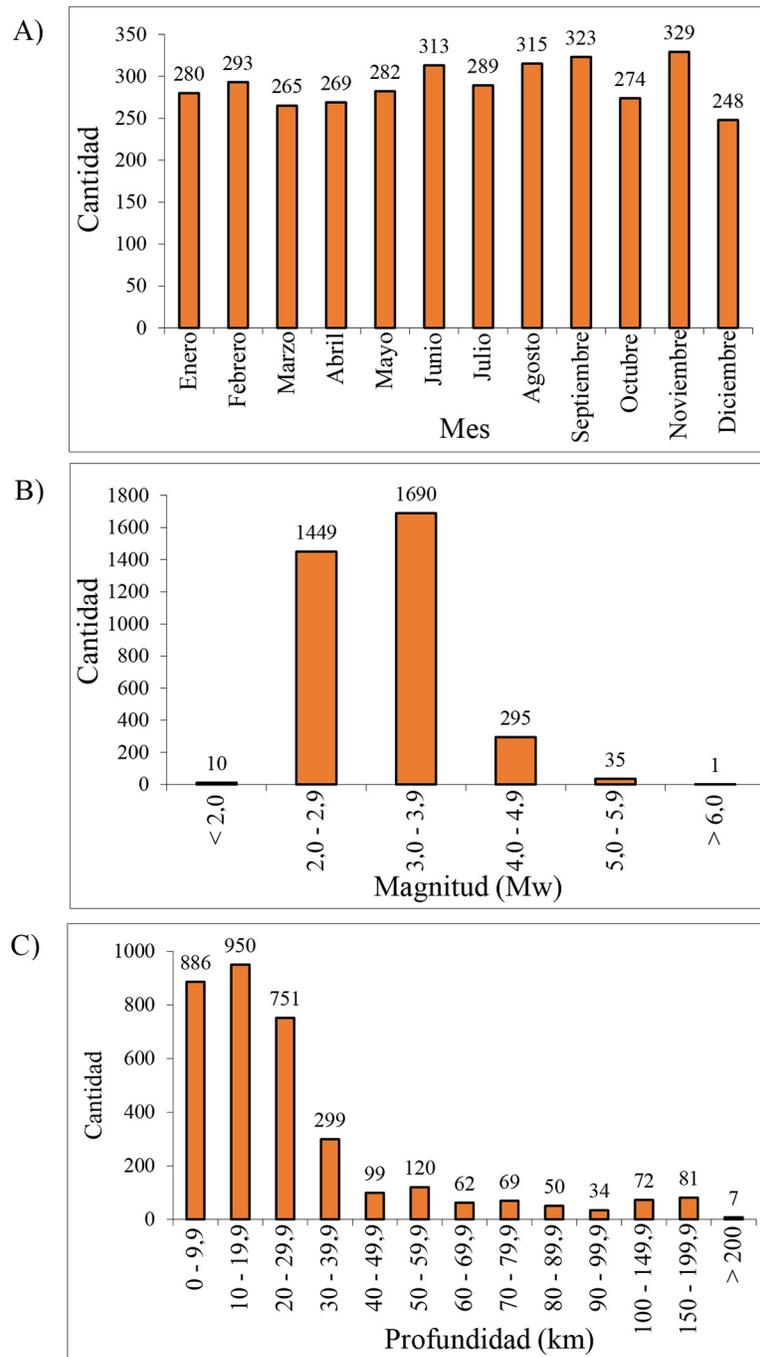


Fig. 3: Distribución de los 3480 sismos locales del 2020 de acuerdo con A) mes del año, B) magnitud momento (Mw) y C) profundidad. La cantidad de sismos se muestra sobre las barras de cada histograma.

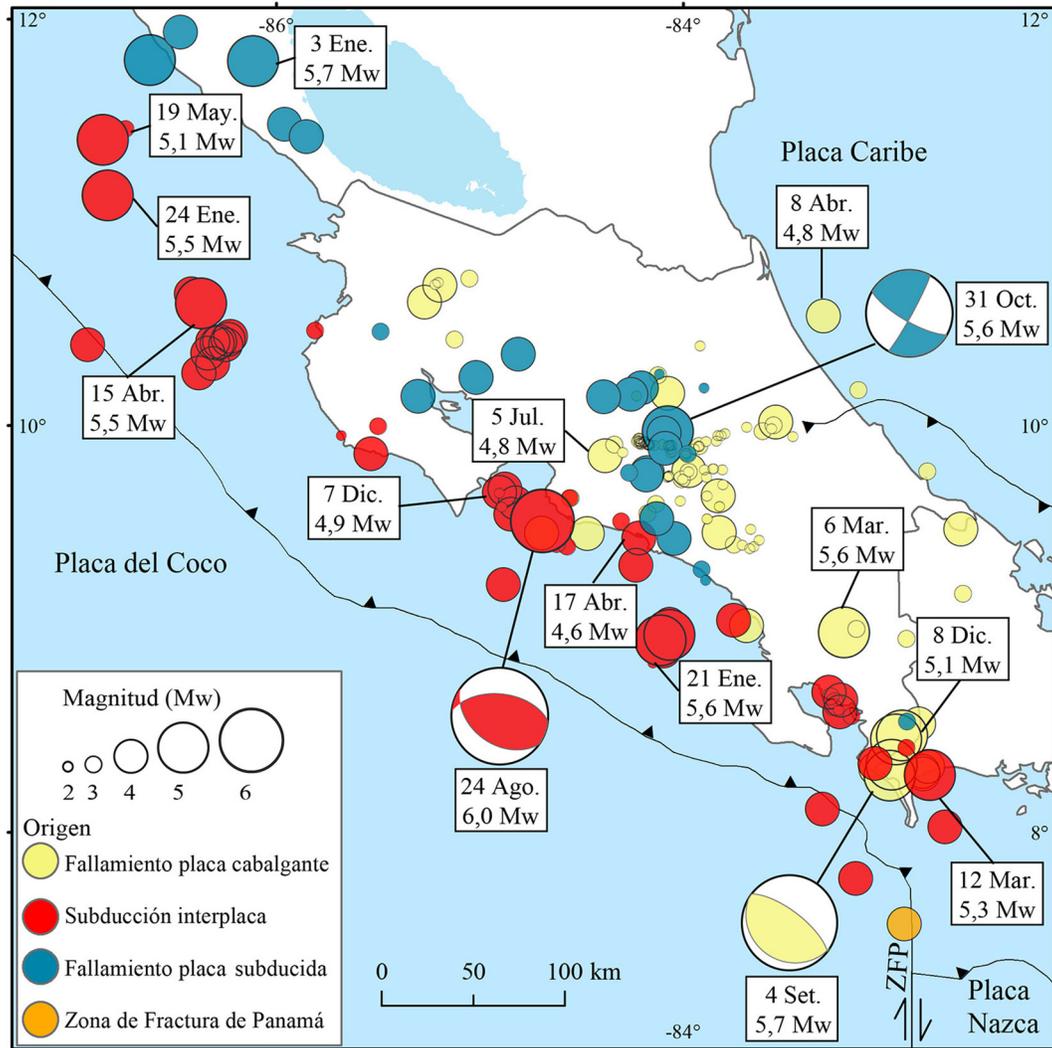


Fig. 4: Ubicación epicentral de los sismos sentidos en Costa Rica durante el 2020. Los sismos sentidos más relevantes se señalan con su Mw. El origen de los sismos se indica mediante el color de los círculos. Se muestra el mecanismo focal de los tres sismos relevantes mencionados en el texto.

El sismo de Jacó del 24 de agosto (Mw 6,0; Fig. 4) y sus réplicas fueron originados en la zona sismogénica interplacas, como parte del proceso de subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe. La profundidad del hipocentro del sismo principal a 23 km y la distribución de las réplicas coinciden con el techo de la placa del Coco bajo Costa Rica en ese sector (Lücke y Arroyo, 2015). La solución del mecanismo focal realizada por la RSN es de fallamiento inverso e indica dos planos nodales cuyo rumbo, inclinación y ángulo de rake son de 276°, 52°, 71° y 125°, 42°, 113°, respectivamente.

Frente al Pacífico Central y en la zona donde ocurrió el sismo de Jacó del 2020, el relieve de la placa del Coco se caracteriza por montes submarinos, los cuales al subducirse actúan como asperezas donde se acumulan los esfuerzos (Husen, Kissling y Quintero, 2002). Esta situación podría haber propiciado el sismo del 2020, así como terremotos de hasta Mw 7,0, como el de Cóbano del 25 de marzo de 1990 (Husen et al., 2002) y sismos como el de Jacó del 12 de noviembre del 2017 (Mw 6,2), localizado 18 km al sureste del epicentro del sismo de Jacó del 2020.

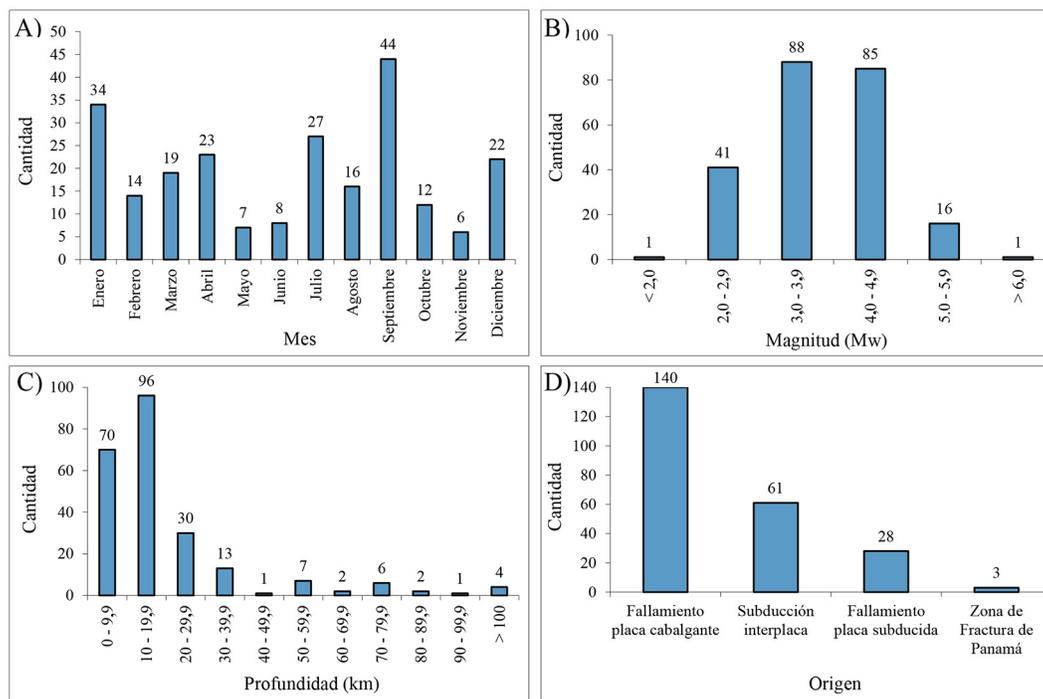


Fig. 5: Distribución de los 232 sismos sentidos del 2020 de acuerdo con A) mes del año, B) magnitud momento (Mw), C) profundidad y D) origen. La cantidad de sismos se muestra sobre las barras de cada histograma.

El sismo más relevante originado en fallas de las placas cabalgantes ocurrió el 4 de septiembre en la península de Burica (Mw 5,7; Fig. 4). Su profundidad de 7 km y su mecanismo focal de tipo inverso, con planos nodales 121° , 20° , 84° y 307° , 70° , 92° , sugiere que fue originado en el sistema de falla Media (e.g., Morrel et al., 2011).

Por otro lado, el sismo más relevante del año originado en la zona de Wadati-Benioff por deformación interna de la placa del Coco al subducirse, fue el del 31 de octubre debajo de la Gran Área Metropolitana (Mw 5,6; Fig. 4). Su profundidad fue de 77 km y su mecanismo focal con planos nodales 120° , 76° , 5° y 29° , 85° , 166° , indican una falla de desplazamiento de rumbo dentro de la losa subducida de la placa del Coco.

Distribución geográfica

La distribución geográfica de los sismos se analiza a partir de los mapas epicentrales (Fig. 2 y 4) y de la cantidad de sismos por área (Fig. 6), por franjas del margen convergente costarricense (Fig. 7) y por provincias y zonas oceánicas (Fig. 8).

La cantidad más alta de sismos del año 2020 ocurrió en seis zonas de Costa Rica (Fig. 6): al suroeste de la península de Santa Elena (Fig. 6, número 1), en la cordillera volcánica de Guanacaste (número 2), al oeste de Jacó (número 3), en la zona de Los Santos y San José (número 4), al suroeste de Dominical (número 5) y en la península de Burica (número 6). En todas estas zonas se presentaron entre 100 y 350 sismos. Todas las zonas de alta sismicidad a lo largo del margen pacífico (números 1, 3, 5 y 6) presentaron un sismo relevante de Mw > 5,5 (Fig. 4) con una secuencia de réplicas. Las dos zonas en el interior del país (números 2 y 4) presentaron alta sismicidad pero caracterizada por sismos de magnitudes bajas. Las zonas con menor sismicidad, por su parte, fueron la península de Nicoya, un sector de la península de Osa y de Talamanca, la Zona Norte y partes del Caribe, en donde se presentaron únicamente entre 1 y 15 eventos (Fig. 2 y 6).

Al examinar la sismicidad registrada en el país y regiones fronterizas en franjas de ~100 km de ancho perpendiculares a la fosa (Fig. 7), se observa que la mayor actividad sísmica corresponde con el Pacífico Central y la región central del país

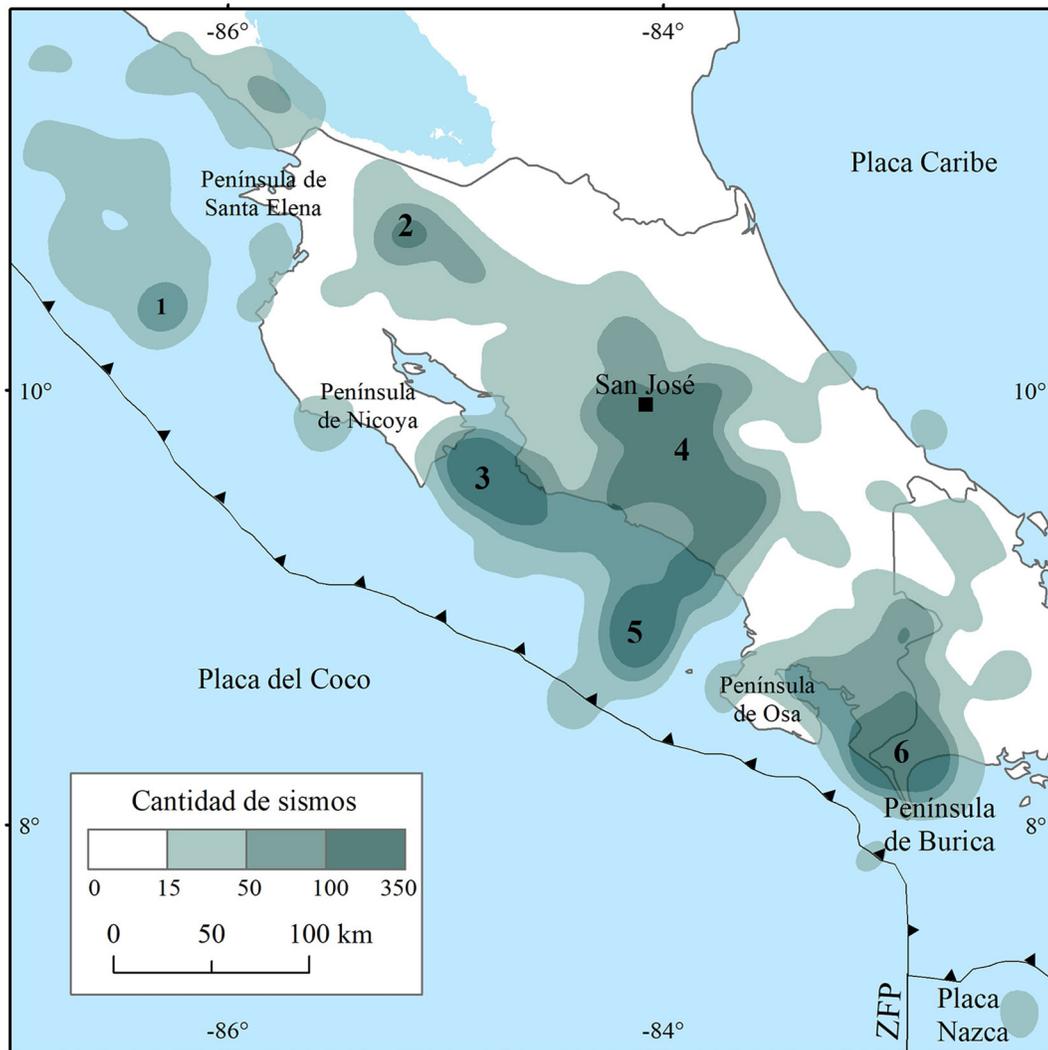


Fig. 6: Cantidad de sismos registrados en Costa Rica durante el año 2020 en zonas de 10 x10 km. Las zonas rotuladas con los números del 1 al 6 poseen más de 100 sismos localizados.

(Fig. 7, zona D), en donde se contabilizaron 1069 sismos. El sismo más relevante del año (M_w 6,0) del 24 de agosto cerca de Jacó ocurrió en esta zona (Fig. 4). En segundo lugar, la zona de la bahía de Coronado (zona E) tuvo 661 sismos, incluyendo los dos relevantes de M_w 5,6 del 21 de enero (Fig. 4). Esta es una zona muy interesante, pues la sismicidad muestra una terminación abrupta, con rumbo noreste-suroeste, que aparentemente ocurre tanto en sismos de la zona interplaca, como en los sismos de la placa superior y dentro de la placa subducida. Esta marca particular en la sismicidad, cuyo origen aún no ha sido determinado, se ha observado también con claridad en los mapas de epicentros publicados por la RSN de los últimos cinco años (e.g. Porras, Linkimer, Araya, Arroyo, Taylor y Rojas, 2017; Porras, Linkimer, Arroyo, Arroyo y Taylor, 2018; Porras et al., 2019; Arroyo, Linkimer, Arroyo, 2020).

En tercer lugar, en la península de Burica (zona F) se localizaron 626 sismos. Aquí tuvo lugar la intensa actividad del mes de setiembre, cuyo sismo más relevante ocurrió el día 4 de ese mes (M_w 5,6; Fig. 4). En contraste, Guanacaste y la Zona Norte de Costa Rica (incluidas en las zonas A, B y C) y el oeste de Panamá (zona G) tuvieron una sismicidad más baja en comparación con el resto del territorio, con una cantidad de sismos 159 y 272 sismos (Fig. 7).

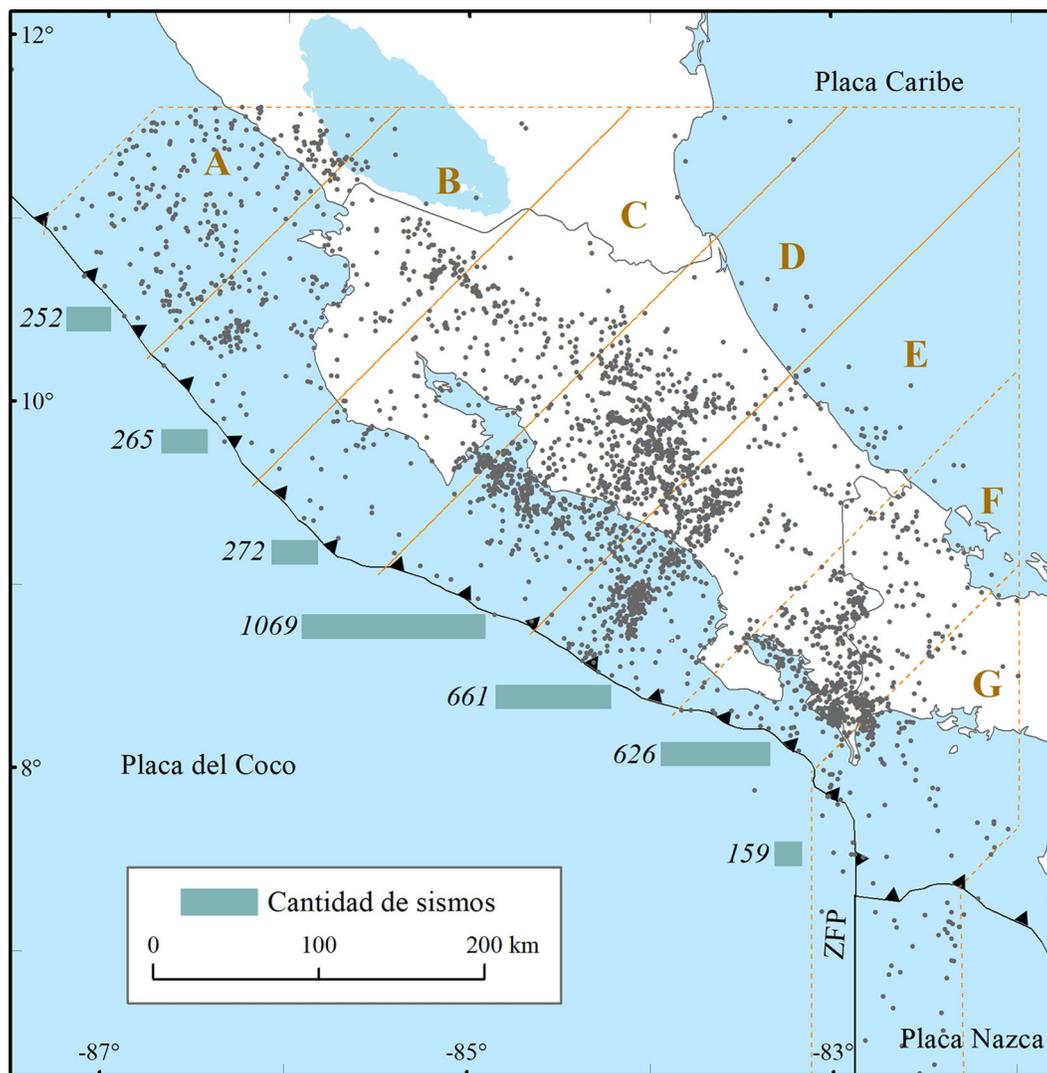


Fig. 7: Cantidad de sismos localizados durante el año 2020 a lo largo del margen convergente costarricense, separados en franjas de 100 km de ancho.

Con el fin de examinar la sismicidad en las provincias y los océanos, se contabilizó la cantidad de sismos localizados en cada zona y además en Nicaragua y Panamá (Fig. 8). La provincia de San José fue la que presentó la cantidad más alta de epicentros, con 434, seguida por Puntarenas con 393. Las provincias con menos epicentros fueron Heredia con 55 y Limón con 76. La parte del territorio panameño cercana a Costa Rica tuvo 285 epicentros, mientras que Nicaragua solo 95. Finalmente, la cantidad de epicentros ubicados en el océano Pacífico (1325 eventos) fue significativamente mayor que la del mar Caribe (39).

Energía sísmica

Usando la correlación clásica entre M_w y energía sísmica E en ergios ($1 \text{ ergio} = 1 \times 10^{-10} \text{ kJ}$) $\log_{10} E = 11,8 + 1,5 M_w$ (Stein y Wysession, 2003) y tomando en cuenta la energía sísmica total aportada por los 3480 sismos locales del año 2020,

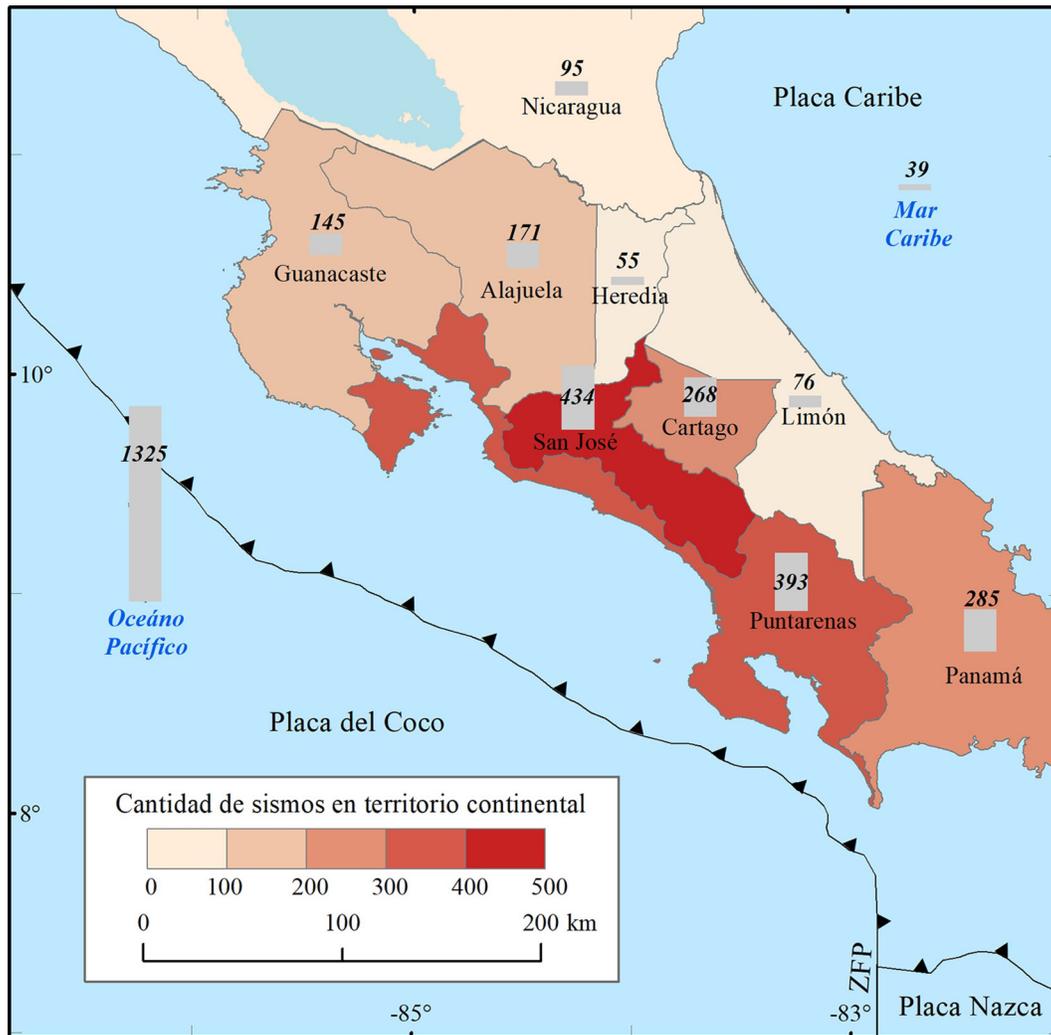


Fig. 8: Distribución de la sismicidad localizada en el territorio continental de Costa Rica y en los océanos durante el 2020. La cantidad de sismos se indica sobre una barra en cada zona.

se determinó que el valor de energía sísmica promedio liberado cada semana fue de $8,35 \times 10^9$ kJ, es decir, el equivalente a un sismo de magnitud 5,4.

La suma de la energía liberada por todos los sismos del 2020 fue de $4,01 \times 10^{11}$ kJ, lo que equivale a un sismo de magnitud 6,5. La semana con la mayor liberación de energía fue la del 23 al 31 de agosto, cuando el sismo de Jacó de Mw 6,0 y sus réplicas liberaron un total de $6,49 \times 10^{10}$ kJ (Fig. 9). Otras tres semanas del año también tuvieron un aporte importante en la energía sísmica: estas fueron las semanas del 1 al 7 de enero y del 1 al 7 de setiembre en que ocurrieron en cada caso un sismo de Mw 5,7 y se liberó una energía sísmica de $\sim 3,46 \times 10^{10}$ kJ y la semana del 16 al 22 de enero cuando ocurrieron dos sismos de Mw 5,6 y se liberó una energía de $\sim 3,30 \times 10^{10}$ kJ (Fig. 9).

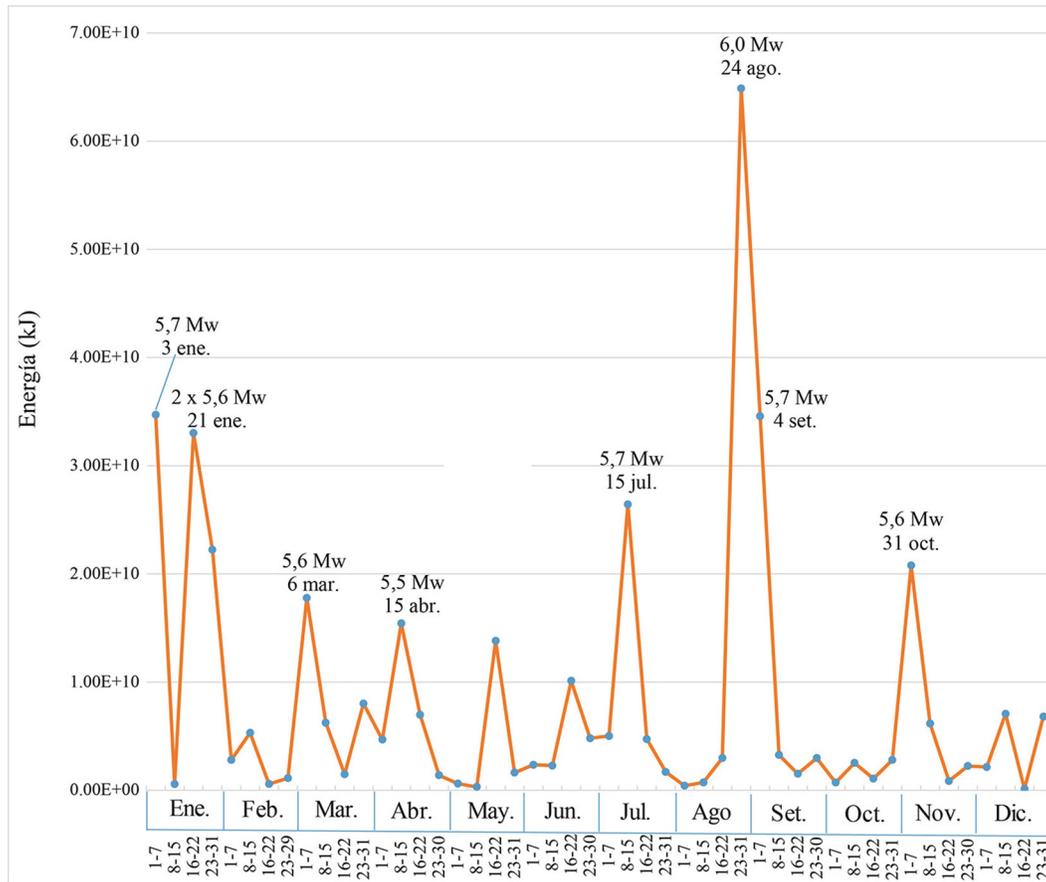


Fig. 9: Energía sísmica semanal en kilojulios (kJ) liberada por los sismos del año 2020 resaltando los principales eventos (Fig. 4). El epicentro del sismo del 15 de julio (Mw 5,7) no se muestra en figuras 1 y 4 por ubicarse distante de Costa Rica, cerca de la isla de Coiba de Panamá.

Intensidades

Los sismos que generaron las intensidades más altas fueron el de Jacó del 24 de agosto (Mw 6,0; Fig. 10A), el de Burica del 4 de setiembre (Mw 5,7; Fig. 10B), el de San José del 31 de octubre (Mw 5,6; Fig. 10C) y el de Boruca del 6 de marzo (Mw 5,6; Fig. 10D).

La IMM más alta observada durante el año 2020 fue de VI para el sismo del 24 de agosto (Mw 6,0; Fig. 10A) en Jacó, Esterillos y Parrita y en el extremo sur de la península de Nicoya, lugares donde se reportó la caída de objetos y generó alarma en la población. Debido a que el sismo ocurrió a las 3:51 p.m., la mayoría de la población se encontraba en sus oficinas y lugares de trabajo, por lo que muchos edificios fueron evacuados como medida de precaución en las ciudades de Jacó y San José; pese a ello, no hubo daños en ninguna edificación. En la Gran Área Metropolitana, ubicada a 75 km del epicentro, se experimentó una IMM de IV. Este sismo se sintió en todo el territorio costarricense: en el Valle Central y en el resto del Pacífico Central se sintió con intensidades de IV a V, mientras que en Guanacaste, Limón, el Pacífico Sur y la Zona Norte con intensidades de II a III. Este sismo tuvo además una alta cantidad de reportes por parte de la población en el módulo “¿Lo sentiste?”, con 953 respuestas recopiladas desde todas las provincias de Costa Rica

Otro sismo relevante fue el de Burica del 4 de setiembre (Mw 5,7; Fig. 10B). Este evento fue sentido especialmente en la zona sur con intensidades máximas de V. En San José fue sentido levemente y muchas personas no lo percibieron en diversos sectores del Valle Central. En cambio, en la zona sureste de Costa Rica provocó temor, ya que nueve réplicas fueron sentidas

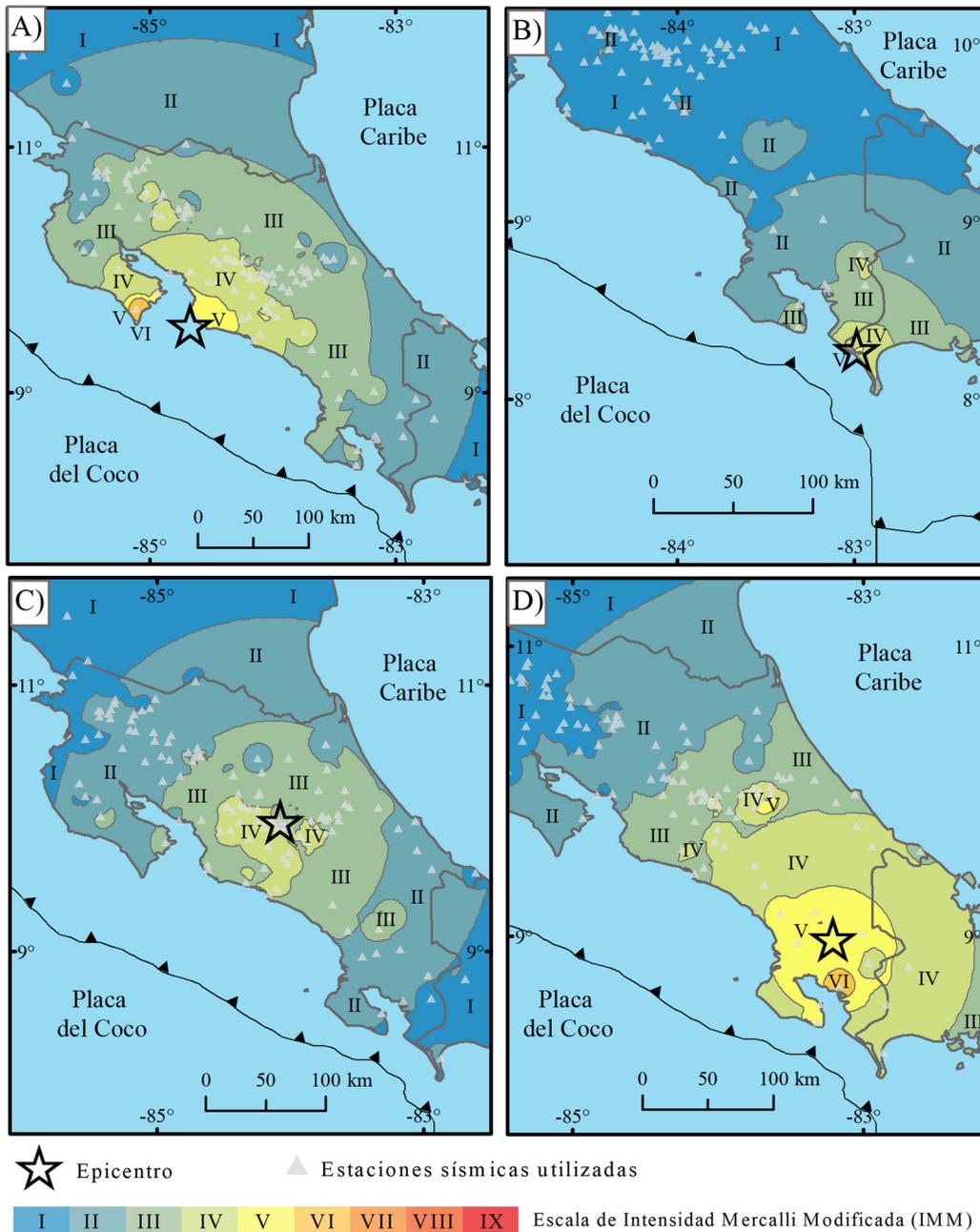


Fig. 10: Mapa de intensidades instrumentales para algunos sismos relevantes del 2020. A) Sismo de Jacó del 24 de agosto (Mw 6,0). B) Sismo de Burica del 4 de setiembre (Mw 5,7). C) Sismo de profundidad intermedia (77 km) bajo San José del 31 de octubre (Mw 5,6). D) Sismo de Boruca del 6 de marzo (Mw 5,6).

pocos minutos después del sismo inicial de las 11:45 a.m. El sismo principal fue reportado por 241 usuarios del módulo “¿Lo sentiste?”.

Por su parte, el sismo de profundidad intermedia (77 km) debajo de San José del 31 de octubre (Mw 5,6; Fig. 10C), fue ampliamente sentido en la parte central del país generando alarma en la población, ya que por su hora de ocurrencia, a las

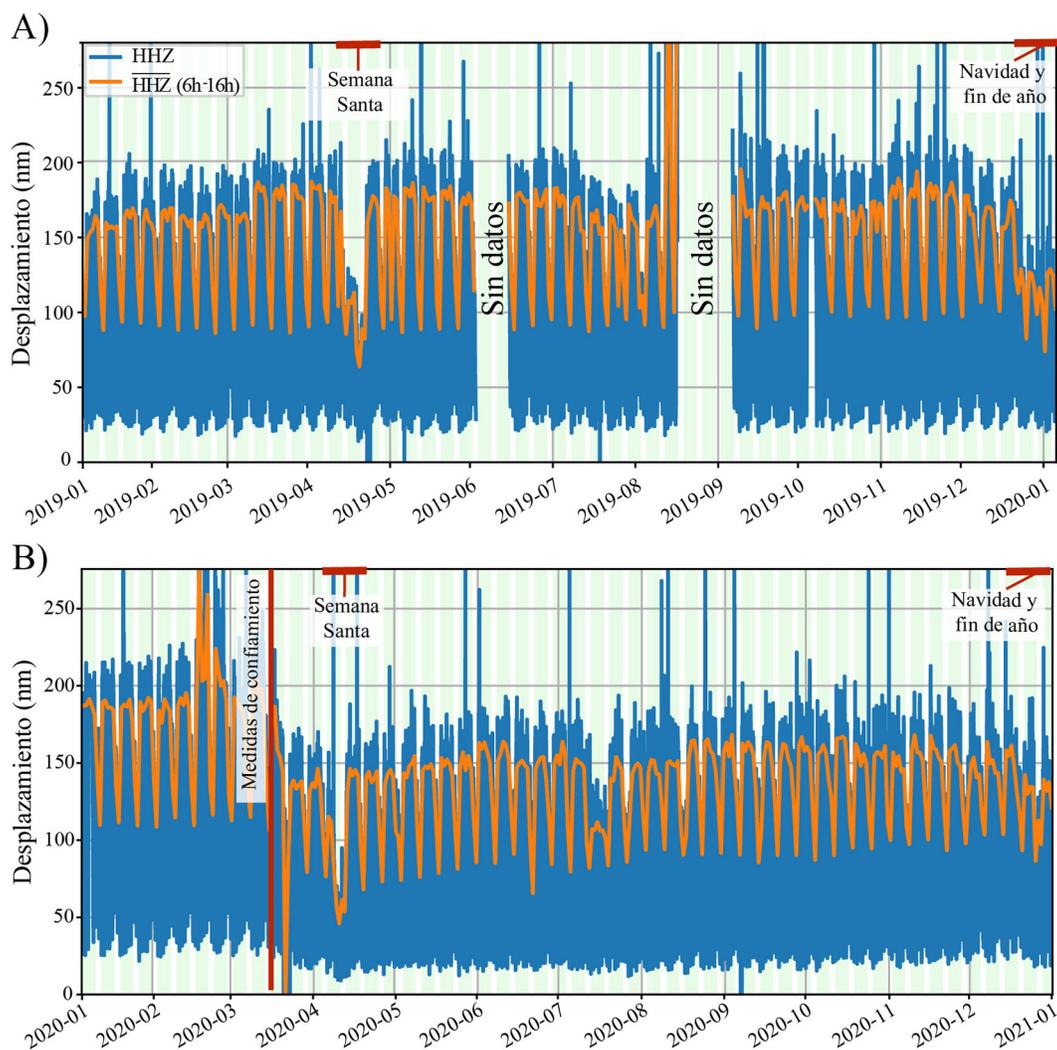


Fig. 11: Desplazamiento en nanómetros (línea celeste) medido en la estación San José (SJS1) durante A) Año 2019 y B) Año 2020. Se anotan los periodos específicos de receso laboral de Semana Santa y Navidad y con una línea roja el inicio de las medidas de confinamiento para la prevención del contagio del COVID-19. La línea anaranjada representa el promedio del desplazamiento registrado.

11:01 p.m., muchas personas se encontraban en reposo. A pesar de su cercanía a la zona más densamente poblada del país, la profundidad de 77 km favoreció que las intensidades fueran bajas y que este evento no provocara daños ni víctimas. Las intensidades más altas fueron de IV y V en la Gran Área Metropolitana y además fue sentido en el Pacífico Central, el Caribe y la Zona Norte con intensidades de II y III. Este sismo tuvo 999 respuestas en el módulo “¿Lo sentiste?”, especialmente de la parte central del país.

El 6 de marzo a las 8:40 p.m. ocurrió el sismo de Boruca (Mw 5,6; Fig. 10D), que tuvo intensidades máximas de V en la zona epicentral y de VI en Golfito. Este sismo también fue sentido en todo el territorio de Costa Rica, excepto en el norte de Guanacaste. En San José se sintió con intensidad de IV provocando intranquilidad en la población que ese día ya estaba consternada con el anuncio en horas de la mañana del primer caso confirmado de COVID-19 en el país. El sismo recibió además la mayor cantidad de reportes del año 2020 en el módulo “¿Lo sentiste?”, con 1016 respuestas.

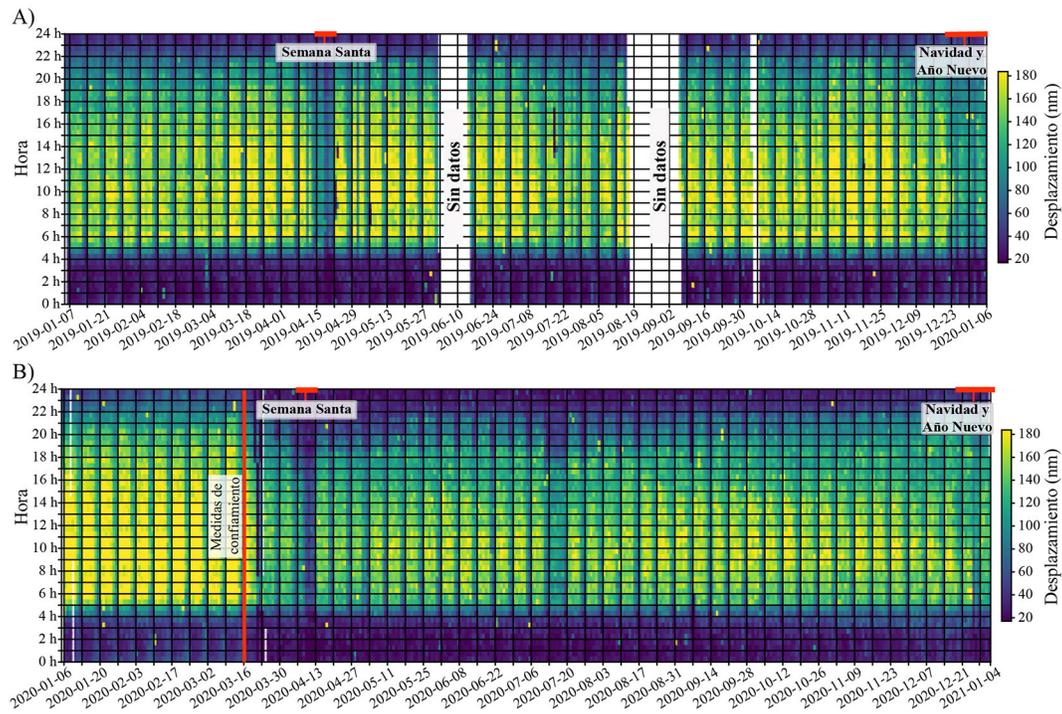


Fig. 12: Desplazamiento (en nanómetros) medido en la estación San José (SJS1) durante A) Año 2019 y B) Año 2020. Se anotan los periodos específicos de receso laboral de Semana Santa y Navidad y con una línea roja el inicio de las medidas de confinamiento para la prevención del contagio del COVID-19.

EFFECTOS DE LA PANDEMIA EN EL RUIDO SÍSMICO

Uno de los objetivos principales de la RSN es el estudio de los sismos, sin embargo, la instrumentación sismológica también permite detectar otros fenómenos. Los sismómetros son instrumentos muy sensibles que permiten medir las vibraciones del suelo, sean estas el resultado de un sismo natural o de otros factores, como el paso de un vehículo o cualquier otro disturbio que ocurra cerca de la estación sismológica. Al conjunto de registros que no corresponde con los sismos naturales se le denomina ruido sísmico y este es también el objeto de muchos estudios en la Sismología.

La enfermedad COVID-19, que ha golpeado a la humanidad desde el 2020, obligó a la mayoría de los países a adoptar medidas de distanciamiento social, las cuales se han reflejado en una disminución del ruido sísmico en las redes sismológicas a nivel mundial. Para mostrar el efecto de las medidas de distanciamiento social en Costa Rica, en este estudio se ha analizado el periodo que va desde el 1 de enero del 2019 hasta el 31 de diciembre del 2020 en la estación sismológica San José (SJS1), ubicada en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio en San Pedro de Montes de Oca.

Las figuras 11 y 12 expresan el nivel del desplazamiento del suelo medido en nanómetros (nm) a través del tiempo. En particular, la figura 11 muestra el desplazamiento en el eje vertical y el tiempo en el eje horizontal. La línea anaranjada representa el promedio del desplazamiento registrado, el cual usualmente tiene su máximo durante las horas del día, cuando hay más ruido sísmico, y su mínimo durante las noches, porque estas suelen ser quietas. Esto se representa como un vaivén diario (de arriba abajo) de la línea anaranjada con el tiempo. Además, el nivel de ruido es también menor durante los fines de semana, por lo que existe también un vaivén con un periodo semanal. En el gráfico, además, se ha marcado en el eje horizontal el periodo de las vacaciones de Semana Santa y Navidad para los años 2019 y 2020 y el inicio de las medidas de distanciamiento social del 16 de marzo del 2020. De esta forma, se puede apreciar y correlacionar claramente los periodos de tiempo en los cuales el nivel de ruido fue menor.

En la figura 12 se muestra en el eje vertical la hora del día, en el eje horizontal el periodo de tiempo analizado y con colores el nivel del desplazamiento, siendo el azul el nivel menor (< 40 nm) y el amarillo el nivel máximo (160-180 nm). Este gráfico permite ver claramente la quietud de la noche (colores azules, como zonas horizontales entre las 10 p.m. y 5 a.m.), la relativa quietud de los fines de semana (como barras azules verticales que se alternan periódicamente) y el ajetreo del día a día (en colores amarillos). Nuevamente, se etiquetan los periodos de vacaciones de la Semana Santa y Navidad y el inicio de las medidas de distanciamiento social el 16 de marzo del 2020.

En las figuras 11 y 12 se puede apreciar claramente el efecto de las medidas de distanciamiento social a partir del 16 de marzo del 2020, cuando se registra una caída notable del ruido sísmico (desplazamiento). Con los resultados obtenidos, se puede decir que las medidas de distanciamiento social inducen un nivel de ruido similar al que se observó en las vacaciones de fin de año del 2019 (~125 nm), ya que en esa época, la ciudad universitaria se encontraba vacía por las vacaciones. Se puede notar que el desplazamiento máximo durante un día laboral habitual del 2019 previo a la pandemia podía ser de hasta 200 nm y los fines de semana de hasta 130 nm, mientras que durante las medidas de distanciamiento social del año 2020 estos valores disminuyen a 140 y 80 nm, respectivamente. El efecto más drástico de la reacción de los habitantes ante el COVID-19 se observó durante la Semana Santa en abril del 2020, cuando el desplazamiento promedio tuvo niveles de solo 50 nm.

En el caso de la estación SJS1, hubo un ligero incremento en el nivel de ruido conforme transcurrió el año 2020; aun así, se puede ver claramente que los niveles de ruido sísmico del año 2020 no regresaron a los habituales del 2019 o de los meses iniciales del 2020 previo al inicio de la pandemia. Esto demuestra claramente que en la ciudad universitaria de la UCR las medidas de distanciamiento social pudieron notarse sísmicamente hasta el final del año 2020. Esta tendencia también se observa en otros sismómetros ubicados en otras zonas urbanas del país.

CONCLUSIONES

Los 3480 sismos locales registrados por la RSN durante el año 2020 equivalen a la energía liberada por un sismo de Mw 6,5 (~4,01 x10¹¹ kJ). De estos sismos, 232 fueron sentidos por la población, incluyendo 10 con Mw entre 5,5 y 6,0. Estas cantidades de sismos se encuentran dentro de los niveles de sismicidad registrados por la RSN durante el último quinquenio.

La mayoría de los sismos sentidos fueron superficiales (~85% < 30 km), de magnitud baja (~56% < 3,9) y fueron originados por fallas en las placas Caribe y Panamá (~60%). El sismo de mayor Mw del año fue de 6,0 y se originó cerca de Jacó en la zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa del Coco.

La cantidad más alta de sismos (100-350 eventos) se registró principalmente en seis zonas específicas. Cuatro de estas áreas se ubican en el margen Pacífico y presentaron al menos un sismo de Mw > 5,5. Las intensidades más altas observadas en el 2020 fueron de VI en las zonas epicentrales de los sismos de Jacó en agosto (Mw 6,0) y Boruca en marzo (Mw 5,6). La Gran Área Metropolitana experimentó la intensidad IV al menos en tres ocasiones durante el año.

En el año 2020 se registró claramente la disminución del ruido sísmico en las estaciones de la RSN debido a las medidas de distanciamiento social para enfrentar la pandemia del COVID-19. Los niveles de ruido del año 2020 permanecieron por debajo del año previo, incluso llegando a valores muy bajos de 50 nm.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es resultado de los proyectos de investigación y acción social 113-B5-704 “Vigilancia Sísmica de Costa Rica”, 113-A1-716 “Apoyo de asistentes a la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica”, ED-3003 “Difusión de temas sismológicos en Costa Rica” y del programa de investigación 113-B9-911 “Red Sísmológica Nacional”, inscritos en la UCR. Además, ha sido posible gracias a los recursos económicos y de personal brindados por la UCR y el ICE, y al financiamiento que la RSN recibe de la Ley Nacional de Emergencias N° 8488. Agradecemos al personal de la RSN (UCR-ICE) que permite mantener la red de estaciones y los sistemas de localización, especialmente a Luis Fernando Brenes y Jean Paul Calvo. Las siguientes personas colaboraron en la localización de sismos durante el 2020: la Geól. Magda Taylor y la Dra. María Cristina Araya y los asistentes de la RSN: Brandon Acosta, Carolina Fallas, Daniela Manzano, Roberto Masis y María Rodríguez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamek, S., Frohlich, C., y Pennington, W. D. (1988). Seismicity of the Caribbean-Nazca boundary: Constraints on microplate tectonics of the Panama region. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93(B3), 2053-2075.
- Arroyo, M., Linkimer, L., y Arroyo, I. (2020). Recuento de la sismicidad en Costa Rica durante el 2019. *Revista Geológica de América Central*, 62, 116-133. doi: 10.15517/rgac.v62i0.40639
- Atkinson, G., y Wald, D. (2007). "Did You Feel It?" intensity data: A surprisingly good measure of earthquake ground motion. *Seismological Research Letters*, 78(3), 362-368.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., y Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters*, 21(20), 2191-2194.
- Franco, A., Lasserre, D., Lyon-Caen, H., Kostoglodov, V., Molina, E., Guzman-Speziale, M. ... Manea, V. C. (2012). Fault kinematics in northern Central America and coupling along the subduction interface of the Cocos Plate, from GPS data in Chiapas (Mexico), Guatemala and El Salvador. *Geophysical Journal International*, 189(3), 1223-1236.
- Gempa (2019). *SeisComp 3 Real time data acquisition and processing*. Potsdam, Alemania: Gempa GmbH.
- Havskov, J., Voss, P. H., y., Ottemöller, L. (2020). Seismological Observatory Software: 30 Yr of SEISAN. *Seismological Research Letters*, 91(3), 1846-1852. doi: <https://doi.org/10.1785/0220190313>
- Husen, S., Kissling, E., y Quintero, R. (2002). Tomographic evidence for a subducted seamount beneath the Gulf of Nicoya, Costa Rica: the cause of the 1990 Mw = 7.0 Gulf of Nicoya earthquake. *Geophysical Research Letters*, 29(8), 1238. doi:10.1029/2001gl014045
- Lienert, B. R., y Havskov, J. (1995). A computer program for locating earthquakes both locally and globally. *Seismological Research Letters*, 66(5), 26-36.
- Linkimer, L., y Alvarado, G. E. (2014). Distribución espacio-temporal de la sismicidad sentida en Costa Rica (1976-2013) en el marco histórico del 30 aniversario (1982-2012) de la Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE). *Revista Geológica de América Central* (Número Especial 30 aniversario), 45-71. doi: 10.15517/rgac.v0i0.16569
- Linkimer, L., Arroyo, I. G., Alvarado, G., Arroyo, M., y Bakkar, H. (2018). The National Seismological Network of Costa Rica (RSN): An Overview and Recent Developments. *Seismological Research Letters*, 89(2A), 392-398. doi:10.1785/0220170166
- Linkimer, L., y Arroyo, I. (2020). Ciencia ciudadana y herramientas de comunicación en la Red Sismológica Nacional de la Universidad de Costa Rica. *Revista Comunicación*, 29(2), 2-21.
- Lücke, O., y Arroyo, I. G. (2015). Density Structure and Geometry of the Costa Rican Subduction Zone from 3-D Gravity Modeling and Local Earthquake Data. *Solid Earth*, 6, 1169-1183. doi: 10.5194/se-6-1169-2015.
- Marshall, J. S., Fisher, D. M., y Gardner, T. W. (2000). Central Costa Rica deformed belt: Kinematics of diffuse faulting across the western Panama block. *Tectonics*, 19(3), 468-492.
- Matumoto, T., Ohtake, M., Latham, G., y Umana, J. (1977). Crustal structure in Southern Central America. *Bulletin of Seismological Society of America*, 67, 121-133.

Montero, W. (1989). Sismicidad histórica de Costa Rica 1638–1910. *Geofísica Internacional*, 28, 531-559.

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.

Morell, K. D., Fisher, D. M., Gardner, T.W., LaFemina, P. C., Davidson, D., y Teletzke, A. (2011). Quaternary outer fore-arc deformation and uplift inboard of the Panama Triple Junction, Burica Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 116, B05402, doi:10.1029/2010JB007979

Peraldo, G., y Montero, W. (1994). *Temblores del periodo colonial de Costa Rica* (1a ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica.

Porras, J. L., Linkimer, L., Araya, C., Arroyo, M., Taylor, M., y Rojas, W. (2017). Sismicidad registrada por la RSN en el 2016. *Revista Geológica de América Central*, 56, 117-128, 2017. doi: 10.15517/rgac.v0i56.29239

Porras, J. L., Linkimer, L., Arroyo, I., Arroyo, M., y Taylor, M. (2018). Actividad sísmica percibida en Costa Rica durante el 2017. *Revista Geológica de América Central*, 58, 203-204. doi: 10.15517/rgac.v58i0.32852

Porras, J. L., Linkimer, L., Arroyo, I., Arroyo, M., Taylor, M., y Fallas, C. (2019). La sismicidad del 2018 en Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 60, 133-144. doi: 10.15517/rgac.v2019i60.36468

Stein, S., y Wysession, M. (2003). *An introduction to Seismology, earthquakes, and earth structure*. Malden, Estados Unidos: Blackwell Publishing.

Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., Kanamori, H., Scrivner, C. W., y Worden, C. B. (1999). TriNet “ShakeMaps”: Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California. *Earthquake Spectra*, 15(3), 537-555.

Wald, D. J., Wald, L., Worden, B., y Goltz, J. (2003). *ShakeMap, a tool for earthquake response*. U.S. Geological Survey Fact Sheet 087-03. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/fs/fs-087-03/>

Wald, D. J., Quitoriano, V., Worden, C. B., Hopper, M., y Dewey, J. W. (2011). USGS “Did You Feel It?” Internet-based Macroseismic Intensity Maps. *Annals of Geophysics*, 54(6), 688-707. doi: 10.4401/ag-5354

Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., y Fukushima, Y. (2006). Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96 (3), 898-913.