

# Sismicidad localizada por la Red Sismológica Nacional durante el 2022

Seismicity located by the National Seismological Network during 2022

Lepolt Linkimer\*, Carolina Fallas e Ivonne G. Arroyo

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

\*Autor para contacto: [lepolt.linkimer@ucr.ac.cr](mailto:lepolt.linkimer@ucr.ac.cr)

(Recibido: 13/12/2022; aceptado: 12/01/2023)

**RESUMEN:** Durante el año 2022, la Red Sismológica Nacional (RSN) localizó 4763 sismos locales, lo cual equivale a la energía sísmica liberada por un terremoto de magnitud momento ( $M_w$ ) 7.0. Los epicentros se concentraron principalmente en nueve zonas con 25-400 temblores. Se documentaron 184 sismos (~4 % del total) sentidos por la población, incluyendo 19 con  $M_w$  entre 5,0 y 6,7. La mayoría de estos eventos fueron superficiales (~87 % < 30 km), de magnitud baja (~52 %  $M_w$  < 3,9) y fueron originados en fallas de las placas Caribe y Panamá (~52 %). El sismo de mayor tamaño del año, de  $M_w$  6,7, se originó por la subducción de la placa Nazca y generó la intensidad más alta reportada, de V en Burica. Todos los sismos de  $M_w \geq 5,5$  tuvieron sus epicentros mar adentro y alejados de centros poblados, por lo que no se reportaron intensidades altas.

**Palabras clave:** sismicidad de Costa Rica; estadística sísmica; energía sísmica; intensidad sísmica; subducción.

**ABSTRACT:** During 2022, the National Seismological Network (RSN) located 4763 local earthquakes, which is equivalent to the seismic energy released by an earthquake of moment magnitude ( $M_w$ ) 7.0. The epicenters were mainly concentrated in nine areas with 25-400 events. A total of 184 earthquakes (~4 % of the total) were felt by the population, including 19 with  $M_w$  between 5.0 and 6.7. Most of these events were shallow (~87 % < 30 km), of low magnitude (~52 %  $M_w$  < 3.9), and originated by faults in the Caribbean and Panama plates (~52 %). The largest earthquake of the year,  $M_w$  6.7, was related to the subduction of the Nazca plate and generated the highest reported intensity of V in Burica. High intensities were not reported because all of the  $M_w \geq 5.5$  earthquakes were located offshore and far from populated centers.

**Keywords:** seismicity of Costa Rica; earthquake statistics; seismic energy; seismic intensity; subduction.



## Introducción

Desde 1976, la Red Sismológica Nacional (RSN) de la Universidad de Costa Rica (UCR) realiza una publicación anual recapitulando la sismicidad de cada año. La RSN es un programa de investigación en la UCR cuya base se remonta a la década de 1970, cuando inició una colaboración entre la UCR y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Desde entonces, se mantiene el registro continuo de la sismicidad en Costa Rica usando una red de instrumentos con estaciones sismológicas pertenecientes a ambas instituciones (Fig. 1; e. g., Linkimer, Arroyo, Alvarado, Arroyo y Bakkar, 2018).

Costa Rica se encuentra ubicada en una región particularmente compleja debido a la interacción en su territorio de cinco bloques tectónicos: las placas Coco, Caribe y Nazca, la microplaca Panamá y el Bloque Antearco Centroamericano (Fig. 1). La sismicidad es frecuente a lo largo de los límites entre los bloques mencionados, pero especialmente alta en el margen Pacífico, en donde ocurre la subducción de la placa Coco debajo de Costa Rica a partir de la fosa Mesoamericana y más al sureste, la subducción de la placa Nazca debajo de Panamá, en el denominado Cinturón Deformado del Sur de Panamá (CDSP, Fig. 1; e. g. Kolarsky y Mann, 1995; Westbrook, Hardt y Heath, 1995). La sismicidad también es alta en el límite entre las placas Coco y Nazca, constituido por fallas transformantes de tipo dextral agrupadas en al menos tres zonas llamadas: Zona de Fractura de Panamá (ZFP), Zona de Fractura de Balboa (ZFB) y Zona de Fractura de Coiba (ZFC; e. g. Kolarsky y Mann, 1995; Adamek, Frohlich y Pennington, 1988). La intersección entre la ZFP y la fosa Mesoamericana define el punto triple de Panamá (PTP), en donde se conectan las placas Coco y Nazca y la microplaca Panamá (Fig. 1).

Además de lo anterior, ocurren sismos en los límites de la microplaca Panamá con la placa Caribe, a lo largo del 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 et al. 1988), este último interpretado recientemente como una subducción incipiente de la placa Caribe debajo de la microplaca Panamá (Arroyo y Linkimer, 2021b). Finalmente, existe sismicidad a lo largo de las fallas del arco volcánico de Guanacaste debido al movimiento del Bloque Antearco Centroamericano hacia el noroeste (Franco et al., 2012).

Afortunadamente, durante el año 2022 ninguno de los sismos con magnitud alta se ubicó cerca de las zonas altamente pobladas, por lo que no hubo consecuencias, como daños en edificaciones ni víctimas. Esta particularidad también ocurrió en los dos años previos, siendo favorable para el país que desde el inicio de la pandemia del coronavirus SARS-CoV-2 en marzo del 2020, ningún sismo ha sido destructivo y el país ha podido concentrar esfuerzos en mitigar los estragos de la pandemia y no en atender las consecuencias de los terremotos.

La historia de Costa Rica contiene el registro de al menos 69 sismos destructivos (e.g., Linkimer y Alvarado, 2014; Montero, 1989; Peraldo y Montero, 1994). Al ser el territorio costarricense tan propenso a los terremotos, es indispensable contar con datos actualizados de la sismicidad con el fin de mantener renovados los cálculos de la amenaza y el riesgo sísmico al que se encuentra expuesta la población. Con ese norte, en esta publicación se presenta un recuento anual de la sismicidad capturada por la RSN a partir de su descripción geográfica y temporal, así como por magnitud, profundidad y origen. Adicionalmente, se aportan los mapas de intensidades de los sismos más relevantes del 2022 y el cálculo de la energía liberada por la totalidad de los sismos.

## Metodología

El procedimiento para la localización y análisis de los sismos presentados en esta publicación consta de cuatro pasos principales. El primero es la detección y asociación entre estaciones para obtener una localización automática inicial de cada sismo, lo cual se realiza con los programas incluidos en el paquete SeisComP4 (Gempa, 2019). Los sismos son detectados por una red de estaciones sismológicas que durante el año 2022 estuvo constituida por 260 sitios (Fig. 1). Del total de estas estaciones, 129 pertenecen a la UCR, 51 al ICE y 80 a otras entidades que comparten sus estaciones directamente o a través del consorcio IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*), como por ejemplo el Ovsicori de la Universidad Nacional (14), la red de Chiriquí (12), la Universidad de Panamá (2) y el Ineter de Nicaragua (15). La red instrumental conjunta usada para la detección de los sismos presentados en este trabajo incluye 72 estaciones de banda ancha, 179 de periodo corto y 9 acelerógrafos.

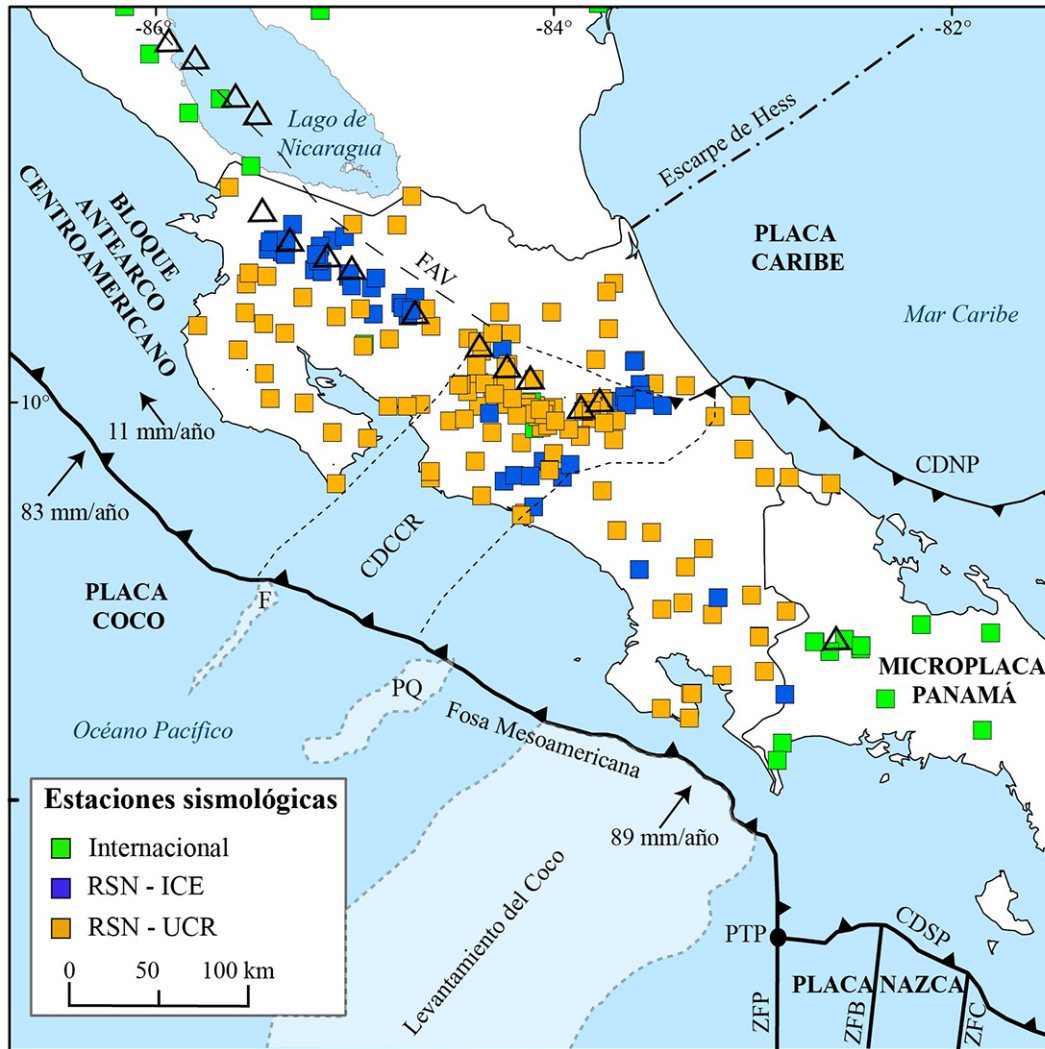


Fig. 1: Rasgos tectónicos de Costa Rica y estaciones de la Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE). Los volcanes del Holoceno se representan como triángulos. La región contenida dentro de la línea punteada representa el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR). La línea discontinua representa el límite noreste simplificado del Bloque Antearco Centroamericano a lo largo de las Fallas del Arco Volcánico (FAV). Vectores de velocidad provienen de DeMets, Gordon, Argus y Stein (1994). Los elementos tectónicos señalados con abreviaturas son: el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP), el Cinturón Deformado del Sur de Panamá (CDSP), el monte submarino Fisher (F), el plateau de Quepos (PQ), el punto triple de Panamá (PTP), la Zona de Fractura de Panamá (ZFP), la Zona de Fractura de Balboa (ZFB) y la Zona de Fractura de Coiba (ZFC).

Todo el procesamiento de datos del primer paso se realiza en el centro de registro de la RSN, ubicado en la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR. Una vez que se producen las localizaciones iniciales, estas son publicadas automáticamente durante los primeros dos o tres minutos después del tiempo de origen en las plataformas de las redes sociales Facebook y Twitter (Linkimer y Arroyo, 2020).

El segundo paso consiste de la revisión de la localización inicial por analistas entrenados en Sismología, quienes interpretan el arribo de las ondas P y S, localizan el sismo y realizan el cálculo de la magnitud momento ( $M_w$ ). Para esto se usan los programas Mulplt y Hyp (Lienert y Havskov, 1995) integrados en el software sismológico Seisan (Havskov, Voss y

Ottmøller, 2020). Durante la determinación de las fases sísmicas se aplica un esquema de pesos dependiendo de la claridad de las mismas y para la localización de los sismos se utilizan un modelo unidimensional de la velocidad de la onda P basado en Matumoto, Ohtake, Latham y Umaña (1977) y una razón de velocidades ( $V_p/V_s$ ) de 1,75.

Una vez obtenida la localización revisada y dependiendo de la relevancia del evento, se realiza un reporte adicional en las mismas plataformas mencionadas en el paso anterior entre 5 y 20 minutos después del tiempo de origen, con el objetivo de confirmar y corregir, si fuera necesario, los datos publicados inicialmente. La publicación de cada sismo revisado se realiza además en la página web de la RSN y en la aplicación móvil “RSN” (e.g., Linkimer y Arroyo, 2020). Los sismos del año 2022 analizados en este trabajo son justamente las localizaciones revisadas (Fig. 2).

El siguiente paso es la determinación del origen de los sismos más relevantes por su magnitud o ubicación. Para esto se calcula el mecanismo focal a partir de la polaridad del primer arribo de la onda P usando el programa Focmec (Snoke, Munsey, Teague y Bollinger, 1984). Considerando la ubicación epicentral, la profundidad del hipocentro, la solución de los planos nodales del mecanismo focal y la ubicación de los límites de placas, de las fallas corticales (e.g. Denyer, Montero y Alvarado, 2003), de la zona sismogénica interplacas del margen Pacífico (e.g. DeShon et al., 2006; Arroyo, Husen y Flueh, 2014; Arroyo y Linkimer, 2021a) y del techo de la placa Coco bajo Costa Rica (e.g., Lücke y Arroyo, 2015), entre otros aspectos, se correlaciona el origen de cada sismo con alguna de las siguientes fuentes sismogénicas: fallamiento en la placa Coco al suroeste de la fosa Mesoamericana, fallamiento en las placas cabalgantes (Caribe y Panamá), zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa Coco a nivel superficial ( $< 40$  km), zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa Nazca a nivel superficial ( $< 40$  km), fallamiento en la placa Coco subducida a profundidades mayores a 40 km (o Zona de Wadati-Benioff, ZWB) y Zona de Fractura de Panamá-Balboa (ZFP).

El paso final es el cálculo de la intensidad en la escala Mercalli Modificada (IMM), ejecutado rutinariamente por usuarios y colaboradores a partir de un cuestionario en línea de 12 preguntas que es parte de una herramienta diseñada por la RSN llamada “¿Lo sentiste?” (Linkimer y Arroyo, 2020), y que está basada en una similar del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Atkinson y Wald, 2007; Wald, Quitoriano, Worden, Hopper y Dewey, 2011). En forma simultánea, se determinan intensidades a partir de los registros instrumentales de las estaciones sismológicas usando el software ShakeMap (Wald, Wald, Worden y Goltz, 2003). De esta forma, se recopilaban los valores de intensidad en distintas zonas del país que permitieron la construcción de los mapas de isosistas contenidos en este trabajo.

## Recuento de la sismicidad del 2022

La RSN localizó 4816 eventos sísmicos durante el 2022, cantidad que incluye los sismos situados en el territorio de Costa Rica (sismos locales), algunos ubicados en América Central (regionales) y otros a más de 10 grados de distancia (telesismos). Del total de sismos localizados, 4763 corresponden con sismos locales (Fig. 2) y, de estos, 184 (~4 %) fueron documentados como sentidos por la población dentro del territorio costarricense.

La cantidad anual de sismos localizados por la RSN desde el 2012 ha variado entre 2547 (año 2013) y 6989 (2015), con un promedio de 4323 para la última década. Por su parte, la cantidad de sismos sentidos ha variado entre 168 (2015) y 285 (2018) para un promedio de 227 desde el año 2012. Estos números indican que, comparativamente, el año 2022 se puede caracterizar como uno de sismicidad habitual para Costa Rica.

## Distribución geográfica

La descripción de la distribución geográfica se efectúa en este trabajo a partir de los mapas epicentrales (Fig. 2), de la cantidad de sismos por área (Fig. 3) y de la cantidad de sismos por franjas del margen Pacífico (Fig. 4). El mapa de epicentros muestra que la sismicidad del 2022 se presentó en casi la totalidad del territorio, con excepción de la zona noreste que limita con Nicaragua y porciones de la cordillera de Talamanca cerca de la frontera con Panamá (Fig. 2).

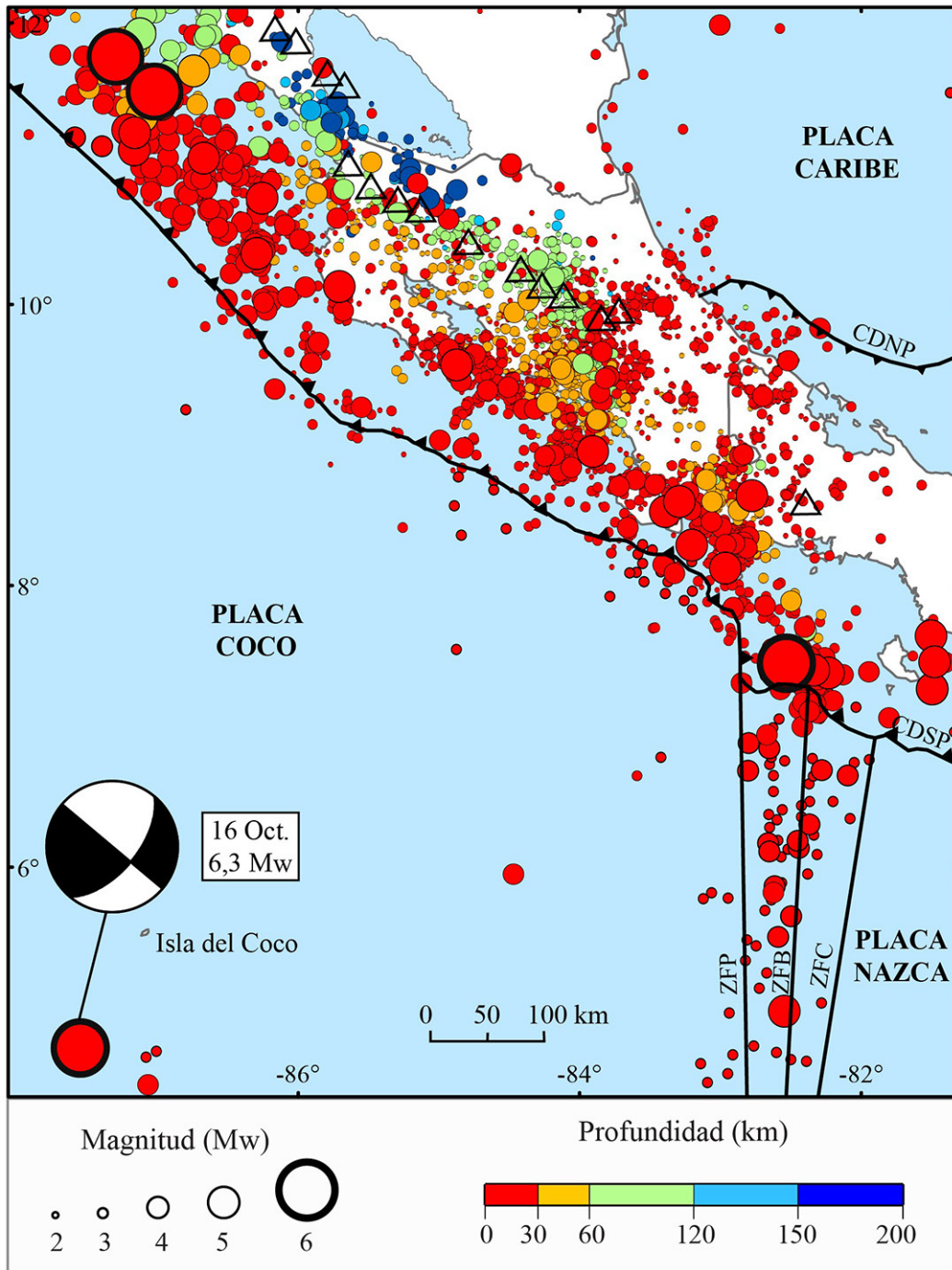


Fig. 2: Mapa de epicentros (círculos) de los sismos localizados por la RSN durante el año 2022. El tamaño de los círculos es relativo a la magnitud momento (Mw) y su color a la profundidad del hipocentro. Por ser un mapa más regional, se muestra en esta figura el mecanismo focal del sismo del 16 de octubre del 2022 (Mw 6,3) al suroeste de la isla del Coco mencionado en el texto y no incluido en la Fig. 6. Las abreviaturas son las mismas explicadas en la Fig. 1.

Los sismos con hipocentros más superficiales (< 30 km, Fig. 2, color rojo) se presentaron en todas las regiones del país, pero especialmente en el margen Pacífico y en la ZFP y la ZFB. Por su parte, los sismos con hipocentros más profundos (> 30 km) se observaron como franjas de rumbo noroeste-sureste paralelas a la fosa Mesoamericana, de la siguiente manera: los sismos con profundidades de entre 30 y 60 km (Fig. 2, color naranja) se originaron al noreste de la costa Pacífica desde Nicaragua hasta Panamá; los sismos con profundidades de entre 60 y 120 km (Fig. 2, color verde claro) ocurrieron desde Nicaragua hasta la región Central del país, coincidiendo con el arco volcánico, y algunos pocos en la zona sur. Los eventos con hipocentros a profundidades de entre 120 y 150 km (Fig. 2, color celeste) ocurrieron al noreste del arco volcánico activo, mientras que los de entre 150 km y 200 km (Fig. 2, color azul) se concentran únicamente en una franja al noreste de los volcanes de Guanacaste, cerca del límite político con Nicaragua.

Durante el año 2022 hubo nueve sectores que geográficamente presentaron una cantidad de sismos mayor a la de las zonas aledañas. Estas zonas son las siguientes (Fig. 3): mar adentro del noroeste de la península de Nicoya (Fig. 3, número 1), sureste de la península de Nicoya (número 2), noroeste de la península de Osa (número 3), península de Burica (número 4), mar adentro al sureste de la península de Burica (número 5), centro del arco volcánico de Guanacaste (número 6), sureste de San José (número 7), Caribe limítrofe entre Costa Rica y Panamá (número 8) y norte de Costa Rica limítrofe con Nicaragua (número 9). En las zonas numeradas del 1 al 8 se presentaron entre 50 y 400 sismos y en la zona 9 entre 25 y 50. Esta última zona se destaca en este trabajo dado que la sismicidad en este sector suele ser muy baja.

Las cinco zonas de alta sismicidad a lo largo del margen Pacífico (números del 1 al 5) presentaron uno o varios sismos relevantes de  $M_w \geq 5,0$  (Fig. 5) y sus respectivas secuencias de réplicas. Por otro lado, las cuatro zonas en el interior del territorio continental (números del 6 al 9) presentaron alta sismicidad pero caracterizada por sismos de magnitudes bajas ( $M_w \leq 4,7$ ). Los sectores con la mayor cantidad de sismos fueron las zonas 2 y 7 con hasta 400 eventos, siendo la zona 7 la que posee las mayores dimensiones de alrededor de 25 km de diámetro (Fig. 3). Por su parte, las regiones con menor sismicidad fueron la zona norte de Costa Rica limítrofe con Nicaragua y la cordillera de Talamanca, en donde se presentaron únicamente entre 1 y 5 eventos (Fig. 2 y 3).

Una inspección de la sismicidad en franjas perpendiculares a la fosa Mesoamericana (Fig. 4), permite observar la alta actividad sísmica del sector Central de Costa Rica, tanto en el margen Pacífico como en el continente (Fig. 4, zona C). La cantidad de sismos en esta franja es considerablemente mayor a la del resto del país, con un total de 2319 eventos localizados, que incluyen dos eventos relevantes (Fig. 5) de  $M_w 5,1$  (13 de enero) y  $5,6$  (3 de septiembre) en la costa Pacífica y sismicidad de baja magnitud en el interior del territorio continental, especialmente al sur de San José. En contraste, la cantidad de sismos en el resto de zonas es mucho más baja, entre 240 (zona E) y 911 (zona D) eventos. La franja que incluye la península de Osa (Fig. 4, zona D), que tuvo 911 sismos, es interesante pues la sismicidad es muy baja en la bahía de Coronado y en la cordillera de Talamanca, pero es alta en el golfo Dulce y la península de Burica.

Aunque la franja que incluye el oeste de Panamá (Fig. 5, zona E) fue la que registró la menor cantidad de sismos (240 sismos), en esta zona tuvo lugar la intensa actividad del mes de octubre, cuyo sismo más relevante ocurrió el día 20 de ese mes ( $M_w 6,7$ ; Fig. 5) y además la sismicidad al norte de las zonas de fractura de Panamá y Balboa (Fig. 2). Las franjas A y B al noroeste de Costa Rica sumaron 394 y 499 eventos, respectivamente, incluyendo el evento de  $M_w 5,4$  del 19 de julio (Fig. 5).

En general, la distribución de la sismicidad del 2022 fue muy similar a la del año anterior (Linkimer, Fallas y Arroyo, 2022) cuando también destacó la cantidad de sismos en las zonas rotuladas con los números del 1 al 4 y del 6 al 8. Existe un patrón en la distribución geográfica de la sismicidad que ha sido observado con claridad en los mapas publicados desde el 2016 (Arroyo, Linkimer y Arroyo, 2020; Linkimer, Arroyo y Arroyo, 2021; Linkimer, Fallas y Arroyo, 2022; Porras, Linkimer, Araya, Arroyo, Taylor y Rojas, 2017; Porras, Linkimer, Arroyo, Arroyo y Taylor, 2018; Porras, Linkimer, Arroyo, Arroyo, Taylor y Fallas, 2019) que consiste en un cambio abrupto en la cantidad de sismos a lo largo de un sector con rumbo noreste-suroeste, desde la trinchera hasta el centro de Costa Rica (figuras 3 y 4, línea punteada). Este claro límite en la sismicidad es enigmático puesto que ocurre tanto en sismos de la zona interplaca, como en los sismos de la placa superior y dentro de la placa subducida y aún no ha sido explicado en la literatura. Otros patrones llamativos de la sismicidad observados en los mapas publicados en los últimos seis años son una zona de muy baja sismicidad en el interior de la cordillera de Talamanca justamente limitado al noroeste por el cambio abrupto de sismicidad descrito anteriormente (Fig. 3, zona rodeada de sectores de mayor sismicidad con números con 3, 4, 7 y 8) y un grupo de sismos al noreste de Parímina, en la placa Caribe, que siempre está presente en los mapas anuales de epicentros.

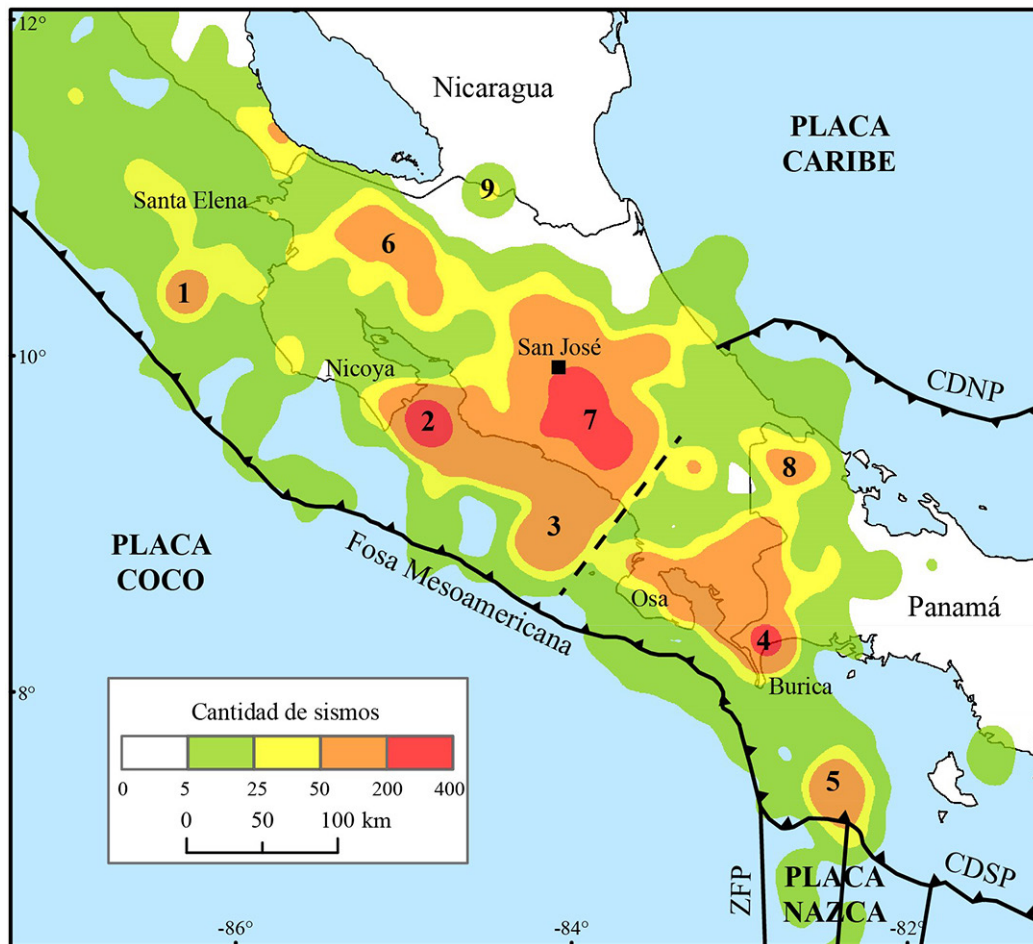


Fig. 3: Cantidad de sismos localizados por la RSN durante el año 2022 en zonas de 10 x10 km. Las zonas con la mayor cantidad de sismos se indican con los números del 1 al 9. Los elementos tectónicos son los mismos señalados en la Fig. 1. La línea discontinua representa el límite abrupto en la sismicidad mencionado en el texto. Las penínsulas del margen Pacífico están rotuladas. El cuadro negro representa la ciudad de San José.

## Distribución por origen

Para el año 2022, el origen de los sismos sentidos se divide de la siguiente manera (Fig. 5, 6 y 7D): 95 eventos (~52 % del total) fueron ocasionados por fallas superficiales en las placas Caribe y Panamá, 70 (~38 %) ocurrieron en la zona sismogénica interplacas de la subducción de las placas Coco y Nazca lo largo del margen Pacífico del país y 17 (~9 %) ocurrieron en la ZWB, debido a la deformación interna de la placa Coco al subducirse debajo de las placas Caribe y Panamá a profundidades mayores de 40 km. Adicionalmente, ocurrió un sismo asociado con el límite entre las placas Nazca y Coco en la ZFP y un sismo originado en el fallamiento superficial en la placa Coco al suroeste de la fosa Mesoamericana, cerca de la isla del Coco (Fig. 2).

La mayoría de los eventos sentidos de mayor tamaño ( $M_w \geq 5,1$ ) ocurrieron en la zona sismogénica interplacas de la subducción de la placas Coco y Nazca (Fig. 5). Por otro lado, todos los sismos sentidos originados en las fallas superficiales en las placas Caribe y Panamá tuvieron  $M_w$  más bajas, entre 1,9 y 5,0 (Fig. 5).

Siete de los sismos significativos del año, con  $M_w$  5,1-6,7, fueron originados en la zona sismogénica interplacas del margen Pacífico (Fig. 6 y 7 en color rojo y Cuadro 1). Estos sismos presentan mecanismos focales de falla inversa, con un

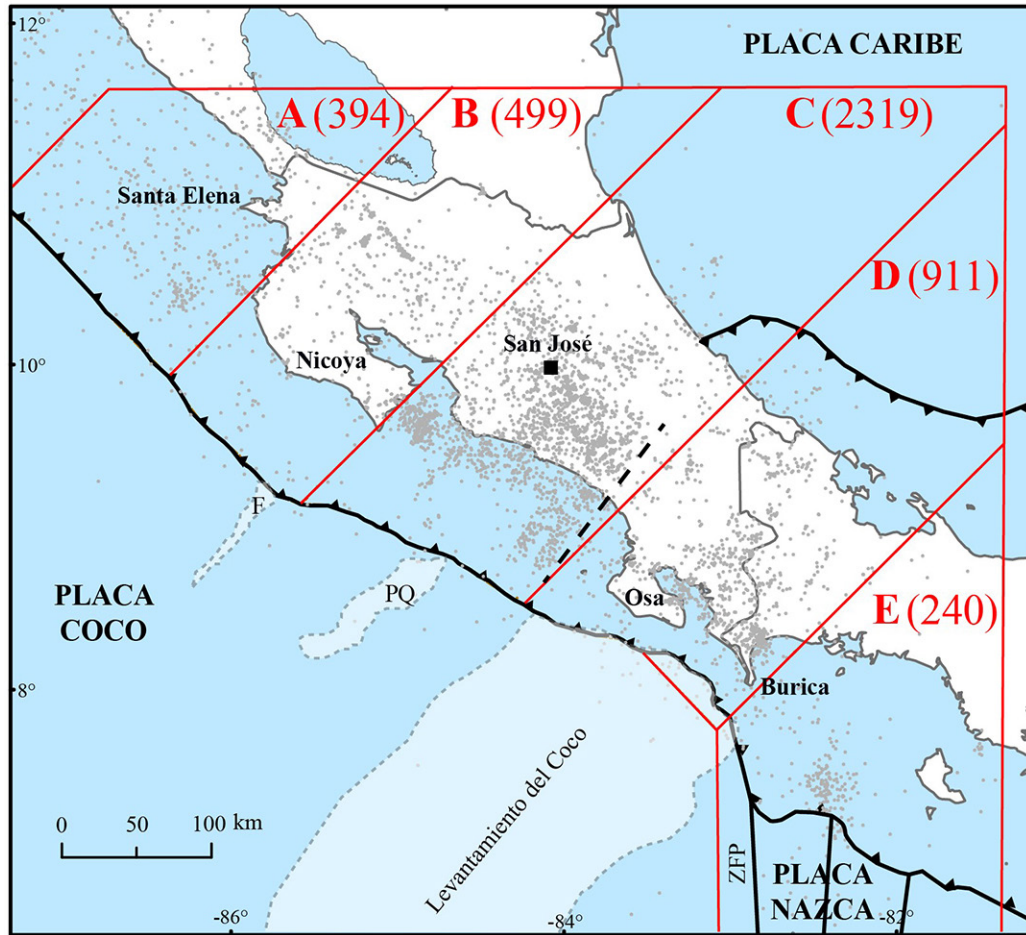


Fig. 4: Cantidad de sismos localizados durante el 2022 a lo largo del margen convergente costarricense, separados en franjas rotuladas con las letras de la A a la E. Los números entre paréntesis significan la cantidad de sismos en cada zona. Los elementos tectónicos son los mismos señalados en la Fig. 1. La línea discontinua representa el límite abrupto en la sismicidad mencionado en el texto. Las penínsulas del margen Pacífico están rotuladas. El cuadro negro representa la ciudad de San José.

plano nodal inclinado hacia el noreste con un bajo ángulo (17-35°), el cual coincide con la zona de contacto entre las placas que causó esta sismicidad (Cuadro 1, valores resaltados en negrita). En particular, el sismo de mayor tamaño del año (Mw 6,7 del 20 de octubre), fue originado en la subducción de la placa Nazca bajo la microplaca Panamá.

Hubo un sismo significativo de Mw 5,5 (13 de septiembre) que se originó en la ZFB (Fig. 5 y 6 en color naranja y Cuadro 1), cerca de la intersección de esta con la trinchera. El mecanismo focal de este evento es de una falla de desplazamiento de rumbo dextral, con un plano nodal casi vertical y orientado casi norte-sur, coherente con la ZFB en esa zona (Fig. 6; Cuadro 1).

Por otro lado, el sismo de Mw 6,3 del 16 de octubre ubicado a ~100 km suroeste de la isla del Coco (ó a ~610 km de Cóbano, el punto más cercano en territorio continental) se originó en una falla dentro de la placa Coco. El mecanismo focal de este evento es de desplazamiento de rumbo, sin embargo, para este caso no fue posible determinar el plano nodal responsable del evento sísmico debido a la falta de información de estructuras reconocidas en el piso marino en esa zona. Solamente se conoce de otro sismo de magnitud similar (Mb 5,6; Ms 5,7), ubicado a unos 200 km al noreste de la isla del Coco y ocurrido el 12 de agosto de 1972 (13:15 UTC), también con un mecanismo focal de falla de desplazamiento de rumbo (Adamek et al., 1988). Sin embargo, su localización y magnitud no han sido calculadas con precisión y su cercanía a la isla del Coco podría



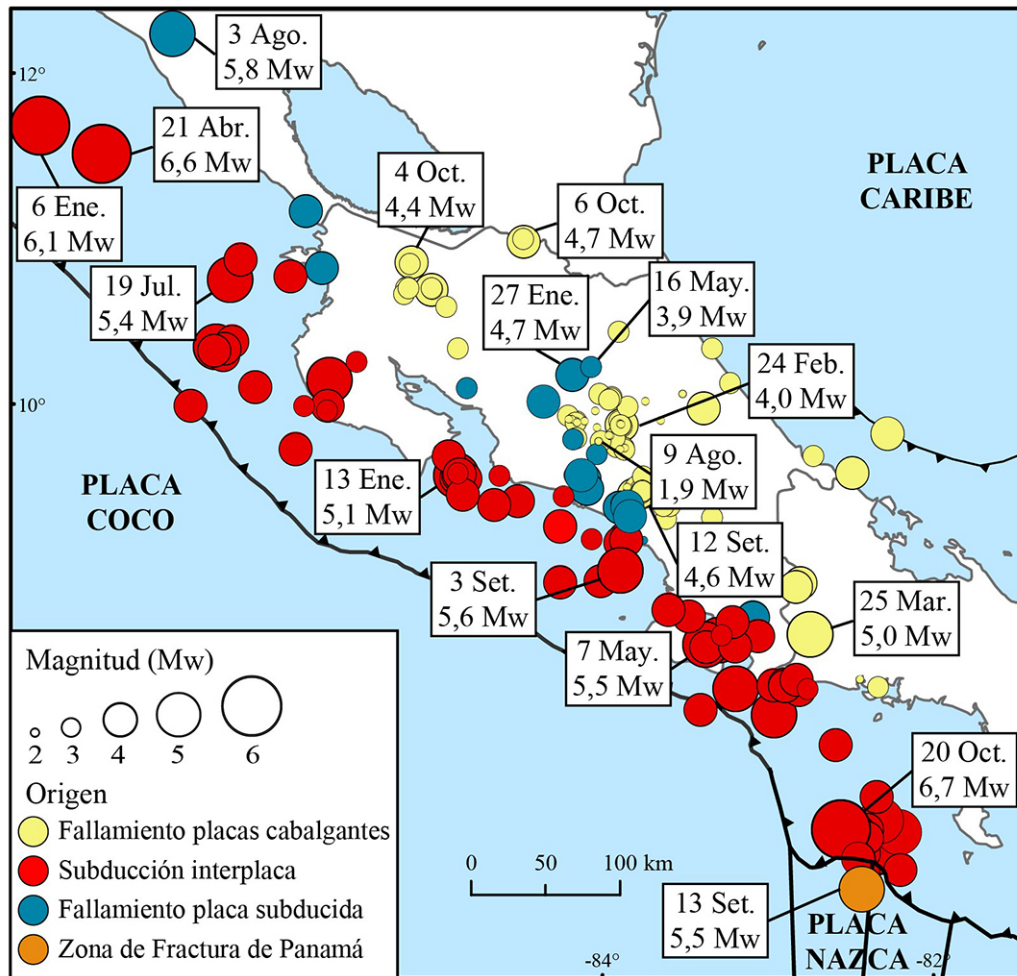


Fig. 5: Sismos sentidos en Costa Rica durante el 2022 clasificados de acuerdo con su origen. Los eventos mencionados en el texto se indican con su Mw. El origen de los sismos se clasifica mediante el color de los círculos: amarillo se refiere a las fallas superficiales en las placas Caribe y Panamá, rojo se refiere a la zona sísmogénica de la subducción de las placas Coco y Nazca a lo largo del margen Pacífico, azul es la Zona de Wadati-Benioff (fallamiento debido a la deformación interna de la placa Coco subducida a profundidades > 40 km) y naranja corresponde con las zonas de fractura de Panamá y Balboa.

ser menor o su tamaño podría ser mayor, en vista de los efectos que ocasionó en la isla en donde se presentaron deslizamientos de rocas, árboles caídos y licuefacción (Rojas y Alvarado, 2012).

Cinco sismos relevantes con Mw 4,0-5,0 ocurrieron dentro del territorio continental costarricense con profundidades de 3-31 km y cuyo origen está asociado con fallas dentro de las placas cabalgantes Caribe y Panamá (Fig. 6 en color amarillo y Cuadro 1). Todos estos sismos poseen un mecanismo focal de falla de desplazamiento de rumbo. Debido a que en todos los casos existen fallas cercanas a los epicentros con rumbos similares a los planos nodales, la determinación del plano causante de la sismicidad requiere de un estudio más profundo, fuera de los propósitos de este trabajo. Se sugiere que en el caso del sismo de Mw 5,0 del 25 de marzo, el plano nodal de rumbo cercano al norte-sur podría corresponder mejor con la tectónica local de esa zona limítrofe entre Costa Rica y Panamá (Fig. 6; Cuadro 1). Cabe destacar el sismo de Mw 4,7 del 6 de octubre en el límite político entre Costa Rica y Nicaragua, ya que la sismicidad en esa zona es inusual. El mecanismo focal de ese evento sugiere que la falla causante es de desplazamiento de rumbo puro (Fig. 6; Cuadro 1).

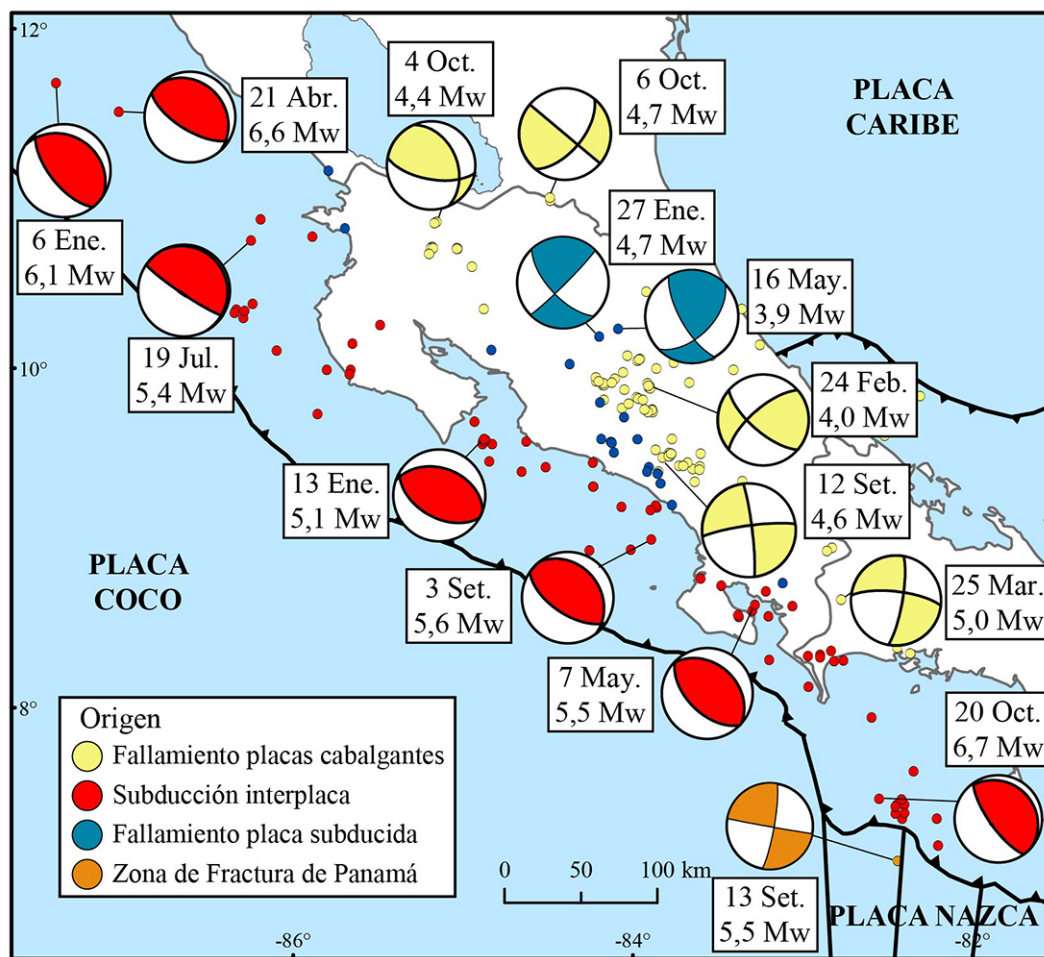


Fig. 6: Origen de los sismos sentidos del 2022. Se muestran los mecanismos focales y la fecha de algunos de los sismos significativos mencionados en el texto (Cuadro 1). El color de los círculos (epicentros) y de los mecanismos focales indica el origen señalado en la simbología y explicado en la Fig. 5.

Finalmente, dos sismos profundos (83-93 km) de Mw 3,9 y 4,7 (Fig. 5 y 6) y originados en la ZWB de la placa del Coco fueron relevantes por haber sido percibidos en el área central del país. Los mecanismos focales de estos eventos es de fallas de desplazamiento de rumbo (Fig. 6 en color azul y Cuadro 1).

## Distribución temporal

El mes con la mayor cantidad de sismos localizados fue octubre, con 626 (Fig. 8A). Por otro lado, el mes con la menor cantidad de sismos fue febrero con solo 267. El promedio mensual de sismos localizados fue de 397.

Con respecto de la sismicidad sentida, octubre fue también el mes con más eventos, con un total de 29, seguido por mayo con 27 (Fig. 7A). Por otro lado, los meses de septiembre y noviembre tuvieron únicamente nueve sismos reportados como sentidos (Fig. 7A). Los meses restantes tuvieron entre 11 y 19 sismos percibidos. El promedio mensual para el año 2022 fue de 15.

Cuadro 1

Soluciones de los mecanismos focales para sismos significativos del 2022 (Fig. 1 y 6), determinados por la RSN o por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). El origen de los eventos está abreviado de la siguiente manera: INTER para la subducción en el margen Pacífico, F. CA-PA para las fallas de las placas cabalgantes Caribe y Panamá, F. CO para el fallamiento superficial de la placa Coco al suroeste de la fosa Mesoamericana, ZFP para la Zona de Fractura de Panamá-Balboa y ZWB para la Zona de Wadati-Benioff de la placa Coco. Los números indicados para cada plano nodal corresponden con el rumbo, la inclinación y el ángulo de rake y los resaltados en negrita con los valores del plano de falla cuando fue posible determinarlo.

Día-Mes	Mw	Prof. (km)	Origen	Plano nodal 1 (°)			Plano nodal 2 (°)			Agencia
06-01	6,1	9	INTER	34	26	74	142	65	98	USGS
13-01	5,1	21	INTER	289	40	82	119	50	97	RSN
27-01	4,7	83	ZWB	137	65	5	45	86	155	RSN
24-02	4,0	3	F. CA-PA	229	69	22	131	70	157	RSN
25-03	5,0	24	F. CA-PA	9	78	-164	276	74	-12	RSN
21-04	6,6	23	INTER	318	24	105	122	67	84	USGS
07-05	5,5	20	INTER	312	35	88	133	55	91	USGS
16-05	3,9	93	ZWB	150	70	38	45	55	155	RSN
19-07	5,4	16	INTER	331	7	117	123	84	87	USGS
03-09	5,6	15	INTER	322	30	106	123	61	81	USGS
12-09	4,6	31	F. CA-PA	262	82	-6	353	84	-172	RSN
13-09	5,5	17	ZFP	10	82	179	100	89	8	USGS
04-10	4,4	5	F. CA-PA	100	64	56	337	42	139	RSN
06-10	4,7	7	F. CA-PA	40	60	0	310	90	150	RSN
16-10	6,3	10	F. CO	35	86	178	125	88	4	USGS
20-10	6,7	14	INTER	311	17	77	145	73	94	USGS

## Distribución por magnitud

El sismo de mayor tamaño del año fue de Mw 6,7 y ocurrió el 20 de octubre (Fig. 5) a 70 km al oeste de la isla de Coiba en Panamá (ó a ~120 km al sureste de punta Burica en Costa Rica). Aparte de este evento, durante el 2022 se localizaron otros tres sismos con Mw alta (6,1-6,6) y además 51 con Mw 5,0-5,9. (Fig. 8B). Del total de 55 sismos con Mw 5,0-6,7, hubo 19 que fueron sentidos, estos fueron los cuatro eventos con Mw  $\geq 6,0$  y 15 con Mw entre 5,0 y 5,8 (Fig. 7B). Los eventos de Mw 5,0-5,9 que no fueron sentidos en Costa Rica tuvieron su epicentro mar adentro muy alejado de los centros de población.

En el 2022, la mayoría de los sismos localizados tuvieron una Mw baja: ~50 % con Mw  $\leq 2,9$  y ~40 % con Mw entre 3,0 y 3,9 (Fig. 8B). Con respecto de los sismos sentidos, la mayoría tuvieron magnitudes entre 3,0 y 3,9 (~39 %) y entre 4,0 y 4,9 (~38 %, Fig. 7B). En relación con las magnitudes bajas (Mw < 2,9), se localizaron 2384 sismos (Fig. 8B), de los cuales se percibieron 23 (12 %; Fig. 7B) y estos en su mayoría tuvieron sus epicentros cerca de las zonas urbanas. El sismo sentido de menor Mw fue de 1,9, sucedió el 9 de agosto y tuvo su epicentro en Frailes de Desamparados, en la parte central del país (Fig. 5).

## Distribución por profundidad

El ~73 % del total de sismos localizados en el 2022 tuvo profundidades menores a 30 km (Fig. 8C). De estos eventos someros, 159 que fueron sentidos, lo cual representa el 87 % del total de sismos percibidos (Fig. 7C). Hubo 433 eventos con profundidad entre 30 y 40 km de los cuales 8 fueron sentidos. Se localizaron 867 con una profundidad mayor a 40 km y de estos solamente 17 fueron sentidos (Fig. 7C).

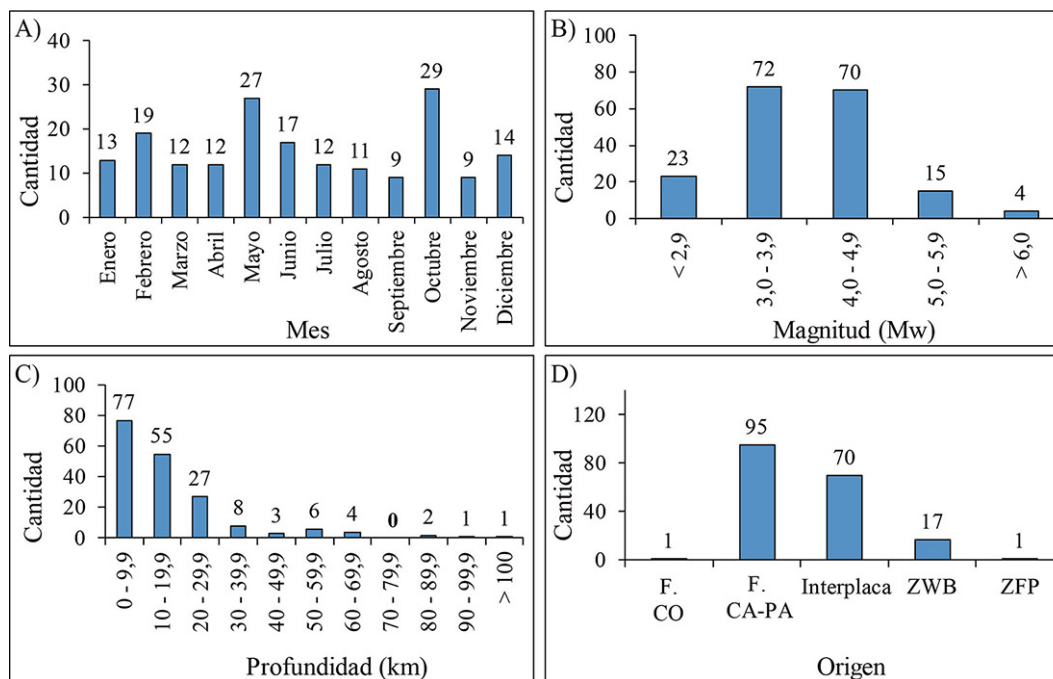


Fig. 7: Distribución de los 184 sismos sentidos en el 2022 de acuerdo con A) mes del año, B) magnitud momento (Mw), C) profundidad y D) origen. La cantidad de sismos se muestra sobre las barras de cada histograma. El significado de las abreviaturas de la parte D es el siguiente: F. CO es el fallamiento superficial en la placa Coco al suroeste de la fosa Mesoamericana, F. CA-PA se refiere a las fallas superficiales en las placas Caribe y Panamá, Interplaca se refiere a la zona sismogénica de la subducción de las placas Coko y Nazca a lo largo del margen Pacífico, ZWB es la Zona de Wadati-Benioff (deformación interna de la placa Coko subducida a profundidades > 40 km) y ZFP corresponde con las zonas de fractura de Panamá y Balboa.

El sismo sentido más profundo con epicentro dentro del territorio costarricense ocurrió el 16 de mayo (Mw 3,9, Fig. 5 y 6) a 93 km de profundidad al noreste de Varablanca de Heredia. En esa misma zona se ubicó el sismo profundo (83 km) de mayor tamaño con una Mw 4,7 el 27 de enero (Fig 5 y 6). No obstante, fuera de los límites políticos del país, cerca de León en Nicaragua, hubo un sismo el 3 de agosto que fue más profundo (139 km) y de mayor magnitud (Mw 5,8) y que fue sentido levemente en Costa Rica (Fig. 5).

## Energía sísmica

Tomando en cuenta la energía sísmica total aportada por los 4763 sismos locales del año 2022 y usando la correlación clásica entre Mw y energía sísmica E en ergios ( $1 \text{ ergio} = 1 \times 10^{-10} \text{ kJ}$ )  $\log_{10} E = 11,8 + 1,5 Mw$  (Stein y Wyssession, 2003), se determinó que el valor de la energía sísmica promedio liberada cada semana fue de  $4,45 \times 10^{10} \text{ kJ}$ , es decir, el equivalente a un sismo de Mw 5,9.

La semana con la mayor liberación de energía fue la del 16 al 22 de octubre, cuando ocurrieron los sismos de Mw 6,3 y 6,7 y sus réplicas, liberando un total de  $9,19 \times 10^{11} \text{ kJ}$  (Fig. 9). Otras dos semanas del año también tuvieron un aporte considerable en la energía sísmica debido a los sismos en la costa del Pacífico de Nicaragua: estas fueron las semanas del 1 al 7 de enero (Mw 6,1) y del 16 al 22 de abril (Mw 6,6), con una energía sísmica de  $\sim 1,85 \times 10^{11} \text{ kJ}$  y  $\sim 5,10 \times 10^{11} \text{ kJ}$ , respectivamente (Fig. 9). La suma de la energía liberada por todos los sismos del 2022 fue de  $2,14 \times 10^{12} \text{ kJ}$ , lo que equivale a un sismo de magnitud 7,0.

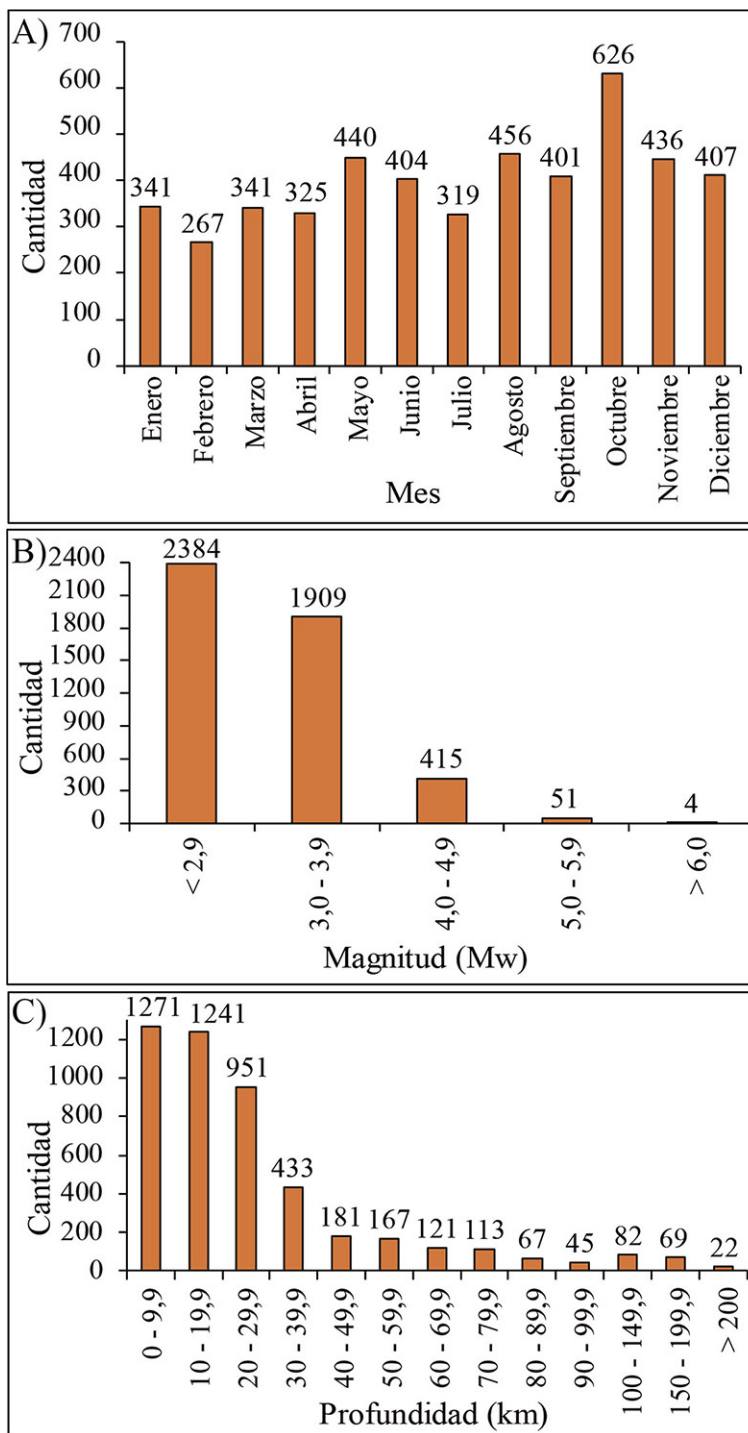


Fig. 8: Distribución de los 4763 sismos localizados en el 2022 (Fig. 2) de acuerdo con A) mes del año, B) magnitud momento (Mw) y C) profundidad. La cantidad de sismos se muestra sobre las barras de cada histograma.

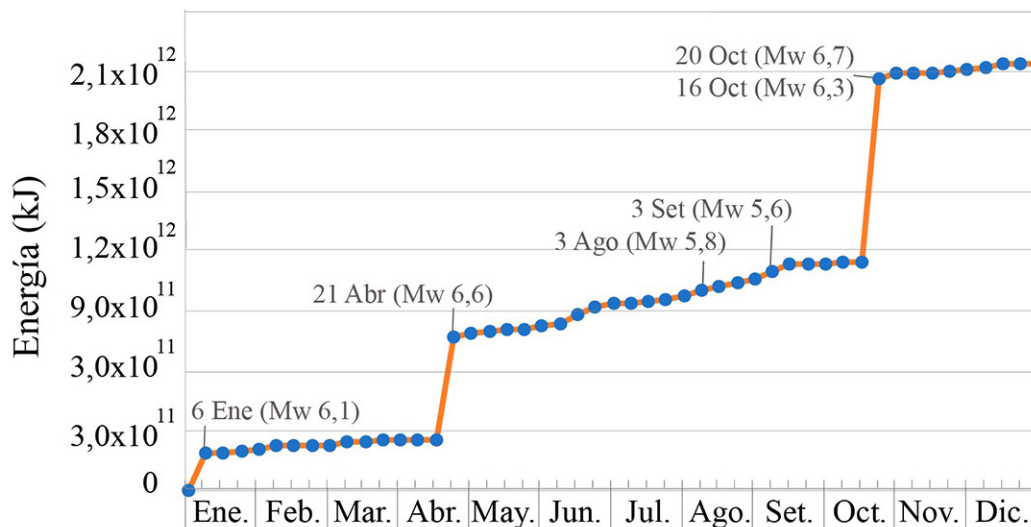


Fig. 9: Energía sísmica semanal en kilojulios (kJ) acumulada a lo largo del año 2022. Se resaltan los principales eventos (Fig. 5).

## Intensidades

En el 2022 la IMM más alta documentada en Costa Rica fue V, esto pese a que ocurrieron nueve sismos sentidos con  $M_w \geq 5,5$  (Fig. 5). Todos estos eventos tuvieron su epicentro mar adentro y alejado de centros de población, por lo que no generaron intensidades altas en el territorio continental, incluso algunos de estos solo fueron reportados con intensidades leves de II-III.

La intensidad V fue observada solamente en la península de Burica debido al sismo de  $M_w$  de 6,7 del 20 de octubre, con epicentro a  $\sim 120$  km al sureste de punta Burica (Fig. 10D). Este evento fue sentido ampliamente en Costa Rica con intensidades bajas de II y III y más fuertemente con intensidad IV en la zona sur. En el oeste de Panamá, incluyendo la ciudad de David, el sismo alcanzó la intensidad V y en la isla de Coiba la intensidad de VI, aunque no fueron reportados daños materiales o víctimas.

Otros tres sismos relevantes alcanzaron la intensidad de IV en varias zonas del país. Estos sismos son los ocurridos el 13 de enero ( $M_w$  5,1; Fig. 10A), 7 de mayo ( $M_w$  5,5; Fig. 10B) y 12 de setiembre ( $M_w$  4,6; Fig. 10C). En estos tres casos, la intensidad IV estuvo restringida a un área muy reducida de menos de 10 km de diámetro, en las zonas del sur de la península de Nicoya (Fig. 10A), Golfito (Fig. 10B) y San Isidro de El General (Fig. 10C), respectivamente. El sismo del 20 de octubre ( $M_w$  6,7, Fig. 10D) mencionado anteriormente, produjo la intensidad de IV en un área más extensa de la zona sur.

La mayoría de los reportes de intensidad recibidos de los cuatro sismos mencionados (Fig. 10) corresponden con intensidades leves (de II y III). La cantidad de reportes por parte de la población en el módulo “¿Lo sentiste?” de la RSN para estos sismos fue de: 185 para el 13 de enero ( $M_w$  5,1, Fig. 10A), 237 para el 7 de mayo ( $M_w$  5,5, Fig. 10B), 344 para el 12 de setiembre ( $M_w$  4,6, Fig. 10C) y 201 para el 30 de octubre ( $M_w$  6,7, Fig. 10D).

## Conclusiones

La energía liberada por los 4763 sismos locales registrados por la RSN durante el año 2022 equivalen a un sismo de  $M_w$  7,0 ( $\sim 2,14 \times 10^{12}$  kJ). De estos sismos, 184 fueron percibidos por la población, incluyendo cuatro con  $M_w$  entre 6,1 y 6,7 y 15 con  $M_w$  entre 5,0 y 5,8. El promedio mensual de sismos localizados fue de 397 y el de sismos sentidos fue de 15. Estas cantidades se encuentran dentro de los niveles de sismicidad reportados por la RSN durante la última década.

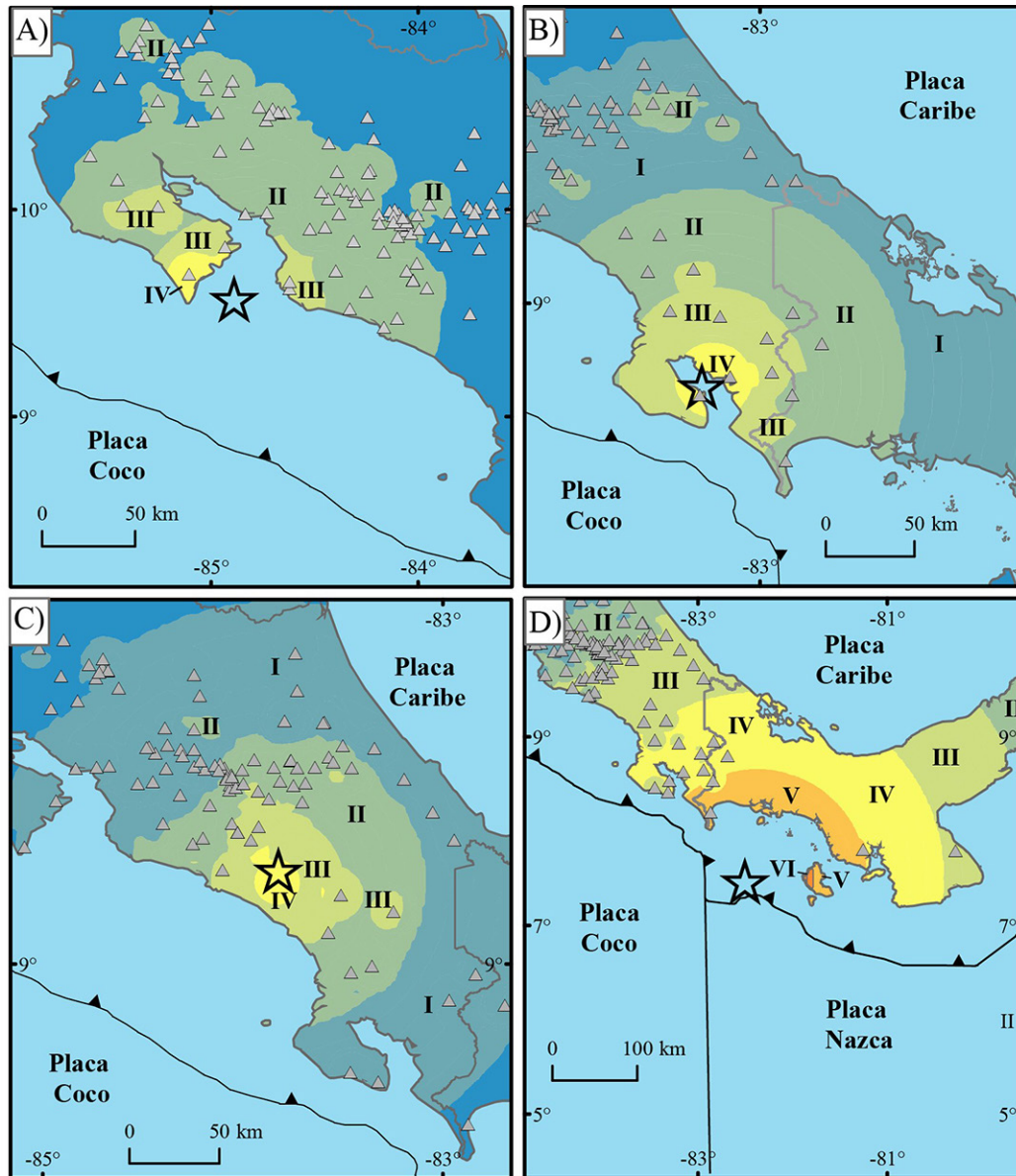


Fig. 10: Mapa de intensidades instrumentales para algunos sismos relevantes del 2022. El epicentro de los sismos está representado por una estrella y las estaciones sismológicas usadas en cada caso por triángulos. A) Sismo del 13 de enero (Mw 5,1). B) Sismo del 7 de mayo (Mw 5,5). C) Sismo del 12 de septiembre (Mw 4,6). D) Sismo del 20 de octubre (Mw 6,7).

El sismo de mayor Mw del año fue de 6,7 y se originó en la zona de subducción de la placa Nazca bajo la microplaca Panamá a ~120 km al sureste de punta Burica. La mayoría de los sismos sentidos del 2022 fueron superficiales (~87 % < 30 km), de magnitud baja (~52 % Mw < 3,9) y fueron originados por fallas en las placas Caribe y Panamá (~52 %). La mayor concentración de sismos se agrupa geográficamente en nueve regiones con un número de eventos de entre 25 y 400. Cinco de las regiones se ubican en el margen Pacífico y presentaron cada una al menos un sismo de Mw ≥ 5,0 y cuatro en el interior del territorio continental, caracterizadas por sismos de magnitudes bajas (Mw ≤ 4,7).

Aunque la mayoría (~52 % del total) de los sismos sentidos del 2022 fueron originados por fallas superficiales en las placas Caribe y Panamá, los sismos de mayor tamaño (Mw 5,5-6,7) fueron ocasionados en otras fuentes: la zona sismogénica interplacas de la subducción de las placa Coco y Nazca, la ZFB y el fallamiento superficial en la placa Coco al suroeste de la fosa Mesoamericana. Afortunadamente, todos estos sismos tuvieron su epicentro mar adentro y alejados de centros de población, por lo que no se reportaron intensidades altas, pese a su magnitud. La IMM más alta observada en el 2022 dentro del territorio de Costa Rica fue de V y ocurrió en la península de Burica debido al sismo del 20 de octubre (Mw 6,7). Otros tres sismos de Mw 4,6-5,5 ocasionaron intensidades máximas de IV en las zonas epicentrales.

## Agradecimientos

Este artículo resulta de los proyectos 113-B5-704 “Vigilancia sísmica de Costa Rica”, 113-A1-716 “Apoyo de asistentes a la sección de sismología, vulcanología y exploración geofísica”, EC-533 “Difusión de temas sismológicos en Costa Rica”, adscritos al programa de investigación 113-B9-911 “Red Sismológica Nacional” de la UCR. Además, ha sido posible gracias al financiamiento que la RSN recibe a través de la Ley Nacional de Emergencias N° 8488. Agradecemos al personal de la UCR y del ICE que permitió mantener la red de estaciones, especialmente a Luis Fernando Brenes y Jean Paul Calvo. Las siguientes personas colaboraron en la localización de sismos durante el 2022: Dra. María Cristina Araya y Geól. Magda Taylor y los asistentes de la UCR Brandon Acosta, Andrés Leandro, Daniela Manzano y María Rodríguez.

## Referencias

- 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, I. G., y Linkimer, L. (2021a). Geometría de la zona sismogénica interplacas en el sureste de Costa Rica a la luz de la secuencia sísmica de Golfito del 2018. *Geofísica Internacional*, 60-1, 51-75. doi:10.22201/igeof.00167169p.2021.60.1.2026
- Arroyo, I., y Linkimer L. (2021b). Modelo de velocidad sísmica unidimensional y características tomográficas del Caribe Sur de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 65, 1-15. doi: 10.15517/rgac.v0i65.46696
- 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
- Arroyo, I. G., Husen, S., y Flueh, E.R. (2014). The seismogenic zone in the Central Costa Rican Pacific margin: high-quality hypocentres from an amphibious network. *International Journal of Earth Sciences*, 103, 1747, doi:10.1007/s00531-013-0955-8
- 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.
- Denyer, P., Montero, W., y Alvarado, G. (2003). *Atlas tectónico de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- DeShon H. R., Schwartz, S. Y., Newman, A. V., González, V., Protti, M., Dorman, L. M., Dixon, T. H., Sampson, D. E., y Flueh, E. R. (2006). Seismogenic zone structure beneath the Nicoya Peninsula, Costa Rica, from three-dimensional local earthquake P- and S-wave tomography. *Geophysical Journal International*, 164, 1, 109–124. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02809.x.



- Franco, A., Lasserre, D., Lyon-Caen, H., Kostoglodov, V., Molina, E., Guzman-Speziale, M., Monterosso, D., Robles, V., Figueroa, C., Amaya, W., Barrier, E., Chiquin, L., Moran, S., Flores, O., Romero, J., Santiago, J. A., Manea, M., y 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. Informe interno.
- 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>
- Kolarsky, R. A., y Mann, P. (1995). Structure and neotectonics of an oblique subduction margin, southwestern Panama. En P. Mann (ed.), *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America* (Geological Society of America Special Paper 295, pp. 225-233). Boulder, Colorado: The Geological Society of America, Inc. doi: 10.1130/SPE295
- 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., 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.
- Linkimer, L., Arroyo, M., y Arroyo, I. G. (2021). Sismicidad y ruido sísmico en Costa Rica durante la pandemia del año 2020. *Revista Geológica de América Central*, 64, 1-18. doi: 10.15517/rgac.v0i64.46623
- Linkimer, L., Fallas, C., y Arroyo, I. G. (2022). Estadística de la sismicidad del 2021 en Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 66, 1-18, 2021. doi: 10.15517/rgac.v0i66.50150
- 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
- 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 Umaña, 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.
- 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: 203-2014. 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
- Rojas, W., y Alvarado, G. (2012). Marco geológico y tectónico de la Isla del Coco y la región marítima circunvecina, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60, 15-32. doi:10.15517/RBT.V60I3.28306
- Snoke, J., Munsey, J., Teague, A., y Bollinger, G. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and Sv-P amplitude ratio data. *Earthquake Notes*, 55, 15-20.

- Stein, S., y Wysession, M. (2003). *An introduction to Seismology, earthquakes, and earth structure*. Malden, Estados Unidos: Blackwell Publishing.
- Wald, D. J., Wald, L., Worden, B., y Goltz, J. (2003). *ShakeMap, a tool for earthquake response*. United States of America, U.S. Geological Survey Fact Sheet 087-03. Informe interno.
- Wald, D. J., Quitariano, 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.
- Westbrook, G. K., Hardt, N. C., y Heath, R. (1995). Structure and tectonics of the Panama–Nazca boundary. En P. Mann (ed.), *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America* (Geological Society of America Special Paper 295, pp. 225-233). Boulder, Colorado: The Geological Society of America, Inc. doi: 10.1130/SPE295